

DIN EN ISO 21254-2

ICS 31.260

Mit DIN EN ISO
21254-1:2011-10
Ersatz für
DIN EN ISO 11254-1:2000-11
und
DIN EN ISO 11254-2:2002-10

**Laser und Laseranlagen –
Prüfverfahren für die laserinduzierte Zerstörschwelle –
Teil 2: Bestimmung der Zerstörschwelle (ISO 21254-2:2011);
Deutsche Fassung EN ISO 21254-2:2011**

Lasers and laser-related equipment –
Test methods for laser-induced damage threshold –
Part 2: Threshold determination (ISO 21254-2:2011);
German version EN ISO 21254-2:2011

Lasers et équipements associés aux lasers –
Méthodes d'essai du seuil d'endommagement provoqué par laser –
Partie 2: Détermination du seuil (ISO 21254-2:2011);
Version allemande EN ISO 21254-2:2011

Gesamtumfang 43 Seiten

Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO) im DIN

Nationales Vorwort

Diese Norm wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172/SC 9 „Optics and photonics“ in enger Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 123 „Laser und Photonik“ erstellt, dessen Sekretariat vom DIN, Deutschland gehalten wird. Die Mitarbeiter des NA 027-01-18 AA „Laser“ des Normenausschusses Feinmechanik und Optik (NAFuO) haben bei der Erstellung mitgewirkt.

EN ISO 21254 „*Laser und Laseranlagen – Prüfverfahren für die laserinduzierte Zerstörschwelle*“ besteht aus folgenden Teilen:

- *Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundsätze*
- *Teil 2: Bestimmung der Zerstörschwelle*
- *Teil 3: Zertifizierung der Belastbarkeit hinsichtlich Laserleistung (-energie)*
- *Teil 4: Prüfung, Erkennung und Messung* (Technischer Bericht)

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 11145 siehe DIN EN ISO 11145

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 11254-1:2000-11 und DIN EN ISO 11254-2:2002-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aufnahme der 1-auf-1-Prüfung aus ISO 11254-1;
- b) Ausgliederung der Begriffe und Grundsätze nach ISO 21254-1.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 11254-1: 2000-11
DIN EN ISO 11254-2: 2002-10

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 11145, *Optik und Photonik — Laser und Laseranlagen — Begriffe und Formelzeichen*

Deutsche Fassung

Laser und Laseranlagen —
Prüfverfahren für die laserinduzierte Zerstörschwelle —
Teil 2: Bestimmung der Zerstörschwelle
(ISO 21254-2:2011)

Lasers and laser-related equipment —
Test methods for laser-induced damage threshold —
Part 2: Threshold determination
(ISO 21254-2:2011)

Lasers et équipements associés aux lasers —
Méthodes d'essai du seuil d'endommagement provoqué
par laser —
Partie 2: Détermination du seuil
(ISO 21254-2:2011)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 14. Juli 2011 angenommen.

Die CEN-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 Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute 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, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe	6
4 Prüfverfahren	6
4.1 Allgemeines	6
4.2 1-auf-1-Prüfverfahren	6
4.2.1 Allgemeines	6
4.2.2 Prüfparameter	6
4.2.3 Verfahren	7
4.2.4 Auswertung	7
4.3 S-auf-1-Prüfverfahren	8
4.3.1 Allgemeines	8
4.3.2 Prüfparameter	8
4.3.3 Verfahren	8
4.3.4 Auswertung	8
5 Präzision	12
6 Prüfbericht.....	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 1-auf-1-Prüfung	13
6.3 S-auf-1-Prüfung.....	13
Anhang A (informativ) Beispiel eines Prüfablaufes (1-auf-1-Prüfung)	14
A.1 Allgemeines	14
A.2 Beginn des Messverfahrens	14
A.2.1 Gesamtanzahl der Prüforte, N_{ts}	14
A.2.2 Anzahl der Energiedichtestufen n_{steps} , Wahrscheinlichkeitsauflösung, P_{res} Anzahl beschädigter Prüforte, n_{sites}	15
A.2.3 Größtes und kleinstes Energiedichteniveau, H_{top} und H_{bottom}	17
A.2.4 Auflösung der Energiedichte, δH	17
A.3 Prüfverfahren	18
A.4 Auswertung der Prüfung.....	20
Anhang B (informativ) Beispiel für einen Prüfbericht einer 1-auf-1-Prüfung	22
Anhang C (informativ) Beispiel eines Prüfablaufes (S-auf-1-Prüfung)	26
C.1 Allgemeines	26
C.2 Beginn des Messverfahrens	26
C.2.1 Prüfparameter	26
C.2.2 Gesamtanzahl der Prüforte, N_{ts}	27
C.2.3 Mindestanzahl von Pulsen, N_L	27
C.2.4 Energieauflösung, δQ	27
C.2.5 Anpassfunktion, $P_N(Q)$, und Unsicherheit, δ_N	27
C.3 Anfangsprüfung	28
C.4 Prüfverfahren	28
C.5 Auswertung	29

Anhang D (informativ) Beispiel für einen Prüfbericht einer S-zu-1-Prüfung	30
Anhang E (informativ) Extrapolationsverfahren für S-auf-1-Prüfungen.....	36
Anhang F (informativ) Umrechnung von Zerstörungsdaten in Zerstörungsdichte	38
Literaturhinweise	41

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 21254-2:2011) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 172 „Optics and photonics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 123 „Laser und Photonik“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2012, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2012 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 11254-1:2000 und EN ISO 11254-2:2001.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 21254-2:2011 wurde vom CEN als EN ISO 21254-2:2011 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Dieser Teil von ISO 21254 beschreibt Prüfverfahren zur Bestimmung der laserinduzierten Zerstörschwelle (LIDT) von beschichteten und unbeschichteten optischen Komponenten durch einen Einzelschuss und durch mehrere Schüsse. Das Ziel ist es, Verfahren zur Verfügung zu stellen, die übereinstimmende Messergebnisse liefern, die schnell und exakt zwischen verschiedenen Prüflabors verglichen werden können.

Bei der Einzelschuss-Prüfung, die im Rahmen dieser Norm dem Begriff der 1-auf-1-Prüfung zugeordnet ist, wird jeder unbestrahlte Ort der Probenoberfläche nur einem einzigen Laserstrahlungspuls ausgesetzt. Repetierende Laserstrahlungspulse kann optische Komponenten bei Bestrahlungsniveaus, die niedriger sind als die für Einzelschuss-Zerstörung gemessenen Werte, beeinträchtigen oder schädigen. Neben reversiblen Mechanismen, die durch Erwärmung und Verformungen verursacht werden, können irreversible Beschädigungsmechanismen aufgrund von Alterung, Mikroschäden sowie der Erzeugung und Migration von Fehlstellen beobachtet werden. Die Minderung der optischen Qualität ist eine Funktion der Laserbetriebsparameter und des optischen Systems, in dem die Komponente eingesetzt wird. Die Prüfung mit mehreren Schüssen, S-auf-1-Prüfung, beruht auf einer Verfahrensweise, bei der jeder unbestrahlte Prüfort mit einer großen Anzahl an Pulsen mit konstanter Energiedichte beaufschlagt wird.

Zusätzlich zur Bewertungstechnik, die auf der Überlebenskurve bei 1-auf-1-Prüfungen beruht, beschreibt dieser Teil von ISO 21254 zwei Auswertungsverfahren zur Aufbereitung der Rohdaten von S-auf-1-Zerstörschwellenmessungen: die charakteristische Zerstörungskurve und das Extrapolationsverfahren. Das erste Verfahren für S-auf-1 Prüfungen, die charakteristische Zerstörungskurve, beruht auf einer großen Anzahl von Prüforten auf der optischen Probenoberfläche und umfasst einen Satz von drei graphischen Darstellungen, die die Energiedichtewerte für eine vorgewählte Anzahl von Pulsen mit den Zerstörungswahrscheinlichkeiten von 10 %, 50 % und 90 % anzeigen. Die charakteristische Zerstörungskurve stellt die Ergebnisse einer vollständigen und umfangreichen Prüfung der laserinduzierten Zerstörschwellen dar und wird für Grundlagenuntersuchungen an neu entwickelten oder kritischen Laseroptiken empfohlen. Das zweite Verfahren für S-auf-1-Prüfungen, das Extrapolationsverfahren, kommt mit einer erheblich kleineren Anzahl an Prüforten aus. Bei diesem Verfahren wird für das Verhalten der Zerstörschwelle als Funktion der Anzahl der Pulse je Prüfort ein Verteilungsdiagramm von beschädigten und nicht beschädigten Bereichen erstellt. Dieses Diagramm ist nur begrenzt zuverlässig und kann bei der Qualitätskontrolle von optischen Laserkomponenten, die bereits mit einer vollständigen Zerstörschwellenprüfung verifiziert wurden, oder zur Vorbereitung umfangreicher Zerstörschwellenprüfungen eingesetzt werden.

Realistische Laserzerstörschwellen-Prüfungen, die an industrielle Anwendungen angepasst sind, beziehen sich auf eine große Anzahl an Pulsen (10^9 bis 10^{11} Pulse) und erfordern daher einen unangemessen großen experimentellen Aufwand. Für die Beurteilung der realen Lebensdauer von optischen Komponenten wird deshalb in diesem Teil der ISO 21254 zusätzlich ein Verfahren für die Extrapolation von S-auf-1-Schwellwerten aus der charakteristischen Zerstörungskurve beschrieben.

ANMERKUNG Es sollte berücksichtigt werden, dass die laserinduzierte Zerstörschwelle einer optischen Komponente, die repetierender Strahlung ausgesetzt ist, durch eine Vielzahl verschiedener qualitätsmindernder Mechanismen beeinflusst werden kann, beispielsweise Verschmutzung, Erwärmung, das Entstehen und Wandern von inneren Fehlstellen und Gefügeänderungen. Diese Mechanismen werden wiederum von den Laserbetriebsparametern, der Umgebung und den Einbaubedingungen der zu prüfenden Komponente beeinflusst. Daher ist es erforderlich, alle Parameter zu dokumentieren und zu berücksichtigen, dass bei veränderten Betriebsbedingungen das Zerstörverhalten unterschiedlich ausfallen kann.

Die in diesem Teil der ISO 21254 beschriebenen Prüfverfahren sind auf sämtliche Kombinationen von unterschiedlichen Laserwellenlängen und Pulsdauern anwendbar. Der Vergleich von Daten der laserinduzierten Zerstörschwelle kann irreführend sein, sofern die Messungen nicht bei identischen Wellenlängen, Pulsdauern und Laserstrahldurchmessern vorgenommen wurden. Begriffe und die allgemeinen Grundsätze von Messungen der laserinduzierten Zerstörschwelle sind in ISO 21254-1 beschrieben.

SICHERHEITSHINWEIS — Die Extrapolation von Zerstörschwellendaten kann zu einer Überschätzung der laserinduzierten Zerstörschwellen (LIDT) führen. Im Falle von toxischen Werkstoffen (z. B. ZnSe, GaAs, CdTe, ThF₄, Chalkogeniden, Be, Cr, Ni) kann das zu ernsthaften Gesundheitsschäden führen. Zu weiteren Erläuterungen siehe ISO 21254-1:2011, Anhang A.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 21254 beschreibt 1-auf-1- und S-auf-1-Prüfungen zur Bestimmung von laserinduzierten Zerstörschwellen optischer Laserkomponenten. Sie ist auf alle Arten von Lasern und bei allen Einsatzbedingungen anwendbar.

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).

ISO 11145, *Optics and photonics — Lasers and laser-related equipment — Vocabulary and symbols*

ISO 21254-1:2011 *Lasers and laser-related equipment — Test method for laser-induced damage threshold — Part 1: Definitions and general principles*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 11145 und ISO 21254-1.

4 Prüfverfahren

4.1 Allgemeines

Die allgemeinen Grundsätze der laserinduzierten Zerstörschwellenmessungen, sowie die Prüfgeräte und die Probenahme für Messungen sind in ISO 21254-1 beschrieben.

4.2 1-auf-1-Prüfverfahren

4.2.1 Allgemeines

Bei der 1-auf-1-Prüfung wird jeder unbestrahlte Ort auf der Probenoberfläche mit einem einzigen Laserpuls mit bekannten Strahlparametern bestrahlt. Aus den experimentellen Daten wird ein Diagramm erstellt, aus dem die Zerstörungswahrscheinlichkeit als eine Funktion der Energiedichte oder Leistungsdichte dargestellt wird.

4.2.2 Prüfparameter

Die Prüfeinrichtung muss sich durch die in ISO 21254-1:2011, 6.2.6.5 angegebenen Parameter auszeichnen.

4.2.3 Verfahren

Die Prüforte werden im Strahlengang positioniert und mit einzelnen Laserstrahlpulsen von unterschiedlicher Energiedichte oder Leistungsdichte bestrahlt. Es werden mindestens zehn Prüforte mit einer zuvor ausgewählten Pulsenergie (oder Strahlleistung) bestrahlt, und die mit der Strahldiagnostikeinheit gemessene tatsächliche Pulsenergie (oder Strahlleistung) sowie der Beschädigungszustand nach der Bestrahlung (Beschädigung oder keine Beschädigung) wird auf jeder Seite aufgezeichnet. Dieser Vorgang wird mit anderen Pulsenergien oder Strahlleistungen wiederholt. Der Bereich der aufgewendeten Pulsenergien oder Strahlleistungen muss ausreichend breit sein, um sowohl kleine Werte zu erhalten, die keine Beschädigungen auf jeder bei dem Vorgang geprüften Position erzeugen, als auch ausreichend hohe Werte zu erhalten, die auf jeder bei dem Vorgang geprüften Position eine Beschädigung erzeugen.

4.2.4 Auswertung

Zerstörschwellendaten werden mit dem Verfahren der Zerstörungswahrscheinlichkeiten bestimmt. Um eine Kurve der Zerstörungswahrscheinlichkeit gegen die entsprechenden Einheiten der laserinduzierten Zerstörschwelle aufzunehmen, wird für jedes Energiedichte- oder Leistungsdichteinkrement die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung durch Berechnen des Verhältnisses der Anzahl an beschädigten Prüforten zur Gesamtanzahl an geprüften Orten bestimmt. Die lineare Extrapolation der Zerstörungswahrscheinlichkeit gegen die Zerstörungswahrscheinlichkeit Null ergibt den Schwellwert. Ein Beispiel ist in Bild 1 dargestellt.

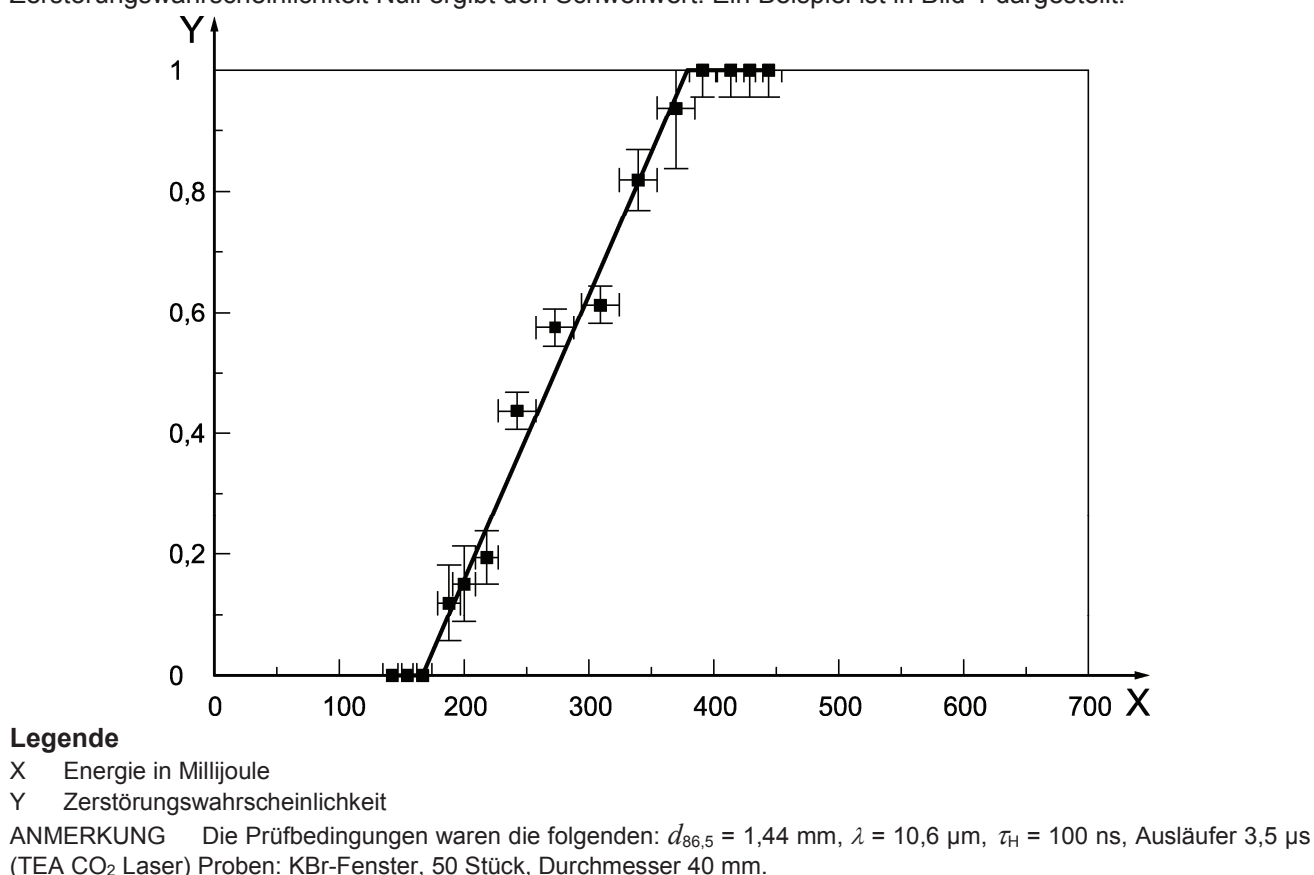


Bild 1 — Diagramm für die Bestimmung der Zerstörschwelle aus experimentellen Daten

Im Falle eines Lasersystems mit hohen Puls-zu-Puls-Energieschwankungen ist es zulässig, die Probe mit beliebigen Pulsenergien zu bestrahlen und die Daten im Anschluss an die Prüfung in geeignete Energieintervalle einzuordnen.

ANMERKUNG 1 Beispiele für ein effizientes Messverfahren mit maximaler Genauigkeit bei einer gegebenen Anzahl an Prüforten sind in Anhang A und Anhang C für eine 1-auf-1- bzw. eine S-auf-1-Prüfung beschrieben.

ANMERKUNG 2 Der Durchmesser des Prüfstrahls an der Probenposition kann das Messergebnis beeinflussen. Deshalb ist der Strahldurchmesser im Verlauf des gesamten Messverfahrens konstant zu halten.

4.3 S-auf-1-Prüfverfahren

4.3.1 Allgemeines

Um die S-auf-1-Zerstörschwelle zu bestimmen sind Erweiterungen des Aufbaus und Ausweitungen des Verfahrens der 1-auf-1-Zerstörschwellenmessung notwendig. Eine Messeinrichtung für S-auf-1-Prüfungen kann jedoch auch für 1-auf-1-Prüfungen benutzt werden, wenn das Online-Beschädigungsdetektionssystem mit einem Differential-Interferenz-Kontrast-Mikroskop nach Nomarski kombiniert ist. Es wird empfohlen, dass das Online-Beschädigungsdetektionssystem über eine Einrichtung zur Unterdrückung nachfolgender Pulse und zum Anhalten des Pulszählers verfügt.

4.3.2 Prüfparameter

Die Prüfeinrichtung muss sich durch die in ISO 21254-1:2011, 6.2.6.5 beschriebenen Parameter und die folgenden Parameter auszeichnen:

- a) Anzahl der Pulse je Prüfort S ;
- b) Gesamtanzahl der Prüforte je Prüfung N_{ts} .

ANMERKUNG Bei der S-auf-1-Prüfung beziehen sich die in ISO 21254-1:2011, 6.2.6.5 d) bis g) angegebenen Parameter auf die Eigenschaften des typischen Pulses, der in ISO 21254-1:2011, 6.2.6.4 definiert ist.

4.3.3 Verfahren

Ein unbestrahlter Prüfort wird im Strahlengang positioniert und mit einer Serie von S Pulsen bestrahlt bei der der typische Puls eine Energie Q_{tp} hat. Wird mit dem Online-Beschädigungsdetektionssystem eine Beschädigung festgestellt bevor die Serie von S Pulsen abgeschlossen ist, wird die Bestrahlung des Prüfortes abgebrochen und die Mindestanzahl der Pulse N_{min} dokumentiert. Dieser Vorgang wird bei unterschiedlichen Energiedichten des typischen Pulses wiederholt. Die Anzahl der Pulse S muss bei dem gesamten Prüfungsvorgang konstant sein, und so gewählt sein, dass das spezifische laserinduzierte Zerstörungsverhalten der Probe von der S-auf-1-Prüfung erfasst wird.

4.3.4 Auswertung

4.3.4.1 Allgemeines

Nach der Untersuchung der Probe ist das Ergebnis des zuvor beschriebenen S-auf-1-Prüfablaufs eine Reihe von Datenpunkten der Art

(Q_{tp}, N_{min}) , dabei ist $N_{min} \leq S$	im Fall von Beschädigung,
(Q_{tp}, S)	wenn keine nachweisbaren Beschädigung auftrat

Die Auswertung der erhaltenen Daten (siehe Bild 2) kann mit Hilfe der charakteristischen Zerstörungskurve (siehe 4.3.4.2) oder des Extrapolationsverfahrens (siehe 4.3.4.3) erfolgen. Das Verfahren mit der charakteristischen Zerstörungskurve ermöglicht eine präzise Bestimmung der laserinduzierten Zerstörschwelle. Diese präzise Technik sollte bei grundlegenden Untersuchungen und Prüfungen von Prototypen angewendet werden. Auf der anderen Seite ist das Extrapolationsverfahren bei einer großen Anzahl an Pulsen ein praktisches Verfahren zur Abschätzung der S-auf-1-Zerstörschwelle.

4.3.4.2 Charakteristische Zerstörungskurve

Das S-auf-1-Zerstörschwellen-Prüfverfahren (siehe 4.3.3) wird durchgeführt und die sich ergebenden Datenpunkte werden aufgezeichnet. Für eine Bewertung mit ausreichender Aussagekraft muss eine Mindestanzahl N_{ms} von Prüforten bei jedem Energiewert Q_{tp} des typischen Pulses geprüft werden. Diese Mindestanzahl an Prüforten N_{ms} lässt sich mit der folgenden Beziehung abschätzen:

$$N_{ms} = 5 \times \text{integraler Wert von } (1 + \log_{10} S) \quad (1)$$

Der Wertebereich der beaufschlagten typischen Pulsenergien Q_{tp} muss hinreichend groß sein, damit Punkte mit Null Zerstörungswahrscheinlichkeit und Punkte mit 100 % Zerstörungswahrscheinlichkeit enthalten sind.

Die Zerstörungswahrscheinlichkeiten für eine festgelegte Anzahl N von Pulsen und einem festgelegten Energiewert Q werden mit Hilfe folgender Datenreduktionstechnik berechnet.

Die Energieskala ist in eine Reihe von Intervallen $[Q - \Delta Q, Q + \Delta Q)$ aufzuteilen, die den mit dem experimentellen Aufbau erfassten Energie-Wertebereich abdecken. Für die Berechnung der Zerstörungswahrscheinlichkeit bei einem bestimmten Energiewert Q und bei einer bestimmten Anzahl N von Pulsen werden Datenpunkte, für die $Q_{tp} = [Q - \Delta Q, Q + \Delta Q)$ gilt, aus der Sammlung von Datenpunkten ausgewählt. Datenpunkte mit $N_{min} \leq N$ entsprechen beschädigten Prüforten, während Datenpunkte mit $N_{min} > N$ oder $S \geq N$ nicht beschädigten Prüforten des in Betracht gezogenen Energieintervall entsprechen. Die Zerstörungswahrscheinlichkeit für die Energie Q errechnet sich aus dem Verhältnis der Anzahl von Datenpunkten mit Schädigung zur Gesamtanzahl der bei der Bewertung herangezogenen Datenpunkte.

ANMERKUNG 1 Der Wert von ΔQ ist so auszuwählen, dass ein wesentlicher Anteil von Datenpunkten für ein bestimmtes Intervall $[Q - \Delta Q, Q + \Delta Q)$ zur Verfügung steht. Während des Auswerteverfahrens wird der ΔQ konstant gehalten, wobei dieser Wert die statistische Fehlerrate der Schwellwerte bestimmt. Ein Beispiel für ein effizientes Messverfahren und eine geeignete Auswahl an Parametern ist in Anhang C aufgeführt.

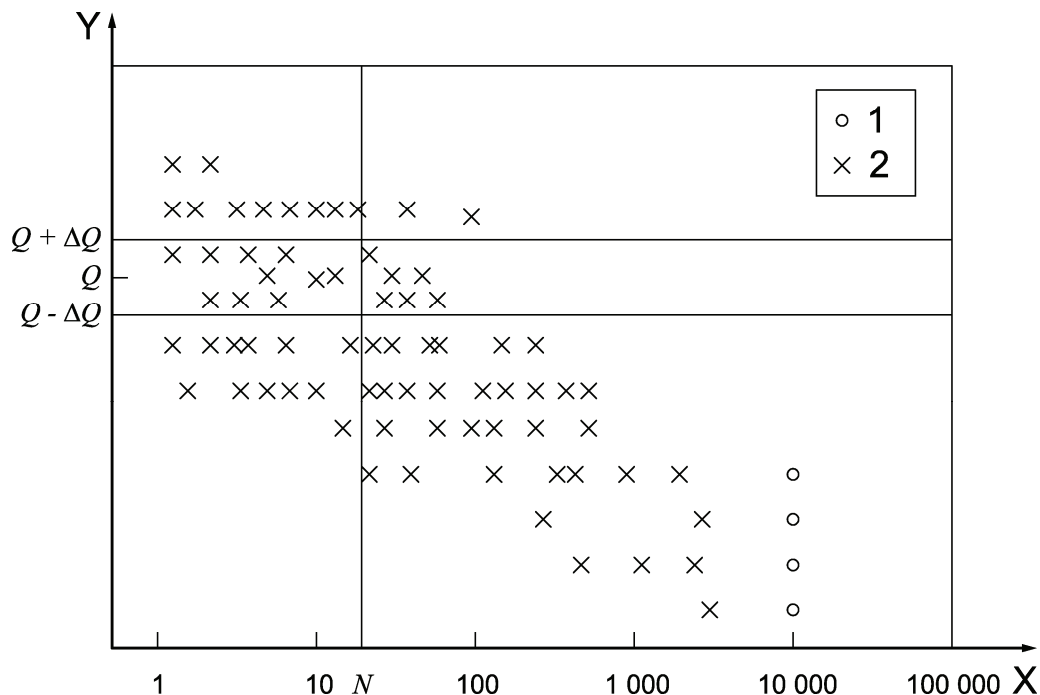
Dieser Vorgang wird mit anderen Energiewerten Q wiederholt, um einen Datensatz von Zerstörungswahrscheinlichkeiten für eine ausgewählte Anzahl N von Pulsen zu erstellen. Der sich ergebende Datensatz repräsentiert diskrete Punkte einer Zerstörungswahrscheinlichkeitskurve, die gegen die Energie der typischen Pulse aufgetragen wird. Aus dieser Kurve werden die Energiewerte Q_{10} , Q_{50} und Q_{90} für die entsprechenden Zerstörungswahrscheinlichkeitswerte von 10 %, 50 % und 90 % extrapoliert.

Die lineare Extrapolation der Zerstörungswahrscheinlichkeitskurve auf eine Zerstörungswahrscheinlichkeit von Null ergibt die Schwellwertenergie (siehe 4.2.4), die in die Einheiten der Schwellwertenergiedichte H_{th} oder Schwellwertleistungsdichte E_{th} umgerechnet werden muss.

Eine lineare Extrapolation, die jeweils die zwei Datenpunkte einschließt, welche der angepeilten Zerstörungswahrscheinlichkeit am nächsten liegen ist ausreichend. Liegt dem Experiment eine große Anzahl von Datenpunkten zugrunde, so sind auch weiterentwickelte Extrapolationsverfahren zulässig. Das verwendete Extrapolationsverfahren muss im Prüfbericht dokumentiert sein.

In Bild 2 sind Datenpunkte, die beschädigten Stellen entsprechen durch $\times$ und nicht beschädigte Stellen durch $\circ$ dargestellt. Das Auswertungsverfahren für die Zerstörungswahrscheinlichkeit ist im Diagramm durch das Intervall $[Q - \Delta Q, Q + \Delta Q)$ gekennzeichnet. Während des Experimentes kann mehr als ein Punkt für ein bestimmtes Datenpaar (Q_{tp}, S) oder (Q_{tp}, N_{min}) gefunden werden. Die Anzahl der Punkte für ein bestimmtes Datenpaar darf im Diagramm vermerkt werden.

Bild 2 ist eine illustrative Darstellung für einen typischen Datensatz, der in einer S-auf-1-laserinduzierten Zerstörschwellenmessung (LIDT) gewonnen wurde. Dementsprechend sind für die Pulsenergieskala willkürliche Einheiten angegeben, und keine Zahlen für das Auftreten identischer Datenpunkte eingetragen.



Legende

- X Anzahl der Pulse
- Y Pulsenergie in Millijoule
- 1 nicht beschädigt
- 2 beschädigt

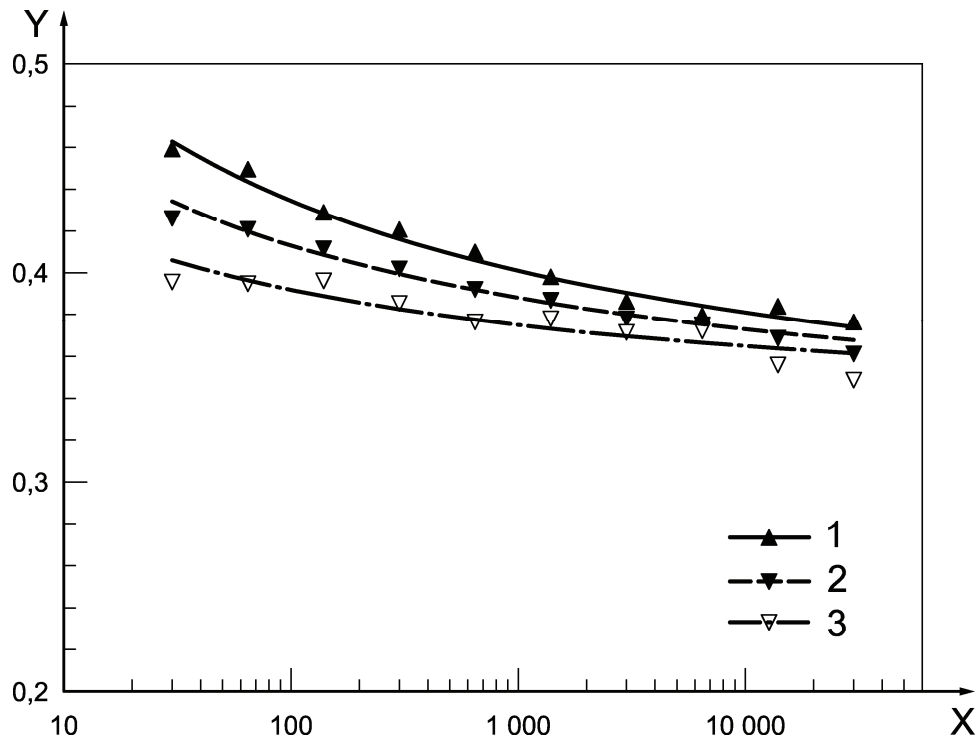
Bild 2 — Datenpunkte, die sich aus der Zerstörungsschwellenprüfungen ergeben

Für die Erstellung der charakteristischen Zerstörungskurve wird der oben beschriebene Algorithmus für eine ausgewählte Anzahl N von Pulsen wiederholt, um die entsprechenden Energiewerte Q_{10} , Q_{50} und Q_{90} zu bestimmen. Diese Werte werden in die Maßeinheiten in der die Zerstörungsschwelle angegeben wird, umgerechnet und gegen die Anzahl der Pulse aufgetragen. Die Anzahl der Pulse muss so gewählt werden, dass mindestens fünf Datenpunkte in dem maßgeblichen Bereich der charakteristischen Zerstörungskurve liegen. Für die Darstellung werden doppelt-logarithmische Koordinaten empfohlen, um eine lineare Extrapolation der charakteristischen Kurvenlinie der Zerstörungsschwelle bei einer großen Anzahl von Pulsen zu ermöglichen (siehe Bild 3).

ANMERKUNG 2 Bei einer extrem großen Anzahl von Pulsen sind doppelt-logarithmische Koordinaten für eine Extrapolation der charakteristischen Zerstörungskurve gegebenenfalls nicht geeignet. In vielen Fällen konvergiert die charakteristische Zerstörungskurve gegen eine endliche Energiedichte, und das Konvergenzverhalten kann Informationen über die laserinduzierten Alterungsmechanismen enthalten (siehe Anhang E).

4.3.4.3 Extrapolationsverfahren

Ein Verteilungsdiagramm von beschädigten und nicht beschädigten Bereichen kann mit Hilfe eines Verfahrens, das eine verringerte Anzahl an Datenpunkten enthält, erstellt werden. Bei dem Extrapolationsverfahren decken die Pulszahlen je Prüfort bei der Durchführung dieser S-auf-1-Prüfungen einen Bereich ab, der für eine definierte, große Anzahl von Pulsen für die Auswertung der S-auf-1-Zerstörungsschwelle geeignet ist. Ein leicht modifiziertes Prüfverfahren wird für einen ausgewählten Satz von Datenpunkten durchgeführt (siehe 4.3.3). Bei diesem Verfahren (Extrapolationsverfahren) wird die Anzahl der Pulse S während des Prüfverfahrens variiert und so gewählt, dass jeweils eine repräsentative Anzahl von Prüforten bei einer bestimmten Anzahl von Pulsen S bestrahlt wird. Die Bestrahlung eines einzelnen Prüfortes wird unterbrochen, wenn entweder die festgelegte Anzahl von Pulsen S erreicht wurde oder eine Beschädigung festgestellt wurde. Das Ergebnis dieses Bestrahlungsvorgangs in ein Satz von Datenpunkten (Q_{tp} , S , Zustand der Beschädigung), repräsentiert durch die Energie des typischen Pulses, der gewählten Anzahl von Pulsen bzw. dem Zustand der Beschädigung. Bei Proben mit selbstlöschenden Zerstörungsmechanismen kann das Extrapolationsverfahren auch in Prüfeinrichtungen für Zerstörungsschwellen ohne Online-Beschädigungsdetektionssystem angewendet werden. In diesem Fall wird jeder Prüfort mit der festgelegten Anzahl von Pulsen, unabhängig vom Grad der Zerstörung, bestrahlt.



Legende

- X Anzahl der Pulse
Y Energiedichte in Joule je Quadratzentimeter
1 90 %-LIDT
2 50 %-LIDT
3 10 %-LIDT

ANMERKUNG Die Prüfbedingungen waren die folgenden: $\tau_{\text{eff}} = 130 \text{ fs}$, $d_{\text{T,eff}} = 87 \text{ }\mu\text{m}$, $\lambda = 780 \text{ nm}$, $f_p = 1 \text{ kHz}$, Probe: HR-Spiegel ($\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$) für 780 nm

Bild 3 — Charakteristische Zerstörungskurve

Für jeden Datenpunkt wird dann der Energiewert Q_{tp} in die Einheit der Energiedichte oder der Leistungsdichte umgerechnet und in ein Diagramm gegen die Anzahl der Pulse aufgetragen. Indem die Datenpunkte entsprechend dem Beschädigungszustand gekennzeichnet werden, lassen sich im Diagramm Bereiche mit Beschädigung und ohne Beschädigung kennzeichnen. Das sich ergebende Verteilungsdiagramm (siehe Bild 4) ermöglicht eine annähernde Bewertung der Schwellwertenergiedichte für eine große Anzahl von Pulsen.

ANMERKUNG Im Vergleich zum Verfahren der charakteristischen Zerstörungskurve beruht das Extrapolationsverfahren auf einer wesentlich geringeren Anzahl an S-auf-1-Prüfungen, und es kann an einer einzigen Probe vorgenommen werden. Obwohl die Zuverlässigkeit des Extrapolationsverfahrens begrenzt ist, kann diese für die Qualitätssicherung eines Produktionsvorgangs, der bereits durch eine vollständige Prüfung der Zerstörungswahrscheinlichkeit verifiziert ist, oder zur Vorbereitung von umfangreichen Prüfungen der Zerstörschwelle ausreichend sein. Das sich aus dem Extrapolationsverfahren ergebende Verteilungsdiagramm lässt sich als grobe Abschätzung der charakteristischen Zerstörungskurve (siehe Bild 4) interpretieren, und es kann auch vom Datensatz der charakteristischen Zerstörungskurve abgeleitet werden.