

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft,
Forschung und Technologie

Forschungsbericht

Untersuchungen zu ISO- Standardmeßverfahren zur Charakterisierung optischer Laserkomponenten

Förderkennzeichen: 13EU0140/1

im EUREKA-Verbundprojekt

EUROLASER CHOCLAB (EU 1269):

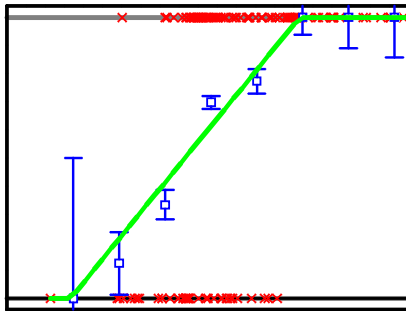
Instruments and Standard Test Procedures for
Laser Beam and Optics Characterization

von: U. Willamowski, D. Ristau, T. Groß,
P.Kadkhoda, H. Ehlers, K. Starke

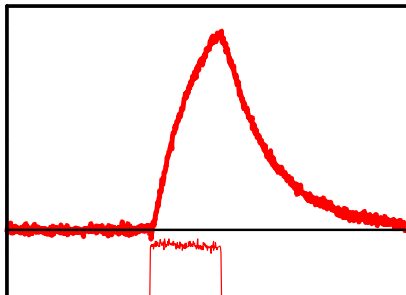
Laser Zentrum Hannover e.V.
Hollerithallee 8
30419 Hannover

Projektleiter: Dr. D. Ristau

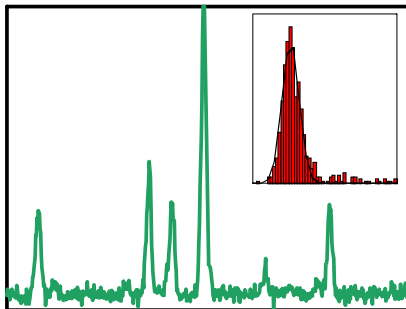
Dezember 1998



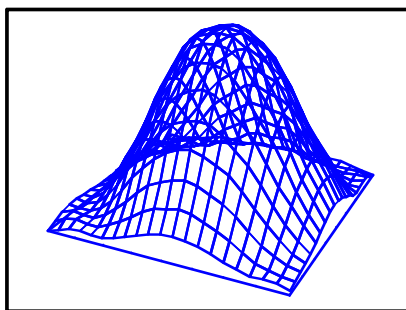
Zerstörschwellenmessungen



Absorptionsgradmessungen



Streumessungen



Transmission- und
Reflexionsgradmessungen



LASER ZENTRUM HANNOVER e.V.

**Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft,
Forschung und Technologie**

Forschungsbericht / Abschlußbericht

Förderkennzeichen: 13EU0140/1

EUREKA-Verbundprojekt EUROLASER CHOCLAB (EU 1269):
Instruments and Standard Test Procedures for Laser Beam
and Optics Characterization

Thema: Untersuchungen zu ISO-Standardmeßverfahren zur
Charakterisierung optischer Laserkomponenten

von

U. Willamowski, D. Ristau, T. Groß, P. Kadkhoda, H. Ehlers, K. Starke

Laser Zentrum Hannover e.V.
Hollerithallee 8
30419 Hannover

Projektleiter: Dr.D. Ristau

Dezember 1998

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zerstörschwellenmessung	3
2.1	Zerstörschwellenmessungen mit dem CO ₂ -Laser	5
2.1.1	Neuaufbau des 2-Modul-TEA-Lasers	5
2.1.2	Round-Robin-Experiment LIDT mit dem CO ₂ -Laser	8
2.1.3	S-on-1 - Messung	10
2.2	Einzelpulsmessungen mit dem Nd:YAG-Laser	11
2.3	CW-Mikrofokus-Messungen mit dem Nd:YAG-Laser	15
2.3.1	Strahlquelle	15
2.3.2	Fokussiereinheit	16
2.3.3	Strahlcharakterisierung	16
2.3.4	Probenpositionierung	17
2.3.5	CW-Zerstörschwellenmessungen	20
2.4	Hochrepetierliche Multipulsmessungen mit dem Nd:YAG-Laser	21
2.5	Auswertung von Zerstörschwellendaten	22
2.5.1	Iterative Zerstörschwellenbestimmung	29
3	Bestimmung des Absorptionsgrads	31
3.1	Begriffsbestimmung	32
3.2	Indirekte photothermische Verfahren	33
3.3	Laserkalorimetrisches Verfahren nach ISO 11551	35
3.4	Praktikabilität von ISO 11551 im FIR- und MIR-Spektrum	37
3.4.1	1. Round-Robin-Experiments zum Absorptionsgrad bei 10.6 μm	38
3.4.2	2. Round-Robin-Experiments zum Absorptionsgrad bei 10.6 μm	40
3.4.3	Messungen bei 2.1 μm und 2.9 μm	51
3.5	Praktikabilität von ISO 11551 im NIR- und VIS-Spektrum	52

3.5.1	Round-Robin-Messungen bei 1.06 μm	53
3.5.2	Einfluß der Probenreinigung auf den Absorptionsgrad	56
3.6	Fazit der Praktikabilitätsprüfungen	58
3.7	Analyse kalorimetrischer Daten	59
3.7.1	Einführung	59
3.7.2	Theorie der Probenerwärmung	60
3.7.3	Ableitung von Auswerteverfahren	68
3.7.4	Berücksichtigung von Wärmeleitungseffekten	73
3.8	Optimierung des Meßverfahrens	81
3.8.1	Empfindlichkeit	81
3.8.2	Temperaturdrift	83
3.8.3	Störungen durch Streulicht	84
3.8.4	Probenhalterung	87
3.8.5	Kalibrierungsmessungen	88
3.9	Beispiele hochempfindlicher Laserkalorimetrie	91
3.9.1	Polarisationsabhängige Messungen an KTP-Kristallen	92
3.9.2	Unterscheidung von Oberflächen- und Bulkabsorption	95
3.9.3	Alternative laserkalorimetrische Meßkonzepte	96
3.10	Zusammenfassung	97
4	Optische Streuung von Laserkomponenten	100
4.1	Einleitung	100
4.2	Prinzip für die Messung der totalen Streuung	101
4.2.1	Strahlquelle	103
4.2.2	Strahlaufbereitung	103
4.2.3	Integrationelemente für die Streustrahlung	104
4.2.4	Detektion der Streustrahlung und Probenhalterung	106
4.2.5	Streumessung mit hoher Nachweisempfindlichkeit	106
4.2.6	Meßaufbau mit einer Ulbrichtkugel	106
4.2.7	Meßaufbau mit einer Coblenz-Halbkugel	108
4.3	Meßablauf	109
4.3.1	Probenvorbereitung und Prüfumgebung	109
4.3.2	Vorbereitung und Meßprozedur	110
4.3.3	Auswertung	111

4.3.4 Fehlerbetrachtungen	112
4.4 Einflußgrößen in der TS-Messung	112
4.4.1 Erweiterte statistische Auswertung	113
4.4.2 Strahldurchmesser	114
4.5 Round-Robin-Test für die TS-Messung nach ISO/DIS 13696	115
4.5.1 Probensatz und Meßzyklus	116
4.5.2 Eingesetzte Meßapparaturen	117
4.6 Zusammenfassung	119
5 Bestimmung der Reflektivität und Transmissivität	121
5.1 Einführung	121
5.2 Das Meßverfahren nach ISO/WD 13697	123
5.2.1 Meßanordnung und -durchführung	124
5.2.2 Signalanalyse	125
5.2.3 Leistungsreferenzmessung durch zweite Signalmodulation	128
5.3 Strahlführungskonzepte	129
5.3.1 Strahlanordnung des Normenentwurfs	129
5.3.2 Transmissivitätsmessungen	131
5.3.3 Reflektometervariante mit akusto-optischer Strahlmodulation	131
5.3.4 Strahlanordnung angeglicher Propagationslängen	133
5.3.5 Kombinationskonzept	134
5.3.6 Konzept der direkten Messung	136
5.3.7 Ortsaufgelöste Messungen	138
5.3.8 Winkelaufgelöste Reflexionsmessungen	139
5.4 Abschätzung von Fehlereinträgen	142
5.4.1 Laserstrahl	142
5.4.2 Strahlmodulation	144
5.4.3 Fehlerquelle Signaldetektion und -analyse	150
5.5 Apparative Umsetzung	152
5.5.1 Reflektometer bei 1,06 μm und 10,6 μm	152
5.5.2 Laserkalorimetrische Transmissionsgradmessungen	154
5.6 Diskussion der Meßkonzepte	155
5.7 Zusammenfassung	157
5.8 Komplementäre Reflektivitäts- und Verlustmessungen	158

6	Übergreifende Arbeiten, Veröffentlichungen	163
6.1	Workshops und Round-Robin-Experimente	163
6.2	Normenarbeit	164
6.3	Veröffentlichungen	164
7	Zusammenfassung und Ausblick	170
	Abbildungsverzeichnis	176
	Tabellenverzeichnis	179
	Literaturverzeichnis	181

Kapitel 1

Einleitung

Für den lasertechnologischen Fortschritt ist die Verfügbarkeit zuverlässiger und reproduzierbarer Verfahren zur Charakterisierung optischer Laserkomponenten aus zweierlei Gründen eine entscheidende Voraussetzung: Einerseits ist die grundlegende Neuentwicklung und Optimierung hochwertiger Komponenten ohne ein geeignetes Instrumentarium zur Quantifizierung der entscheidenden Eigenschaften überhaupt nicht denkbar. Aber auch auf der Anwendungsseite, d.h. bei Produzenten, Vertreibern und Anwendern der Laser und Lasersystemelemente gibt es einen erheblicher Bedarf nach standardisierten Charakterisierungsverfahren, etwa im Rahmen des „Quality Managements“ oder zur Dokumentation der Produktvorteile und -nachteile im Wettbewerb der Anbieter.

Die rasante Dynamik der Lasertechnik erfordert somit ein kontinuierliches und intensives Engagement bei der Konzeptionierung, Evaluierung und schließlich Standardisierung von Meßmethoden, mit denen die relevanten Qualitätsparameter untersucht werden können[48, 97, 46, 76]. Aus dieser Problematik leitet sich die Zielstellung des hier geschilderten Forschungsprojekts direkt ab: Die zentrale Aufgabe ist die Unterstützung nationaler und internationaler Normenarbeit, welche sich mit dem Gebiet der Laser- und Laserkomponentencharakterisierung beschäftigt. Das umfaßt sowohl die aktive Mitarbeit in den relevanten Normengremien, als auch die notwendigen begleitenden wissenschaftlichen Arbeiten zur Prüfung von Normentwürfen und zur Konzeptionierung neuer oder modifizierter Verfahren.

Konkret sind hinsichtlich der Standardisierung von Laseroptik-Charakterisierungsverfahren vier Schwerpunkte zu benennen, denen jeweils entsprechende Normprojekte¹ zugeordnet sind.

- Prüfverfahren für die Bestimmung der Zerstörschwelle (ISO 11254-x)
- Prüfverfahren für den Absorptionsgrad (ISO 11551)

¹Die Bezifferung dieser Projekte erfolgt der Einfachheit halber im folgenden als „ISO XXXXX“, obwohl diese Bezeichnung eigentlich erst nach der Verabschiedung und Veröffentlichung eines fertigen Standards korrekt ist. Bis dahin wird der vorläufige Projektstatus durch zusätzliche Kürzel dokumentiert, wie z.B. „ISO/DIS XXXXX“ (Draft International Standard...) oder „ISO/WD“ (ISO Working Draft). Da der Projektstatus ständigen Änderungen unterliegt, wurde auf die Kürzel zum Teil verzichtet.

- Prüfverfahren für die Bestimmung von Streustrahlung (ISO 13696)
- Prüfverfahren für die Bestimmung von Reflexions- und Transmissionsgrad (ISO 13697)

Die Gliederung des vorliegenden Berichts orientiert sich an diesen Arbeitspunkten. In den einzelnen Kapiteln wird dabei zunächst das jeweilige Meßprinzip dargestellt und erläutert. Zu jedem der genannten Prüfverfahren werden entsprechende Meßplätze für jeweils mindestens zwei verschiedene, prominente Laserwellenlängen aufgebaut bzw. ergänzt und optimiert. Die Praktikabilität der Verfahren wird dabei anhand eigener Untersuchungen und durchgeführter Round-Robin-Experimente (Vergleichende Messungen im Verband mit anderen Laboren) dokumentiert. Mögliche Defizite hinsichtlich der Präzision und Reproduzierbarkeit werden dabei herausgestellt und Optimierungsansätze bzw. konzeptionelle Alternativen werden sowohl theoretisch als auch praktisch erarbeitet.

Zur Prüfung der Konsistenz der unterschiedlichen Verfahren wird in einem gesonderten Kapitel die Streuung sowie der Absorptions-, Reflexions-, und Transmissionsgrad an einem Satz von Laserspiegeln vergleichend charakterisiert. Anhand der Gegenüberstellung der Ergebnisse können Konsistenzbetrachtungen durchgeführt werden, aus denen sich weitere wichtige Aussagen über die Eignung der verfahren ableiten lassen.

Vor dem Hintergrund dieser Arbeiten wird der Status der Normenprojekte bewertet und die erforderlichen zukünftigen Arbeiten zu diesen Themenbereichen, sowie zu weiteren, sich im Lauf der Arbeiten ergebenden Aufgabenfeldern werden skizziert.