

Originalbetriebsanleitung



MicroSpotMonitor MSM

LaserDiagnosticsSoftware LDS 2.98

WICHTIG!

VOR DEM GEBRAUCH SORGFÄLTIG LESEN!

ZUR SPÄTEREN VERWENDUNG AUFBEWAHREN!

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlegende Sicherheitshinweise	9
2	Symbolerklärung	11
3	Über diese Betriebsanleitung	12
4	Bedingungen am Einbauort	12
5	Einleitung	13
5.1	Systembeschreibung.....	13
5.2	Messprinzip.....	14
5.3	Kurzübersicht Installation.....	15
6	Transport	16
6.1	Transportsicherung demontieren	16
6.2	Transportsicherung montieren	17
7	Montage	17
7.1	Vorbereitung und Einbaulage.....	17
7.2	MicroSpotMonitor MSM manuell ausrichten	18
7.2.1	Wichtige Bedingungen zur Position des fokussierten Laserstrahls.....	18
7.2.2	Positionierung des fokussierten Laserstrahls über dem Messobjektiv	19
7.2.3	Positionierung des fokussierten Laserstrahls über dem optionalen Zyklon.....	20
7.3	MicroSpotMonitor MSM montieren.....	21
8	Kühlkreis anschließen (nur 500 W Version)	22
8.1	Wasserqualität.....	22
8.2	Wasserdruck	22
8.3	Luftfeuchtigkeit.....	23
8.4	Wasseranschlüsse und Wasserdurchflussmenge.....	24
9	Elektrischer Anschluss	25
9.1	Anschlüsse	25
9.2	Pinbelegung	26
9.2.1	Spannungsversorgung.....	26
9.2.2	Eingang externer Trigger	26
9.2.3	Ausgang interner Trigger	26
9.2.4	Ausgang internes Datentransfer-Signal.....	26
9.3	Anschluss an den PC und Stromversorgung anschließen.....	27
10	Status-LEDs	28
11	Installieren und konfigurieren der LaserDiagnosticsSoftware LDS	29
11.1	Systemvoraussetzungen	29
11.2	Software installieren	29
11.3	Ethernetverbindung einrichten.....	30
11.3.1	IP-Adresse eingeben.....	30
11.3.2	Verbindung zum PC aufbauen (Menü Kommunikation > Freie Kommunikation)	31
11.3.3	Standard-IP-Adresse des Gerätes ändern (Menü Kommunikation > Freie Kommunikation).....	32

12	Beschreibung der LaserDiagnosticsSoftware LDS	34
12.1	Grafische Benutzeroberfläche	34
12.1.1	Die Menüleiste	36
12.1.2	Die Werkzeugleiste.....	37
12.1.3	Menü-Übersicht	38
12.2	Datei	41
12.2.1	Neu (Menü Datei > Neu).....	41
12.2.2	Öffnen (Menü Datei > Öffnen)	41
12.2.3	Schließen/Alle Dateien Schließen (Menü Datei > Schließen/ Alle Dateien Schließen).....	41
12.2.4	Speichern (Menü Datei > Speichern)	41
12.2.5	Speichern unter (Menü Datei > Speichern unter)	41
12.2.6	Export (Menü Datei > Export).....	41
12.2.7	Messeinstellungen laden (Menü Datei > Messeinstellungen laden).....	42
12.2.8	Messeinstellungen speichern (Menü Datei > Messeinstellungen speichern).....	42
12.2.9	Protokoll (Menü Datei > Protokoll)	42
12.2.10	Drucken (Menü Datei > Drucken).....	42
12.2.11	Vorschau Drucken (Menü Datei > Vorschau Drucken).....	42
12.2.12	Zuletzt geöffnete Datei (Menü Datei > zuletzt geöffnete Datei).....	42
12.2.13	Ende (Menü Datei > Ende)	42
12.3	Bearbeiten	43
12.3.1	Kopieren (Menü Bearbeiten > Kopieren)	43
12.3.2	Ebene löschen (Menü Bearbeiten > Ebene löschen).....	43
12.3.3	Alle Ebenen löschen (Menü Bearbeiten > Alle Ebenen löschen)	43
12.3.4	Benutzerlevel ändern (Menü Bearbeiten > Benutzerlevel ändern)	43
12.4	Messung.....	44
12.4.1	Messumgebung (Menü Messung > Messumgebung)	44
12.4.2	Sensorparameter (Menü Messung > Sensorparameter)	45
12.4.3	Einstellung Strahlsuche (Menü Messung > Einstellungen: Strahlsuche)	46
12.4.4	CCD Geräteinfo (Menü Messung > CCD Geräteinfo)	47
12.4.5	CCD-Einstellung (Menü Messung > CCD Einstellung).....	48
12.4.6	LQM-Justage (Menü Messung > LQM-Justage)	50
12.4.7	Leistungsmessung (Menü Messung > Leistungsmessung)	50
12.4.8	Einzelmessung (Menü Messung > Einzelmessung)	50
12.4.9	Kaustik (Menü Messung > Kaustik).....	54
12.4.10	Start Justiermode (Menü Messung > Start Justiermode).....	55
12.4.11	Optionen (nur für advanced User (Menü Messung > Optionen)	56
12.5	Darstellung.....	58
12.5.1	Falschfarben (Menü Darstellung > Falschfarben).....	59
12.5.2	Falschfarben (gefiltert) (Menü Darstellung > Falschfarben (gefiltert)).....	60
12.5.3	Isometrie (Menü Darstellung > Isometrie).....	60
12.5.4	Isometrie 3D (Menü Darstellung > Isometrie 3D).....	61
12.5.5	Übersicht 86 % bzw. 2. Momente (Menü Darstellung > Übersicht (86%)/ (2. Momente))	62
12.5.6	Kaustik (Menü Darstellung > Kaustik).....	63
12.5.7	Rohstrahl (Menü Darstellung > Rohstrahl)	67
12.5.8	Symmetrieprüfung (Menü Darstellung > Symetrieprüfung)	68
12.5.9	Feste Schnitte (Menü Darstellung > Feste Schnitte)	69
12.5.10	Variable Schnitte (Menü Darstellung > Variable Schnitte).....	70
12.5.11	Graphische Übersicht (Menü Darstellung > Grafische Übersicht).....	72
12.5.12	Systemstatus (Menü Darstellung > Systemstatus).....	72
12.5.13	Evaluierungsparameter (Menü Darstellung > Evaluierungsparameter)	73
12.5.14	Evaluiere Dokument (Menü Darstellung > Evaluiere Dokument)	74
12.5.15	Farbtafeln (Menü Darstellung > Farbtafeln)	76
12.5.16	Werkzeugleiste (Menü Darstellung > Werkzeugleiste).....	76
12.5.17	Position (Menü Darstellung > Position).....	77
12.5.18	Evaluation (Option) (Menü Darstellung > Evaluation)	77

12.6	Kommunikation.....	79
12.6.1	Geräte suchen (Menü Kommunikation > Geräte suchen)	79
12.6.2	Freie Kommunikation (Menü Kommunikation > Freie Kommunikation)	79
12.6.3	Liste gesuchter Geräte (Menü Kommunikation > Liste gesuchter Geräte)	80
12.7	Skript (Menü Script).....	81
12.7.1	Editor (Menü Script > Editor)	81
12.7.2	Auflisten (Menü Script > Auflisten).....	81
12.7.3	Python (Menü Script > Python).....	81
13	Messen	82
13.1	Sicherheitshinweise.....	82
13.2	Auswahl und Wechsel der Messobjektive	83
13.2.1	Auswahl des Messobjektivs	83
13.2.2	Messobjektiv wechseln	85
13.2.3	Zerstörschwellen.....	86
13.3	Messung vorbereiten.....	89
13.3.1	Checkliste Sicherheitsvorkehrungen.....	89
13.3.2	Checkliste Messeinstellungen	89
13.4	Flussdiagramm einer Messung	90
13.4.1	Messung vorbereiten	90
13.4.2	Kaustikgrenzen bestimmen	90
13.4.3	Kaustikmessung durchführen.....	91
13.5	Messeinstellungen in der LaserDiagnosticsSoftware LDS vornehmen.....	92
13.5.1	Sensorparameter (Menü Messung > Sensorparameter)	93
13.5.2	Messumgebung (Menü Messung > Messumgebung)	94
13.5.3	Messeinstellungen (Menü Messung > Einzelmessung).....	95
13.5.4	Kaustikeinstellungen (Menü Messung > Kaustik)	96
13.5.5	CCD-Einstellung (Menü Messung > CCD Einstellung).....	98
13.5.6	Optionen (nur für advanced User (Menü Messung > Optionen)	100
13.5.7	CCD Geräteinfo (Menü Messung > CCD Geräteinfo)	101
13.5.8	Einzelmessung (Menü Messung > Einzelmessung)	102
13.5.9	Kaustikmessung (Menü Messung > Kaustik)	104
14	Fehleranalyse	108
14.1	Fehler während einer Messung.....	108
14.2	Kein Messsignal am MicroSpotMonitor MSM	108
15	Wartung und Inspektion	109
15.1	Schutzglas wechseln.....	109
15.1.1	Sicherheitshinweise.....	109
15.1.2	Schutzglas wechseln	110
15.1.3	Schutzglas beim Zyklon wechseln.....	111
16	Lagerung	112
17	Maßnahmen zur Produktentsorgung	112
18	Konformitätserklärung	113
19	Technische Daten	114

20	Abmessungen	116
21	Anhang	117
21.1	Festen OD-Filter (Option) in den Revisionsschacht einsetzen.....	117
21.2	Datei „laserds.ini“ – ein Beispiel.....	118
21.3	Beschreibung des MDF-Dateiformats.....	119
21.4	Optische Komponenten	120
21.4.1	Messobjektiv.....	121
21.4.2	Fester Filter und Filterrad.....	126
21.4.3	Strahlwegverlängerung (SWV).....	127
21.4.4	Justageobjektiv (JO).....	127
21.4.5	Absorber.....	128
21.4.6	Triggerdiode.....	128
21.4.7	CCD-Sensor	128
21.5	Messen von gepulster Laserstrahlung	132
21.5.1	Auswahl der Messkonfiguration.....	134
21.5.2	Einfluss der Pulsparameter auf die Integrationszeitsteuerung.....	134
21.5.3	Beispiele für den getriggerten Messbetrieb.....	138
21.5.4	Zusammenfassung	139
22	Grundlagen der Strahldiagnose	140
22.1	Laserstrahlparameter	140
22.1.1	Rotationssymmetrische Strahlen.....	141
22.1.2	Nicht rotationssymmetrische Strahlen	142
22.2	Berechnung der Strahldaten.....	143
22.2.1	Bestimmung des Nulllevels	143
22.2.2	Bestimmung der Strahlage.....	144
22.2.3	Radiusbestimmung mit dem 2. Moment der Leistungsdichteverteilung	144
22.2.4	Radiusbestimmung mit der Methode des 86%igen Leistungseinschlusses	145
22.2.5	Weitere Radiusdefinitionen (Option)	146
22.3	Messfehler	147
22.3.1	Fehler bei der Nulllevelbestimmung	147
22.3.2	Übersteuerung des Signals	147
22.3.3	Fehler durch falsche Wahl der Messfenstergröße	148

PRIMES - das Unternehmen

PRIMES ist ein Hersteller von Messgeräten zur Laserstrahlcharakterisierung. Diese Geräte werden zur Diagnostik von Hochleistungslasern eingesetzt. Das reicht von CO₂-Lasern über Festkörperlaser bis zu Diodenlasern. Der Wellenlängenbereich von Infrarot bis nahe UV wird abgedeckt. Ein großes Angebot von Messgeräten zur Bestimmung der folgenden Strahlparameter steht zur Verfügung:

- Laserleistung
- Strahlabmessungen und die Strahlage des unfokussierten Strahls
- Strahlabmessungen und die Strahlage des fokussierten Strahls
- Beugungsmaßzahl M^2

Entwicklung, Produktion und Kalibrierung der Messgeräte erfolgt im Hause PRIMES. So werden optimale Qualität, exzellenter Service und kurze Reaktionszeit sichergestellt. Das ist die Basis, um alle Anforderungen unserer Kunden schnell und zuverlässig zu erfüllen.



PRIMES GmbH
Max-Planck-Str. 2
64319 Pfungstadt
Deutschland

Tel +49 6157 9878-0
info@primes.de
www.primes.de

1 Grundlegende Sicherheitshinweise

Bestimmungsgemäße Verwendung

Der MicroSpotMonitor MSM ist ausschließlich dazu gebaut, Messungen im oder in der Nähe des Strahlengangs von Hochleistungslasern durchzuführen. Hierbei sind die im Kapitel 19, „Technische Daten“, auf Seite 114 angegebenen Spezifikationen und Grenzwerte einzuhalten. Jeder darüber hinausgehende Gebrauch gilt als nicht bestimmungsgemäß. Für eine sachgemäße Anwendung des Gerätes müssen unbedingt die Angaben in dieser Betriebsanleitung beachtet werden.

Das Benutzen des Gerätes für nicht vom Hersteller spezifizierten Gebrauch ist strikt untersagt. Das Gerät kann dadurch beschädigt oder zerstört werden. Zudem besteht eine erhöhte gesundheitliche Gefährdung bis hin zu tödlichen Verletzungen. Das Gerät darf nur in der Art und Weise eingesetzt werden, aus der keine potentielle Gefahr für Menschen entsteht.

Das Gerät selbst emittiert keine Laserstrahlung. Jedoch wird während der Messung der Laserstrahl auf das Gerät geleitet. Dabei entsteht reflektierte Strahlung (**Laserklasse 4**). Deshalb sind die geltenden Sicherheitsbestimmungen zu beachten und erforderliche Schutzmaßnahmen zu treffen.

Geltende Sicherheitsbestimmungen beachten

Beachten Sie die nationalen und internationalen Bestimmungen und Normen von ISO/CEN sowie die Vorschriften der Berufsgenossenschaft. Nationale Grundlage der Sicherheitsbestimmungen ist die Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OstrV) und darauf basierend die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS Laserstrahlung).

Erforderliche Schutzmaßnahmen treffen



GEFAHR

Schwere Verletzungen der Augen oder der Haut durch Laserstrahlung

Während der Messung wird der Laserstrahl auf das Gerät geleitet. Dabei entsteht gestreute oder gerichtete Reflexion des Laserstrahls (Laserklasse 4). Die reflektierte Strahlung ist in der Regel nicht sichtbar.

- **Beachten Sie die folgenden Schutzmaßnahmen.**

Wenn sich Personen in der Gefahrenzone sichtbarer oder unsichtbarer Laserstrahlung aufhalten, z. B. an nur teilweise abgedeckten Lasersystemen, offenen Strahlführungssystemen und Laserbearbeitungsbereichen, sind folgende Schutzmaßnahmen zu treffen:

- Tragen Sie **Laserschutzbrillen**, die an die verwendete Leistung, Leistungsdichte, Laserwellenlänge und Betriebsart der Laserstrahlquelle angepasst sind.
- Je nach Laserquelle kann das Tragen von geeigneter **Schutzkleidung** oder **Schutzhandschuhen** notwendig sein.
- Schützen Sie sich vor direkter Laserstrahlung, Streureflexen sowie vor Strahlen, die durch die Laserstrahlung generiert werden (z. B. durch geeignete trennende Schutzeinrichtungen oder auch durch Abschwächung dieser Strahlung auf ein unbedenkliches Niveau).
- Verwenden Sie Strahlführungs- bzw. Strahlabsorberelemente, die keine gefährlichen Stoffe freisetzen sobald sie mit der Laserstrahlung beaufschlagt werden und die dem Strahl hinreichend widerstehen können.
- Installieren Sie Sicherheitsschalter und/oder Notfallsicherheitsmechanismen, die das unverzügliche Schließen des Verschlusses am Laser ermöglichen.
- Befestigen Sie das Gerät stabil, um eine Relativbewegung des Gerätes zur Strahlachse des Lasers zu verhindern und somit die Gefährdung durch Streustrahlung zu reduzieren. Nur so ist eine optimale Performance während der Messung gewährleistet.

Qualifiziertes Personal einsetzen

Das Gerät darf ausschließlich durch Fachpersonal bedient werden. Das Fachpersonal muss in die Montage und Bedienung des Gerätes eingewiesen sein und grundlegende Kenntnisse über die Arbeit mit Hochleistungslasern, Strahlführungssystemen und Fokussiereinheiten haben.

Umbauten und Veränderungen

Das Gerät darf ohne unsere ausdrückliche Zustimmung weder konstruktiv noch sicherheitstechnisch verändert werden. Das Gerät darf nicht geöffnet werden, um z. B. eigenmächtige Reparaturen auszuführen. Jede Veränderung schließt eine Haftung unsererseits für resultierende Schäden aus.

Haftungsausschluss

Der Hersteller und der Vertreiber der Messgeräte schließt die Haftung für Schäden oder Verletzungen jeder Art aus, die durch den unsachgemäßen Gebrauch der Messgeräte oder die unsachgemäße Benutzung der zugehörigen Software entstehen. Der Käufer und der Benutzer verzichten sowohl gegenüber dem Hersteller als auch dem Lieferanten auf jedweden Anspruch auf Schadensersatz für Schäden an Personen, materielle oder finanzielle Verluste durch den direkten oder indirekten Gebrauch der Messgeräte.

2 Symbolerklärung

Folgende Symbole und Signalwörter weisen auf mögliche Restrisiken hin:



GEFAHR

Bedeutet, dass Tod oder schwere Körperverletzung eintreten **wird**, wenn die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen nicht getroffen werden.



WARNUNG

Bedeutet, dass Tod oder schwere Körperverletzung eintreten **kann**, wenn die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen nicht getroffen werden.



VORSICHT

Bedeutet, dass eine leichte Körperverletzung eintreten **kann**, wenn die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen nicht getroffen werden.

ACHTUNG

Bedeutet, dass Sachschaden entstehen **kann**, wenn die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen nicht getroffen werden.

Am Gerät selbst wird auf Gebote und mögliche Gefahren mit folgenden Symbolen hingewiesen:



Warnung vor Handverletzungen



ESD-gefährdete Bauteile



Vor Inbetriebnahme die Betriebsanleitung und die Sicherheitshinweise lesen und beachten!

Weitere Symbole, die nicht sicherheitsrelevant sind:



Hier finden Sie nützliche Informationen und hilfreiche Tipps.



Mit der CE-Kennzeichnung garantiert der Hersteller, dass sein Produkt den Anforderungen der relevanten EG-Richtlinien entspricht.

- ▶ Handlungsaufforderung

3 Über diese Betriebsanleitung

Diese Dokumentation beschreibt die Arbeit mit dem MicroSpotMonitor MSM und dessen Bedienung mit der LaserDiagnosticsSoftware LDS 2.98.

Bei der Beschreibung der Software wird eine kurze Einführung in die Nutzung für den Messbetrieb gegeben.



Diese Betriebsanleitung beschreibt die zum Zeitpunkt der Drucklegung gültige Softwareversion. Da die Bediensoftware laufend weiterentwickelt wird, ist es möglich, dass auf dem mitgelieferten Datenträger eine andere Versionsnummer aufgedruckt ist. Die korrekte Funktion des Gerätes mit der Software ist dennoch gewährleistet.

Sollten Sie Fragen haben, geben Sie uns bitte die bei Ihnen installierte Software-Version bekannt. Sie finden die Softwareversion unter dem Menüpunkt: **Hilfe > Über die LaserDiagnosticsSoftware**.

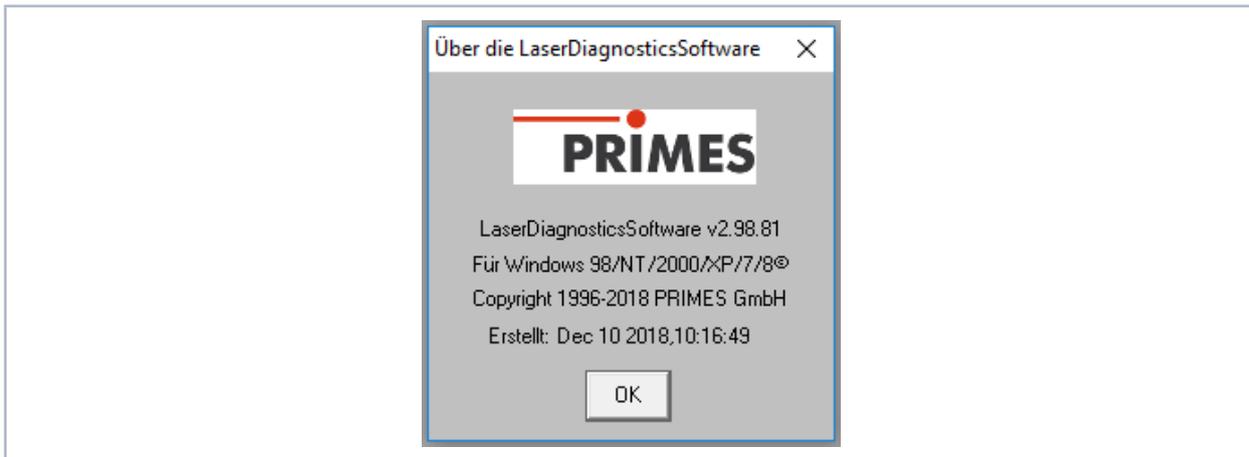


Abb. 3.1: Informationen zur aktuellen Softwareversion LDS

4 Bedingungen am Einbauort

- Das Gerät darf nicht in kondensierender Atmosphäre betrieben werden.
- Die Umgebungsluft muss frei von organischen Gasen sein.
- Schützen Sie das Gerät vor Spritzwasser und Staub.
- Betreiben Sie das Gerät nur in geschlossenen Räumen.

5 Einleitung

5.1 Systembeschreibung

Der MicroSpotMonitor MSM ermittelt Strahlparameter fokussierter Laserstrahlen von Lasern mit mittleren Leistungen bis 200 W im Bereich von 20 Mikrometern bis zu einem Millimeter direkt in der Prozesszone. Das rein luftgekühlte System bildet den über verschiedene Strahlteiler und Neutralglasfilter abgeschwächten Laserstrahl auf einem CCD-Sensor ab. Aus der so ermittelten Strahlverteilung einer Ebene ergeben sich die Strahlage und der Strahlradius. Mit Hilfe der integrierten z-Achse und der Messung an verschiedenen Positionen des Laserstrahles werden die beschriebenen Strahlparameter ermittelt und protokolliert.

Die Messobjektive des MicroSpotMonitor MSM werden individuell abhängig von der zu vermessenden Strahlquelle ausgewählt. Entscheidend sind hier die Wellenlänge (248 bis 1 090 nm) und die durch den Fokusbereich bestimmte Vergrößerung (3,3:1, 5:1, 10:1).

Der Dynamikbereich des integrierten CCD-Sensors wird über eine Belichtungszeitsteuerung auf über 130 dB erweitert, was Messungen von Kaustiken über mehr als 4 Rayleighlängen ermöglicht, wie sie die Norm ISO 11146 fordert.

Optional kann der MicroSpotMonitor MSM um ein mit Neutralglasfiltern (OD1 bis OD5) bestücktes Filtrerrad ergänzt werden. Dieses Filtrerrad ermöglicht die Vermessung von Leistungsdichten im Bereich von einigen W/cm² bis hin zu mehreren MW/cm² ohne das System umbauen zu müssen.

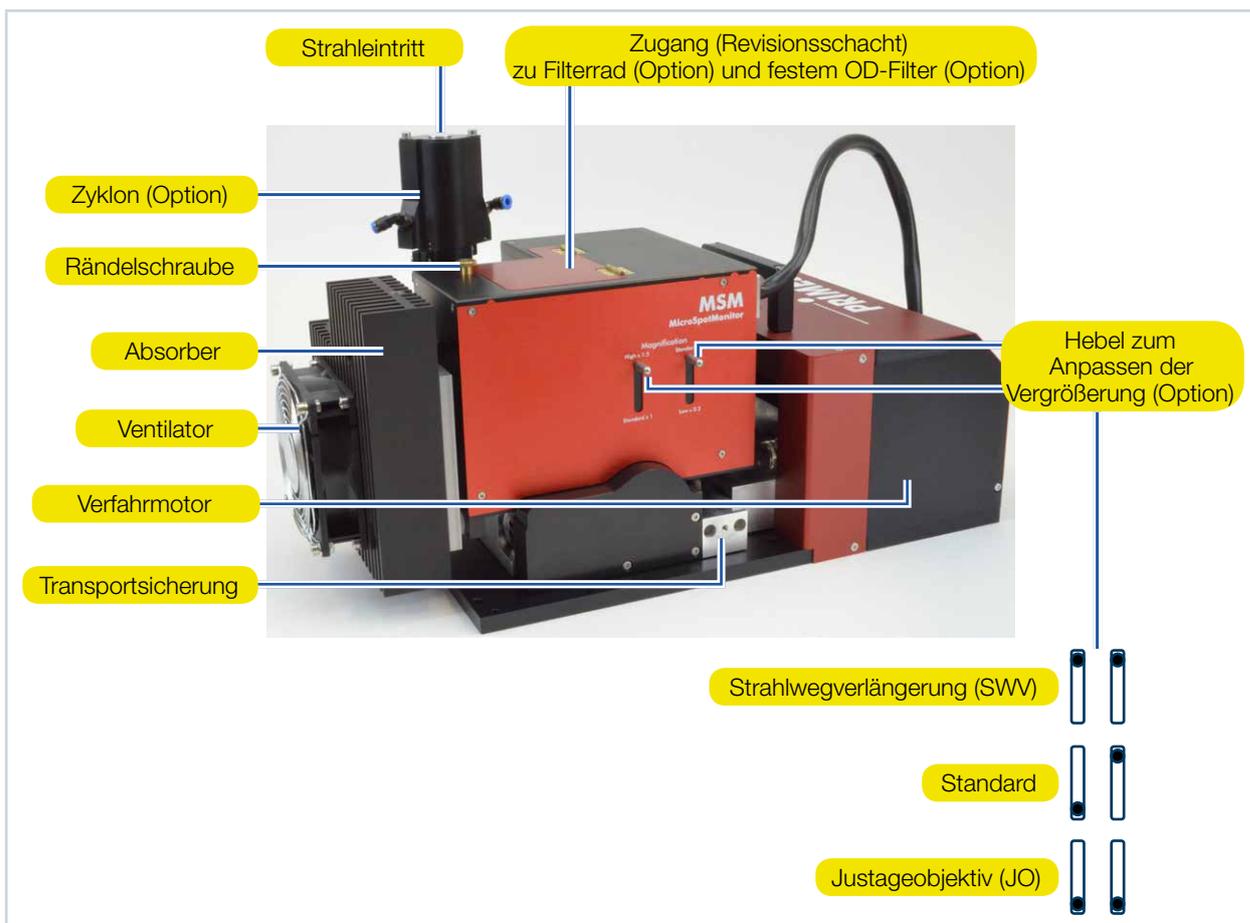


Abb. 5.1: Komponenten des MicroSpotMonitor MSM

5.2 Messprinzip

Der MicroSpotMonitor MSM ist ein kamerabasiertes Messsystem. Je nach Anwendungsfall können sich im Strahlengang bis zu 7 verschiedene optische Elemente befinden. Der Zweck und die Funktionsweise der einzelnen Komponente wird im Kapitel „2.1.4 Optische Komponenten“ auf Seite 120 beschrieben.

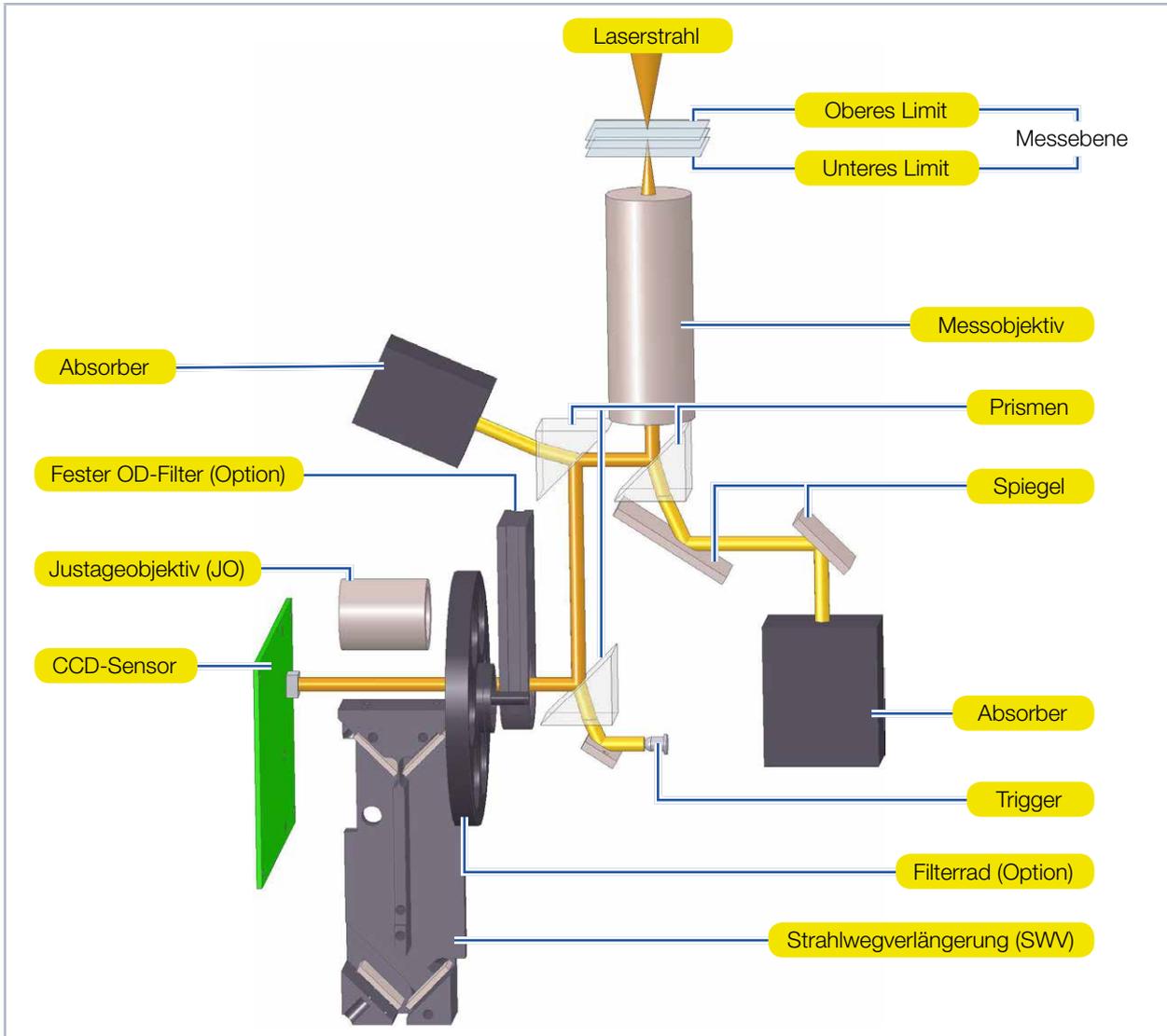


Abb. 5.2: Optomechanischer Aufbau

5.3 Kurzübersicht Installation

1. Sicherheitsvorkehrungen treffen	Kapitel 1 auf Seite 9
2. Transport <ul style="list-style-type: none">• Transportsicherung demontieren	Kapitel 6 auf Seite 16
3. Montage <ul style="list-style-type: none">• Vorbereitungen treffen• Einbaulage festlegen• Gerät manuell ausrichten• Gerät fest montieren	Kapitel 7 auf Seite 17
4. Wasserkühlung anschließen (nur 500 W Version) <ul style="list-style-type: none">• Anschlussdurchmesser• Durchflussrate beachten	Kapitel 8 auf Seite 22
5. Elektrisch anschließen <ul style="list-style-type: none">• Stromversorgung anschließen	Kapitel 9 auf Seite 25
6. Mit dem PC verbinden <ul style="list-style-type: none">• Über Ethernet oder LAN	Kapitel 9.3 auf Seite 27
7. LaserDiagnosticsSoftware LDS auf dem PC installieren <ul style="list-style-type: none">• Die Software ist im Lieferumfang enthalten• MicroSpotMonitor MSM mit der LaserDiagnosticsSoftware LDS verbinden	Kapitel 11 auf Seite 29
8. Messen <ul style="list-style-type: none">• Sicherheitshinweise beachten• Messobjektiv wählen und einsetzen• Zerstörschwellen beachten• Messung durchführen	Kapitel 13 auf Seite 82

6 Transport



WARNUNG

Verletzungen durch das Anheben oder Fallenlassen des Gerätes

Das Anheben und Positionieren schwerer Geräte kann z. B. zu überbelasteten Bandscheiben und chronischen Veränderungen der Lenden- oder Halswirbelsäule führen. Das Gerät kann herunterfallen.

- ▶ Verwenden Sie zum Anheben und Positionieren des Gerätes eine Hebevorrichtung.

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes

Durch harte Stöße oder Fallenlassen können die optischen Bauteile beschädigt werden.

- ▶ Handhaben Sie das Messgerät bei Transport und Montage vorsichtig.
- ▶ Um Verunreinigungen zu vermeiden, verschließen Sie das Messobjektiv mit der mitgelieferten Abdeckung.
- ▶ Transportieren Sie das Gerät nur im originalen PRIMES-Transportkoffer (Option).

6.1 Transportsicherung demontieren

Entfernen Sie nach dem Auspacken des Gerätes zuerst die Transportsicherung. Die Transportsicherung fixiert den Verfahrslitten der z-Achse. Sie befindet sich auf der Bodenplatte und ist mit 3 Schrauben befestigt (siehe Abb. 6.1 auf Seite 16).

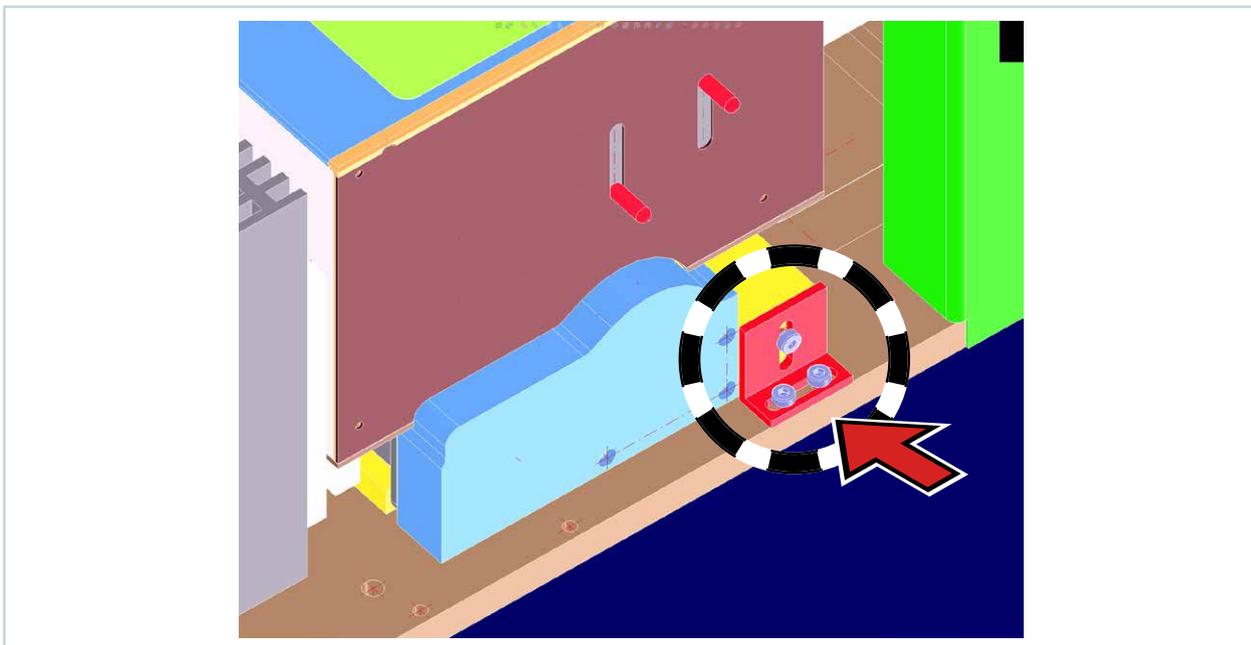


Abb. 6.1: Position der Transportsicherung

6.2 Transportsicherung montieren

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes

Das Gerät darf nur mit montierter Transportsicherung transportiert werden.

- ▶ **Heben Sie die Transportsicherung zur Wiederverwendung auf.**

Fahren Sie den MicroSpotMonitor MSM vor dem Transport in die Parkposition (siehe Kapitel 12.5.17, „Position (Menü Darstellung > Position)“, auf Seite 77) und montieren Sie die Transportsicherung.

7 Montage

7.1 Vorbereitung und Einbaulage

Prüfen Sie vor der Montage die Platzverhältnisse, insbesondere den benötigten Freiraum für die Anschlusskabel und den Verfahrbereich der z-Achse (siehe Kapitel 20, „Abmessungen“, auf Seite 116). Das Gerät muss stabil aufgestellt und mit Schrauben befestigt sein (siehe Kapitel 7.3 auf Seite 21).

Der MicroSpotMonitor MSM ist für den Betrieb in horizontaler Lage mit einem Strahleinfall von oben vorgesehen. Mit einer optionalen Seitenplatte (Bestellnummer 801-004-060) ist auch der Betrieb mit horizontalem Strahleinfall möglich.

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes

Hindernisse im Verfahrbereich des MicroSpotMonitor MSM können zu Kollisionen führen und das Gerät beschädigen.

- ▶ **Halten Sie den Verfahrbereich frei von Hindernissen (Schneiddüsen, Andruckrollen usw.).**

7.2 MicroSpotMonitor MSM manuell ausrichten

7.2.1 Wichtige Bedingungen zur Position des fokussierten Laserstrahls

Durch die Abbildungseigenschaften des Messobjektivs (siehe Kapitel 21.4.1, „Messobjektiv“, auf Seite 121) ist es notwendig, den Laserstrahlfokus in einem bestimmten Bereich über dem Messobjektiv zu positionieren.

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes

Der Fokus muss sich zum Messobjektiv in einem definierten Bereich befinden. Ist er zu nah oder zu weit entfernt, können hohe Strahlintensitäten die Optiken beschädigen.

- **Verwenden Sie für das Ausrichten die mitgelieferte Ausrichthilfe.**

Die Größe des Bereiches, in dem der Fokus vor der ersten Messung zu positionieren ist, hängt von der Auswahl des Messobjektivs, der verwendeten Wellenlänge und von der Art der Fokussierung ab. Der Messbereich liegt zwischen einer oberen und einer unteren Grenze.

Obere Grenze

Liegt der Fokus zu weit über dem Messobjektiv, kann ein Fokus auf dem bildseitigen Strahlenweg entstehen. Zusammen mit hohen Strahlintensitäten kann es dabei zu Schäden an den Optiken kommen.

Messebene

Die Strahlverteilung aus der Messebene, wird auf dem CCD-Sensor abgebildet.

Untere Grenze

Liegt der Fokus zu dicht am Messobjektiv, kann es – abhängig von der Art der Fokussierung und der verwendeten Leistung – zu Schäden an der Eintrittslinse kommen.

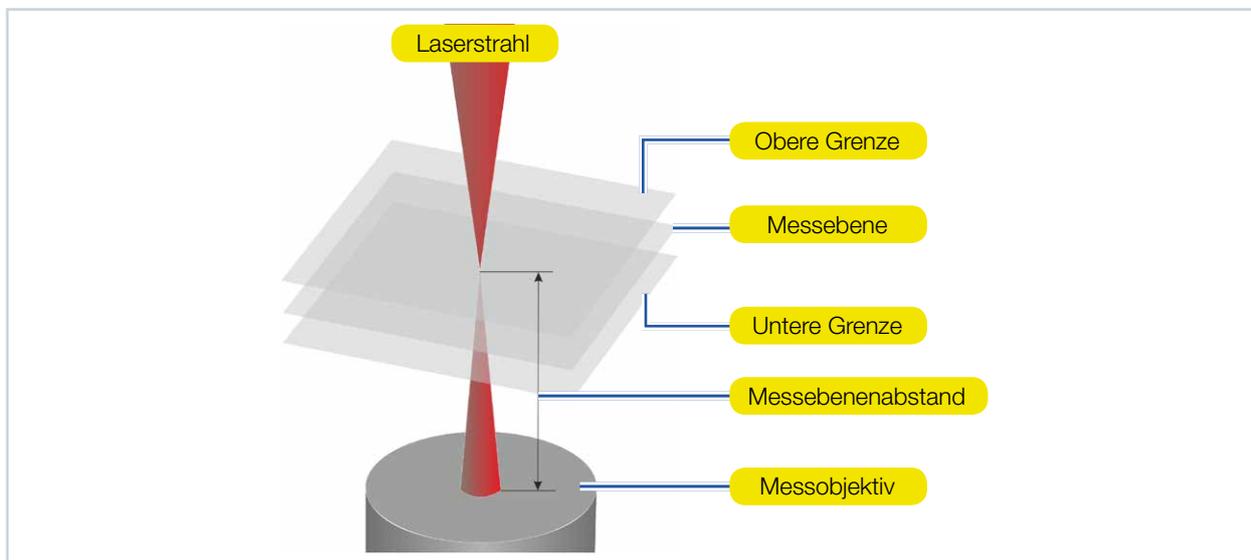


Abb. 7.1: Messbereich des MicroSpotMonitor MSM

7.2.2 Positionierung des fokussierten Laserstrahls über dem Messobjektiv

Der Messebenenabstand entspricht der Entfernung der Messebene von der Oberkante des Messobjektivs bzw. des Schutzglases.

Um den MicroSpotMonitor MSM unter dem Laser besser ausrichten zu können, wird mit jedem Messobjektiv eine entsprechende Ausrichthilfe geliefert. Mit dieser Ausrichthilfe und einem Pilotlaserstrahl können Sie das Gerät mit der nötigen Genauigkeit positionieren.

1. Setzen Sie die Ausrichthilfe direkt auf das Messobjektiv (siehe .Abb. 7.2 auf Seite 19) oder auf den Schutzglashalter auf dem Messobjektiv (siehe Abb. 7.3 auf Seite 19).
 - Der obere Rand des Messobjektivs entspricht der z-Position der Messebene.
 - Beim Verwenden eines Schutzglases mit 1,5 mm Dicke wird die Messebene um ca. 500 µm nach oben verschoben.
2. Schalten Sie den Pilotlaser an. Trifft der Laserstrahl senkrecht auf die Markierung in der Ausrichthilfe, wird dieser mittig auf dem CCD-Sensor abgebildet.



Abb. 7.2: Ausrichthilfen zum direkten Aufsetzen auf das Messobjektiv

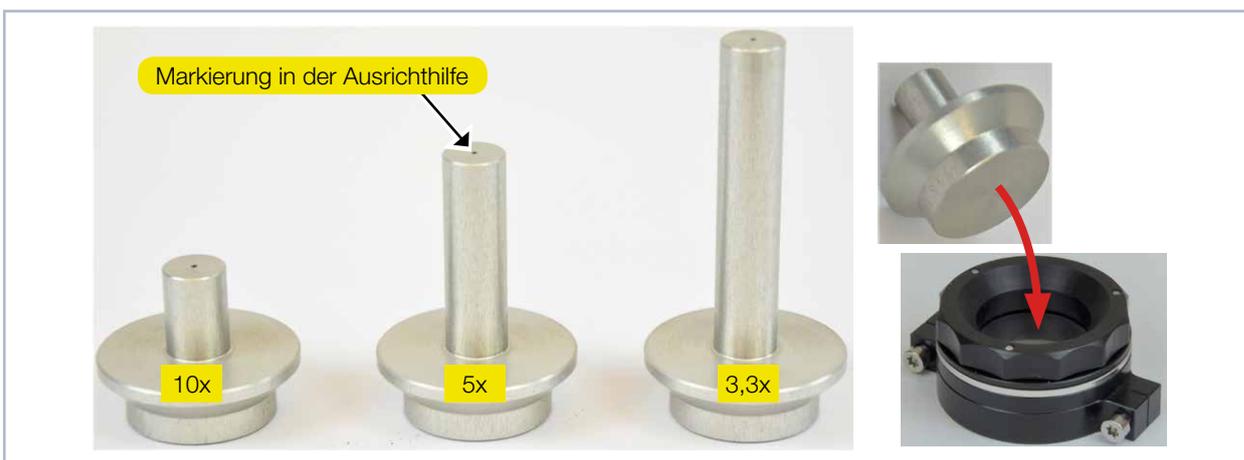


Abb. 7.3: Ausrichthilfen zum Aufsetzen auf den Schutzglashalter am Messobjektiv

Der Messebenenabstand entspricht der Entfernung der Abbildungsebene von der Oberkante des Messobjektivs bzw. des Schutzglases. Dieser ist sowohl vom Strahlweg (Standard, Strahlwegverlängerung SWV, Justageobjektiv JO) als auch von der Wellenlänge abhängig (siehe Tab. 7.1 auf Seite 20).



Beim Verwenden eines Schutzglases mit 1,5 mm Dicke wird die Messebene um ca. 500 µm nach oben verschoben.

Messobjektiv MOB	NA-Grenzwerte	Typ. Vergrößerung			Messebenenabstand in mm		
		Standard	SWV	JO	Standard	SWV	JO
3,3x							
1 064 nm	1	3,12	5,65	1,12	73	64,6	63,7
532 nm	0,1	3,23	5,81	1,11	70,5	62,6	61,5
355 nm	0,09	3,36	6,02	*)	67,3	60,1	57,7
5x							
1 064 nm	0,19	4,96	8,31	1,63	51,1	47,1	46,7
532 nm	0,18	5,15	8,6	1,59	49,3	45,7	45,1
355 nm	0,14	5,35	8,92	*)	47,2	43,8	42,7
10x							
1 064 nm	0,24	8,84	14,39	2,77	29,9	27,9	27,6
532 nm	0,24	9,17	14,91	2,72	-	-	-
355 nm	0,17	9,62	15,6	*)	-	-	-

Tab. 7.1: Messebenenabstände

*) Nur zur Justage verwendbar

Aufgrund von Fertigungstoleranzen sind die Werte des Messebenenabstands mit einem Fehler von $\pm 800 \mu\text{m}$ behaftet. Es besteht allerdings die Möglichkeit, den Messabstand der Messobjektive auf $\pm 50 \mu\text{m}$ genau kalibrieren zu lassen (TCP-Kalibrierung).

7.2.3 Positionierung des fokussierten Laserstrahls über dem optionalen Zyklon

Für Messobjektive mit einem Zyklon mit Schutzglas werden spezielle Ausrichthilfen geliefert.



Abb. 7.4: Ausrichthilfe für einen optionalen Zyklon am Beispiel eines Messobjektivs mit 3,3-facher Vergrößerung

7.3 MicroSpotMonitor MSM montieren



GEFAHR

Schwere Verletzungen der Augen oder der Haut durch Laserstrahlung

Wird das Gerät aus der eingemessenen Position bewegt, kann im Messbetrieb vermehrt reflektierte Strahlung (Laserklasse 4) entstehen.

- Befestigen Sie das Gerät so, dass es durch unbeabsichtigtes Anstoßen oder Zug an den Kabeln nicht bewegt werden kann.

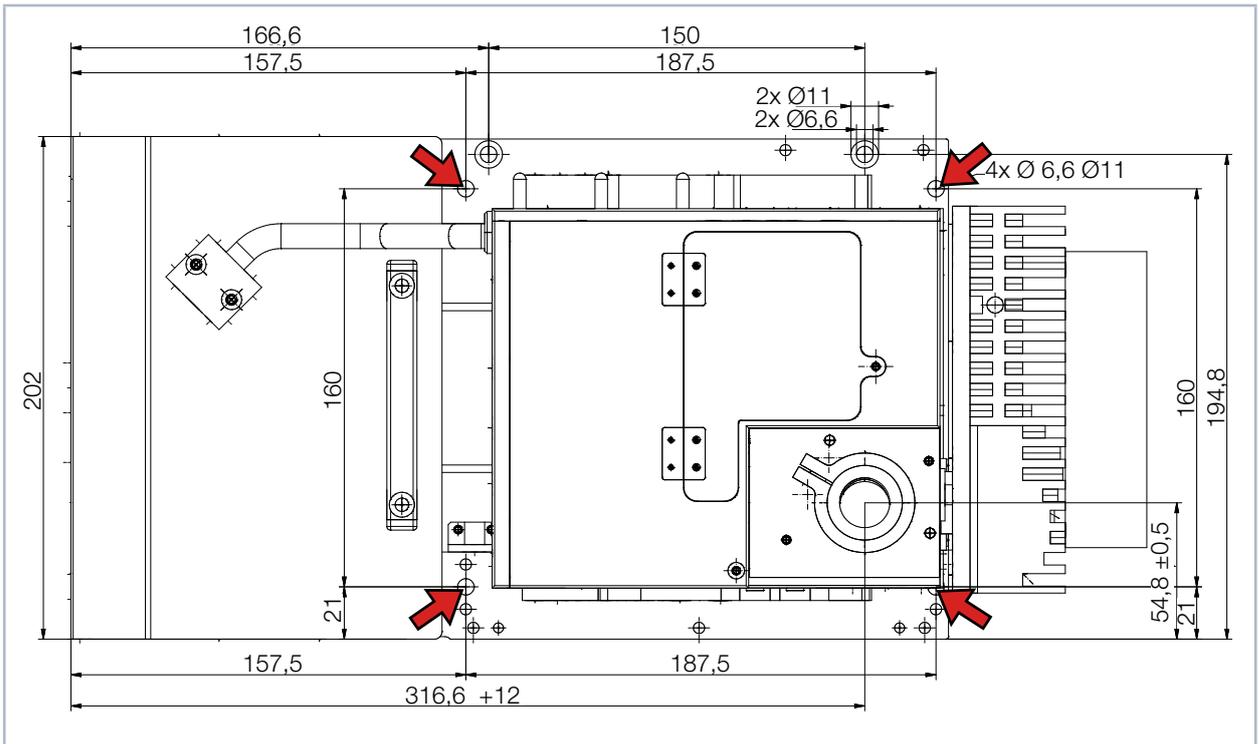


Abb. 7.5: Befestigungsbohrungen, Ansicht von oben

In der Bodenplatte befinden sich vier Befestigungsbohrungen $\varnothing 6,6$ mm für die Montage auf einer kundenseitigen Halterung. Wir empfehlen Schrauben M6 der Festigkeitsklasse 8.8 und ein Anzugsdrehmoment von 20 N·m.

➔ 4 Befestigungsbohrungen $\varnothing 6,6$ mm

8 Kühlkreis anschließen (nur 500 W Version)



GEFAHR

Brandgefahr; Beschädigung/Zerstörung des Gerätes durch Überhitzung

Bei fehlendem Wasseranschluss oder zu niedrigem Durchfluss wird das Gerät überhitzt und kann dadurch beschädigt werden oder in Brand geraten.

- ▶ **Betreiben Sie das Messgerät nur mit angeschlossener Wasserkühlung und ausreichender Durchflussmenge.**

8.1 Wasserqualität

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes durch unterschiedliche chemische Potentiale

Die wasserführenden Teile im Gerät bestehen aus Kupfer, Messing oder rostfreiem Stahl. Ein Anschluss des Gerätes an einen Kühlkreislauf, das Komponenten aus Aluminium enthält, kann zur Korrosion des Aluminiums aufgrund der unterschiedlichen chemischen Potentiale führen.

- ▶ **Schließen Sie das Gerät nicht an einen Kühlkreislauf an, in dem Komponenten aus Aluminium verbaut sind.**

- Das Gerät kann sowohl mit Leitungswasser als auch mit demineralisiertem Wasser betrieben werden.
- Betreiben Sie das Gerät nicht an einem Kühlkreislauf, der Additive wie z. B. Frostschutzmittel enthält.
- Betreiben Sie das Gerät nicht an einem Kühlkreislauf, in dem Komponenten aus Aluminium verbaut sind. Insbesondere beim Betrieb mit hohen Leistungen und Leistungsdichten kann es sonst zu einer Korrosion im Kühlkreislauf kommen. Langfristig wird dadurch die Leistungsfähigkeit des Kühlkreislaufs reduziert.
- Sollte trotz Überwachung die Kühlung ausfallen, kann das Gerät für einige Sekunden der Laserstrahlung widerstehen. Prüfen Sie in diesem Fall das Gerät und die Wasseranschlüsse auf Beschädigung.
- Große Schmutzpartikel oder Teflonband können die internen Kühlkanäle verstopfen. Spülen Sie deshalb Ihr Leitungssystem gründlich vor dem Anschluss.

8.2 Wasserdruck

Normalerweise sind 2 bar Primärdruck am Eingang des Absorbers bei drucklosem Ablauf ausreichend um die notwendige Durchflussmenge sicherzustellen.

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes durch Überdruck

- ▶ **Der maximal zulässige Wasserdruck beträgt 4 bar.**
-

8.3 Luftfeuchtigkeit

- Das Gerät darf nicht in kondensierender Atmosphäre betrieben werden. Die Luftfeuchtigkeit ist zu berücksichtigen, um Kondensate innerhalb und außerhalb des Gerätes zu vermeiden.
- Die Temperatur des Kühlwassers darf nicht unterhalb des Taupunktes liegen (siehe Tab. 8.1 auf Seite 23).

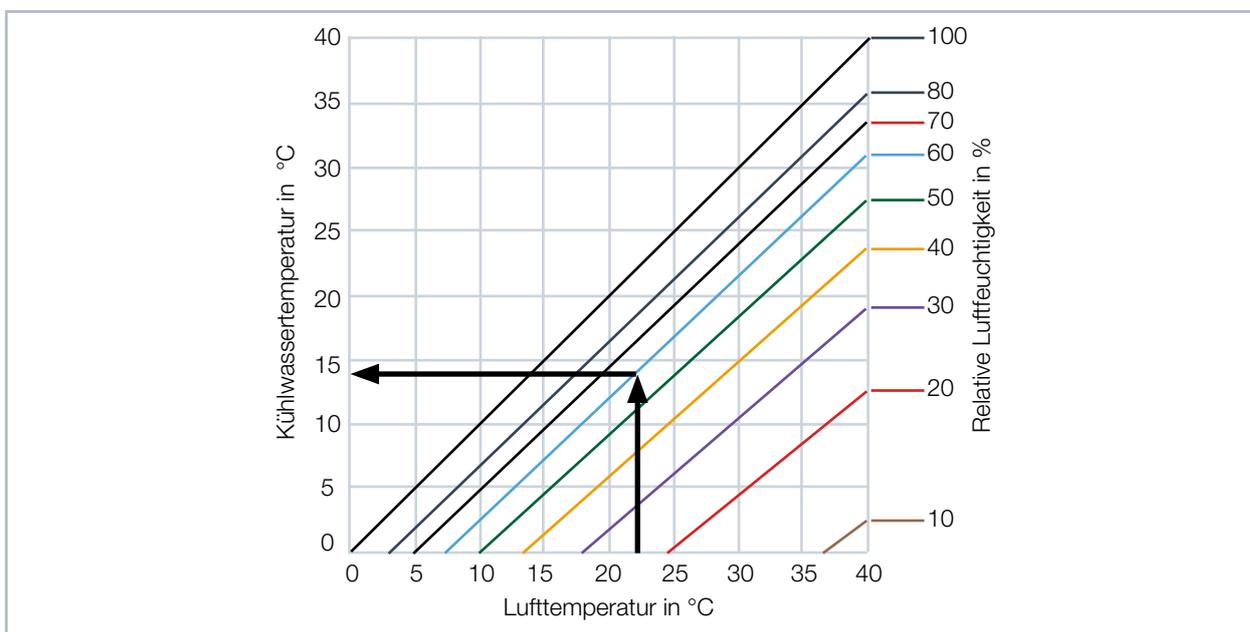
ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes durch Kondenswasser

Kondenswasser im Messobjektiv kann zur Beschädigung führen.

► **Beachten Sie den Taupunkt in Tab. 8.1 auf Seite 23.**

Kühlen Sie das Gerät nur während des Messbetriebs. Wir empfehlen, die Kühlung ca. 2 Minuten vor der Messung zu starten und ca. 1 Minute nach der Messung zu beenden.



Tab. 8.1: Taupunkt-Diagramm

Beispiel

Lufttemperatur: 22 °C

Relative Luftfeuchtigkeit: 60 %

Die Kühlwassertemperatur darf 14 °C nicht unterschreiten.

8.4 Wasseranschlüsse und Wasserdurchflussmenge

Anschlussdurchmesser	Empfohlene Durchflussmenge	Mindestdurchflussmenge
PE-Schläuche 12 mm	1,5 l/min (1 l/(min · kW))	1,0 l/min nicht unterschreiten

Tab. 8.2: Wasseranschlüsse und Wasserdurchflussmenge

Verschlussstopfen der Wasseranschlüsse entfernen

1. Drücken Sie mit zwei Fingern einer Hand den äußeren Lösering des Anschlusses nieder und ziehen Sie mit der anderen Hand den Stopfen heraus.
2. Entfernen Sie beide Verschlussstopfen der Wasseranschlüsse und bewahren Sie diese auf.
3. Schließen Sie Vorlauf (Water in) und Rücklauf (Water out) des Gerätes an, indem Sie den Schlauch bis zum Anschlag (ca. 2 cm tief) in den Steckanschluss hineinschieben.

Abb. 8.1: Verschlussstopfen der Wasseranschlüsse entfernen

9 Elektrischer Anschluss

Der MicroSpotMonitor MSM benötigt für den Betrieb eine Versorgungsspannung von 24 V ±5 % (DC). Ein passendes Netzteil mit einem Adapter wird mitgeliefert. Bitte verwenden Sie ausschließlich die mitgelieferten Anschlussleitungen.



Bitte stellen Sie erst alle elektrischen Verbindungen her und schalten Sie das Gerät ein, bevor Sie die LaserDiagnosticsSoftware LDS starten.
Der MicroSpotMonitor MSM dient dabei für die Software auf dem PC als Dongle zur Freigabe bestimmter Softwarefunktionen.

9.1 Anschlüsse

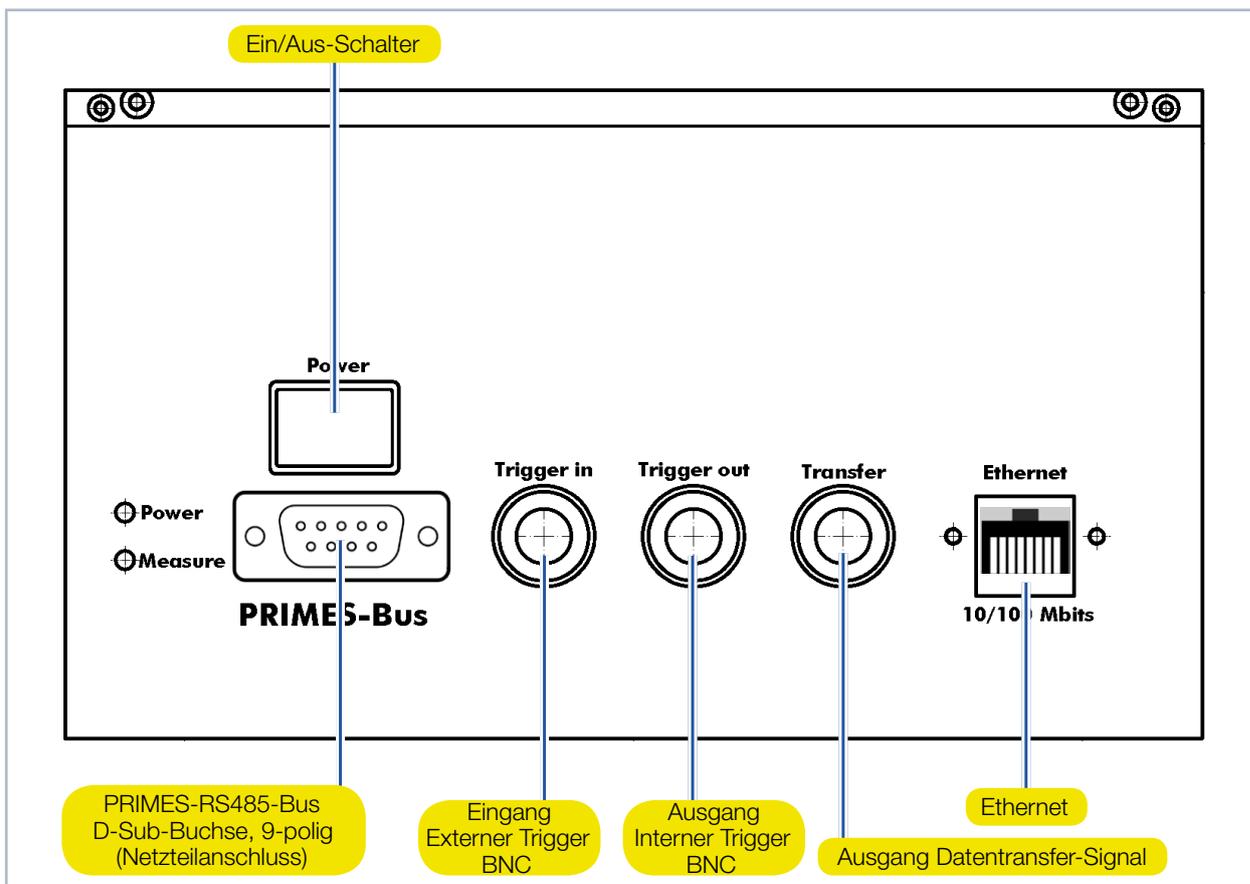
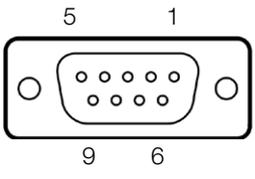


Abb. 9.1: Anschlüsse

9.2 Pinbelegung

9.2.1 Spannungsversorgung

D-Sub-Buchse, 9-polig (Ansicht Steckseite)		
	Pin	Funktion
	1	GND
	2	RS485 (+)
	3	+24 V
	4	Trigger RS485 (+)
	5	Nicht belegt
	6	GND
	7	RS485 (-)
	8	+24 V
9	Trigger RS485 (-)	

Tab. 9.1: D-Sub-Buchse RS485

9.2.2 Eingang externer Trigger

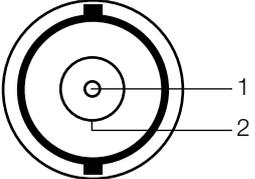
BNC-Stecker (Ansicht Steckseite)		
	Pin	Funktion
	1	+5 V (Triggersignal)
	2	GND

Abb. 9.2: Anschlussbuchse BNC-Eingang für einen externen Trigger im Anschlussfeld

9.2.3 Ausgang interner Trigger

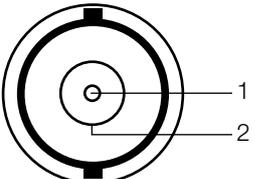
BNC-Stecker (Ansicht Steckseite)		
	Pin	Funktion
	1	+5 V (Triggersignal)
	2	GND

Abb. 9.3: Anschlussbuchse BNC-Ausgang für den internen Trigger im Anschlussfeld

9.2.4 Ausgang internes Datentransfer-Signal

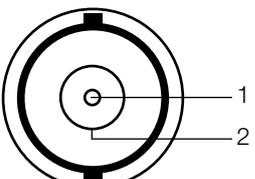
BNC-Stecker (Ansicht Steckseite)		
	Pin	Funktion
	1	+5 V (Triggersignal)
	2	GND

Abb. 9.4: Anschlussbuchse BNC-Ausgang für den Datentransfer im Anschlussfeld

9.3 Anschluss an den PC und Stromversorgung anschließen

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes

Beim Trennen der elektrischen Leitungen während des Betriebes (bei angelegter Spannungsversorgung) entstehen Spannungsspitzen, welche die Kommunikationsbausteine des Messgerätes zerstören können.

- ▶ Schalten Sie zuerst das Netzteil aus, bevor Sie die Leitungen trennen.

1. Verbinden Sie das Gerät über ein Crossover-Kabel mit dem PC oder über ein Patch-Kabel mit dem Netzwerk.
2. Schließen Sie das Netzteil über den Adapter an die 9-polige D-Sub-Buchse (RS485) des Gerätes an.

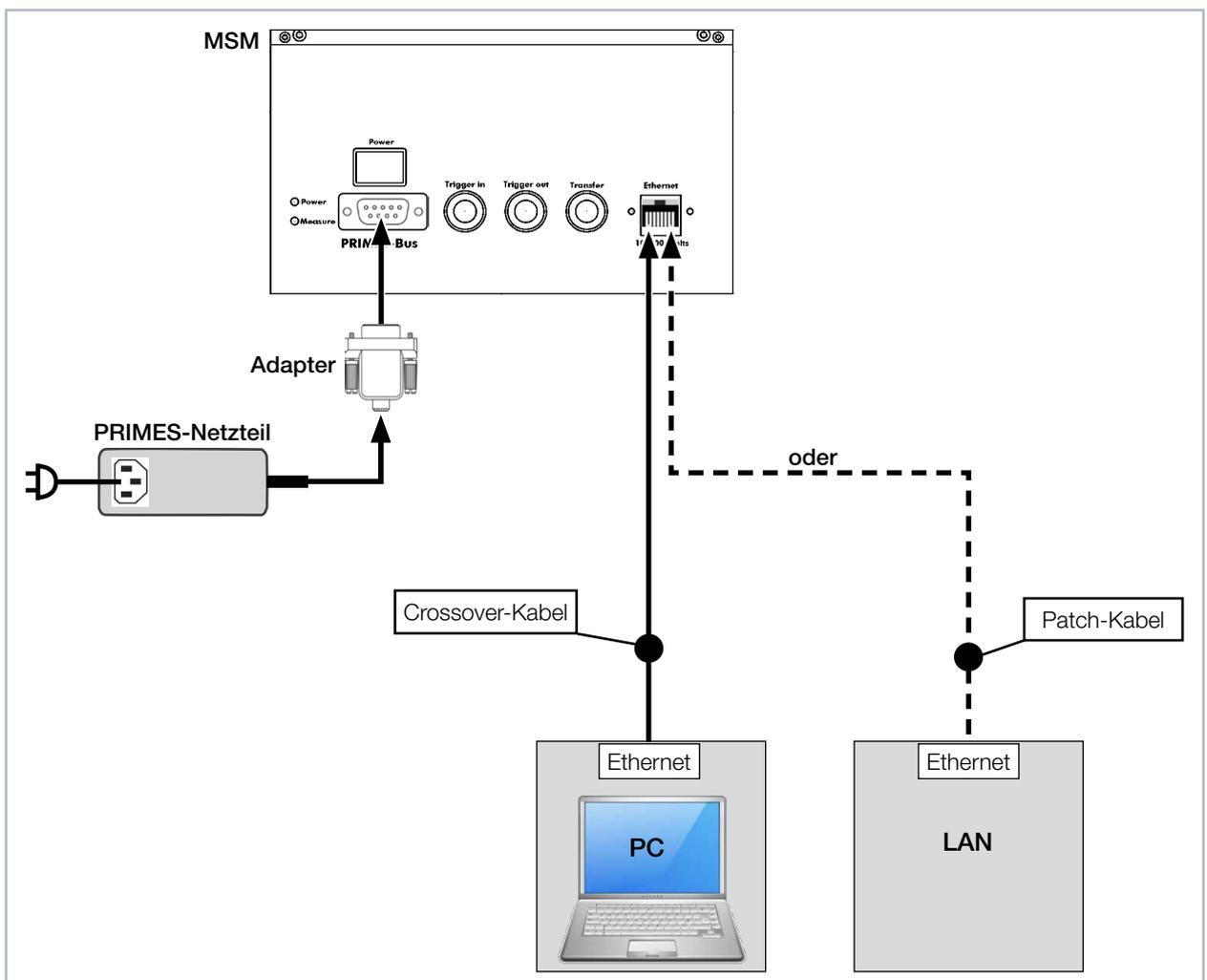


Abb. 9.5: Anschluss über Ethernet an einen PC oder ein lokales Netz

10 Status-LEDs

Das Gerät hat zwei Status-LEDs.

Bezeichnung	Farbe	Bedeutung
Power	Grün	Die Spannungsversorgung ist eingeschaltet
Measuring	Gelb	Eine Messung läuft

Tab. 10.1: Beschreibung der Status-LEDs am MicroSpotMonitor MSM

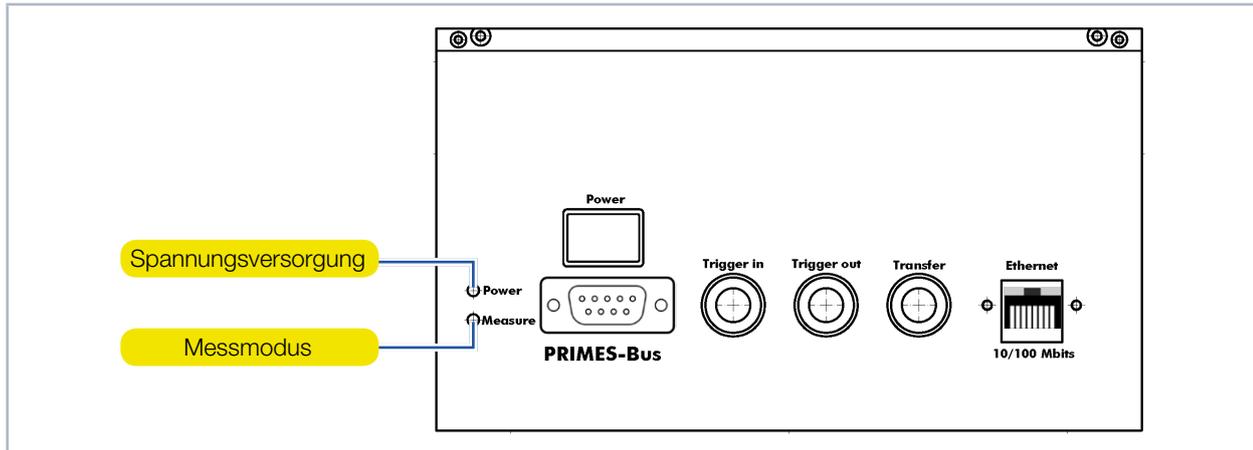


Abb. 10.1: Status-LEDs am MicroSpotMonitor MSM

11 Installieren und konfigurieren der LaserDiagnosticsSoftware LDS

Für den Betrieb der Messgeräte muss auf dem PC die PRIMES-LaserDiagnosticsSoftware LDS installiert werden. Das Programm befindet sich auf dem mitgelieferten Datenträger.

Die neueste Version erhalten Sie auf der PRIMES Webseite unter: <https://www.primes.de/de/support/downloads/software.html>.

11.1 Systemvoraussetzungen

Betriebssystem:	Windows® 7/10
Prozessor:	Intel® Pentium® 1 GHz (oder vergleichbarer Prozessor)
Benötigter Festplattenspeicher:	15 MB
Monitor:	19" Bildschirmdiagonale empfohlen, Auflösung min. 1024x768
LDS-Version:	2.98 oder höher

11.2 Software installieren

Die Software wird menügesteuert von dem mitgelieferten Datenträger installiert. Starten Sie die Installation durch Doppelklick auf die Datei „Setup LDS v.X.X.exe“ (X = Platzhalter für die Versionsnummer) und folgen Sie den Anweisungen.

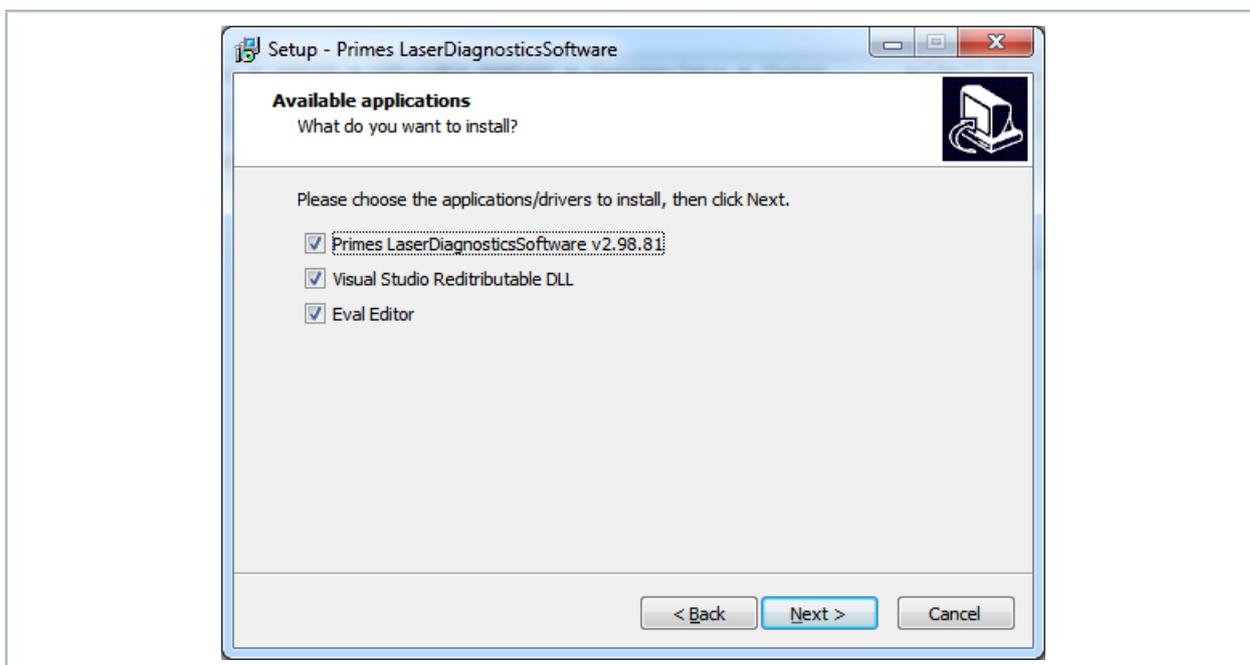


Abb. 11.1: Setup der PRIMES-LaserDiagnosticsSoftware LDS

Die Installationssoftware schreibt das Hauptprogramm „LaserDiagnosticsSoftware.exe“ – falls nicht anders spezifiziert – in das Verzeichnis „Programme/PRIMES/LDS“. Darüber hinaus wird auch die Einstellungsdatei „laserds.ini“ in dieses Verzeichnis kopiert. In der Datei „laserds.ini“ sind die Einstellparameter für die PRIMES-Messgeräte hinterlegt.

11.3 Ethernetverbindung einrichten

11.3.1 IP-Adresse eingeben



Der MicroSpotMonitor MSM hat eine feste IP-Adresse die auf dem Typenschild angegeben ist:

- Wird der MicroSpotMonitor MSM direkt mit einem PC verbunden, geben Sie diese feste IP-Adresse im Menü **Kommunikation > Freie Kommunikation** (siehe Kapitel 11.3.2 auf Seite 31) ein.
- Wird der MicroSpotMonitor MSM über ein Netzwerk angeschlossen, wird vom MicroSpotMonitor MSM für ca. eine Minute eine variable IP-Adresse im Netz abgerufen. Diese variable IP-Adresse können Sie mit der mitgelieferten Software „PrimesFindIp“ auslesen und im Menü **Kommunikation > Freie Kommunikation** (siehe Kapitel 11.3.2 auf Seite 31) eingeben.
- Soll der MicroSpotMonitor MSM mit der festen IP-Adresse mit dem Netzwerk verbunden werden, dann schalten Sie zuerst den MicroSpotMonitor MSM ein und verbinden anschließend das Netzkabel mit dem MicroSpotMonitor MSM. Geben Sie anschließend die feste IP-Adresse im Menü **Kommunikation > Freie Kommunikation** (siehe Kapitel 11.3.2 auf Seite 31) ein.

Die Standard-IP-Adresse des MicroSpotMonitor MSM ist:

IP-Adresse: 192.168.116.84
 Subnetzmaske: 255.255.255.0

Der PC muss ebenfalls eine feste IP-Adresse im gleichen Subnet haben, z. B.:

IP-Adresse: 192.168.116.XXX
 Subnetzmaske: 255.255.255.0

Die ersten drei Blöcke der IP-Adresse müssen mit der IP des MicroSpotMonitor MSM übereinstimmen.

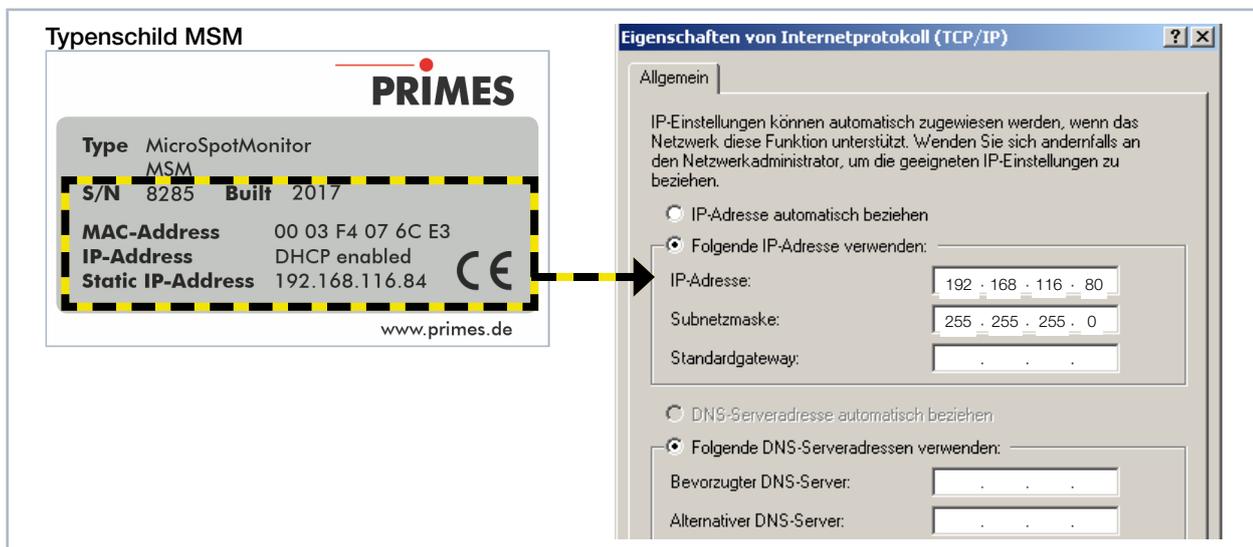


Abb. 11.2: Ethernetverbindung einrichten im Dialogfenster **Ethernet**

11.3.2 Verbindung zum PC aufbauen (Menü *Kommunikation* > *Freie Kommunikation*)

1. Starten Sie die LaserDiagnosticsSoftware LDS (siehe Kapitel 12 auf Seite 34).
2. Öffnen Sie das Dialogfenster ***Kommunikation*** > ***Freie Kommunikation***.
3. Wählen Sie im Feld „Mode“ **TCP** (die Option „Zweite IP“ darf nicht aktiviert sein!).
4. Geben Sie im Feld „TCP“ die IP-Adresse ein.
5. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Verbinden** (im Busmonitor erscheint „Connected“).
6. Klicken Sie auf die Schaltfläche **PRIMES Geräte Suchen**.
7. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Speichern** (die Konfiguration wird gespeichert und muss beim Neustart der LaserDiagnosticsSoftware LDS nicht erneut eingegeben werden).

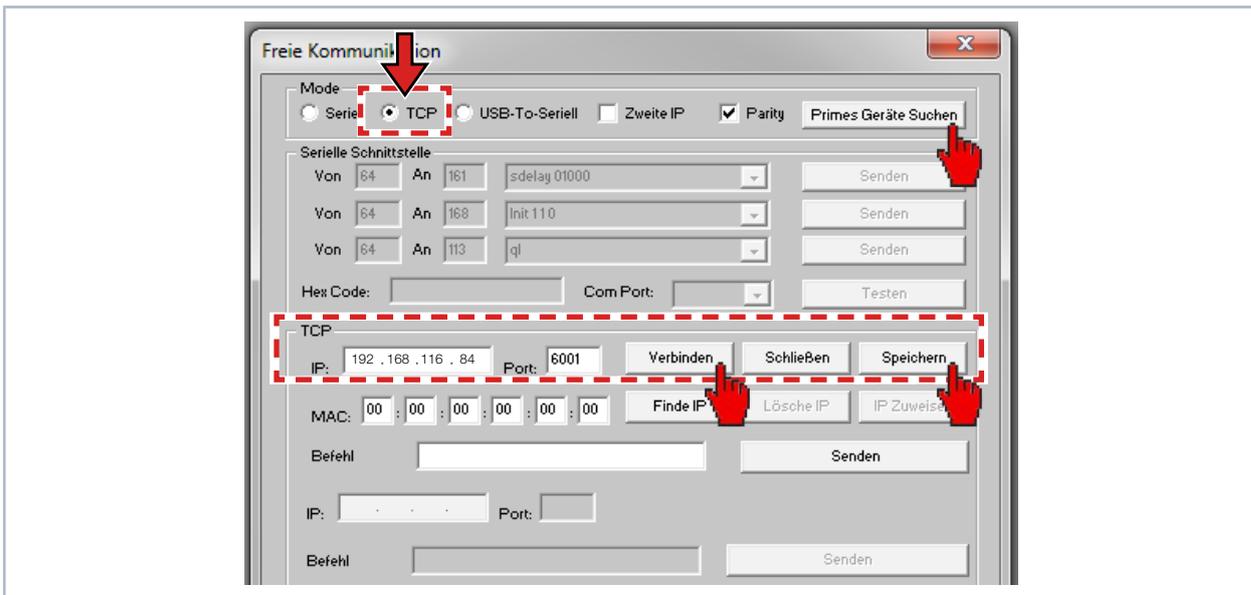


Abb. 11.3: Verbindung zum PC aufbauen im Dialogfenster *Freie Kommunikation*

11.3.3 Standard-IP-Adresse des Gerätes ändern (Menü *Kommunikation* > *Freie Kommunikation*)

Sollte die feste IP-Adresse des MicroSpotMonitor MSM mit einem anderen Gerät gleicher IP-Adresse im Netzwerk kollidieren, kann die feste IP-Adresse des MicroSpotMonitor MSM geändert werden.

ACHTUNG

Ausfall des Gerätes durch fehlerhafte Eingaben

Bei der Änderung der IP-Adresse kann es zum Beispiel durch Tippfehler zur Überschreibung anderer EE-Zellen kommen und den MicroSpotMonitor MSM damit unbrauchbar machen.

- ▶ Die Änderung der IP-Adresse sollte nur von versierten Anwendern vorgenommen werden.

Sie können die voreingestellte IP-Adresse des Gerätes mit folgenden Befehlen im Menü *Kommunikation* > *Freie Kommunikation* ändern:

IP-Adresse (Beispieladresse)	192.	168.	116.	85
	↑	↑	↑	↑
Befehle	se0328*xyz	se0329*xyz	se0330*xyz	se0331*xyz

Tab. 11.1: IP-Adresse ändern

Im Beispiel sind **xyz** hierbei Platzhalter für die IP-Adressbytes (Wertebereich 1-254), diese müssen immer dreistellig eingegeben werden:

Zum Beispiel ist die Zahl 84 mit 084 einzugeben.

Das Symbol * steht der Eindeutigkeit wegen für ein Leerzeichen.

Beispiel: Sie möchten die IP-Adresse von 192.168.116.**85** auf 192.168.116.**86** ändern.

1. Starten Sie die LaserDiagnosticsSoftware LDS (siehe Kapitel 12 auf Seite 34).
2. Öffnen Sie das Dialogfenster **Kommunikation > Freie Kommunikation**.
3. Wählen Sie im Feld „Mode“ **TCP** (die Option „Zweite IP“ darf nicht aktiviert sein!).
4. Geben Sie im Feld „TCP“ die aktuelle **IP-Adresse** ein.
5. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Verbinden** (im Busmonitor erscheint „Connected“).
6. Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Bus-Protokoll schreiben** (das Protokoll kann beim Auftreten von Problemen sehr nützlich sein):
 - Das Protokoll wird in das Installations-Verzeichnis der LaserDiagnosticsSoftware LDS abgelegt.
 - Die Dateibezeichnung ist buspro.log.YYYY.MM.DD (YYYY.MM.DD = Datum der Dateierstellung).
7. Geben Sie im Eingabefeld „Befehl“ folgendes Kommando ein: **se0331 * 086** (Bitte stellen Sie sicher, dass das Leerzeichen * korrekt eingegeben wurde).
8. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Senden** und warten Sie die Bestätigung im Busmonitor ab (siehe Abb. 11.4 auf Seite 33 „-> Adr:0331 Wert: 086“)
9. Schalten Sie das Gerät aus und wieder ein. Nach dem Neustart ist die IP-Adresse aktualisiert.

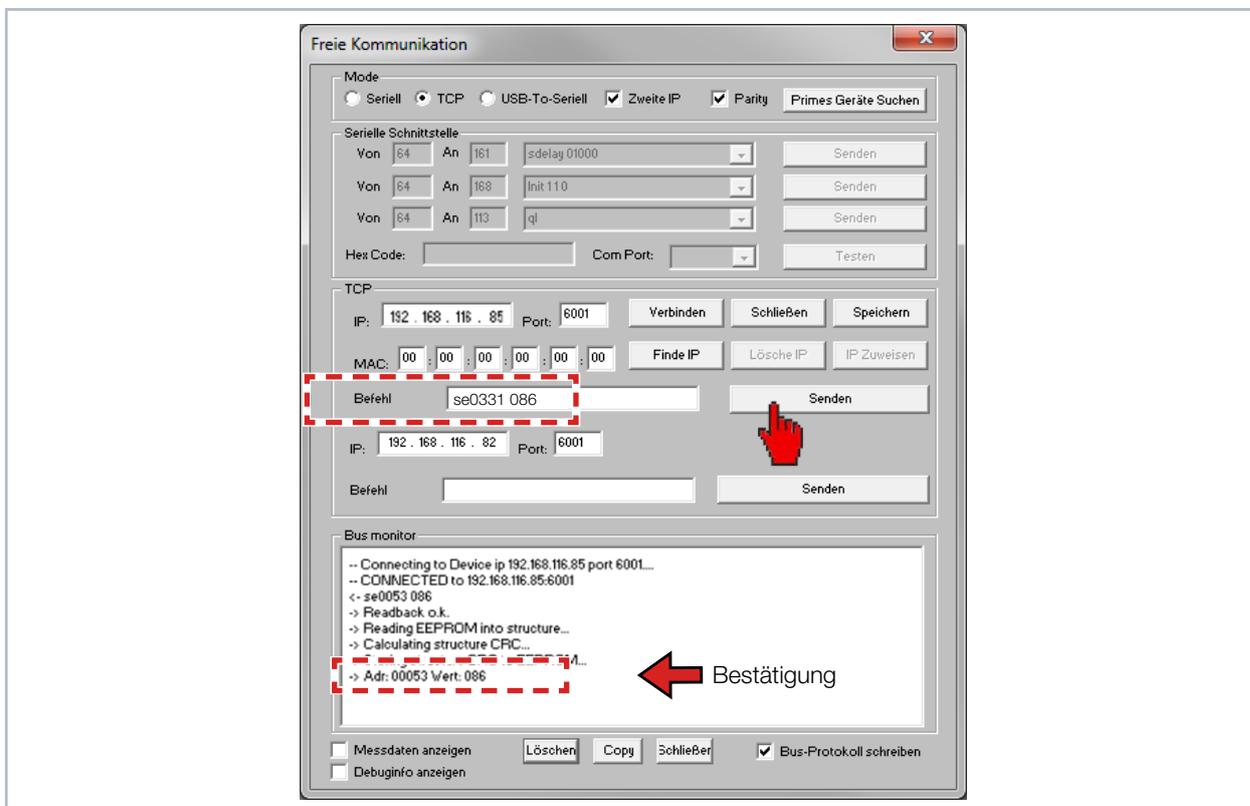


Abb. 11.4: Ändern der IP-Adresse im Dialogfenster **Freie Kommunikation**

12 Beschreibung der LaserDiagnosticsSoftware LDS

Die LaserDiagnosticsSoftware LDS ist die Steuerzentrale für alle PRIMES-Messgeräte, die Strahlverteilungen oder Fokusgeometrien vermessen und daraus die Strahlpropagationseigenschaften ermitteln.

Die LaserDiagnosticsSoftware LDS steuert die Messungen und liefert die Messergebnisse grafisch aufbereitet zurück.

Darüber hinaus wird aus den Messdaten die Messung bewertet, um Ihnen Hinweise auf die Zuverlässigkeit des Messergebnisses zu geben.



Starten Sie die LaserDiagnosticsSoftware LDS erst, wenn sämtliche Geräte verkabelt und eingeschaltet sind.

Starten Sie das Programm durch einen Doppelklick auf das LDS-Symbol  in der neuen Startmenügruppe oder die Desktopverknüpfung.

12.1 Grafische Benutzeroberfläche

Zunächst wird ein Startfenster geöffnet, in dem Sie wählen, ob Sie messen wollen oder lediglich eine bereits vorhandene Messung darstellen möchten (Werkseinstellung „Messen“).

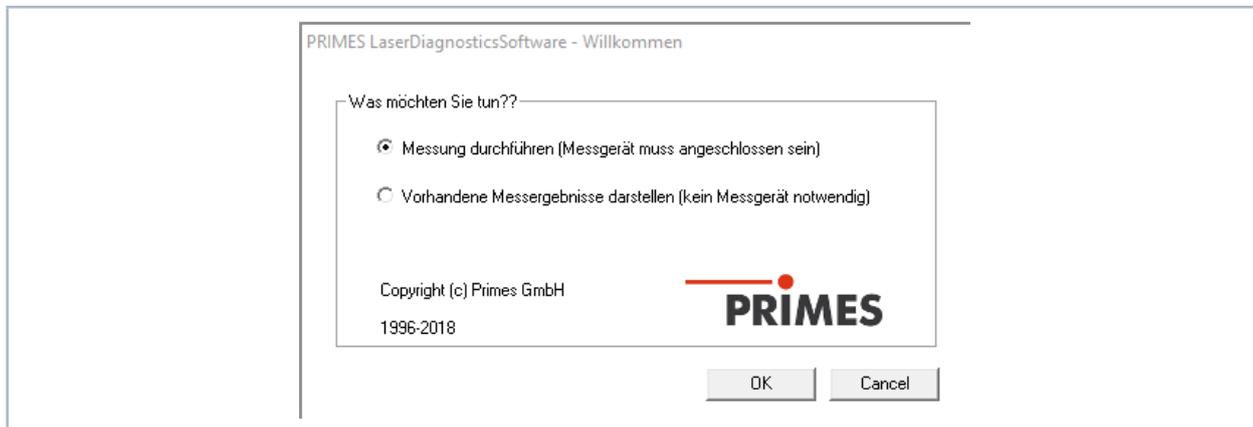


Abb. 12.1: Startfenster der LaserDiagnosticsSoftware LDS

Nachdem das angeschlossene Gerät erkannt worden ist, werden die grafische Benutzeroberfläche und einige wichtige Dialogfenster geöffnet.

Damit Sie die entsprechenden Informationen schnell zuordnen können, werden in den folgenden Kapiteln spezielle Textauszeichnungen für Menüpunkte, Menüpfade und Texte der Bedienoberfläche verwendet.

Textauszeichnung	Beschreibung
Text	Kennzeichnet Menü Punkte. Beispiel: Dialogfenster Sensorparameter
Text1 > Text2	Kennzeichnet die Navigation zu bestimmten Menüpunkten. Die Reihenfolge der Menüs wird durch das Zeichen „>“ dargestellt. Beispiel: Darstellung > Kaustik
Text	Kennzeichnet Menüpunkte, Schaltflächen, Optionen und Felder. Beispiel: Mit der Schaltfläche Start

Abb. 12.2: Textauszeichnungen für Menüpunkte, Menüpfade und Texte der Bedienoberfläche

Die grafische Benutzeroberfläche besteht im Wesentlichen aus einer Menü- und einer Werkzeugleiste, über die Sie verschiedene Dialog- oder Darstellungsfenster aufrufen können.

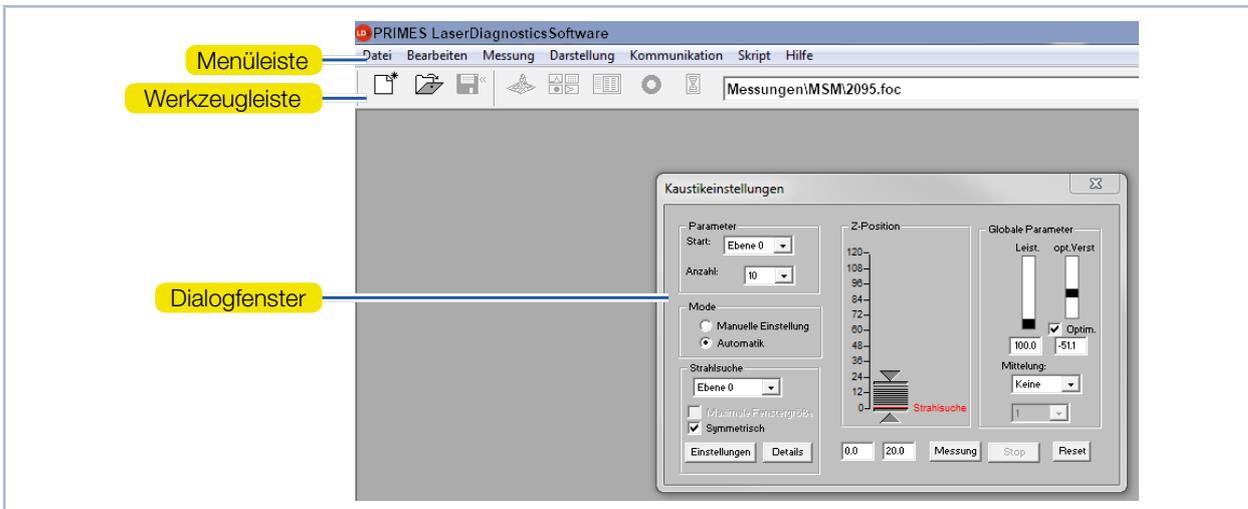


Abb. 12.3: Die wichtigsten Elemente der Benutzeroberfläche

Sie können parallel verschiedene Mess- und Dialogfenster öffnen. Dabei bleiben einige grundsätzlich wichtige Fenster (für das Messen oder die Kommunikation) permanent im Vordergrund. Alle anderen Dialogfenster werden überblendet, sobald Sie ein neues Fenster öffnen.

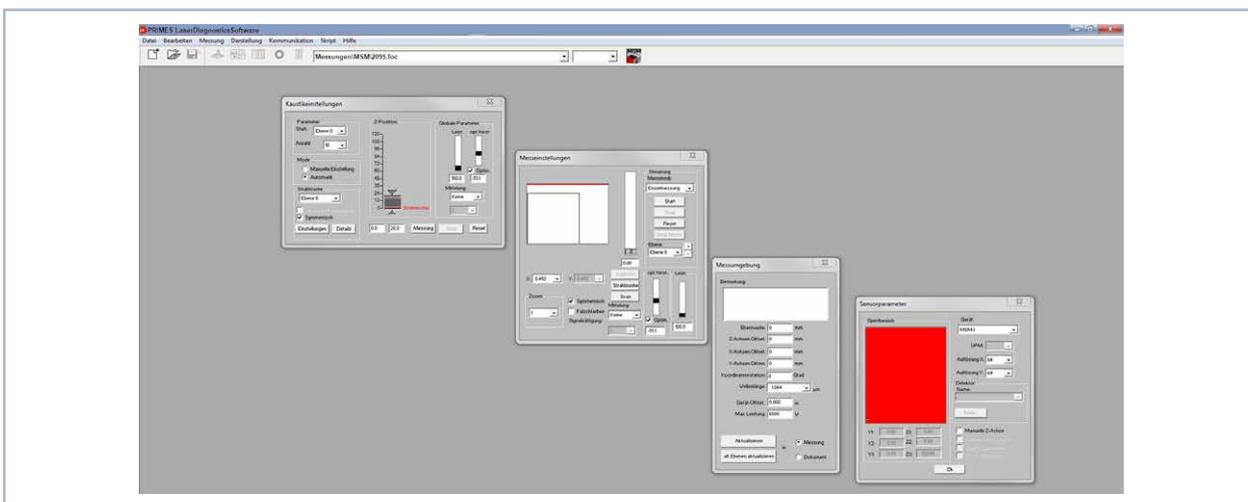


Abb. 12.4: Die wichtigsten Dialogfenster

12.1.1 Die Menüleiste

In der Menüleiste öffnen Sie per Mausclick alle Haupt- und Untermenüs, die das Programm bietet.

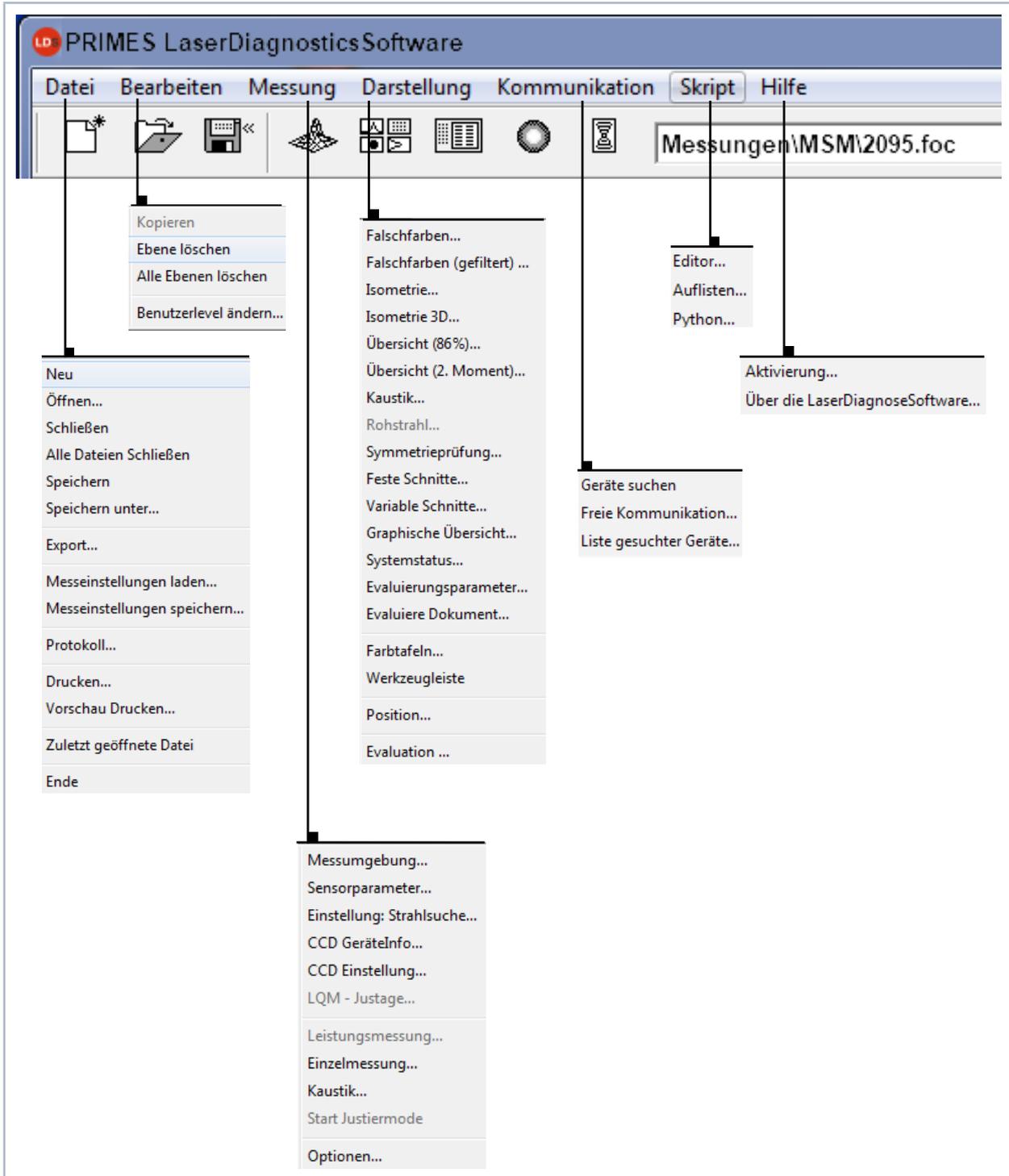


Abb. 12.5: Die Menüleiste

12.1.2 Die Werkzeugleiste

Durch Anklicken der Symbole in der Werkzeugleiste sind die folgenden Programmmenüs zu öffnen.

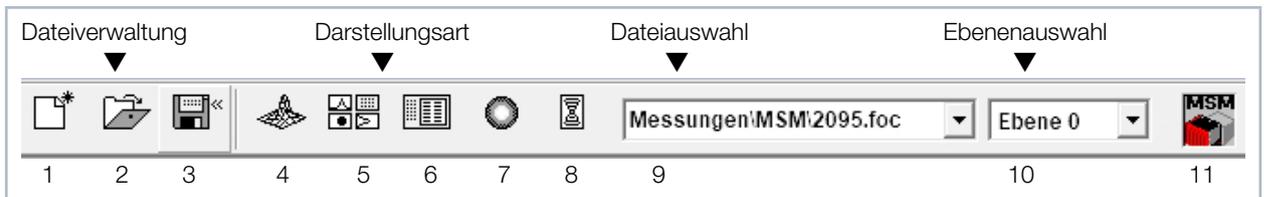


Abb. 12.6: Symbole in der Werkzeugleiste

- 1 - Neuen Datensatz anlegen
- 2 - Existierenden Datensatz öffnen
- 3 - Aktuellen Datensatz speichern
- 4 - Isometriedarstellung des ausgewählten Datensatzes öffnen
- 5 - Variable Schnitte-Darstellung öffnen
- 6 - Übersicht (86 %) öffnen
- 7 - Falschfarbendarstellung öffnen
- 8 - Kaustikpräsentation 2D
- 9 - Liste mit allen geöffneten Datensätzen
- 10 - Anzeige der ausgewählten Messebene
- 11 - Anzeige der am Bus verfügbaren Messgeräte über grafische Symbole

Alle Messergebnisse werden immer in das in der Werkzeugleiste ausgewählte Dokument geschrieben. Nur hier angewählte Dokumente können dargestellt werden. Nach dem Öffnen müssen Sie die Datensätze explizit anwählen.

12.1.3 Menü-Übersicht

Datei	
Neu	Öffnet eine neue Datei für die Messdaten
Öffnen	Öffnet eine Messdatei mit den Erweiterungen ".foc" oder ".mdf"
Schließen	Schließt die Datei, die in der Werkzeugleiste ausgewählt ist
Alle Dateien schließen	Schließt alle geöffneten Dateien
Speichern	Speichert die aktuelle Datei im ".foc"- oder ".mdf"-Format
Speichern unter	Öffnet das Menü zur Speicherung der Daten, die in der Werkzeugleiste ausgewählt sind. Nur Dateien mit den Erweiterungen ".foc" oder ".mdf" können zuverlässig wieder eingelesen werden
Export	Exportiert die aktuelle Datei im Protokoll-Format ".xls" und ".pkl"
Messeinstellungen laden	Öffnet eine Datei mit Messeinstellungen mit der Erweiterung ".ptx"
Messeinstellungen speichern	Öffnet das Menü zum Speichern der Einstellungen des letzten Programmlaufs. Nur Dateien mit der Erweiterung ".ptx" können geöffnet werden
Protokoll	Startet ein Protokoll der numerischen Ergebnisse. Sie können wahlweise in eine Datei oder eine Datenbank geschrieben werden
Drucken	Öffnet das Standard-Druckmenü
Vorschau Drucken	Zeigt den Inhalt des Druckauftrags
Zuletzt geöffnete Datei	Zeigt die zuvor geöffnete Datei an
Ende	Beendet das Programm
Bearbeiten	
Kopieren	Kopiert das aktuelle Fenster in die Zwischenablage
Ebene löschen	Löscht die Daten aus der in der Werkzeugleiste angewählten Ebene
Alle Ebenen löschen	Löscht alle Daten aus der in der Werkzeugleiste angewählten Datei
Benutzerebene wechseln	Durch Eingabe eines Passwortes wird eine andere Benutzerebene aktiviert
Messung	
Messumgebung	Hier können verschiedene Systemparameter eingegeben werden, z. B.: - Referenzwert für die Laserleistung - Brennweite - Wellenlänge - Bemerkungen - Geräte-Offset (für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant)
Sensorparameter	Folgenden Geräteparameter können hier z. B. eingestellt werden: - den mechanischen Sperrbereich der z-Achse - die räumliche Auflösung (32, 64, 128 oder 256 Pixel) - die mechanischen Bewegungsgrenzen in z-Richtung - Auswahl eines der am Bus angeschlossenen Messgeräte - die Deaktivierung der z-Achse
Einstellung Strahlsuche	Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant
CCD Geräteinfo	Liefert Informationen über Geräteparameter
CCD Einstellungen	Spezielle Einstellungen können hier vorgenommen werden, z. B.: - Triggermode - Triggerlevel - Integrationszeit - Wellenlänge

LQM-Justage	Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant
Leistungsmessung	Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant
Einzelmessung	Dieser Menüpunkt ermöglicht den Start von Einzelmessungen, des Monitorbetriebs und dem Videomode
Kaustik	Ermöglicht den Start einer Kaustikmessung. Sowohl automatische Messungen als auch Serienmessungen manuell eingestellter Parameter sind möglich. Die automatische Messung beginnt mit einer Strahlsuche und durchläuft dann selbständig den gesamten Messablauf. Lediglich der zu untersuchende z-Bereich sowie die Zahl der gewünschten Messebenen muss eingegeben werden.
Start Justiermode	Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant
Optionen	Ermöglicht die Einstellung von Geräteparametern
Darstellung	
Falschfarben...	Falschfarbendarstellung der räumlichen Leistungsdichteverteilung
Falschfarben (gefiltert)	Anwendung einer räumlichen Filterung (Spline-Funktion) auf die Falschfarbendarstellung der Leistungsdichteverteilung
Isometrie...	3-dimensionale Darstellung der räumlichen Leistungsdichteverteilung
Isometrie 3D	Erlaubt 3D-Ansicht von Kaustik und Leistungsdichteverteilung sowie eine optionale Isophotendarstellung
Übersicht (86%)	Numerische Übersicht der Messergebnisse in den verschiedenen Ebenen basierend auf der 86 % Strahlradiusdefinition
Übersicht (2. Momente)	Numerische Übersicht der Messergebnisse in den verschiedenen Ebenen basierend auf der 2. Momente Strahlradiusdefinition
Kaustik	Ergebnisse der Kaustikmessung und die Resultate des Kaustikfits - wie Strahlpropagationsfaktor K, Fokusslage und Fokusradius
Rohstrahl	Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant
Symmetriepfung	Analysewerkzeug zur Prüfung der Strahlsymmetrie besonders für die Justage von Laserresonatoren. Keine Standardfunktion des Gerätes.
Feste Schnitte	Darstellung der räumlichen Leistungsdichteverteilung mit festen Schnittlinien bei 6 unterschiedlichen Leistungsniveaus
Variable Schnitte	Darstellung der räumlichen Leistungsdichteverteilung mit frei wählbaren Schnittlinien.
Graphische Übersicht	Ermöglicht eine Auswahl graphischer Darstellungen - unter anderem des Radius, der x - und y - Position über der z-Position oder der Zeit
Systemstatus	Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant
Evaluierungsparameter	Laden gespeicherter Evaluierungsparameter
Farbtafeln	Verschiedene Farbtabelle sind verfügbar um z. B. Beugungsphänomene detailliert analysieren zu können
Werkzeugleiste	Zum Anzeigen oder Ausblenden der Werkzeugleiste
Position	Verfahren des Gerätes in eine definierte Position
Evaluation	Vergleich der Messwerte mit definierten Grenzwerten und Auswertung (optional)
Kommunikation	
Geräte suchen	Das System sucht den Bus nach den verschiedenen Geräteadressen ab. Das ist notwendig, wenn die Gerätekonfiguration am PRIMES-Bus nach dem Starten der Software geändert wurde.
Freie Kommunikation	Darstellung der Kommunikation auf dem PRIMES-Bus.
Liste gesuchter Geräte	Listet die Geräteadressen der einzelnen PRIMES-Geräte auf.

Skript	
Editor	Öffnet den Skriptgenerator, ein Werkzeug, um komplexe Messabläufe automatisch zu steuern (mit einer von PRIMES entwickelten Skriptsprache).
Auflisten	Zeigt eine Liste der geöffneten Fenster an.
Python	Öffnet den Skriptgenerator, um komplexe Messabläufe automatisch zu steuern (Skriptsprache Python).
Hilfe	
Aktivierung	Ermöglicht die Freischaltung von Sonderfunktionen
Über die LaserDiagnosticsSoftware LDS	Liefert Informationen über die Softwareversion

Tab. 12.1: Menü-Übersicht

12.2 Datei

Dieses Menü umfasst unter anderem die Verwaltung von Mess- und Einstellungsdaten.

12.2.1 Neu (Menü *Datei* > *Neu*)

Mit *Neu* erstellen Sie eine neue Datei.

12.2.2 Öffnen (Menü *Datei* > *Öffnen*)

Mit *Öffnen* öffnen Sie eine ausgewählte Datei.

12.2.3 Schließen/Alle Dateien Schließen (Menü *Datei* > *Schließen/Alle Dateien Schließen*)

Mit *Schließen* wird die aktuell geöffnete Datei geschlossen. Mit *Alle Dateien Schließen* werden sämtliche geöffnete Dateien geschlossen.

12.2.4 Speichern (Menü *Datei* > *Speichern*)

Die aktuell geöffnete Datei wird gespeichert. Der Standard-Dateityp ist ein binäres Datenformat mit minimalem Speicherbedarf. Die Dateiendung für eine Messdatei diesen Typs ist '.foc'. Alternativ dazu ist es möglich, die Daten in ein ASCII-Format zu speichern mit der Erweiterung '.mdf'. Informationen zum Dateiformat '.mdf' finden Sie im Anhang (Kapitel 21.3 auf Seite 119). Nur Dateien mit diesen Formaten können vom Programm geöffnet werden.

12.2.5 Speichern unter (Menü *Datei* > *Speichern unter*)

Sie müssen einen Dateinamen vergeben, den Speicherort und das Dateiformat wählen.



Speichern Sie Messdaten nur mit den Erweiterungen „.foc“ oder „.mdf“. Sie können Messdaten nur betrachten, wenn Sie die entsprechende Datei explizit in der Werkzeugleiste ausgewählt haben.

12.2.6 Export (Menü *Datei* > *Export*)

Schreibt die Pixelinformation der Leistungsdichteverteilung in eine Excel-Tabelle (*.xls). Alternativ können die numerischen Ergebnisse aus einer „.foc“-Datei in eine Tab-separierte Textdatei (*.pkl) gespeichert werden, die in Microsoft Excel importiert werden kann. Die pkl-Exportfunktion hat den Koordinatenursprung im Zentrum des Messbereichs (gelber Punkt).

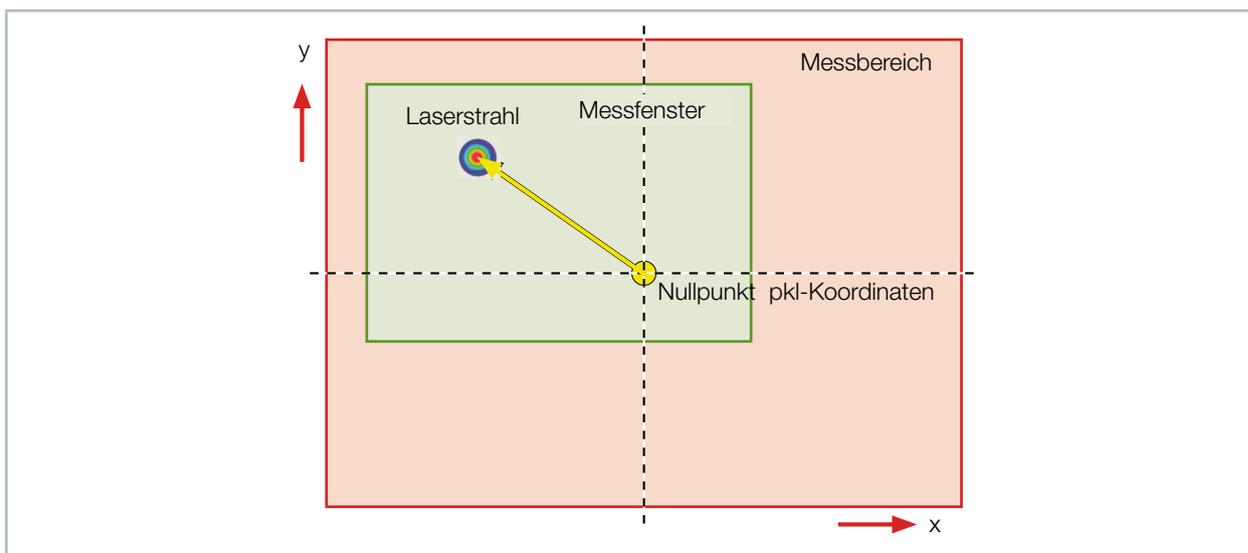


Abb. 12.7: Koordinaten der pkl-Exportfunktion (nicht massstäblich dargestellt)

12.2.7 Messeinstellungen laden (Menü *Datei* > *Messeinstellungen laden*)

Bereits gespeicherte Einstellungen können Sie mit **Messeinstellungen laden** wieder zu aktuellen Einstellungen machen. Die standardmäßige Erweiterung für eine Einstellungsdatei des MicroSpotMonitor MSM ist '.ptx'.

12.2.8 Messeinstellungen speichern (Menü *Datei* > *Messeinstellungen speichern*)

Sie speichern die aktuellen Messeinstellungen (.ptx-Datei).

12.2.9 Protokoll (Menü *Datei* > *Protokoll*)

Sie können die berechneten Messresultate aus einer einzelnen Ebene direkt in eine Textdatei schreiben. Dabei werden gespeichert:

- Datum und Zeit der Messung
- Strahlage und Strahlradius (nach 86 %- und 2. Momente-Methode-Definition)

Dazu aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Schreiben**. Dann können Sie in das Feld **Dateiname** direkt den Namen eingeben oder mit der Schaltfläche **Auswählen** das Standardauswahlmenü nutzen.



Abb. 12.8: Fenster **Protokoll**

12.2.10 Drucken (Menü *Datei* > *Drucken*)

Sie können direkt aus dem Programm heraus einen Drucker ansprechen. Das aktuelle Fenster kann mit dem Menüpunkt **Drucken** im Menü **Datei** gedruckt werden. Dabei sind auch Einstellungen von Formaten usw. mit dem Menüpunkt **Eigenschaften** möglich.

12.2.11 Vorschau Drucken (Menü *Datei* > *Vorschau Drucken*)

Zeigt in einer Vorschau wie der Druck auf Papier aussehen wird.

12.2.12 Zuletzt geöffnete Datei (Menü *Datei* > *zuletzt geöffnete Datei*)

Auswahl der zuletzt bearbeiteten Dateien.

12.2.13 Ende (Menü *Datei* > *Ende*)

Beendet das Programm.

12.3 Bearbeiten

12.3.1 Kopieren (Menü *Bearbeiten* > *Kopieren*)

Mit Hilfe der Kopierfunktion ist ein direkter Export von Grafiken in andere Programme möglich. Der Inhalt des aktuellen Fensters wird dabei in die Windows-Zwischenablage übertragen.

12.3.2 Ebene löschen (Menü *Bearbeiten* > *Ebene löschen*)

Der Inhalt der aktuell angezeigten Messebene des Messdatensatzes, der in der Werkzeugleiste ausgewählt ist, wird gelöscht.

12.3.3 Alle Ebenen löschen (Menü *Bearbeiten* > *Alle Ebenen löschen*)

Der Inhalt aller Messebenen des Messdatensatzes, der in der Werkzeugleiste ausgewählt ist, wird gelöscht.

12.3.4 Benutzerlevel ändern (Menü *Bearbeiten* > *Benutzerlevel ändern*)

Durch Eingabe eines Passwortes wird eine andere Benutzerebene aktiviert.

12.4 Messung

12.4.1 Messumgebung (Menü *Messung* > *Messumgebung*)

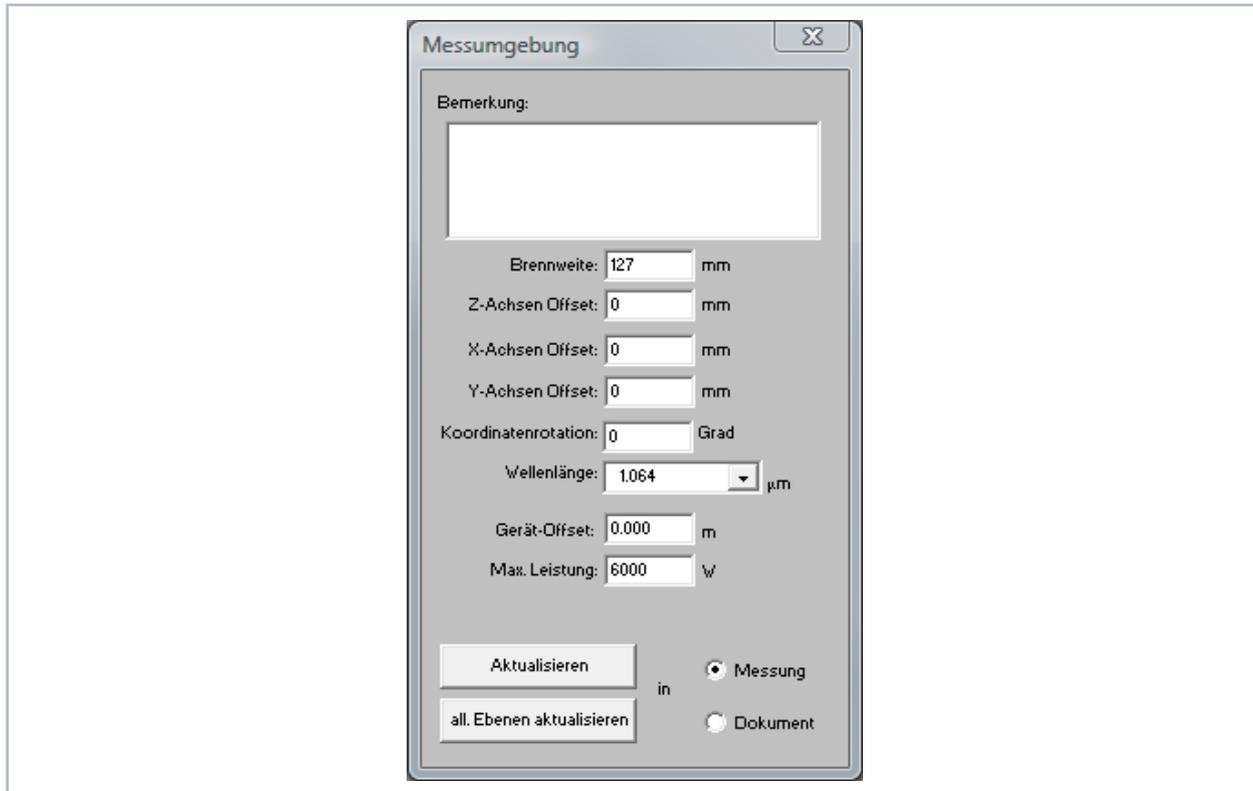


Abb. 12.9: Dialogfenster *Messumgebung*

Im Dialogfenster *Messumgebung* können Daten wie der Lasertyp, Brennweite usw. gespeichert werden. Diese Daten können über *Darstellung* > *Übersicht* gelesen werden.

Brennweite

Die Angabe der Brennweite ist relevant für die Auswertung von Kaustikmessungen. Aus dem Kaustikverlauf und der eingetragenen Brennweite wird auf den Rohstrahldurchmesser auf der Fokussieroptik zurückgerechnet.

Wellenlänge

Die Wellenlänge bildet die Basis für die korrekte Bestimmung der Beugungsmaßzahl M^2 . Wählbar sind:

- 1.064 μm für Nd:YAG-Laser
- 0.532 μm für Grüne Laser
- 0.355 μm für UV-Laser

Sie können die Wellenlänge auch numerisch eingeben.

Während im Dialogfenster *CCD-Einstellung* nur die Kalibrierpunkte des Messobjektivs eingestellt werden können, kann in diesem Fenster der genaue Wert der Wellenlänge des Lasers eingetragen werden. Allen numerischen Auswertungen, wie zum Beispiel die Berechnung der Beugungsmaßzahl M^2 , wird dieser Wert zugrunde gelegt.



Achtung: Wird im Dialogfenster *CCD-Einstellung* die Wellenlänge neu selektiert, wird der Wert in diesem Fenster mit dem ausgewählten Kalibrierpunkt überschrieben.

Aktualisieren

Die Einträge können Sie auch nach einer Messung mit der Schaltfläche **Aktualisieren** noch verändern. Mit der Schaltfläche **all. Ebenen aktualisieren** werden die eingegebenen Werte eingefügt und abgeglichen, während die Schaltfläche **Aktualisieren** nur auf den Wert in der aktuellen Ebene verweist.

Leistung

Die Eingabe der Leistung ist ein Bezugswert für die relative Leistungsstellung im Menüpunkt **Einzelmessung** oder **Kaustikmessung**. Weiterhin können Sie einen z-Achsen-Offset sowie Koordinatendrehwinkel eingeben.

Bemerkung

Bitte verwenden sie im Kommentarfeld „Bemerkung“ nicht das Zeichen #. Dieses Zeichen wird in der Software als Trennzeichen verwendet. Wird es im Kommentarfeld „Bemerkung“ eingesetzt, können Probleme beim Speichern und Wiederlesen von Messdaten auftreten.

Einen Zeilenwechsel erzwingen Sie mit der Tastenkombination: **<Strg> + <Eingabe>**.

12.4.2 Sensorparameter (Menü *Messung* > *Sensorparameter*)

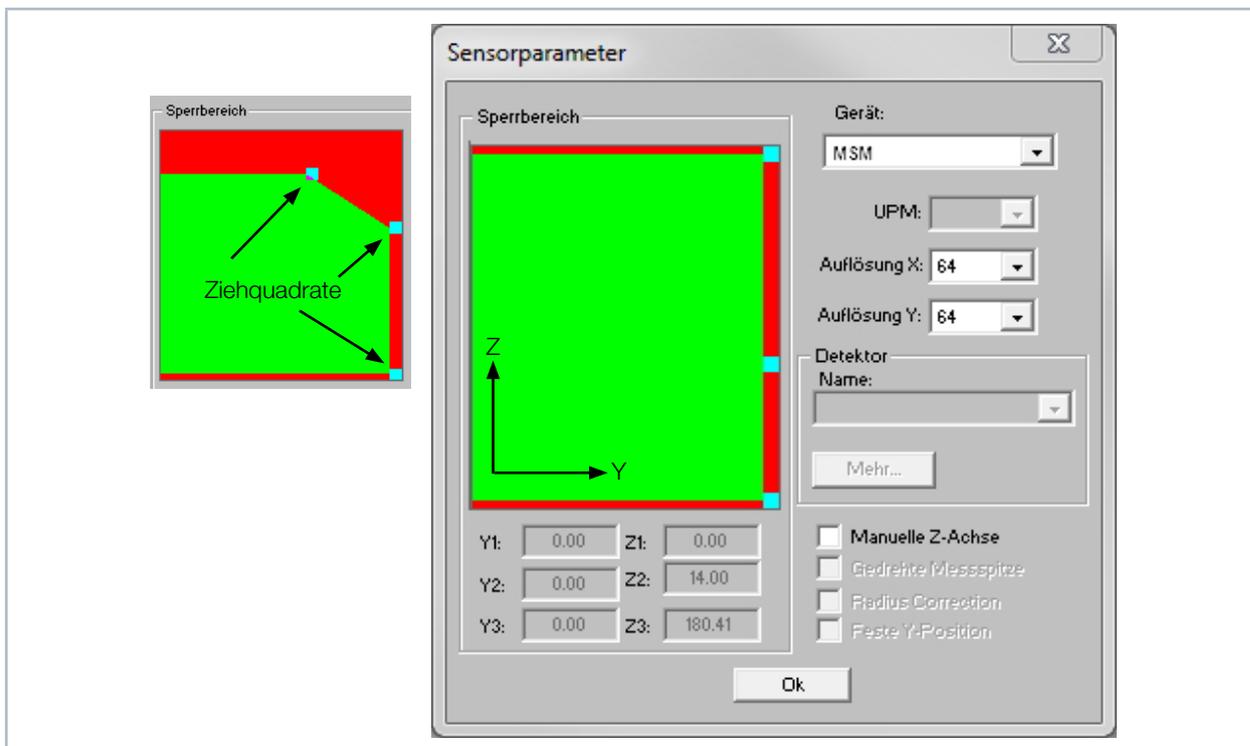


Abb. 12.10: Dialogfenster **Sensorparameter**

Sperrbereich

Durch Ziehen des türkisfarbenen Quadrates mit dem Mauszeiger können Sie in diesem Fenster den Bewegungsbereich der y- und z-Achse einschränken. Diese Funktionalität soll helfen, Beschädigungen zu vermeiden, wenn andere Bauteile in den Bewegungsbereich des Messsystems ragen.

Der Maximalwert entspricht den Werten Y3 und Z3.

Gerät

Über diesen Eintrag wählen Sie das Gerät aus, das bedient werden soll. Je nach Anzahl der angeschlossenen Geräte werden zusätzlich Gerätnummern vergeben.

UPM

Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant.

Auflösung

Hier geben Sie die Anzahl der Pixel im Messfenster von 32 x 32 bis 256 x 256 Pixel vor. In der Regel sind 64 x 64 Pixel ausreichend. Bitte beachten Sie, dass eine größere Anzahl von Pixeln zu einer längeren Messdauer führt.

Detektor

Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant.

Manuelle Z-Achse

Mit Hilfe dieser Funktion können Sie die z-Achse des Gerätes deaktivieren. Hilfreich ist diese Funktion, wenn externe Bewegungsachsen benutzt werden sollen. Ist diese Funktion aktiviert, kann im Dialogfenster **Einzelmessung** jeder Messebene ein z-Wert manuell zugeordnet werden.

12.4.3 Einstellung Strahlsuche (Menü *Messung* > *Einstellungen: Strahlsuche*)

Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant.

12.4.4 CCD Geräteinfo (Menü *Messung* > *CCD Geräteinfo*)

Im Menü *Messung* > *CCD Geräteinfo* sind die wichtigsten Gerätedaten dargestellt. Man kann dort sowohl die Vergrößerungsdaten des Messobjektivs ablesen als auch prüfen, welcher Strahlweg geschaltet ist. Werden statt der tatsächlichen Vergrößerung offensichtliche Default-Werte (1:1) angezeigt, dann prüfen Sie bitte die Montage des Messobjektivs.

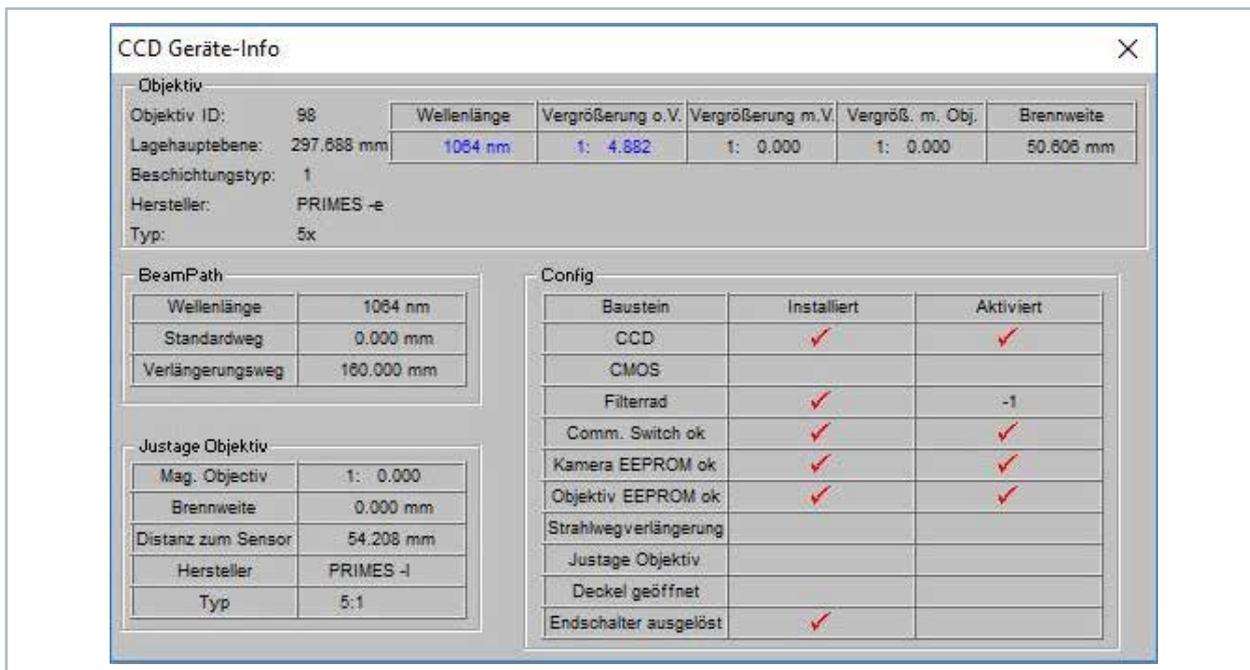


Abb. 12.11: Fenster *CCD Geräteinfo*

12.4.5 CCD-Einstellung (Menü *Messung* > *CCD Einstellung*)

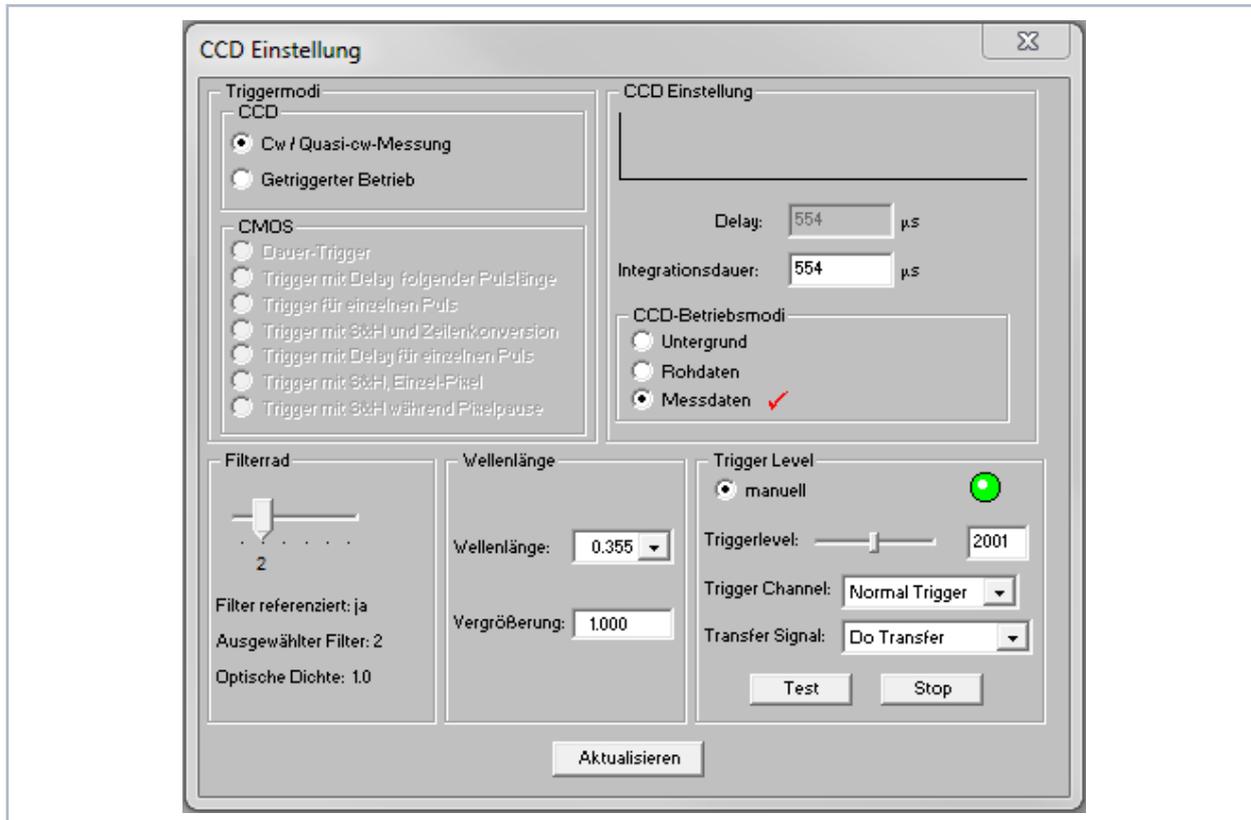


Abb. 12.12: Dialogfenster **CCD-Einstellung**

Im Dialogfenster **CCD-Einstellung** werden die Wellenlänge, die Abschwächung und der Betriebsmodus festgelegt.

Triggermodi

Je nach Betriebsmode des zu vermessenden Lasers muss hier die passende Einstellung vorgenommen werden. Hierbei ist zu beachten, dass gepulste Laser mit einer Pulsfrequenz größer 500 Hz im Modus cw vermessen werden können. Steht der Betriebsmode jedoch auf gepulst und es handelt sich um ein cw Lasersystem, wird das Messgerät immer mit einer Fehlermeldung „Error Black Pixel Measurement“ oder „Time out during Measurement“ auf eine Messanforderung reagieren.

Delay

Diese Funktion kann nur bei dem Triggermodus „getriggert Betrieb“ benutzt werden. Eingestellt wird an dieser Stelle die Zeit, die das Messsystem zwischen dem Erkennen eines Triggerpulses und dem Start der Messung warten soll. Zusammen mit der Funktion „Integrationsdauer“, können definierte „Fenster“ aus Pulszyklen (z. B. genau 1 Puls, oder Teile eines ms-Pulses) vermessen werden. Der minimale Delay beträgt 12 µs.

CCD-Betriebsmodi

Hier können drei verschiedene Modi eingestellt werden. Ist die Einstellung **Rohdaten** aktiviert, liefert das Messsystem bei Messanforderung die unkompensierten Daten des CCD zurück. Diese können gerade bei NIR-Laserstrahlung stark mit Messfehlern wie zum Beispiel dem Ausleserauschen „Smear-Effekt“ behaftet sein. Auch die aus diesen Daten generierten numerischen Strahldaten sind davon betroffen.

Ist als Betriebsmode **Untergrund** ausgewählt, werden beim Messen nur die Korrekturdaten übermittelt. Die Defaulteinstellung sollte hier aber immer der Mode **Messdaten** sein. Nur wenn dieser Mode eingestellt ist, kann das Messsystem belastbare Messwerte liefern.

Integrationsdauer

Diese Funktion legt eine definierte Integrationsdauer fest. Hierzu muss zuerst der Optimizer deaktiviert werden, da sonst die Integrationsdauer vom Messgerät selbst optimiert und somit verändert wird. Auch diese Funktion findet hauptsächlich bei der Vermessung von gepulsten Lasersystemen Anwendung.

Filterrad

Der zum Messen notwendige Filter ist abhängig von der Wellenlänge und der Intensität des zu messenden Laserstrahls und muss passend zu jeder Messaufgabe gewählt werden.

Passend ist der Filter dann, wenn innerhalb einer Kaustikmessung alle Messebenen mit einer Belichtungszeit zwischen 18 ms (-20 dB) und 0,18 ms (-60 dB) vermessen werden. Außerhalb dieser Grenzen sinkt das S/N-Verhältnis des CCD, so dass die Messgenauigkeit verringert wird.

Wellenlänge

Aufgrund der wellenlängenabhängigen Gesamtvergrößerung des kamerabasierten Messgerätes muss vor jeder Messung geprüft werden, dass hier die richtige Auswahl getroffen wurde. Bei den hier angezeigten Wellenlängen handelt es um die Kalibrierpunkte des Messobjektivs. Aufgrund der achromatischen Eigenschaften der Messobjektive kann beispielsweise mit dem Kalibrierpunkt bei 1 064 nm in einem Wellenlängenbereich zwischen 1 030 und 1 100 nm gemessen werden, ohne dass signifikante Messfehler entstehen.

Trigger

Das Triggermenü ist nur für das Vermessen von gepulsten Lasersystemen von Bedeutung. Standardmäßig ist der Triggerdiode ein fester Wert (2 001) vorgegeben. Dieser Wert beschreibt den Schwellwert, bei dem ein Triggersignal ausgegeben wird. Stellt man den Trigger auf automatisch um, wird der Triggerlevel zunächst auf den maximalen Wert gesetzt. Die Schaltfläche **Test** wird in **Optimize** umbenannt. In der Optimize-Routine (Laser muss eingeschaltet sein) wird die Triggerschwelle stufenweise herabgesetzt, bis der MicroSpotMonitor MSM einige Triggersignale bekommt (unterer Triggerlevel). Anschließend wird der Triggerlevel so lange angehoben, bis der MicroSpotMonitor MSM kein Triggersignal mehr bekommt (oberer Triggerlevel). Der endgültige Triggerlevel bildet sich aus dem arithmetischen Mittel der beiden Grenzwerte. Unter dem Menüpunkt **Trigger Channel** kann der externe Triggereingang aktiviert werden. Transfer Signal betrifft den Transferausgang des MicroSpotMonitor MSM. Hier kann festgelegt werden, bei welchem Zustand des CCD-Sensors ein Triggersignal (z. B. für das Einschalten des Lasers) gegeben werden soll.

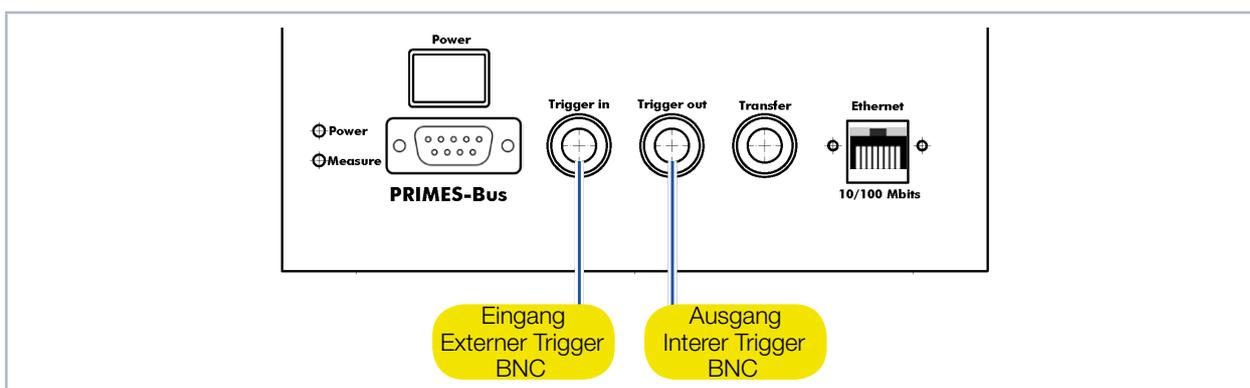


Abb. 12.13: Triggeranschlüsse

12.4.6 LQM-Justage (Menü *Messung* > *LQM-Justage*)

Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant.

12.4.7 Leistungsmessung (Menü *Messung* > *Leistungsmessung*)

Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant.

12.4.8 Einzelmessung (Menü *Messung* > *Einzelmessung*)

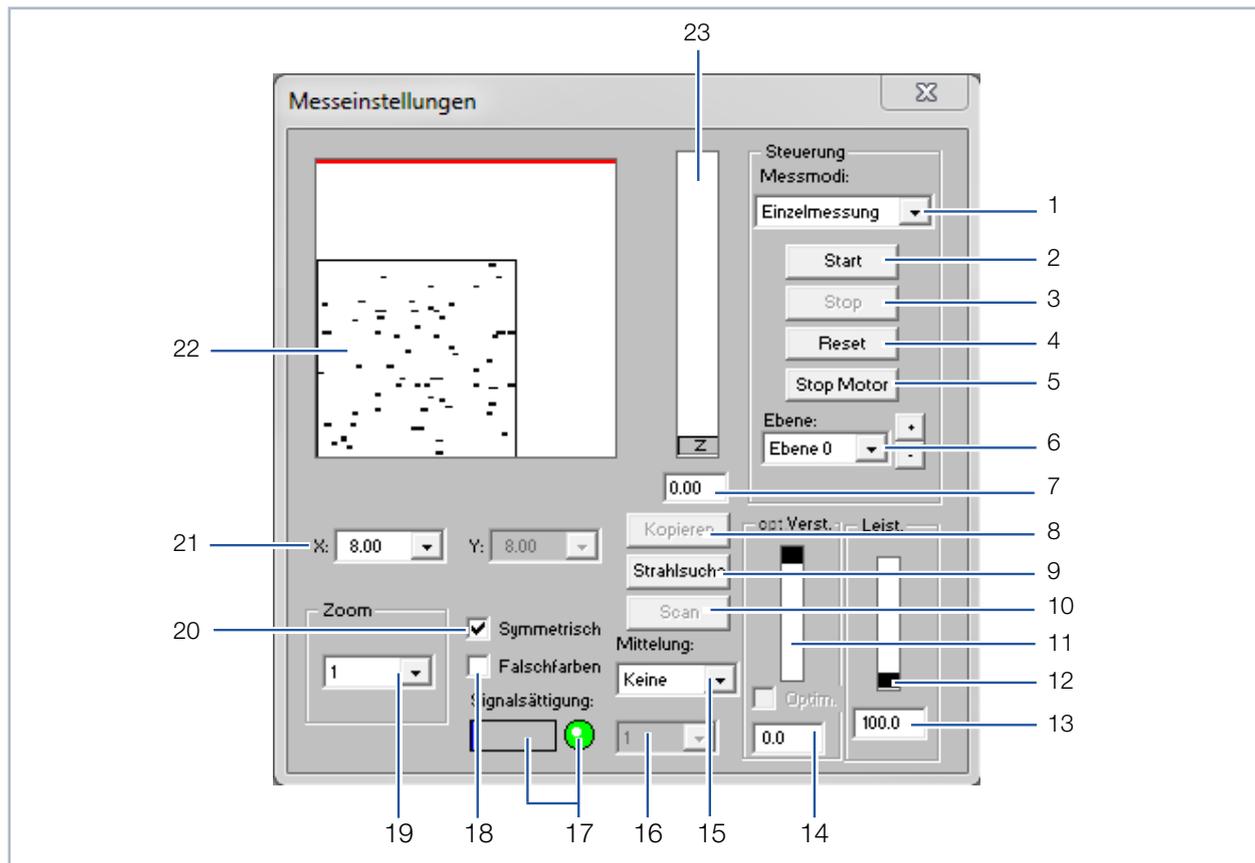


Abb. 12.14: Dialogfenster *Messeinstellungen*

1	Einzelmessung Monitor Videomode	Einzelmessung in der ausgewählten Ebene Wiederholende Messungen in der ausgewählten Ebene
2	Start	Startet eine Messung in der aktuell ausgewählten Ebene
3	Stop	Beendet die Messung in der aktuell ausgewählten Ebene
4	Reset	Das Messgerät wird zurückgesetzt (reset)
5	Stop Motor	Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant
6	Ebene	Auswahl der Messebene (0-49) explizit oder über die Schaltflächen (+/-)
7	Eingabefeld z	Numerische Eingabe der z-Position
8	Kopieren	Kopiert alle Einstellungen (Fenstergröße und -position; x, y, z; usw.) von vorheriger Ebene in die aktuelle Ebene (z. B. 1>>2)
9	Strahlsuche	Startet eine automatische Strahlsuche in der aktuellen Messebene
10	Scan	Startet eine automatische Strahlsuche mit dem MicroSpotMonitor MSM. Der Algorithmus arbeitet bei fester z-Position und sucht nur im Bereich des eingestellten Messfensters
11	opt. Verst.	Schieberegler zum Einstellen der optischen Verstärkung (Integrationszeit des CCD)
12	Leist.	Schieberegler zum Einstellen der Laserleistung, um sie in der Software zu speichern
13	Eingabefeld Leist.	Numerische Eingabe der Laserleistung, um sie in der Software zu speichern
14	Eingabefeld Verst.	Numerische Eingabe der elektrischen Verstärkung
15	Mittelung	Analyse von Serienmessungen. Mittelungsalgorithmen: Mittelwert, Werte des maximalen Pixels und Wert der maximalen Spur
16	Mittelung	Wählbare Anzahl (1-50) von Einzelmessungen für die Mittelung
17	LED-Symbol und Balkenanzeige	Anzeige für den Grad der Signalsättigung (LED grün \triangleq iO, rot \triangleq niO)
18	Falschfarben	Aktiviert die Option Falschfarbendarstellung
19	Zoom	Optische Vergrößerung des Messfensters
20	Symmetrisch	Diese Option erzwingt die Verwendung quadratischer Messfenster, deren Größe allein über x einstellbar ist
21	X/Y	Einstellen der Messfenstergröße für nicht quadratische Fenster
22	Anzeigefeld	Messfenster zeigt das aktuelle Messergebnis
23	Z	Schieberegler zum Einstellen der z-Position

Tab. 12.2: Erklärung der Eingabe- und Einstellelemente

Mit dem Dialogfenster **Messeinstellungen** können entweder Einzelmessungen oder wiederholte Messungen durchgeführt werden. Die Messfensterposition kann manuell oder automatisch eingestellt werden.

Steuerung Messmodi (Einzelmessung, Monitor und VideoMode)

Insgesamt können hier drei verschiedene Messmodi ausgewählt werden. In den Messmodi **Einzelmessung** und **Monitor** werden alle nötigen Kompensationen (Smear-Effekt, Diffusion) und Belichtungszeitanpassung bei jeder Messung neu durchgeführt. In diesen Modi werden gültige Messdaten erzeugt.

Der Messmodus **VideoMode** erzeugt keine validen Messdaten. Hier wird die Belichtungszeit aus der letzten Messung übernommen und nicht variiert. Auch werden keine Kompensationsmessungen durchgeführt, so dass Messartefakte wie das Ausleserauschen (Smear-Effekt) nicht berücksichtigt bzw. kompensiert werden. Aufgrund der „hohen“ Messfrequenz von ca. 5 Hz kann es dennoch sinnvoll sein, mit dieser Betriebsart zu arbeiten (z. B. beim Einrichten). Die numerischen Ergebnisse sollten nicht absolut, sondern immer relativ zueinander bewertet werden.

Leistung (Leist.)

Der Schieberegler stellt die tatsächliche Laserleistung ein, sodass der Softwarealgorithmus die räumliche Leistungsdichte berechnen kann. Es kann auf jede Leistung bis zum Maximum eingestellt werden. Die maximale Leistung wird unter im Menü **Messung > Umgebung** eingegeben. Die Berechnung der Leistungsdichten erfolgt bezogen auf die hier eingestellten Leistungswerte. In einer Messdatei können bis zu 50 Einzelmessungen aufgenommen werden. Die Ergebnisse können mit den verschiedenen Präsentationsfunktionen der LaserDiagnosticsSoftware LDS einfach verglichen und analysiert werden.

Optische Verstärkung (opt. Verst.)

Diese Funktion aktiviert die automatische Anpassung der Belichtungszeit des CCD bei jeder Messung. Nur bei aktivierter Funktion kann das Signal/Rausch-Verhältnis über eine Kaustikmessung konstant hoch gehalten werden.

Für spezielle Messanwendungen kann es allerdings auch durchaus sinnvoll sein, diese Funktion zu deaktivieren und die Belichtungszeit fest auf einen Wert zwischen 12 µs und 200 ms einzustellen. Wichtig ist dabei, dass mit Hilfe der festen ND-Filter, bzw. des Filterrads, eine ausreichende Abschwächung des Laserstrahls gewährleistet wird.

Kopieren

Mit der Schaltfläche **Kopieren** können Sie die Messeinstellungen der Fenstergröße und -position, Leistung und Verstärkung aus der jeweils vorhergehenden Messebene übernehmen.

Strahlsuche

Mit der Schaltfläche **Strahlsuche** startet eine automatische Strahlsuche. Das System sucht dabei nur im Gebiet des aktuell eingestellten Fensters auf der eingestellten z-Position.

Wird die Strahlsuche erfolgreich abgeschlossen, so wird ein Messfenster in geeigneter Größe und Position im Anzeigefeld eingeblendet. Mit der Schaltfläche **Start** kann dann der Strahl aufgenommen werden. Die Größe des Messfensters hängt von der Vergrößerung des Messobjektivs ab. Einflussgrößen sind hierbei das Objektiv und die Wellenlänge.

Scan

Bei Geräten wie zum Beispiel dem LaserQualityMonitor LQM ist das Messfenster sehr viel kleiner als der mit der x- und y- Achse gewährleistete Messbereich (2 mm x 2 mm). Deshalb wurde die Strahlsuche mit dem Befehl **Scan** ergänzt. Wird ein Scan gestartet, tastet der MicroSpotMonitor MSM automatisch den Messbereich ab. Ist ein Punkt maximaler Intensität ermittelbar, zoomt der MicroSpotMonitor MSM automatisch auf dieses Gebiet und passt die Messfenstergröße an.

Größe des Messfensters

Bei der manuellen Strahlsuche können Sie die Lage und die Größe des Messfensters im Dropdown-Menü innerhalb der mechanischen Grenzen selbst festlegen. Die Lage des Messfensters können Sie durch Anklicken und Verschieben des Rahmens mit der Maus verändern.

Z-Schieberegler

Die Lage des Fensters in z-Richtung (Höhe) kann durch den z-Schieberegler oder über eine numerische Eingabe festgelegt werden.

Symmetrisch

Ist diese Funktion aktiviert, werden nur quadratische Messfenster zugelassen. Soll ein elliptischer oder auch ein rechteckiger Laserstrahl vermessen werden, sollte zur optimalen Anpassung der Messfenster diese Funktion deaktiviert werden.

Falschfarbendarstellung

Die Falschfarbendarstellung wird durch Anklicken der entsprechenden Schaltfläche aktiviert. Eine Messung wird mit der Schaltfläche **Start** gestartet. Die Auswahl **Monitor** und das Drücken der Schaltfläche **Start** startet eine fortlaufend wiederholende Messung mit aktuellen Einstellungen. Die Wiederholrate ist abhängig von der räumlichen Auflösung und der Art der Kommunikation zwischen dem PC und dem MicroSpotMonitor MSM.

Zoom-Funktion

Die Zoom-Funktion ermöglicht eine Detailvergrößerung des Messbereichs.

12.4.9 Kaustik (Menü *Messung* > *Kaustik*)

Die Kaustikmessung ist eine Serienmessung, bei der die z-Position variiert wird. Dabei wird jeder z-Position eine eigene Messebene mit den entsprechenden Messergebnissen zugeordnet. Da sich in jeder z-Position Strahlradius und Leistungsdichte verändern, können von Ebene zu Ebene die Lage und Größe des Fensters sowie die Signalverstärkung variieren. Die Parameter werden dabei automatisch angepasst und sind zusätzlich für jede Messebene getrennt einstellbar.

Parameter (Startnummer der Ebene und Anzahl der Ebenen)

Unter Start kann die Startnummer der Ebene angegeben werden, bei der mit dem Messen begonnen werden soll. Standardmäßig liegt die Startnummer auf Null und sollte nur verändert werden, wenn man in ein bestehendes Dokument messen und dabei die vorhandenen Messdaten nicht überschreiben möchte. Hat man beispielsweise eine Kaustik mit 21 Ebenen gemessen und möchte den Messbereich zu kleineren z-Werten hin vergrößern, kann man die Startebene auf 21 setzen und den Messbereich entsprechend verändern. Die neuen Messwerte werden dann ab Ebene 21 in das bestehende Dokument geschrieben.

In dem Auswahlfeld Anzahl wird die Anzahl der im vorgegebenen z-Bereich zu messenden Ebenen festgelegt. Hier sollte Folgendes berücksichtigt werden.

- Da die LaserDiagnosticsSoftware LDS die Messebenenabstände immer äquidistant (gleiche Abstände aufweisend) setzt und der Messbereich so gut wie immer symmetrisch um den Fokus liegt, sollte eine ungerade Anzahl von Messebenen ausgewählt werden. So ist immer gewährleistet, dass die Fokusebene gemessen wird.
- Die Strahlvermessungsnorm DIN 11146 schreibt vor, dass mindestens 10 Messebenen gemessen werden sollen. Weiterhin sollen 5 Messungen innerhalb einer Rayleighlänge gemessen werden und die anderen 5 außerhalb von 2 Rayleighlängen. Um allen Anforderungen zu entsprechen, müssen bei äquidistanter Verteilung mindestens 17 Messebenen in einem Bereich von ± 3 Rayleighlängen gemessen werden.

Mode (Automatik und Manuelle Einstellung)

Für die Kaustikmessung gibt es zwei verschiedene Messmodi. Im „Automatik“-Modus bestimmen das Messsystem und die LDS für jede Messebene die ideale Messfensterposition (x- und y-Richtung) und die für den Füllfaktor optimale Messfenstergröße. Weiterhin wird anhand der Vorgaben (Messebenen Anzahl, Messgrenzen z-Richtung) die Ebenenlage in z-Richtung errechnet.



Gerade bei der Anpassung der Messfenstergröße und der Messfensterposition in x- und y-Richtung kann es durch die Anzahl der Iterationen (max. 3 pro Ebene) zu einer verlängerten Messdauer kommen.

Für wiederkehrende Messaufgaben und für Wiederholungsmessungen gibt es deshalb die Möglichkeit den Messmodus auf „Manuelle Einstellung“ zu ändern. Hier übernimmt das Messsystem die Messfensterpositionen und Messfenstergrößen aus der vorangegangenen Messung oder aus einer .ptx-Datei. Dies reduziert die Messdauer deutlich, setzt allerdings voraus, dass der Laserstrahl sich nur minimal in der Lage und seinen Parametern geändert hat.

Strahlsuche

In diesem Auswahlfeld wird die Ebene vorgegeben, in der die Kaustikmessung begonnen werden soll. Ist im Dialogfenster **Optionen** die Funktion **BeamFind** aktiviert, ist das auch die Ebene bei der diese Funktion ausgeführt wird. Bei deaktivierter BeamFind-Funktion muss eben diese Ebene manuell vorgemessen werden, um sicherzustellen, dass der Laserstrahl gefunden wird.

Unter dem Menüpunkt **Einstellungen** ist es möglich, das Fenster anzupassen. Die Einstellungen für die räumliche Auflösung der Strahlsuche, den Schwellenwert und die minimale Signalstärke können unter dem Menüpunkt **Details** eingegeben werden.

Die Strahlsuche kann im Menü **Messung > Optionen (nur für advanced User)** durch das Deaktivieren des Kontrollkästchen **BeamFind aktivieren** ausgeschaltet werden.

Automatische Kaustikmessung (Menü *Messung* > *Kaustik* > *Automatik*)

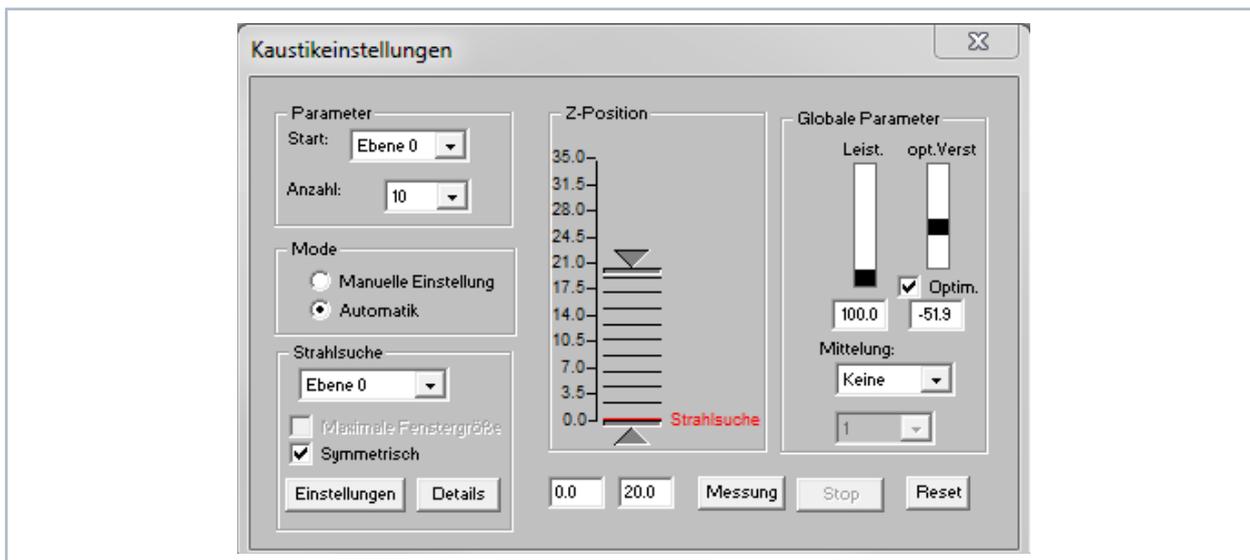


Abb. 12.15: Dialogfenster *Kaustikeinstellungen*

Bei der automatischen Kaustikmessung werden nur noch minimale und maximale z-Position sowie die Zahl der gewünschten Messebenen festgelegt. Der Messzyklus beginnt mit einer automatischen Strahlsuche in der ausgewählten Startebene. Die Strahlsuche erfolgt nur im Bereich des in der Startebene eingestellten Fensters.

Sie können jedoch auch weiterhin die Einstellungen manuell vornehmen. Nachdem die manuelle Einstellung der Messebenen - wie im folgenden Kapitel beschrieben - durchgeführt wurde, können Sie die Kaustikmessung durch Anklicken der Schaltfläche **Manuell** automatisch wiederholen.

Sie können die eingestellten Messparameter wie Fenstergrößen, Fensterpositionen usw. in einer Datei speichern und bei Bedarf wieder laden (*Datei* > *Messeinstellungen speichern/laden*).

Zum Starten eines Messzyklus klicken Sie auf die Schaltfläche **Messung**. Es werden dann nacheinander alle Ebenen gemessen.

Manuelle Kaustikmessung als Zeitreihe (Menü *Messung* > *Kaustik* > *Manuelle Einstellung*)

Die manuelle Kaustikmessung besteht aus einer Abfolge von Einzelmessungen an verschiedenen z-Positionen, wobei die Ergebnisse in jeweils einer eigenen Ebene gespeichert werden (siehe Kapitel .

12.4.10 Start Justiermode (Menü *Messung* > *Start Justiermode*)

Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant.

12.4.11 Optionen (nur für advanced User (Menü *Messung > Optionen*)

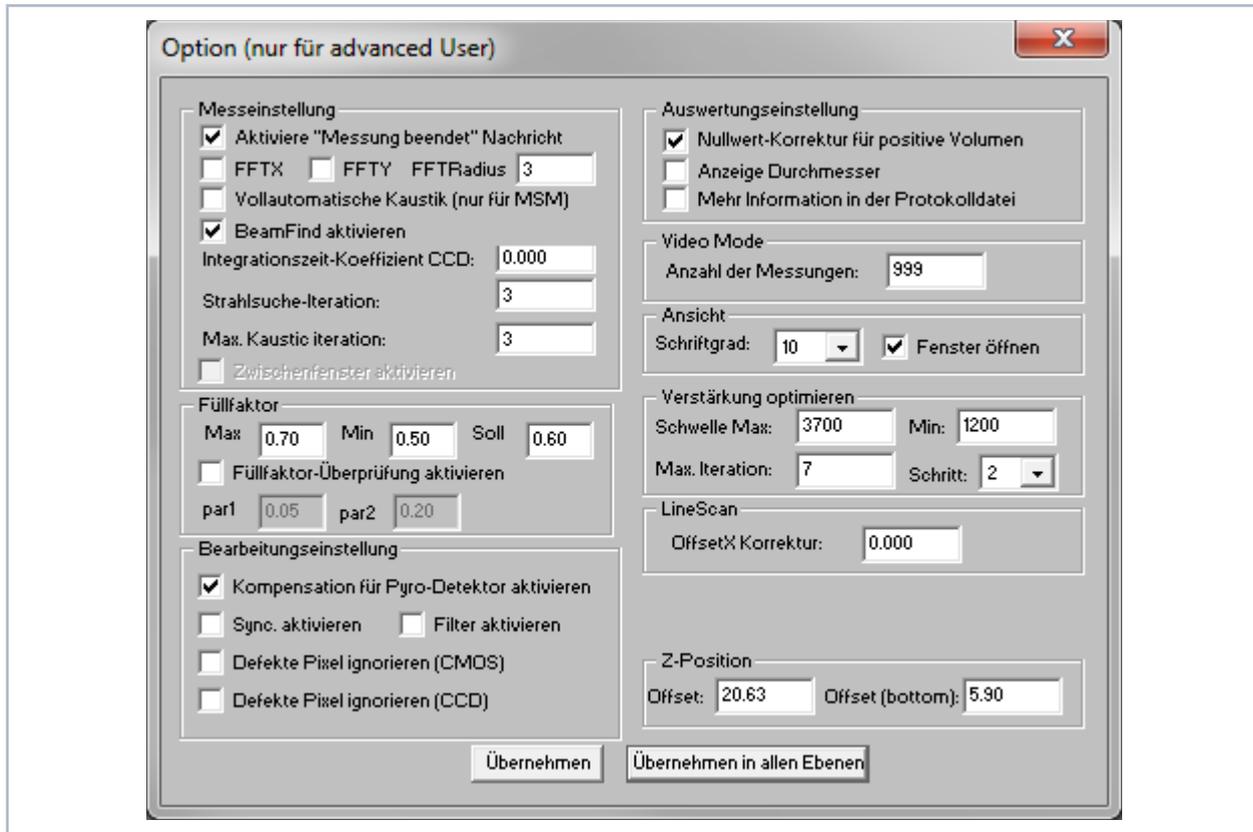


Abb. 12.16: Dialogfenster *Option*

BeamFind aktivieren

Die Funktion BeamFind wird bei Kaustikmessungen benötigt. Es handelt sich um einen Algorithmus, der über eine einstellbare Triggerschwelle das Messsignal von den Messartefakten (z. B. Rauschen) trennt und die Größe des Messfensters auf dieses Signal abstimmt. Dieser Algorithmus wird nur in der Strahlsuchebene (Dialogfenster *Kaustik*) ausgeführt. In allen anderen Messebenen wird die Messfenstergröße über den Füllfaktor bestimmt.

Deaktiviert man diese Funktion, muss dem Messsystem die Strahlsuchebene manuell „vorgemessen“ werden. Andernfalls kann es passieren, dass das Messsystem das Messfenster am Rand des Messbereichs positioniert, so dass kein Messsignal darin liegt. Eine sinnvolle Messung ist dann nicht mehr möglich. Schaltet man den BeamFind-Funktion ab und misst dem Messsystem die Strahlsuchebene vor jeder Kaustikmessung vor, kann man pro Kaustikmessung ca. 20 sec Messzeit einsparen.

Fazit: Diese Funktion sollte standardmäßig aktiviert sein, und nur von erfahrenen Usern deaktiviert werden. Das Abschalten dieser Funktion kann bei Kaustikmessungen die Messdauer um ca. 15 % verkürzen.

Füllfaktor

Der Füllfaktor ist der Quotient aus dem Strahldurchmesser und der Seitenlänge des Messfensters. Solange das Messsignal nicht beschnitten wird und im Messergebnis keine Rauschanteile und kein Fehler in der Offsetbestimmung enthalten sind, hat der Füllfaktor keinen Einfluss auf die Messgenauigkeit. Da aber jedes reale Messsignal mit Rauschen behaftet ist und da die Genauigkeit mit welcher der Nulllevel eines Messsignal bestimmt werden kann endlich ist, können zu kleine Füllfaktoren zu großen Messungenauigkeiten führen. Je nachdem wie groß das RMS-Rauschen und der Fehler in der Nulllevelbestimmung in einer Messebene sind, hat der für das rechnerisch bestmögliche Messergebnis optimale Füllfaktor einen anderen Wert.

Für TopHat- und Gaußstrahlformige Laserstrahlen sollte der Füllfaktor zwischen 0,5 und 0,7 liegen. Weist ein Strahl jedoch Beugungsringe auf und sollen diese vollständig im Messfenster liegen, kann der optimale Wert für den Füllfaktor auch zwischen 0,5 und 0,6 liegen.

Standardmäßig sollte der Wert: „Max 0,7 Min 0,5 Soll 0,6“ eingestellt sein. Für stark deformierte Strahlen kann der Wert auf „Max 0,6 Min 0,4 Soll 0,5“ geändert werden.

Schriftgrad

Hier kann die Schriftgröße für die wichtigsten Darstellungsfenster geändert werden. Werkseitig ist 10 Punkt eingestellt.

Fenster öffnen

Bei aktivierter Fenster öffnen-Funktion werden beim Start der LaserDiagnosticsSoftware LDS einige grundlegende Fenster geöffnet. Ist dies nicht erwünscht, kann die Funktion deaktiviert werden.

12.5 Darstellung

Dieses Kapitel beschreibt die Darstellung, Analyse und Speicherung der Messergebnisse.

Um Vergleiche zwischen verschiedenen Messungen durchzuführen, kann das Programm mehrere Messdatensätze gleichzeitig verwalten. Die geöffneten Datensätze werden in der Werkzeugleiste angezeigt. Um eine Darstellung zu öffnen, wird die zu untersuchende Datei in der Liste der Dateiauswahl selektiert, und danach die gewünschte Präsentationsart ausgewählt.

Mit den Symbolen in der Menüleiste können Funktionen der Dateiverwaltung als auch verschiedene Darstellungsarten direkt aufgerufen werden.



Abb. 12.17: Auswahl eines Datensatzes

In der Auswahl Ebenen kann zwischen verschiedenen Bildspeichern der Messreihe hin- und hergeschaltet werden. Bei aktivierter Ebenenauswahl ist eine Weiterschaltung mit den Cursortasten hoch/runter möglich. Wird die Ebenenauswahl in den Darstellungsmenüs auf **Global** gesetzt, ist ebenfalls eine Weiterschaltung mit den Cursortasten hoch/runter möglich.

In den Menüs für die Darstellungsart der Einzelmessungen (**Darstellung > Variable Schnitte**, **Darstellung > Isometrie** und **Darstellung > Falschfarbendarstellung**) bewirkt die Option **Autom. Skalierung** eine Ausnutzung der gesamten Darstellungsbandbreite für die Messwerte.

Darüber hinaus können Sie mit der **Ebenenauswahl** zwischen verschiedenen Bildspeichern der Messreihe hin- und herschalten. Eine Weiterschaltung ist auch mit den Cursortasten hoch/runter möglich, wenn die Ebenenauswahl selektiert ist. Wird die Ebenenauswahl in den Darstellungsmenüs auf **Global** gesetzt, ist ein simultanes Umschalten zwischen den Ebenen über die Auswahl in der Werkzeugleiste möglich. Der Titel eines Dialogfensters gibt den Namen des dargestellten Datensatzes an.

Zur parallelen Auswertung mehrerer Messungen besitzt das Programm 50 Bildspeicher, die jeweils eine Messung aufnehmen können. Diese Bildspeicher (Messebenen) können Sie auch nutzen, um bei einer Parametervariation die geänderten Messwerte aufzunehmen.

Durch die Variation der z-Position in den verschiedenen Ebenen wird eine Kaustikmessung realisiert. Durch eine Veränderung der Laserleistung lässt sich z. B. das thermische Einlaufverhalten des Systems simulieren. Analog dazu sind auch Zeitreihen möglich. Entsprechende Darstellungen ermöglicht unter anderem der Menüpunkt **Darstellung > Grafische Übersicht**.

12.5.1 Falschfarben (Menü *Darstellung* > *Falschfarben*)

Hier wird eine Falschfarbendarstellung der gemessenen Leistungsdichteverteilung erzeugt.

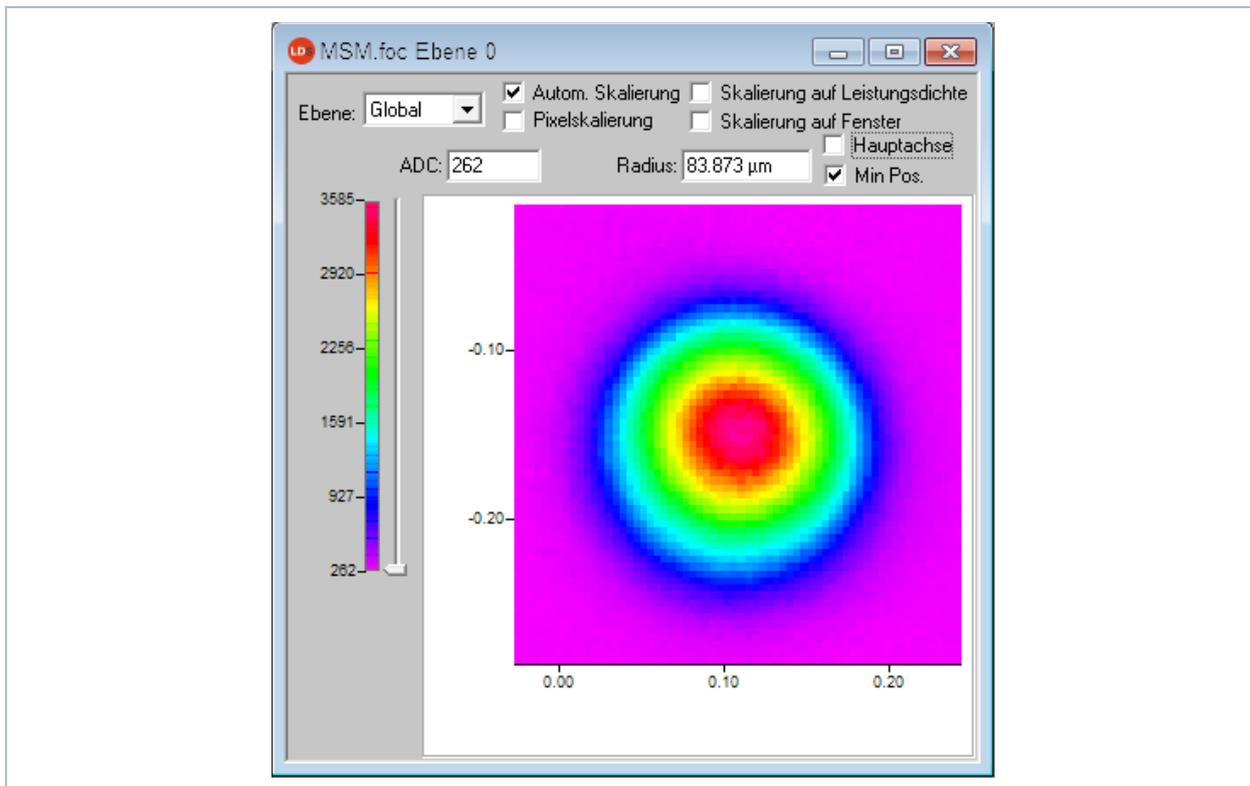


Abb. 12.18: Dialogfenster *Falschfarben*

Die verwendete Farbskala ist links eingeblendet. Für eine erhöhte Sensitivität, zum Beispiel zur Analyse von Beugungsfiguren, ist es möglich, die verwendeten Farbskalen im Menü *Darstellung* > *Farbtafeln* umzuschalten. Über den Schieberegler rechts neben der Farbskala können Sie Schnitte zu verschiedenen ADC-Werten mit den zugehörigen Radien anzeigen.

Neben der automatischen Skalierung gibt es noch drei weitere Skalierungsarten.

Skalierung auf Leistungsdichte

Alle Ebenen einer Kaustikmessung werden auf die maximal gemessene Leistungsdichte skaliert. Dies soll helfen die verschiedenen Ebenen besser miteinander vergleichen zu können.

Pixelskalierung

Diese Skalierung ist nur bei der Verwendung von unsymmetrischen Messfenstern von Interesse. Die Achsen der Fenster sind dann nicht länger eine Funktion der Messfenstergröße, sondern der Anzahl der gemessenen Pixel.

Skalierung auf Fenster

Bei dieser Funktion werden alle Messfenster einer Kaustikmessung auf die Größe des maximalen Messfensters vergrößert. Auch diese Funktion soll helfen, die verschiedenen Messebenen einer Kaustikmessung besser miteinander vergleichen zu können.

Die Strahlachsen können in sämtlichen Skalierungsarten mit dem Aktivieren des Kontrollkästchen *Hauptachse* eingeblendet werden.

Linealfunktion

Durch Klicken mit der linken Maustaste ins Bild kann der Strahl in beliebiger Richtung vermessen werden.

12.5.2 Falschfarben (gefiltert) (Menü *Darstellung* > *Falschfarben (gefiltert)*)

Die dem Filter zugrunde liegende Funktion ist eine Spline-Funktion. Sie ist unter anderem dadurch charakterisiert, dass die Lage der Maxima erhalten bleibt. Dabei werden in einer Matrize die einzelnen Pixel mit einem 1-2-1 Filter gewichtet, so dass das Rauschen verringert wird.

Dieser Filter kann auch mehrfach angewendet werden, ohne dass sich die Lage der Maxima verschiebt.

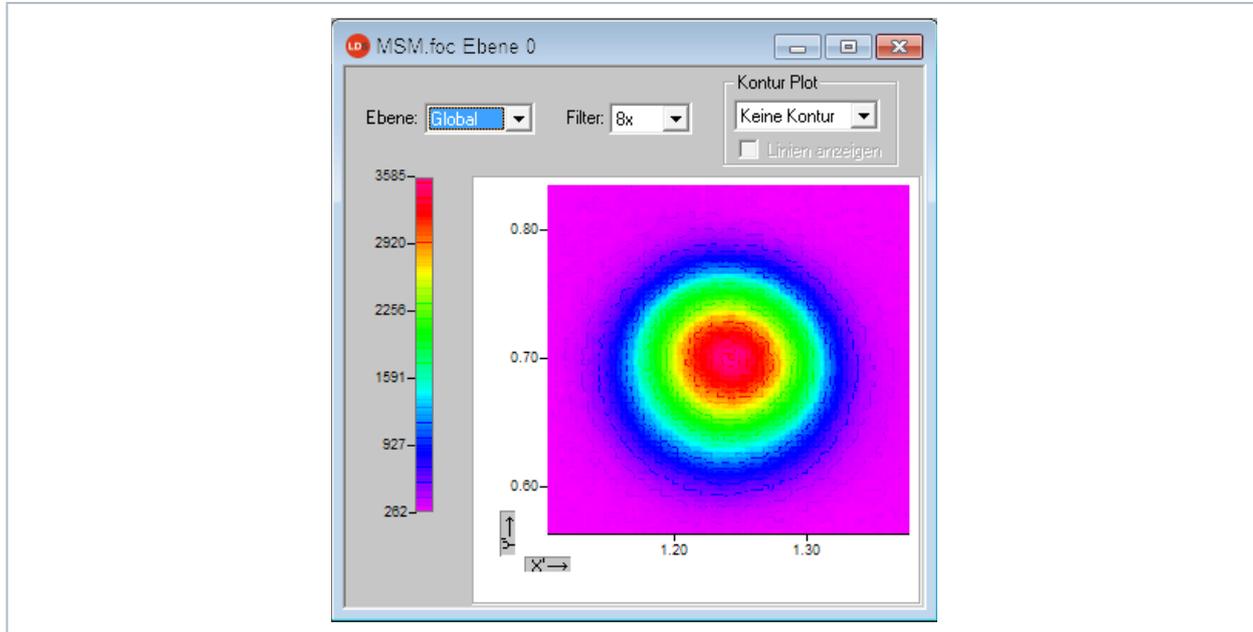


Abb. 12.19: Dialogfenster *Falschfarben (gefiltert)*

12.5.3 Isometrie (Menü *Darstellung* > *Isometrie*)

Dieser Menüpunkt erzeugt eine räumliche Darstellung der gemessenen Leistungsdichteverteilung einer Ebene. Die Farbdarstellung lässt sich deaktivieren. Eine Drehung der Verteilung um jeweils 90°, 180° und 270° ist möglich.

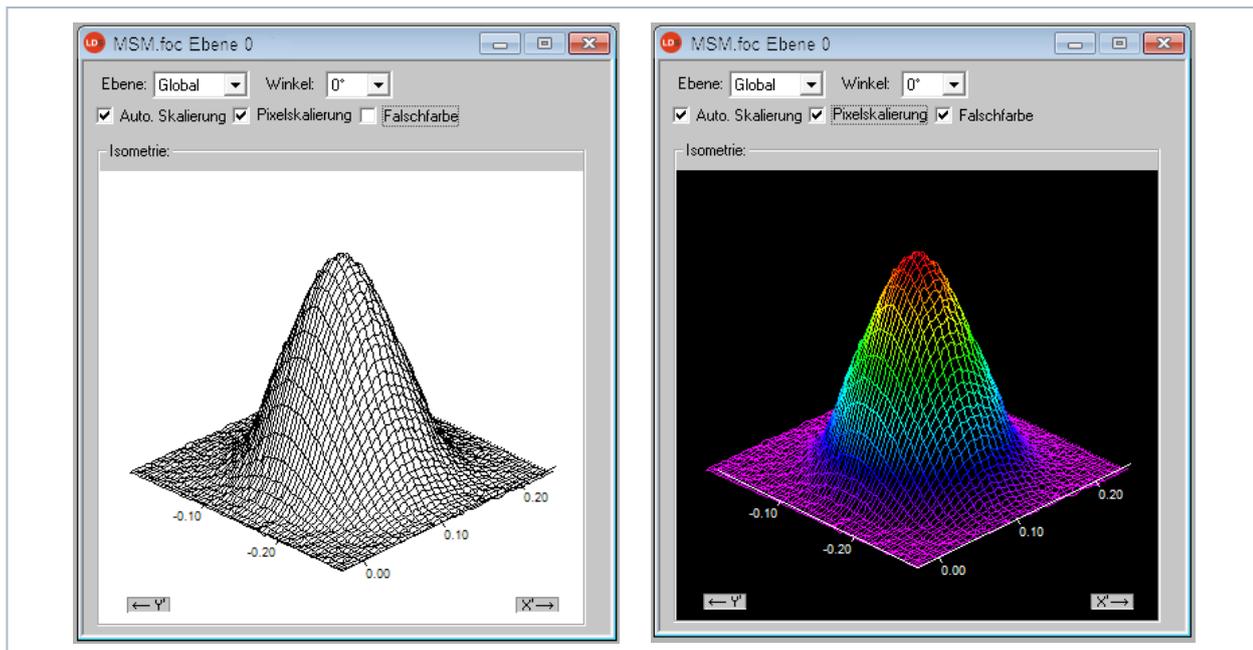


Abb. 12.20: Dialogfenster *Isometrie* (links mit deaktivierter Farbdarstellung)

12.5.4 Isometrie 3D (Menü *Darstellung* > *Isometrie 3D*)

Diese Funktion erzeugt die dreidimensionalen Darstellungen der Leistungsdichteverteilung einer Ebene und aller Ebenen in Falschfarben.

Das Darstellungsfenster ist zweigeteilt. Links wird die Kaustik, rechts die Leistungsdichteverteilung in einer Ebene dargestellt. Die horizontale Größe der Einzelfenster können Sie durch Ziehen des Trennbalkens mit der Maus verändern.

Die Grafiken können Sie mit der linken Maustaste um alle drei Achsen stufenlos drehen und mit der rechten Maustaste im Fenster frei positionieren.

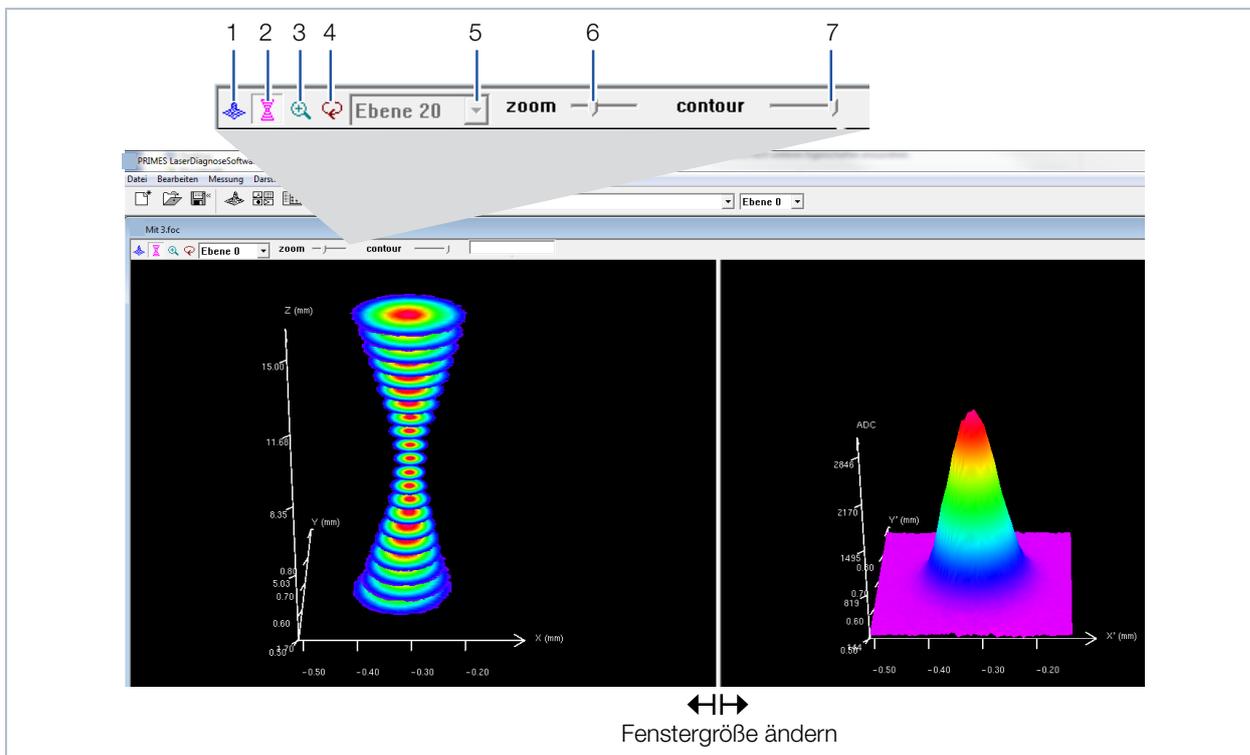


Abb. 12.21: Dialogfenster *Isometrie 3D*

1	3D-Darstellung der Ebene	Blendet die 3D-Darstellung der Leistungsdichteverteilung in der Ebene vollflächig in das Darstellungsfenster ein.
2	3D-Darstellung der Kaustik	Blendet die 3D-Darstellung der Kaustik zusätzlich in das Darstellungsfenster ein.
3	Vergrößerung in der Ebene	Im linken Teil des Darstellungsfensters wird eine Vergrößerung der rechts abgebildeten Ebene eingeblendet (den gewünschten Bereich können Sie mit der linken Maustaste im rechten Fenster anklicken).
4	Rotation	Löst eine Rotation beider Grafiken um die z-Achse aus.
5	Ebenenauswahl	Wählen Sie hier die darzustellende Ebene ein (Sie können die gewünschte Ebene auch einfach in der 3D-Kaustik mit der linken Maustaste auswählen).
6	Zoom	Schieberegler für eine stufenlose Vergrößerung der Darstellung.
7	Kontur	Schieberegler für einen Konturbeschnitt entlang der Leistungsdichte.

Tab. 12.3: Erklärung der Auswahl- und Einstellelemente

12.5.5 Übersicht 86 % bzw. 2. Momente (Menü *Darstellung* > *Übersicht (86%)*/(*2. Momente*))

Für die Radiusdefinition gibt es zwei wesentliche Bestimmungsmöglichkeiten:

- Bestimmung der Strahlradien nach der 86% -Leistungsdefinition, (siehe Kapitel 22.2.4 auf Seite 145).
- Bestimmung der Strahlradien nach der 2. Momente-Methode (ISO 11146), (siehe Kapitel 22.2.3 auf Seite 144).

MSM.foc - 86% Übersicht									
Ebene:	Ebene 0	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4	Ebene 5	Ebene 6	Ebene 7	Ebene 8
Radius [mm]	0.014	0.013	0.012	0.011	0.010	0.008	0.007	0.007	0.006
Position X [mm]	-0.009	-0.007	-0.009	-0.007	-0.007	-0.008	-0.007	-0.007	-0.006
Position Y [mm]	0.301	0.301	0.302	0.302	0.303	0.300	0.302	0.303	0.301
Position Z [mm]	87.750	87.770	87.790	87.810	87.830	87.850	87.870	87.890	87.910
Nullwert [A/D-Cnts]	315.000	316.750	309.750	316.000	311.750	311.000	310.750	317.000	315.500
Leistung [kW]	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
Radius inten. [kW/cm²]	4639.407	5281.129	6063.454	8162.947	9482.212	11963.182	15048.296	17934.973	20568.806
Peak inten. [kW/cm²]	28122.200	31650.413	35202.723	43026.258	58523.869	88542.624	124110.121	165071.888	193302.834
Datum:	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016
Uhrzeit:	16:35:12	16:35:13	16:35:15	16:35:17	16:35:19	16:35:20	16:35:22	16:35:24	16:35:25
Brennweite [mm]	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000
Z-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Y-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Koordinatenrotation [dg.]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tab. 12.4: Ergebnisfenster **86% Übersicht**

MSM.foc - 2. Moment Übersicht									
Ebene:	Ebene 0	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4	Ebene 5	Ebene 6	Ebene 7	Ebene 8
Radius [mm]	0.015	0.014	0.013	0.011	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006
Radius X [mm]	0.016	0.014	0.013	0.012	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006
Radius Y [mm]	0.014	0.013	0.012	0.011	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006
Winkel [°] (x/y-Richtung)	-2.3	-2.6	-4.0	0.2	-7.1	-12.0	1.0	3.4	13.1
Position X [mm]	-0.009	-0.007	-0.009	-0.007	-0.007	-0.008	-0.007	-0.007	-0.006
Position Y [mm]	0.301	0.301	0.302	0.302	0.303	0.300	0.301	0.302	0.302
Position Z [mm]	87.750	87.770	87.790	87.810	87.830	87.850	87.870	87.890	87.910
Nullwert [A/D-Cnts]	315.000	316.750	309.750	316.000	311.750	311.000	310.750	317.000	315.500
Leistung [kW]	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
Peak inten. [kW/cm²]	28122.200	31650.413	35202.723	43026.258	58523.869	88542.624	124110.121	165071.888	193302.834
Datum:	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016	25. 4. 2016
Uhrzeit:	16:35:12	16:35:13	16:35:15	16:35:17	16:35:19	16:35:20	16:35:22	16:35:24	16:35:25
Brennweite [mm]	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000
Z-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Y-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Koordinatenrotation [dg.]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Wellenlänge [µm]	1.064	1.064	1.064	1.064	1.064	1.064	1.064	1.064	1.064
Radius X' [mm]	0.016	0.014	0.013	0.012	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006
Radius Y' [mm]	0.014	0.013	0.012	0.011	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006
Füllfaktor	0.497	0.458	0.420	0.551	0.486	0.425	0.375	0.647	0.590
Elliptizität (Rmin/Rmax)	0.932	0.925	0.920	0.906	0.893	0.890	0.876	0.928	0.940

Tab. 12.5: Ergebnisfenster **2. Moment Übersicht**

Die Parameter und Ergebnisse der aktuell gewählten Ebene sind blau unterlegt. Wenn das Messsignal das Nullniveau nur wenig überschreitet, werden die Messergebnisse nicht schwarz sondern grau dargestellt. In diesem Fall prüfen Sie, ob die Messwerte vertrauenswürdig sind oder verworfen werden müssen und die Messung eventuell mit anderen Einstellungen wiederholt wird.

Die Einträge Leistung, Brennweite und Wellenlänge sowie die Kommentare können auch nachträglich geändert werden. Dazu dient im Menüpunkt **Messung > Messumgebung** die Schaltfläche **Aktualisieren**.

12.5.6 Kaustik (Menü *Darstellung* > *Kaustik*)

Die Ergebnisse der Kaustikmessung können Sie mit dem Menüpunkt *Darstellung* > *Kaustik* anzeigen. Die Abb. 12.22 auf Seite 63 zeigt auf der linken Seite die berechneten Strahlparameter wahlweise auf Basis der 86 %-Radien oder die 2. Momenteauswertung nach ISO 11146. In der Bildmitte zeigt die Grafik den Kaustikverlauf an. Die Strahlradien sind dabei in Strahlausbreitungsrichtung aufgetragen. Rechts ist eine Falschfarbendarstellung der mit der Maus angewählten Messebene und deren numerische Ergebnisse eingeblendet, die für diese Ebene berechnet wurden.

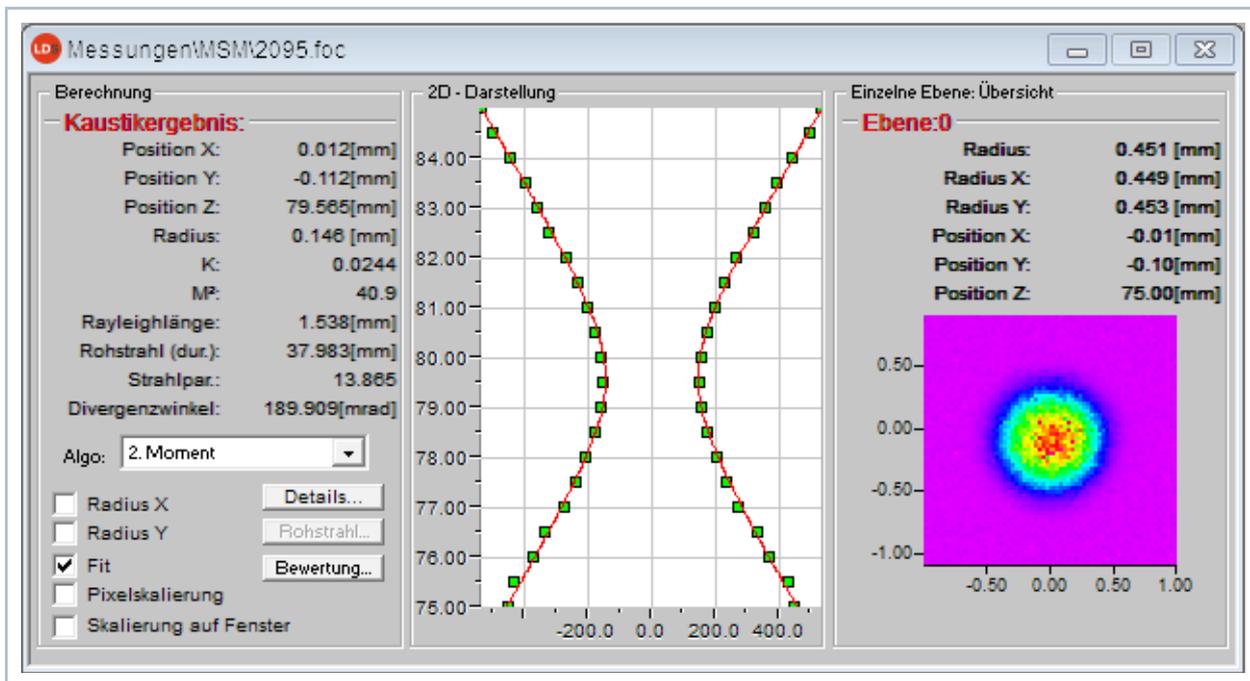


Abb. 12.22: Dialogfenster *Kaustik*

Die rote Linie stellt die Ausgleichskurve entsprechend des berechneten Fits dar, sie kann über das Kontrollkästchen *Fit* in der 2D-Darstellung eingeblendet werden.

Ausgleichskurve

Zur Auswertung der Kaustik wird eine hyperbolische Ausgleichskurve (ISO11146) an die Messwerte angepasst. Diese Ausgleichskurve beschreibt mathematisch die Propagation eines idealen Laserstrahls. Der Verlauf der Ausgleichskurve wird theoretisch bestimmt durch die folgenden Parameter:

- Normierte Beugungsmaßzahl M^2 bzw. Strahlpropagationsfaktor K
- z-Position
- Fokusradius
- Rayleighlänge

Normierte Beugungsmaßzahl M^2 (bzw. der Strahlpropagationsfaktor $K = \frac{1}{M^2}$)

Die normierte Beugungsmaßzahl beschreibt, wie gut sich der betreffende Laserstrahl im Verhältnis zum Grundmode fokussieren lässt. Der Grundmode ist der theoretisch bestmögliche Strahl und hat eine Beugungsmaßzahl M^2 von 1. Alle anderen Strahlen haben größere Beugungsmaßzahl M^2 -Werte.

Z-Position

Dieser Wert gibt die Lage der Fokuspunkte in der z-Richtung an. Da die Ausgleichskurve alle Messpunkte berücksichtigt, ist die berechnete z-Position nicht zwingend am Ort des kleinsten gemessenen Strahlradius.

Fokusradius

Der Fokusradius ist der kleinste Strahlradius in der Kaustik. In der Regel ist dieser Wert dem kleinsten gemessenen Wert ähnlich.

Aus verschiedenen Gründen kann es vorkommen, dass keine Anpassung an die Messwerte durchgeführt wurde. Dies ist dadurch zu erkennen, dass die Ausgleichskurve grob neben den Messwerten liegt. In diesem Fall sind die Parameter der angepassten Ausgleichskurve zu verwerfen.

Rayleighlänge

Die Rayleighlänge ist ein abgeleiteter Parameter und beschreibt den Abstand vom Fokus in z-Richtung, bei dem der Strahlradius um den Faktor $\sqrt{2}$ (≈ 1.41) zugenommen und die Strahlfläche um den Faktor 2 zugenommen hat. Die Rayleighlänge wächst mit der Brennweite der Fokussieroptik und der Strahlqualität. Die doppelte Rayleighlänge ist ein ungefährender Anhaltspunkt, bis zu welcher Materialdicke (Metall) eine Bearbeitung mit der eingesetzten Optik möglich ist.

Damit die angepassten Werte eine möglichst hohe Aussagekraft besitzen, ist die Messung über einen z-Bereich von mindestens ± 2 Rayleighlängen durchzuführen. Wie in der ISO 11146 gefordert, sind 5 bis 6 Rayleighlängen ideal. Dieser Forderung steht jedoch die manchmal schnell sinkende Leistungsdichte des zu vermessenden Laserstrahls gegenüber. Bei einem Abstand von 2 Rayleighlängen vom Fokus ist die Leistungsdichte auf ein Viertel abgesunken.

Die Kaustikmessung besteht in diesem Fall aus einem Kompromiss zwischen dem gewünschten Messbereich in der z-Richtung und der zu einer einwandfreien Messung notwendigen Leistungsdichte (Signal/Rausch-Verhältnis).

Zyklische Kaustikmessungen

Zur Durchführung zyklischer Kaustikmessungen sollten die Einstellungen der verschiedenen Aufnahmeparameter in einer Datei gespeichert werden. Diese Daten sind dann bei Bedarf jederzeit verfügbar und können für eine neue Messung verwendet werden. Für eine „schnelle“ Prüfung des Strahls empfiehlt sich eine Messung mit nur wenigen Ebenen, wobei bei Bedarf auch nur ein Teil der Kaustik ausgemessen wird.

Solch ein Messzyklus ist in der Regel innerhalb von 2 bis 3 Minuten beendet; mit einer Ethernet-Verbindung wesentlich schneller. Für Prüfungen nach einem Laser- und Anlagenservice bietet sich eine Messung mit mehr Ebenen an, weil hier die Messergebnisse mit höherer Genauigkeit ermittelt werden.

Zum Start der Messung werden die gespeicherten Kaustikdaten aus einer Voreinstellungsdatei geladen (Menü **Datei > Voreinstellungen** laden). Nach der Eingabe des gewünschten Dateinamens werden die entsprechenden Daten geladen.

Details (Menü *Darstellung* > *Kaustik* > *Details*)

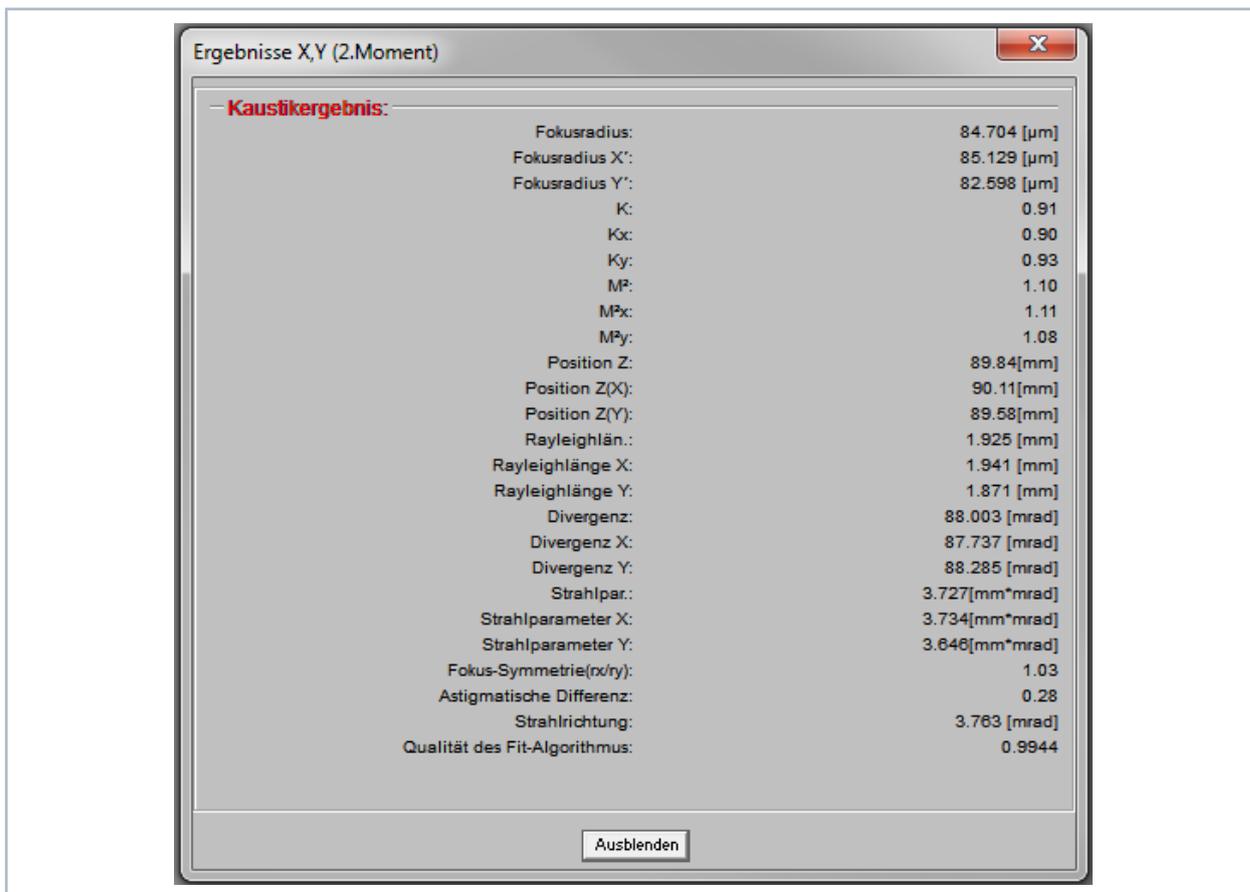


Abb. 12.23: Ergebnisfenster *Ergebnisse X,Y (2. Moment)*

Zur Untersuchung asymmetrischer Strahlen können die Abmessungen der Hauptachsen der Strahlen bestimmt werden. Ausgehend von diesen Werten berechnet das Programm auch richtungsabhängige Strahlpropagationsfaktoren und Strahllagewerte. Die zugehörigen Kurven werden über die beiden Kontrollkästchen Radius X, Y eingeblendet, die Zahlenwerte stellt das Ergebnisfenster bereit.

Rohstrahl (Menü *Darstellung* > *Kaustik* > *Rohstrahl*)

Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant.

Bewertung (Menü *Darstellung* > *Kaustik* > *Bewertung*)

Diese Funktion prüft, ob die Ergebnisse und Einstellungen der Kaustikmessung im zuverlässigen Bereich liegen.

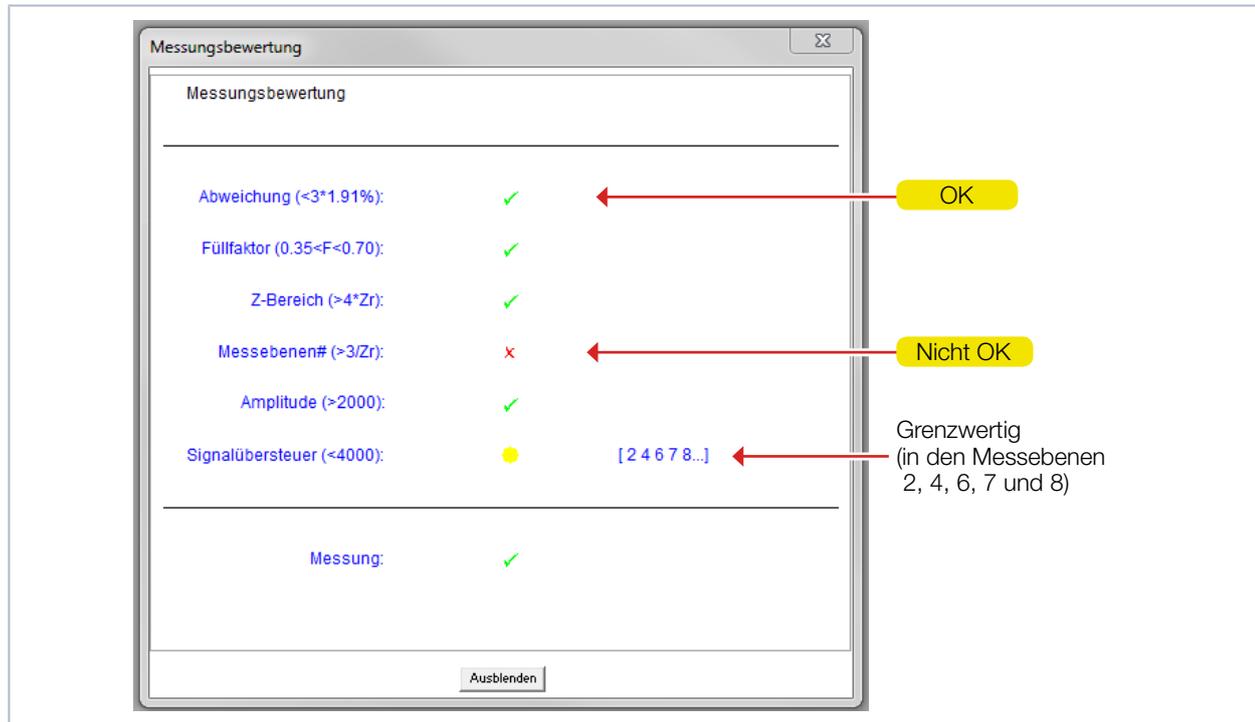


Abb. 12.24: Ergebnisfenster **Messungsbewertung**

Unter „Abweichung“ wird die mittlere relative Standardabweichung des Kaustikfits von den Radien nach der 2. Momente-Methode aufgeführt. Ein „Häkchen“ (✓) wird gesetzt, wenn die Standardabweichung kleiner 3,5 % ist und wenn keiner der Messwerte außerhalb eines Bereiches von $\pm 3 \cdot$ Standardabweichung liegt. Bei negativer Bewertung (✗) der Abweichung werden auch die betroffenen Messebenen angezeigt. Die angezeigten Ebenen sind von links nach rechts in der Größe der Abweichung angeordnet. Das heißt, die Ebene, in der die Abweichung am größten ist (siehe Abb. 12.24 auf Seite 66 die Ebene 2) steht an erster Stelle.

Bewertete Funktionen	Prüfkriterium	Positive Bewertung ✓
Abweichung	Mittlere relative Standardabweichung des Kaustikfits nach der 2. Momente-Methode	Standardabweichung < 3,5 %, kein Messwert außerhalb eines Bereiches von $\pm 3 \cdot$ Standardabweichung
Füllfaktor	Bezeichnet das Verhältnis des Strahldurchmessers zur Seitenlänge des Messfensters	Im Bereich 0,35 - 0,7
Z-Bereich	Messbereich in z-Richtung	Mindestens 4 Rayleighlängen
Messebenen	Anzahl der Messebenen pro Rayleighlänge	Mindestens 3 Messebenen pro Rayleighlänge
$(Z_{Min} + Z_r) < Z_0 < (Z_{Max} - Z_r)$	Mindestmessbereich oberhalb und unterhalb der Fokusebene	Der Fokus liegt innerhalb des Mindestmessbereichs und dieser Bereich beträgt mindestens eine Rayleighlänge in jede z-Richtung.
Amplitude (>2 000)	Signalprüfung	Über 2 000 counts
Signalübersteuerung (<4 000)	Signalprüfung	Unterhalb von 4 000 Counts

Tab. 12.6: Bewertungskriterien

Sind alle Kriterien erfüllt, haben die Messergebnisse eine hohe Zuverlässigkeit. Die absolute Genauigkeit lässt sich aus der Standardabweichung des Fits nicht angeben, da zusätzlich sämtliche systematischen Messfehler sowie die Genauigkeit der Kalibrierung in den Absolutfehler eingehen.

12.5.7 Rohstrahl (Menü *Darstellung* > *Rohstrahl*)

Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant.

12.5.8 Symmetriepfprüfung (Menü *Darstellung* > *Symmetriepfprüfung*)

Dieses Darstellungsmenü pfprüft die Rotationssymmetrie der Leistungsdichteverteilung eines Laserstrahls. Es kann z. B. in Verbindung mit dem Monitorbetrieb (*Messung* > *Einzelmessung* > *Monitor*) zur Justierung von Laserresonatoren benutzt werden.

Im Folgenden werden in den Abb. 12.25 auf Seite 68 und Abb. 12.26 auf Seite 68 zwei Beispiele für die möglichen Resultate der Symmetriepfprüfung an einem elliptischen Strahl gezeigt.

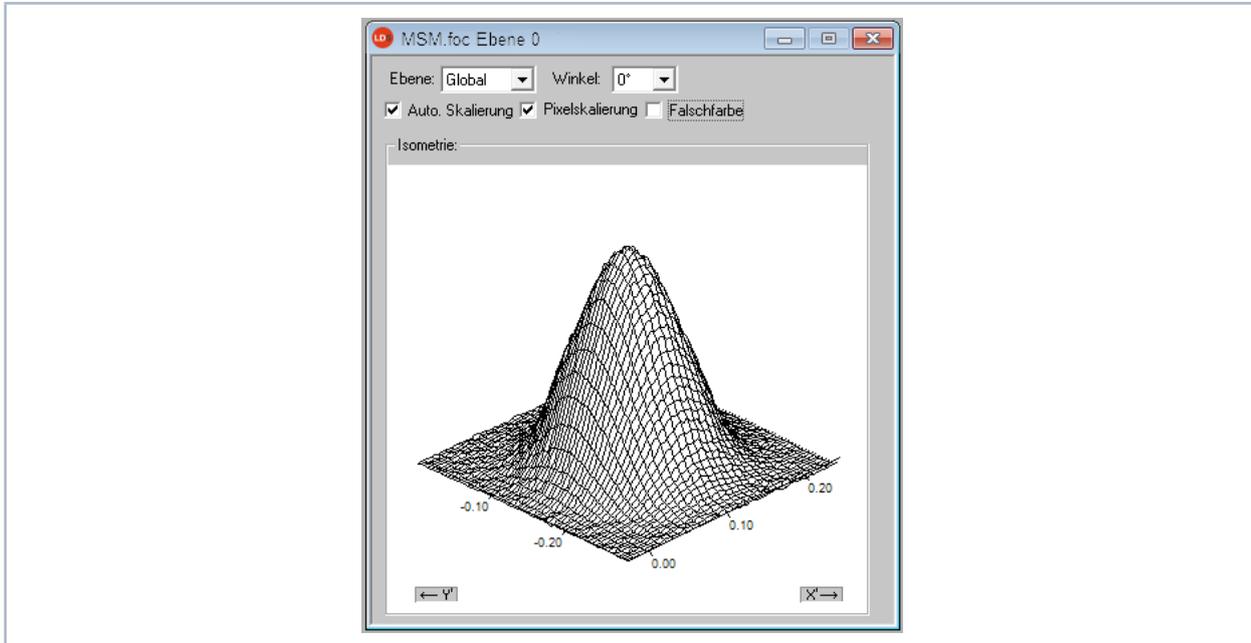


Abb. 12.25: Dialogfenster (Menü *Darstellung* > *Isometrie*) Leistungsdichteverteilung eines elliptischen Strahls

Die in Abb. 12.26 auf Seite 68 dargestellte Leistungsdichteverteilung eines elliptischen Strahls ergibt zusammen mit der **Symmetriepfprüfung** folgende Resultate.

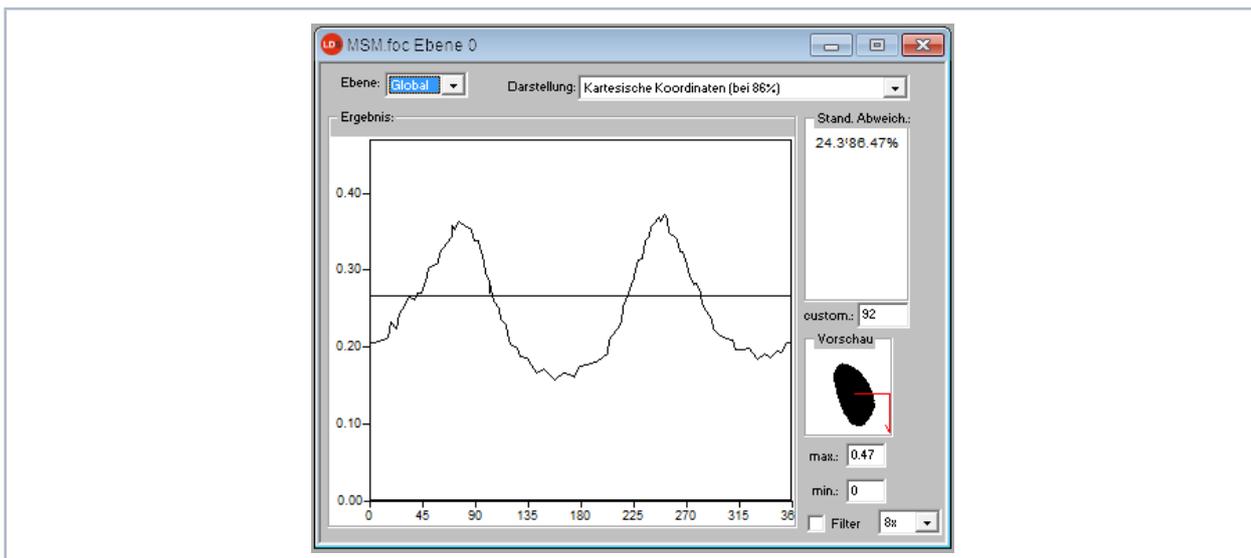


Abb. 12.26: Dialogfenster **Symmetriepfprüfung** in kartesischen Koordinaten für einen elliptischen Strahl

Die Abszisse in Abb. 12.26 auf Seite 68 zeigt den Winkel und die Ordinate den Strahlradius mit den Schnittlinien bei 86 % der Gesamtleistung.

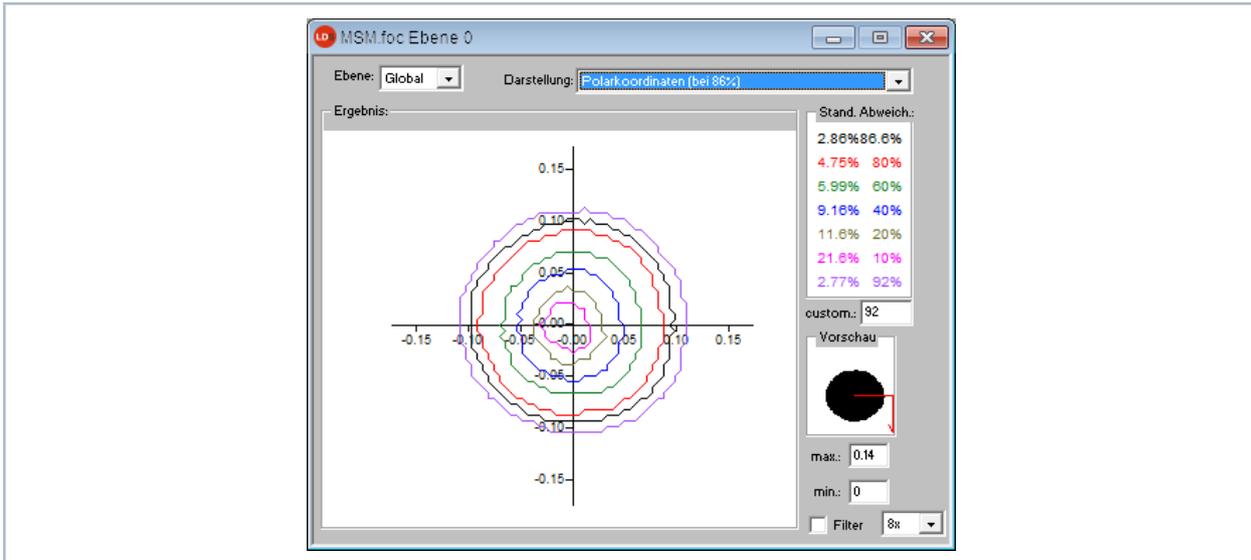


Abb. 12.27: Dialogfenster **Symmetriepfung** in Polarkoordinaten für einen elliptischen Strahl

Auf dem Bildschirm erscheinen die Kurven in unterschiedlichen Farben. Der Radius ist in Pixel-Koordinaten angegeben. Das Minimum und das Maximum der Radiuswerte kann ausgewählt werden. Auf der rechten Seite ist die Standardabweichung der verschiedenen Radiuswerte angezeigt. Diese Werte geben eine genaue Information über die Symmetrie der Strahlverteilung.

Gut justierte Resonatoren erreichen Standardabweichungen im Bereich von 3 % bis 5 %. Teilweise sind sogar Werte im 1 % bis 2 %-Bereich möglich.
 Eine Darstellung in Polarkoordinaten ist ebenfalls möglich (Abb. 12.27 auf Seite 69). Die eingezeichneten Linien enthalten 86 % bis 10 % der detektierten Leistung. Auf dem Bildschirm haben die Graphen verschiedene Farben. x- und y-Achse skalieren in Pixelwerten.

12.5.9 Feste Schnitte (Menü *Darstellung* > *Feste Schnitte*)

Angezeigt werden die Schnittlinien bei verschiedenen Leistungsniveaus. Ausgewählt sind Schnittlinien bei: 86 %, 80 %, 60 %, 40 %, 20 % und 10 % der Gesamtleistung.
 In dieser Darstellung ist es auch möglich Abstände auszumessen, in dem man mit der Maus die Start- und Endpunkte der gewünschten Strecke anklickt.

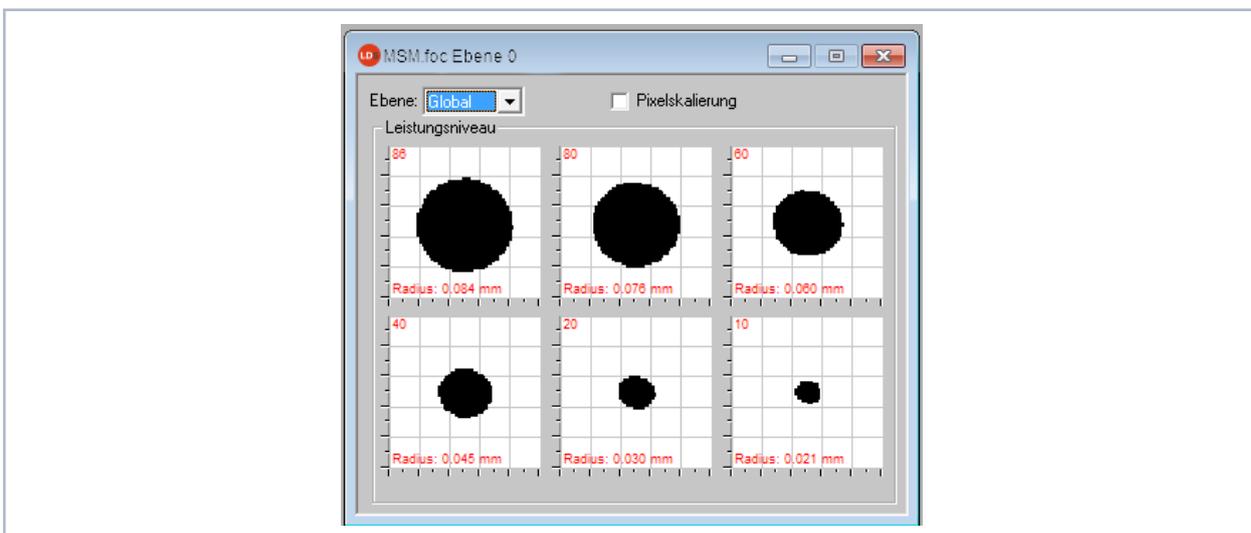


Abb. 12.28: Dialogfenster **Feste Schnitte**

12.5.10 Variable Schnitte (Menü *Darstellung* > *Variable Schnitte*)

Hier wird die räumliche Leistungsdichteverteilung anhand frei wählbarer Schnitte dargestellt. Es können Schnitte in x- und y-Richtung sowie in Leistungsdichte-Koordinaten (A/D-Wandler-Counts) durchgeführt werden. Die Lage der Schnitte ist durch Schieberegler oder per Tastatur einstellbar.

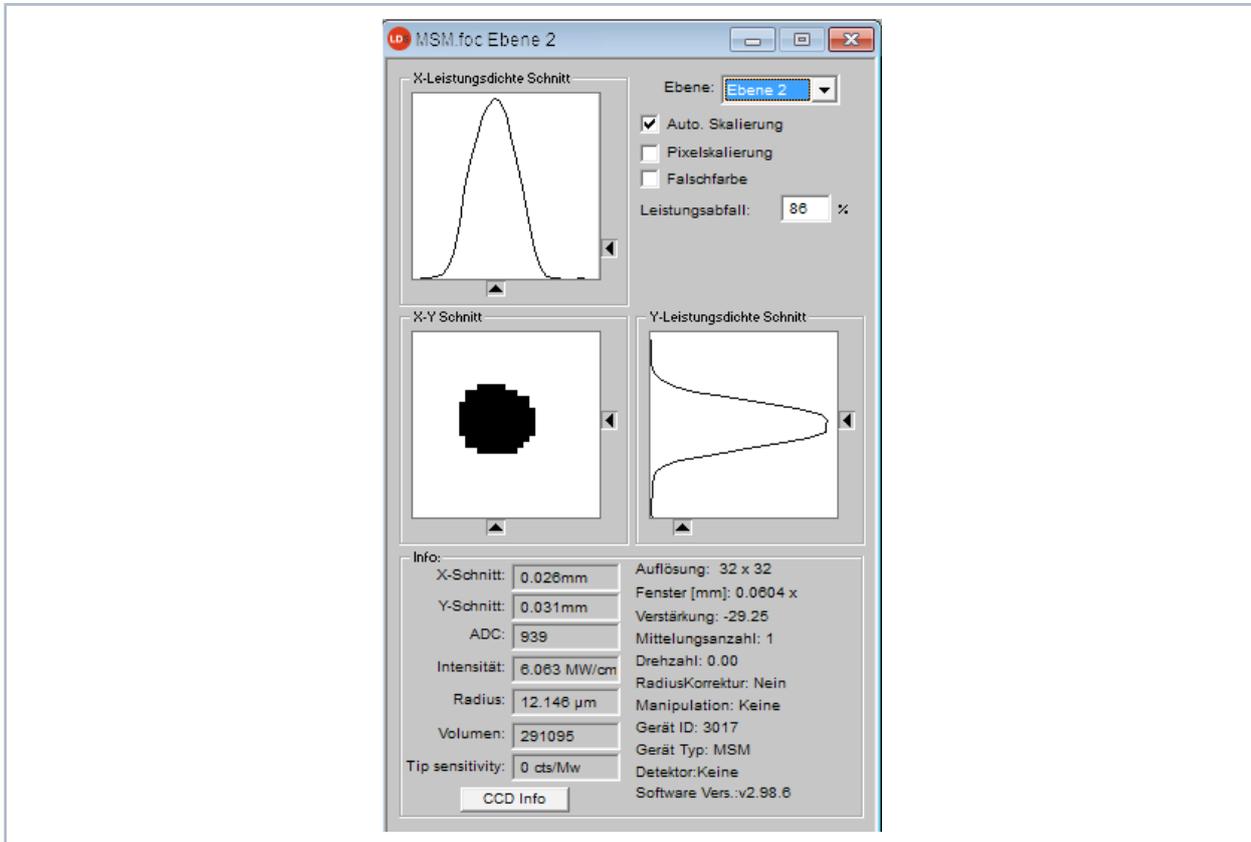


Abb. 12.29: Dialogfenster **Variable Schnitte**

Einstellen per Tastatur:

- für die x-Richtung über die Taste **x**, um den Wert zu vergrößern und **<shift> x**, um ihn zu verkleinern.
- für die y-Richtung über die Taste **y**, um den Wert zu vergrößern und **<shift> y**, um ihn zu verkleinern.
- für die Leistungsdichte (Intensität) über die Taste **i** um den Wert zu vergrößern und **<shift> i**, um ihn zu verkleinern.

Im Bereich links unten werden die aktuellen Schnittkoordinaten, Leistungsdichten, der durch den Schnitt erzeugte Radius und das relative Volumen angezeigt. Die Werte werden berechnet basierend auf der korrekt eingegebenen Laserleistung.

Rechts oben kann man auf die Skalierungen umschalten. Darunter befindet sich ein Eingabefeld, in dem Sie den zur Radiusbestimmung erwünschten Leistungsabfall (-einschluss) eintragen können. Dieser Wert korreliert mit den gegebenen Leistungspegeln im Fenster.

Neben diesen Funktionen bietet dieses Fenster noch eine Menge weiterer Informationen über die Bedingungen, unter denen gemessen wurde. Ebenso werden die Verstärkung, die Zahl der Auflösung sowie die zur Messung verwendete Software-Version während der Messung angezeigt.

Ein Klick auf die Schaltfläche **CCD Info** öffnet ein Fenster mit zusätzlichen Informationen zu den Geräteparametern wie Trigger Mode, Trigger Delay, Integrationsdauer, Vergrößerung, Art des Messobjektivs.

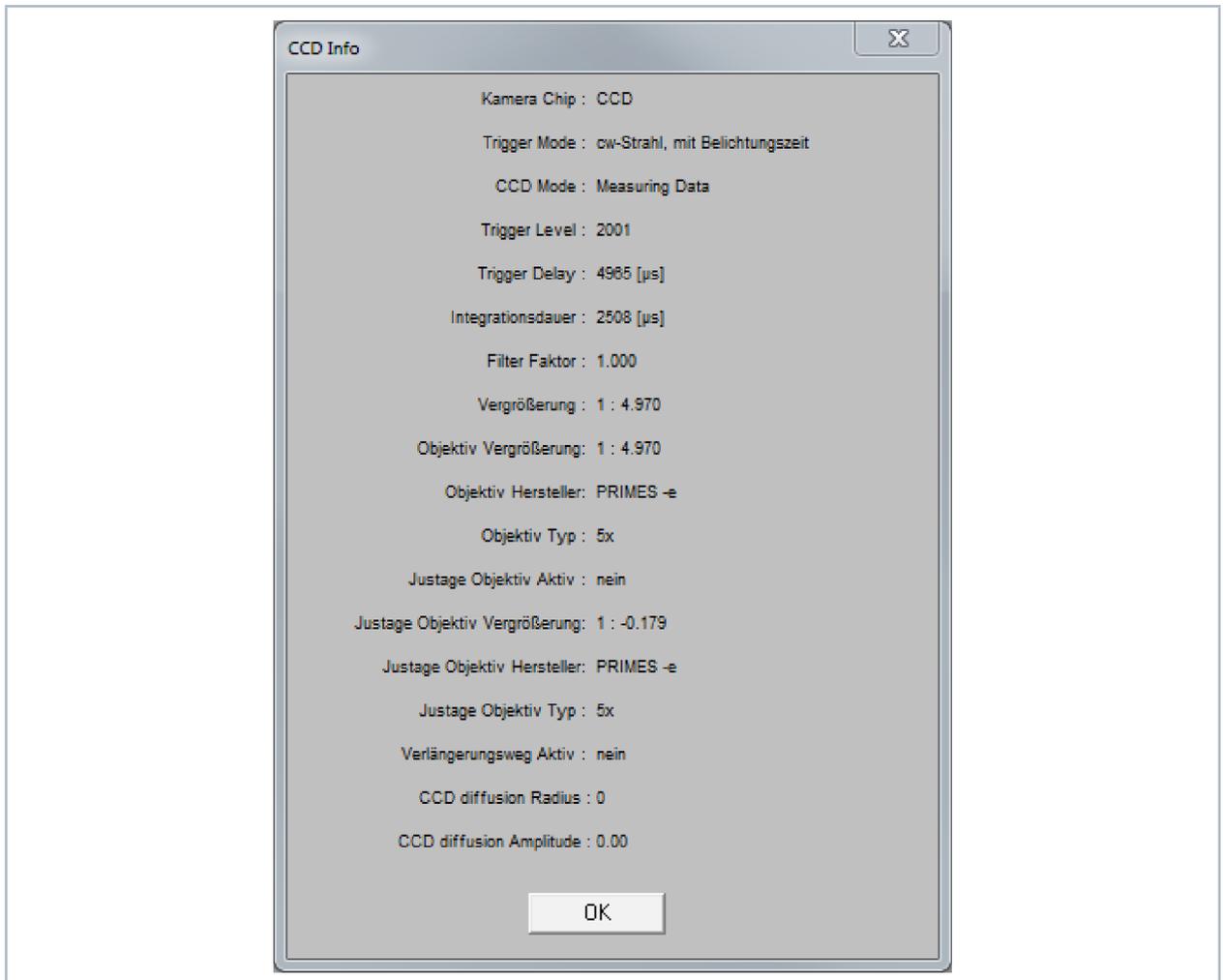


Abb. 12.30: Anzeigefenster **CCD Info**

12.5.11 Graphische Übersicht (Menü *Darstellung* > *Grafische Übersicht*)

Das Anzeigefenster **Graphische Übersicht** bietet viele Möglichkeiten, die Messwerte aus den einzelnen Messebenen darzustellen. Insgesamt kann dieses Fenster 20 verschiedenen Graphen darstellen. Die mögliche Auswahl für die x- und y-Koordinaten sind in der Tab. 12.7 auf Seite 72 aufgelistet.

y-Achse	x-Achse
Radius	Leistung
x-Position	Zeit
y-Position	Ebene
Winkel	Position
Elliptizität	

Tab. 12.7: Auswahl für die x/y-Koordinaten

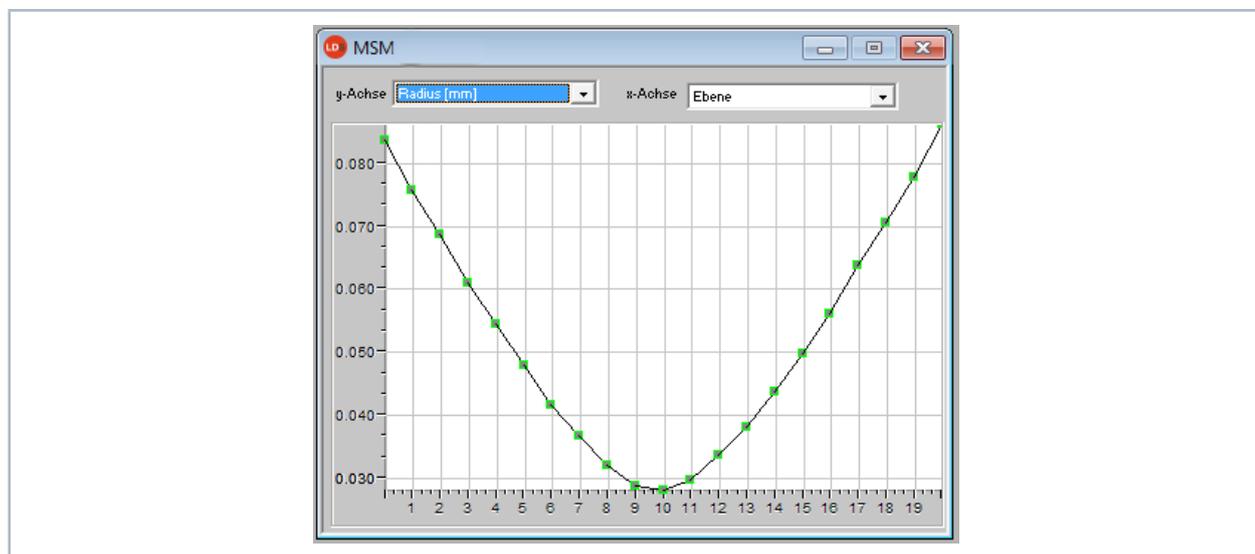


Abb. 12.31: Anzeigefenster **Graphische Übersicht** – Beispiel zur Auswertung einer Zeitreihe - Radius/Zeit

Siehe Kapitel 12.4.9 auf Seite 54, Abschnitt „Manuelle Kaustikmessung als Zeitreihe (Menü Messung > Kaustik > Manuelle Einstellung)“

12.5.12 Systemstatus (Menü *Darstellung* > *Systemstatus*)

Für den MicroSpotMonitor MSM nicht relevant.

12.5.13 Evaluierungsparameter (Menü *Darstellung* > *Evaluierungsparameter*)

Im LDS-Installationsordner im Verzeichnis „System“ (C:\Programme\Primes\LDS2.98\System) finden Sie vordefinierte Parameterdateien für die Rohstrahlrückrechnung (RawBeamParams.eval) und die Kaustikauswertung (beamparams.eval). Unter dem Menüpunkt *Darstellung* > *Evaluierungsparameter* können Sie diese aufrufen.

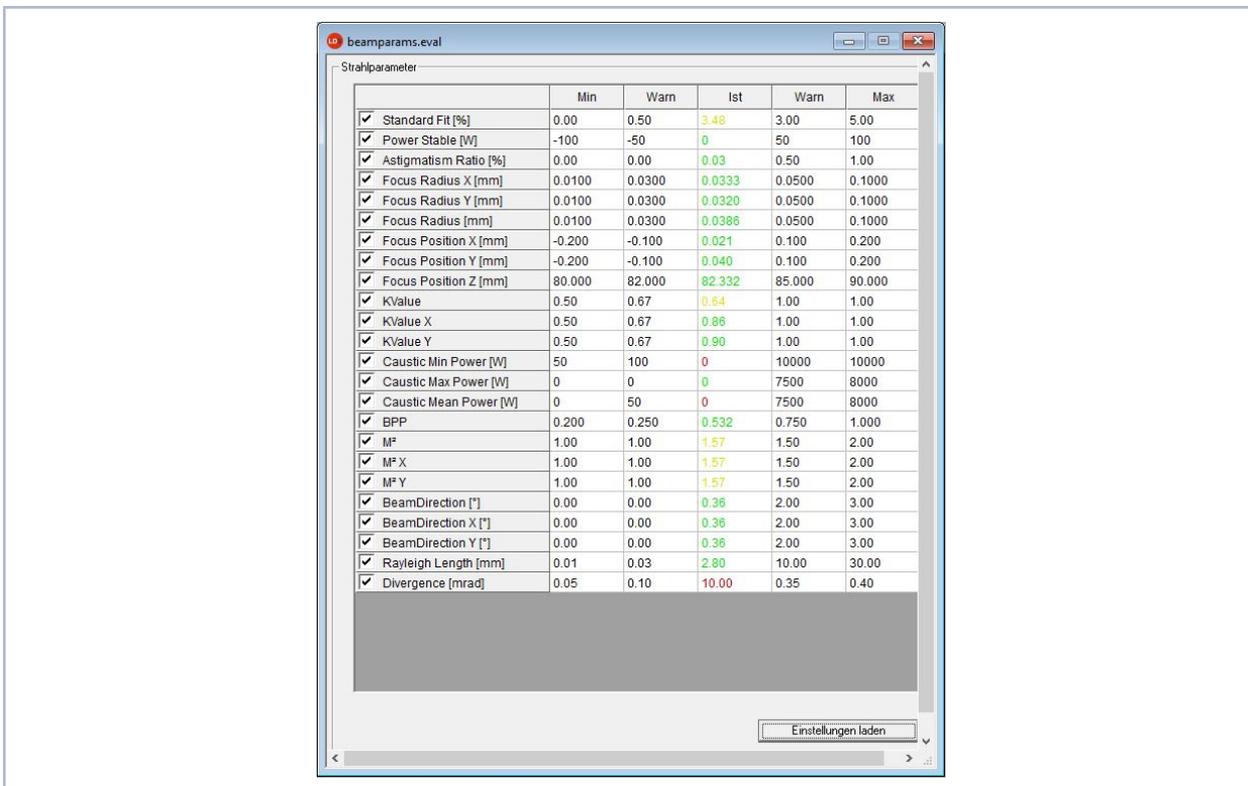


Abb. 12.32: Anzeigefenster *Evaluierungsparameter* mit geöffneter Parameterdatei

Die gewünschten Parameter und ihre Grenzwerte können Sie mit dem Programm „PRIMES-EvalEditor“ vorgeben und in einer Evaluierungsparameterdatei (*.eval) speichern. Das Programm wird beim LDS-Setup mitinstalliert.

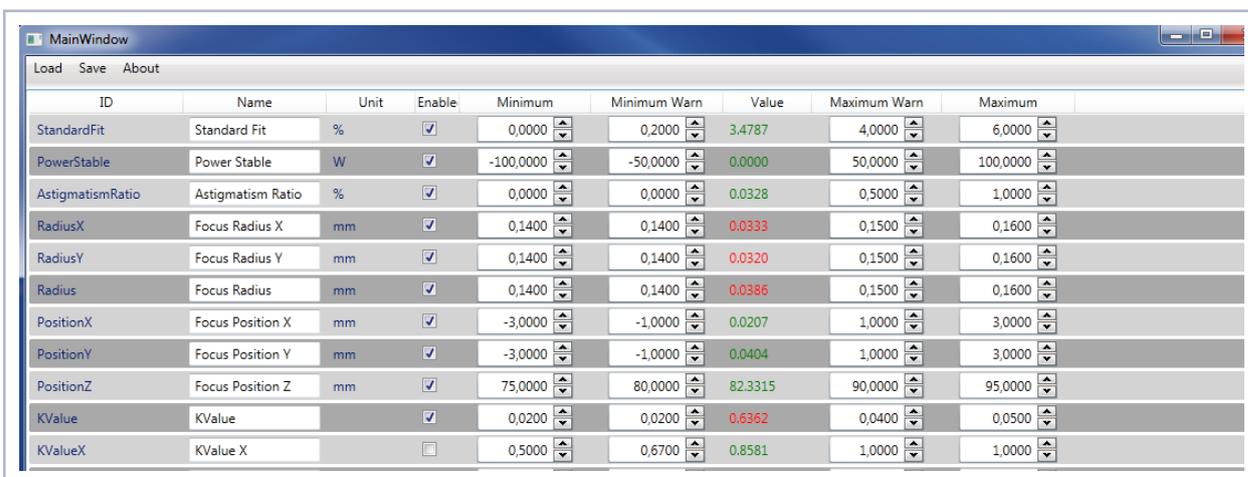


Abb. 12.33: Dialogfenster EvalEditor mit geladener *.eval-Datei



Die Evaluierungsparameterdatei kann nur angezeigt werden, wenn sich die Datei **BeamControls.xsd** im gleichen Verzeichnis (C:\Programme\Primes\LDS2.98\System) befindet.

12.5.14 Evaluiere Dokument (Menü *Darstellung* > *Evaluere Dokument*)

Die Evaluierungsfunktion vergleicht wählbare Strahlparameter und deren einstellbare Grenzwerte mit den Ergebnissen einer aktuellen oder gespeicherten Messung.

Unter dem Menüpunkt *Darstellung* > *Evaluere Dokument* der LDS wird folgendes Dialogfenster geöffnet:

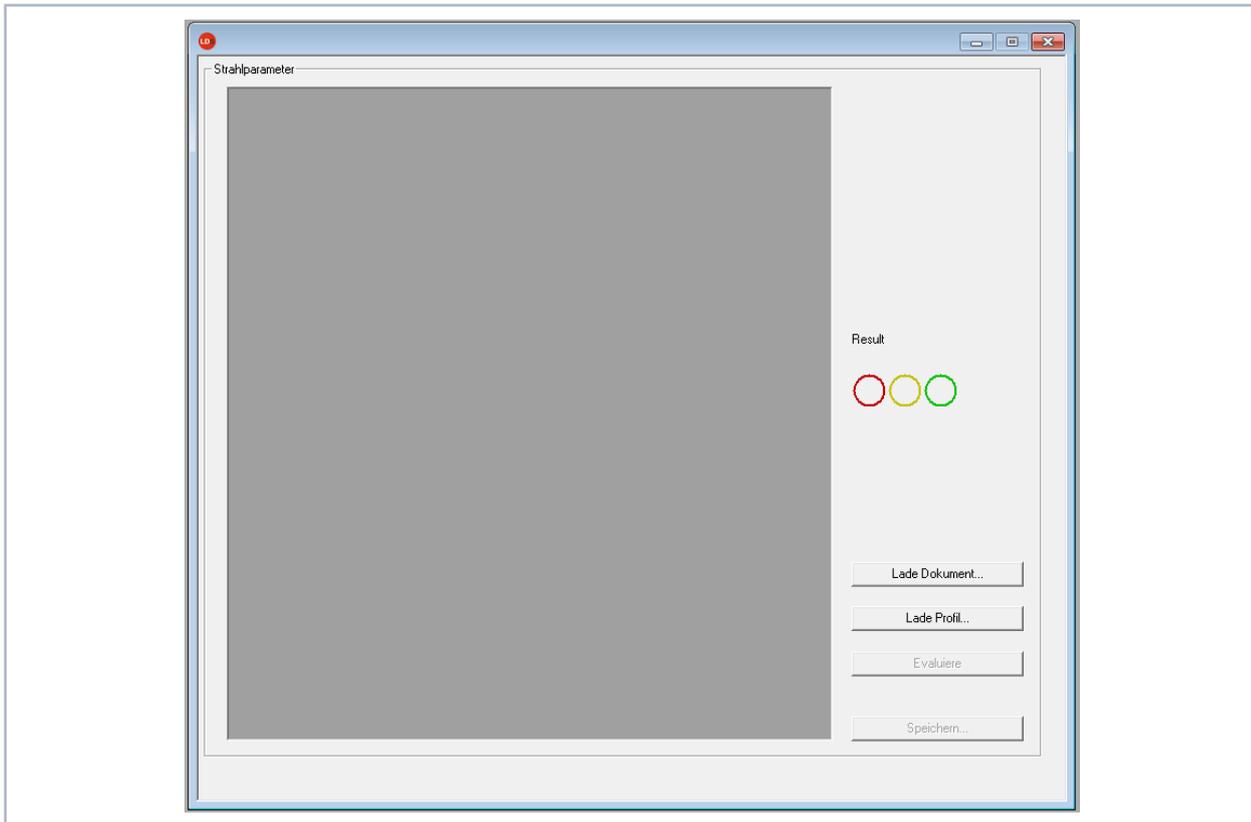


Abb. 12.34: Fenster *Evaluere Dokument* zum Laden einer Evaluierungsdatei

Die Schaltfläche **Lade Dokument** öffnet ein Dateiauswahl-Fenster, über das Sie eine gespeicherte Messdatei (*.foc) auswählen können.

Die Schaltfläche **Lade Profil** öffnet ein Dateiauswahl-Fenster, über das Sie eine Evaluierungsparameterdatei (*.eval) auswählen können.

Die Schaltfläche **Evaluere** löst eine Bewertung aus (siehe Abb. 12.35 auf Seite 75). Die einzelnen Evaluierungsparameter und das Ergebnis der Bewertung werden angezeigt. Die Gesamtbewertung (Result) aller Ergebnisse wird durch ein dreifarbiges Ampelsymbol dargestellt.

Bewertungskriterium: Nur wenn alle Einzelbewertungen in Ordnung sind, wird die Gesamtbewertung im Ampelsymbol grün angezeigt.

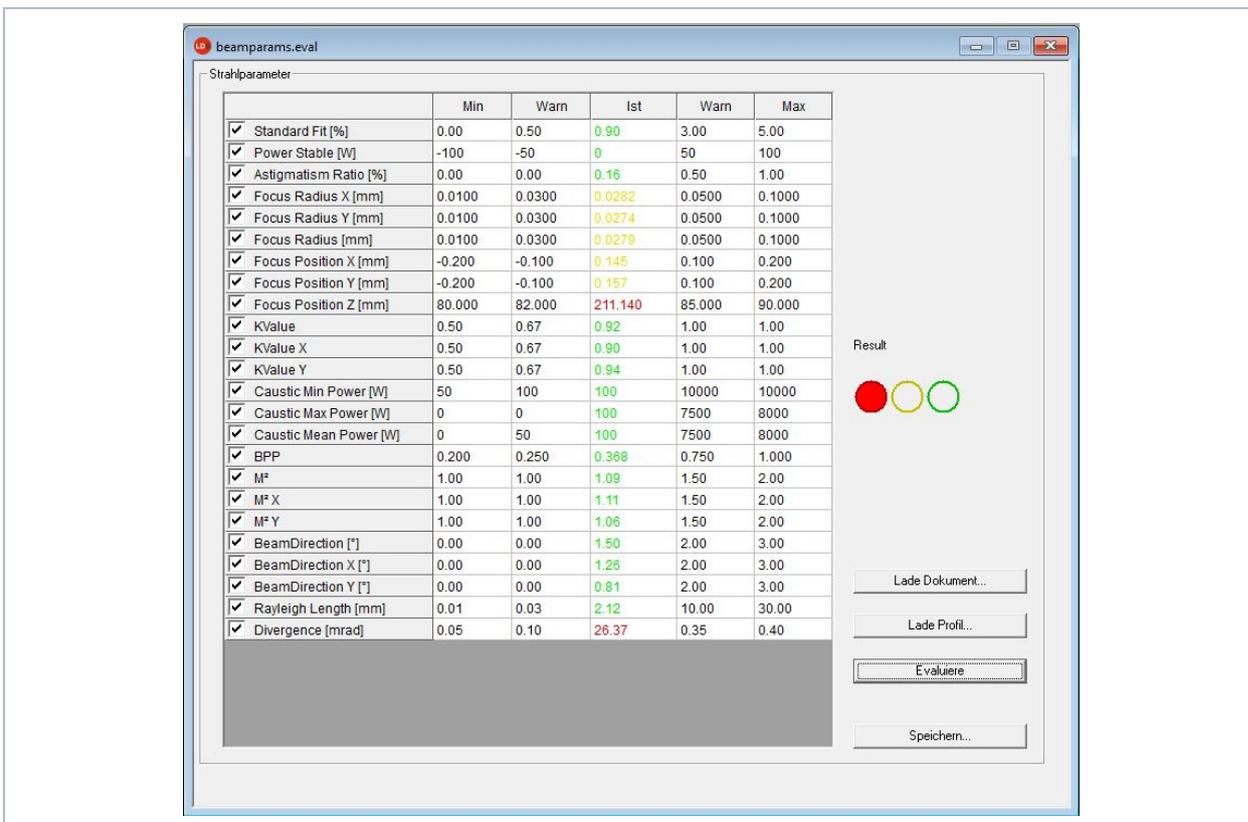


Abb. 12.35: Dialogfenster der Evaluierung

Ein Überschreiten der Warn- oder Grenzwerte hat Einfluss auf die Farbdarstellung im Ampelsymbol. Sobald ein Warnwert über- oder unterschritten wird, ist der gelbe Kreis gefüllt. Werden die Grenzwerte (Min/Max) über- oder unterschritten, ist der rote Kreis gefüllt. Die Ist-Werte in der Tabelle des Bewertungsfensters werden ebenfalls entsprechend farbig markiert.

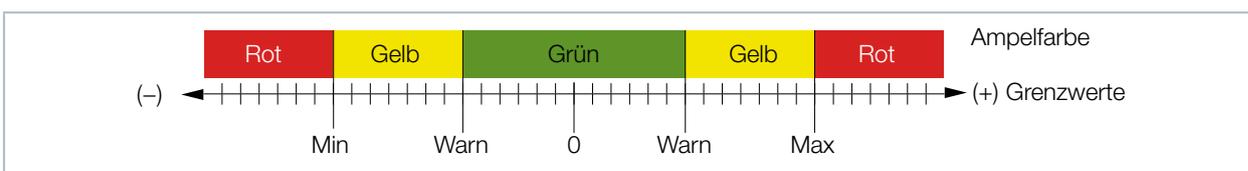


Abb. 12.36: Ampelfarben beim Überschreiten der Warn- und Grenzwerte

Das Gesamtergebnis der Evaluierung können Sie mit der Schaltfläche **Speichern** in einer Datei sichern.

12.5.15 Farbtafeln (Menü *Darstellung* > *Farbtafeln*)

Es sind verschiedene Farbtabelle verfügbar. Sie können zwischen den Farbtabelle hin- und herschalten. So kann die Zuordnung von A/D-Wandlerwerten und den verschiedenen Farbskalen variiert werden.

Drei Einstellungen sind möglich:

- Lineare Farbtabelle (Grundeinstellung)
- Farbtabelle analog der Wurzelfunktion
- Farbtabelle analog der vierten Wurzelfunktion

Diese Funktionen können besonders bei der Analyse geringer Variationen in der Nähe des Nullniveaus hilfreich sein; z. B. zur Analyse von Beugungsphänomenen.

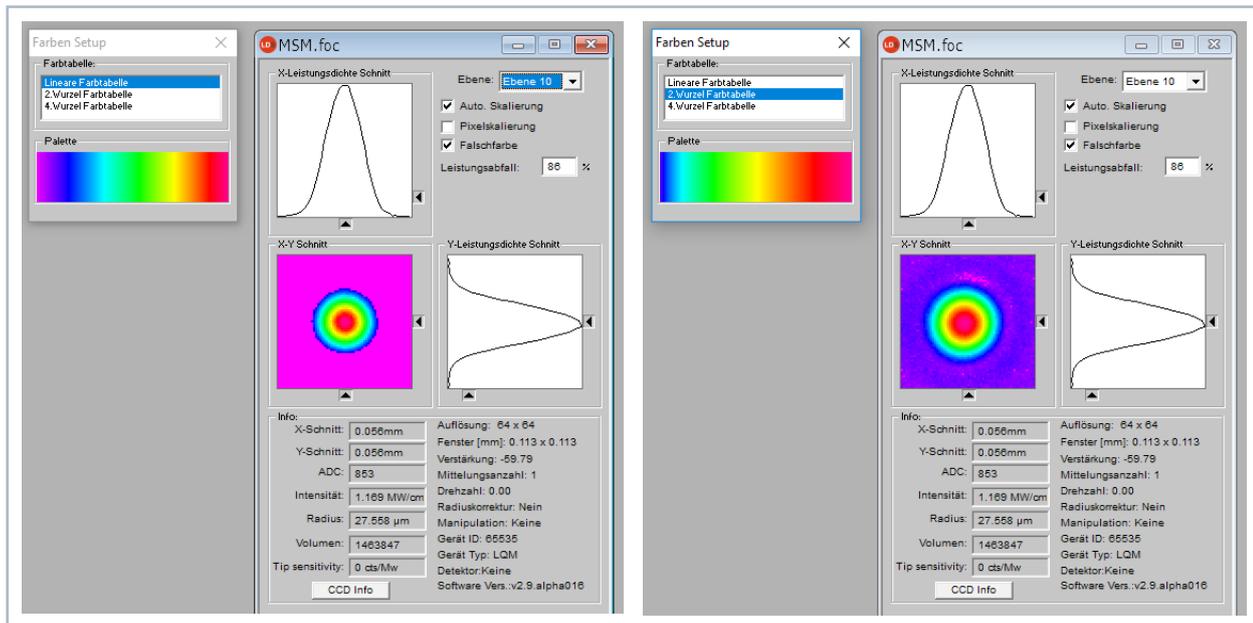


Abb. 12.37: Dialogfenster **Farben Setup** – Lineare Farbtabelle und 2. Wurzel Farbtabelle

12.5.16 Werkzeuggeste (Menü *Darstellung* > *Werkzeuggeste*)

Durch Anklicken im Menü *Darstellung* > *Werkzeuggeste* wird die Werkzeuggeste ein- oder ausgeblendet.



Abb. 12.38: Ein- oder Ausblenden der Werkzeuggeste

12.5.17 Position (Menü Darstellung > Position)

Dieses Menü ermöglicht es, das Gerät in die Parkposition zu verfahren.

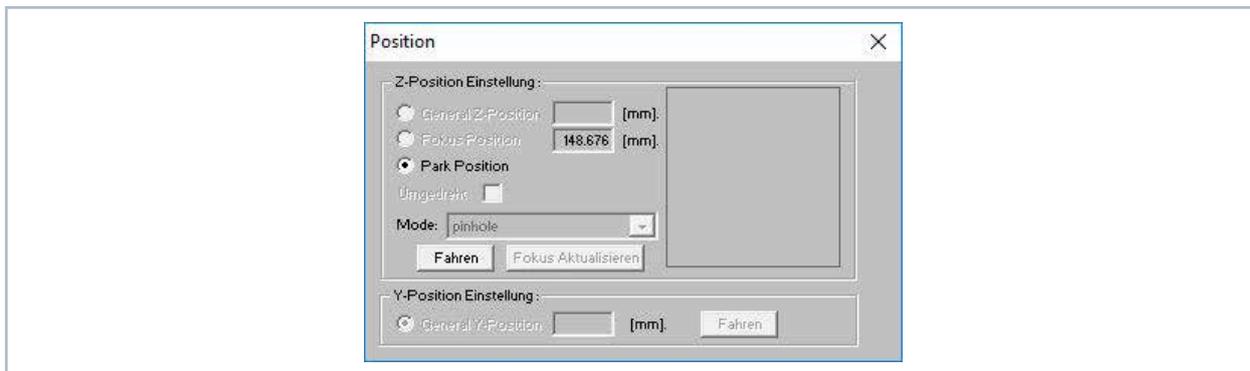


Abb. 12.39: Dialogfenster *Position*

12.5.18 Evaluation (Option) (Menü Darstellung > Evaluation)

Mit dieser Bewertungsfunktion können Sie verschiedene Parameter einer gemessenen Kaustik (.foc-Datei) mit vorgegebenen Grenzwerten (.pro-Datei) vergleichen und bewerten. Das Bewertungsergebnis wird optisch mit einem LED-Symbol dargestellt (rot=schlecht, grün=gut). Das Gesamtergebnis (Feld **Ergebnis**) wird nur dann als gut bewertet, wenn die Grenzen aller kritischen Parameter (★) eingehalten sind.

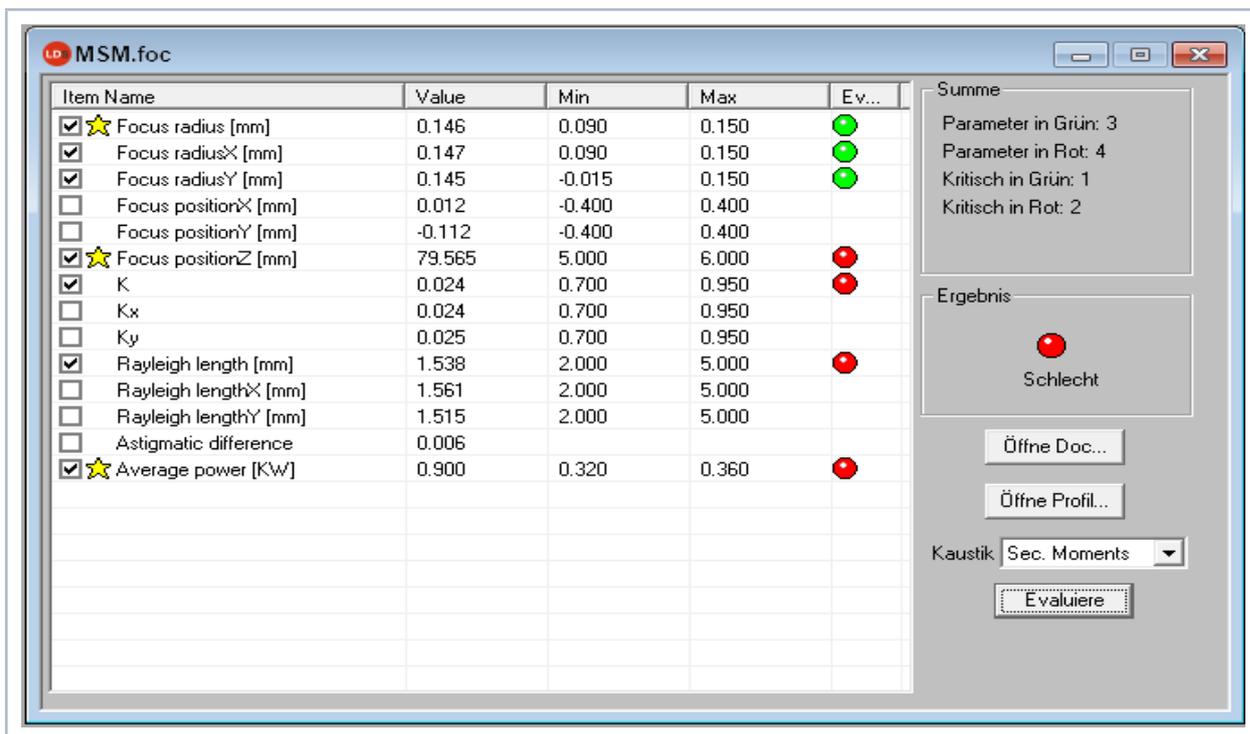
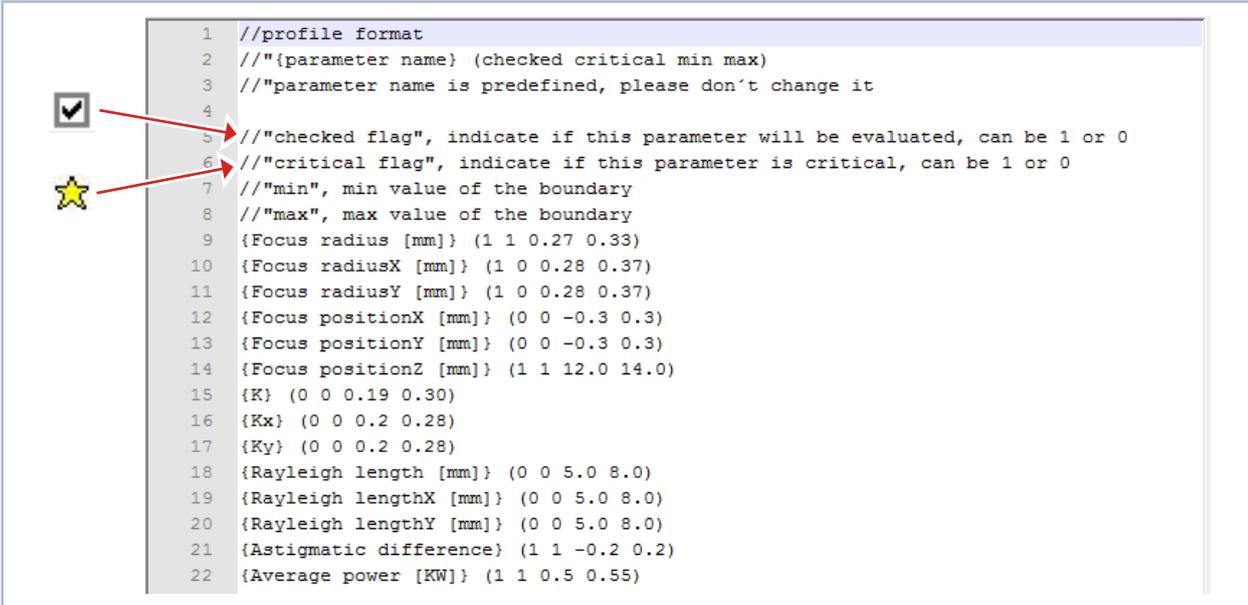


Abb. 12.40: Dialogfenster *Evaluation*

Die Parameter, die Grenzwerte und die Kennzeichnung als kritischer Wert werden in einer Profildatei vorgegeben (Textdatei, siehe Beispieldatei in Abb. 12.41 auf Seite 78).



```
1 //profile format
2 //{parameter name} (checked critical min max)
3 //"parameter name is predefined, please don't change it
4
5 //"checked flag", indicate if this parameter will be evaluated, can be 1 or 0
6 //"critical flag", indicate if this parameter is critical, can be 1 or 0
7 //"min", min value of the boundary
8 //"max", max value of the boundary
9 {Focus radius [mm]} (1 1 0.27 0.33)
10 {Focus radiusX [mm]} (1 0 0.28 0.37)
11 {Focus radiusY [mm]} (1 0 0.28 0.37)
12 {Focus positionX [mm]} (0 0 -0.3 0.3)
13 {Focus positionY [mm]} (0 0 -0.3 0.3)
14 {Focus positionZ [mm]} (1 1 12.0 14.0)
15 {K} (0 0 0.19 0.30)
16 {Kx} (0 0 0.2 0.28)
17 {Ky} (0 0 0.2 0.28)
18 {Rayleigh length [mm]} (0 0 5.0 8.0)
19 {Rayleigh lengthX [mm]} (0 0 5.0 8.0)
20 {Rayleigh lengthY [mm]} (0 0 5.0 8.0)
21 {Astigmatic difference} (1 1 -0.2 0.2)
22 {Average power [KW]} (1 1 0.5 0.55)
```

Abb. 12.41: Beispiel für eine Profildatei

So führen Sie eine Bewertung durch:

1. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Öffne Doc** und wählen Sie Ihre Messdatei aus (.foc-Datei).
2. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Öffne Profil** und wählen Sie Ihre Profildatei aus (.pro-Datei).
3. Wählen Sie in der Auswahl **Kaustik** die gewünschte Radiusdefinition.
4. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Evaluiere**.

12.6 Kommunikation

12.6.1 Geräte suchen (Menü *Kommunikation* > *Geräte suchen*)

Mit Hilfe dieses Menüs können Sie ein zuvor verbundenes Gerät wieder verbinden.

12.6.2 Freie Kommunikation (Menü *Kommunikation* > *Freie Kommunikation*)

Mit Hilfe dieses Menüs können Sie die Kommunikation über den PRIMES-Bus überwachen. Außerdem werden hier die Einstellungen zur Kommunikation vorgenommen (siehe Kapitel 11.3.2 auf Seite 31).

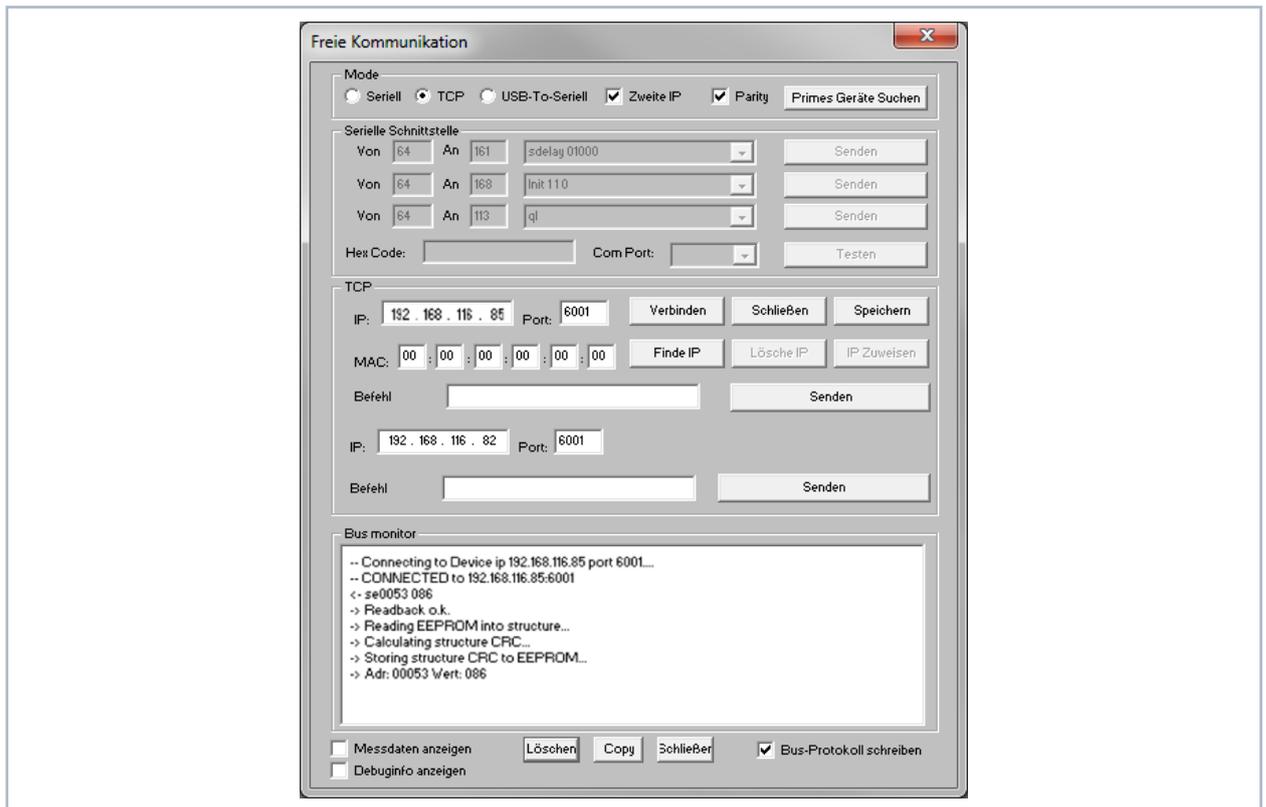


Abb. 12.42: Dialogfenster *Kommunikation* > *Freie Kommunikation*

12.6.3 Liste gesuchter Geräte (Menü *Kommunikation* > *Liste gesuchter Geräte*)

Jedes Gerät von PRIMES hat eine bestimmte Bus-Adresse. Soll mit der LaserDiagnosticsSoftware LDS ein Gerät bedient werden, muss diese Adresse hier eingetragen sein. Hier können Sie auch Adressen hinzufügen oder entfernen.



Abb. 12.43: Dialogfenster **Liste gesuchter Geräte**

Die folgenden Adressen für sämtliche PRIMES-Geräte können in der Geräteliste aufgeführt sein:

80, 92, 112, 113, 114, 144, 145, 152, 161, 168

Für den MicroSpotMonitor MSM muss die Adresse 161 eingetragen sein.

12.7 Skript (Menü *Script*)

Mit Hilfe von Skripten lassen sich komplexe Messabläufe automatisch steuern. Skripte sind Programme, die in diversen Skriptsprachen geschrieben sind. Skripte werden fast ausschließlich in Form von Quelltextdateien ausgeliefert, um so ein einfaches Bearbeiten und Anpassen des Programms zu ermöglichen.

12.7.1 Editor (Menü *Script > Editor*)

Mit dem Skripteditor können Sie Skripte erstellen, die z. B. komplexe Messabläufe automatisch steuern. Ein Beispiel ist in Abb. 12.44 auf Seite 81 gezeigt.

Zum Öffnen eines Skripts muss das Öffnen-Symbol angeklickt werden, danach kann eine Datei ausgewählt und per  - Schaltfläche abgespielt werden. Die Schaltfläche  stoppt und  beendet das Skript.

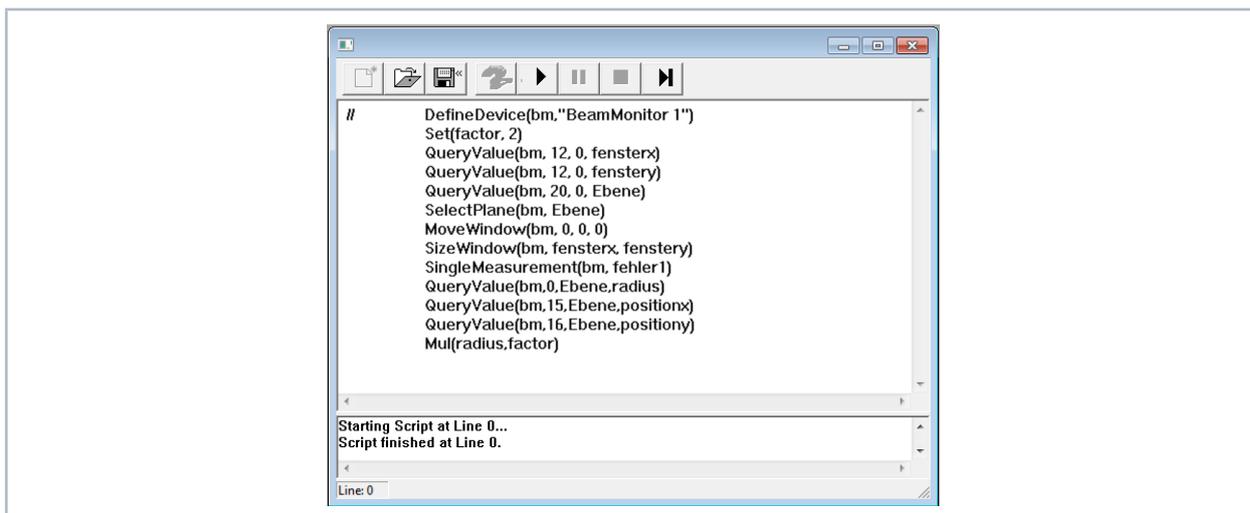


Abb. 12.44: Dialogfenster *Script*

12.7.2 Auflisten (Menü *Script > Auflisten*)

Hier werden alle vorhandenen Skripte aufgelistet.



Abb. 12.45: Anzeigefenster *Listing der Skripte*

12.7.3 Python (Menü *Script > Python*)

Startet den Python-Editor. Die Grafische Benutzeroberfläche ist identisch mit der in Abb. 12.44 auf Seite 81 dargestellten. Python ist eine Programmiersprache mit effizienten abstrakten Datenstrukturen und einem einfachen, aber effektiven Ansatz zur objektorientierten Programmierung. Python ist sowohl für Skripte als auch für schnelle Anwendungsentwicklung sehr gut geeignet. Für die Programmierung mit Python steht eine separate PRIMES-Dokumentation zur Verfügung.

13 Messen

13.1 Sicherheitshinweise



GEFAHR

Schwere Verletzungen der Augen oder der Haut durch Laserstrahlung

Während der Messung wird der Laserstrahl auf das Gerät geleitet. Dabei entsteht gestreute oder gerichtete Reflexion des Laserstrahls (Laserklasse 4). Die reflektierte Strahlung ist in der Regel nicht sichtbar.

Der MicroSpotMonitor MSM darf in keiner der verfügbaren Konfiguration, ohne die folgenden Schutzmaßnahmen zu treffen betrieben werden.

- ▶ Tragen Sie Laserschutzbrillen, die an die verwendete Leistung, Leistungsdichte, Laserwellenlänge und Betriebsart der Laserstrahlquelle angepasst sind.
- ▶ Tragen Sie geeignete Schutzkleidung und Schutzhandschuhe.
- ▶ Schützen Sie sich vor Laserstrahlung durch trennende Vorrichtungen (z. B. durch geeignete Abschirmwände).



GEFAHR

Schwere Verletzungen der Augen oder der Haut durch Laserstrahlung

Wird das Gerät aus der eingemessenen Position bewegt, kann im Messbetrieb vermehrt reflektierte Strahlung (Laserklasse 4) entstehen.

- ▶ Befestigen Sie das Gerät so, dass es durch unbeabsichtigtes Anstoßen oder Zug an den Kabeln nicht bewegt werden kann.

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes

Verschmutzungen und Fingerabdrücke am Schutzglas können im Messbetrieb zur Beschädigung oder zum Zerspringen oder Splittern des Schutzglases führen.

- ▶ Berühren Sie nicht das Schutzglas.
- ▶ Prüfen Sie den Zustand des Schutzglases regelmäßig und tauschen Sie es bei Verschmutzung aus (siehe Kapitel „15.1 Schutzglas wechseln“ auf Seite 109).
- ▶ Betreiben Sie das Gerät nur mit einem sauberen Schutzglas.

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes

Hindernisse im Verfahrbereich des MicroSpotMonitor MSM können zu Kollisionen führen und das Gerät schädigen.

- ▶ Halten Sie den Verfahrbereich frei von Hindernissen (Schneiddüsen, Andruckrollen usw.).

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes

Verschmutzungen können die optischen Bauteile beschädigen oder zerstören.

- ▶ Öffnen Sie das Gerät nur in staubfreier Umgebung.

13.2 Auswahl und Wechsel der Messobjektive

13.2.1 Auswahl des Messobjektivs

Die richtige Auswahl des Messobjektivs ist für die Qualität der Messung mit dem MicroSpotMonitor MSM von entscheidender Bedeutung.

Das Messobjektiv muss möglichst optimal auf die Wellenlänge, die Numerische Apertur und die zu vermessende Fokusgröße abgestimmt sein.

Weiterhin werden die Einsatzmöglichkeiten der Messobjektive begrenzt durch die Sensor- und die Pixelgröße (siehe Kapitel 21.4.1 auf Seite 121).

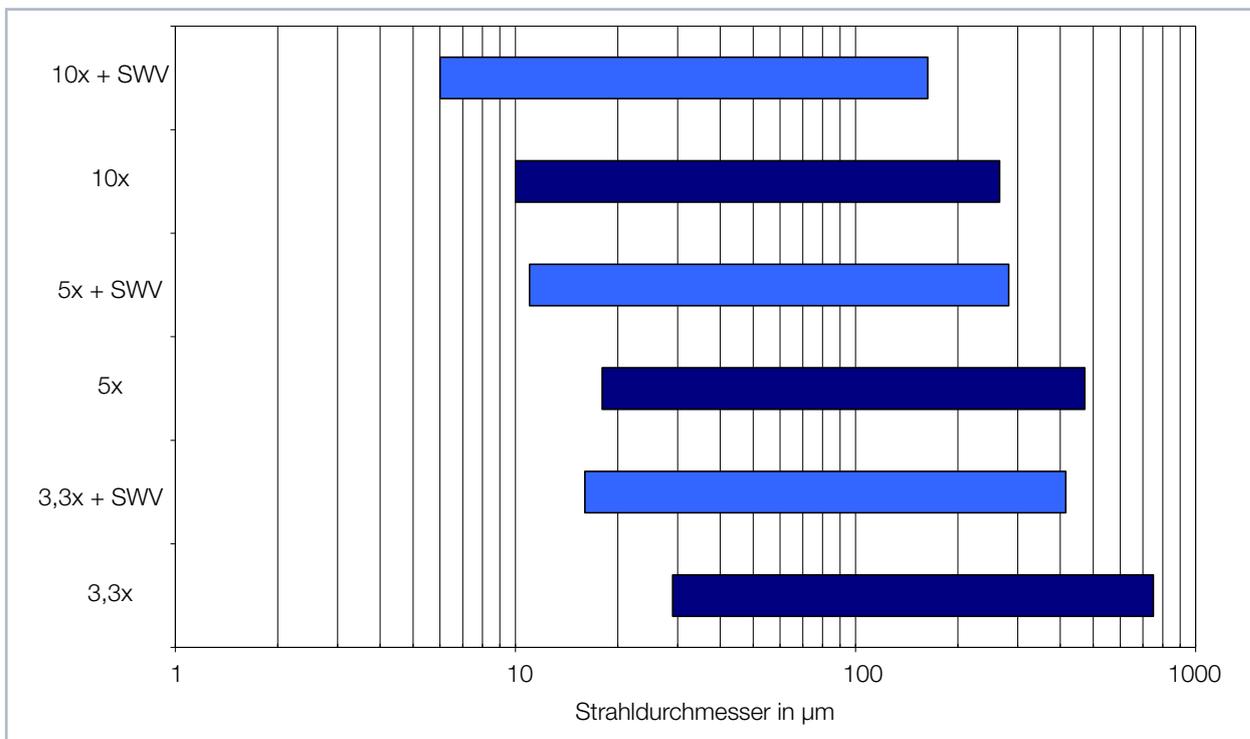


Abb. 13.1: Einsatzgebiete der Messobjektive

In Abb. 13.1 auf Seite 83 ist das Einsatzgebiet verschiedener Messobjektiven dargestellt. Die Abbildung ermöglicht eine erste schnelle Auswahl des richtigen Messobjektivs.

Die Grenzen, die für die Standardobjektive gelten, sind zusammen mit einigen weiteren Daten der Messobjektive in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

Standard						
Objektiv	NA	F	Max. Messfenster	Min. Auflösung	Min. Strahldurchmesser	Max. Strahldurchmesser
3,3x	0,1	5	1,4 mm	1,4 μm	30 μm	1 mm
5x	0,2		910 μm	0,9 μm	20 μm	650 μm
10x	0,2	2	510 μm	0,5 μm	11 μm	350 μm

Mit Strahlwegverlängerung (SWV)						
Objektiv	NA	F	Max. Messfenster	Min. Auflösung	Min. Strahldurchmesser	Max. Strahldurchmesser
3,3x	0,1	5	800 μm	0,8 μm	17,5 μm	550 μm
5x	0,2		550 μm	0,5 μm	12 μm	380 μm
10x	0,2	2	320 μm	0,3 μm	7 μm	220 μm

Mit Justageobjektiv (JO)						
Objektiv	NA	F	Max. Messfenster	Min. Auflösung	Min. Strahldurchmesser	Max. Strahldurchmesser
3,3x	0,1	5	4 mm	3,9 μm	90 μm	2,8 mm
5x	0,2		2,75 mm	2,7 μm	60 μm	2 mm
10x	0,2	2	1,6 mm	1,6 μm	35 μm	1,1 mm

Tab. 13.1: Messobjektivdaten

NA = Numerische Apertur

F = Fokussierzahl (siehe Abb. 13.5 auf Seite 87)

Mit Hilfe dieser Tabelle können Sie eine passende Auswahl des Messobjektivs treffen. Die Werte gelten für die Wellenlänge 1 064 nm (bei anderen Wellenlängen weichen die Werte leicht ab).

13.2.2 Messobjektiv wechseln

1. Drehen Sie die zwei Rändelschrauben heraus (siehe Abb. 13.2 auf Seite 85).
2. Nehmen Sie das Messobjektiv nach oben ab.
 - Bitte beachten Sie, dass das Messobjektiv von zwei Passstiften fixiert wird und beim Entnehmen nicht verkantet.

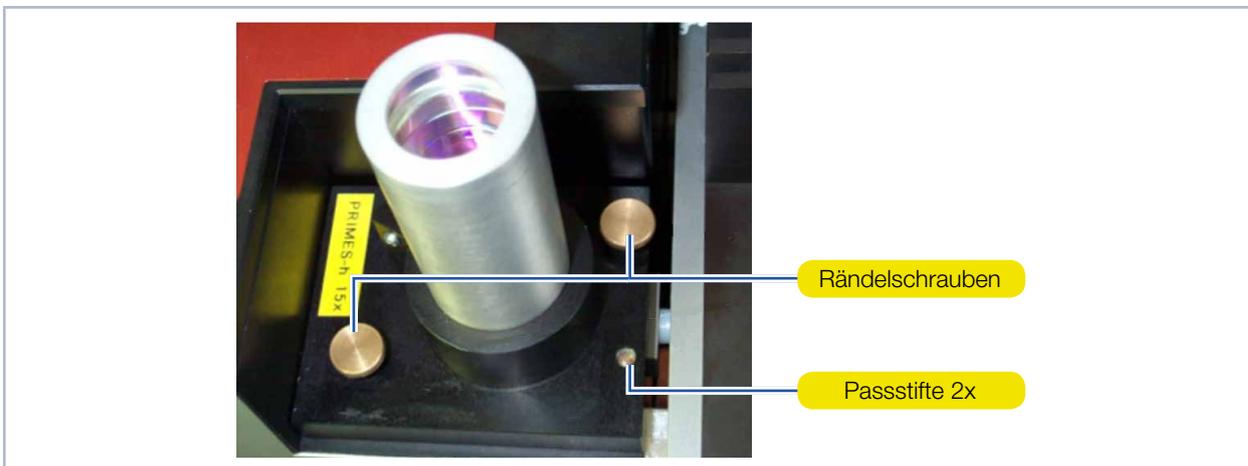


Abb. 13.2: Messobjektiv

ACHTUNG

Elektrostatisch gefährdetes Bauteil

Das EEPROM kann durch eine elektrostatische Entladung zerstört werden.

- ▶ Die Kontakte des EEPROMs und die Kontaktstifte (siehe Abb. 13.3 auf Seite 85) nicht berühren.
- ▶ Legen Sie vor dem Wechsel des Messobjektivs ein ESD-Erdungsarmband an.

In der Fassung der Messobjektive befindet sich ein EEPROM, in dem alle nötigen Messobjektivdaten gespeichert sind.

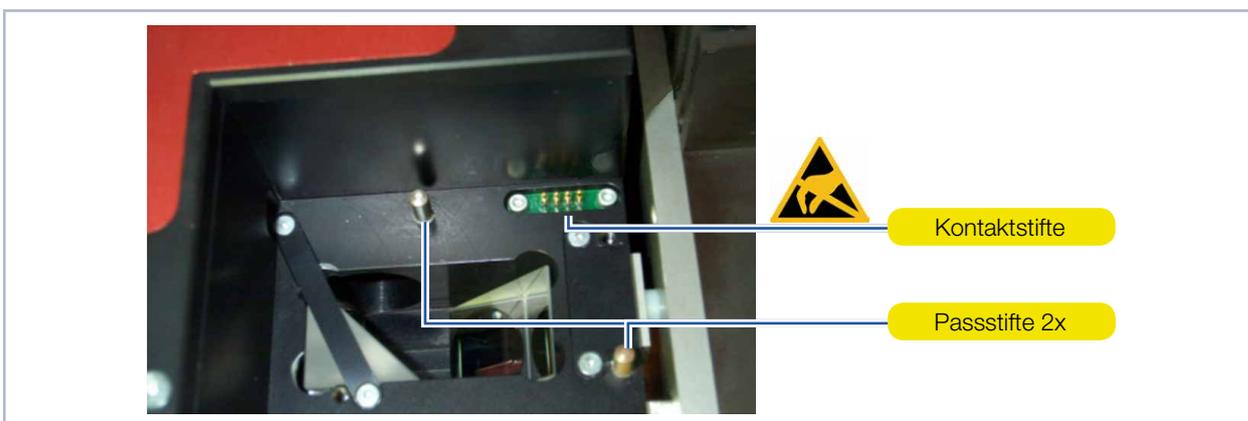


Abb. 13.3: Messobjektiv - Kontakte und Kontaktstifte

3. Setzen Sie das Messobjektiv von oben auf die zwei Passstifte (siehe Abb. 13.2 auf Seite 85).
4. Drücken Sie das Messobjektiv senkrecht bis zum Anschlag nach unten.
 - Achten Sie beim Einsetzen darauf, dass das Messobjektiv nicht verkantet.

13.2.3 Zerstörschwellen

Die Einsatzgrenzen des MicroSpotMonitor MSM ergeben sich aus den Zerstörschwellen der optischen Komponenten. Wie in Kapitel 21.4.1 auf Seite 121 beschrieben, müssen hierbei zwei unterschiedliche Fälle betrachtet werden.

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Messobjektivs

Durch zu hohe Leistungsdichte kann das Messobjektiv zerstört werden.

- ▶ Bitte beachten Sie, dass die Leistungsdichte *I* auf der ersten Linse kleiner ~10 MWatt/cm² (cw) bzw. ~100 MWatt/cm² (gepulst) ist.
- ▶ Die mittlere Leistung sollte 250 Watt nicht überschreiten.

Die Leistungsdichte *I* berechnet sich nach folgender Formel:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi \cdot r_{Spot}^2} \Rightarrow r_{Spot} \geq \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot 10^{6 \text{ bis } 7} \frac{W}{cm^2}}}$$

Abb. 13.4: Formel zur Berechnung der Leistungsdichte *I*

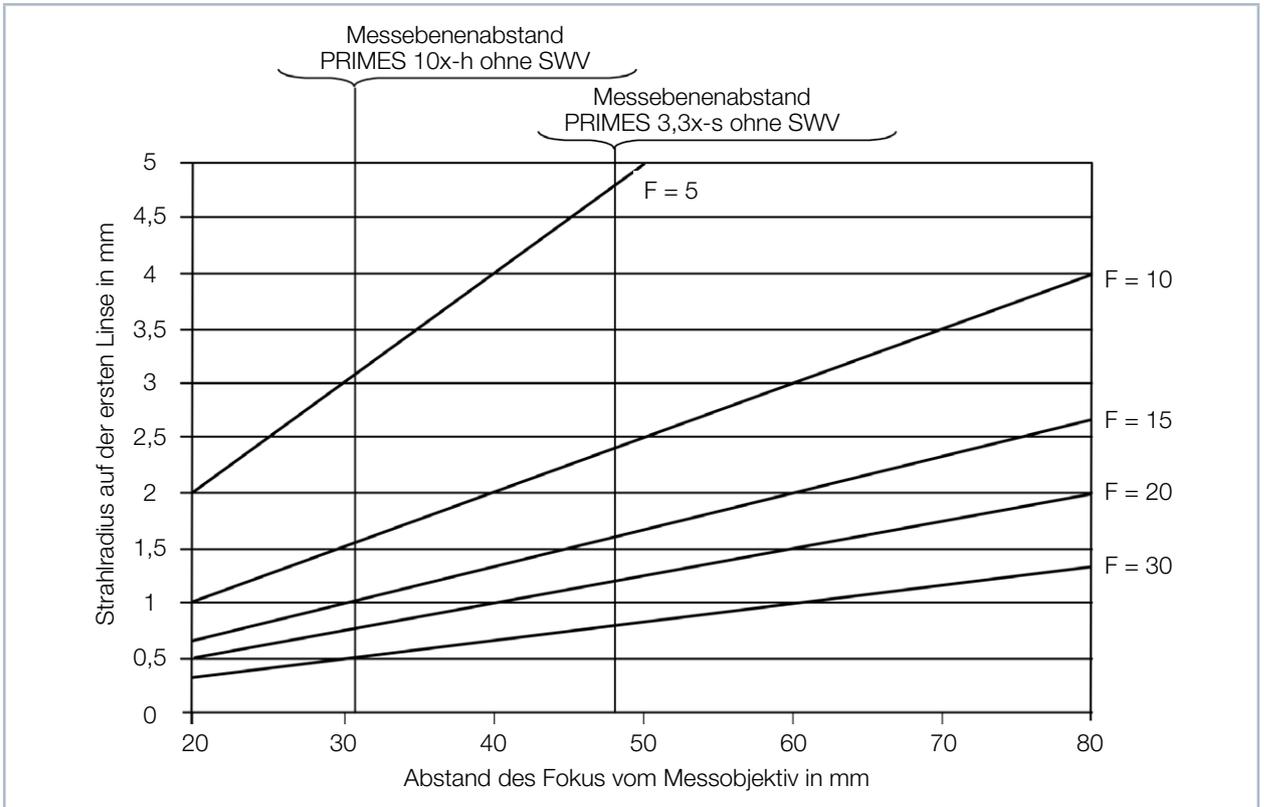
- Wird der Fokus unterhalb der Messebene (zu nahe am Messobjektiv) platziert, steigt die Leistungsdichte auf der ersten Linse des Messobjektivs.
- Liegt der Fokus oberhalb der Messebene, entsteht im Gerät ein Zwischenfokus. Liegt der Laserstrahlfokus zu weit über der Messebene kann dieser Zwischenfokus in einem Bereich entstehen, in dem der Strahl noch nicht ausreichend abgeschwächt wurde. Dies kann zu Schäden im bildseitigen Strahlengang führen.

Die Größe und Lage des Bereiches, in dem der Fokus vor der ersten Messung zu positionieren ist, ist von der Wahl des Messobjektivs, der verwendeten Wellenlänge und von der Art der Fokussierung abhängig.

Das Diagramm in Tab. 13.2 auf Seite 87 zeigt, dass die oberen Grenzen für die stark vergrößernden Messobjektive sehr viel enger gefasst sind, als die der 3,3-fach vergrößernden.

Die untere Grenze ergibt sich, für konvergenten Strahleinfall, aus der Leistungsdichte des Laserstrahls auf der ersten Linse. Diese ist eine Funktion aus der Laserleistung, der Fokussierung, der Beugungsmaßzahl *M*² und dem Rohstrahldurchmesser.

Zur Abschätzung der minimal zulässigen Entfernung dienen die Diagramme in Tab. 13.2 auf Seite 87 und Tab. 13.3 auf Seite 88.



Tab. 13.2: Abschätzung über die Fokussierzahl F für 1 064 nm und 532 nm

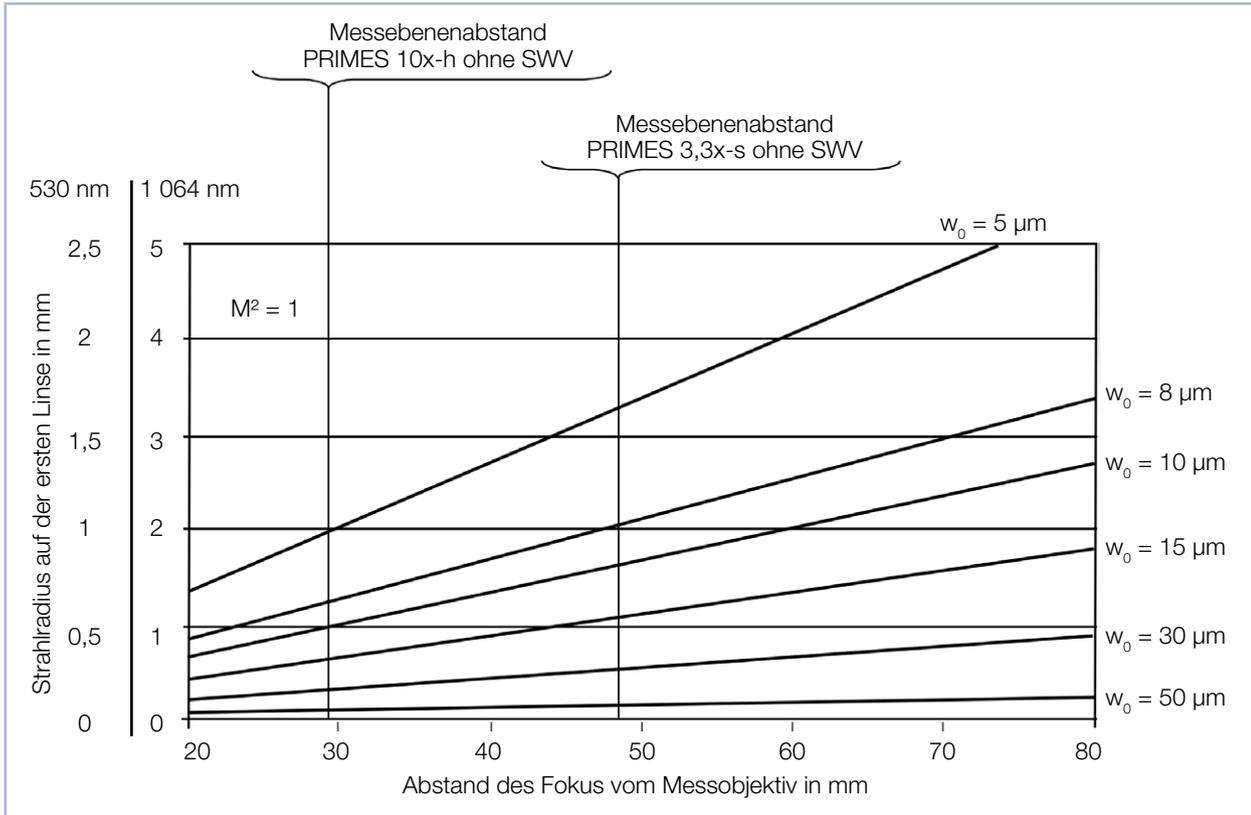
Das Diagramm in Tab. 13.2 auf Seite 87 zeigt die Abhängigkeit des Strahlradius auf der ersten Linse von der Fokussierzahl F und dem Abstand des Fokus zur ersten Linse des Messobjektivs.

Die Fokussierzahl F berechnet sich nach folgender Formel:

$$F = \frac{f}{d_s} = \frac{1}{2 \cdot \tan\left(\frac{\Theta}{2}\right)}$$

Abb. 13.5: Formel zur Berechnung der Fokussierzahl F

- f = Brennweite der Fokussierlinse
- d_s = Rohstrahldurchmesser
- Θ = Voller Divergenzwinkel



Tab. 13.3: Abschätzung über den Fokusradius für 1 064 nm und 532 nm

Das Diagramm in Tab. 13.3 auf Seite 88 zeigt die Abhängigkeit des Strahlradius auf der ersten Linse von der Wellenlänge, dem Fokusradius und dem Abstand des Fokus zur ersten Linse des Messobjektivs.

Die Strahlradien werden hierbei über das Strahlparameterprodukt SPP abgeschätzt.

$$\frac{w_0 \cdot \Theta}{2} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot M^2$$

Abb. 13.6: Formel zur Berechnung der Strahlradien über das Strahlparameterprodukt SPP

- w₀ = Strahlradius
- Θ = Voller Divergenzwinkel
- λ = Wellenlänge
- M² = Beugungsmaßzahl

In Tab. 13.3 auf Seite 88 wurde die Beugungsmaßzahl M² mit 1 angenommen.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Abhängigkeiten:

- Bei stark divergenten Strahlen, d. h. bei Fokussierung mit kleinen Brennweiten, entstehen kleine Fokusradien. Um diese auf dem Kamerachip ausreichend auflösen zu können, benötigt man das 10-fach Messobjektiv. Dieses hat auch eine größere numerische Apertur.
- Bei Laserstrahlen mit der Beugungsmaßzahl M² = 1-2 ergeben sich auch bei kleinen Divergenzen kleine Fokusradien. Das hat zur Folge, dass bei der Verwendung von Messobjektiven mit langer Brennweite die Eintrittslinse gefährdet ist.
- Bei Anwendungen mit großer Beugungsmaßzahl M² treten oft hohe Leistungen auf. Diese sind aber wegen den größeren Fokusradien eher unkritisch. Der Strahldurchmesser auf der Eintrittslinse sollte immer größer 1 mm sein.

13.3 Messung vorbereiten

Die folgenden Checklisten sollen Ihnen helfen, die wichtigsten Voraussetzungen für eine Messung zu realisieren und alle notwendigen Einstellungen der LaserDiagnosticsSoftware LDS vorzunehmen.

13.3.1 Checkliste Sicherheitsvorkehrungen

<input type="checkbox"/>	Das Messgerät steht stabil und ist befestigt
<input type="checkbox"/>	Der Verfahrbereich (z-Achse) des Messgerätes ist frei von Hindernissen

Tab. 13.4: Checkliste Sicherheitsvorkehrungen

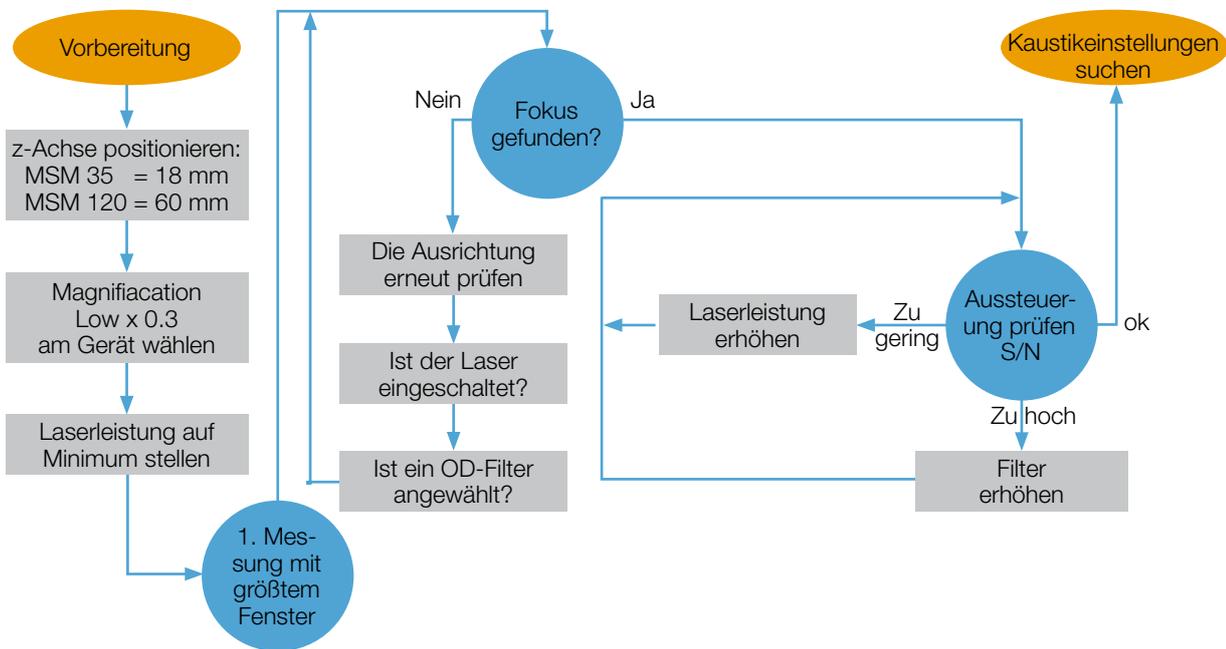
13.3.2 Checkliste Messeinstellungen

LDS-Menüpfad	Handlung
Messung > Umgebung	<input type="checkbox"/> Brennweite der Fokussierung eintragen
Messung > Sensorparameter	<input type="checkbox"/> Auflösung x auf 64 Pixel einstellen <input type="checkbox"/> Auflösung y auf 64 Pixel einstellen
Messung > CCD Einstellung	<input type="checkbox"/> Triggermodus Cw/Quasi-cw-Messung auswählen <input type="checkbox"/> CCD-Betriebsmodus Messdaten auswählen <input type="checkbox"/> Die richtige Wellenlänge auswählen
Messung > Einzelmessung	<input type="checkbox"/> Das Kontrollkästchen Optim. aktivieren
Messung > Kaustik	<input type="checkbox"/> Den Modus Automatik aktivieren <input type="checkbox"/> Das Kontrollkästchen Optim. aktivieren
Messung > Optionen	<input type="checkbox"/> Füllfaktor Max: 0,7 Min: 0,5 Soll: 0,6 einstellen <input type="checkbox"/> Auswertungseinstellung: Das Kontrollkästchen Nullwertkorrektur für positive Volumen aktivieren

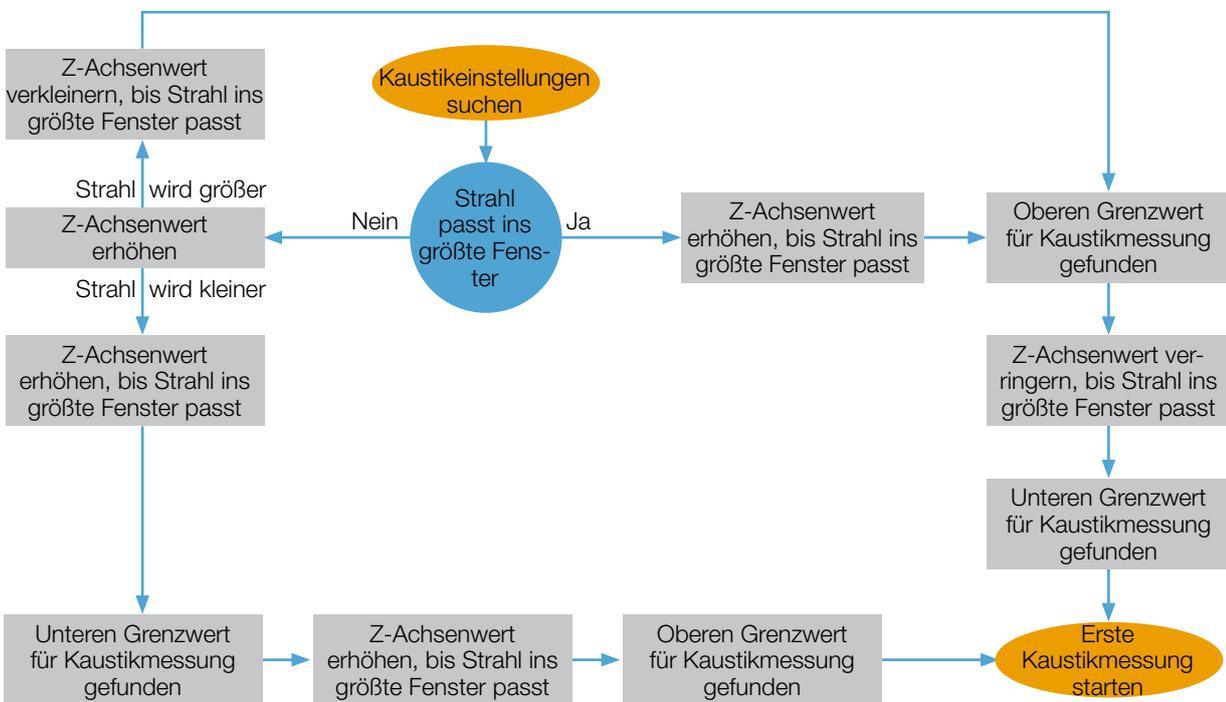
Tab. 13.5: Checkliste Messeinstellungen

13.4 Flussdiagramm einer Messung

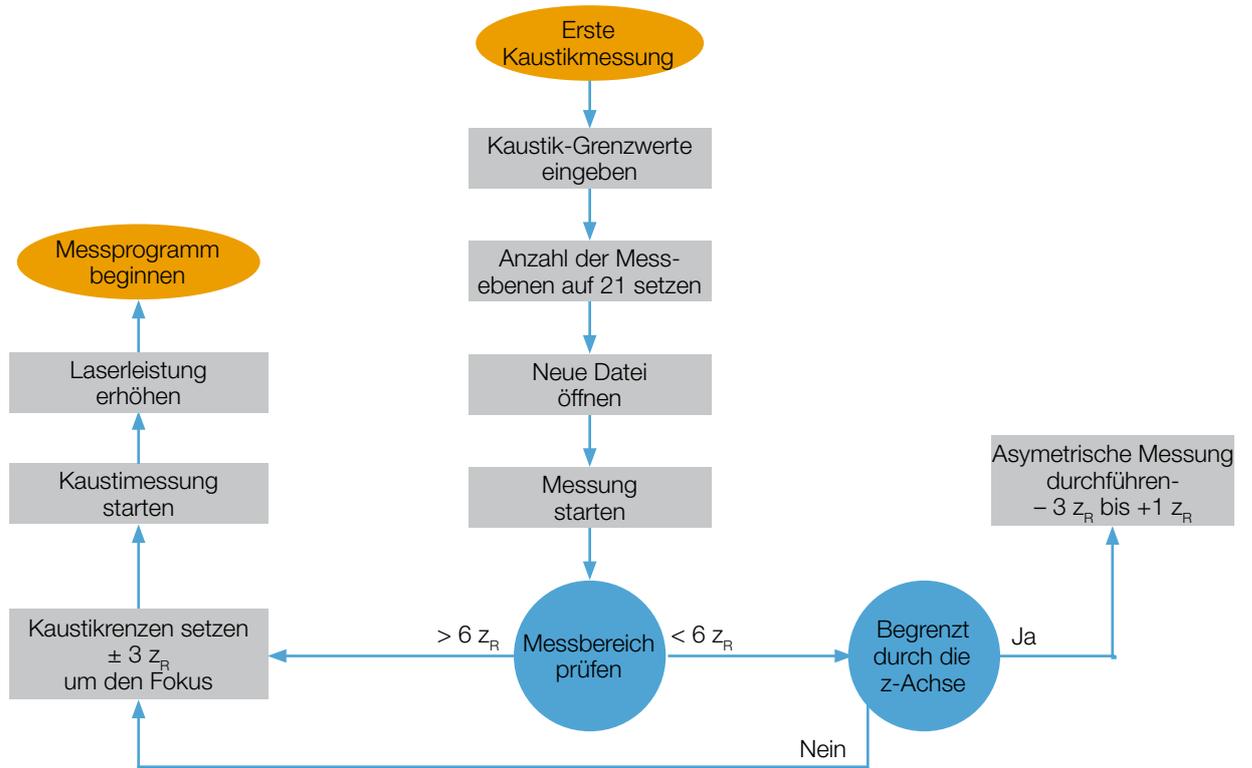
13.4.1 Messung vorbereiten



13.4.2 Kaustikgrenzen bestimmen



13.4.3 Kaustikmessung durchführen



13.5 Messeinstellungen in der LaserDiagnosticsSoftware LDS vornehmen

Die folgenden Erläuterungen zu den Konfigurationsmöglichkeiten sollen Ihnen helfen, die richtigen Einstellungen für die jeweilige Aufgabenstellung vorzunehmen.

In den folgenden Kapiteln werden wichtige Einstelloptionen farblich hervorgehoben:

Farbe	Bedeutung
Rot	Diese Einstellung muss immer wie abgebildet gesetzt sein.
Gelb	Diese Einstellung hängt vom gewünschten Betriebsmodus (cw, Puls, Einzelpuls, Messserie, etc.) ab.
Grün	Diese Einstellung muss vor jeder Messung neu vorgenommen werden. Die Einstellungen sind abhängig von der konkreten Messaufgabe, wie zum Beispiel der Wellenlänge, der Laserleistung oder auch der Geometrie des Laserstrahls.

Tab. 13.6: Farbliche Kennzeichnung der Einstelloptionen

13.5.1 Sensorparameter (Menü *Messung* > *Sensorparameter*)

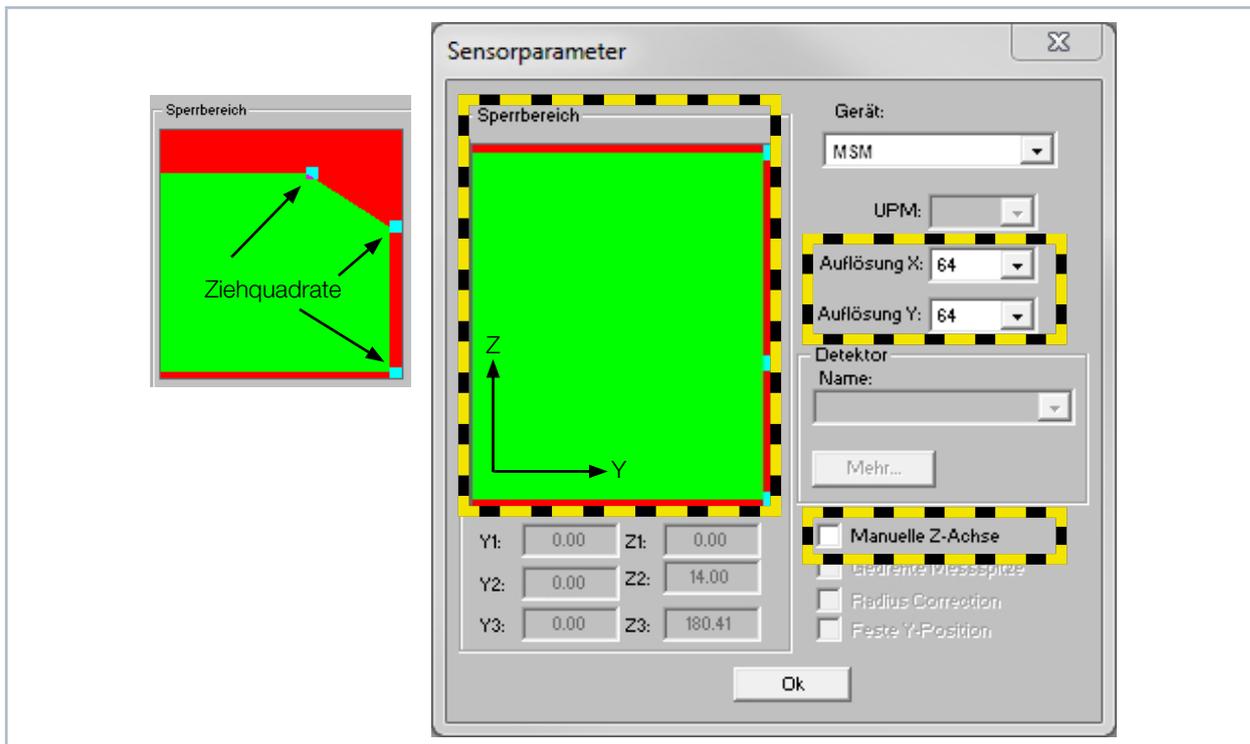


Abb. 13.7: Dialogfenster *Sensorparameter*

Sperrbereich

Durch Ziehen des türkisfarbenen Quadrates mit dem Mauszeiger können Sie in diesem Fenster den Bewegungsbereich der y- und z-Achse einschränken. Diese Funktionalität soll helfen, Beschädigungen zu vermeiden, wenn andere Bauteile in den Bewegungsbereich des Gerätes ragen. Der Maximalwert entspricht den Werten Y3 und Z3.

Auflösung

Hier geben Sie die Anzahl der Pixel im Messfenster von 32 x 32 bis 256 x 256 Pixel vor. In der Regel sind 64 x 64 Pixel ausreichend. Bitte beachten Sie, dass eine größere Anzahl von Pixeln zu einer längeren Messdauer führt.

Manuelle Z-Achse

Mit Hilfe dieser Funktion können Sie die z-Achse des Gerätes deaktivieren. Hilfreich ist diese Funktion, wenn externe Bewegungsachsen benutzt werden sollen. Ist diese Funktion aktiviert, kann im Dialogfenster *Einzelmessung* jeder Messebene ein z-Wert manuell zugeordnet werden.

Weitere Informationen zum Menü *Messung* > *Sensorparameter* finden Sie im Kapitel 12.4.2 auf Seite 45.

13.5.2 Messumgebung (Menü *Messung* > *Messumgebung*)

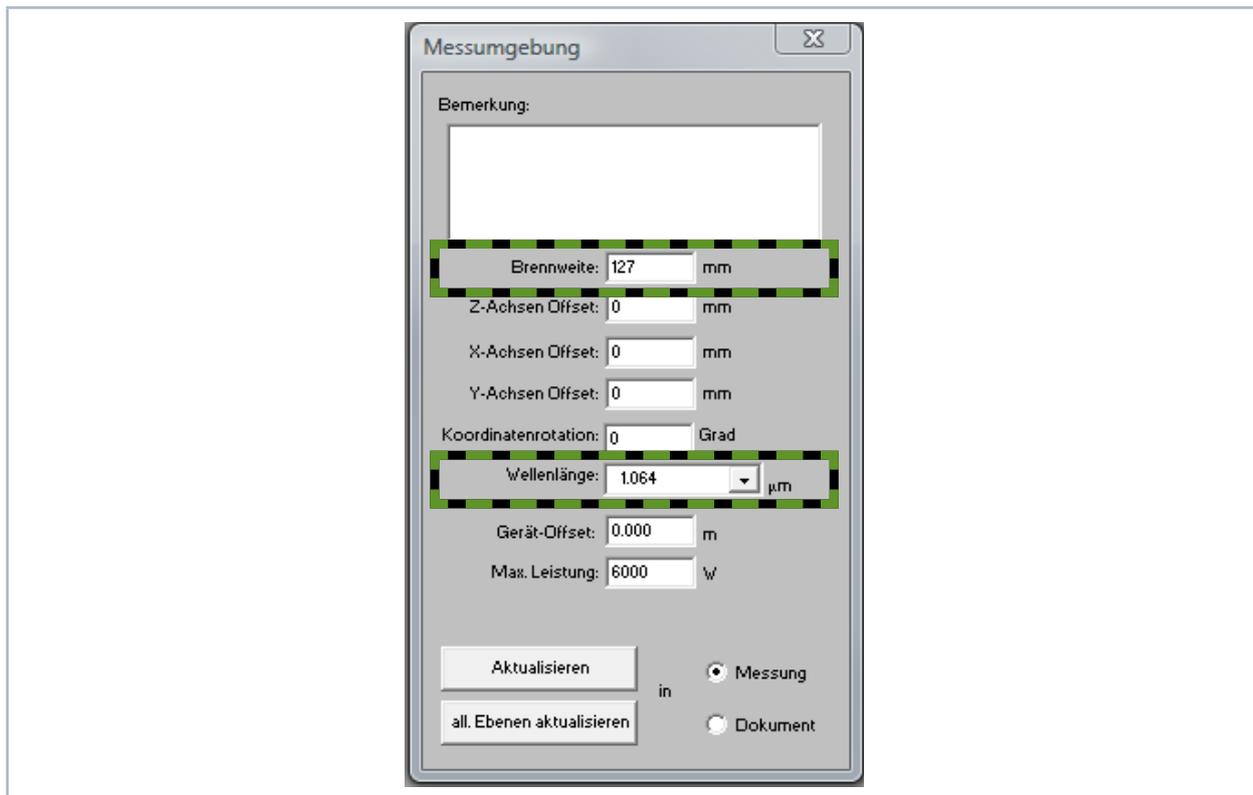


Abb. 13.8: Dialogfenster *Messumgebung*

Brennweite

Die Angabe der Brennweite ist relevant für die Auswertung von Kaustikmessungen. Aus dem Kaustikverlauf und der eingetragenen Brennweite wird auf den Rohstrahldurchmesser auf der Fokussieroptik zurückgerechnet.

Wellenlänge

Die Wellenlänge bildet die Basis für die korrekte Bestimmung der Beugungsmaßzahl M^2 . Wählbar sind:

- 1.064 μm für Nd:YAG-Laser
- 0.532 μm für Grüne Laser
- 0.355 μm für UV-Laser

Sie können die Wellenlänge auch numerisch eingeben.

Weitere Informationen zum Menü *Messung* > *Messumgebung* finden Sie im Kapitel 12.4.1 auf Seite 44.

13.5.3 Messeinstellungen (Menü *Messung* > *Einzelmessung*)

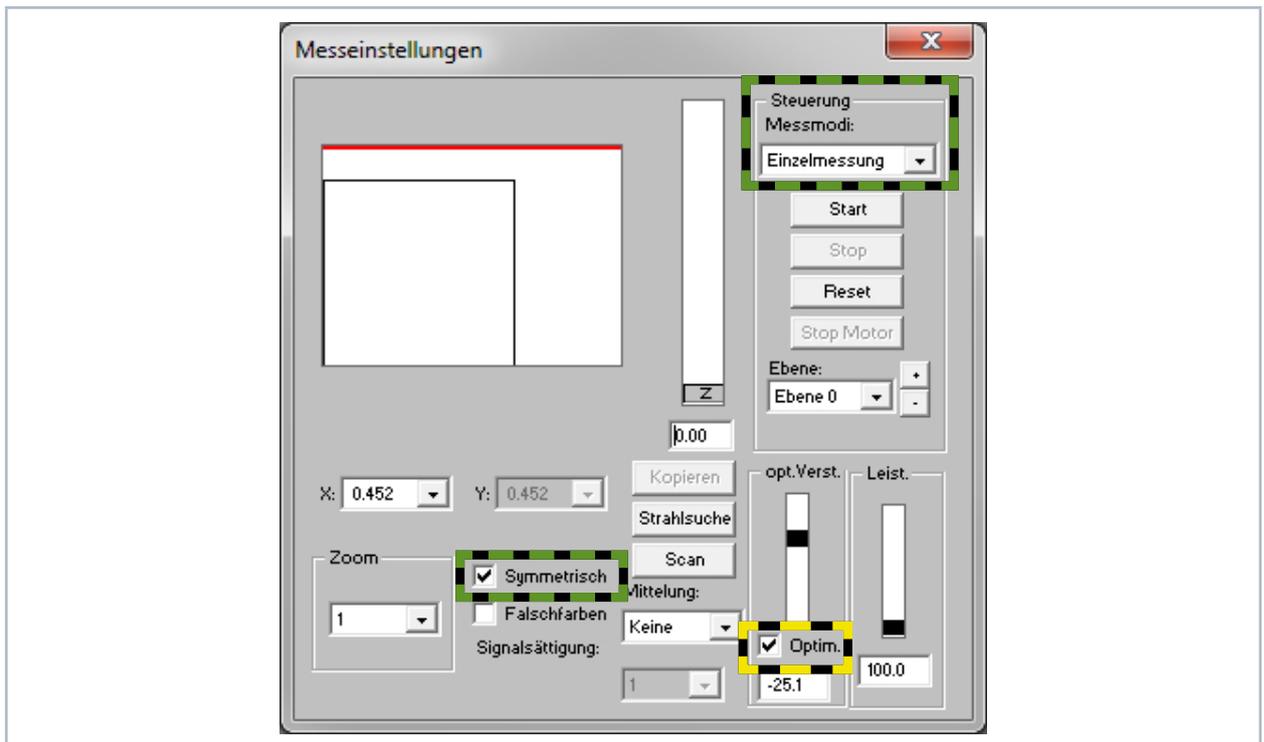


Abb. 13.9: Dialogfenster *Messeinstellungen*

Steuerung Messmodi (Einzelmessung, Monitor und VideoMode)

Insgesamt können hier drei verschiedene Messmodi ausgewählt werden. In den Messmodi **Einzelmessung** und **Monitor** werden alle nötigen Kompensationen (Smear-Effekt, Diffusion) und Belichtungszeitanpassung bei jeder Messung neu durchgeführt. In diesen Modi werden gültige Messdaten erzeugt.

Der Messmodus **VideoMode** erzeugt keine validen Messdaten. Hier wird die Belichtungszeit aus der letzten Messung übernommen und nicht variiert. Auch werden keine Kompensationsmessungen durchgeführt, so dass Messartefakte wie das Ausleserauschen (Smear-Effekt) nicht berücksichtigt bzw. kompensiert werden. Aufgrund der „hohen“ Messfrequenz von ca. 5 Hz kann es dennoch sinnvoll sein, mit dieser Betriebsart zu arbeiten (z. B. beim Einrichten). Die numerischen Ergebnisse sollten nicht absolut, sondern immer relativ zueinander bewertet werden.

Optische Verstärkung (opt. Verst.)

Diese Funktion aktiviert die automatische Anpassung der Belichtungszeit des CCD bei jeder Messung. Nur bei aktivierter Funktion kann das Signal/Rausch-Verhältnis über eine Kaustikmessung konstant hoch gehalten werden.

Für spezielle Messanwendungen kann es allerdings auch durchaus sinnvoll sein, diese Funktion zu deaktivieren und die Belichtungszeit fest auf einen Wert zwischen 12 μ s und 200 ms einzustellen. Wichtig ist dabei, dass mit Hilfe der festen ND-Filter, bzw. des Filterrads, eine ausreichende Abschwächung des Laserstrahls gewährleistet wird.

Symmetrisch

Ist diese Funktion aktiviert, werden nur quadratische Messfenster zugelassen. Soll ein elliptischer oder auch ein rechteckiger Laserstrahl vermessen werden, sollte zur optimalen Anpassung der Messfenster diese Funktion deaktiviert werden.

Weitere Informationen zum Menü *Messung* > *Einzelmessung* finden Sie im Kapitel 12.4.8 auf Seite 50.

13.5.4 Kaustikeinstellungen (Menü *Messung* > *Kaustik*)

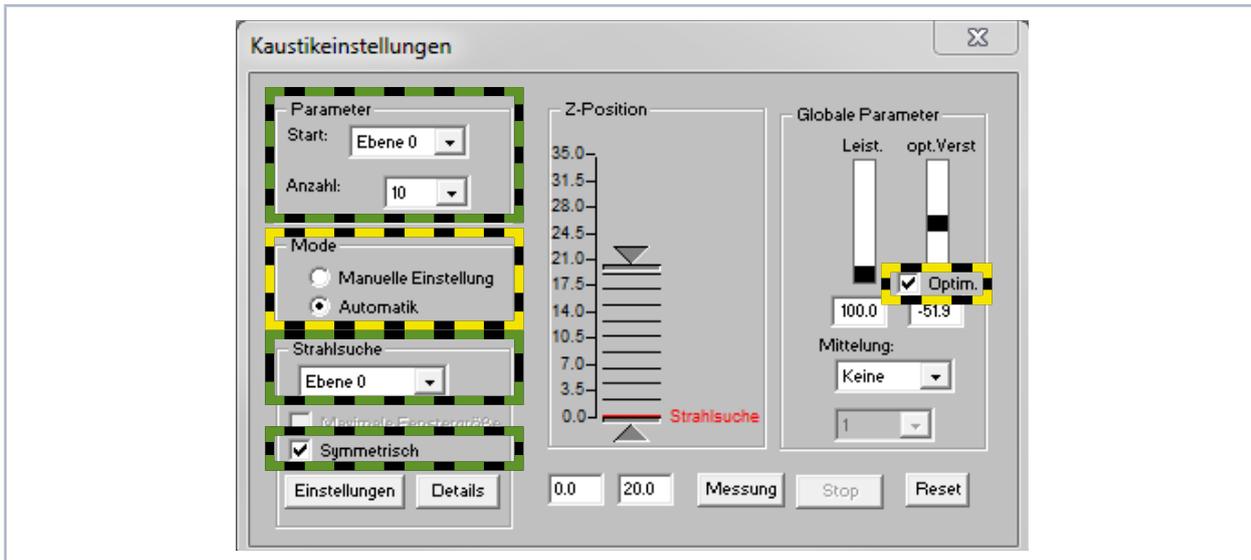


Abb. 13.10: Dialogfenster **Kaustikeinstellungen**

Parameter (Startnummer der Ebene und Anzahl der Ebenen)

Unter Start kann die Startnummer der Ebene angegeben werden, bei der mit dem Messen begonnen werden soll. Standardmäßig liegt die Startnummer auf Null und sollte nur verändert werden, wenn man in ein bestehendes Dokument messen und dabei die vorhandenen Messdaten nicht überschreiben möchte. Hat man beispielsweise eine Kaustik mit 21 Ebenen gemessen und möchte den Messbereich zu kleineren z-Werten hin vergrößern, kann man die Startebene auf 21 setzen und den Messbereich entsprechend verändern. Die neuen Messwerte werden dann ab Ebene 21 in das bestehende Dokument geschrieben.

In dem Auswahlfeld Anzahl wird die Anzahl der im vorgegebenen z-Bereich zu messenden Ebenen festgelegt. Hier sollte Folgendes berücksichtigt werden.

- Da die LaserDiagnosticsSoftware LDS die Messebenenabstände immer äquidistant (gleiche Abstände aufweisend) setzt und der Messbereich so gut wie immer symmetrisch um den Fokus liegt, sollte eine ungerade Anzahl von Messebenen ausgewählt werden. Die Fokusebene wird anhand der Messebenen berechnet und in der Kaustikdarstellung angezeigt.
- Die Strahlvermessungsnorm DIN 11146 schreibt vor, dass mindestens 10 Messebenen gemessen werden sollen. Weiterhin sollen 5 Messungen innerhalb einer Rayleighlänge gemessen werden und die anderen 5 außerhalb von 2 Rayleighlängen. Um allen Anforderungen zu entsprechen, müssen bei äquidistanter Verteilung mindestens 17 Messebenen in einem Bereich von ± 3 Rayleighlängen gemessen werden.

Mode (Automatik und Manuelle Einstellung)

Für die Kaustikmessung gibt es zwei verschiedene Messmodi. Im „Automatik“-Modus bestimmen das Messsystem und die LDS für jede Messebene die ideale Messfensterposition (x- und y-Richtung) und die für den Füllfaktor optimale Messfenstergröße. Weiterhin wird anhand der Vorgaben (Messebenen Anzahl, Messgrenzen z-Richtung) die Ebenenlage in z-Richtung errechnet.



Gerade bei der Anpassung der Messfenstergröße und der Messfensterposition in x- und y-Richtung kann es durch die Anzahl der Iterationen (max. 3 pro Ebene) zu einer verlängerten Messdauer kommen.

Für wiederkehrende Messaufgaben und für Wiederholungsmessungen gibt es deshalb die Möglichkeit den Messmodus auf „Manuelle Einstellung“ zu ändern. Hier übernimmt das Messsystem die Messfensterpositionen und Messfenstergrößen aus der vorangegangenen Messung oder aus einer .ptx-Datei. Dies reduziert die

Messdauer deutlich, setzt allerdings voraus, dass der Laserstrahl sich nur minimal in der Lage und seinen Parametern geändert hat.

Strahlsuche

In diesem Auswahlfeld wird die Ebene vorgegeben, in der die Kaustikmessung begonnen werden soll. Ist im Dialogfenster **Optionen** die Funktion **BeamFind** aktiviert, ist das auch die Ebene bei der diese Funktion ausgeführt wird. Bei deaktivierter BeamFind-Funktion muss eben diese Ebene manuell vorgemessen werden, um sicherzustellen, dass der Laserstrahl gefunden wird.

Weitere Informationen zum Menu *Messung* > *Kaustik* finden Sie im Kapitel 12.4.9 auf Seite 54.

13.5.5 CCD-Einstellung (Menü *Messung* > *CCD Einstellung*)

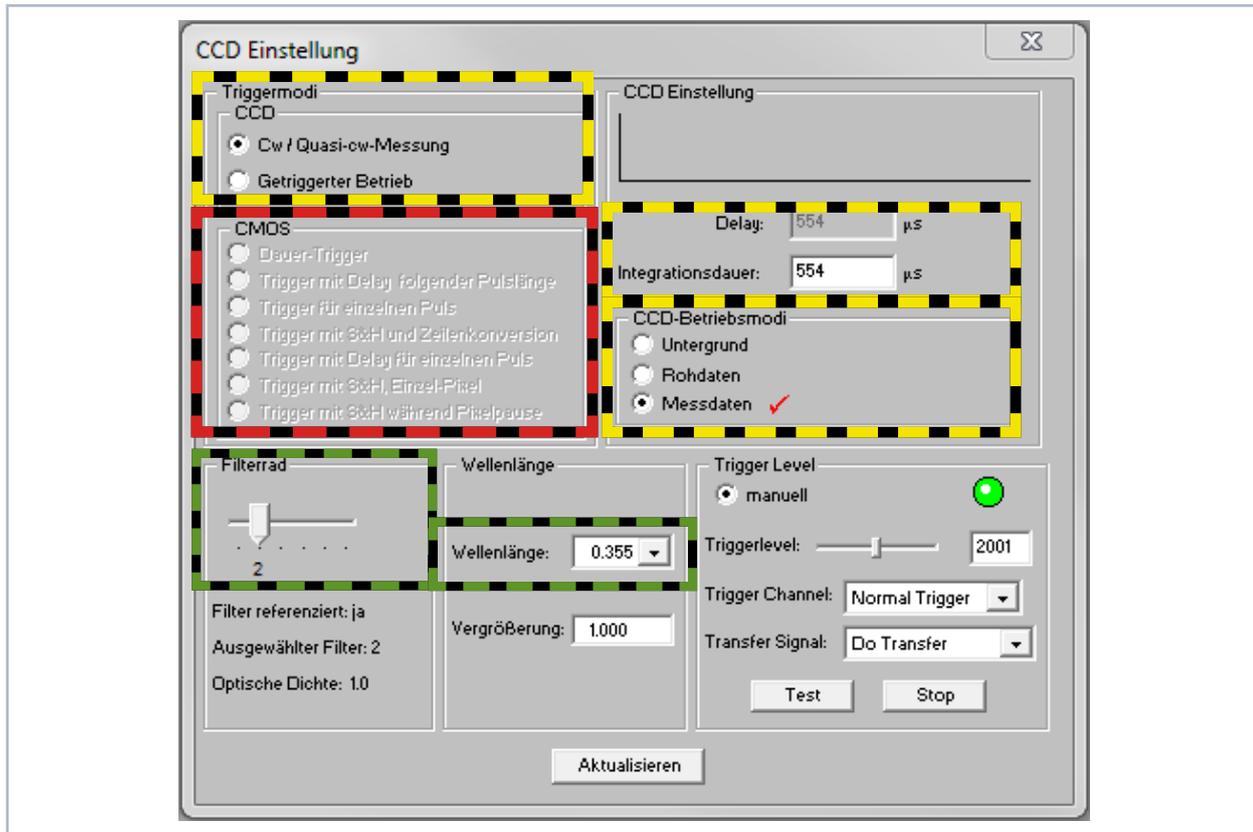


Abb. 13.11: Dialogfenster **CCD-Einstellung**

Im Dialogfenster **CCD-Einstellung** werden die Wellenlänge, die Abschwächung und der Betriebsmodus festgelegt.

Triggermodi

Je nach Betriebsmode des zu vermessenden Lasers muss hier die passende Einstellung vorgenommen werden. Hierbei ist zu beachten, dass gepulste Laser mit einer Pulsfrequenz größer 500 Hz im Modus cw vermessen werden können. Steht der Betriebsmode jedoch auf gepulst und es handelt sich um ein cw Lasersystem, wird das Messgerät immer mit einer Fehlermeldung „Error Black Pixel Measurement“ oder „Time out during Measurement“ auf eine Messanforderung reagieren.

Delay

Diese Funktion kann nur bei dem Triggermodus „getriggert Betrieb“ benutzt werden. Eingestellt wird an dieser Stelle die Zeit, die das Messsystem zwischen dem Erkennen eines Triggerpulses und dem Start der Messung warten soll. Zusammen mit der Funktion „Integrationsdauer“, können definierte „Fenster“ aus Pulszyklen (z. B. genau 1 Puls, oder Teile eines ms-Pulses) vermessen werden. Der minimale Delay beträgt 12 µs.

CCD-Betriebsmodi

Hier können drei verschiedene Modi eingestellt werden. Ist die Einstellung **Rohdaten** aktiviert, liefert das Messsystem bei Messanforderung die unkompensierten Daten des CCD zurück. Diese können gerade bei NIR-Laserstrahlung stark mit Messfehlern wie zum Beispiel dem Ausleserauschen „Smear-Effekt“ behaftet sein. Auch die aus diesen Daten generierten numerischen Strahlendaten sind davon betroffen.

Ist als Betriebsmode **Untergrund** ausgewählt, werden beim Messen nur die Korrekturdaten übermittelt. Die Defaulteinstellung sollte hier aber immer der Mode **Messdaten** sein. Nur wenn dieser Mode eingestellt ist, kann das Messsystem belastbare Messwerte liefern.

Integrationsdauer

Diese Funktion legt eine definierte Integrationsdauer fest. Hierzu muss zuerst der Optimizer deaktiviert werden, da sonst die Integrationsdauer vom Messgerät selbst optimiert und somit verändert wird. Auch diese Funktion findet hauptsächlich bei der Vermessung von gepulsten Lasersystemen Anwendung.

Filterrad

Der zum Messen notwendige Filter ist abhängig von der Wellenlänge und der Intensität des zu messenden Laserstrahls und muss passend zu jeder Messaufgabe gewählt werden.

Passend ist der Filter dann, wenn innerhalb einer Kaustikmessung alle Messebenen mit einer Belichtungszeit zwischen 18 ms (-20 dB) und 0,18 ms (-60 dB) vermessen werden. Außerhalb dieser Grenzen sinkt das S/N-Verhältnis des CCD, so dass die Messgenauigkeit verringert wird.

Wellenlänge

Aufgrund der wellenlängenabhängigen Gesamtvergrößerung des kamerabasierten Messgerätes muss vor jeder Messung geprüft werden, dass hier die richtige Auswahl getroffen wurde. Bei den hier angezeigten Wellenlängen handelt es um die Kalibrierpunkte des Messobjektivs. Aufgrund der achromatischen Eigenschaften der Messobjektive kann beispielsweise mit dem Kalibrierpunkt bei 1 064 nm in einem Wellenlängenbereich zwischen 1 030 und 1 100 nm gemessen werden, ohne dass signifikante Messfehler entstehen.

Allgemeine Ablaufsteuerung

- Leeren der CCD-Register
- Wartepunkt in Zeile a (Zeile in dem der Phototransfer stattfindet) ansteuern; falls während Sub-Puls Trigger kommt, Zeile a wiederholen (-> KZW = KeinZeilenWechsel)
- Evtl. auf Trigger warten, dabei Zeile a wiederholen (KZW)
- Evtl. Delay abwarten, dabei Zeile a wiederholen (KZW)
- In Zeile a über SUB-Puls (-> Löschen der Ladung in den Photodioden) Wartepunkt ansteuern
- Integration – kein Takten (Schieben der Ladungen durch die Register) des CCD
- Takten beginnt wieder, wenige AD-Zyklen später: Phototransfer
- Auslesen der CCD-Register; bei passenden Adressen (= gewünschtes Pixel) wird Messwert an AD-Wandler weitergeleitet.

Die verschiedenen Signale, die auf den Transferausgang gelegt werden können, markieren bestimmte Zeitpunkte während der Ablaufsteuerung:

Transfer-Signale	Bedeutung
Do Transfer	Ist high, wenn das CCD in Zeile a am Wartepunkt steht (heißt so, weil in dieser Zeile auch der Phototransfer stattfindet – wenn er nicht gerade durch KZW unterdrückt wird).
Do Transfer & XEnde	Ein kurzer high-Puls, wenn wir das Ende der Zeile a erreichen.
Sub	Ist high, solange ein Sub-Puls läuft.
Start Done	Wird high, wenn das CCD bereit ist zur Integration (bzw. zum Warten auf Trigger), also in Zeile a am Wartepunkt steht. Wird erst wieder low, wenn das CCD ausgelesen ist. Die positive Flanke könnte man nutzen, um den Laser zu zünden.
Wait For Trigger	Wird high, wenn das CCD in Zeile a am Wartepunkt steht und auf Triggersignal wartet. Wird low, sobald der Trigger eintrifft und der Delay beginnt. Bei ungetriggertem Betrieb entsteht nur ein kurzer high-Puls. Könnte man, neben der Trigger out-Buchse, zur Überprüfung der Triggerung nutzen.
Integration Done	Wird high, sobald die Integration abgeschlossen ist. Wird wieder low, wenn das CCD ausgelesen ist.
Photo Cycle	Wird high, wenn das CCD bereit ist zur Integration. Wird low, sobald die Integration abgeschlossen ist. Bei ungetriggertem Betrieb gibt die high-Phase also genau die Integrationszeit wieder.

Tab. 13.7: Signale die auf den Transferausgang gelegt werden können

Weitere Informationen zum Menu *Messung > CCD Einstellung* finden Sie im Kapitel 12.4.5 auf Seite 48.

13.5.6 Optionen (nur für advanced User (Menü *Messung* > *Optionen*))

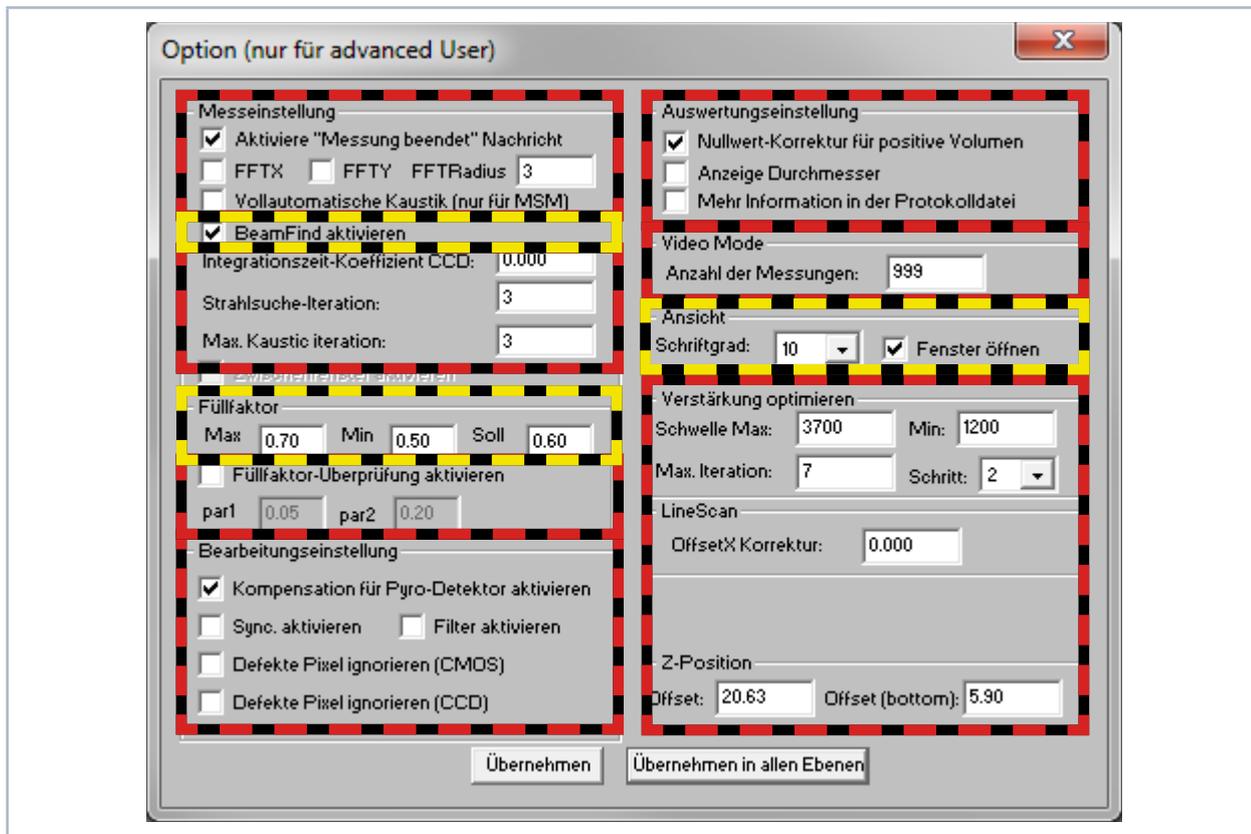


Abb. 13.12: Dialogfenster *Option*

BeamFind aktivieren

Die Funktion BeamFind wird bei Kaustikmessungen benötigt. Es handelt sich um einen Algorithmus, der über eine einstellbare Triggerschwelle das Messsignal von den Messartefakten (z. B. Rauschen) trennt und die Größe des Messfensters auf dieses Signal abstimmt. Dieser Algorithmus wird nur in der Strahlsuchebene (Dialogfenster *Kaustik*) ausgeführt. In allen anderen Messebenen wird die Messfenstergröße über den Füllfaktor bestimmt.

Deaktiviert man diese Funktion, muss dem Messsystem die Strahlsuchebene manuell „vorgemessen“ werden. Andernfalls kann es passieren, dass das Messsystem das Messfenster am Rand des Messbereichs positioniert, so dass kein Messsignal darin liegt. Eine sinnvolle Messung ist dann nicht mehr möglich. Schaltet man den BeamFind-Funktion ab und misst dem Messsystem die Strahlsuchebene vor jeder Kaustikmessung vor, kann man pro Kaustikmessung ca. 20 sec Messzeit einsparen.

Fazit: Diese Funktion sollte standardmäßig aktiviert sein, und nur von erfahrenen Usern deaktiviert werden. Das Abschalten dieser Funktion kann bei Kaustikmessungen die Messdauer um ca. 15 % verkürzen.

Füllfaktor

Der Füllfaktor ist der Quotient aus dem Strahldurchmesser und der Seitenlänge des Messfensters. Solange das Messsignal nicht beschnitten wird und im Messergebnis keine Rauschanteile und kein Fehler in der Offsetbestimmung enthalten sind, hat der Füllfaktor keinen Einfluss auf die Messgenauigkeit. Da aber jedes reale Messsignal mit Rauschen behaftet ist und da die Genauigkeit mit welcher der Nulllevel eines Messsignal bestimmt werden kann endlich ist, können zu kleine Füllfaktoren zu großen Messungenauigkeiten führen. Je nachdem wie groß das RMS-Rauschen und der Fehler in der Nulllevelbestimmung in einer Messebene sind, hat der für das rechnerisch bestmögliche Messergebnis optimale Füllfaktor einen anderen Wert.

Für TopHat- und Gaußstrahlförmige Laserstrahlen sollte der Füllfaktor zwischen 0,5 und 0,7 liegen. Weist ein Strahl jedoch Beugungsringe auf und sollen diese vollständig im Messfenster liegen, kann der optimale Wert für den Füllfaktor auch zwischen 0,5 und 0,6 liegen.

Standardmäßig sollte der Wert: „Max 0,7 Min 0,5 Soll 0,6“ eingestellt sein. Für stark deformierte Strahlen kann der Wert auf „Max 0,6 Min 0,4 Soll 0,5“ geändert werden.

Schriftgrad

Hier kann die Schriftgröße für die wichtigsten Darstellungsfenster geändert werden. Werkseitig ist 10 Punkt eingestellt.

Fenster öffnen

Bei aktivierter Fenster öffnen-Funktion werden beim Start der LaserDiagnosticsSoftware LDS einige grundlegende Fenster geöffnet. Ist dies nicht erwünscht, kann die Funktion deaktiviert werden.

13.5.7 CCD Geräteinfo (Menü *Messung* > *CCD Geräteinfo*)

Im Menü *Messung* > *CCD Geräteinfo* sind die wichtigsten Gerätedaten dargestellt. Man kann dort sowohl die Vergrößerungsdaten des Messobjektivs ablesen als auch prüfen, welcher Strahlweg geschaltet ist. Werden statt der tatsächlichen Vergrößerung offensichtliche Default-Werte (1:1) angezeigt, dann prüfen Sie bitte die Montage des Messobjektivs.

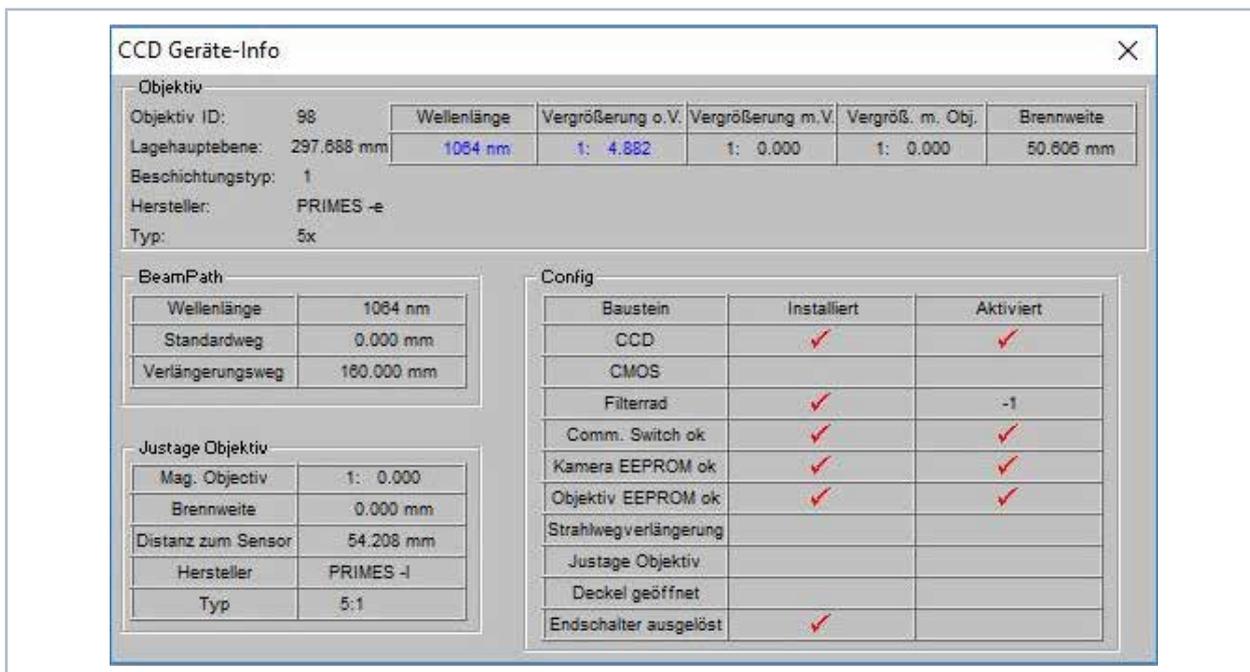


Abb. 13.13: Fenster *CCD Geräteinfo*

13.5.8 Einzelmessung (Menü *Messung* > *Einzelmessung*)

Dieser Menüpunkt dient dem Ausführen von Einzelmessungen. Die dazu notwendigen Einstellungen der Messfensterposition können manuell oder automatisch vorgenommen werden. Bei Geräten mit x- und y-Achsen ist der anfahrbare Messbereich von 2 mm x 2 mm sehr viel größer als das größte Messfenster. Es empfiehlt sich daher eine Strahlsuche manuell durchzuführen oder die **Scan**-Funktion zu benutzen.

Wird ein **Scan** ausgelöst, tastet der MicroSpotMonitor MSM automatisch den Messbereich ab. Ist ein Punkt maximaler Intensität ermittelbar, zoomt der MicroSpotMonitor MSM automatisch auf dieses Gebiet und passt die Messfenstergröße an. Besitzt das Gerät keine x- oder y-Achse, so kann zum automatischen Messen auch die **Strahlsuche**-Funktion verwendet werden.

Das System sucht dabei nur im Gebiet des aktuell eingestellten Fensters auf der eingestellten z-Position. Danach erscheint das Fenster **Strahlsuche**. Wird die Strahlsuche erfolgreich abgeschlossen, so wird ein Messfenster geeigneter Größe und Position im Messfeld des Einzelmessungsfensters eingeblendet. Mit der Schaltfläche **Messung** kann dann der Strahl aufgenommen werden. Die Größe des Messfensters hängt von der Vergrößerung des Messobjektivs ab. Einflussgrößen sind hierbei Objektivtyp, die Wellenlänge und der Betriebsmode (Standard, Strahlwegverlängerung und Justage Mode).

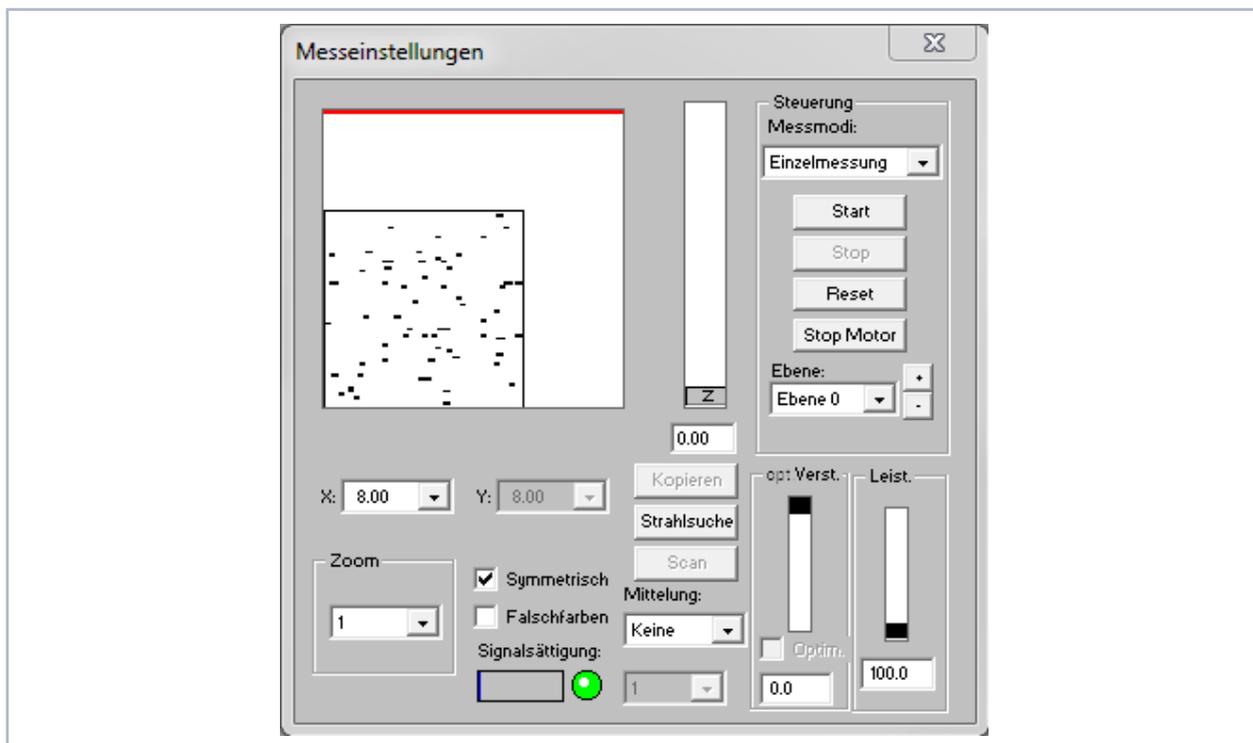


Abb. 13.14: Dialogfenster **Messeinstellungen**

Bei der manuellen Strahlsuche können Sie die Lage und die Größe des Messfensters innerhalb der mechanischen Grenzen selbst festlegen. Wählen Sie [x] für quadratische bzw. [x] und [y] für rechteckige Messfenster. Die Lage des Messfensters wird durch Anklicken und Verschieben des Rahmens mit der Maus verändert. Die Lage des Fensters in z-Richtung (Höhe) kann durch den z-Schieberegler oder über eine numerische Eingabe festgelegt werden. Die **Zoom**-Funktion ermöglicht eine Detailvergrößerung des Messbereichs.

Eine Messung wird mit der Schaltfläche **Start** gestartet. Der Messmodus **Monitor** startet eine fortlaufend wiederholende Messung mit aktuellen Einstellungen. Die Wiederholrate ist abhängig von der räumlichen Auflösung und der Art der Kommunikation PC-MicroSpotMonitor MSM.

Der Messmodus **VideoMode** funktioniert nur bei Ethernet-Kommunikation. Im **VideoMode** liefert der MicroSpotMonitor MSM ca. 4 Bilder pro Sekunde. Anders als der **Monitor**-Betrieb werden im **VideoMode** nur Rohdaten übermittelt.

Falls der Detektor bei einer Messung übersteuert (ersichtlich an der Farbe rot in der Anzeige zur **Signalsättigung** bzw. einem A/D-Wandlerwert von 4 095 in der Darstellung **Freie Schnitte**), ist es empfehlenswert, die Verstärkung mit dem Schieber **opt.Verst.** zu reduzieren und die Messung zu wiederholen. Der **VideoMode** wird hauptsächlich zur Justage verwendet.

Die eingestrahlte Leistung kann über den Schieberegler **Leist.** eingestellt werden. Der Referenzwert für den Schieberegler wird im Menü **Messung > Messumgebung** eingegeben. Die Berechnung der Leistungsdichten erfolgt bezogen auf die hier eingestellten Leistungswerte. In eine Messdatei können bis zu 50 Einzelmessungen aufgenommen werden. Das ist relevant für Vermessungen der Strahlkaustik sowie für Zeit- oder Leistungsreihen. Zwischen den einzelnen Messebenen kann hin- und hergeschaltet werden.

Die Schaltfläche **Kopieren** erlaubt die Übernahme der Messeinstellungen (Fenstergröße, -position, Leistung und Verstärkung) aus der jeweils vorhergehenden Messebene.

Über den Menüpunkt **Mittelung** werden die Ergebnisse einer einstellbaren Zahl von bis zu 10 Einzelmessungen gemittelt. Es stehen verschiedene Mittelungsalgorithmen bereit:

- **Mittelwert** bildet den Mittelwert der gemessenen Verteilungen
- **Max. Pixel** ermittelt die punktweisen Maxima der gemessenen Verteilungen
- **Max. Spur** ermittelt die maximalen Spuren der gemessenen Verteilungen.

Während einer Messung wird ständig der Status des Messsystems angezeigt. Im Einzelnen sind dies:

- die aktuelle Messebene
- der Durchlauf des Referenzzyklus
- das Positionieren des Messkopfes
- die Messung
- die Datenübertragung - der Fortschritt wird über den Balken angezeigt



Abb. 13.15: Anzeigefenster **Monitor**

Mit der Schaltfläche **Abbrechen** kann eine laufende Messung abgebrochen werden (das Verfahren der Z-Achse wird hierbei nicht unterbrochen). Wir empfehlen danach einen **Reset**-Zyklus auszulösen. Abbrechen beendet auch den **Monitor**-Betrieb. Mit der Schaltfläche **Stop** kann die Messung gestoppt werden. Danach sollte vor dem erneuten Messen zunächst ein **Reset**-Zyklus ausgelöst werden.

13.5.9 Kaustikmessung (Menü *Messung* > *Kaustik*)

Die Kaustikmessung ist eine Serienmessung, bei der die z-Position variiert wird. Ziel ist es, die Propagation in Ausbreitungsrichtung zu untersuchen. Die Ergebnisse werden in verschiedenen Ebenen abgelegt. Dabei wird jeder Messebene eine z-Position zugeordnet. Da sich über der z-Position der Messebene der Strahlradius und die Leistungsdichte verändern, kann von Ebene zu Ebene die Lage des Fensters, dessen Größe und die Signalverstärkung variieren. Für jede Messebene sind deshalb diese Parameter getrennt einstellbar.

Die Kaustikmessung kann sowohl manuell als auch automatisch durchgeführt werden. Für die automatische Messung werden ausgewählt:

- die minimale und maximale z-Position
- die Zahl der zu vermessenden Ebenen
- die Startebene für die Strahlsuche

Nach der Strahlsuche misst das System in äquidistanten Abständen den Strahl und bestimmt die Fokusslage, den Fokusradius und das Strahlparameterprodukt. Bei der manuellen Messung werden alle Parameter nach Einzelmessungen von Hand eingestellt. Danach ist eine Kaustikmessung - manuell - möglich. Die Messparameter können über den Menüpunkt **Datei > Messeinstellungen speichern** gespeichert und bei Bedarf wieder geladen werden.

Kaustikmessung vorbereiten

Bei der Ausrichtung des MicroSpotMonitor MSM sollte der Strahlfokus in der Mitte des Verfahrbereichs der z-Achse liegen. Je nach Gerätetyp sind das ca. 17 mm beim Standardgerät (35 mm z-Achse) oberhalb der Nullposition der integrierten z-Achse. Global können eingestellt werden:

- die Leistung
- die Verstärkung
- die Zahl und die Art der Mittelung

Im Bereich von je 2 Rayleighlängen beiderseits des Fokus sollten minimal 10 Messebenen liegen. Mindestens 5 davon im Abstand von ± 1 Rayleighlänge um den Fokuspunkt.

Für eine normkonforme Messung gemäß ISO 11146 sollte minimal über 4 Rayleighlängen gemessen werden. Wir empfehlen über ± 3 Rayleighlängen in 21 Ebenen zu messen.

Automatische Kaustikmessung (Menü *Messung* > *Kaustik* > *Automatik*)

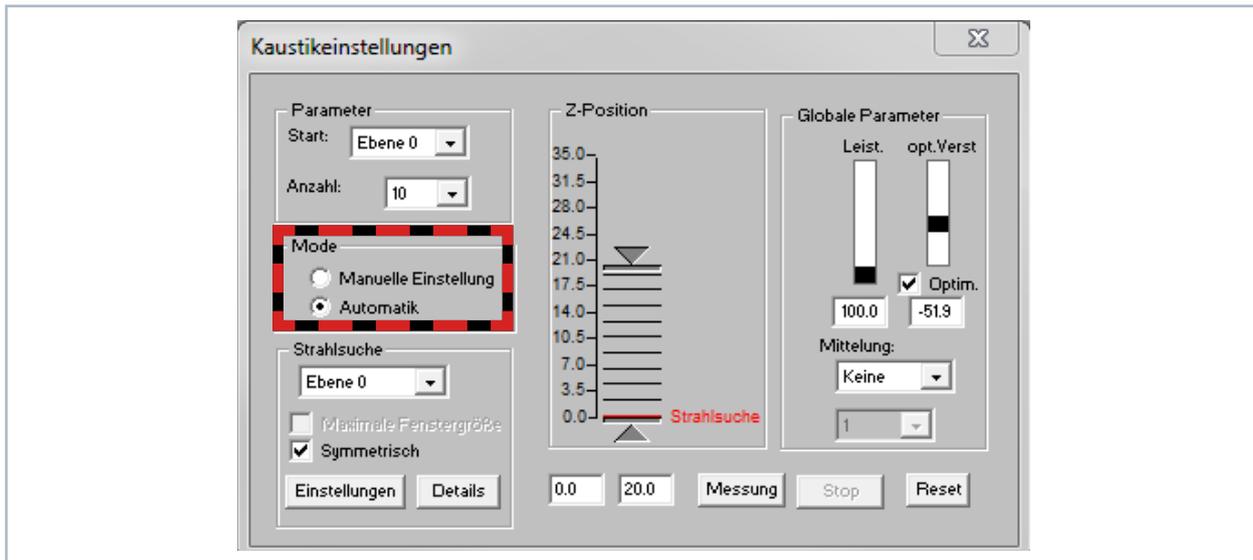


Abb. 13.16: Dialogfenster *Kaustikeinstellungen*

Bei der automatischen Kaustikmessung werden nur noch minimale und maximale z-Position sowie die Zahl der gewünschten Messebenen festgelegt. Der Messzyklus beginnt mit einer automatischen Strahlsuche in der ausgewählten Startebene. Die Strahlsuche erfolgt nur im Bereich des in der Startebene eingestellten Fensters.

Falls die Suchfenstergröße nicht das Maximalfenster (objektivabhängig) sein soll, so kann, nach dem das Kontrollkästchen **Maximale Fenstergröße** deaktiviert wurde, mit dem Menü **Einstellungen** die Fenstergröße angepasst werden. Der Menüpunkt **Details** erlaubt eine Einstellung der Strahlsuchparameter hinsichtlich räumlicher Auflösung, Schwellwerthöhe und minimaler Signalhöhe.



Soll die automatische Strahlsuche aus Zeitgründen entfallen, muss diese im Dialogfenster **Optionen** (Menü *Messung* > *Optionen*) (Kontrollkästchen **Beamfind aktivieren**) deaktiviert werden.

Manuelle Kaustikmessung (Menü *Messung* > *Kaustik*) und (Menü *Messung* > *Einzelmessung*)

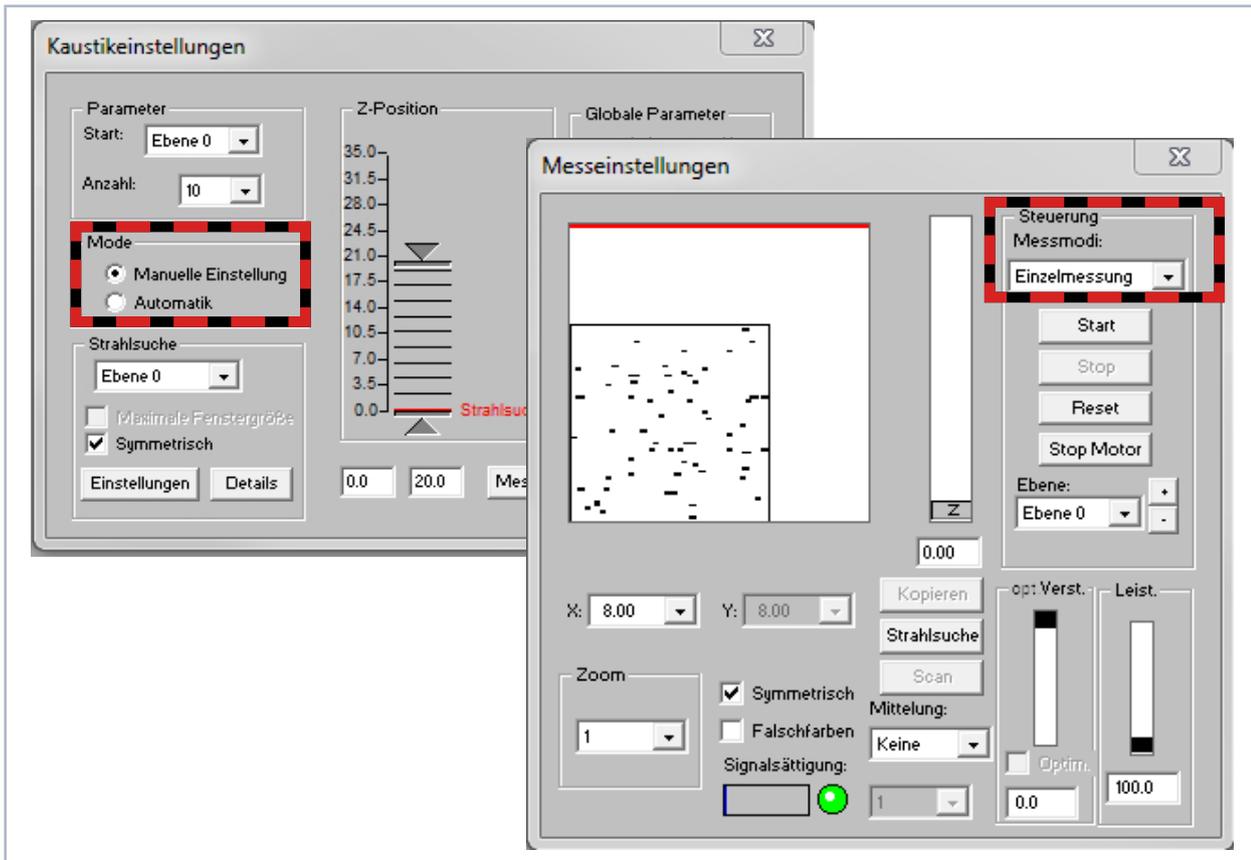


Abb. 13.17: Dialogfenster *Kaustikeinstellungen* und Dialogfenster *Messeinstellungen*

Die manuelle Kaustikmessung besteht aus einer Folge von Einzelmessungen in verschiedenen z-Positionen, wobei die Ergebnisse in jeweils einer eigenen Ebene gespeichert werden.

Als z-Abstand der einzelnen Ebenen empfiehlt sich ein Wert, der ca. 1/200stel der Brennweite beträgt. Bei einer Brennweite von 5", entsprechend 127 mm, sind ca. 0,5 mm bis 0,6 mm empfehlenswert. Bei einer Kaustikmessung mit 15 Ebenen wird damit auf der z-Achse ein Bereich von etwa 8 mm überstrichen.



Die Startebene und die Anzahl der Messebenen müssen mit den Einstellungen im Einstellfenster *Messeinstellungen* übereinstimmen.

Für eine manuelle Kaustikmessung sind die folgenden Schritte notwendig:

1. Löschen Sie die alten Daten im Dialogfenster *Bearbeiten* > *Alle Ebenen löschen* oder erstellen Sie ein neues Dokument *Datei* > *Neu*.
2. Klicken Sie im Dialogfenster *Messung* > *Kaustik* > *Kaustikeinstellungen* auf *Manuelle Einstellung*.
3. Wählen Sie die erste Ebene im Dialogfenster *Messeinstellungen* (Menü *Messung* > *Einzelmessung*).
4. Stellen Sie die z-Position im Dialogfenster *Messeinstellungen* ein.
5. Stellen Sie die Messfenstergröße und Position im Dialogfenster *Messeinstellungen* ein.
6. Führen Sie eine Messung in der eingestellten Ebene durch.
7. Wählen Sie die nächste Ebene an und beginnen Sie wieder bei Punkt 3.

Die Schritte 3. bis 6. werden ca. 10 bis 15 mal wiederholt.

Eine Zeitreihe aufnehmen (Menü *Messung* > *Einzelmessung*)

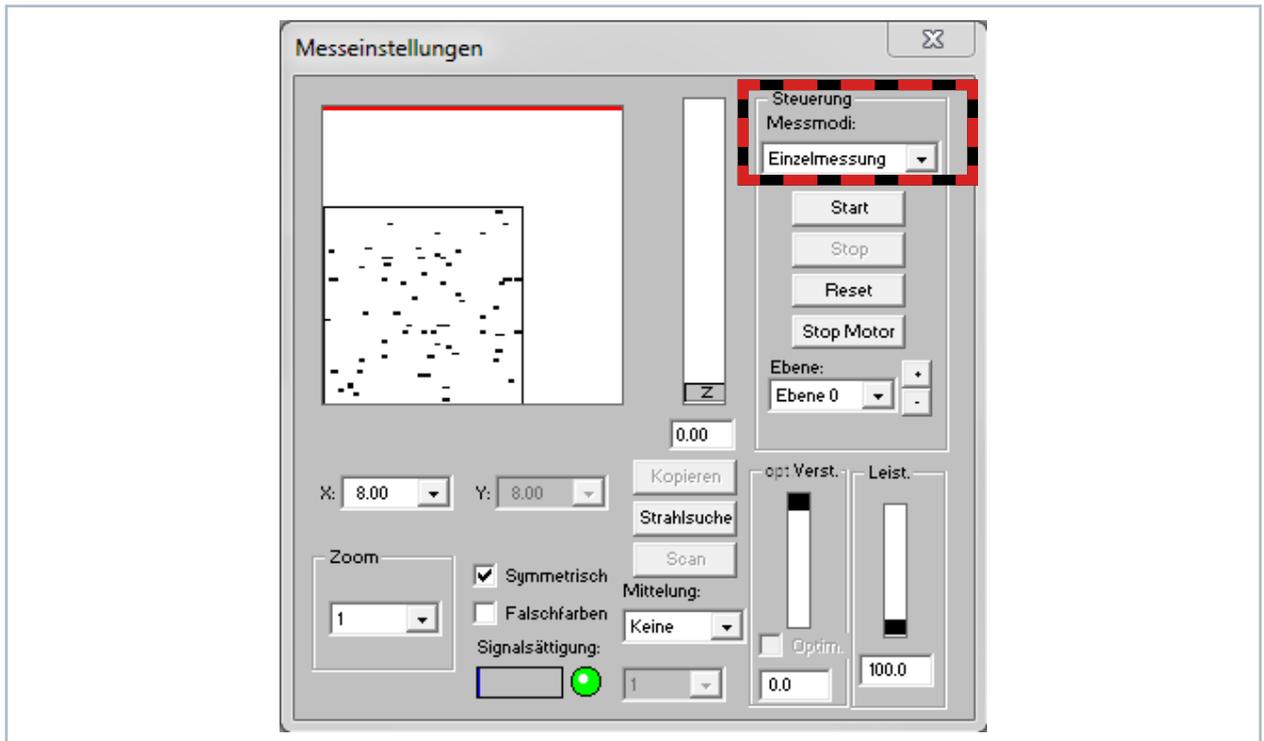


Abb. 13.18: Dialogfenster *Messeinstellungen*

Die Aufnahme einer Zeitreihe entspricht der einer manuellen Kaustikmessung jedoch mit gleichbleibender z-Position in allen Ebenen.

1. Löschen Sie die alten Daten im Dialogfenster *Bearbeiten* > *Alle Ebenen löschen* oder erstellen Sie ein neues Dokument *Datei* > *Neu*.
2. Wählen Sie die erste Ebene im Dialogfenster *Messeinstellungen* (Menü *Messung* > *Einzelmessung*).
3. Stellen Sie die z-Position im Dialogfenster *Messeinstellungen* ein.
4. Stellen Sie die Messfenstergröße und Position im Dialogfenster *Messeinstellungen* ein.
5. Führen Sie eine Messung in der eingestellten Ebene durch.
6. Wählen Sie die nächste Ebene an und übernehmen Sie die Einstellungen mit der Schaltfläche *Kopieren*.

14 Fehleranalyse

14.1 Fehler während einer Messung

Es liegt entweder ein Fehler in der Datenübertragung vor, ein Prozessor im Messsystem ist abgestürzt oder während der Programmausführung ist ein Fehler aufgetreten. Versuchen Sie das System mit dem **Reset** Button in der LaserDiagnosticsSoftware LDS neu zu starten. Führt dies zu keinem Ergebnis schalten Sie die 24 V Spannungsversorgung für das Bussystem aus und wieder ein und lösen erneut einen „Reset“-Zyklus aus. Gegebenenfalls sollte der Computer neu gestartet werden.

14.2 Kein Messsignal am MicroSpotMonitor MSM

Wenn außer einem Rauschpegel, beim MicroSpotMonitor MSM von typischerweise ca. 270 - 300 cts. (die aktuelle Zahl der „Counts“ kann im Menüpunkt **Darstellung > VariableSchnitte** abgelesen werden), kein Messsignal zu erkennen ist, prüfen Sie die Geräteposition. Gegebenenfalls ist es hilfreich das Justageobjektiv zuzuschalten. Neben einer falschen Positionierung kann auch eine zu hoch gewählte Abschwächung zu einem solchen Fall führen.

15 Wartung und Inspektion

Für die Festlegung der Wartungsintervalle für das Messgerät ist der Betreiber verantwortlich. PRIMES empfiehlt ein Wartungsintervall von 12 Monaten für Inspektion und Validierung oder Kalibrierung. Bei sporadischem Gebrauch des Messgeräts kann das Wartungsintervall auch auf bis zu 24 Monate festgelegt werden.

15.1 Schutzglas wechseln

Optional kann das Messobjektiv des MicroSpotMonitor MSM mit einem Schutzglas oder einem Schutzglas mit Zyklon geliefert werden. Das Schutzglas im Strahleintritt ist ein Verschleißteil und kann bei Bedarf gewechselt werden. Leichte Verschmutzungen des Schutzglases können in abgekühltem Zustand mit Isopropanol (beachten Sie die Sicherheitshinweise des Herstellers) vorsichtig entfernt werden. Bei starker, nicht entfernbare Verschmutzung oder Beschädigung ist das Schutzglas durch ein neues zu ersetzen.



Das Schutzglas ist mit einer Antireflex-Beschichtung beschichtet und hat geringe Reflexionswerte kleiner 1 %. Um erhöhte Reflexionswerte zu vermeiden, verwenden Sie ausschließlich original PRIMES Schutzgläser.

Schutzglasdurchmesser 30 mm
Glasdicke 1,5 mm
Bestellnummer 801-004-054

15.1.1 Sicherheitshinweise



GEFAHR

Schwere Verletzungen der Augen oder der Haut durch Laserstrahlung

Ist das Schutzglas nicht korrekt eingelegt, kann durch Reflexion gerichtete Laserstrahlung entstehen.

- ▶ Achten Sie darauf, dass das neue Schutzglas plan in der Vertiefung des Schutzglashalters liegt.



VORSICHT

Verbrennungen durch heiße Bauteile

Das Schutzglas ist nach einer Messung heiß!

- ▶ Wechseln Sie das Schutzglas nicht direkt nach einer Messung.
- ▶ Lassen Sie das Gerät eine angemessene Zeit abkühlen. Die Abkühlzeit ist je nach Laserleistung und Bestrahlungszeit unterschiedlich.

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes

Verschmutzungen und Fingerabdrücke am Schutzglas können im Messbetrieb zur Beschädigung oder zum Zerspringen oder Splintern des Schutzglases führen.

- ▶ Wechseln Sie das Schutzglas nur in staubfreier Umgebung.
- ▶ Berühren Sie nicht das Schutzglas.
- ▶ Tragen Sie beim Schutzglaswechsel puderfreie Latexhandschuhe.

Das Schutzglas befindet sich im Schutzglashalter des Messobjektivs unter dem Haltering bzw. dem Zyklon. Der Haltering bzw. der Zyklon sind über einen federbelasteten Bajonettverschluss mit drei Schließzapfen auf dem Schutzglashalter befestigt.

15.1.2 Schutzglas wechseln

1. Beachten Sie die Sicherheitshinweise im Kapitel „15.1.1 Sicherheitshinweise“ auf Seite 109.
2. Drücken Sie den Haltering nach unten gegen den Schutzglashalter, drehen Sie ihn gegen den Uhrzeigersinn bis zum Anschlag und heben Sie den Haltering nach oben ab.
3. Nehmen Sie das alte Schutzglas aus dem Schutzglashalter heraus (z. B. mit einem Saugnapf) und entsorgen Sie es.
4. Setzen Sie das neue Schutzglas vorsichtig in den Schutzglashalter.
5. Positionieren Sie die Schließzapfen des Halterings in die Öffnungen des Bajonettverschlusses.
6. Drücken Sie den Haltering nach unten und drehen Sie ihn im Uhrzeigersinn bis zum Anschlag.
 - Der Bajonettverschluss ist verriegelt.

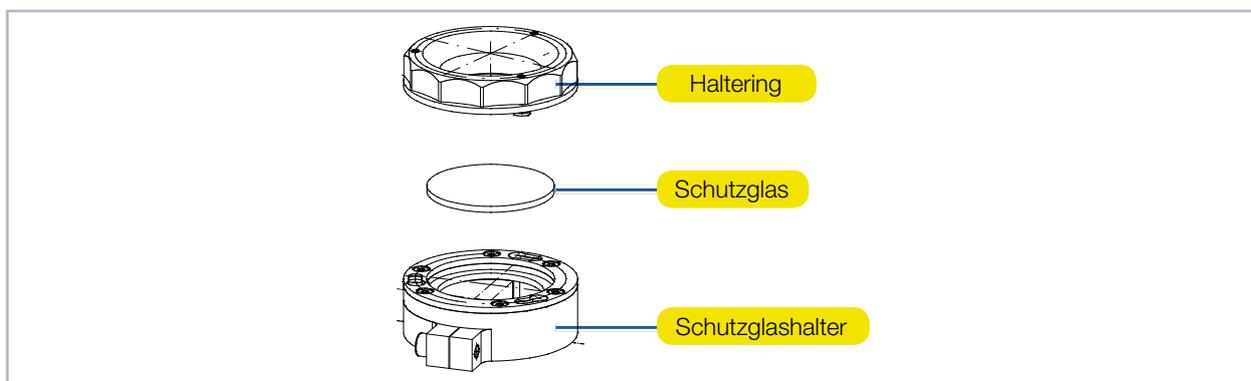


Abb. 15.1: Komponenten der Schutzglashalterung

15.1.3 Schutzglas beim Zyklon wechseln

1. Beachten Sie die Sicherheitshinweise im Kapitel „15.1.1 Sicherheitshinweise“ auf Seite 109.
2. Entfernen Sie bei Bedarf die Druckluftschläuche am Zyklon.
3. Drücken Sie den Zyklon nach unten gegen den Schutzglashalter, drehen Sie ihn gegen den Uhrzeigersinn bis zum Anschlag und heben Sie ihn nach oben ab.
4. Nehmen Sie das alte Schutzglas aus dem Schutzglashalter heraus (z. B. mit einem Stück Klebestreifen) und entsorgen Sie es.
5. Setzen Sie das neue Schutzglas vorsichtig in den Schutzglashalter.
6. Positionieren Sie die Schließzapfen des Zyklons in die Öffnungen des Bajonettverschlusses.
7. Drücken Sie den Zyklon nach unten und drehen Sie ihn im Uhrzeigersinn bis zum Anschlag.
 - Der Bajonettverschluss ist verriegelt.

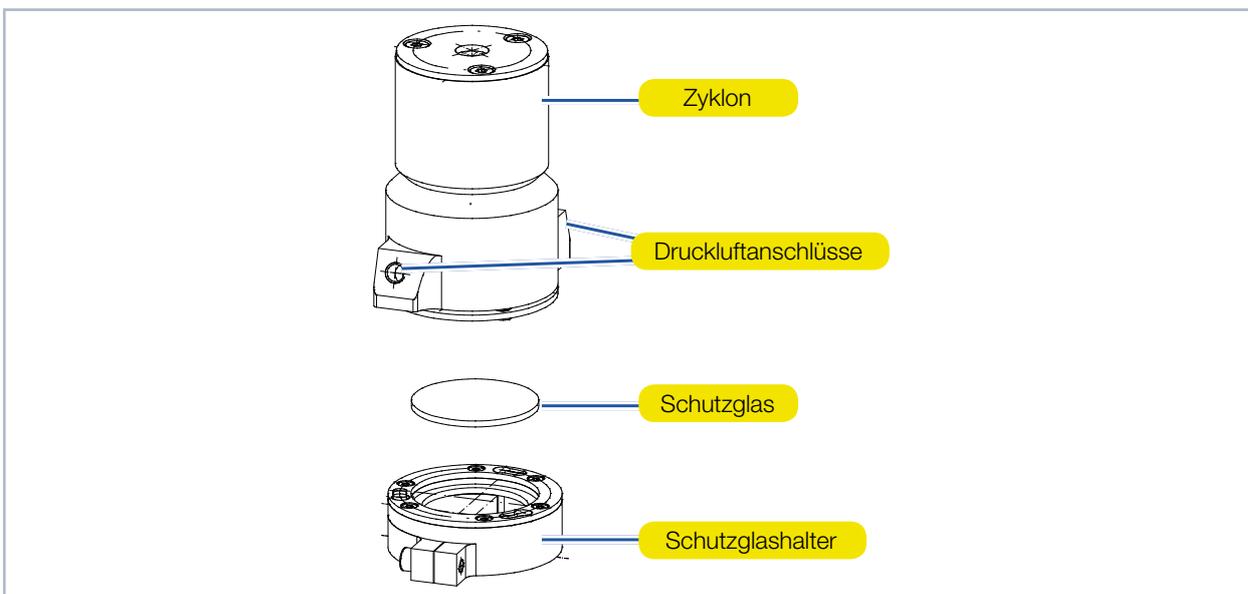


Abb. 15.2: Komponenten der Schutzglashalterung mit Zyklon

16 Lagerung

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung der optischen Komponenten durch Verschmutzungen oder Stöße

Verschmutzungen können die optischen Bauteile beschädigen oder zerstören. Durch harte Stöße oder Fallenlassen können die optischen Bauteile beschädigt werden.

- ▶ Das Gerät darf nur mit montierter Transportsicherung transportiert werden.
- ▶ Um Verunreinigungen zu vermeiden, verschließen Sie bitte die Apertur mit dem mitgelieferten Deckel oder optischem Klebeband.
- ▶ Lagern Sie das Gerät im originalen PRIMES-Transportkoffer (Option).

Bitte beachten Sie vor einer Lagerung bei wassergekühlten Geräten:

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung des Gerätes durch austretendes oder gefrierendes Kühlwasser

Auslaufendes Kühlwasser kann das Gerät beschädigen. Die Lagerung des Gerätes bei Temperaturen nahe oder unter dem Gefrierpunkt und nicht vollständig entleertem Kühlkreis kann zu Geräteschäden führen.

- ▶ Entleeren Sie das Leitungssystem des Kühlkreises vollständig.
- ▶ Verwenden Sie zum Entleeren des Kühlkreises keine Druckluft.
- ▶ Auch wenn das Leitungssystem des Kühlkreises entleert wurde, verbleibt immer eine geringe Menge Restwasser im Gerät. Dieses kann austreten und ins Geräteinnere gelangen. Verschließen Sie die Anschlussstecker des Kühlkreislaufs mit den beiliegenden Verschlussstopfen.
- ▶ Lagern Sie das Gerät im originalen PRIMES-Transportkoffer (Option).

17 Maßnahmen zur Produktentsorgung

PRIMES ist im Rahmen des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes (ElektroG) verpflichtet, nach dem August 2005 gefertigte PRIMES-Messgeräte kostenlos zu entsorgen.

PRIMES ist bei der Stiftung Elektro-Altgeräte-Register („EAR“) als Hersteller unter der Nummer WEEE-Reg.-Nr. DE65549202 registriert.

Sie können zu entsorgende PRIMES-Messgeräte zur kostenfreien Entsorgung (dieser Service beinhaltet nicht die Versandkosten) an unsere Adresse senden:

PRIMES GmbH
Max-Planck-Str. 2
64319 Pfungstadt
Deutschland

18 Konformitätserklärung

Original-EG-Konformitätserklärung

Der Hersteller: PRIMES GmbH, Max-Planck-Straße 2, 64319 Pfungstadt
erklärt hiermit, dass das Gerät mit der Bezeichnung:

MicroSpotMonitor (MSM)

Typen: MSM 35; MSM 120; MSM-HP

die Bestimmungen der folgenden einschlägigen EG-Richtlinien erfüllt:

- Maschinenrichtlinie 2006/42/EG
- EMV-Richtlinie 2014/30/EU
- Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU
- RoHS-Richtlinie 2011/65/EU zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten
- Richtlinie 2014/32/EG über Messgeräte

Bevollmächtigter für die Dokumentation:
PRIMES GmbH, Max-Planck-Str. 2, 64319 Pfungstadt

Der Hersteller verpflichtet sich, die technischen Unterlagen der zuständigen nationalen Behörde auf begründetes Verlangen innerhalb einer angemessenen Zeit elektronisch zu übermitteln.

Pfungstadt, 19.November 2019

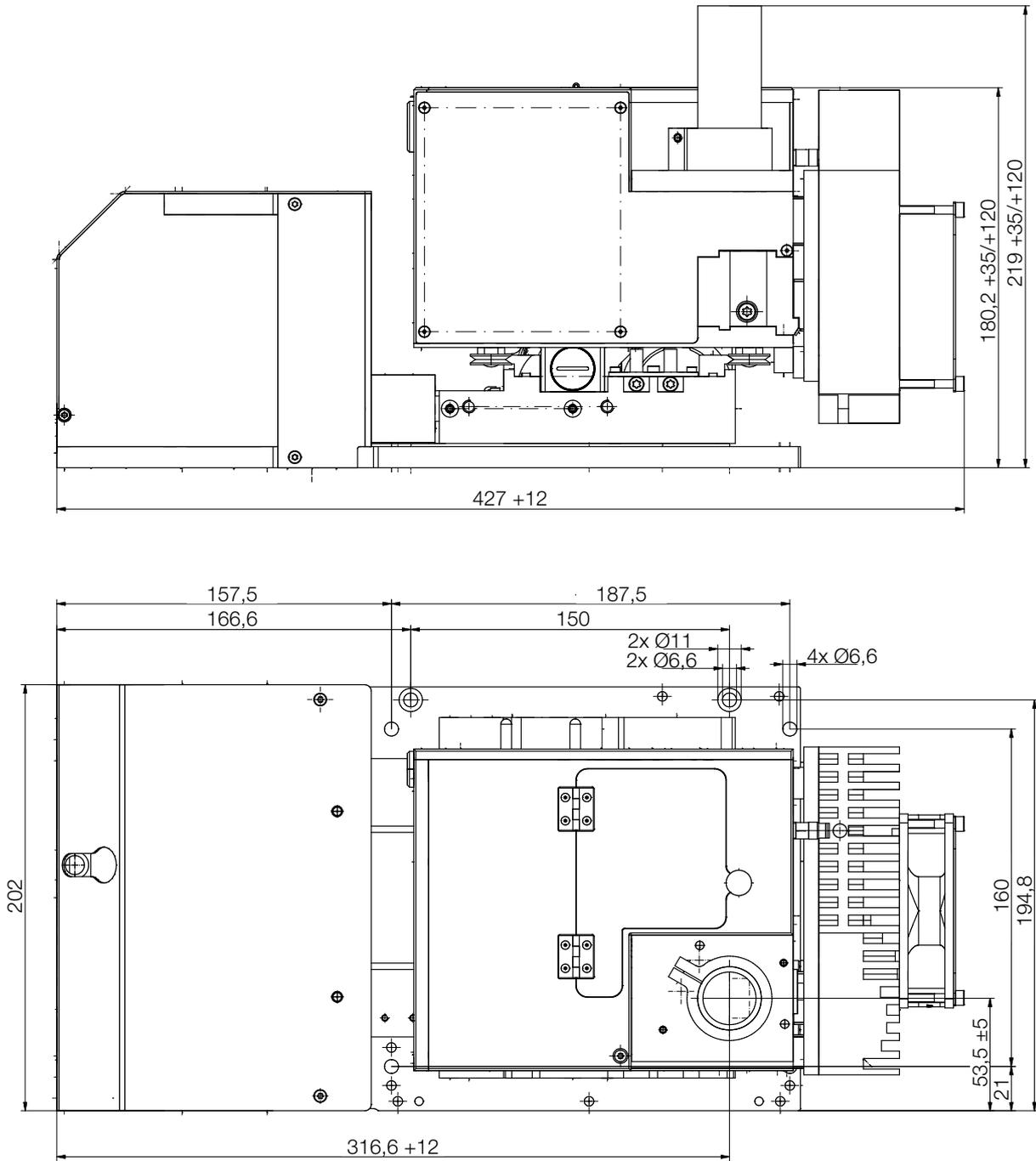

Dr. Reinhard Kramer, Geschäftsführer

19 Technische Daten

Messparameter	
Leistungsbereich	1 mW – 200 W (optional 500 W mit Wasserkühlung)
Wellenlängenbereich	257 – 272 nm (auf Anfrage)
	340 – 360 nm
	515 – 545 nm
	1 030 – 1 090 nm
Strahldurchmesser	Min. 20 µm – max. 1 mm (abhängig vom Messobjektiv)
Ermittelte Parameter	
Fokusposition x, y, z	ja
Fokusradius x, y	ja
Beugungsmaßzahl M^2	ja
Rohstrahldurchmesser am fokussierenden Element	ja
Strahlparameterprodukt SPP	ja
Divergenzwinkel	ja
Leistungsdichteverteilung	2D, 3D
Geräteparameter	
Messbereich in x- und y-Richtung	0,02–2 mm (abhängig vom Messobjektiv)
Messbereich in z-Richtung	35 mm oder 120 mm
Integrierte variable Abschwächung (Option)	Filterrad mit 5 OD-Filtern (OD 0 – 5)
Versorgungsdaten	
Elektrische Versorgung	24 V DC \pm 5 %, max. 1,8 A
Druckluft für Zyklon (gereinigt, Wasser- und ölfrei)	0,5 bis 1 bar
Kühlwasserdruck	min. 2 bar Primärdruck bei drucklosem Ablauf, max. 4 bar
Min. Kühlwasserdurchfluss	1,5 l/min
Kühlwassertemperatur $T_{in}^{1)}$	Taupunkttemperatur $< T_{in} < 30$ °C
¹⁾ Soll außerhalb dieser Spezifikation gearbeitet werden, bitte vorher mit PRIMES Rücksprache halten.	
Kommunikation	
Schnittstelle	RS485/Ethernet
Maße und Gewichte	
Abmessungen (L x B x H)	Länge: 427 mm +12 mm Verfahrweg zzgl. Stecker Breite: 202 mm Höhe: 181 mm +35/120 mm Verfahrweg + Überstand je nach verwendetem Messobjektiv
Gewicht	15 kg

Umgebungsbedingungen	
Gebrauchstemperaturbereich	10 – 40 °C
Lagerungstemperaturbereich	5 – 50 °C
Referenztemperatur	22 °C
Zulässige relative Luftfeuchtigkeit (nicht kondensierend)	10 – 80 %

20 Abmessungen



Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

21 Anhang

21.1 Festen OD-Filter (Option) in den Revisionsschacht einsetzen

1. Schalten Sie die Laserquelle aus.
2. Stellen Sie sicher, dass alle bewegliche Teile, z. B. Roboterarme, etc. im Stillstand sind und dass diese nicht unbeabsichtigt in Bewegung gebracht werden können.
3. Schalten Sie die Spannungsversorgung des MicroSpotMonitor MSM aus.

ACHTUNG

Beschädigung/Zerstörung der optischen Bauteile

Durch Verschmutzungen können die optischen Bauteile beschädigt oder zerstört werden.

- ▶ **Öffnen Sie die Abdeckung zum Revisionsschacht nur in staubfreier Umgebung.**

4. Drehen Sie die Rändelschraube an der Abdeckung heraus und öffnen Sie die Abdeckung.
5. Führen Sie den festen Filter in den dafür vorgesehenen Einschub.
 - Der Einschub hat unterschiedliche Führungen, sodass der feste OD-Filter nur in einer Position eingeführt werden kann.
6. Schließen Sie die Abdeckung und drehen Sie die Rändelschraube ein:
 - Prüfen Sie den Sitz der Abdeckung:
 - Die Abdeckung muss plan am Gehäuse anliegen, sodass kein Staub oder Schmutz in den Revisionsschacht gelangen kann.

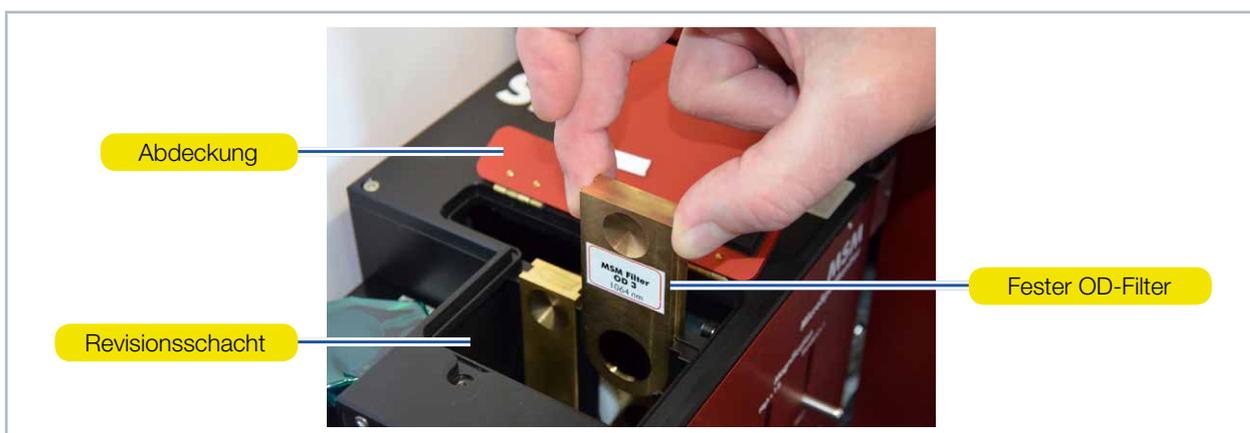


Abb. 21.1: Festen OD-Filter in den Revisionsschacht einsetzen

21.2 Datei „laserds.ini“ – ein Beispiel

Unten abgebildet ist der Inhalt einer laserds.ini-Datei. Hier sind einige Starteinstellungen des Systems definiert – unter anderem:

- voreingestellte serielle Schnittstelle.
- Einstellungen für die Strahlsuche wie Schwellhöhe und die räumliche Auflösung bei der Suche.

Die Einstellungen können im Windows®-Editor geändert werden. Sollen Änderungen in der Laserds.ini vorgenommen werden muss zunächst die LaserDiagnosticsSoftware LDS geschlossen werden. Die Änderungen werden sonst nicht aktiviert bzw. werden beim Schließen des Programms zurückgesetzt.

```
[Version]
No.=17

[Window]
left=10
top=10
right=1183
bottom=948

[Comm]
Data_Transfer_Mode=0
Port=
HighBaudrate=1
escan=161,168,152,144,145,
192,112,113,80

[Ethernet]
IP=0.0.0.0
Port=6001
MAC Address=00-00-00-00-00-00

[Device]
Type=
ID=-1

[Adresse]
Own=64

[Private]
Mode=0

Flag1=1111
Flag2=0
Flag3=0
[File]
Default=

[Laser]
Wellenlaenge=0.01060000
DrehzahlNr=0
Kamerachip=0
Laserleistung=6000.00000000
Brennweite=127.00000000
StrahlsucheTrigger=150
Strahlsuche Trigger für Pyro=150
Strahlsuche Trigger für Photo=50
StrahlsucheProzent=35
Funkvorhanden=1
Detektortyp=1
SperrbereichY0=8.00000000
...
Autoscaleon=1

Extern Z-Axis=0
Tip twisted=0

[Detectorparameter]
Detector 0 Tau1=10
Detector 0 Scale1=-0.1
Detector 0 Tau2=3500
Detector 0 Scale2=0.1
Detector 0 Tau3=0
Detector 0 Scale3=0
Detector 0 Name=Pyro-FM-1
Detector 1 Tau1=0
...

[TriggerModi]
TriggerMode 0=Dauer-Trigger
TriggerMode 1=Trigger mit Delay
und folgender Pulslänge
...

[Interface]
Startup=0
[Skript]
Startdatei=
[Output]
Out0=Port 0
Out1=Port 1
...

[Input]
In0=Port 0
In1=Port 1
In2=Port 2
...

[Multimon]
Rescan=32,33,128
Radius=1.

[Kaustik]
FuellMin=0.25
FuellMax=0.4
FuellSoll=0.35
[YAG-Kamera]
Trigger-Mode=0
Trigger-Level=0
Trigger-Delay=0
Pulslaenge=1
CCD-Mode=30

[Export]
Setting=0
[Service]
Firmenadresse=
Servicetechniker=

[BusProtokoll]
Befehl_Nr=0
Datei_Nr=1
Protokoll=0

[SchlittenKonstante]
Offset=1
OffsetFromBottom=5.9

[Process Data]
Mode=0

[View]
Font Size=10
Recent File1=
Recent File2=
Recent File3=
Single Window PositionX=0
Single Window PositionY=0
Caustic Window PositionX=0
Caustic Window PositionY=0
Sensor Window PositionX=0
Sensor Window PositionY=0
Envi Window PositionX=0
Envi Window PositionY=0
MSM Settings Window PositionX=0
MSM Settings Window PositionY=0
MSM Info Window PositionX=0
MSM Info Window PositionY=0
Free Window PositionX=0
Free Window PositionY=0
Power Window PositionX=0
Power Window PositionY=0
Show Measuring Windows=1
[Measurement]
Beamfind Iteration=3
```

21.3 Beschreibung des MDF-Dateiformats

Das MDF-Dateiformat ist ein einfaches ASCII-Format, das die wichtigsten Daten einer Strahlvermessung - die räumliche Leistungsdichteverteilung enthält. MDF steht für „mailable data format“.

Durch dieses vereinheitlichte Format sollen Konversionsprobleme zwischen unterschiedlichen Auswerteprogrammen reduziert werden und auch eine sichere Datenübertragung auch z. B. durch E-Mail gewährleistet werden.

Die Dateien sind wie folgt gegliedert:

- | | |
|------------|---|
| 1. Zeile: | MDF100 (file identifier) |
| 2. Zeile: | Zahl der Bildpunkt: in x-Richtung in y-Richtung |
| 3. Zeile: | Größe des Messbereichs: Länge in x (mm) Länge in y (mm) |
| 4. Zeile: | Position entlang der Strahlachse: z-Position (mm) |
| 5. Zeile: | Transversale Position des Zentrums des Messbereichs: x-pos y-pos (mm) |
| 6. Zeile: | Verstärkung des Messsignals: Verstärkung (dB) |
| 7. Zeile: | Zahl der Mittelungen: Zahl |
| 8. Zeile: | Offset-Wert der vom Messgerät angezeigt wird: Offset - Wert |
| 9. Zeile: | Wellenlänge-Wert |
| 10. Zeile: | Leistung-Wert |
| 11. Zeile: | Brennweite-Wert |
| 12. Zeile: | Datum, Uhrzeit-Wert |

in den folgenden Zeilen stehen die Daten.

Es stehen nicht mehr als 80 Zeichen pro Zeile.

Kommentare

Kommentare werden als zusätzliche Zeilen eingefügt, in der Zeile nach dem file identifier. Die Kommentarzeile beginnen jeweils mit einem Semikolon.

Beispiel

```
MDF100
;This is an example.
;These lines are comment.
64 64
2 2
11
...
...
1
10
10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
20 20 20 20 20 18 16 14 12 10
....
....
```

21.4 Optische Komponenten

Der MicroSpotMonitor MSM ist ein kamerabasiertes Messsystem. Je nach Anwendungsfall können sich im Strahlengang bis zu 7 verschiedene optische Elemente befinden. Ihr Zweck und die Funktionsweise der einzelnen Komponente wird in den nächsten Kapiteln genauer erläutert.

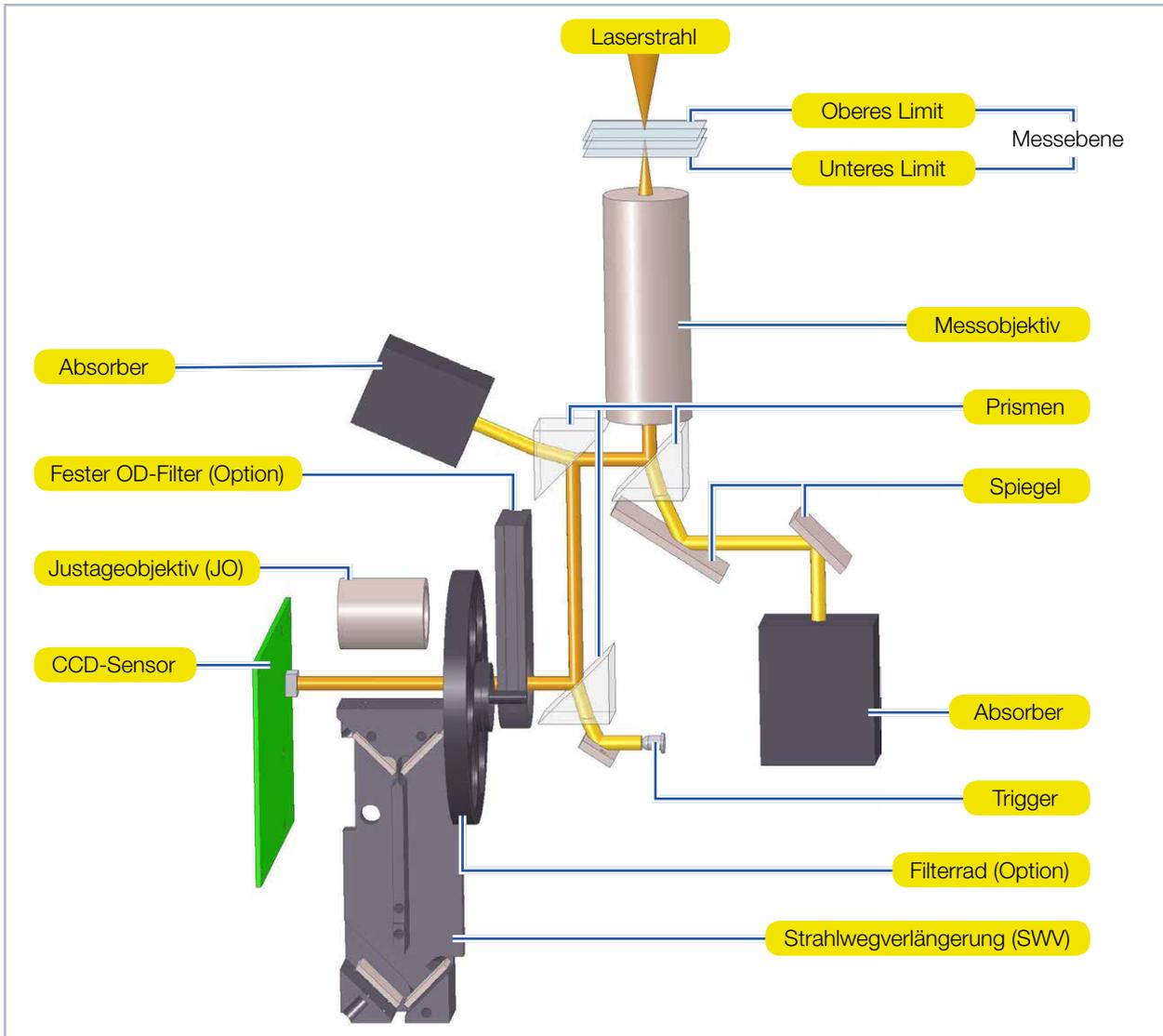


Abb. 21.2: Beispiel für den optischer Aufbau des MicroSpotMonitor MSM

21.4.1 Messobjektiv

Das Messobjektiv ist ein Linsensystem mit der Aufgabe, eine definierte Ebene „oberhalb“ des Messobjektivs auf den CCD-Sensor abzubilden. „Oberhalb“ bedeutet in diesem Falle, dass die Ebene außerhalb des MicroSpotMonitor MSM liegt.

Dieses berührungslose Messen bietet den Vorteil, dass auch sehr große Leistungsdichten (GW/cm²) detektiert werden können. Das Messobjektiv ermöglicht es, den Strahl zu vergrößern und somit eine ausreichende Auflösung auf dem CCD-Sensor abzubilden.

Abb. 21.3 auf Seite 121 zeigt die Skizze eines Messobjektivs. Darin sind alle wichtigen Kenngrößen eingetragen.

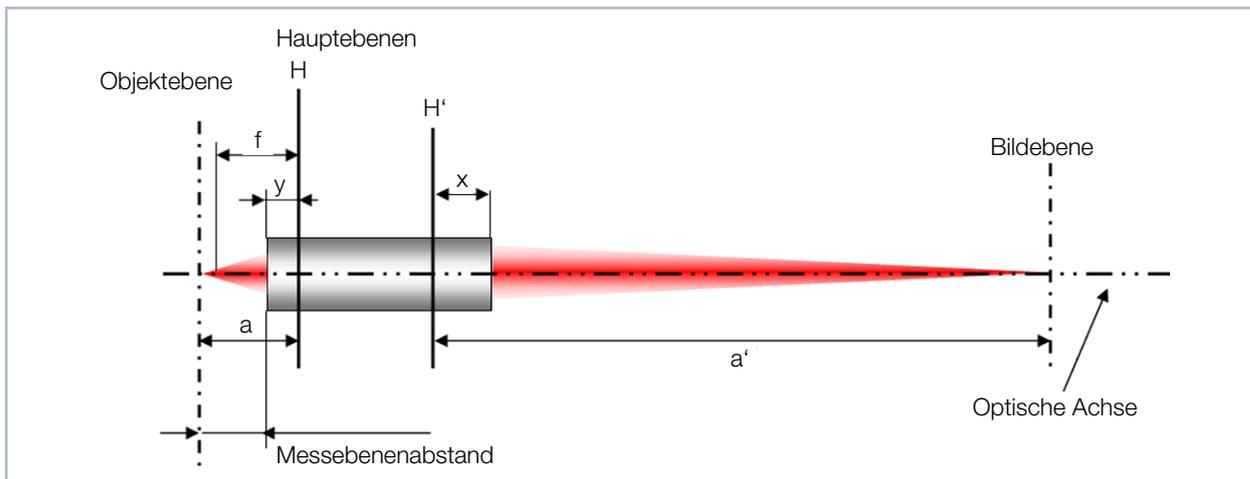


Abb. 21.3: Abbildung einer definierten Ebene mit einem Messobjektiv

Die Hauptebenen H und H' im Objekt bzw. Bildraum sind Hilfsgrößen, um beliebig viele optische Komponenten zu einer Einheit zusammenzufassen. Von dem Schnittpunkt der Hauptebenen mit der optischen Achse (Kardinalspunkt) aus wird die Brennweite f, die Gegenstandsweite a und die Bildweite a' gemessen.

Die Abmessungen x, y und der Messebenenabstand sind dabei wichtige Hilfsgrößen. Sie stellen den Bezug zwischen den Optiken und ihrer Fassung genauer der Fassungskante her.

Die Abbildung des Messobjektivs berechnet sich nach folgender Formel:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} \tag{1.1}$$

Die Brennweite f ist abhängig von der Wellenlänge und es ergibt sich eine Abhängigkeit der Bildweite a' mit der Gegenstandsweite a.

Die Vergrößerung des Messobjektivs berechnet sich aus dem Quotienten von a und a':

$$\beta = \frac{a'}{a} \tag{1.2}$$

Aus der Kombination der beiden Formeln entsteht für β eine Abhängigkeit von der Bildweite a' und der Brennweite f. Die Brennweite wird durch die Wahl eines Messobjektivs festgelegt, die Bildweite durch die Konstruktion des Messgerätes.

Die Wahl des Messobjektivs hängt von der Geometrie und den Strahlparametern des zu vermessenden Laserstrahls ab. Die Sensorfläche des CCD-Sensors beträgt 4,76 mm x 5,58 mm. Gemäß dem ISO Standard 11146 muss die Messung über mindestens 4, besser 6 Rayleighlängen erfolgen.

Nach der folgenden Formel folgt, dass die Sensorfläche mindestens um den Faktor 5 größer sein muss, als der zu erwartende Fokaldurchmesser.

$$\omega_{\sigma(z)} = \omega_{a0} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_{Ra}}\right)^2} \quad (1.3)$$

Ist das passende Messobjektiv gewählt, erkennt der MicroSpotMonitor MSM über eine elektronische Codierung an der Halterung des Messobjektivs das montierte Messobjektiv und passt die zur Verfügung stehenden Messfenster an.

Wäre beispielsweise die maximale quadratische Messfenstergröße bei einer 1:1 Abbildung auf dem CCD-Sensor 4 mm x 4 mm so ist sie bei einer 10:1 Vergrößerung auf 0,4 mm x 0,4 mm reduziert.

Mit einer Ausrichthilfe (siehe Kapitel 7.2.2 auf Seite 19) lässt sich die Eintrittsapertur des MicroSpotMonitor MSM zur optischen Achse des Laserstrahls leicht in einem Bereich von 2 mm x 2 mm justieren. Der Verfahrensweg der x- und y-Achse von 2 mm ermöglicht die exakte Positionierung des Laserstrahls auf dem CCD-Sensor.

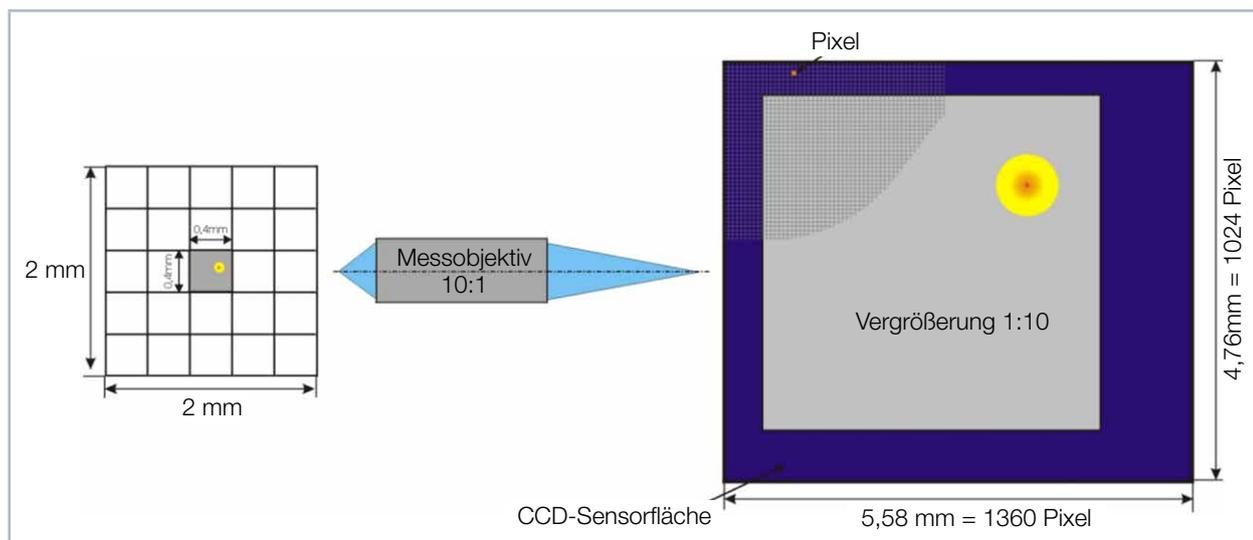


Abb. 21.4: Schematische Abbildung einer Messebene auf den CCD-Sensor

Abb. 21.4 auf Seite 122 zeigt schematisch die Abbildung einer Messebene auf den CCD-Sensor. Das Gitternetz links deutet den Messbereich an, der mit Hilfe der x- und y-Achse vermessen werden kann. Mit Hilfe des Befehls **Scan** kann dies auch automatisch erfolgen.

Im Messbereich kann man ein Messfenster (Größe abhängig von dem Messobjektiv) frei positionieren. Rechts ist die CCD-Sensorfläche dargestellt. Das Messfenster, welches in der Objektebene eine Kantenlänge von 0,4 mm hatte, wird in 10-facher Vergrößerung auf dem CCD-Sensor abgebildet.

Positionierung des fokussierten Laserstrahls über dem MicroSpotMonitor MSM

Die Abbildungseigenschaften des Messobjektivs machen es nötig, den Laserstrahlfokus in einem bestimmten Bereich über dem Messobjektiv zu positionieren.

Gleichung (1.1) zeigt, dass je weiter der Fokus über dem Messobjektiv liegt (afokus), desto kürzer wird er hinter dem Messobjektiv abgebildet (a'fokus).

Obere Grenze

Liegt der Fokus zu weit über dem Messobjektiv, kann ein Fokus auf dem bildseitigen Strahlenweg entstehen. Zusammen mit hohen Strahlintensitäten kann es dabei zu Schäden an den Optiken kommen.

Messebene

Liegt der Fokus in der Messebene, wird er auf den Kamerachip abgebildet.

Untere Grenze

Liegt der Fokus zu dicht am Messobjektiv kann es, abhängig von der Art der Fokussierung und der verwendeten Leistung, zu Schäden an der Eintrittslinse kommen.

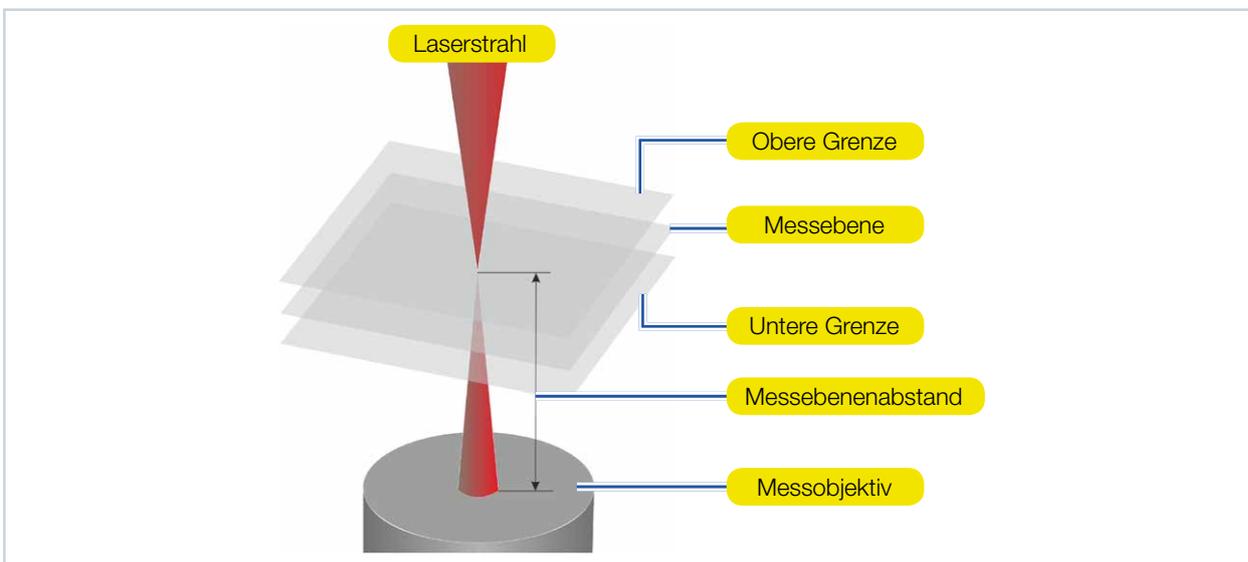


Abb. 21.5: Messbereich des MicroSpotMonitor MSM

Die Größe des Bereiches, in dem der Fokus vor der ersten Messung zu positionieren ist, hängt von der Auswahl des Messobjektivs, der verwendeten Wellenlänge und von der Art der Fokussierung ab. Der Messbereich liegt zwischen einer oberen und einer unteren Grenze.

Prismen

Nach dem Messobjektiv trifft der Laserstrahl auf drei unbeschichtete Quarzglasprismen die den Laserstrahl abschwächen.

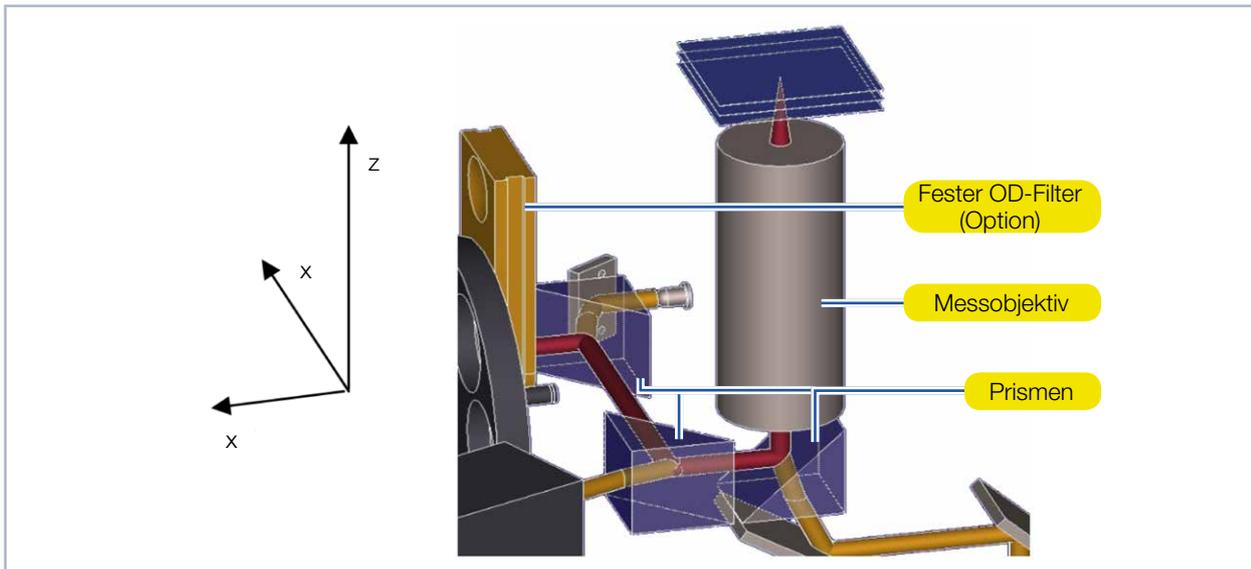


Abb. 21.6: Ausschnitt aus dem Strahlengang des MicroSpotMonitor MSM

Die Reflexion wird beschrieben mit den Fresnelschen Formeln. Sie beschreiben das sogenannte Reflexions- bzw. Transmissionsverhältnis von Licht an Trennflächen.

$$\rho_{\perp} = \frac{-(\sqrt{n_{rel}^2 - \sin(\alpha)^2} - \cos(\alpha))^2}{n_{rel}^2 - 1} \quad (1.4)$$

ρ_{\perp} : Reflexionsverhältnis von senkrecht polarisiertem Licht.

$$\sigma_{\perp} = \frac{2 \cdot \cos(\alpha) \cdot \sqrt{n_{rel}^2 - \sin(\alpha)^2} - 2 \cdot \cos(\alpha)^2}{n_{rel}^2 - 1} \quad (1.5)$$

σ_{\perp} : Transmissionsverhältnis von senkrecht polarisiertem Licht.

$$\rho_{\parallel} = \frac{n_{rel}^2 \cdot \cos(\alpha) - \sqrt{n_{rel}^2 - \sin(\alpha)^2}}{n_{rel}^2 \cdot \cos(\alpha) + \sqrt{n_{rel}^2 - \sin(\alpha)^2}} \quad (1.6)$$

ρ_{\parallel} : Reflexionsverhältnis von parallel polarisiertem Licht.

$$\sigma_{\parallel} = \frac{2 \cdot n_{rel} \cdot \cos(\alpha)}{n_{rel}^2 \cdot \cos(\alpha) + \sqrt{n_{rel}^2 - \sin(\alpha)^2}} \quad (1.7)$$

σ_{II} : Transmissionsverhältnis von parallel polarisiertem Licht.

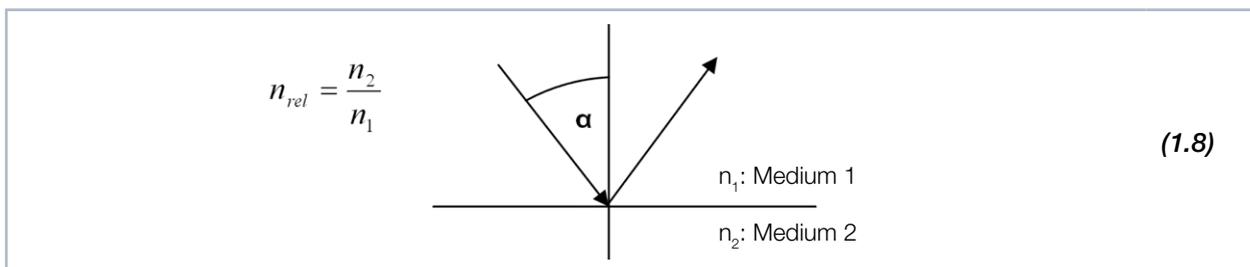


Abb. 21.7: Reflexion eines Strahls an einer Trennfläche

Die Reflexions- bzw. Durchlässigkeitskoeffizienten entsprechen den Quadraten der jeweiligen Verhältnisse.

$$R_{[in\%]} = \rho^2 \cdot 100 ; T_{[in\%]} = \sigma^2 \cdot 100 \tag{1.9}$$

In einem Diagramm aufgetragen ergeben sich folgende Kurven:

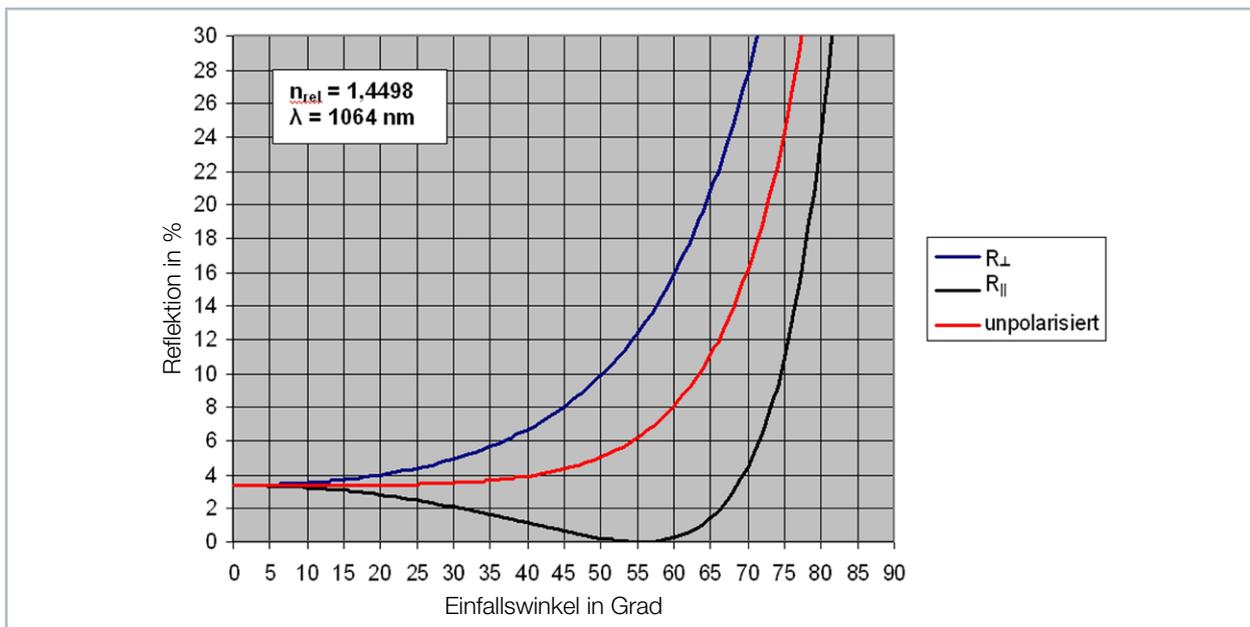


Abb. 21.8: Reflexion eines Laserstrahls in % in Abhängigkeit des Einfallswinkels

Die Kurven in der Abb. 21.8 auf Seite 125 wurden für eine Wellenlänge von 1 064 nm berechnet. Die Brechzahl n von Quarzglas ist wellenlängenabhängig. Sie variiert in dem Wellenlängenbereich von 350 bis 1 064 nm von 1,4498 bis 1,4766.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Reflexionseigenschaften polarisationsabhängig sind. Dies gilt auch für einen Einfallswinkel von 45° , dem Einfallswinkel unter dem der Strahl im MicroSpotMonitor MSM verläuft.

Aus diesem Grund sind die Prismen so in den MicroSpotMonitor MSM integriert, dass der Strahl in alle drei Raumrichtungen abgelenkt wird (siehe Abb. 21.6 auf Seite 124). Somit ist sichergestellt, dass immer zwei der drei Einfallsebenen der Prismen senkrecht zueinander stehen und sich die Polarisierungseffekte kompensieren.

Dennoch bleibt die Abschwächung der Prismen eine Funktion von der Wellenlänge und der Polarisation des Laserstrahls.

Im, für die Reflexion, optimalen Fall

- wird der Laserstrahl um den Faktor $1,7 \cdot 10^{-4}$ ($\lambda = 350 \text{ nm}$; \perp polarisiert) abgeschwächt,
- im schlechtesten um den Faktor $6 \cdot 10^{-5}$ ($\lambda = 1\,064 \text{ nm}$; \parallel polarisiert).

Für alle anderen Wellenlängen (zwischen 350 nm und 1 064 nm) und Polarisationen liegen die Werte dazwischen.

Auf die Messungen hat dies aber nur Auswirkung, wenn sich die Polarisation über dem Strahlprofil ändert. Für diesen Fall kann ein zusätzliches Prisma oberhalb des Messobjektivs montiert werden. Die von den Prismen transmittierte Strahlung wird über Spiegel zu dem Absorber, bzw. zu einer Triggerdiode geführt.

21.4.2 Fester Filter und Filterrad

Um den Strahl weiter abzuschwächen, kann ein beliebiger fester OD-Filter (Option) in den Strahlengang eingebracht werden (siehe Kapitel 21.1 auf Seite 117). Hinter dem einschiebbaren OD-Filter ist ein Filterrad (Option). Das Filterrad hat 6 Positionen. Es ist während der Messung per Softwaresteuerung bedienbar. Das Filterrad ist mit fünf Filtern einer optischen Dichte zwischen 1 und 5 bestückt. Die 6. Position bleibt leer, um den Laserstrahl ungefiltert passieren lassen zu können.

Neutralgasdichtefilter verfügen in einen großen Wellenlängenbereich über eine annähernd gleiche Durchlässigkeit. Der Grad der Abschwächung kann über die Glassorte und die Dicke des Filters variiert werden. Die Filter sind allerdings nur mit wenigen 100 mW/cm^2 belastbar, weswegen sie sich nicht als Ersatz für die Prismen eignen würden.

Die maximale mittlere Leistung mit welcher der MicroSpotMonitor MSM bestrahlt werden darf ist mit 250 Watt (nur 500 W Version mit Wasserkühlung) angegeben. Bei Anwendungen in diesem Leistungsbereich ist stets darauf zu achten, dass die Apertur des Messobjektivs möglichst gut ausgenutzt wird.

Die Formel für die Umrechnung der optischen Dichte in den Transmissionskoeffizient in % lautet:

$$D = \log\left(\frac{100}{T_{[\text{in}\%]}}\right) \tag{1.10}$$

Demnach schwächt das Filterrad den Laserstrahl wahlweise um den Faktor 10 bis 10^5 ab. Betrachtet man beide Filterstufen zusammen erreicht man eine Dynamik von 200 dB.

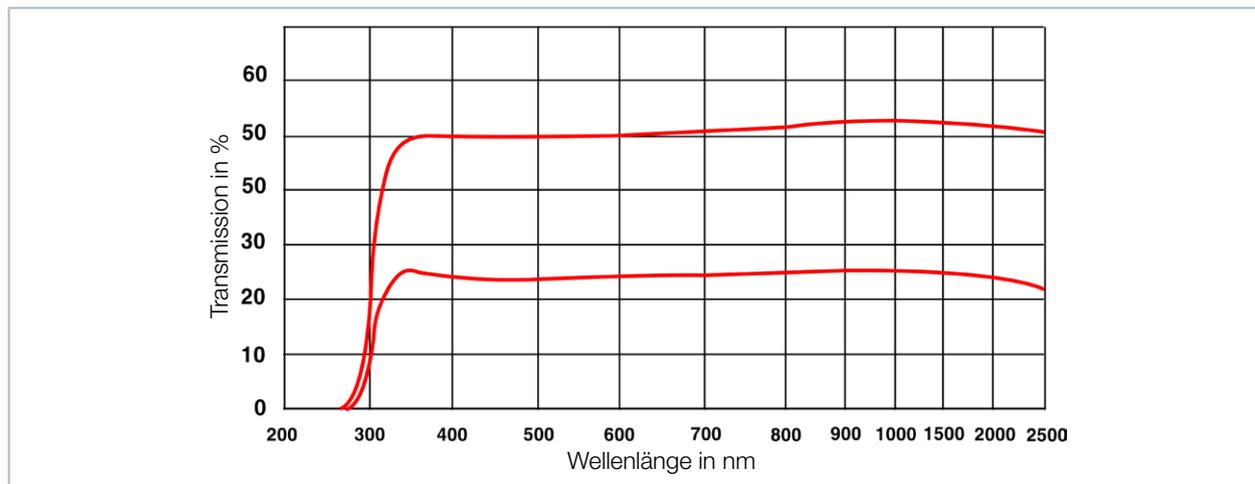


Abb. 21.9: Typische Transmissionskurve von Neutralglasfiltern

21.4.3 Strahlwegverlängerung (SWV)

Die Strahlwegverlängerung bietet die Möglichkeit die Gesamtvergrößerung des Systems zu beeinflussen.

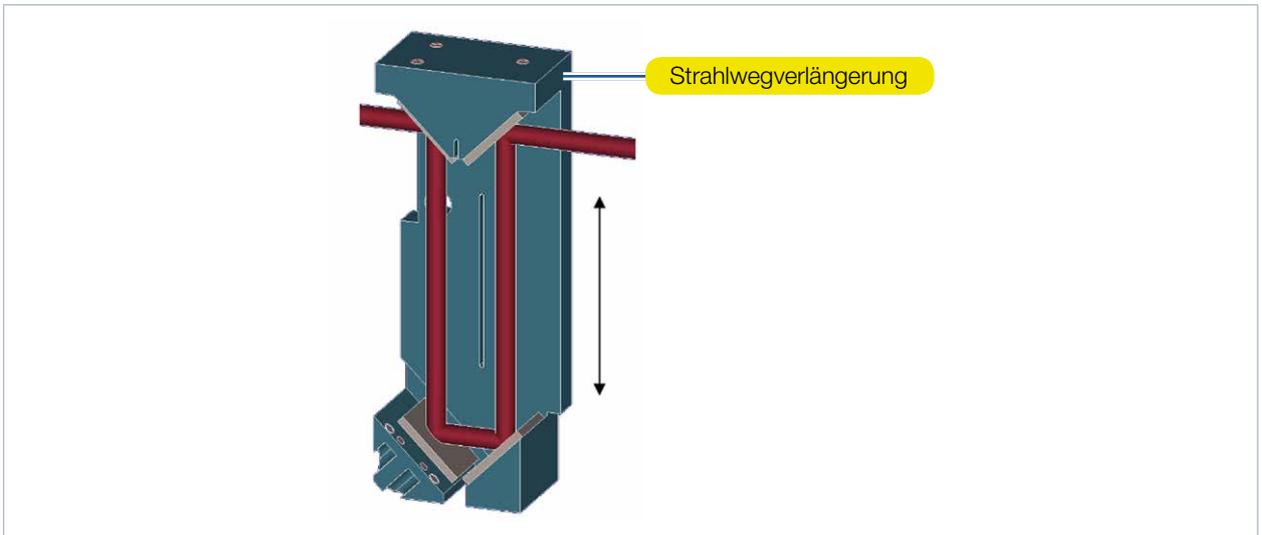


Abb. 21.10: Strahlwegverlängerung des MicroSpotMonitor MSM

Die Strahlwegverlängerung besteht aus vier Spiegeln. Sie kann über die Hebel zum Anpassen der Vergrößerung (siehe Abb. 5.1 auf Seite 13) bildseitig, direkt hinter dem Filterrad in den Strahlengang eingebracht werden.

Nach Gleichung **(1.1)** zum Messobjektiv hat dies eine Vergrößerung des Gesamtbildes zur Folge. Der Faktor, um den sich die Vergrößerung ändert, hängt vom Messobjektiv ab und beträgt ca. 1,5.

Wichtig ist, dass mit dem Einsatz der Strahlwegverlängerung auch die Objektweite geändert wird. Die z-Achsenposition des MicroSpotMonitor MSM muss nach Aktivierung oder Deaktivierung der Strahlwegverlängerung neu angepasst werden.

21.4.4 Justageobjektiv (JO)

Eine Vereinfachung der Strahlsuche, stellt das Justageobjektiv dar. Das Justageobjektiv ist ein weiteres Objektiv, das wie die Strahlwegverlängerung bildseitig in den Strahlengang eingebracht werden kann.

Je nach Wellenlänge und verwendetem Messobjektiv, ergibt sich eine Verkleinerung der Abbildung um den Faktor 2 bis 3. Wie der Name schon sagt, eignet sich das Justageobjektiv besonders zur Justage des MicroSpotMonitor MSM, weil durch die Verkleinerung die erforderliche Positioniergenauigkeit des MicroSpotMonitor MSM sinkt.

Das verkleinerte Abbilden der Messebene kann auch als Vergrößerung der aktiven Fläche des Kamerachips gesehen werden. Die aktive Sensorfläche des verwendeten CCD-Sensors beträgt 4,76 mm x 5,58 mm. Bei einem 10-fach Messobjektiv bedeutet das, dass im Standardfall der MicroSpotMonitor MSM zum Beispiel bei CCD-Betrieb auf ca. 0,5 mm genau in x- und y- Richtung positioniert werden muss. Mit Hilfe des Justageobjektivs kann dieser Bereich auf 1,5 mm erweitert werden.



Das Justageobjektiv kann bei Wellenlängen von 1064 nm und 532 nm validiert werden. Bei der Wellenlänge von 355 nm kann es nur zur Justage eingesetzt werden.

21.4.5 Absorber

Mehr als 99,8 % der übertragenen Strahlleistung werden von den ersten beiden Prismen durch ein Spiegelsystem zu einem Absorber umgeleitet.

Der Absorber ist ein Kanal, in dem der Strahl über Mehrfachreflexionen komplett absorbiert wird. Es stehen verschiedene Varianten zur Verfügung, der luftgekühlte Absorber (bis 200 Watt mittlerer Leistung), die wassergekühlte 500 W Version und die wassergekühlten Versionen des HighPower-MicroSpotMonitor (HP-MSM) und HighPower-MicroSpotMonitor-HighBrilliance (HP-MSM-HB).

21.4.6 Triggerdiode

Die transmittierte Strahlung des dritten Prismas wird, mit Hilfe eines Sensors, als Triggersignal benutzt. Das Level bei dem der Sensor das Triggersignal auslösen soll, kann vom Anwender bestimmt, oder automatisch ermittelt werden. Über eine in der Software implementierte Verzögerungs- und Belichtungszeitsteuerung kann mit Hilfe des Sensors gepulste Laserstrahlung besser vermessen werden.

21.4.7 CCD-Sensor

Bei den CCD-Sensoren gibt es sehr viele verschiedene Varianten. Sie unterscheiden sich im Aufbau und den Ausleseroutinen des Sensors.

- Full Frame
- Frame Transfer (FT)
- Interline Transfer (IT)
- Frame Interline Transfer (FIT)

Die im MicroSpotMonitor MSM eingesetzte Variante, Interline Transfer, ist in der Industrie weit verbreitet und bietet die Möglichkeit einer Belichtungszeitsteuerung.

Der verwendete CCD-Sensor hat einen Pixel Abstand von $4,6 \mu\text{m}$, bei $1\,024 \times 1\,360$ photoaktiven Pixel. Der Dynamikbereich von 55 dB ist mit Hilfe einer Belichtungszeitsteuerung auf über 130 dB erweitert. Die Belichtungszeit kann zwischen $12 \mu\text{s}$ und 181 ms eingestellt werden.

Aufbau des CCD-Sensors

Die Abb. 21.11 auf Seite 128 zeigt schematisch den Aufbau des CCD-Sensors.

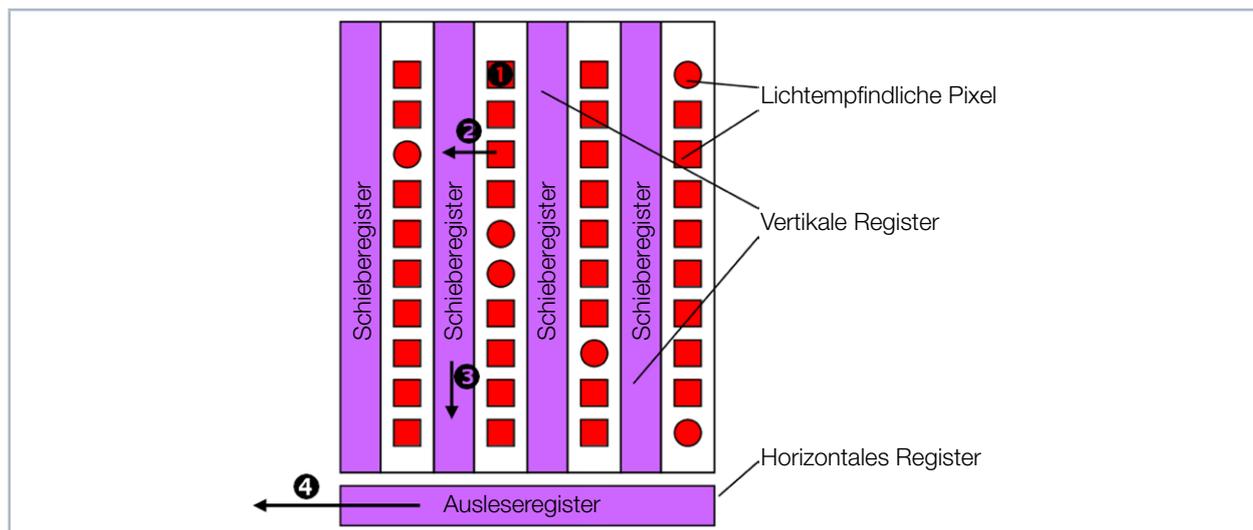


Abb. 21.11: Aufbau eines Interline Transfer CCD-Sensor

- 1 Belichten der einzelnen Pixel: $12 \mu\text{s} - 181 \text{ms}$
- 2 Transfer der Ladungen der Pixel in das Schieberegister $10 \mu\text{s}$
- 3 Transfer in das Ausleseregister $10 \mu\text{s}$ (bei $1\,200$ Zeilen 12ms)
- 4 Auslesen und anschließendes Verarbeiten der Register $100 \mu\text{s} - 120 \text{ms}$

Die lichtempfindlichen Pixel sind umgeben von vertikalen Registern. Durch den sogenannten Phototransfer werden die in den Pixeln gespeicherten Ladungen in die Schieberegister transferiert. Um die Pixelabstände nicht zu sehr zu vergrößern, liegen die Register nicht neben, sondern eher hinter den eigentlichen lichtempfindlichen Pixel. Diese heißen Schieberegister, weil sie abgesehen vom Smear-Effekt nicht lichtempfindlich sind. Die vertikalen Register übertragen die Ladungen in das horizontale Register. Von dort werden die Informationen zeilenweise ausgelesen.

Neben, über und unter dem photoaktiven Pixelarray liegen noch zusätzliche Zeilen und Spalten mit lichtunempfindlichen Zellen. In diesen Zellen sind Informationen für die interne CCD-Steuerung gespeichert, die mit den Bildinformationen aus den lichtempfindlichen Pixel ausgelesen werden.

Gesteuert werden diese Vorgänge von Zählern, deren Werte bestimmten Aktionen zugeordnet sind. Der wichtigste Zähler, der Zeilenzähler, steuert das eigentliche Auslesen. Mit jedem Takt dieses Zählers wird eine neue Pixelreihe in das horizontale Register geschoben. Neben dem Austakten der Bildinformationen in das Ausleseregister veranlasst dieser Zähler auch alle anderen wichtigen Befehle, wie den Subpuls oder den Phototransfer. So wird zum Beispiel mit jedem Takt ein Subpuls ausgelöst.

Der Zeilenzähler wiederum wird gesteuert von dem Auslesezeiler. Mit Hilfe des Zeilen- und des Auslesezeilers ist es möglich, zu jedem Zeitpunkt die genaue Position jedes einzelnen Pixels nachzuvollziehen. Hat der Auslesezeiler seinen maximalen Wert erreicht, alle Pixel sind ausgelesen, wird er zu Null gesetzt, der Zeilenzähler zählt eins weiter, die nächste Zeile wird in das Ausleseregister geschoben und ausgelesen.

Die anderen Zähler sind der Verzögerungszeitähler und der Belichtungszeitähler. Sie steuern die Verzögerung und die Belichtungszeit.

In Abb. 21.11 auf Seite 128 sind neben der Skizze auch die ungefähren Zeiten der einzelnen Vorgänge vermerkt. Das Auslesen des Ausleseregisters nimmt hierbei die 10-fache Zeit der anderen Schritte in Anspruch. Nach der Belichtung dauert es ca. 132 ms um alle Pixel aus dem Sensor auszulesen. 120 ms davon benötigt das Ausleseregister. Um das Auslesen zu beschleunigen, kann bei dem MicroSpotMonitor MSM die auszulesende Datenmenge begrenzt werden.

Da der MicroSpotMonitor MSM Laserstrahlen mit Durchmessern von wenigen μm vermessen soll, ist eine Sensorgröße von 4,76 mm x 5,58 mm groß bemessen. Auch wenn der Laserstrahl zuvor mit Hilfe des Messobjektivs aufgeweitet wurde, wird im Regelfall nur ein kleiner Teil des Chip ausgeleuchtet. Diese Fläche wird durch ein Messfenster begrenzt, das softwareseitig vom Anwender bestimmt wird. Liegt das Messfenster zum Beispiel von Zeile 800 bis 1120 und es soll in einer Auflösung von 32 x 32 gemessen werden, so wird zur Berechnung der Intensitätsverteilung, von Zeile 800 beginnend, nur jede zehnte Zeile benötigt.

Von Zeile 0 bis 799 und ab Zeile 1120 werden die Daten im sogenannten fast scan Modus verarbeitet. Aus dem Ausleseregister werden ca. nur die ersten 50 Werte ausgelesen, bevor der Zeilenzähler um eins erhöht wird, und die nächste Zeile in das Ausleseregister schiebt.

Zeile 799 wird wieder komplett ausgelesen, um das Ausleseregister zu leeren. Zeile 800 wird ebenfalls komplett ausgelesen, und die Werte verarbeitet.

Der fast scan Modus ist ca. 25 mal schneller als die normale Ausleseroutine.

Im Bereich des Messfensters findet der fast scan interleave Modus Anwendung.

Da innerhalb des Messfensters nur jede zehnte Zeile benötigt wird, werden die 1. bis 8 nur teilweise und die 9. und 10. komplett ausgelesen.

Insgesamt reduziert sich durch diese Methode die Messzeit um den Faktor 7.

Smear-Effekt

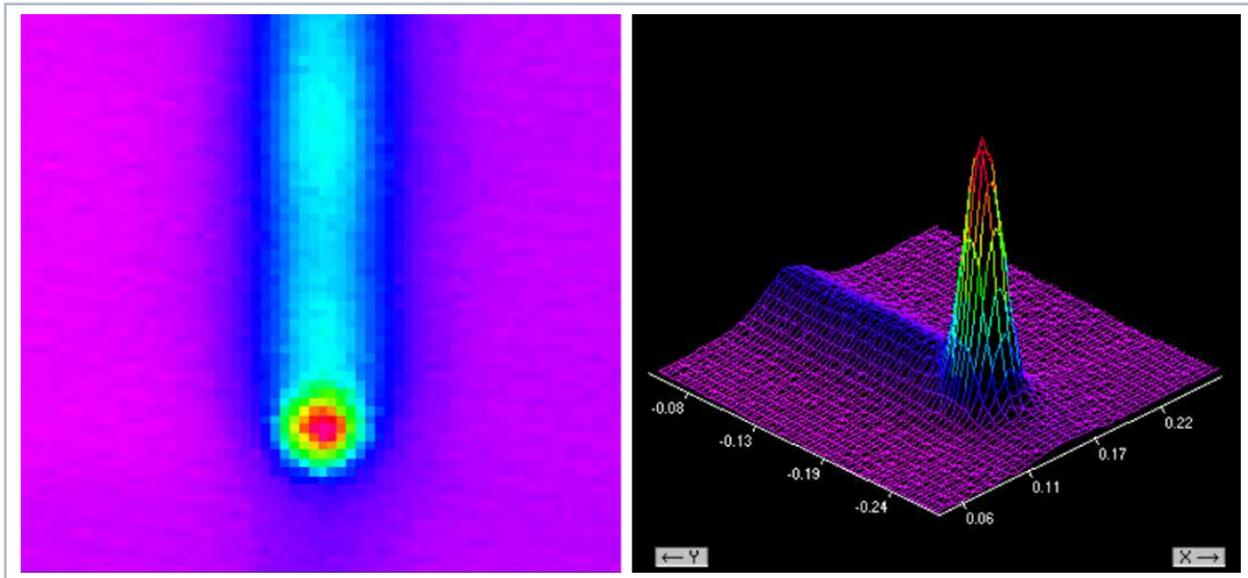


Abb. 21.12: Beispiel für den Smear-Effekt

Bei hohen Beleuchtungsstärken kann es verstärkt zu dem sogenannten Smear-Effekt kommen. Dieser stellt sich bei der Visualisierung der Ergebnisse als Signalbalken dar, der sich ausgehend von einer hellen Stelle des Bildes bis zum Rand erstreckt. Dieser Balken entsteht, weil bei hohen Intensitäten doch Ladungen in den Dunkelregistern generiert werden.

Wird der Chip ausgelesen, werden alle Ladungspakete, die „oberhalb“ der hellen Strahlung liegen um einen bestimmten Offsetwert angehoben.

Um diesen zu Effekt kompensieren, wird vor jeder Messung (auch im getriggerten Betrieb) mit dem MicroSpotMonitor MSM eine sogenannte Dunkelmessung gemacht. Hierbei werden die Register geleert, die Belichtungszeit abgewartet und anschließend ausgelesen, ohne vorher einen Phototransfer gemacht zu haben. Als Ergebnis der Dunkelmessung erhält man ein Signal, das genau dem Smear-Effekt entspricht. Das Bild der Dunkelmessung wird anschließend von dem normalen Bild abgezogen.

Dunkelstrom

Bei langen Belichtungszeiten tritt noch ein zweiter Effekt auf. Durch den sogenannten Dunkelstrom werden in den lichtempfindlichen Pixeln Ladungen erzeugt. Dieser Effekt ist für jedes Pixel, unabhängig von der Bestrahlungsstärke, gleich und nimmt linear mit der Belichtungszeit zu.

Effektiv führt der Dunkelstrom zu einer Offsetverschiebung bei langen Belichtungszeiten. Kompensiert wird dieser Effekt durch die Software.

Auslesen

Solange keine Messung gestartet wird, sorgt der Zeilenzähler dafür, dass der CCD-Sensor Zeile für Zeile ausgelesen wird.

Bei Start einer Messung wird der Zeilenzähler zu Null gesetzt. Bei einem bestimmten Wert, also einer bestimmten Zeile (x_0) wird er angehalten. Zuvor hat der Zeilenzähler die Befehle ausgelöst, das Schieberegister und die Pixelladungen zu löschen.

Sofort danach beginnt der Verzögerungszeitähler zu laufen. Während dieser Zeit werden in bestimmten Abständen sub pulse ausgelöst, damit vor der eigentlichen Belichtung die Pixel wirklich leer sind. Nach Ablauf der Verzögerungszeit beginnt der Belichtungszeitähler. Ist auch die Belichtungszeit abgelaufen, wird der Zeilenzähler wieder aktiviert.

Die Schieberegister werden ausgelesen, ohne dass zuvor ein Phototransfer stattgefunden hat. Sind die Daten für die Dunkelmessung verarbeitet, wird der Zeilenzähler wieder auf Null gesetzt. Der oben beschriebene Ablauf wiederholt sich, jetzt wird - nachdem die Belichtungszeit abgelaufen ist - sofort ein Phototransfer ausgelöst.

Die Bildinformationen sind dann in den Schieberegistern und können ausgelesen werden.

Trigger

Für die Diagnostik bei gepulsten Lasersystemen steht ein Triggermode zur Verfügung. Das Triggersignal stammt von einer Photodiode, die unterhalb des 3. Prismas sitzt. Der Triggerlevel (Signalhöhe, bei dem das Triggersignal ausgelöst wird) kann über ein Dialogfenster in der Software eingestellt werden.

Im getriggerten Betrieb kann eine feste Verzögerungs- und Belichtungszeit eingestellt werden. Auch im getriggerten Betrieb erfolgt zunächst eine Dunkelmessung. Die Messung beginnt, wie der Normal-Betrieb in Zeile x_0 . Die Register werden geleert, ebenso wie die Ladungen in der Sensormatrix.

Kam während des Leerens ein Triggersignal, werden Pixel und Register erneut geleert. Kam kein Triggersignal, ist der Sensor bereit zur Messung. Sobald das Triggersignal kommt, beginnt erst der Verzögerungszähler danach der Belichtungszeitähler zu laufen. Während der Verzögerungszeit werden immer wieder Subpulse ausgelöst, um eine Belichtung vor der eigentlichen Belichtungszeit zu vermeiden. Ist auch die Belichtungszeit abgelaufen, wird das Schieberegister ohne Phototransfer ausgelesen. Gleich anschließend wiederholt sich dieser Vorgang, nur dass nun nach Ablauf der Belichtungszeit sofort ein Phototransfer ausgelöst wird.

21.5 Messen von gepulster Laserstrahlung

Der CCD-Sensor des MicroSpotMonitor MSM besitzt eine Dynamik von 55 dB. Um diese zu erweitern wurde eine Integrationszeitsteuerung implementiert. Die Integrationszeit kann zwischen 12 μs und 186 ms frei gewählt werden.

Ist im Dialogfenster **Einzelmessung** bzw. **Kaustikmessung** die Funktion **Optim.** (Optimize) aktiviert, bestimmt die LaserDiagnosticsSoftware LDS automatisch – über eine Reihe von Vormessungen – bei welcher Integrationszeit das Ausgangssignal eines Pixel des Arrays übersteuert ist. Die optimale Integrationszeit liegt dann ein wenig darunter.

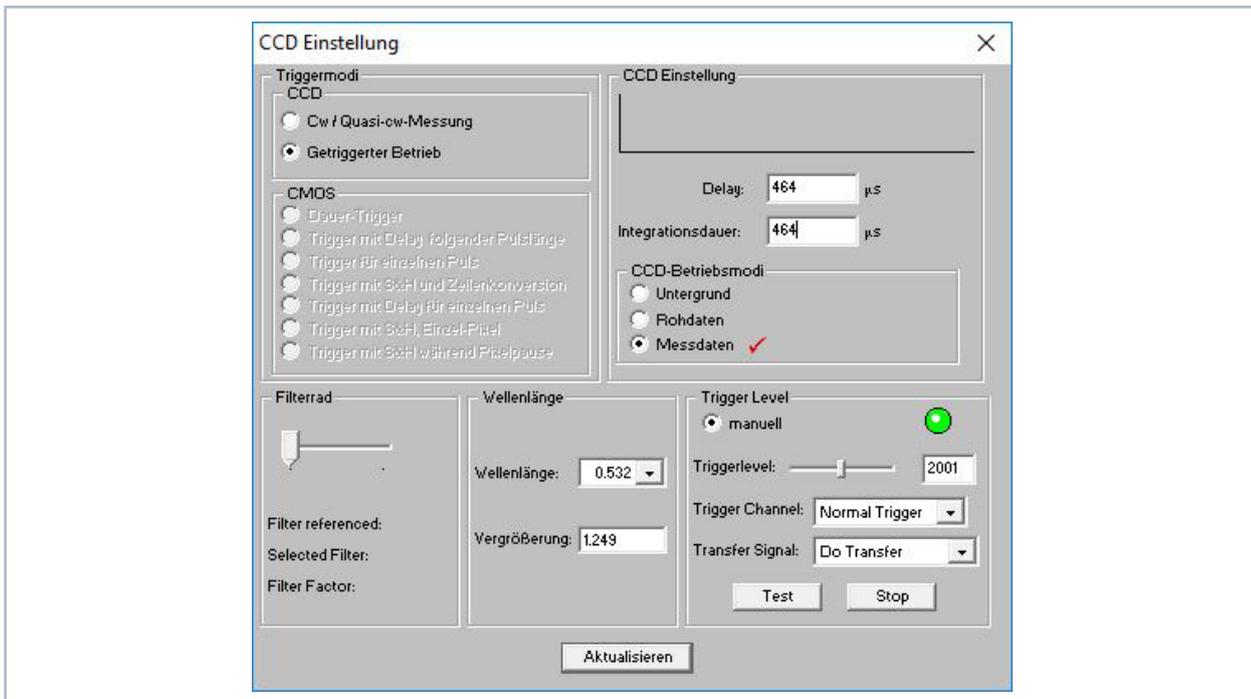


Abb. 21.13: CCD-Einstellungen im Dialogfenster **CCD Einstellung**

Die Integrationszeitsteuerung vergrößert die Dynamik des CCD-Sensors von 55 dB auf über 130 dB. Ist die Funktion **Optim.** deaktiviert, kann die Integrationszeit im Dialogfenster **CCD Einstellung** in der LaserDiagnosticsSoftware LDS (siehe Abb. 21.13 auf Seite 132) fest vorgegeben werden.

Die Integrationszeitsteuerung alleine reicht nicht aus, um die komplette Palette der gepulsten Laser vermessen zu können. Handelt es sich zum Beispiel um einen gepulsten Laser mit sehr niedriger Pulsfrequenz (< 5 Hz), genügt die maximale Integrationszeit von 186 ms nicht mehr. Aus diesem Grund wurden neben der Integrationszeitsteuerung auch noch eine Triggeroption und eine Verzögerungszeit (Delay) implementiert.

Bei den Triggern kann der interne Trigger und der externe Trigger unterschieden werden.

Als interner Trigger fungiert eine Photodiode hinter einem Prisma.

Den Schwellenwert des Triggers kann der Anwender bestimmen (0 ... 4 096).

Der Trigger ist auf den Wert 2001 voreingestellt. Diese Einstellung funktioniert für den Großteil aller Anwendungen.

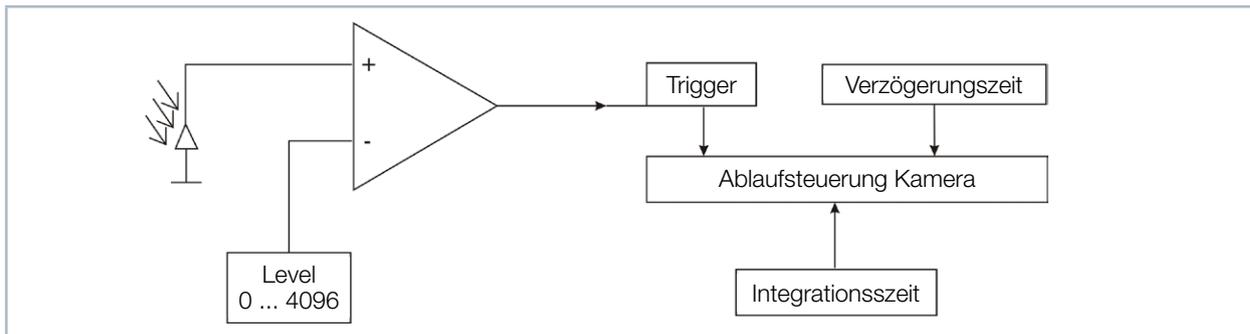


Abb. 21.14: Einflussmöglichkeiten auf die Ablaufsteuerung des CCD-Sensors

Die Abb. 21.14 auf Seite 133 zeigt, dass der Trigger zusammen mit der einstellbaren Verzögerungs- und Integrationszeit in die Ablaufsteuerung des CCD-Sensors eingreift. Der Anwender kann nun diskrete Zeiträume definieren, in denen der MSM messen darf. Der externe Trigger wird über ein dafür vorgesehene BNC-Buchse zugeführt. Er greift gleichermaßen in die Ablaufsteuerung ein, sodass sich in der Handhabung keine Unterschiede zu dem internen Trigger ergeben.

Sowohl die Einstellung der Verzögerungszeit (Delay), als auch die Triggerart (externer bzw. interner Trigger) werden im Dialogfenster **CCD-Einstellung** der LaserDiagnosticsSoftware LDS vorgenommen. Wenn Sie ein Delay oder eine Integrationszeit eingeben, so müssen Sie diese Eingaben immer mit der Schaltfläche **Aktualisieren** bestätigen.

Es ergeben sich folgende Zeitkonstanten:

Timeout:	20 sec (Standard)
minimale Integrationszeit:	12 μ s
maximale Integrationszeit:	186 ms
minimaler Delay:	12 μ s
maximaler Delay:	186 ms

Die lange Timeoutzeit (20 sec) hilft auch Laser zu vermessen, bei denen der Puls manuell ausgelöst werden muss. Ist dies der Fall, wird zuerst eine Messung gestartet. Der MicroSpotMonitor MSM fährt in die gewünschte Position und durchläuft intern eine bestimmte Routine. Wenn der MicroSpotMonitor MSM bereit für einen Trigger ist, wird dies im Dialogfenster **Freie Kommunikation** angezeigt. Direkt nach dem Start der Messung ist ein Kommunikationsfluss zu sehen.

Stoppt dieser mit dem Anzeigetext **waiting for Trigger**, wartet der MicroSpotMonitor MSM auf einen Trigger. Jede Messung des MicroSpotMonitor MSM besteht aus einer Dunkelmessung und einer Messung mit Phototransfer. Dies gilt für den getriggerten wie für den ungetriggerten Betrieb. Aus diesem Grund werden für jede Messung mindestens zwei Triggersignale bzw. zwei Laserpulse benötigt.

21.5.1 Auswahl der Messkonfiguration

Es müssen verschieden Messoptionen unterschieden werden:

- Messung einer einzelnen Ebene oder einer kompletten Kaustik
- Messung eines kompletten Pulses oder nur eines Ausschnittes
- Messung mit fester Integrationszeit oder mit Integrationszeitsteuerung
- Messung im getriggerten oder ungetriggerten Betrieb
- Variation der optimalen Integrationszeit durch Änderung der Abschwächung

Kombiniert man diese Messoptionen mit den Pulsparametern:

- Pulsdauer: fs – ms
- Pulsfrequenz: 1 Hz – 1 kHz

ergeben sich viele Möglichkeiten. Im Folgenden kann lediglich eine grobe Struktur aufgezeigt werden, die bei der Auswahl der Messeinstellung helfen soll.

21.5.2 Einfluss der Pulsparameter auf die Integrationszeitsteuerung

Die softwaregesteuerte Integrationszeitsteuerung geht immer von einem kontinuierlichen Laserstrahl aus. Aus diesem Grund kann es bei langsam gepulsten Lasern (< 500 Hz) oder bei Lasern mit hoher Pulsenergie (Integrationszeit sehr kurz) zu einer Quantisierung der Integrationszeit kommen. Die Tab. 21.1 auf Seite 134 und das Diagramm in Abb. 21.15 auf Seite 135 verdeutlichen dies.

Pulsfrequenz	Anzahl der Pulse in	
	186 ms	1 ms
in Hz	186 ms	1 ms
1	0	0 - 1
5	1	0 - 1
10	2	0 - 1
50	9	0 - 1
100	19	0 - 1
200	37	0 - 1
500	93	0 - 1
1 000	186	1 - 2
2 000	372	2 - 3
5 000	930	5,00
10 000	1860	10,00

Tab. 21.1: Anzahl der detektierten Pulse in Abhängigkeit von der Integrationszeit und der Pulsfrequenz

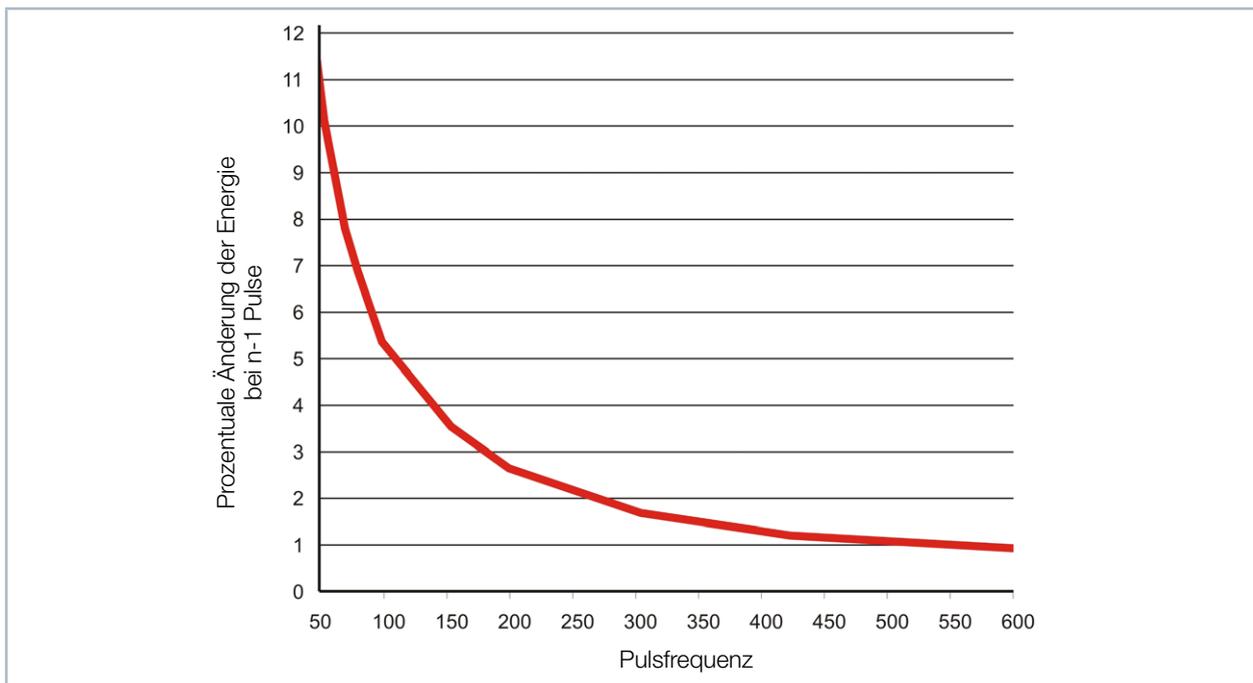


Abb. 21.15: Prozentuale Änderung der detektierten Energie bei Wegfall von genau einem Puls in Abhängigkeit der Pulsfrequenz

In der Tab. 21.1 auf Seite 134 sind für verschiedene Pulsfrequenzen die Anzahl der detektierten Pulse in der maximalen Integrationszeit (186 ms) und in einer Integrationszeit von 1 ms aufgetragen. Die Quantisierung mit niedrigeren Pulsfrequenzen wird in der Spalte der 186 ms Integrationszeit deutlich. Während bei einer Pulsfrequenz von 10 kHz noch 1 860 Pulse detektiert werden, sind es bei 10 Hz nur noch einer oder maximal zwei.

Ist die Messung im Fall der 10 Hz Pulsfrequenz übersteuert und die Software versucht die Integrationszeit anzupassen, gibt es nur drei mögliche Ergebnisse. Der Energieeintrag bei einer Messung bleibt gleich, er nimmt um 50 % ab, oder er ist Null. Diese Abstufung ist bei einer Pulsfrequenz von 10 kHz weit weniger signifikant. In der Abb. 21.15 auf Seite 135 ist dieser Zusammenhang verallgemeinert dargestellt. Es ist zu erkennen, dass ab einer Pulsfrequenz von 500 Hz der minimale Sprung bei einer Verkürzung der Integrationszeit 1 % beträgt.

Es kommt aber nicht nur durch kleine Pulsfrequenzen zu einer Quantisierung. Ist die Pulsenergie sehr hoch und es ist nicht möglich die Abschwächung weiter zu erhöhen, kommt es zu kürzeren Integrationszeiten. In der Tab. 21.1 auf Seite 134 ist neben der maximalen Integrationszeit auch eine Integrationszeit von 1 ms aufgetragen. In diesem Fall reicht eine Pulsfrequenz von 500 Hz nicht aus, um über die Integrationszeitsteuerung den Energieeintrag pro Messung „quasi“ kontinuierlich zu regeln.

Insgesamt können immer vier Zustände auf dem Weg von niedrigen zu hohen Pulsfrequenzen, bzw. von kurzen zu langen Integrationszeiten unterschieden werden. Verdeutlicht wird dies durch das folgende Beispiel für die Messung von gepulster Laserstrahlung in einem ungetriggerten Betrieb.

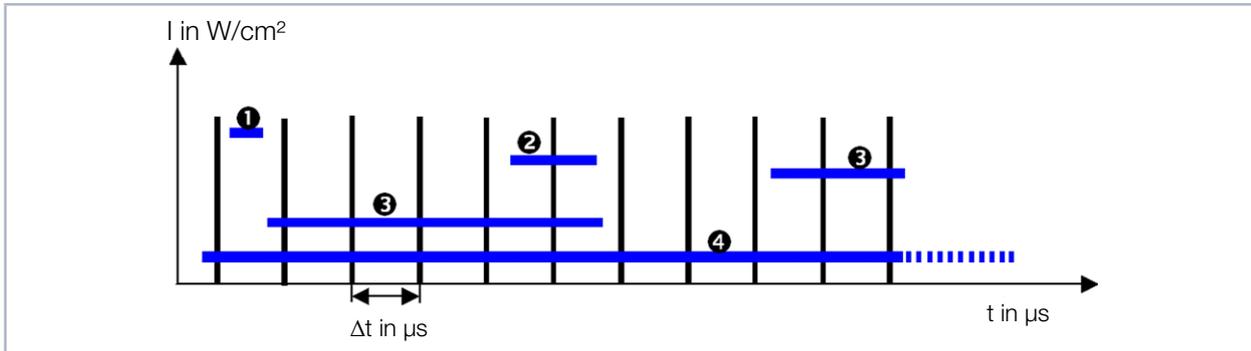


Abb. 21.16: Messen mit verschiedenen Integrationszeiten

- ❶ 12 – 200 μs : Sporadische Messung von Pulsen
- ❷ 200 – 400 μs : 1 Puls
- ❸ 200 – 2 ms: Quantisierungsrauschen durch verschiedene Anzahl von Pulsen
- ❹ 2 – 200 ms: Quasi kontinuierliche Integrationszeitsteuerung

Die Abb. 21.16 auf Seite 136 zeigt eine gepulste Bestrahlung. Die Pulspausen betragen $200 \mu\text{s}$. Die nötige Integrationszeit des Sensors hängt direkt von der Intensität des Laserstrahls ab.

Ist sie wie in Fall 1 kleiner als die Pulspause, liegt statistisch maximal 1 Puls in der Messung. Die Wahrscheinlichkeit, dass sowohl während jeder Messung zur Integrationszeitsteuerung, als auch während der eigentlichen Messung ein Puls liegt, ist gering.

Liegt die optimale Integrationszeit genau zwischen der einfachen und der doppelten Dauer der Pulspause, liegt immer genau 1 Puls in jeder Messung (Fall 1). Das ist der ideale Zustand, um in einer Ebene zu messen. Eine Vermessung der Strahlkaustik ist in diesem Setup ebenfalls möglich, da die Dynamik des CCD-Sensors im Einzelpuls 55 dB beträgt, wohingegen im relevanten Kaustikbereich die Intensität nur um den Faktor 5 variiert. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass die Signalsättigung bei der Messung in der Strahltaile möglichst hoch ist. Nur dann ist gewährleistet, dass auch bei Messung der Ebenen weit außerhalb des Fokus noch ein ausreichendes S/N-Verhältnis zugrunde liegt.

Fall 3 beschreibt den Fall, bei dem die Integrationszeit zwischen der einfachen und der zehnfachen Dauer der Pulspause liegt. In diesem Bereich macht sich jeder Puls mehr oder weniger während der Integrationszeit als deutlicher Signalsprung bemerkbar. Die Integrationszeitsteuerung ist nur quantisiert möglich. Die Messergebnisse haben häufig ein schlechtes S/N-Verhältnis oder sind übersteuert. Wird die Integrationszeit noch höher, werden die Signalsprünge flacher. Die Integrationszeitsteuerung funktioniert quasi kontinuierlich (Fall 4). Der zu vermessende Laser kann nun wie ein cw-Laser vermessen werden.

Mit Hilfe von Neutralglasdichtefiltern, welche in den Strahlengang eingebracht werden können, ist es möglich, stets in dem gewünschten Bereich 1 - 4 zu arbeiten.

Zusätzlich ist der MicroSpotMonitor MSM, wie in der Eingangsbetrachtung bereits erwähnt, mit diversen Möglichkeiten zur Triggerung ausgestattet. Zusammen mit der Integrationszeitsteuerung und einer Verzögerungszeitsteuerung kann so auch in Fall 1 sinnvoll gemessen werden.

Prinzipiell kann man diese 4 Fälle in zwei Gruppen einteilen. Fall 1 und 2 müssen im getriggerten Messmode gemessen werden. Fall 4 hingegen lässt sich am besten ungetriggert im Messmode cw vermessen. Fall 3 sollte durch eine geeignete Filterauswahl ganz vermieden werden. Zur Falleinteilung des zu vermessenden Laserstrahls soll das nachstehende Diagramm in Abb. 21.17 auf Seite 137 helfen.

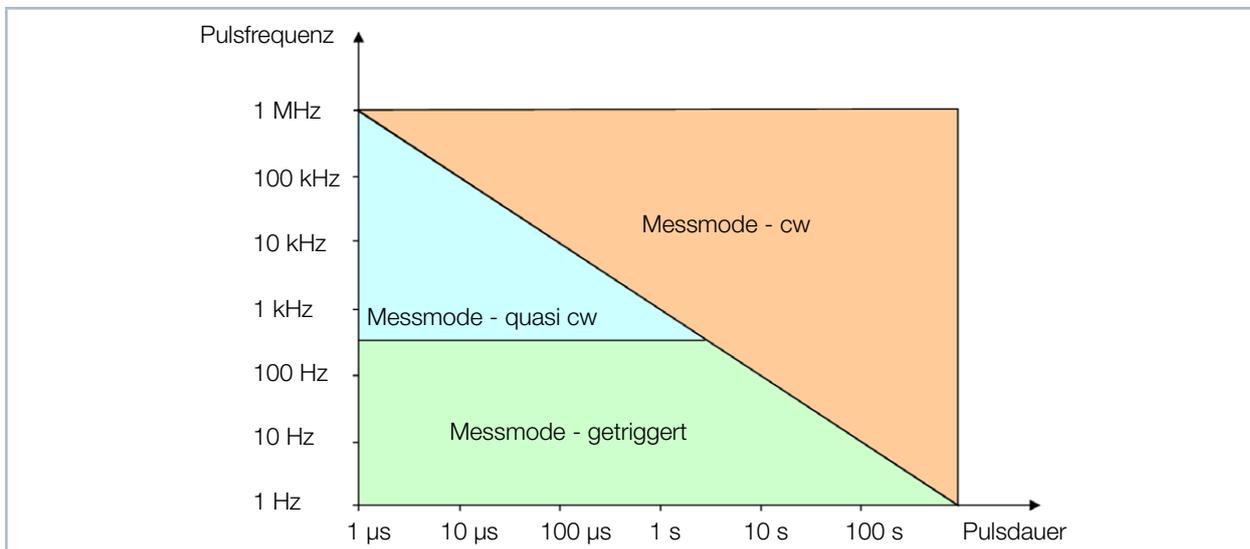


Abb. 21.17: Auswahl des Messmodes über die Laserparameter

Befindet sich der Laser im blauen Feld, wählt man am besten den Messmode cw. Es muss aber darauf geachtet werden, dass je näher man der Grenze zum getriggerten Betrieb kommt, desto größer muss die Integrationszeit sein, um den quasi-cw Fall zu gewährleisten. Als Faustformel gilt, dass die Integrationszeit im Fokus ungefähr der Zeit für 35 Pulse entsprechen soll. Unterschreitet der zu vermessende Laser die Grenzfrequenz von ca. 500 Hz sollte man in den getriggerten Messmodus wechseln.

Während es sich im Messmode cw oder quasi-cw fast immer anbietet, mit der Integrationszeitsteuerung zu messen (optim. Funktion), kommt sie im getriggerten Messmode nur bei sehr langen Pulsdauern (>1 ms) sinnvoll zum Einsatz. Mit Hilfe der Abschwächungsfilter wird die Integrationszeit hierbei so eingestellt, dass sie nur einen Bruchteil der Pulsdauer beträgt. Der Trigger gibt dem Messgerät dann nur den Startzeitpunkt der Messung vor. Die Integrationszeit kann im Verlauf der Kaustikmessung größer bzw. kleiner werden, ohne den Pulszug zu verlassen (siehe Abb. 21.18 auf Seite 137 bzw. Bsp. 2).

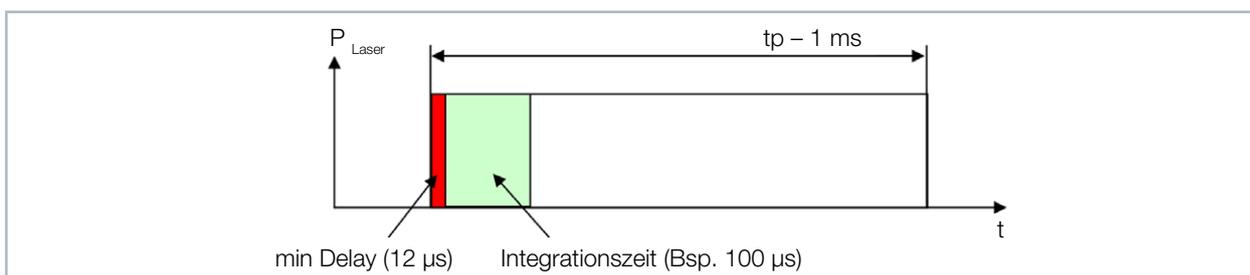


Abb. 21.18: Messparameter bei gepulsten Lasersystemen mit Pulsdauern größer 1ms

Für alle anderen Fälle empfiehlt es sich eine Integrationszeit fest vorzugeben, um so über eine geschickte Auswahl der Filter und der Delay- und Integrationszeit immer eine feste Anzahl von Pulsen zu vermessen (siehe Bsp. 1).

21.5.3 Beispiele für den getriggerten Messbetrieb

**Beispiel 1: Pulsdauer 50 ns
Pulsfrequenz 1 kHz**

MicroSpotMonitor MSM-Einstellungen:

Delay: 950 μ s
Integrationsdauer: 0,1 ms
Triggerkanal: externer Trigger

Je nachdem wie exakt man den Trigger auslösen kann, kann man die Integrationszeit auch verlängern bzw. verkürzen.

Messen:

Eine Messung starten. Nun hat man 20 sec Zeit, einen Trigger auszulösen.

Durch den Delay-Wert von 0,95 ms und der fest vorgegebenen Integrationszeit von 100 μ s detektiert der MicroSpotMonitor MSM den zweiten Laserpuls nach Auslösen des Triggers.

Beispiel 2: Pulsdauer 1 ms

MicroSpotMonitor MSM-Einstellungen:

Delay: 12 μ s
Integrationsdauer: 1 ms
Triggerkanal: Interner Trigger

Messen:

Eine Messung starten. Nun hat man 20 sec Zeit einen Laserpuls auszulösen.

Der MicroSpotMonitor MSM misst 12 μ s nachdem der Trigger ausgelöst wurde. In diesem Beispiel werden die ersten 12 μ s des Laserpulses nicht gemessen.

**Beispiel 3: Messung von genau einem Puls
Triggermode: Getriggert Betrieb**

Im Dialogfenster **CCD-Einstellung** gibt es das Auswahlmü **CCD-Betriebsmodi**. Man kann dort zwischen Untergrund, Rohdaten und Messdaten wählen.

Beim Messen im Rohdaten-Mode wird das CCD ganz normal ausgelesen. Es wird jedoch keine zweite Messung, die Dunkelmessung, gemacht. Je nach Anwendungsfall, Wellenlänge und Integrationszeit sind deutlich Fehler im Untergrund auszumachen.

In diesem Mode zu messen ist sinnvoll, wenn nur genau ein Puls ausgelöst werden kann. Weil es keine zweite Messung, die Dunkelmessung gibt, genügt dieser eine Puls. Hierbei sollte man die Abschwächung so wählen, dass die Integrationszeit länger als die Pulsdauer ist. Auf diese Weise können die meisten Untergrundeffekte vermieden werden. Wird die Integrationszeit allerdings zu lang, kommt es zu einer gesteigerten Generation von Dunkelelektronen.

Möchte man den kompletten Puls aufzeichnen, muss extern getriggert werden. Hierbei sollte der Mindestdelay zwischen Trigger und Start der Messung 12 μ s betragen.

21.5.4 Zusammenfassung

Ist der Laser mit einer hohen Frequenz (> 500 Hz) gepulst oder sind die Pulsdauern sehr groß (> 1 ms), empfiehlt es sich mit der **Optim.**-Option zu messen. Auf diese Weise kann die Integrationszeit während einer Kaustikmessung variiert bzw. optimiert werden.

Wählen Sie bei den langen Pulsdauern die Abschwächung so, dass die Integrationszeit auch außerhalb des Fokus kleiner ist als die Pulsdauer ist.

Bei den hohen Pulsfrequenzen muss die Abschwächung hingegen so gewählt werden, dass während eines Messzyklus in ausreichender Zahl Laserpulse aufintegriert werden. Kommen zu wenige Pulse während einer Integrationszeit, ändert sich die Anzahl der Photoelektronen mit jedem Puls zu stark. Durch die Regelroutinen der LaserDiagnosticsSoftware LDS kommt es dann zu statistisch übersteuerten Messungen.

Vermeiden Sie auf jeden Fall, dass die Integrationszeit kleiner als die Pulspausen wird. Ist das der Fall, kann mit dem MicroSpotMonitor MSM ungetriggert nicht mehr richtig gemessen werden.

Manchmal ist es deshalb sinnvoll die Abschwächung so zu dimensionieren, dass genau ein Puls reicht um den Sensor im Fokus zu belichten. Dann kann man über einen festen Delay und der bei der Fokussmessung ermittelten Integrationszeit eine Kaustik messen. Die Dynamik des CCD-Sensors (55 dB) reicht aus, um mit einem akzeptablen S/N-Verhältnis die Kaustik durchzumessen.

22 Grundlagen der Strahldiagnose

22.1 Laserstrahlparameter

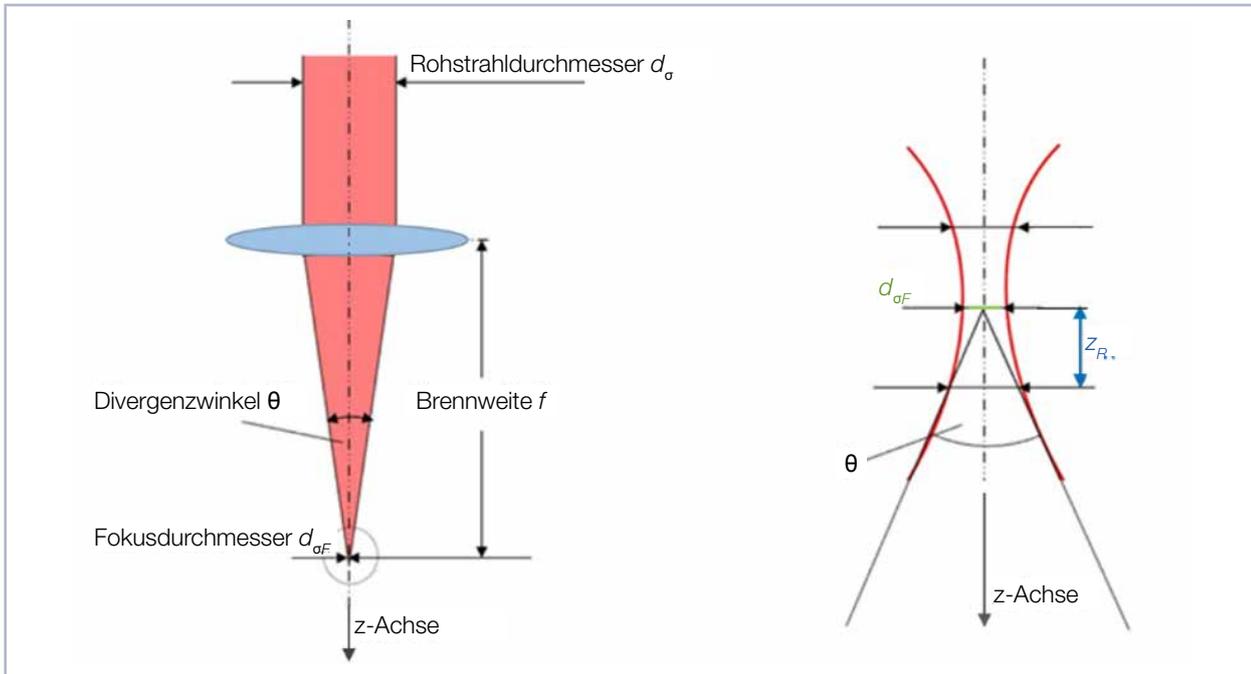


Abb. 22.1: Skizze zur Definition der Strahlparameter

22.1.1 Rotationssymmetrische Strahlen

Entsprechend ISO 11145 und ISO 11146 werden für die Charakterisierung eines rotationssymmetrischen Strahls drei Strahlparameter benötigt.

- die z-Position der Strahltaile (Fokus) z_0
- den Durchmesser der Strahltaile $d_{\sigma F}$
- den Fernfelddivergenzwinkel Θ

Mit Hilfe dieser drei Größen ist es möglich den Strahldurchmesser an jedem Ort entlang der Ausbreitungsrichtung zu bestimmen. Als Einschränkung gilt: Der Divergenzwinkel muss kleiner sein als 0,8 rad und Fokusbereich sowie Divergenzwinkel sind nach der 2. Momente-Methode berechnet worden.

$$d_{\sigma}(z)^2 = d_{\sigma 0}^2 + (z - z_0)^2 \cdot \Theta_{\sigma}^2 \quad (1.1)$$

Weiterhin wird die Strahlausbreitung durch den sogenannten Strahlpropagationsfaktor K beschrieben.

$$K = \frac{1}{M^2} = \frac{4 \cdot \lambda}{\pi} \cdot \frac{1}{d_{\sigma 0} \cdot \Theta_{\sigma}} \quad (1.2)$$

mit:

- K = Strahlpropagationsfaktor
- M^2 = Beugungsmaßzahl
- λ = Wellenlänge in einem Medium mit der Brechzahl n
- Θ_{σ} = Divergenzwinkel
- $d_{\sigma 0}$ = Strahltaillendurchmesser

Das sich hieraus ableitende Strahlparameterprodukt ist eine Erhaltungsgröße, solange abbildungsfehlerfrei und aperturfreie Komponenten verwendet werden.

$$SPP = \frac{d_{\sigma 0} \cdot \theta}{4} = \frac{\lambda}{\pi \cdot k} = \frac{M^2 \cdot \lambda}{\pi} \quad (1.3)$$

Ein wichtiger Strahlparameter ist die Rayleighlänge:

Die Rayleighlänge ist die Strecke in Richtung der Ausbreitung, in der sich der Laserstrahl um $\sqrt{2}$ vergrößert hat. Sie berechnet sich nach folgender Formel:

$$z_R = \frac{d_{\sigma 0}^2}{4 \cdot \Theta_{\sigma}^2} = \frac{\pi \cdot d_{\sigma 0}^2}{4 \cdot \lambda \cdot M^2} \quad (1.4)$$

22.1.2 Nicht rotationssymmetrische Strahlen

Um nichtrotationssymmetrische Strahlen beschreiben zu können, werden folgende Strahlparameter benötigt.

- die z-Positionen der Strahltaile (Fokus) z_x und z_y
- die Durchmesser der Strahltaile $d_{\sigma_{0x}}$ und $d_{\sigma_{0y}}$
- die Fernfelddivergenzwinkel Θ_{σ_x} und Θ_{σ_y}
- den Winkel ϕ zwischen der x-Achse des Messsystems und der x-Achse des Strahls (die x-Achse des Strahls ist jene, die am nächsten zur x-Achse des Messsystems liegt.)

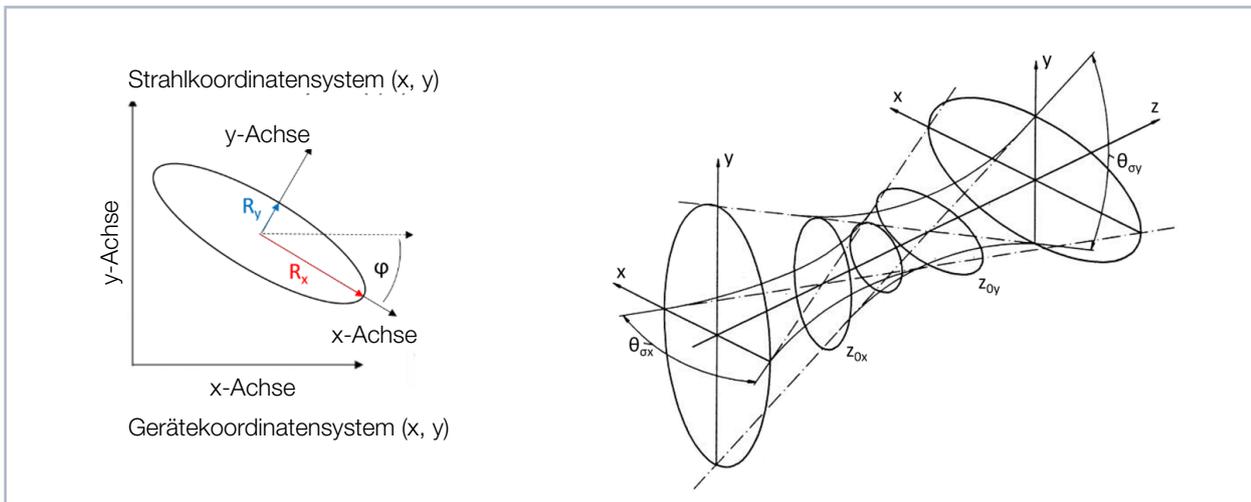


Abb. 22.2: Strahlparameter des nichtrotationssymmetrischen Strahls

Mit Hilfe der oben genannten Parametern lassen sich alle Strahlen, die sich durch zwei zueinander senkrecht stehenden Achsen charakterisieren lassen, beschreiben.

Die weiteren Strahlparameter, wie die K-Zahl oder die Beugungsmaßzahl, werden richtungsabhängig mit den selben Gleichungen berechnet, wie die der rotationssymmetrischen Strahlen. Es ergeben sich somit stets zwei Parameter wie z. B. K_x und K_y .

22.2 Berechnung der Strahldaten

Es sind - zur Berechnung der Strahldaten - sowohl die von dem ISO Standard 11146 geforderten Algorithmen zur 2. Momente-Methode implementiert, als auch die in der Industrie weit verbreitete 86 %-Methode. Für den Gauß'schen TEM00-Mode liefern beide Methoden sehr ähnliche Ergebnisse, wohingegen für die meisten anderen realen Laserstrahlen die 2. Momente-Methode größere Strahldurchmesser berechnet als die 86%-Methode.

Laserstrahlung ist oft eine Mischung aus verschiedenen Moden mit unterschiedlichen Frequenzen und Kohärenzeigenschaften. Alle bekannten Messverfahren liefern nur einen kleinen Teil der Information über den Strahl. Deswegen hängen die berechneten Strahlparameter immer vom Messprinzip ab. Für die Interpretation der Messergebnisse ist es wichtig, sich dessen bewusst zu sein.

Die Berechnung des Strahlradius setzt drei vorbereitende Schritte voraus.

1. Messung der Leistungsdichteverteilung
2. Bestimmung des Nulllevels
3. Bestimmung der Strahllage

22.2.1 Bestimmung des Nulllevels

Der Nulllevel kann zum Beispiel mit einem Histogramm bestimmt werden, in dem die Häufigkeit der gemessenen Leistungsdichtewerte aufgetragen ist (siehe Abb. 22.3 auf Seite 143).

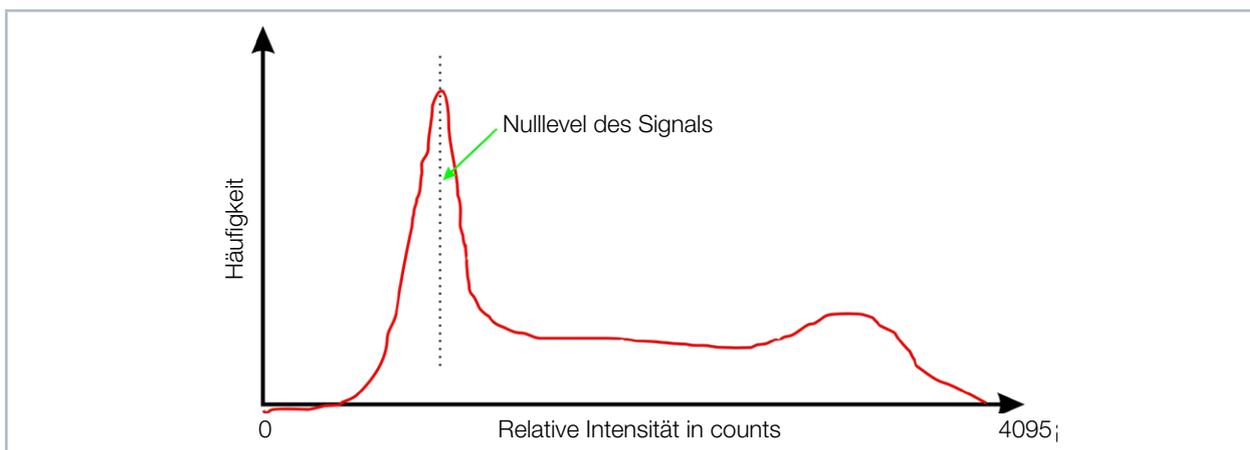


Abb. 22.3: Schematisches Histogramm der abgetasteten Messpunkte

Das Histogramm zeigt, wie häufig eine bestimmte Leistungsdichte gemessen wurde. Das Maximum dieser Kurve gibt die Leistungsdichte des Nulllevels an. Diese Leistungsdichte wird von allen gemessenen Werten der Leistungsdichteverteilung abgezogen.

Es ist wichtig den Nulllevel genau zu messen, weil schon ein kleiner Fehler zu einer drastischen Änderung des Berechnungsvolumen führt. Dies wiederum hat große Auswirkung auf den berechneten Strahlradius.

22.2.2 Bestimmung der Strahlage

Die Strahlage wird nach der 1. Momente-Methode bestimmt. Das heißt, es wird der Schwerpunkt der Leistungsdichteverteilung ($E(x,y,z)$) bestimmt.

$$\bar{x} = \frac{\iint x \cdot E(x, y, z) dx dy}{\iint E(x, y, z) dx dy} \quad \bar{y} = \frac{\iint y \cdot E(x, y, z) dx dy}{\iint E(x, y, z) dx dy} \quad (1.5)$$

Nachdem die Strahlage bekannt ist, gibt es - wie eingangs des Kapitels erwähnt - zwei Möglichkeiten, den Strahlradius zu berechnen.

22.2.3 Radiusbestimmung mit dem 2. Moment der Leistungsdichteverteilung

Die Berechnung des Strahlradius nach dem 2. Moment der Leistungsdichteverteilung erfolgt nach Gleichung (1.6).

$$\sigma_x^2(z) = \frac{\iint (x - \bar{x})^2 \cdot E(x, y, z) dx dy}{\iint E(x, y, z) dx dy} \quad \sigma_y^2(z) = \frac{\iint (y - \bar{y})^2 \cdot E(x, y, z) dx dy}{\iint E(x, y, z) dx dy} \quad (1.6)$$

Ausgehend von Gleichung (1.6) berechnet sich der Strahldurchmesser folgendermaßen:

$$d_{\alpha}(z) = 4 \cdot \sigma_x(z) \quad (1.7)$$

$$d_{\sigma_y}(z) = 4 \cdot \sigma_y(z)$$

Dieser Algorithmus beinhaltet das Produkt aus der Leistungsdichte und dem Abstandsquadrat zum Schwerpunkt. Er funktioniert nur zuverlässig, wenn die Nullebene richtig bestimmt ist. Der Füllfaktor, der Quotient aus Strahldurchmesser durch Integrationsbereich/Messfenstergröße, ist eine weitere wichtige Größe. Er sollte stets einen Wert zwischen 0,35 und 0,6 haben.

22.2.4 Radiusbestimmung mit der Methode des 86%igen Leistungseinschlusses

Der erste Schritt ist die Bestimmung des Volumens der Leistungsdichteverteilung. Es ist proportional zur Gesamtleistung. Die Addition aller Leistungsdichtewerte und ihre Multiplikation mit den Pixelabmessungen ergibt das Volumen und somit die Gesamtleistung. Ein zuverlässiger Nulllevelabzug ist auch hier die wesentliche Basis.

Ausgehend von dieser Gesamtleistung wird der Bereich betrachtet, der 86 % der Gesamtstrahlleistung einschließt. Diese Strahlleistung muss innerhalb des Strahlradius liegen.

Typischerweise startet die Integration bei den Werten maximaler Leistungsdichte. Dann wird der Integrationsbereich solange vergrößert, bis 86 % der Gesamtleistung innerhalb liegen. Bei der Integration wird die Zahl der Bildpunkte gezählt. Daraus kann schließlich die 86 %-Fläche und somit der Strahldurchmesser bestimmt werden. Für zirkulare grundmodeähnliche Strahlen arbeitet das Verfahren gut.

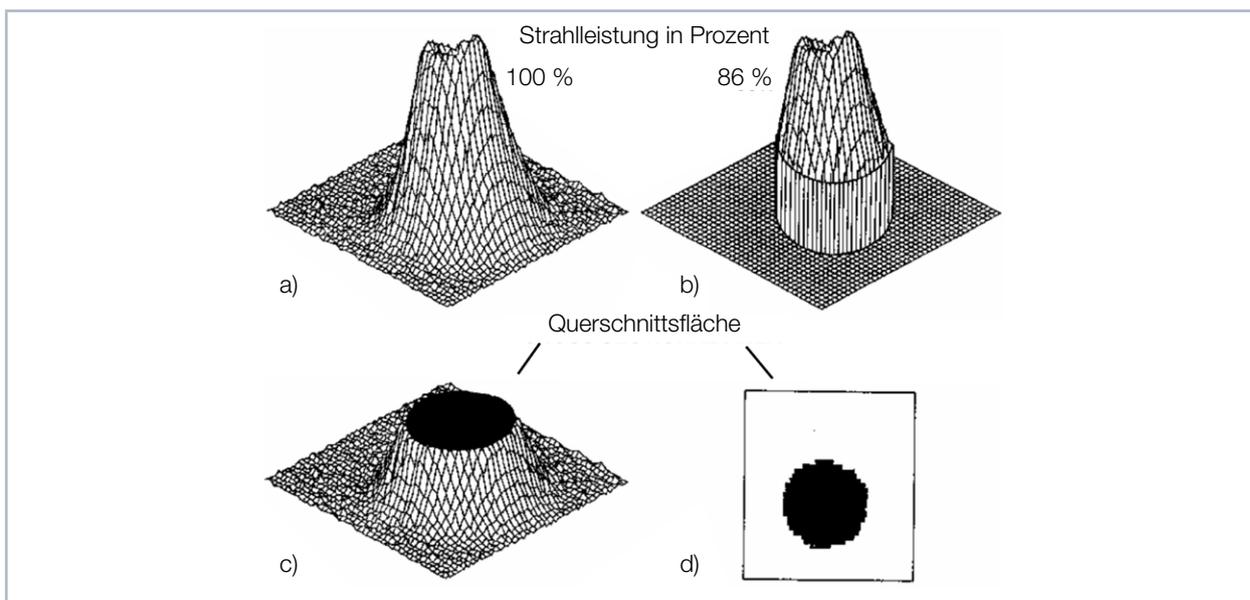


Abb. 22.4: Grafische Darstellung der Berechnung des 86%-Radius

- a) Zeigt die Leistungsdichteverteilung.
- b) Zeigt nur die Bildpunkte, die zusammen 86 % der Leistung einschließen. Die Bildpunkte mit niedriger Leistung sind zur Verdeutlichung auf Null gesetzt.
- c) Zeigt einen Schnitt beim „86 %-Leistungseinschluss“. Das Niveau liegt bei 14 % der maximalen Leistung.
- d) Zeigt den Schnitt durch die Verteilung bei 86 %.

22.2.5 Weitere Radiusdefinitionen (Option)

Nicht alle Messgeräte zur Laserstrahldiagnose zeigen das gleiche Messergebnis, wenn sie zu vergleichenden Messungen an ein und demselben Laserstrahl herangezogen werden. Neben einer unterschiedlichen Validierung der Messgeräte haben auch die Messverfahren und die verwendeten Auswertalgorithmen Einfluss auf die ermittelten Strahlabmessungen.

Nicht alle verwendeten Verfahren sind normenkonform, werden aber, z. B. im wissenschaftlichen Bereich, bevorzugt verwendet. Aus praktischen Gründen, z. B. zur Auslegung von Blenden oder zur Korrelation mit Bearbeitungsergebnissen, kann es auch hilfreich sein, alternative Strahlradiusdefinitionen zu verwenden.

Optional bieten wir eine Erweiterung auf folgende alternative Radiusdefinitionen an:

1. Schneidenmethode nach ISO 11146-3
2. Schlitzmethode nach ISO 11146-3
3. Gaußfit-Methode
4. $1/e^2$ -Leistungsdichteabfall-Methode
5. Leistungseinschluss-Methode mit frei definierbarem 1. Leistungseinschluss
6. Leistungseinschluss-Methode mit frei definierbarem 2. Leistungseinschluss

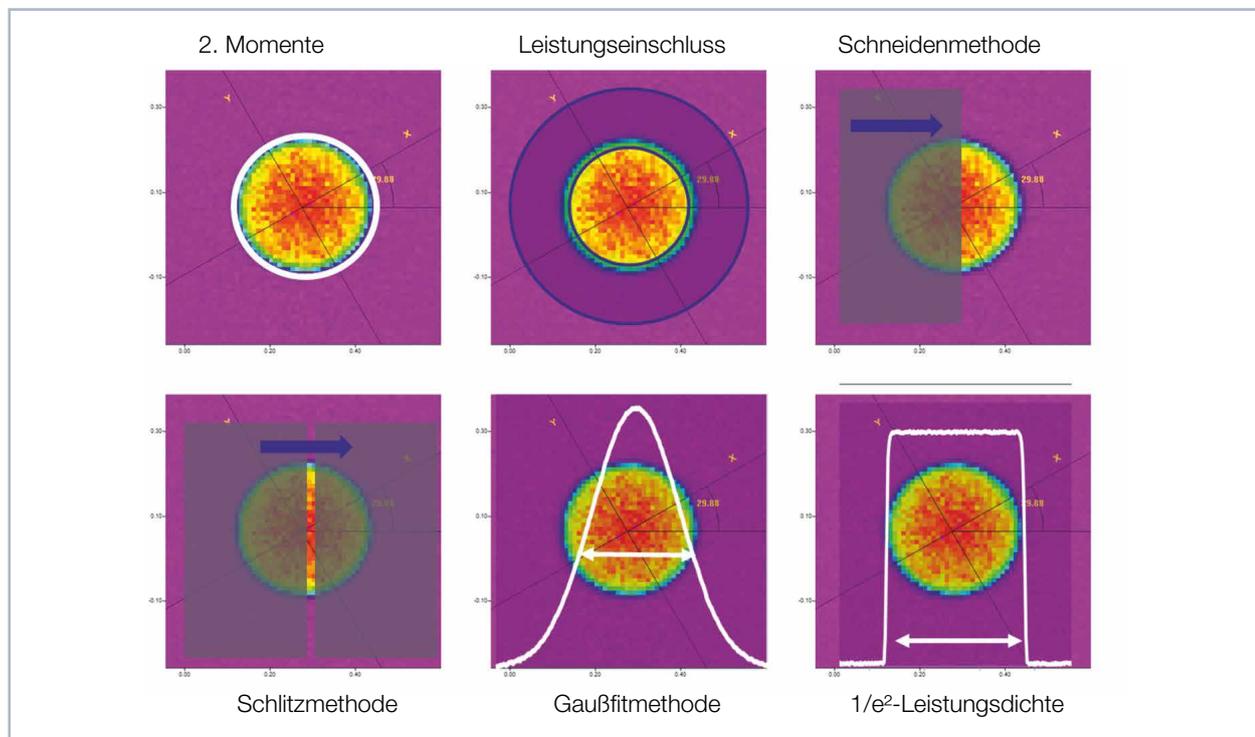


Abb. 22.5: Schematische Darstellung der optional für die PRIMES-LaserDiagnosticsSoftware LDS angebotenen Strahlradiusdefinitionen

22.3 Messfehler

Unabhängig von dem Messprinzip gibt es viele Fehlerquellen bei der Bestimmung des Strahlradius.

- die Bestimmung des Nulllevel
- die endliche Größe des Messfensters
- das Auflösungsvermögen in x- und y- Richtung
- das Auflösungsvermögen bezogen auf die Intensität der Bestrahlung

22.3.1 Fehler bei der Nulllevelbestimmung

Die Bestimmung des Strahltaillenradius reagiert sehr stark auf die Änderung der Nullebene. Das ist unabhängig davon, ob nach der 86 % oder der 2. Momente-Methode gerechnet wird.

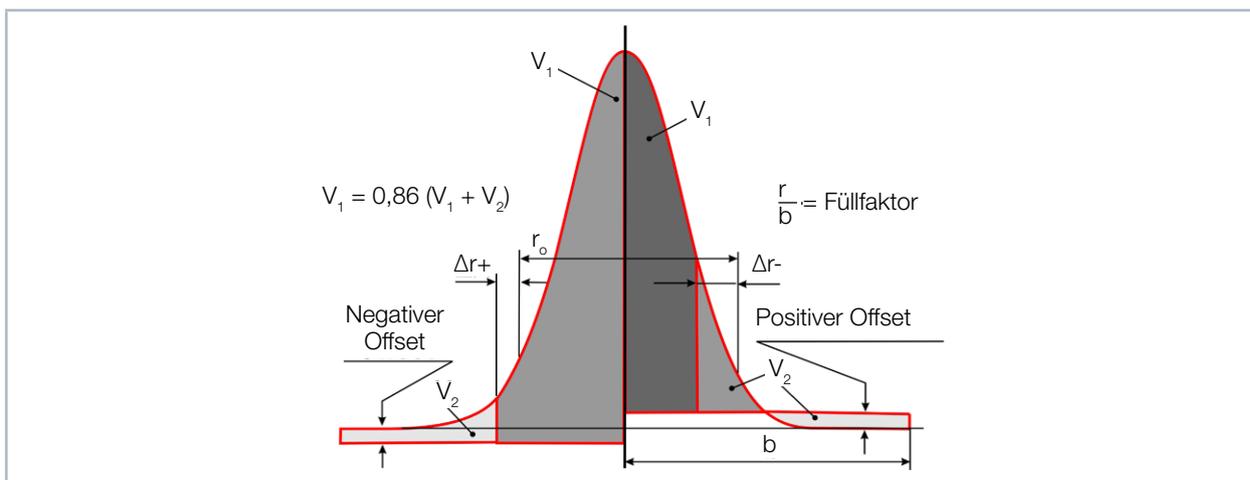


Abb. 22.6: Gaußsche Intensitätsverteilung, Nullpegel gesenkt (links) und angehoben (rechts)

Abb. 22.6 auf Seite 147 macht dies deutlich. Wird der Nullpegel abgesenkt (linke Seite), vergrößert sich das Gesamtvolumen zwischen den Messwerten und dem Nullpegel. Durch diese Vergrößerung errechnet sich nach der Kurvengleichung ein größerer Strahlradius. Umgekehrt verringert sich der Strahlradius wenn das Volumen, bei Anheben des Nullpegels, zu klein berechnet wird.

22.3.2 Übersteuerung des Signals

Hohe Signalamplituden werden durch die begrenzte Dynamik des Systems beschnitten. Fehlen die hohen Leistungsdichten bei der Berechnung der Strahlgeometrie, berechnet der Algorithmus den Strahl stets zu groß. Durch Vergrößern der Abschwächung kann man dem entgegenwirken.

22.3.3 Fehler durch falsche Wahl der Messfenstergröße

Für die korrekte Normierung des Volumens unterhalb der gemessenen Verteilung ist es notwendig, dass die gesamte Laserstrahlung innerhalb des Messfensters liegt. Da die Intensitätsverteilung im Prinzip unendlich ausgedehnt ist, liegt stets ein Bruchteil der Strahlleistung außerhalb des Messbereichs.

Im Folgenden wird zur Normierung des Strahlradius dieser ins Verhältnis zur halben Fenstergröße gesetzt. Die so definierte Größe wird als Füllfaktor F bezeichnet.

$$F = \frac{2 \cdot r_s}{\text{Messfensterbreite}} \tag{1.8}$$

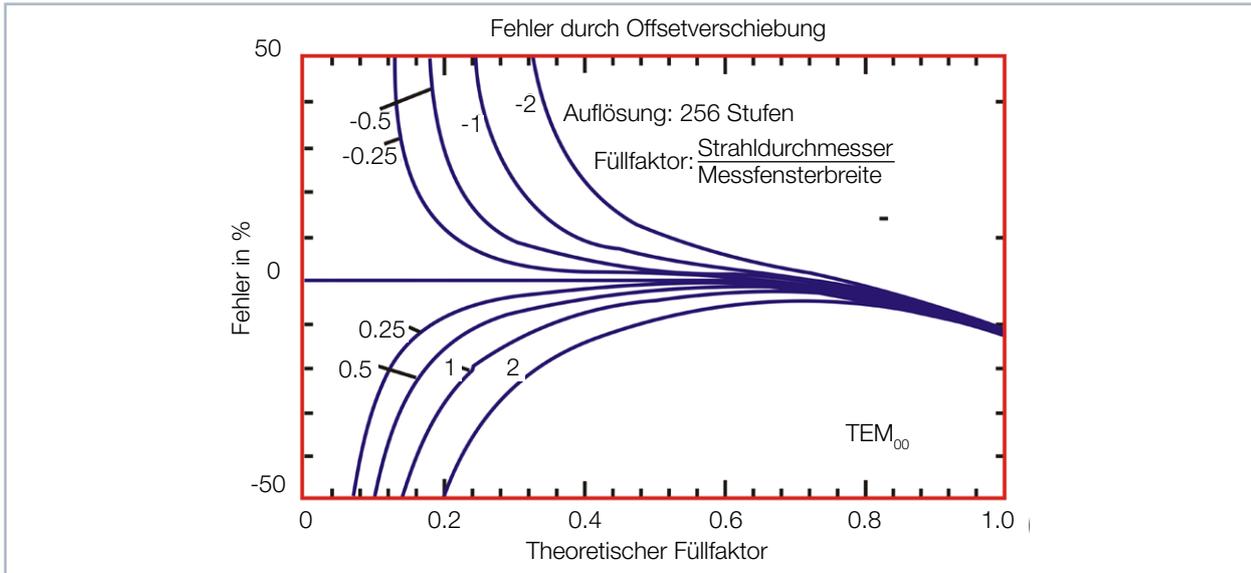


Abb. 22.7: Fehler bei der Strahlradiusbestimmung durch Offsetverschiebung der Nullpunktebene für verschiedene Offsetpegel (gaußförmige Intensitätsverteilung)

In Abbildung Abb. 22.7 auf Seite 148 ist die Auswirkung eines Füllfaktor > 0,7 deutlich zu sehen. Für Gauß-ähnliche Strahlen sollte der Füllfaktor stets unter 0,6 und über 0,4 gehalten werden, um den Fehler klein zu halten. Für Top-Hat Verteilungen liegt die Grenze bei etwa 0,9.