

DIN 58175-2

ICS 31.260

**Laser und Laseranlagen –
Bestimmung der Eigenschaften von ultrakurzen Laserpulsen –
Teil 2: Autokorrelationsmessverfahren;
Text Deutsch und Englisch**

Lasers and laser-related equipment –
Determination of the properties of ultra-short laser pulses –
Part 2: Autocorrelation measurement method;
Text in German and English

Laser et équipement laser associé –
Détermination des propriétés des pulsations laser ultra-courtes –
Partie 2: Méthode de mesure d'autocorrélation;
Texte en allemand et anglais

Gesamtumfang 24 Seiten

Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	4
Einleitung.....	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Beschreibung des Verfahrens	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Scannendes Autokorrelationsverfahren zweiter Ordnung.....	8
4.2.1 Messaufbau	8
4.2.2 Vorbereitung.....	13
4.2.3 Kontrolle der Umgebung.....	13
4.2.4 Optische Komponenten	13
4.2.5 Anforderungen an das Detektorsystem	17
4.2.6 Signalfilterung.....	17
4.2.7 Kalibrierung der Zeitachse	17
4.2.8 Scanbereich.....	19
4.2.9 Bestimmung der Autokorrelations-Halbwertsdauer	19
5 Prüfbericht.....	23

Contents

Page

Foreword	5
Introduction	7
1 Scope	10
2 Normative references	10
3 Terms and definitions	10
4 Description of the method	10
4.1 General	10
4.2 Second order scanning autocorrelation method	10
4.2.1 Measuring system	10
4.2.2 Preparation	14
4.2.3 Control of environment	14
4.2.4 Optical components	14
4.2.5 Detector system requirements	18
4.2.6 Signal filtering	18
4.2.7 Calibration of the time axis	18
4.2.8 Scan range	20
4.2.9 Determination of the autocorrelation full width at half maximum	20
5 Test report	24

Vorwort

Diese Norm (DIN 58175-2) wurde vom Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO), Arbeitsausschuss NA 027-01-18 AA „Laser“ erstellt.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Die Normenreihe DIN 58175 *Laser und Laseranlagen — Bestimmung der Eigenschaften von ultrakurzen Laserpulsen* besteht aus:

- *Teil 1: Grundlagen*
- *Teil 2: Autokorrelationsmessverfahren*

Foreword

This standard (DIN 58175-2) has been prepared by technical committee NA 027-01-18 AA “Laser” of the Precision Mechanics and Optics Standards Committee (NAFuO).

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. DIN shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

DIN 58175 consists of the following parts, under the general title *Lasers and laser-related equipment — Determination of the properties of ultra-short laser pulses*:

- *Part 1: Principles*
- *Part 2: Autocorrelation measurement method*

Einleitung

Zur zeitlichen Charakterisierung ultrakurzer Laserpulse wurden in der Literatur verschiedene Verfahren vorgeschlagen. Da eine direkte Messung des zeitlichen Verlaufes von ultrakurzen Laserpulsen aufgrund ihrer kurzen Dauer und der wesentlich langsameren zeitlichen Antwortfunktion aller bekannten elektronischen Detektorsysteme nicht möglich ist (siehe DIN EN ISO 11554: $T_{\text{Detektor}} < 1/10 \cdot T_{\text{Puls}}$), müssen indirekte Verfahren zum Einsatz kommen, bei denen die Abtastung des Pulses durch ein physikalisches Ereignis zumindest vergleichbarer Dauer erfolgt. Eine Möglichkeit ist, hierzu den zu messenden Puls selbst zu verwenden.

Ein häufig genutztes und robustes Verfahren zur zeitlichen Charakterisierung ist das Messverfahren der optischen Autokorrelation. Das Ergebnis dieser Messung ist das Autokorrelationssignal, das nicht den zeitlichen Verlauf des elektrischen Feldes selbst wiedergibt, sondern mathematisch einer Korrelation des Pulses mit sich selbst entspricht. Dementsprechend ist die Autokorrelationsfunktion immer symmetrisch. Es kann als wesentliches Messergebnis die Halbwertsdauer des Autokorrelationssignals bestimmt werden, die aber lediglich eine Abschätzung der Halbwertsdauer des Pulses selbst erlaubt, wobei dazu gewisse Voraussetzungen über den zeitlichen Verlauf des Pulses nötig sind.

Dieser Teil von DIN 58175 befasst sich mit der Messung des zeitlichen Verlaufes von Ultrakurzzeitlaserpulsen, das heißt eine eventuell vorhandene transversale Struktur des elektrischen Feldes $\vec{F}(t, x, y)$ wird ignoriert. Dies erscheint für eine Reihe von in der Praxis vorkommenden ultrakurzen Laserpulsen zulässig, da der Strahl als annähernd homogen bezüglich seiner spektralen und zeitlichen Eigenschaften gelten kann. Zudem sind viele Anwendungen nicht empfindlich gegenüber einer transversalen Struktur, da anordnungsbedingt eine Mittelung über den Strahlquerschnitt erfolgt.

Das Autokorrelationsverfahren kann überall dort zum Einsatz kommen, wo eine direkte Messung des zeitlichen Verlaufes von ultrakurzen Laserpulsen aufgrund ihrer kurzen Dauer und der wesentlich langsameren zeitlichen Antwortfunktion elektronischer Detektorsysteme nicht möglich ist. Praktische Voraussetzungen sind das Vorhandensein eines geeigneten nichtlinearen Effektes und eines geeigneten Detektors im betreffenden Wellenlängenbereich.

Das Ergebnis dieser Messung ist die Autokorrelationsfunktion. Die Autokorrelationsfunktion ist nicht mit dem zeitlichen Intensitätsprofil des Laserpulses identisch und erlaubt es im Allgemeinen nicht einmal, selbige eindeutig ohne weitere Information zu bestimmen. Dennoch liefert die Autokorrelationsfunktion nützliche, wenn auch begrenzte Information über die zeitliche Struktur eines Laserpulses. Die Halbwertsbreite der Autokorrelation erlaubt keine eindeutige Bestimmung der Pulsdauer. Unter Annahme einer bestimmten mathematischen Form des Pulses kann jedoch eine Pulsdauer berechnet werden. Dieses reicht häufig in Anwendungen aus, in denen die zugrundeliegende Pulsform z. B. aus theoretischen Überlegungen bekannt ist.

Aufwendigere Messtechniken liefern zusätzliche Informationen, die die genaue Bestimmung der Pulsdauer unter bestimmten Voraussetzungen ermöglichen. Derartige Techniken werden in dieser Norm nicht behandelt.

Introduction

For temporal characterization of ultra-short laser pulses, different methods have been proposed in literature. Due to their short duration and the much longer response times of all known electronic detector systems ($T_{\text{detector}} < 1/10 \cdot T_{\text{pulse}}$, see DIN EN ISO 11554) a direct measurement of the temporal shape of ultra-short laser pulses is impossible. Therefore indirect methods must be applied, with the sampling of the pulse being carried out by a physical event of at least comparable duration. One alternative to comply with this requirement is the use of the pulse to be measured itself as the event of comparable duration.

A robust method that is often used for the temporal characterization of ultra-short laser pulses is the optical autocorrelation technique. The output of this measurement is the autocorrelation signal, which does not reflect the temporal shape of the electric field itself but mathematical corresponds to a correlation of the pulse with itself. Thus the autocorrelation function is always symmetrical. As an essential result the full width at half maximum of the autocorrelation function can be determined. However, the full width at half maximum of the autocorrelation function only allows derivation of the temporal full width of half maximum of the pulse shape when certain assumptions about the temporal pulse shape are made.

This part of DIN 58175 addresses the measurement of the temporal characteristics of ultra-short laser pulses, that is, a possible transverse structure of the electric field $\vec{E}(t, x, y)$ is ignored. This restriction appears acceptable for a range of practically relevant ultra-short laser pulses, because the beam can often be regarded as nearly homogeneous with respect to its spectral and temporal properties. Furthermore, many applications are not sensitive against a transverse structure because averaging over the beam diameter automatically takes place due to the specific arrangement.

The autocorrelation technique can be used in all cases where a direct measurement of the temporal behavior of ultra-short laser pulses is not possible due to their short duration and the substantially longer response times of electronic detector systems. Practical prerequisites are the availability of a suitable non-linear effect and a suitable detector in the relevant wavelength range.

The result of this measurement is the autocorrelation function. While the autocorrelation function must neither be confused with the temporal pulse profile nor does it enable to unambiguously reconstruct the latter without further knowledge, it delivers useful yet limited information on the pulse structure of an ultra-short pulse laser. This also means that the half width of the autocorrelation does not allow unambiguous information of the actual pulse duration. Yet, it allows estimation of the pulse duration when a certain pulse shape is assumed, which is frequently found sufficient in applications where the pulse shape is known, e.g. from theoretical considerations.

More complex measuring techniques that provide additional information allow for the determination of the actual pulse duration under certain conditions. These techniques, however, are beyond the scope of this standard.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt Prüfverfahren zur Bestimmung der Autokorrelationsfunktion von Ultrakurzpulsen fest.

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).

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

DIN 58175-1, *Laser und Laseranlagen — Bestimmung der Eigenschaften von ultrakurzen Laserpulsen — Teil 1: Grundlagen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 58175-1 und DIN EN ISO 11145.

4 Beschreibung des Verfahrens

4.1 Allgemeines

Beim Autokorrelationsverfahren wird der zu messende Laserpuls mit Hilfe eines Strahlteilers in zwei Teilpulse in möglichst gleichem Teilungsverhältnis aufgeteilt. Die beiden Teilpulse durchlaufen unterschiedliche optische Wege, wobei die Länge des einen Weges gegenüber der des anderen Weges variiert werden kann. Anschließend werden die beiden Teilpulse wieder zusammengeführt und zur räumlichen und zeitlichen Überlagerung gebracht. Das aus der Überlagerung erzeugte Signal wird mit einem zeitlich integrierenden Detektor (z. B. Photomultiplier oder Photodiode) gemessen. Durch Variation der Länge des optischen Weges des einen Teilstrahles ändert sich die relative zeitliche Position der Teilpulse zueinander und entsprechend der Grad der zeitlichen Überlagerung. Die Höhe des erzeugten Messsignals hängt von dem jeweiligen Grad der zeitlichen Überlagerung und somit von der Länge des variablen Teilweges ab und wird in Abhängigkeit von dieser Länge gemessen. Aus der Messung der Längenvariation lässt sich mit der Lichtgeschwindigkeit c die relative zeitliche Verzögerung Δt der beiden Teilpulse zueinander bestimmen. Die Messung ergibt also ein Signal in Abhängigkeit von Δt und spiegelt damit den zeitlichen Verlauf des Pulses wieder. Zur Realisierung des Verfahrens sind verschiedenste Ausführungsvarianten entwickelt worden. DIN 58175-2 beschreibt das am häufigsten verwendete scannende Autokorrelationsverfahren zweiter Ordnung, das sich zur Charakterisierung sich periodisch wiederholender Pulse eignet.

4.2 Scannendes Autokorrelationsverfahren zweiter Ordnung

4.2.1 Messaufbau

Im Folgenden wird das scannende Autokorrelations-Messverfahren basierend auf der Nutzung eines nichtlinearen Kristalls als Wechselwirkungsmedium zweiter Ordnung mit nachgeschaltetem Detektor (SHG-Autokorrelator) beschrieben.

Bei dieser Realisierungsvariante werden die beiden gegeneinander verzögerten Teilpulse in einem optisch nichtlinearen Medium zur Überlagerung gebracht. Als scannend wird das Verfahren bezeichnet, weil die Messung an mehreren aufeinander folgenden (und als identisch angenommenen) Laserpulsen mit jeweils