

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 72 (1981)

Heft: 15

Artikel: Methoden zur Beurteilung der Qualität und zur Abschätzung der Zuverlässigkeit von optoelektronischen Bauelementen

Autor: Kalbermatten, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905134>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Methoden zur Beurteilung der Qualität und zur Abschätzung der Zuverlässigkeit von optoelektronischen Bauelementen

Von K. Kalbermatten

621.38-192:681.7;

Im vorliegenden Artikel werden LED, LED-Display und Optokoppler behandelt. Die Schwachstellen dieser Bauelemente werden aufgezeigt und Methoden zu deren wirtschaftlichen Eingangskontrolle und Evaluation diskutiert.

Cet article se rapporte aux LED, affichages à LED et optocoupleurs, dont les faiblesses sont indiquées. Des méthodes pour leur contrôle économique de réception et leur évaluation sont examinées.

1. Einleitung

Optoelektronische Halbleiter, die zur Lichtemission verwendet werden, sind Bauelemente, die aus einer Ga-Verbindung bzw. -Legierung bestehen (GaAs, GaAs P, Ga P)¹). Die Schwachstellen dieser Bauelemente haben ihren Ursprung sowohl in den Eigenschaften dieser Materialien als auch in deren Aufbau, der einerseits durch das Material, andererseits durch die Forderung nach optischer Transparenz gegeben ist. Bauelemente, die in diese Kategorie gehören, sind: LED (Light Emitting Diode), LED-Anzeigen sowie Optokoppler. Beim Einsatz dieser Bauelemente sind die in diesem Beitrag angeestellten Überlegungen in bezug auf Qualität und Zuverlässigkeit von Bedeutung.

2. Schwachstellen optoelektronischer Komponenten

2.1 Schwachstellen im Halbleiter

Bei Optohalbleitern (GaAs) ist eine starke Dotierung mit Fremdatomen sowie eine hohe Kristallperfektion erforderlich. Der Herstellungsprozess ist kritischer als bei Siliziumhalbleitern. Lebensdauer und Zuverlässigkeit hängen somit stark von der Beherrschung des Herstellungsprozesses ab.

Lichtemittierende Halbleiter haben ferner während ihrer Lebensdauer die Eigenschaft, in ihrer Lichtausbeute abzunehmen.

2.2 Schwachstellen im Aufbau

Vom Aufbau her sind lichtemittierende Halbleiter ebenfalls mit Schwachstellen behaftet. Dies soll am Beispiel einer LED erläutert werden (Fig. 1).

Der LED-Chip wird, Anode nach unten, auf den sog. Leadframe aufgebracht. Der Kathodenanschluss wird mit einem dünnen Bonddraht (meist Gold) auf den gegenüberliegenden Teil des Leadframe kontaktiert. Diese Anordnung bringt folgende Nachteile mit sich:

- GaAs ist wegen seiner Oberflächenbeschaffenheit nur schwer zu kontaktieren. Es ist dazu eine Mehrlagen-Metallisation erforderlich. Zudem ist GaAs brüchig. Eine mechanische Verbindung mit diesem Halbleitermaterial ist deshalb kritischer und anfälliger auf mechanische Beanspruchung als mit Silizium oder Germanium.

- Der Kunststoff, mit dem der Leadframe umhüllt wird, muss transparent sein. Dies hat zur Folge, dass die Auswahl beschränkt ist. Ferner darf der Kunststoff nicht auspolymerisiert werden. Dies führt dazu, dass eine mechanische Festigkeit, wie sie nichttransparentem Kunststoff (z.B. bei IC-Gehäusen) eigen ist, kaum denkbar ist. Mechanische Beanspruchungen auf die Anschlüsse und somit auf den Leadframe wirken sich deshalb direkt auf den Chip bzw. die Bondierung aus.

¹) GaAs = Galliumarsenid; P = Phosphor

2.3 Schwachstellen am LED-Photosensor-Paar (Optokoppler)

Die häufigste Variante des Optokopplers stellt die Konfiguration IR-LED/Transistor (IR = Infrarot) dar. Betreffend Kontaktierung gelten die vorher gemachten Feststellungen über die Kontaktierung von GaAs-Halbleitern. Als äussere Umhüllung kann jedoch beim Kunststoffoptokoppler ein Kunststoff verwendet werden, der, da keine Transparenz verlangt wird, grössere mechanische Festigkeit aufweist. Das transparente Medium zwischen Lichtquelle und Sensor ist meist ein nicht auspolymerisierter Kunststoff. Dieser kann sich im Verlaufe der Zeit trüben, was zu einer Verminderung des Übertragungsverhältnisses führt. Insbesondere kann dieser Effekt durch Feuchte- oder Temperaturbeanspruchung beschleunigt hervorgerufen werden.

Zwei weitere Gründe für die Verschlechterung des Übertragungsverhältnisses sind die schon erwähnte Abnahme der Lichtemission der IR-LED sowie die Abnahme der Stromverstärkung beim Phototransistor.

Eine weitere Quelle, die die Zuverlässigkeit eines Optokopplers beeinträchtigen kann, ist der folgende Effekt: Liegt zwischen den Eingangs- und Ausgangsklemmen eine hohe Gleichspannung an, wie dies beim Einsatz von Optokopplern vielfach der Fall ist, so kann durch das dadurch erzeugte elektrische Feld im Kunststoff eine Ionenwanderung hervorgerufen werden. Treffen Ionen auf die Kollektor-Basis-Sperrschicht des Phototransistors, so führt dies zur Erhöhung des Dunkelstroms desselben, was Fehlfunktion oder sogar Ausfall des Optokopplers zur Folge haben kann (Feldeffekt).

Ein allgemeines Problem bei der Herstellung von Optokopplern im Plastikgehäuse ist die Wahl des Kunststoffes, da Randbedingungen auftreten wie hohe Isolationsfestigkeit, Feuchteresistenz, gutes Temperaturverhalten und zum Teil Transparenz (zwischen Sender und Empfänger). Kunststoffe, die allen Randbedingungen optimal genügen, sind sehr schwer zu finden.

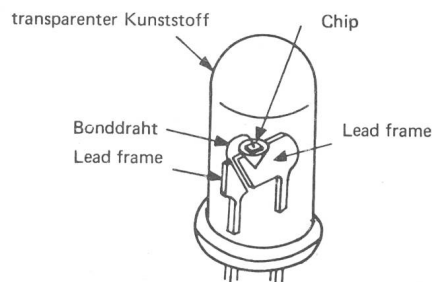


Fig. 1 Aufbau einer Leuchtdiode (LED: Light Emitting Diode) Durchmesser ca. 5 mm

3. Einfluss der Schwachstellen auf die Anwendung und Zuverlässigkeit

3.1 LED und LED-Anzeigen

Die Abnahme der Lichtemission mit der Zeit ist für LED zu Anzeigezwecken unkritisch, da das menschliche Auge erst auf eine Lichtintensitätsabnahme von 50% anspricht. Der Zeitpunkt des Abfalls auf 50% der ursprünglichen Lichtemission ist bei LEDs erst nach 10 Jahren zu erwarten, dies bei Betriebswerten in der Größenordnung von 50% der Grenzwerte des Datenblattes.

Kritisch aber ist die Qualität der Kontaktierung. Diese kann sich ablösen bei mechanischer Beanspruchung über die Anschlussdrähte oder bei krassem Temperaturwechsel. Deshalb ist es bei diesen Bauelementen besonders wichtig, sich an die Löt- und Einbauvorschriften der Hersteller zu halten.

3.2 Infrarot-LED

Die IR-LED sind meist in Metallgehäusen montiert. Daher sind die Festigkeitsprobleme hier nicht relevant. Es verbleiben aber immer noch die Schwachstellen, die von der erschwerten Kontaktierbarkeit des Halbleiters herrühren. Ferner ist die Abnahme der Lichtemission von Bedeutung, da diese Bauelemente zu Messzwecken verwendet werden.

3.3 Optokoppler

Für die Anwendung von Optokopplern haben die beschriebenen Eigenschaften und Schwachstellen folgende Konsequenzen:

- Von Linearanwendungen ist wegen zu hoher Drift der Parameter abzusehen.
- Bei der Dimensionierung von Schaltungen mit Optokopplern sollte damit gerechnet werden, dass das Übertragungsverhältnis (Current Transfer Ratio CTR) des Optokopplers innerhalb der Brauchbarkeitsdauer auf $\frac{1}{5}$ seines ursprünglich spezifizierten Wertes abfallen kann.
- Wegen der Abnahme der CTR im Lauf der Zeit und wegen des höheren Vorwärtsstromes, mit dem die LED bei niedriger CTR betrieben werden muss, um ein verwendbares Ausgangssignal zu erhalten, sollten nur Optokoppler mit einer minimalen spezifizierten CTR $> 50\%$ verwendet werden.
- Optokoppler mit Darlington-Ausgang sind nicht zu verwenden.
- Der Betriebsstrom I_F der LED sollte bei etwa 5 mA liegen, aber 10 mA nicht überschreiten. Bei zu niedrigem I_F (< 5 mA) nimmt das Übertragungsverhältnis wegen der Abnahme der Stromverstärkung des Transistors überproportional ab. Bei zu hohem I_F (< 10 mA) andererseits wird die alterungsbedingte Abnahme des Übertragungsverhältnisses, verursacht durch eine starke Abnahme der Lichtausbeute der LED, kritisch.
- Um die Alterung der LED zu vermindern, ist ein möglichst kleines On/Off-Verhältnis anzustreben.
- Anwendungen, bei denen Gleichspannungen von über 100 V zwischen Eingang und Ausgang anliegen, sind womöglich zu vermeiden (Feldeffekt).
- Bei Anwendungen in feuchter Umgebung sind hermetische Optokoppler vorzusehen.
- Wegen der allgemeinen Problematik dieser Bauelemente ist im Zweifelsfalle vom Einsatz von Optokopplern abzusehen.

4. Methoden und Massnahmen zur Evaluation und Eingangskontrolle an optoelektronischen Bauelementen

4.1 Allgemeines

Die genannten Schwachstellen treten bei verschiedenen Fabrikaten mehr oder weniger in Erscheinung. Aus Prüfungen geht hervor, dass die Zuverlässigkeit, d.h. die Zahl der Ausfälle bei gleichen Bauelementen, je nach Fabrikat sehr unterschiedlich ist. Als Beispiel möge hier eine Lebensdauerprüfung an Optokopplern dienen:

Prüfbedingungen: gepulster Betrieb bei 100 °C, maximale Verlustleistung

Anzahl Prüflinge pro Fabrikat: 15

Prüfdauer: 5000 h

Resultate:

Fabrikat	A	B	C	D	E	F
Anzahl Totalausfälle während 5000 h	0	5	2	12	4	2

Beispiele mit ebenso krassem Resultaten lassen sich in beliebiger Anzahl aufführen. Dies zeigt, dass eine Evaluation der Fabrikate im Interesse des Anwenders liegt. Es genügt jedoch nicht, ein Fabrikat, das sich einmal bei einer Evaluation als qualitativ genügend erwiesen hat, unesehen einzukaufen. Qualitätseinbrüche sind, wie die Erfahrung zeigt, auch bei Herstellern mit guter Fertigungstechnik möglich. Es gilt, sich gegen die Lieferung schlechter Lose abzusichern. Es sind also Massnahmen zur Prüfung der Qualität in der Eingangskontrolle des Anwenders nebst der Messung der Datenblattparameter wünschbar.

Im folgenden sollen realisierbare Methoden zur Aufdeckung von Schwachstellen der hauptsächlich optoelektrischen Bauelemente erörtert werden.

4.2 Leuchtdioden (LED) und LED-Anzeigen

4.2.1 Prüfmethode

Als Hauptschwäche der LED und damit der LED-Anzeigen kann die Kontaktierung angesehen werden: Diese kann durch Beanspruchung der Kontaktierung geprüft werden. Dazu gibt es folgende Möglichkeiten:

- *Betrieb bei hohem Strom:* Durch die Verlustleistung wird auch die Kontaktierung aufgeheizt. Ist diese ungenügend, so erhöht sich der ohmsche Anteil der Kennlinie durch die Temperaturerhöhung, was zu einem weiteren Ansteigen der Verlustleistung führt usw. Es findet also ein sich aufschaukelnder Prozess statt, der zur Zerstörung der LED führen kann.
- *Temperaturwechselbeanspruchung im betriebslosen Zustand:* Durch Temperaturzyklen kann ermittelt werden, wie gut die mechanische Festigkeit der Kontaktierung ist und wie gut die thermischen Ausdehnungskoeffizienten der beteiligten Materialien aufeinander abgestimmt sind.

4.2.2 Diskussion

Betrieb bei hohem Strom: Um einen möglichst hohen Beschleunigungsfaktor in bezug auf die Einsatzbedingungen zu erhalten, geht man bei der Prüfung auf den maximalen, gemäss Datenblatt zugelassenen Vorwärtsstrom.

Eine solche Prüfung, «Operating» genannt, wurde an LED unter folgenden Bedingungen durchgeführt: gepulster Betrieb, Spitzenvorwärtsstrom 140 mA, mittlerer Vorwärtsstrom 35 mA, Umgebungstemperatur 25 °C, Dauer: 2500 h. Es wurden 120 Prüflinge von 4 verschiedenen Herstellern geprüft.

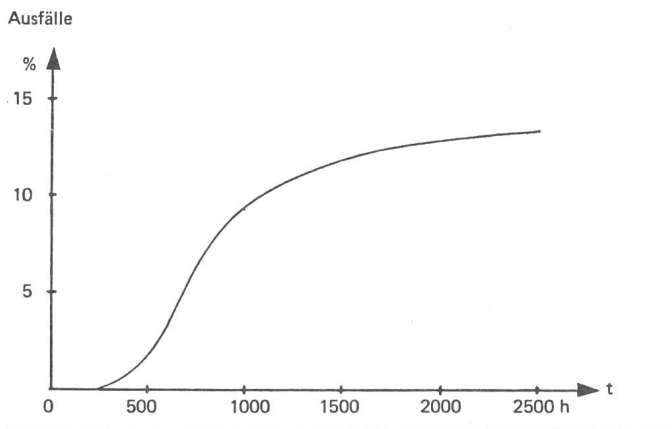


Fig. 2 Prozentualer Ausfall von 120 LED in gepulstem Betrieb während 2500 h

* Spitzenvorwärtsstrom 140 mA
 * Mittlerer Vorwärtsstrom 35 mA
 * Umgebungstemperatur 25 °C

Es handelt sich um kunststoffumhüllte rote LED mit 5 mm Durchmesser, ein sehr verbreitetes Bauelement.

Figur 2 zeigt den Verlauf der Anzahl Ausfälle in Funktion der Zeit in Prozent der totalen Stückzahl. Als Ausfall wurde das Nichteinhalten der Datenblattwerte definiert. Die Darstellung zeigt, dass man mindestens 1000 h warten muss, bis das Auftreten der Ausfälle in signifikanter Anzahl festzustellen ist.

Vorteile und Nachteile der Prüfmethode lassen sich wie folgt gegenüberstellen:

Vorteile: konform zum tatsächlichen Einsatz des Bauelementes, einfache Registrierung der Totalausfälle (rein visuell), aussagekräftig.

Nachteile: aufwendig, da leistungsfähige Speisung nötig, lange Wartezeit, bis signifikante Resultate erhältlich sind (ca. 6 Wochen).

Temperaturzyklen: Auch diese Prüfmethode soll am Beispiel einer durchgeführten Prüfung diskutiert werden. Geprüft wurden je 30 Stück grüne LED (\varnothing 5 mm) von 5 Herstellern. Es wurden 450 Zyklen von -55 bis $+100$ °C gefahren (mit Einkammermethode). Berücksichtigt wurden die Resultate der 3 Hersteller, deren LED Totalausfälle zeigten. In Figur 3 sind

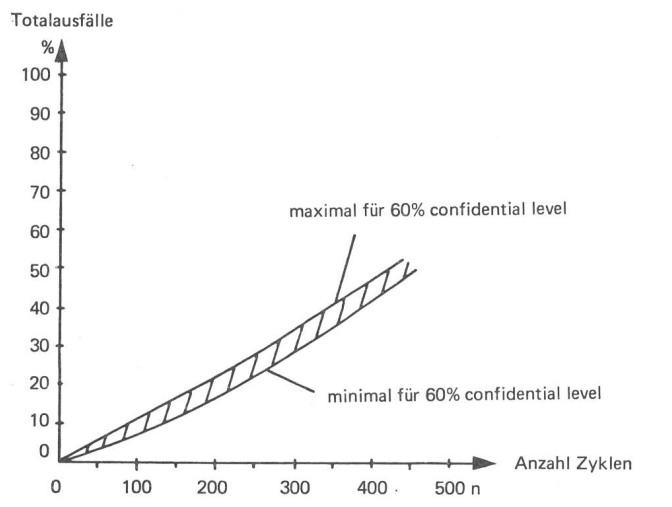


Fig. 3 Prozentualer Ausfall von 30 grünen LED während 450 Temperaturzyklen von -55 bis $+100$ °C in Funktion der Anzahl Temperaturzyklen

die Resultate als Anzahl Totalausfälle in Funktion der Prüfdauer dargestellt. Die Figur zeigt, dass bei Fabrikaten mit ungenügender Kontaktierung der Verlauf der Ausfälle in Funktion der Zeit linear ist. Dies bedeutet, dass keine Phase der sog. Frühausfälle zu erwarten ist, und anschliessend auch keine konstante, niedrige Ausfallrate. Es ist vielmehr zu erwarten, dass die Bauelemente kontinuierlich ausfallen, bis 100 % erreicht sind.

Vorteile dieser Prüfmethode sind: Die Resultate sind rasch erhältlich, schon nach 100 Zyklen (ca. 12 Tagen); Aufwand gering: keine Speisung erforderlich; aussagekräftig.

Als **Nachteile** sind hervorzuheben: destruktive Prüfung, Korrelation zum Einsatz nicht bekannt.

4.3 Infrarot-LED

Grundsätzlich gelten auch für IR-LED die Überlegungen von Abschnitt 4.2.

Die Prüfmethode «Operating» erhält jedoch für IR-LED höhere Priorität, da, bedingt durch die Anwendung, das Langzeitverhalten der Lichtemission wesentlich ist. Das Verhalten der Lichtemission innerhalb der Brauchbarkeitsdauer kann nur durch einen Operatingtest abgeschätzt werden. Eine Operating-Prüfung unter Bedingungen, die den Maximalspezifikationen des Datenblattes entsprechen, zeigt grosse Unterschiede in der Lichtemissionsabnahme bei verschiedenen Fabrikaten. Figur 4 enthält den Verlauf der Lichtemissionsabnahme, extrapoliert aus den Prüfungsergebnissen zweier Hersteller. Wie man sieht, ist die Prüfmethode für IR-LED schon nach kurzer Zeit (< 1000 h) aussagekräftig.

4.4 Optokoppler

4.4.1 Prüfmethode

Entsprechend den Bemerkungen in Abschnitt 3 müssen bei Optokopplern folgende Aspekte geprüft werden: Feuchteverhalten, Abnahme des Übertragungsverhältnisses im Betrieb, Auftreten des Feldeffektes sowie mechanische Festigkeit.

Die Prüfphilosophie leitet sich von derjenigen für LED und IR-LED ab, zusätzlich kommt der Lichtsensor (Transistor) dazu. Als Prüfungen kommen in Frage:

- Operatings-Prüfung,
- Temperaturzyklen,
- Hochtemperaturlagerung unter Spannung (in erster Linie um den Transistor zu prüfen),
- Feuchteprüfung,
- Feldeffektprüfung.

4.4.2 Diskussion der Prüfmethode

Operating-Prüfung: Die Optokoppler werden derart betrieben, dass bei IR-LED und Transistor die maximal zulässige Sperrschichttemperatur entsteht. In Figur 5 sind die Resultate an 90 Prüflingen von 6 verschiedenen Herstellern bis 5000 h dargestellt, wiederum nur die Totalausfälle. Danach fallen die Bauelemente im wesentlichen kontinuierlich aus.

Die Beurteilung dieser Prüfmethode für Optokoppler kann wie folgt charakterisiert werden:

Vorteile: sehr selektiv, bei schlechten Fabrikaten treten nach kurzer Zeit Ausfälle auf; entspricht dem tatsächlichen Einsatz.

Nachteile: aufwendig, da leistungsfähige Speisung nötig.

Temperaturzyklen: Es empfehlen sich wie bei LED Temperaturzyklen zwischen den minimal und maximal spezifizierten

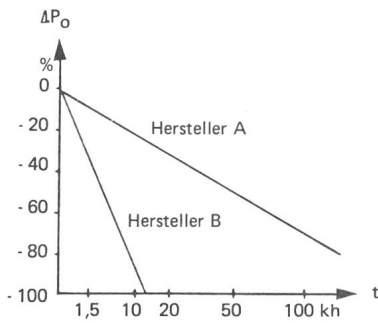


Fig. 4 Lichtemissionsabnahme ΔP_0 von Infrarotleuchtdioden in Funktion der Betriebszeit

Lagertemperaturen. Ferner genügt auch hier die Einkammermethode.

Fabrikate mit schlechten Resultaten sind bei Optokopplern seltener als bei LED, da die äussere Umhüllung des Bauelementes nicht transparent sein muss und demzufolge die Wahl des Kunststoffes eher zugunsten mechanischer Festigkeit getroffen werden kann. Für schlechte Fabrikate erweisen sich aber auch bei den Optokopplern die in 4.2.2 gemachten Aussagen (Fig. 3) als gültig.

Hochtemperaturlagerung unter Spannung: Diese Prüfung ist im Vergleich zur Operating-Prüfung wenig aussagekräftig und bringt auch keine zusätzlichen Informationen.

Feuchteprüfung: Zur Beurteilung des Feuchteverhaltens erweist sich eine Prüfung bei 85 °C und 85 % relativer Feuchte, wobei LED und Transistor an eine Sperrspannung gelegt sind, als sehr selektiv. Eine solche Prüfung mit 2000 h Dauer an 6 Fabrikaten mit je 20 Prüflingen ergab folgende Resultate:

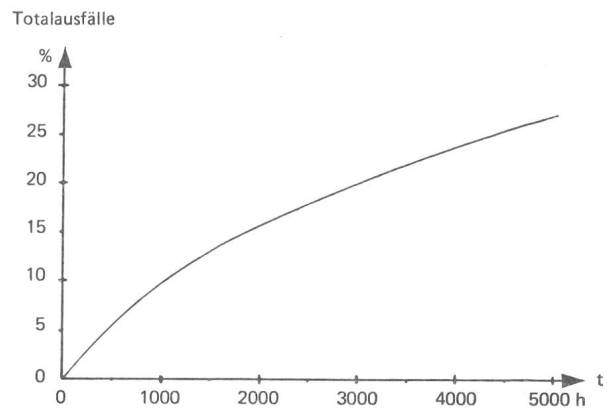


Fig. 5 Prozentualer Ausfall von 90 Optokopplern während 5000 Betriebsstunden bei maximaler Sperrschichttemperatur

Fabrikat	A	B	C	D	E	F
Anzahl Totalausfälle innerhalb 2000 h	0	0	0	19	2	13

Feldefektprüfung: Das Auftreten des Feldeffektes kann durch Anlegen der spezifizierten maximalen Isolationsspannung zwischen der kurzgeschlossenen IR-LED und den kurzgeschlossenen Transistoranschlüssen bei der maximalen Arbeitstemperatur untersucht werden. Eine Prüfdauer < 1000 h genügt, um signifikante Resultate zu erhalten.

Literatur

[1] S. Gage a. o.: Optoelectronics applications manual. New York a. o., McGraw-Hill, 1977.

Adresse des Autors

Karl Kalbermatten, LGZ Landis & Gyr Zug AG, 6301 Zug.