

## Originalbetriebsanleitung



**FocusMonitor/BeamMonitor**

**LaserDiagnosticsSoftware**



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>GRUNDLEGENDE SICHERHEITSHINWEISE</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>SYMBOLERKLÄRUNG</b>	<b>9</b>
2.1	Über diese Betriebsanleitung .....	10
<b>3</b>	<b>BEDINGUNGEN AM EINBAUORT</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>11</b>
4.1	Laserstrahlvermessung .....	11
4.2	Kurzübersicht Installation, Messbetrieb, Auswertung .....	14
<b>5</b>	<b>MONTAGE</b>	<b>15</b>
5.1	Spezielle Sicherheitshinweise .....	15
5.2	Vorbereitung .....	16
5.3	Einbaulage .....	17
5.3.1	FocusMonitor .....	17
5.3.2	BeamMonitor .....	18
5.4	Ausrichten .....	18
5.4.1	FocusMonitor .....	18
5.4.2	BeamMonitor .....	19
5.5	Befestigen .....	20
5.5.1	FocusMonitor .....	20
5.5.2	BeamMonitor .....	20
<b>6</b>	<b>ELEKTRISCHER ANSCHLUSS</b>	<b>21</b>
6.1	Anschluss des FocusMonitor an Standardnetzteil und Konverter, Beispiel .....	23
6.2	Anschluss an Standardnetzteil und Konverter (mit Verlängerung 10 m) .....	24
6.3	Anschluss an Netzteil mit integriertem Konverter (Option) .....	25
6.4	Betrieb mehrerer Messgeräte am PRIMES-Bus .....	26
<b>7</b>	<b>SCHUTZGASANSCHLUSS ►FM◀</b>	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>STATUSANZEIGE AN DEN GERÄTEN</b>	<b>28</b>
8.1	FocusMonitor/BeamMonitor .....	28
8.2	Konverter .....	28
8.3	Netzteil mit Konverter (Option) .....	28
<b>9</b>	<b>SOFTWARE</b>	<b>29</b>
9.1	Systemvoraussetzungen .....	29
9.2	Software installieren .....	29
9.2.1	COM-Anschlussnummer ändern .....	30
9.3	Software starten .....	31
9.3.1	Grafische Benutzeroberfläche .....	31
9.3.2	Menü-Übersicht .....	35
<b>10</b>	<b>KOMMUNIKATION TESTEN</b>	<b>38</b>
10.1	Rechnerschnittstelle testen .....	38
10.2	Kommunikation mit den Geräten prüfen .....	39
<b>11</b>	<b>SOFTWAREFUNKTIONEN IM DETAIL</b>	<b>41</b>
11.1	Einstellungen .....	41
11.1.1	Sensorparameter .....	41
11.1.2	Messumgebung (Menü Messung>>Umgebung) .....	45
11.1.3	Strahlsuche (Menü Messung>>Einstellung:Strahlsuche) ►FM◀ .....	46
11.1.4	Einzelmessung (Menü Messung>>Einzelmessung) .....	47
11.1.5	Kaustikmessung ►FM◀ .....	50
11.1.6	Justiermode ►BM◀ .....	53
11.2	Darstellung und Dokumentation der Messergebnisse .....	57

11.2.1	Falschfarben .....	58
11.2.2	Falschfarben (gefiltert) .....	59
11.2.3	Isometrie .....	59
11.2.4	Kaustikdarstellung (2D-Darstellung) .....	60
11.2.5	Isometrie 3D .....	63
11.2.6	Übersicht 86 % bzw. 2. Moment .....	64
11.2.7	Symmetrieprüfung .....	65
11.2.8	Feste Schnitte .....	66
11.2.9	Variable Schnitte .....	67
11.2.10	Graphische Übersicht .....	68
11.2.11	Farbtafeln .....	68
11.2.12	Position ►FM◀ .....	69
11.2.13	Evaluation (Option) .....	70
11.3	Datei .....	71
11.3.1	Neu .....	71
11.3.2	Öffnen .....	71
11.3.3	Speichern .....	71
11.3.4	Speichern unter .....	71
11.3.5	Export .....	71
11.3.6	Messeinstellungen laden .....	71
11.3.7	Messeinstellungen speichern .....	71
11.3.8	Protokoll .....	72
11.3.9	Drucken .....	72
11.3.10	Vorschau Drucken .....	72
11.3.11	Zuletzt geöffnete Datei .....	72
11.3.12	Ende .....	72
11.4	Bearbeiten .....	72
11.4.1	Kopieren .....	72
11.4.2	Ebene löschen .....	72
11.4.3	Alle Ebenen löschen .....	72
11.5	Kommunikation .....	73
11.5.1	Geräte suchen .....	73
11.5.2	Freie Kommunikation .....	73
11.5.3	Liste gesuchter Geräte .....	73
11.6	Skript .....	73
11.6.1	Editor .....	74
11.6.2	Auflisten .....	74
11.6.3	Python .....	74
<b>12</b>	<b>MESSEN</b> .....	<b>75</b>
12.1	Voraussetzungen .....	75
12.2	Mögliche Messarten .....	75
12.2.1	Einzelmessung .....	75
12.2.2	Kaustikmessung .....	75
12.2.3	Justiermode .....	76
12.3	Kurzanleitung für eine erste Einzelmessung .....	76
12.4	Messen mit dem DFY-PS-Detektor .....	82
<b>13</b>	<b>DISKUSSION DER MESSERGEBNISSE UND FEHLERANALYSE</b> .....	<b>84</b>
<b>14</b>	<b>FEHLERBEHEBUNG</b> .....	<b>86</b>
<b>15</b>	<b>AUSWAHL DER DETEKTOREN UND MESSSPITZEN</b> .....	<b>87</b>
15.1	Grenzwerte für den Messbetrieb mit HP-CO <sub>2</sub> -Messspitzen .....	89
15.2	Grenzwerte für den Messbetrieb mit FK High div-Messspitzen .....	90
15.3	Messspitze am FocusMonitor montieren .....	91
15.4	Detektor am FocusMonitor wechseln .....	93
15.5	Detektor am BeamMonitor wechseln .....	95

<b>16</b>	<b>WARTUNG</b>	<b>95</b>
<b>17</b>	<b>TRANSPORT</b>	<b>95</b>
<b>18</b>	<b>MASSNAHMEN ZUR PRODUKTENTSORGUNG</b>	<b>95</b>
<b>19</b>	<b>TECHNISCHE DATEN</b>	<b>96</b>
	19.1 FocusMonitor .....	96
	19.2 BeamMonitor.....	97
<b>20</b>	<b>ABMESSUNGEN</b>	<b>98</b>
	20.1 Messfensterposition und Abmessungen FM35 (Strahleinfall von oben) .....	98
	20.2 Messfensterposition und Abmessungen FM35 (gedrehte Messspitze) .....	100
	20.3 Messfensterposition FM120 (Strahleintritt von oben).....	102
	20.4 Messfensterposition FM120 (Strahleintritt von unten).....	104
	20.5 Position des Pinhole am FocusMonitor (bezogen auf die Gerätekoordinaten) .....	106
	20.6 Abmessungen BM60 (Laborausführung) .....	107
	20.7 Abmessungen BM60-T CO <sub>2</sub> (Industrieausführung) .....	108
	20.8 Abmessungen BM60-T NIR (Industrieausführung) .....	109
	20.9 Abmessungen BM100.....	110
<b>21</b>	<b>KONFORMITÄTSERKLÄRUNG FOCUSMONITOR</b>	<b>111</b>
<b>22</b>	<b>KONFORMITÄTSERKLÄRUNG BEAMMONITOR</b>	<b>112</b>
<b>23</b>	<b>ANHANG</b>	<b>113</b>
	23.1 Anlagensteuerung .....	113
	23.2 Beschreibung des MDF-Dateiformates .....	113
	23.3 Messung mit fester y-Achsenposition .....	114
	23.4 Messen mit „Continuous LineScan“ **OPTION** ▶FM◀ .....	116
	23.4.1 Messablauf.....	116
	23.4.2 Darstellung.....	119
<b>24</b>	<b>GRUNDLAGEN DER STRAHLDIAGNOSE</b>	<b>121</b>
	24.1 Laserstrahlparameter .....	121
	24.1.1 Rotationssymmetrische Strahlen .....	121
	24.1.2 Nicht rotationssymmetrische Strahlen: .....	123
	24.2 Berechnung der Strahldaten .....	123
	24.2.1 Bestimmung des Nulllevels .....	124
	24.2.2 Bestimmung der Strahllage.....	125
	24.2.3 Radiusbestimmung mit dem 2. Moment der Leistungsdichteverteilung .....	125
	24.2.4 Radiusbestimmung mit der Methode des 86%igen Leistungseinschlusses ...	126
	24.2.5 Weitere Radiusdefinitionen (Option) .....	126
<b>25</b>	<b>ZUBEHÖR</b>	<b>127</b>
	25.1 Abstandhalter FocusMonitor-PowerMonitor .....	127
	25.2 FM-Standplatte für den Überkopfbetrieb.....	130
	25.3 Abmessungen der Standplatte.....	132

## PRIMES - das Unternehmen

PRIMES ist ein Hersteller von Messgeräten zur Laserstrahlcharakterisierung. Diese Geräte werden zur Diagnostik von Hochleistungslasern eingesetzt. Das reicht von CO<sub>2</sub>-Lasern über Festkörperlaser bis zu Diodenlasern. Der Wellenlängenbereich vom Infrarot bis zum nahen UV wird abgedeckt. Ein großes Angebot von Messgeräten zur Bestimmung der folgenden Strahlparameter steht zur Verfügung:

- die Laserleistung
- die Strahlabmessungen und die Strahlage des unfokussierten Strahls
- die Strahlabmessungen und die Strahlage des fokussierten Strahls
- die Beugungsmaßzahl, M<sup>2</sup>
- die Polarisierung des Laserstrahls

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.



## 1 Grundlegende Sicherheitshinweise

### Bestimmungsgemäße Verwendung

Der FocusMonitor und der BeamMonitor sind ausschließlich dazu gebaut, Messungen im oder in der Nähe des Strahlenganges von Hochleistungslasern durchzuführen. Jeder darüber hinausgehende Gebrauch gilt als nicht bestimmungsgemäß.

Zur Gewährleistung eines sicheren Betriebes dürfen die Geräte nur nach den Angaben des Herstellers betrieben werden.

Das Benutzen der Geräte für nicht vom Hersteller spezifizierten Gebrauch ist untersagt und kann zu gesundheitlicher Gefährdung bis hin zu tödlichen Verletzungen führen. Die Geräte dürfen nur in der Art und Weise eingesetzt werden, aus der keine potentielle Gefahr für Menschen entsteht.

Die Geräte selbst emittieren keine Laserstrahlung. Jedoch wird während der Messung der Laserstrahl durch das Gerät geleitet. Dabei entsteht Streustrahlung (**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, z. B. IEC - 60825-1 und TROS Laserstrahlung (Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung) und ihre Durchführungsanweisungen.

### Erforderliche Schutzmaßnahmen treffen



#### **GEFAHR**

#### **Verletzungsgefahr durch Laserstrahlung**

**Bedingt durch das Messprinzip wird der Laserstrahl an der Messspitze reflektiert (Laserklasse 4).**

- ▶ **Im Messbetrieb ist auch mit Schutzbrille und Schutzkleidung ein Sicherheitsabstand von 1 Meter zum FocusMonitor einzuhalten!**

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 (OD 6), die an die verwendete Laserwellenlänge angepasst sind.
- 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 Messgerät stabil, um eine Relativbewegung des Gerätes zur Strahlachse zu verhindern und somit die Gefährdung durch Streustrahlung zu reduzieren (das ist auch notwendig, um eine optimale Performance bei der Messung sicherzustellen).

**Qualifiziertes Personal einsetzen**

Alle Benutzer des FocusMonitor oder des BeamMonitor müssen in die Bedienung der Messgeräte eingewiesen sein und grundlegende Kenntnisse über die Arbeit mit Hochleistungslasern, Strahlführungssystemen und Fokussiereinheiten haben.

**Umbauten und Veränderungen**

Der FocusMonitor und der BeamMonitor dürfen ohne unsere ausdrückliche Zustimmung weder konstruktiv noch sicherheitstechnisch verändert werden. 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

In dieser Dokumentation wird auf Restgefahren mit folgenden Symbolen und Signalworten hingewiesen:



### 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.

- ▶ Handlungsaufforderung

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



Warnung vor Handverletzungen



Warnung vor heißer Oberfläche



Vor Inbetriebnahme die Betriebsanleitung und insbesondere 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.

## 2.1 Über diese Betriebsanleitung

Diese Dokumentation beschreibt die Arbeit mit dem FocusMonitor und dem BeamMonitor und deren Bedienung mit der „LaserDiagnoseSoftware“ (im Folgenden „LDS“ genannt). Die meisten Kapitel behandeln gemeinsame Funktionen.

Abschnitte, die nur für eines der Geräte relevant sind, werden speziell mit den Symbolen ►FM◀ für den **FocusMonitor** oder ►BM◀ für den **BeamMonitor** gekennzeichnet.

Die Messgeräte werden per PC oder über die Anlagensteuerung bedient.

Bei der Beschreibung der Software liegen die Schwerpunkte bei Konfigurations- und Kommunikationseinstellungen sowie dem Messbetrieb.



Diese Betriebsanleitung beschreibt die zum Zeitpunkt der Drucklegung gültige Softwareversion v2.98. Da die Bediensoftware laufend weiterentwickelt wird, ist es möglich, dass auf der mitgelieferten Installations-CD eine andere Versionsnummer aufgedruckt ist. Die korrekte Funktion des Gerätes mit der Software ist dennoch gewährleistet.

Sollten Sie trotzdem Fragen haben, geben Sie uns bitte die bei Ihnen installierte Software-Version bekannt. Sie finden die Softwareversion, das Erstellungsdatum und die Windows®-Versionen, für die unsere LaserDiagnoseSoftware programmiert wurde, unter dem Menüpunkt: **Hilfe>>Über die LaserDiagnoseSoftware**.

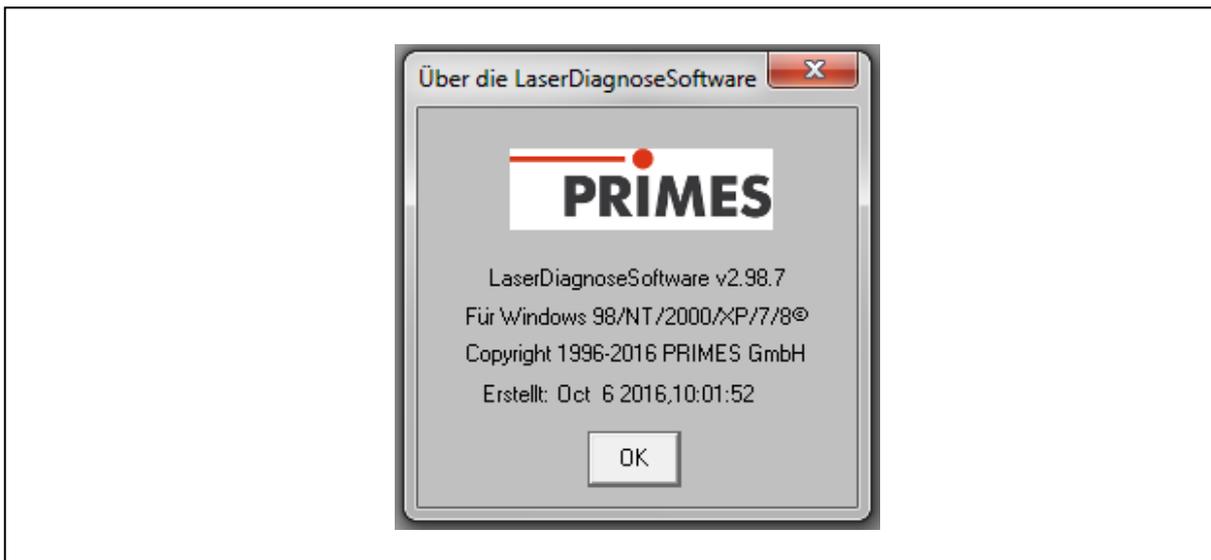


Abb. 2.1: Informationen zur aktuellen Software-Version

### 3 Bedingungen am Einbauort

- Die Messgeräte dürfen nicht in kondensierender Atmosphäre betrieben werden.
- Die Umgebungsluft muss frei sein von organischen Gasen.
- Schützen Sie die Geräte vor Spritzwasser und Staub.
- Betreiben Sie die Messgeräte nur in geschlossenen Räumen.



#### **VORSICHT**

**Brand- und Explosionsgefahr durch Laserstrahlung.**

**Im Messbetrieb entsteht Streustrahlung.**

- ▶ **Lagern Sie keine brennbaren Materialien oder leicht entzündlichen Stoffe am Messort.**

### 4 Einleitung

#### 4.1 Laserstrahlvermessung

Die Fertigung mit Laserstrahlung kann durch eine Kontrolle der Laserstrahlparameter wirkungsvoll überwacht werden. Der Laserstrahl wird im Wesentlichen charakterisiert durch:

- die Strahlleistung
- die Strahlabmessungen und die Strahllage des unfokussierten Strahls
- die Strahlabmessungen und die Strahllage im Fokus
- die Polarisation des Laserstrahls.

Diese grundlegenden Laserstrahlparameter haben großen Einfluss auf die Ergebnisse der Lasermaterialbearbeitung. Um eine reproduzierbare Prozessqualität zu erhalten, ist es notwendig, alle Veränderungen der Strahlparameter zu erkennen. Veränderungen können dabei entstehen sowohl durch:

#### ***laserinterne Ursachen, z. B.***

- die Alterung und Verunreinigung der optischen Komponenten
- die Dejustierung des Resonators

als auch durch:

#### ***Effekte im Strahlführungssystem oder der Fokussiereinheit, z. B.***

- die Verschmutzung oder die Dejustierung von Spiegeln oder Linsen
- organische Spurengase in der Luft (Thermal Blooming)

Das Bearbeitungsergebnis bei der Fertigung mit Lasern hängt im Allgemeinen von der Strahlleistung sowie der Leistungsdichte im Fokusbereich ab. Darüber hinaus muss die Lage des Fokuspunktes bezüglich der Bearbeitungszone exakt bekannt sein. Variationen dieser Sollgrößen gehen häufig einher mit Einbußen bei der Prozessgeschwindigkeit oder der Prozessqualität.

Die periodischen Messungen der Laserstrahlparameter erlauben eine zuverlässige Überwachung des Werkzeugs Laserstrahl. Dies ist eine der wesentlichen Grundlagen für eine reproduzierbare Fertigung mit Laserstrahlung und somit für die Sicherung der Produktqualität.

PRIMES hat dazu Messsysteme konzipiert, die auch in einem industriellen Umfeld die notwendigen Messungen durchführen können. Eine Verbindung zur Anlagensteuerung wird unterstützt und die Möglichkeit zu einer lückenlosen Dokumentation der Ergebnisse ist so sichergestellt.

Laserstrahlradius, -position und Leistungsdichteverteilung im Fokus sowie im unfokussierten Strahl beeinflussen das Ergebnis der Lasermaterialbearbeitung stark. Um eine reproduzierbare Bearbeitungsqualität sicherzustellen, ist es notwendig alle Variationen der Strahlparameter zu erkennen und zu erfassen.

Der FocusMonitor (Abb. 4.1) dient der Analyse des **fokussierten** Laserstrahls. Das Gerät vermisst die räumliche Leistungsdichteverteilung im Fokusbereich der Bearbeitungsoptik.

Das System errechnet daraus den Fokusradius, die Fokuslage im Raum sowie den Strahlpropagationsfaktors  $K$  bzw. die Beugungsmaßzahl  $M^2$ .

Der BeamMonitor (Abb. 4.2) vermisst die räumliche Leistungsdichteverteilung des **unfokussierten** Laserstrahls. Daraus werden die Strahlgröße und der Strahlradius ermittelt.



Abb. 4.1: FocusMonitor FM35



Abb. 4.2: BeamMonitor BM60

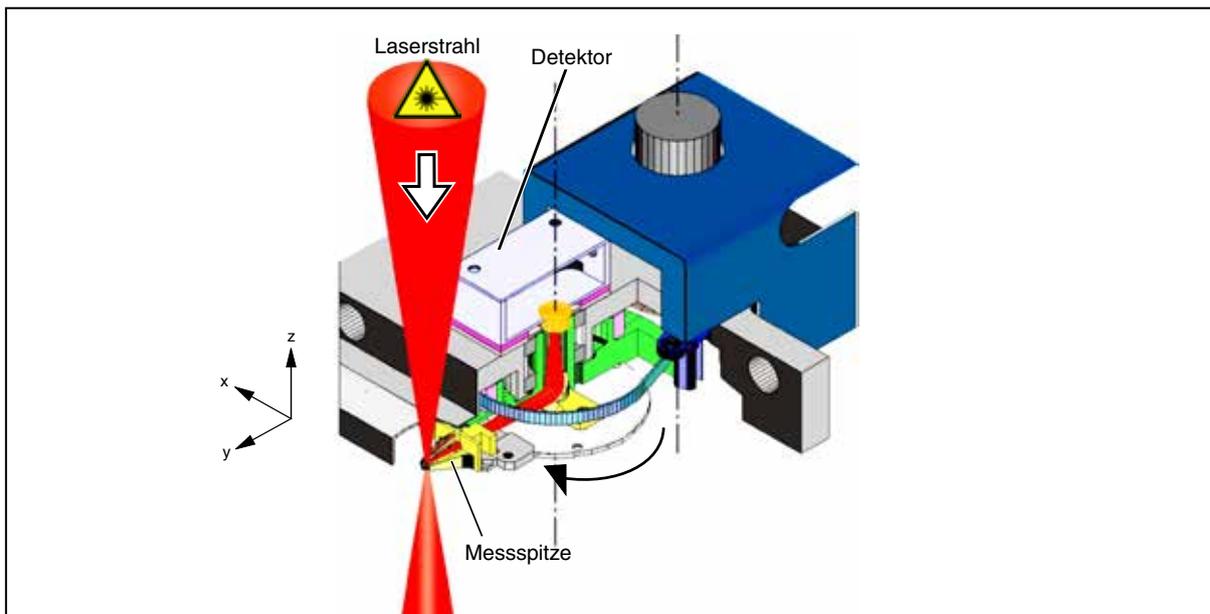


Abb. 4.3: Optomechanischer Aufbau des FocusMonitor

Die Leistungsdichteverteilung im Fokus wird beim **FocusMonitor** mit Hilfe einer rotierenden Messspitze gemessen, die in y-Richtung zeilenweise den Strahlquerschnitt abtastet. Die sehr kleine Öffnung in den Messspitze (Pinhole) koppelt dabei jeweils einen kleinen Teil der Strahlung aus. Spiegel lenken das Messsignal schließlich zum Detektor. Der gesamte Messkopf kann über eine integrierte z-Achse automatisch verfahren werden. So können durch das Abfahren der Strahlkaustik die Propagationsparameter komplett bestimmt werden.

Durch den Einsatz verschiedener Detektoren und unterschiedlicher Messspitzen kann der FocusMonitor in einem weiten Wellenlängen- und Leistungsdichtebereich an die speziellen Erfordernisse der Strahldiagnostik angepasst werden. Der Einsatzbereich der Systeme reicht von einigen  $\text{MW}/\text{cm}^2$  bis zu wenigen  $\text{W}/\text{cm}^2$ . Detaillierte Beschreibungen zu anderen Detektoren und auch Messspitzen (z. B. geeignet zur Detektion auch stark divergenter Strahlung, wie sie Hochleistungsdiodenlaser erzeugen) finden Sie im Kapitel 15 auf Seite 87.

Der **BeamMonitor** arbeitet nach einem vergleichbaren Messprinzip. Die Abmessungen sind dabei an die Erfordernisse der Rohstrahlanalyse angepasst. Der BeamMonitor besitzt keine verfahrbare z-Achse.

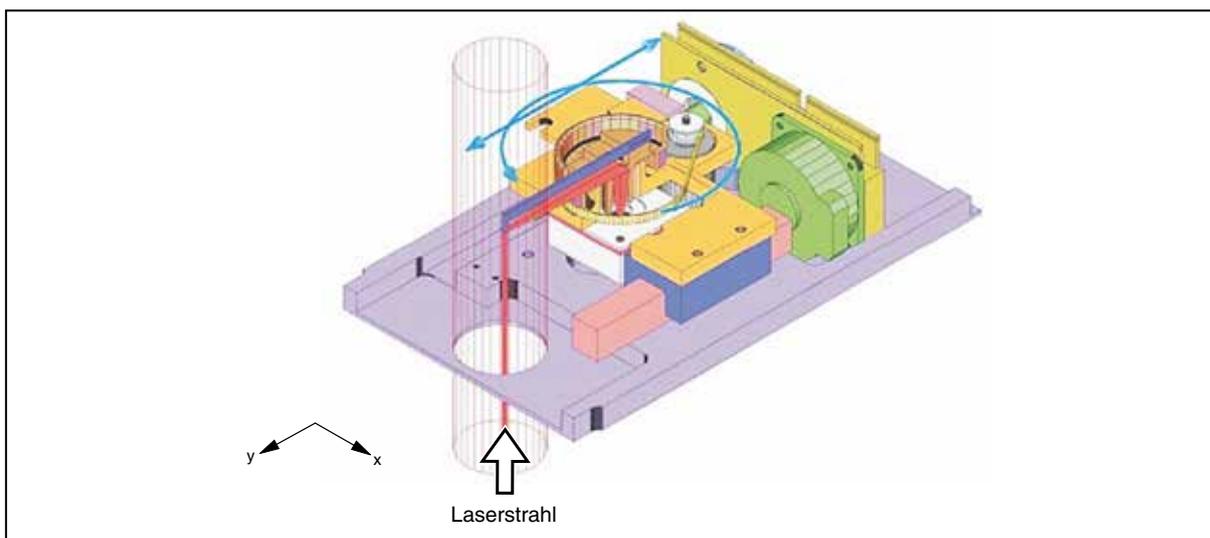


Abb. 4.4: Optomechanischer Aufbau des BeamMonitor

## 4.2 Kurzübersicht Installation, Messbetrieb, Auswertung

### 1. Sicherheitsvorkehrungen treffen

- Streustrahlung minimieren und Reststrahlung abschirmen
- Für vollständige Absorption der Strahlung hinter der Messzone sorgen
- Schutzbrille tragen oder besser während der Messung außerhalb der Laserkabine bleiben.

### 2. Installieren des Messgerätes und der Software

- Messgerät zum Laserstrahl ausrichten
- Stabil befestigen
- Strahlverlauf durch den Messbereich kontrollieren
- Elektrisch anschließen/Spannungsversorgung einschalten
- LaserDiagnoseSoftware installieren/starten
- Kommunikation zwischen Computer und den Messgeräten prüfen (Menü `Freie Kommunikation`, Schaltfläche **Test**)

### 3. Messen

- **Einzelmessung** (automatisch oder manuell einrichten): Die Position und die Größe des Messfensters kann relativ zum maximalen Messbereich eingestellt werden. Die Verstärkung (bzw. Dämpfung bei Übersteuerung) kann getrennt eingestellt werden.
- **Kaustikmessung**: Serienmessung, bei der die z-Position stufenweise verändert wird. Die Parameter werden automatisch oder manuell eingestellt. Die Beugungsmaßzahl  $M^2$  (Strahlpropagationsfaktor K) kann direkt bestimmt werden.
- **Justiermode**: Spezieller Messmode für den BeamMonitor zur Resonatorjustierung und für Serviceeinsätze. Einfache Bedienoberfläche und übersichtliche Darstellungsfenster. Die Messergebnisse können in getrennten Ebenen und in speziellen Präsentationsmenüs dargestellt werden.

### 4. Darstellen

- 3D-Darstellung (Isometrie) der räumlichen Leistungsdichteverteilung
- Höhenliniendarstellung der räumlichen Leistungsdichteverteilung in Falschfarben
- Frei wählbare Höhenlinienschnitte in x- und y-Richtung sowie nach Leistungsdichten
- Feste Höhenlinienschnitte in x- und y-Richtung bei 86 %, 80 %, 60 %, 40 %, 20 % und 10 % der Gesamtleistung.
- Kaustikdarstellung/3D
- Symmetriepfung
- Bemerkungen und Messparameter können integriert gespeichert werden
- Folgende Parameter werden numerisch angezeigt: Strahlradius, x-Strahlradius, y-Strahlradius, Winkel, x-Position, y-Position, Laserleistungsdichte, Datum, Uhrzeit, Laserleistung
- Grafische Übersicht verschiedener Strahlparameter
- Darstellung verschiedener Messergebnisse (Ebenen)

### 5. Dokumentieren

- Messdaten in Dateien speichern und Daten wieder einlesen
- Aktuelle Einstellungen speichern und Daten wieder einlesen
- Aktuellen Fensterinhalt drucken
- Aktuellen Fensterinhalt in die Zwischenablage kopieren
- Gemessene numerische Daten exportieren: Radius, Position in eine Tab-separierte Textdatei (nach der Messung)
- Protokolldatei der berechneten Zahlenwerte erstellen – messbegleitend

## 5 Montage

### 5.1 Spezielle Sicherheitshinweise



#### VORSICHT

Verletzungsgefahr durch rotierende Bauteile

Die Messspitzen des FocusMonitor und des BeamMonitor rotieren im Messbetrieb mit hoher Drehgeschwindigkeit. Auch nach Abschalten des Motors rotieren die Messspitzen noch eine gewisse Zeit nach.

- ▶ Nicht in den Strahleneingang des Messgerätes fassen oder Gegenstände hineinhalten (Bilder 1 und 4 in Abb. 5.1).  
Nach Abschalten des Motors den Stillstand der Messspitze abwarten.



#### VORSICHT

Quetschgefahr beim FocusMonitor

Der Messkopf des FocusMonitor ist in der z- und y-Achse gegenüber dem Gehäuse verfahrbar.

- ▶ Im Messbetrieb nicht in den Verfahrbereich des Messkopfes fassen (Bilder 2 und 3 in Abb. 5.1).

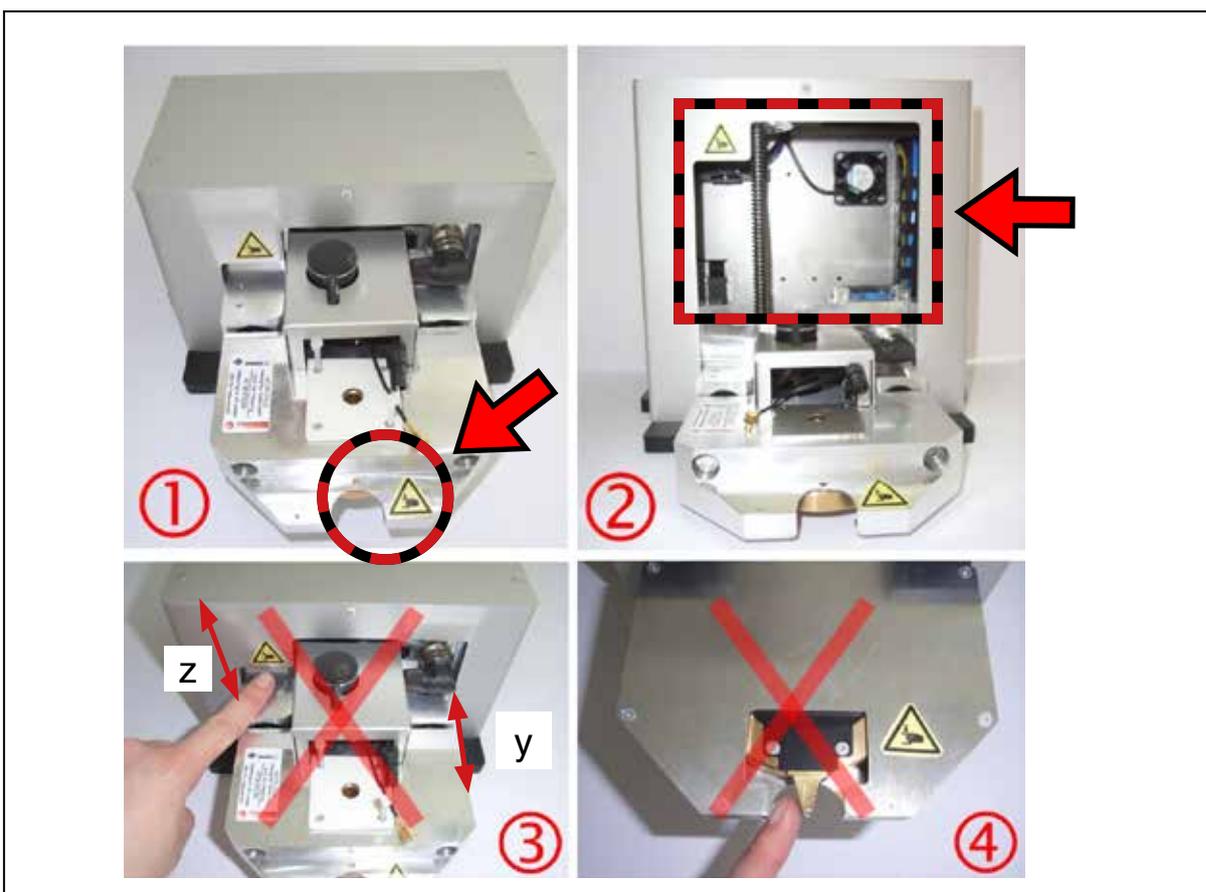


Abb. 5.1: Mögliche Gefahrenstellen am FocusMonitor

Auf dem Gerät sind mögliche Gefahrenstellen (siehe Fotos 1 und 2 in Abb. 5.1) mit folgendem Piktogramm gekennzeichnet:



## 5.2 Vorbereitung

Prüfen Sie vor der Montage die Platzverhältnisse, insbesondere den benötigten Freiraum im Verfahrbereich des FocusMonitor (siehe Kapitel 19 auf Seite 96). Das Messgerät muss stabil aufgestellt und mit Schrauben befestigt sein (siehe Kapitel 5.5 auf Seite 20).

### ACHTUNG

#### Beschädigungsgefahr

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

- ▶ Halten Sie den Verfahrbereich frei von Hindernissen (Schneiddüsen, Andruckrollen usw.). Beachten Sie, dass der Messkopf nach einem Aus- und wieder Einschalten der Spannungsversorgung oder einem Reset automatisch in die Ruheposition fährt. Halten Sie diesen Bereich ebenfalls frei.

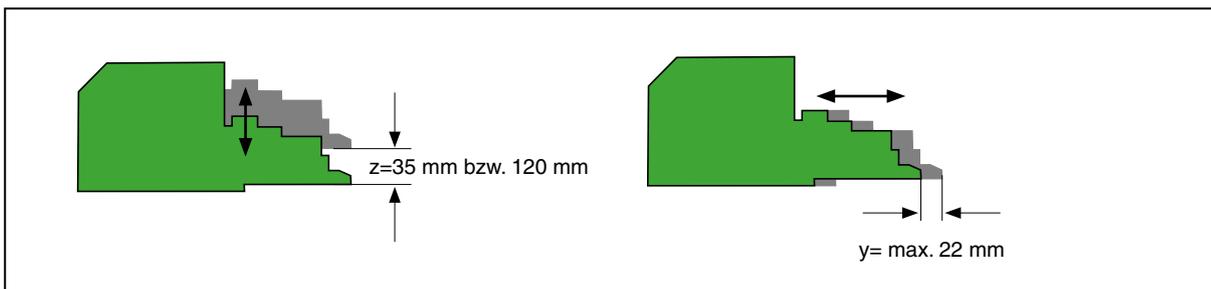


Abb. 5.2: Verfahrbereich des Messkopfes



In der LaserDiagnoseSoftware haben Sie die Möglichkeit, den Verfahrbereich des FocusMonitor zu beschränken (siehe Kapitel 11.1.1 auf Seite 41).

### ACHTUNG

#### Beschädigungsgefahr/Brandgefahr

Der Laserstrahl muss nach dem Passieren des Messgerätes vollständig absorbiert werden. Schamottesteine oder andere teilabsorbierende Oberflächen sind ungeeignet!

- ▶ Verwenden Sie einen geeigneten Absorber. PRIMES bietet, je nach Anwendung, passende Absorber an, z. B. den PowerMonitor.

### ACHTUNG

#### Beschädigungsgefahr des Absorbers

Trifft der fokussierte Laserstrahl auf den Absorber, kann dieser zerstört werden.

- ▶ Achten Sie auf ausreichenden Abstand zwischen dem FocusMonitor und Absorber (die maximal zulässige Leistungsdichte des Absorbers darf nicht überschritten werden).

## 5.3 Einbaulage

### 5.3.1 FocusMonitor

Sie können das Messgerät in zwei Lagen einbauen (siehe Abb. 5.3). In der vorgesehenen Standardlage mit Strahleinfall von oben (Darstellung A) oder „über Kopf“ mit Strahleinfall von unten (Darstellung B). Bei begrenzter Zugänglichkeit haben Sie auch die Möglichkeit, die Messspitze um 180 Grad zu drehen (siehe Kapitel „15.3 Messspitze am FocusMonitor montieren“ auf Seite 91). Dann können Sie auch in der Überkopf-Position einen von oben einfallenden Strahl vermessen (Darstellung C).

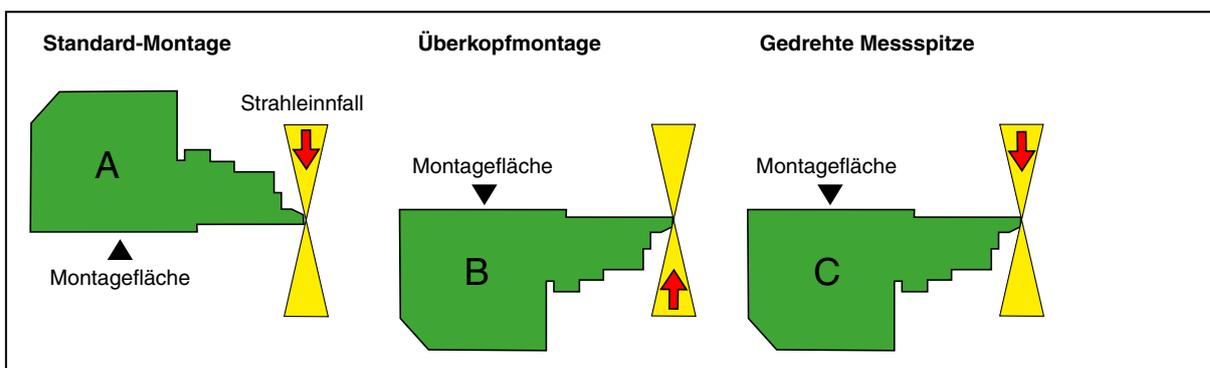


Abb. 5.3: Einbaumöglichkeiten des FocusMonitor

Um Transportschäden zu vermeiden, wird die Messspitze demontiert geliefert. Sie wird mit der gewölbten Seite zur Strahlquelle zeigend eingebaut (siehe Abb. 5.4). Weitere Hinweise zur Montage der Messspitze finden Sie in Kapitel 15.3 auf Seite 91.



Abb. 5.4: Orientierung der Messspitze beim Einbau



Für den Betrieb mit horizontalem Strahleinfall können Geräte ab Baujahr 2009 auch auf einer senkrechten Montagefläche befestigt werden. Bei älteren Geräten ist dies nur mit der Option „Kugelgewindetrieb für die z-Achse“ möglich, da die früheren Standard-z-Achsen mit Trapezgewinde ein zu großes Spiel aufweisen.

### 5.3.2 BeamMonitor

Der BeamMonitor kann horizontal oder vertikal eingebaut werden.

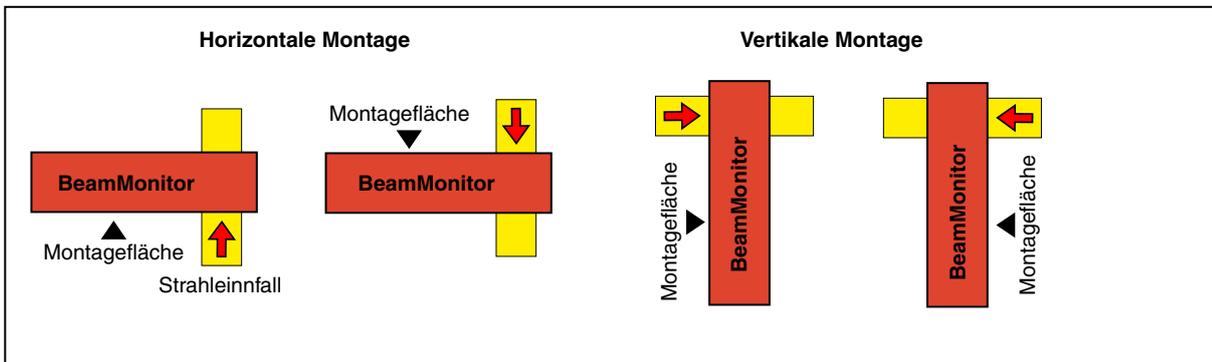


Abb. 5.5: Einbaumöglichkeiten des BeamMonitor

## 5.4 Ausrichten

Für beide Messgeräte muss ein senkrechter Strahleinfall bezüglich der x-y-Ebene sichergestellt sein.

### 5.4.1 FocusMonitor

#### VORSICHT

**Verletzungsgefahr durch rotierende oder sich bewegende Bauteile**

Durch die Linearbewegung von Horizontal- und Vertikalschlitten und die rotierende Drehscheibe besteht im Messbetrieb Verletzungsgefahr.

- ▶ Richten Sie den FocusMonitor nur bei ausgeschalteter Spannungsversorgung und nicht mehr rotierender Messspitze aus.

Die vertikale Ausrichtung (z-Achse) ist hauptsächlich von der erwarteten Fokusebenenlage abhängig. Der maximale vertikale Hub des Messgerätes beträgt je nach Ausführung 35 mm oder 120 mm. Der Strahlfokus sollte in der Mitte des Verfahrbereichs der z-Achse liegen. Je nach Gerätetyp sind das ca. 17,5 mm beim Standardgerät (35 mm Hub) oberhalb der Ruheposition der z-Achse oder ca. 60 mm bei Geräten mit 120 mm Hub (siehe Abb. 5.6).

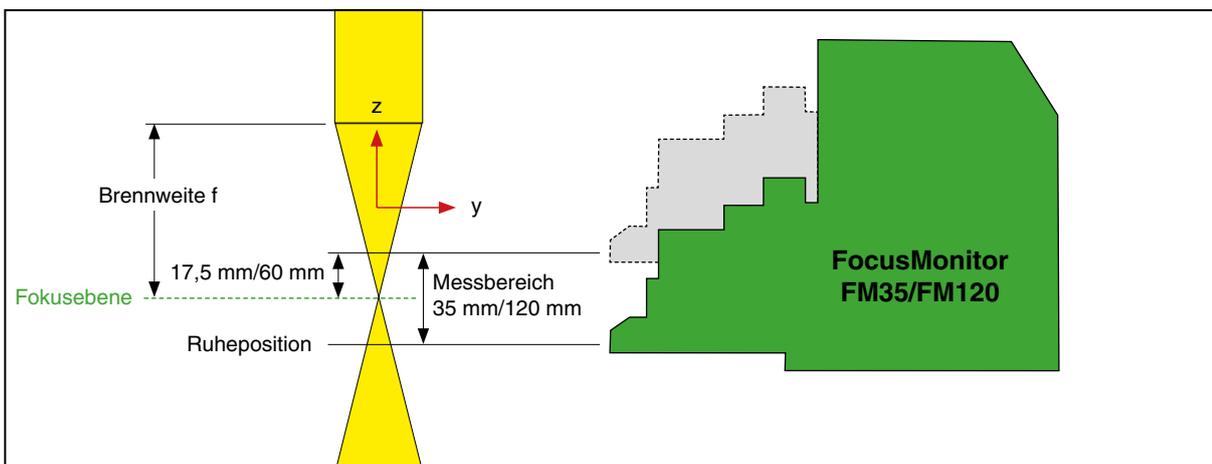


Abb. 5.6: Messbereiche FM35/FM120

Für eine problemlose Ausrichtung (x-y-Ebene) zum Laserstrahl ist jedem Gerät eine Einrichtblende beigelegt. Je nach Geräteausführung unterscheiden sich die Einrichtabstände und somit auch die Blenden.

Die Einrichtblende wird an den Messkopf angelegt und das Gerät so ausgerichtet, dass der Pilotstrahl durch die kleine Bohrung der Blende hindurchgeht (siehe Abb. 5.7).

## ACHTUNG

### Beschädigungsgefahr der Messspitze

Trifft der Laserstrahl auf die in Ruheposition stehende Messspitze, kann diese zerstört werden.

- **Bewegen Sie nach der Montage die Messspitze aus der Messzone.**

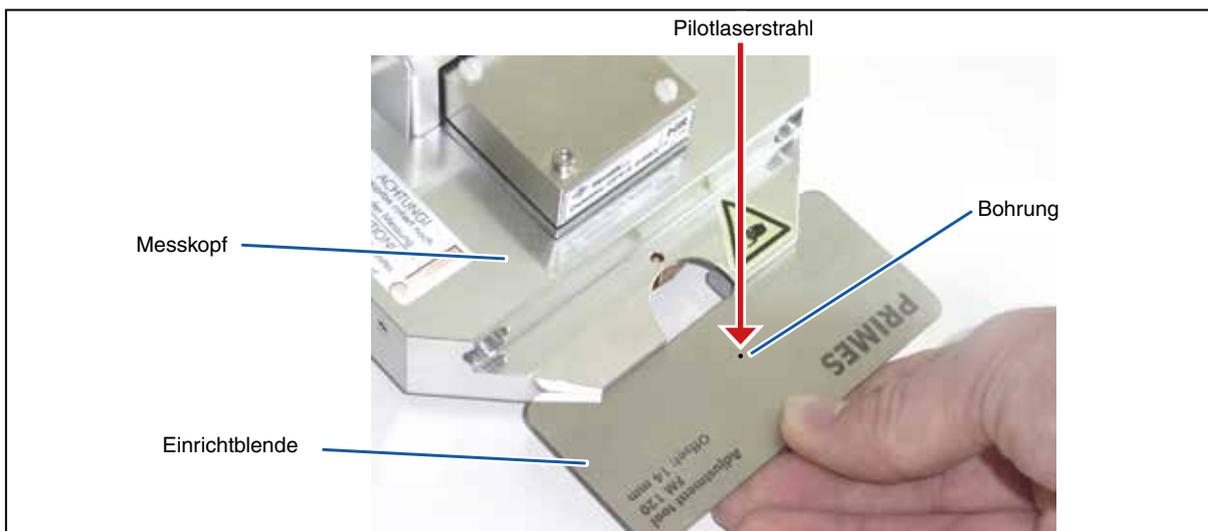


Abb. 5.7: Einrichtblende am Messkopf des FocusMonitor FM120



Nach jedem Einschalten der Versorgungsspannung fährt der FocusMonitor nach 5 bis 12 Sekunden in die Ruheposition (unterste z-Position).

### 5.4.2 BeamMonitor

Der BeamMonitor muss richtig positioniert und stabil aufgestellt werden. Der Strahl muss die Messapertur senkrecht mittig treffen.



## VORSICHT

### Verletzungsgefahr

Ist das Verhältnis von Laserstrahldurchmesser zum Aperturdurchmesser zu groß, kann im Messbetrieb Streustrahlung entstehen.

- **Der Laserstrahldurchmesser darf das 0,7-fache des Aperturdurchmessers nicht überschreiten.**

Wir empfehlen, besonders bei Strahlen hoher Strahlqualität, kleiner 0,6 zu bleiben. Anderenfalls sind Verfälschungen der Messergebnisse durch Abschneiden von Randfeldern zu erwarten. Insbesondere bei der Radiusbestimmung nach der 2. Momentenmethode sind Probleme möglich. Außerdem besteht die Gefahr, dass sich das Gehäuse aufheizt.

## 5.5 Befestigen



### WARNUNG

#### Verletzungsgefahr durch Laserstrahlung

Wird das Messgerät aus der eingemessenen Position bewegt, kann im Messbetrieb vermehrt Streustrahlung entstehen.

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

### 5.5.1 FocusMonitor

In der Montagefläche des Gehäuses befinden sich sechs Durchgangsbohrungen  $\varnothing 6,6$  mm und zwei Passbohrungen  $\varnothing 6^{G7}$  mm für die Befestigung auf einer kundenseitigen Halterung. Befestigen Sie das Gehäuse mit mindestens 4 Schrauben M6.

Die Gesamtlänge der Schrauben ist von den Dimensionen der kundenseitigen Halterung abhängig.

Die bemaßte Anordnung der Befestigungsbohrungen finden Sie in Kapitel 20.1 auf Seite 98 bis Seite 105.

### 5.5.2 BeamMonitor

### ACHTUNG

#### Beschädigungsgefahr durch zu lange Befestigungsschrauben

Durch zu lange Schrauben können innenliegende Bauteile beschädigt werden.

- ▶ **Die maximale Einschraubtiefe in das Gerätegehäuse beträgt 10 mm.**

In der Montagefläche des Gehäuses befinden sich vier Gewindebohrungen M6 für die Befestigung auf einer kundenseitigen Halterung. Befestigen Sie das Gehäuse mit mindestens 4 Schrauben.

Die Gesamtlänge der Schrauben ist von den Dimensionen der kundenseitigen Halterung abhängig.

Die bemaßte Anordnung der Befestigungsbohrungen finden Sie in Kapitel 20.6 auf Seite 107.

## 6 Elektrischer Anschluss

Der FocusMonitor und der BeamMonitor benötigen für den Betrieb eine Versorgungsspannung von  $24\text{ V} \pm 5\%$  (DC). Ein passendes Netzteil gehört zum Lieferumfang. Die Versorgungsspannung und die Daten werden über den PRIMES-Bus übertragen. Die Datenübertragung basiert auf einem RS485-Bussystem. Benutzen Sie zur Verbindung des Netzteils mit dem lokalen Stromnetz nur Kabel mit einem Schutzleiter.

### ACHTUNG

#### Beschädigungsgefahr durch Überspannung

Die Versorgungsspannung von 24 V wird über den RS485-basierten PRIMES-Messbus übertragen. Bei direktem Anschluss der Geräte an die serielle RS232-Schnittstelle des PCs kann dieser beschädigt werden!

- ▶ Schließen Sie die Geräte nur über den PRIMES-Schnittstellenkonverter oder das PRIMES-Netzteil mit integriertem Konverter an den PC an.

Für die Kommunikation mit dem PC wird der PRIMES-RS485/RS232-Konverter benötigt, alternativ bietet PRIMES ein Netzteil mit integriertem Konverter an.

Beim PC-Anschluss über die USB-Schnittstelle benötigen Sie zusätzlich den RS232/USB-Adapter. Dieser ist ebenfalls Teil des Lieferumgangs und für die Anwendung erprobt.



Bevor Sie den PC über die USB-Schnittstelle anschließen, müssen Sie den Treiber für den RS232/USB-Adapter installieren (siehe „Software installieren“ auf Seite 29).

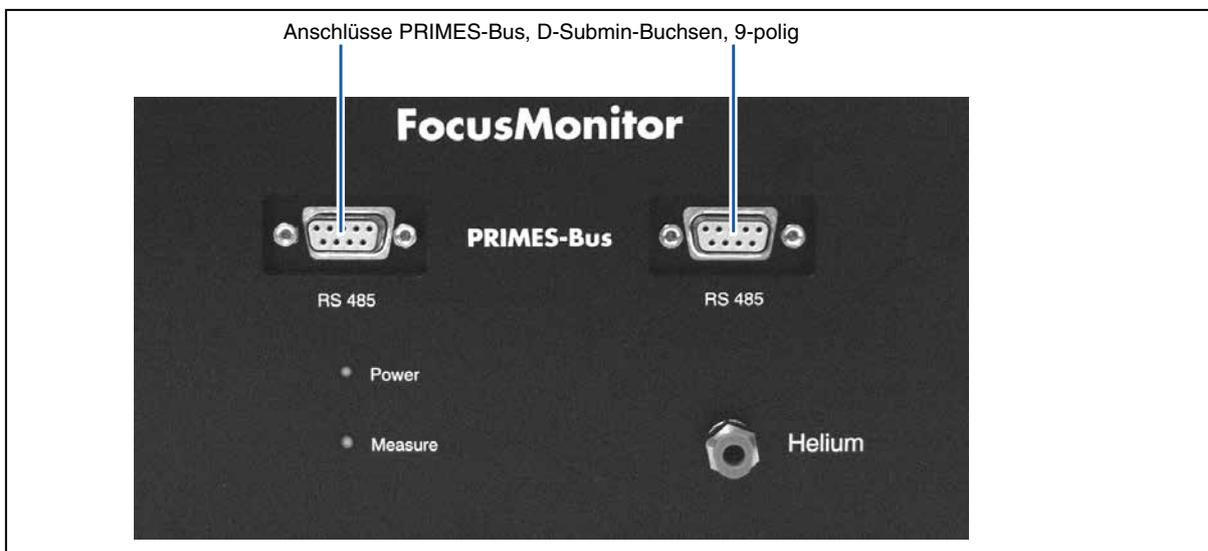


Abb. 6.1: Anschlüsse des FocusMonitor



Bitte stellen Sie erst alle elektrischen Verbindungen her und schalten Sie das Gerät ein, bevor Sie die Software starten!

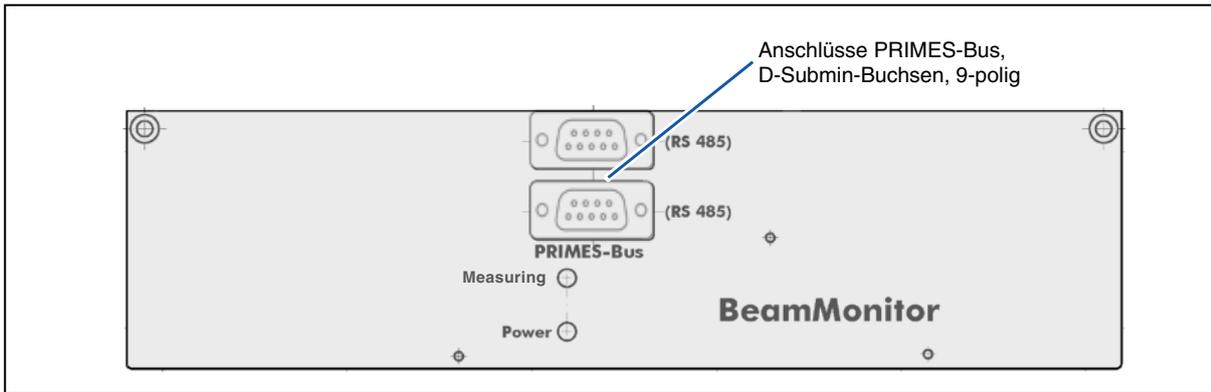


Abb. 6.2: Anschlüsse des BeamMonitor



Beide Buchsen haben am BeamMonitor und FocusMonitor die gleiche Belegung.

Polbild D-Sub-Buchse, 9-polig (Ansicht Steckseite)		
	Pin	Funktion
	1	GND
	2	RS 485 (+)
	3	+24 V
	4	Trigger RS 485 (+)
	5	Nicht belegt
	6	GND
	7	RS 485 (-)
	8	+24 V
	9	Trigger RS 485 (-)

Tab. 6.1: D-Submin-Buchse, PRIMES-Bus

Falls Sie selbstkonfektionierte Kabel verwenden möchten, beachten Sie bitte folgendes:

- Die Kabellänge vom Netzteil zum Messgerät darf maximal 2 m betragen, da sonst der Spannungsabfall am Kabel zu groß wird.
- Wegen der Störanfälligkeit einer RS232-Verbindung darf die Kabellänge zwischen Konverter und PC ebenso maximal 2 m betragen.

Zusätzlich beim Netzteil **mit** integriertem Konverter:

- Die Kabellänge vom Netzteil zum Messgerät darf standardmäßig maximal 2 m betragen. Bei größeren Entfernungen bis max. 10 m verwenden Sie bitte das PRIMES-Spezialkabel mit größeren Aderquerschnitten (siehe Abb. 6.5 auf Seite 25).

### Triggerausgang (OPTION)

Die Geräte können optional mit einem Triggerausgang (BNC 24 V) geliefert werden. Das Triggersignal ist mit der Rotation der Messspitze gekoppelt und kann so bei gepulsten Lasern zur Synchronisierung benutzt werden. Die Polarität, Pulsweite und Verzögerung des Triggersignals sind einstellbar.

## 6.1 Anschluss des FocusMonitor an Standardnetzteil und Konverter, Beispiel

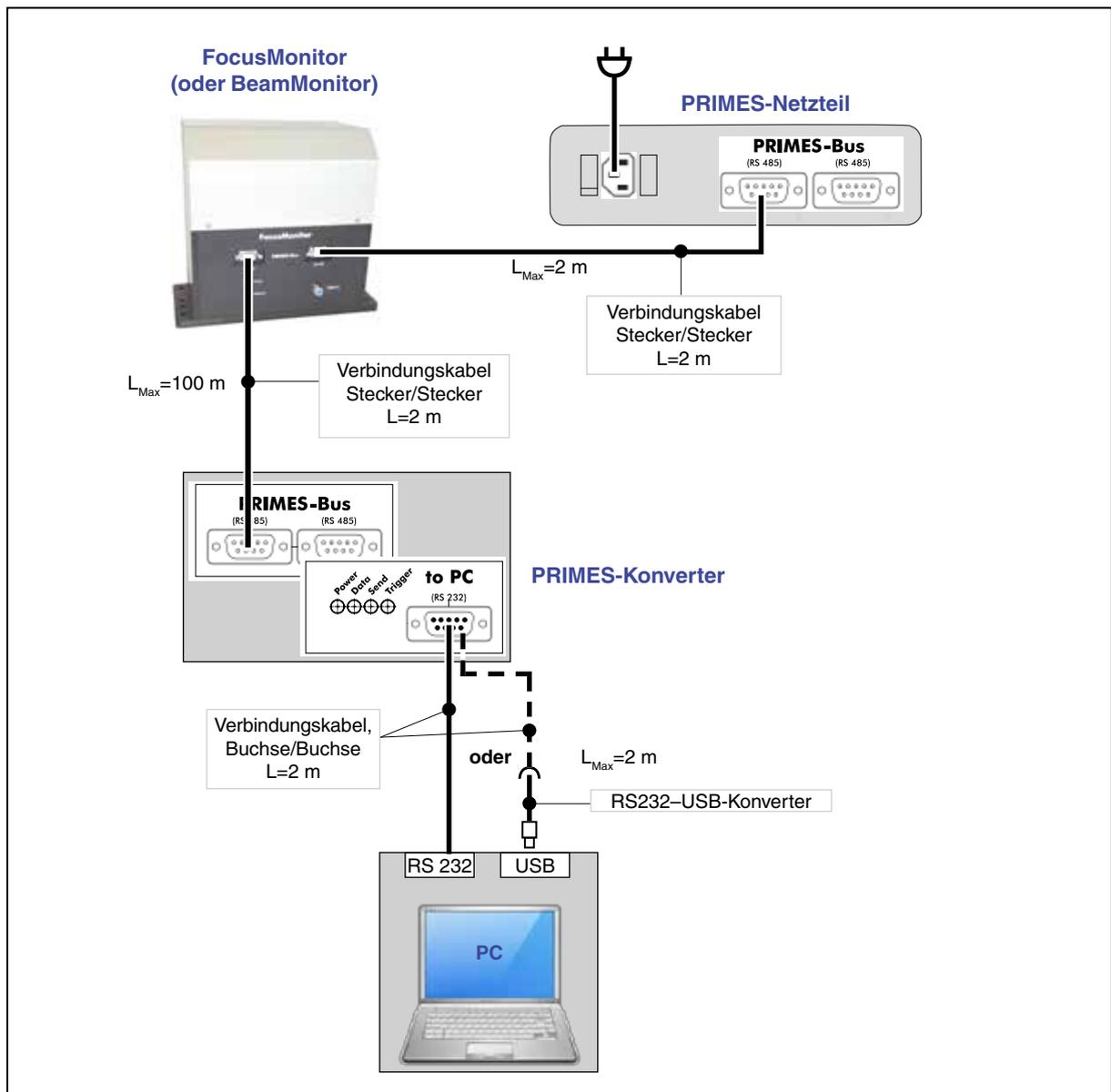


Abb. 6.3: Anschluss mit Standardkabel 2 m

6.2 Anschluss an Standardnetzteil und Konverter (mit Verlängerung 10 m)

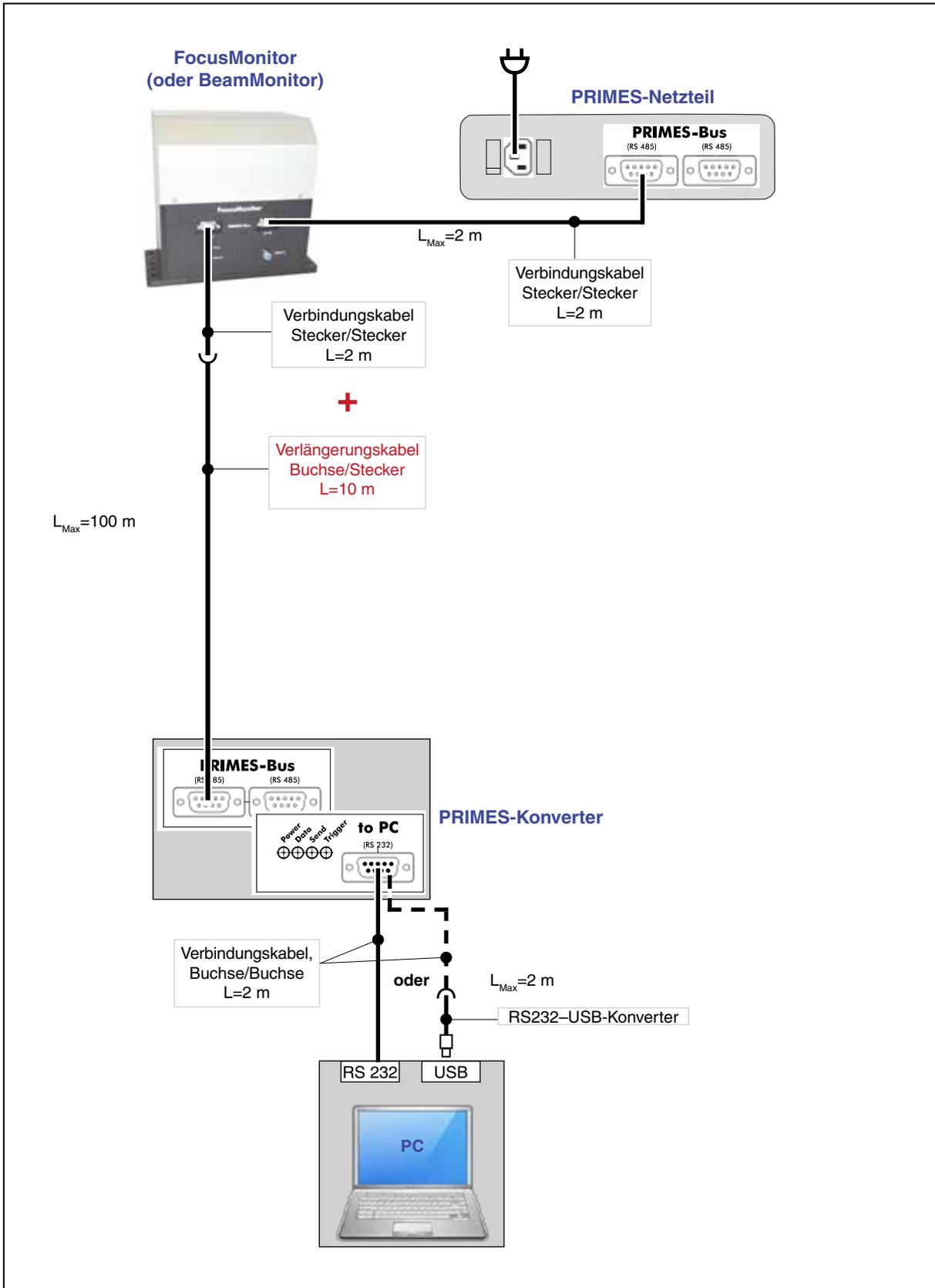


Abb. 6.4: Anschluss mit Standardkabel 2 m und Verlängerung 10 m

### 6.3 Anschluss an Netzteil mit integriertem Konverter (Option)

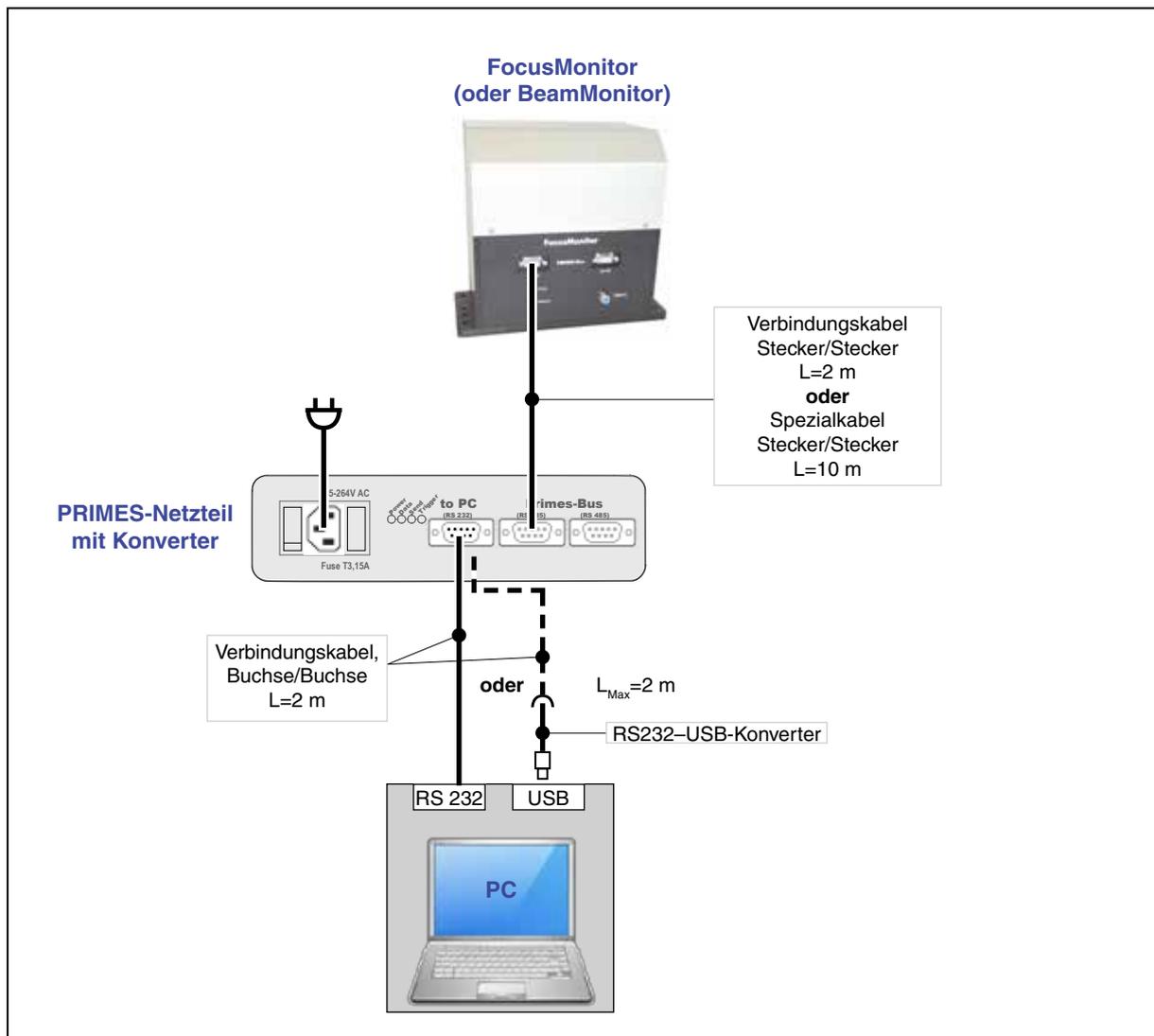


Abb. 6.5: Anschluss mit Standardkabel 2 m oder Spezialkabel 10 m

6.4 Betrieb mehrerer Messgeräte am PRIMES-Bus

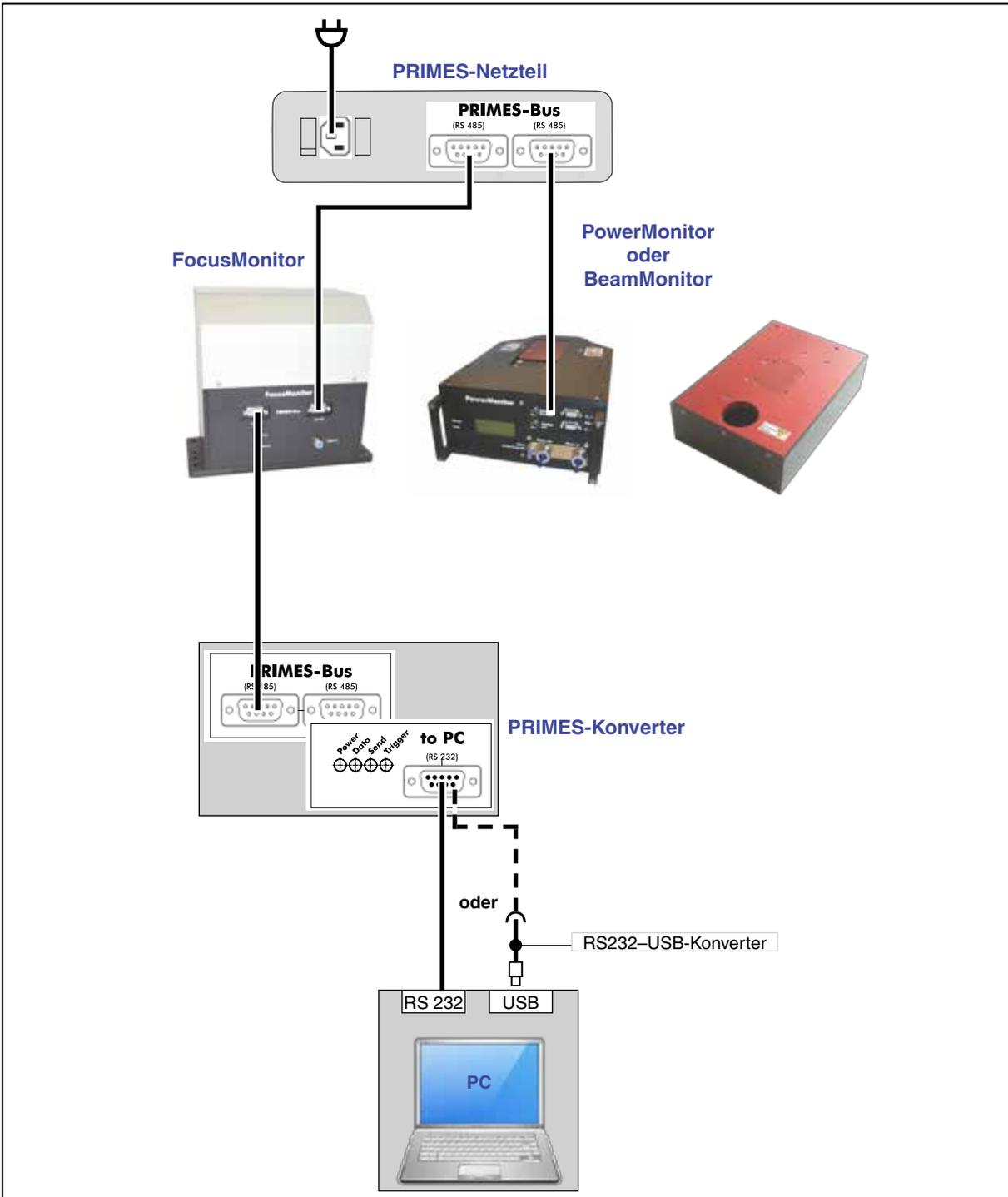


Abb. 6.6: Beispiel für den Anschluss von zwei Geräten



Verwenden Sie bei Anschluss mehrerer Geräte immer nur **ein** Netzteil für die Spannungsversorgung (typischerweise PRIMES-Netzteil 101-005-001).

## ACHTUNG

### Beschädigungsgefahr durch Überspannung

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

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



Wenn Sie am PRIMES-Bus weitere Geräte hinzufügen, müssen Sie einen **Geräte suchen-**Zyklus starten (LDS-Menü Kommunikation).

## 7 Schutzgasanschluss ▶FM◀

Beim Messen sehr großer Leistungsdichten ( $\text{CO}_2 > 15\text{-}20 \text{ MW/cm}^2$ ; YAG  $> 5 \text{ MW/cm}^2$ ) ist es möglich, dass auf der Oberfläche der Messspitze ein Plasma gezündet wird. Dies kann zur Zerstörung der Messspitze führen (siehe auch Kapitel 15.1 auf Seite 89 und Kapitel 15.2 auf Seite 90). Deshalb ist in den Geräten mit Hochleistungserweiterung ein entsprechender Schutzgasanschluss integriert (siehe Abb. 7.1).

## ACHTUNG

### Beschädigungsgefahr

Die Auswirkungen eines kundenseitigen unkontrollierten Gasstroms (z. B. Prozessgas) können die Messung verfälschen oder sogar das Gerät schädigen.

- ▶ Verwenden Sie als Schutzgas nur Helium, Stickstoff oder Argon am dafür vorgesehenen Anschluss. Der Druck darf maximal 0,5 bar betragen.

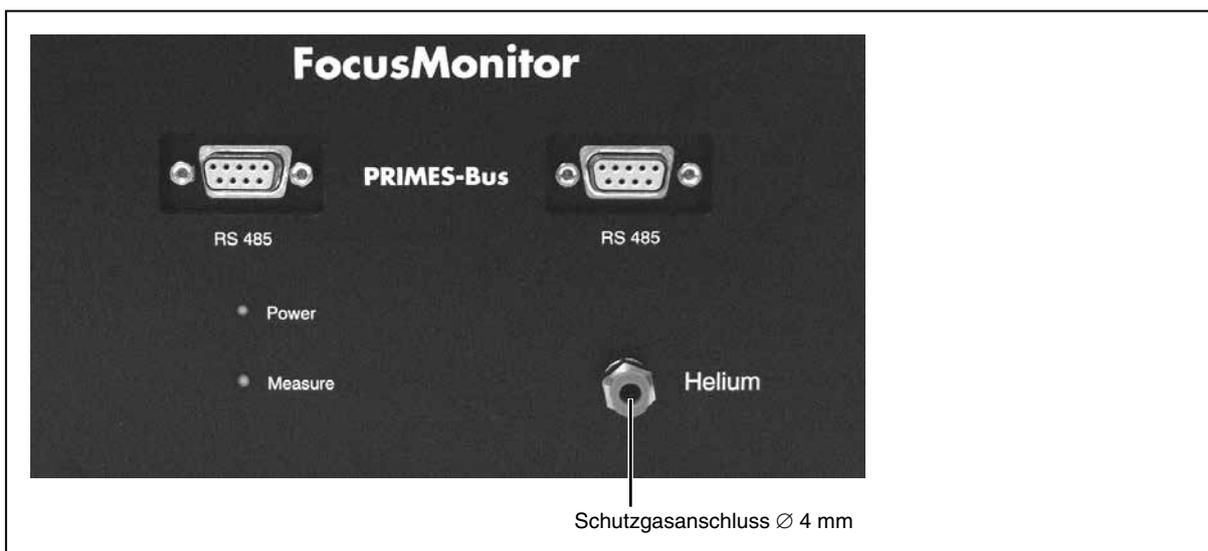


Abb. 7.1: Schutzgasanschluss am FocusMonitor (HP-Version)

## 8 Statusanzeige an den Geräten

### 8.1 FocusMonitor/BeamMonitor

Am Gerät befinden sich zwei Status-LEDs.

Bezeichnung	Farbe	Bedeutung
Power	Grün	Spannung (24 V) liegt an
Measure	Gelb	Messung läuft

### 8.2 Konverter

Der **PRIMES**-Konverter besitzt vier LEDs, die den aktuellen Status des Systems anzeigen. Diese Signale helfen, den Status des Systems zu überwachen, insbesondere im Falle der Fehlfunktion eines Gerätes.

Bezeichnung	Farbe	Bedeutung
Power	Rot	Spannung (24 V)
Data	Grün	Geräte senden Daten auf dem Bus
Send	Rot	PC sendet Daten auf dem Bus
Trigger	Gelb	Triggersignal (nur für Servicezwecke)

### 8.3 Netzteil mit Konverter (Option)

Das PRIMES-Netzteil mit integriertem Konverter besitzt vier LEDs, die den aktuellen Status des Systems anzeigen. Diese Signale helfen, den Status des Systems zu überwachen, insbesondere im Falle der Fehlfunktion eines Gerätes.

Bezeichnung	Farbe	Bedeutung
Power	Rot	Spannung (24 V)
Data	Grün	Geräte senden Daten auf dem Bus
Send	Rot	PC sendet Daten auf dem Bus
Trigger	Gelb	Triggersignal (nur für Servicezwecke)

## 9 Software

Für den Betrieb der Messgeräte muss auf dem PC die „PRIMES-LaserDiagnoseSoftware“ (LDS) installiert werden. Das Programm befindet sich auf dem mitgelieferten Datenträger.

### 9.1 Systemvoraussetzungen

Betriebssystem:	Windows® XP/Vista/7
Prozessor:	Intel® Pentium® 1 GHz (oder vergleichbarer Prozessor)
Benötigter Festplattenspeicher:	15 MB
Monitor:	19“ Bildschirmdiagonale empfohlen, Auflösung min. 1024x768



Deaktivieren Sie beim Betrieb auf einem Notebook alle Stromsparfunktionen. Anderenfalls können Probleme bei der schnellen seriellen Datenübertragung auftreten.

### 9.2 Software installieren

Die Software wird menügesteuert von dem mitgelieferten Datenträger installiert. Starten Sie die Installation durch Doppelklick auf die Datei „Setup LDS v.2.97.exe“ und folgen Sie den Anweisungen. Den eventuell benötigten Treiber für den USB/Seriell-Konverter können Sie über das LDS-Setup mitinstallieren, die beigelegte CD des Herstellers brauchen Sie in diesem Fall nicht.



Wenn Sie das Messgerät über eine USB-Schnittstelle anschließen, müssen Sie auch den Treiber für den USB/Serial-Konverter installieren (siehe Abb. 9.1). Schließen Sie den USB-Adapter erst nach der Treiberinstallation an den PC an.

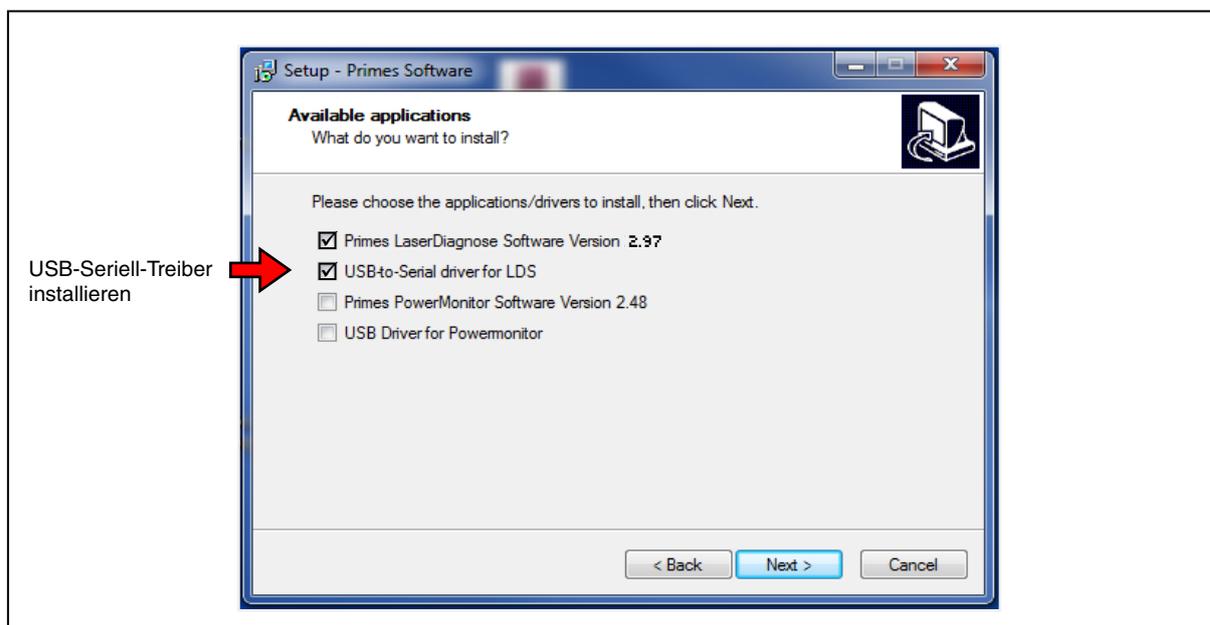


Abb. 9.1: Setup der PRIMES-Software

Die Installationssoftware schreibt das Hauptprogramm „LaserDiagnoseSoftware.exe“ – falls nicht anders spezifiziert – ins Verzeichnis „Programme/PRIMES/LDS“. Darüber hinaus wird auch die Einstellungsdatei „laserds.ini“ in dieses Verzeichnis kopiert.

In der Datei „laserds.ini“ sind die Einstellungsparameter für die Messgeräte hinterlegt.



Prüfen Sie im Windows®-Geräte manager (Systemsteuerung>>Geräte manager), ob die neue virtuelle COM-Anschlussnummer für den USB-Anschluss im Bereich von 1 bis 6 liegt. Falls nicht, müssen Sie diese nachträglich ändern, weil es sonst zu Kommunikationsproblemen zwischen Messgerät und PC kommen kann (siehe Kapitel 9.2.1).

### 9.2.1 COM-Anschlussnummer ändern

1. Öffnen Sie den Geräte manager (Systemsteuerung>>Geräte manager) und doppelklicken Sie auf das Verzeichnis „Anschlüsse“. Unter dem Eintrag „Prolific USB-to-Serial Comm Port“ finden Sie die Anschlussnummer (in Abb. 9.2 „COM6“).

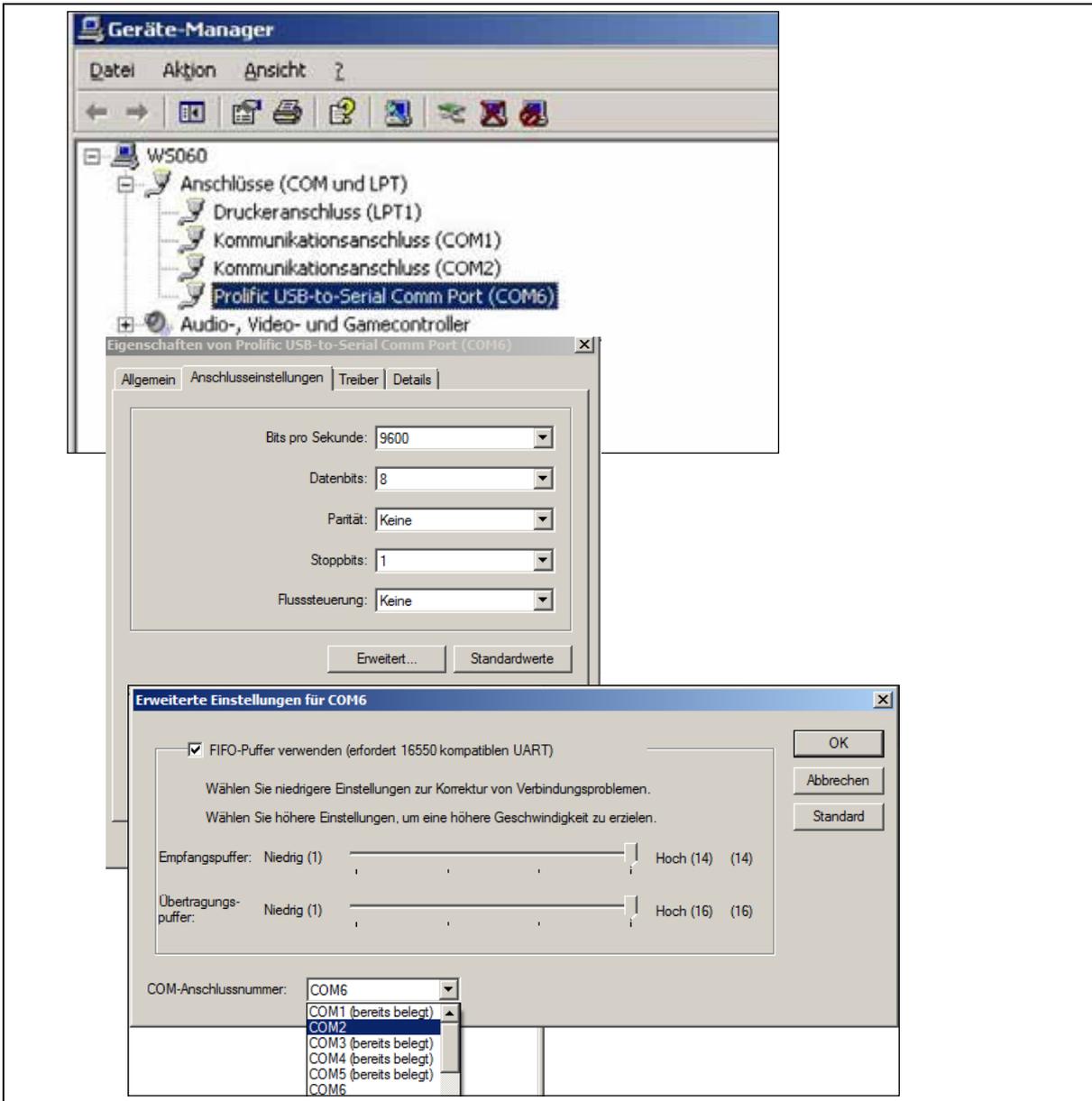


Abb. 9.2: Anschlusseinstellungen im Geräte manager

2. Wählen Sie die neue Schnittstelle aus und öffnen Sie mit der rechten Maustaste die Eigenschaften.
3. Wählen Sie das Register „Anschlusseinstellungen“, klicken Sie auf die Schaltfläche „Erweitert“ und wählen Sie die gewünschte Anschlussnummer aus.
4. Bestätigen Sie die Einstellungen und schließen Sie alle Fenster.



Verwenden Sie bitte immer den selben USB-Anschluss, da sich sonst die COM-Anschlussnummer ändern kann.

Weitere Informationen zum USB/Seriell-Konverter finden Sie unter: <http://www.prolific.com.tw>

### 9.3 Software starten



Starten Sie die Software erst, wenn die Geräte verkabelt und eingeschaltet sind.

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

#### 9.3.1 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. 9.3: Startfenster der LaserDiagnoseSoftware

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
<b>Text</b>	Kennzeichnet Menüpunkte. Beispiel: Dialogfenster <b>sensorparameter</b>
<b>Text1&gt;&gt;Text2</b>	Kennzeichnet die Navigation zu bestimmten Menüpunkten. Die Reihenfolge der Menüs wird durch das Zeichen „>>“ dargestellt. Beispiel: <b>Darstellung&gt;&gt;Übersicht</b>
<b>Text</b>	Kennzeichnet Schaltflächen, Optionen und Felder. Beispiel: Mit der Schaltfläche <b>Start ....</b>

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

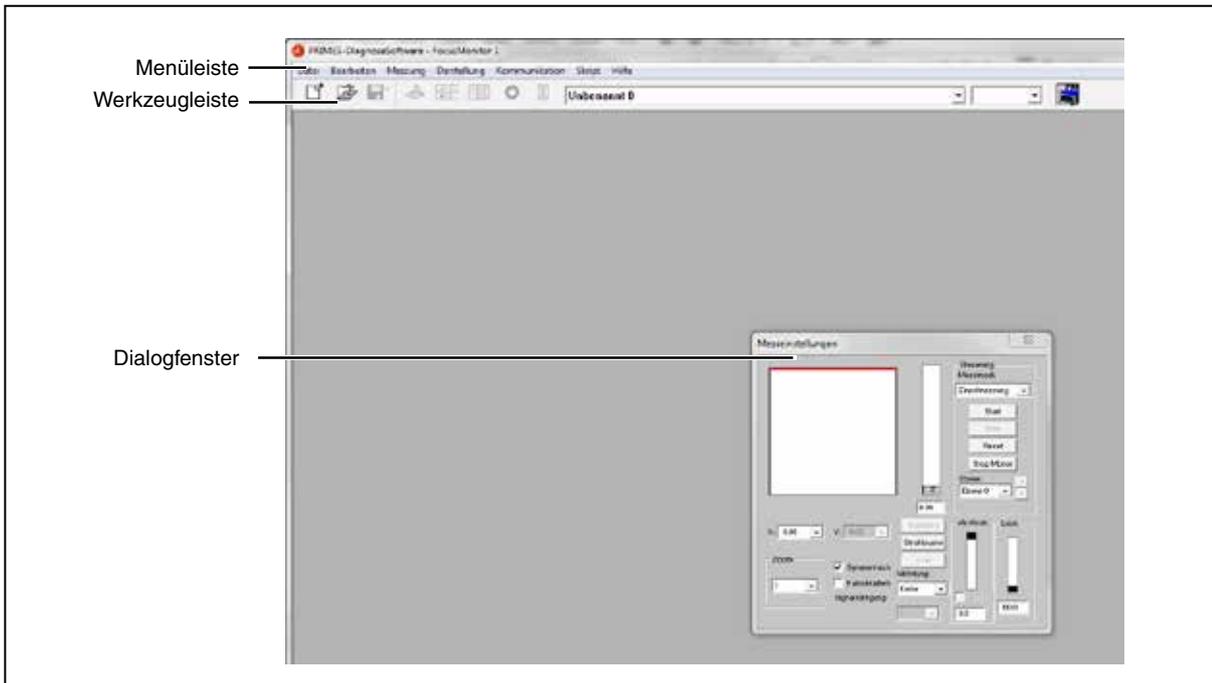


Abb. 9.4: Die wichtigsten Elemente der Benutzeroberfläche

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 überschrieben, sobald Sie ein neues Fenster öffnen.

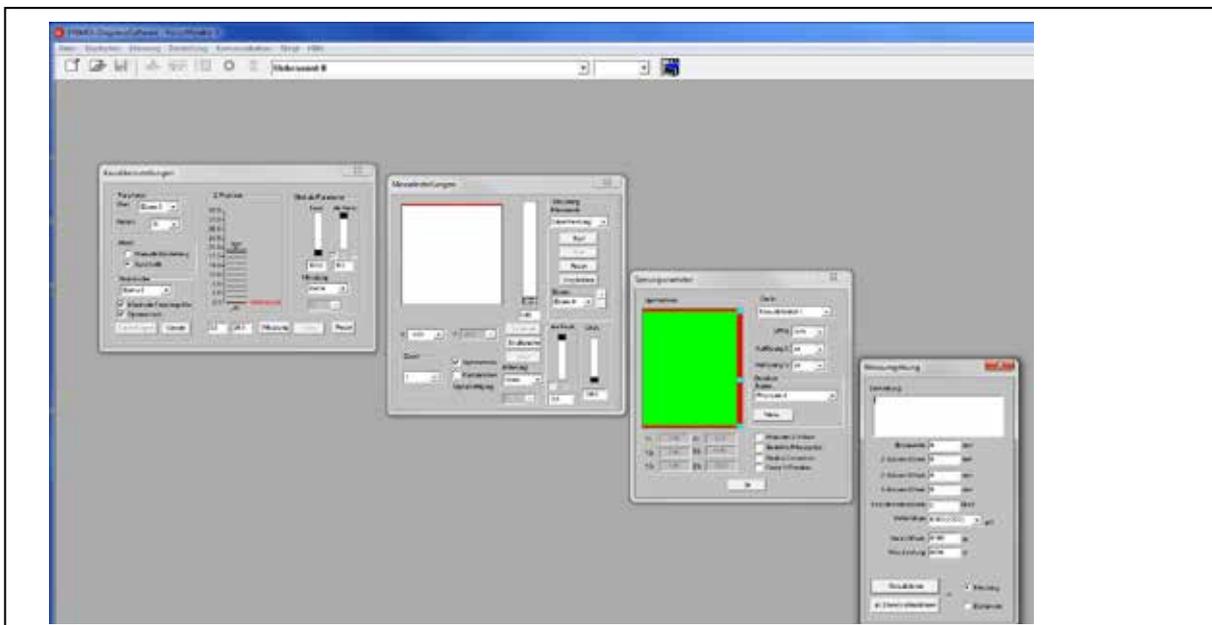
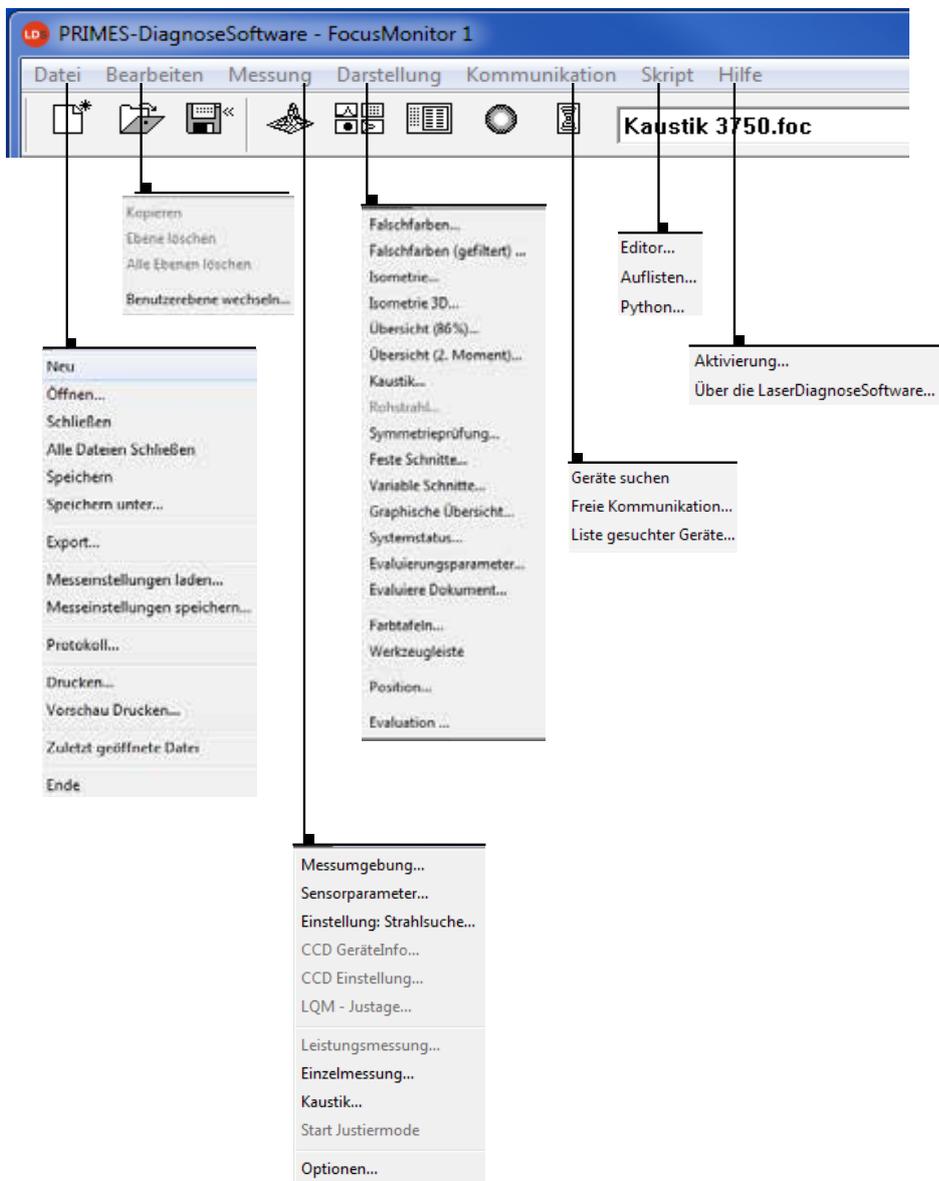


Abb. 9.5: Die wichtigsten Dialogfenster

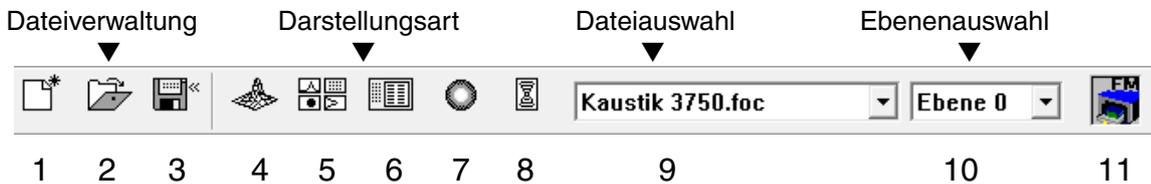
### Die Menüleiste

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



## Die Werkzeugleiste

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



- 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 (siehe auch Kapitel „11.2 Darstellung und Dokumentation der Messergebnisse“ auf Seite 57).



Nur das in der Werkzeugleiste ausgewählte Gerät ist bereit zur Messung.

### Beispiel:

Ein FocusMonitor und ein PowerMonitor sind über den PRIMES-Bus miteinander verbunden. Beide Geräte werden eingeschaltet und die LaserDiagnoseSoftware gestartet.

Dann wird das Symbol des zuerst am Bus gefundenen Gerätes aktiviert, z. B. des FocusMonitor. Für eine Leistungsmessung mit dem PowerMonitor reicht es, auf das Gerätesymbol (PM) in der Werkzeugleiste zu klicken. Dann können Sie unter `Messung>>Leistungsmessung` die Leistungsmessung aktivieren.



Abb. 9.6: Aktivieren des PowerMonitor für eine Leistungsmessung

### 9.3.2 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 die Druckvorschau.
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, zum Beispiel: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Referenzwert für die Laserleistung</li> <li>- Brennweite</li> <li>- Wellenlänge</li> <li>- Bemerkungen</li> </ul>
Sensorparameter	Folgenden Geräteparameter können hier z. B. eingestellt werden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- die räumliche Auflösung</li> <li>- die mechanischen Bewegungsgrenzen in z-Richtung</li> <li>- Auswahl eines der am Bus angeschlossenen Messgeräte</li> <li>- die manuelle Einstellung der z-Achse</li> </ul>
LQM-Justage	Für FocusMonitor und BeamMonitor nicht relevant
Einstellung Strahlsuche	Einstellungen der Parameter für die Strahlsuche. Nur für FocusMonitor relevant.
CCD Geräte-Info	Für FocusMonitor und BeamMonitor nicht relevant
CCD Einstellungen	Für FocusMonitor und BeamMonitor nicht relevant
Leistungsmessung	Öffnet das Messfenster Leistungsmessung.
Einzelmessung	Dieser Menüpunkt ermöglicht den Start von Einzelmessungen, des Monitorbetriebes und dem Videomode.

Kaustik...	Ermöglicht den Start einer Kaustikvermessung. 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 müssen eingegeben werden.
Start Justiermode	Startet einen speziellen Monitorbetrieb optimiert zum Einsatz des <b>BeamMonitor</b> bei der Justage von Laserresonatoren
Optionen	Ermöglicht die Einstellung von speziellen Geräteparametern (nur für erfahrene Anwender).

### 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 mit räumlicher Drehung sowie eine optionale Isophotendarstellung
Übersicht (86%)...	Numerischer Übersicht der Messergebnisse in den verschiedenen Ebenen basierend auf der 86 % Strahlradiusdefinition.
Übersicht (2. Moment)...	Numerischer Übersicht der Messergebnisse in den verschiedenen Ebenen basierend auf der 2. Momenten Strahlradiusdefinition.
Kaustik...	Ergebnisse der Kaustikvermessung und die Resultate des Kaustikfits - wie Strahlpropagationsfaktor k, Fokusslage und Fokusradius.
Rohstrahl...	Für FocusMonitor und BeamMonitor nicht relevant
Symmetriepfung...	Analysewerkzeug zur Prüfung der Strahlsymmetrie besonders für die Justage von Laserresonatoren. Kein Standardfeature der Geräte.
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 FocusMonitor und BeamMonitor 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 FM-Messkopfes in eine definierte Position.
Evaluation	Vergleich der Messergebnisse mit festgelegten Grenzwerten und Bewertung (Option)

### Kommunikation

Geräte suchen	Das System sucht den Bus nach den verschiedenen Geräte-adressen 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, die gesucht werden.

### Skript

Editor	Öffnet den Skriptgenerator, ein Werkzeug, um komplexe Messabläufe automatisch zu steuern (mit von PRIMES entwickelten Skriptsprache).
--------	---

Auflisten	Zeigt eine Liste der geöffneten Fenster an.
Python	Öffnet den Skriptgenerator, um komplexe Messabläufe automatisch zu steuern (mit Skriptsprache Python).

#### Hilfe

Aktivierung	Ermöglicht die Freischaltung von Sonderfunktionen
Über die LaserDiagnoseSoftware	Liefert Informationen über die Softwareversion

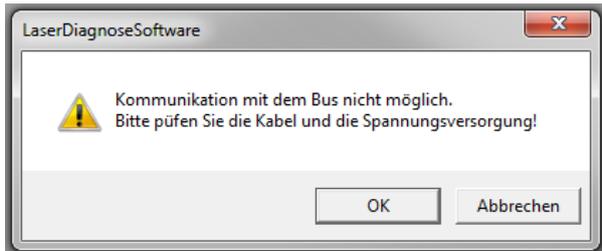
## 10 Kommunikation testen

Nach dem Anschluss der Geräte wird die Kommunikation zwischen dem Rechner und dem Messsystem geprüft. Dazu dient das Software-Menü **Kommunikation**.

### 10.1 Rechnerschnittstelle testen

Starten Sie die LDS auf Ihrem Rechner. Wählen Sie **Kommunikation>>Geräte suchen**

#### Mögliche Fehlermeldung:



#### Ursache:

Spannungsversorgung ist nicht eingeschaltet oder Kabelverbindung ist nicht korrekt.

#### Abhilfe:

- Prüfen Sie die Verkabelung der Geräte
- Ist das System über einen RS232/RS485-Konverter an den Bus angeschlossen, ist meist eine fehlende Spannungsversorgung die Ursache. Kommunikation ist nur möglich, wenn der Bus mit 24 V-Gleichspannung versorgt ist.
- Aus- und Wiedereinschalten der Spannungsversorgung der Geräte.

#### Mögliche Fehlermeldung:



#### Ursache:

Das Programm kann die voreingestellte Schnittstelle nicht öffnen

#### Abhilfe:

- Prüfen Sie, ob eventuell ein anderes Programm, z. B. eine Faxsoftware, die Schnittstelle gerade benutzt. Ein serieller Port kann immer nur von einem Programm genutzt werden.
- Prüfen Sie, ob das Programm den richtigen Port öffnet. Nach Programmstart lässt sich die verwendete Schnittstelle im Menü **Kommunikation>>Freie Kommunikation** ändern. Hier werden zunächst alle für das Programm verfügbaren Schnittstellen angezeigt. Diese Einstellung können Sie auch in der Datei **laserds.ini** im Installations-Verzeichnis der LaserDiagnoseSoftware festlegen. Den gewünschten Standardkanal können Sie im Auswahlfeld **Com Port** wählen.

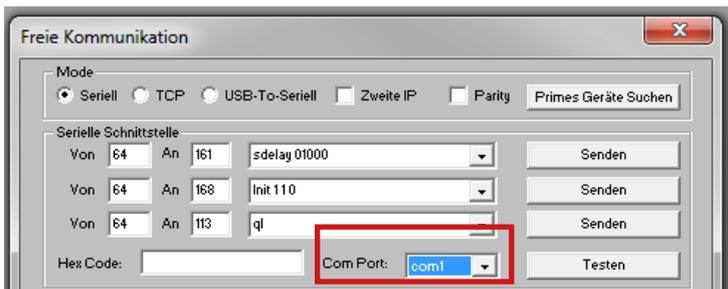


Abb. 10.1: Kanal der seriellen Schnittstelle

Aktivieren Sie:

- **Seriell:** wenn Sie das Messgerät am RS-232-Anschluss des PCs anschließen oder
- **USB-To-Seriell:** wenn Sie das Messgerät am USB-Anschluss des PCs (mit USB/RS-485-Konverter) anschließen

**TCP:** für FM und BM nicht relevant (Anschluss über Ethernet)  
**Zweite IP:** für FM und BM nicht relevant (Anschluss über Ethernet)  
**Parity:** sollte immer deaktiviert sein

### 10.2 Kommunikation mit den Geräten prüfen

Die Kommunikation können Sie über die LDS prüfen. Dazu wird jedem Gerät ein bestimmter Befehl geschickt. Antwortet das Gerät wie in Tab. 10.1 angegebenen, so funktioniert die Kommunikation fehlerfrei.

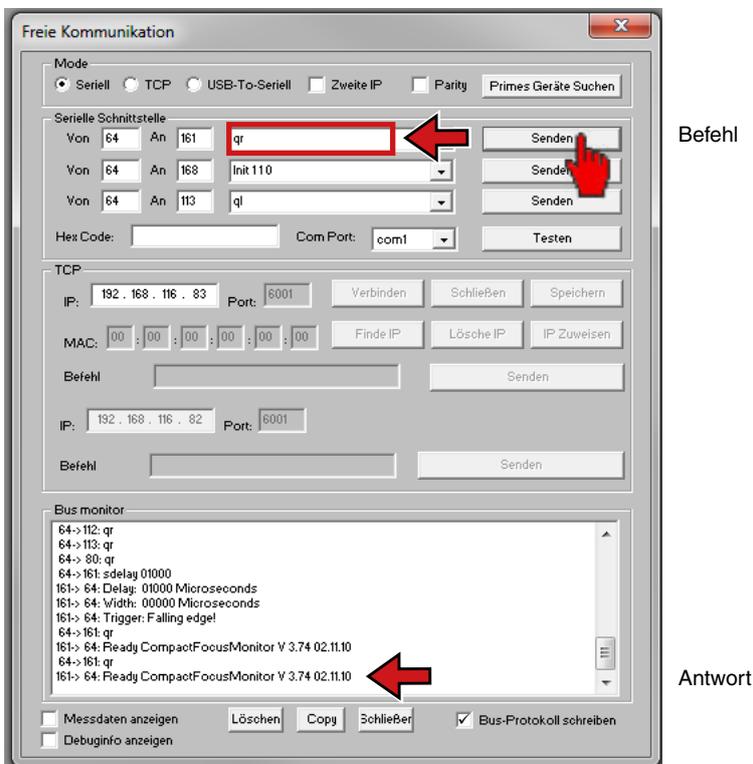


Abb. 10.2: Dialogfenster **Freie Kommunikation**

Wählen Sie **Kommunikation>>Freie Kommunikation**. Im erscheinenden Fenster wird im Feld **VON** die Adresse des Senders (PC), im Feld **AN** die Adresse des Empfängers (PRIMES-Gerät) und in dem Textfeld rechts davon der Befehl eingetragen. Verschicken Sie den Befehl durch anklicken der Schaltfläche

**Senden.** Die Antwort des Gerätes erscheint unten im Busmonitor.

Gerät	VON (PC-Adresse)	AN (Geräteadresse)	Befehl	Antwort
FocusMonitor	64	161	qr	Ready CompactFocusMonitor Vx.x.x.x
BeamMonitor	64	144 oder 145	qr	Ready CompactBeamMonitor

Tab. 10.1: Kommunikationsbefehle und Antworten

Der Befehl für eine Suchabfrage ist **qr** (query request).

Kommt von einem angesprochenen Gerät keine Meldung zurück, können Sie folgende Maßnahmen ergreifen:

- Schalten Sie die 24 V-Spannungsversorgung aus und wieder ein. Senden Sie die Abfrage erneut.
- Prüfen Sie die Verkabelung des Gerätes. Sind alle Stecker angeschlossen und verschraubt?
- Ein Gerät blockiert den PRIMES-Messbus. Schalten Sie die Spannungsversorgung aus und nehmen Sie das fehlerhafte Gerät vom Bus. Nehmen Sie das Restsystem wieder in Betrieb.
- Der Rechner blockiert den Bus. Das erkennen Sie daran, dass die rote LED „Send“ am Schnittstellenkonverter permanent leuchtet. Starten sie den Rechner neu.

### Testen

Mit der Schaltfläche **Testen** prüfen Sie, ob auf ein gesendetes Signal ein Echo zurückkommt. Wenn das PRIMES-System angeschlossen ist, wird das jedoch ebenso generiert wie wenn ein Modem angeschlossen ist.

Wird kein Echo empfangen, so wird die Fehlermeldung „**Kein Echo**“ ausgegeben.

## 11 Softwarefunktionen im Detail

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

### 11.1 Einstellungen

Da die LDS multifunktional für alle PRIMES-Geräte konzipiert ist, sind vor dem Messen einige geräte-spezifische Einstellungen vorzunehmen. Ebenso ist die kundenseitige Anlagen- und Strahlgeometrie zu berücksichtigen.

#### 11.1.1 Sensorparameter

##### Sperrbereich

Bei vielen Laserbearbeitungsanlagen ist der Bewegungsraum für den FocusMonitor durch Düsen oder Andruckrollen begrenzt. Besonders bei Schneidanwendungen ist es zwingend notwendig, die Düse zu demontieren, da sonst die Vermessung des oberen Teils der Kaustik nicht möglich ist.

Falls diese nicht demontiert werden sollen, muss die Bewegung des Messsystems begrenzt werden, um Kollisionen mit den Messgeräten zu vermeiden. Dies ist möglich im Feld **Sperrbereich** des Dialogfensters **Sensorparameter** (siehe Abb. 11.1). Mit den drei Ziehquadrate im Bereichsfenster können Sie den Bewegungsraum in y- und z-Richtung einschränken. Sie können die Werte auch in den darunterliegenden Eingabefeldern numerisch eingeben. Vorgabewerte werden automatisch in der Datei „laserds.ini“ dauerhaft gespeichert.

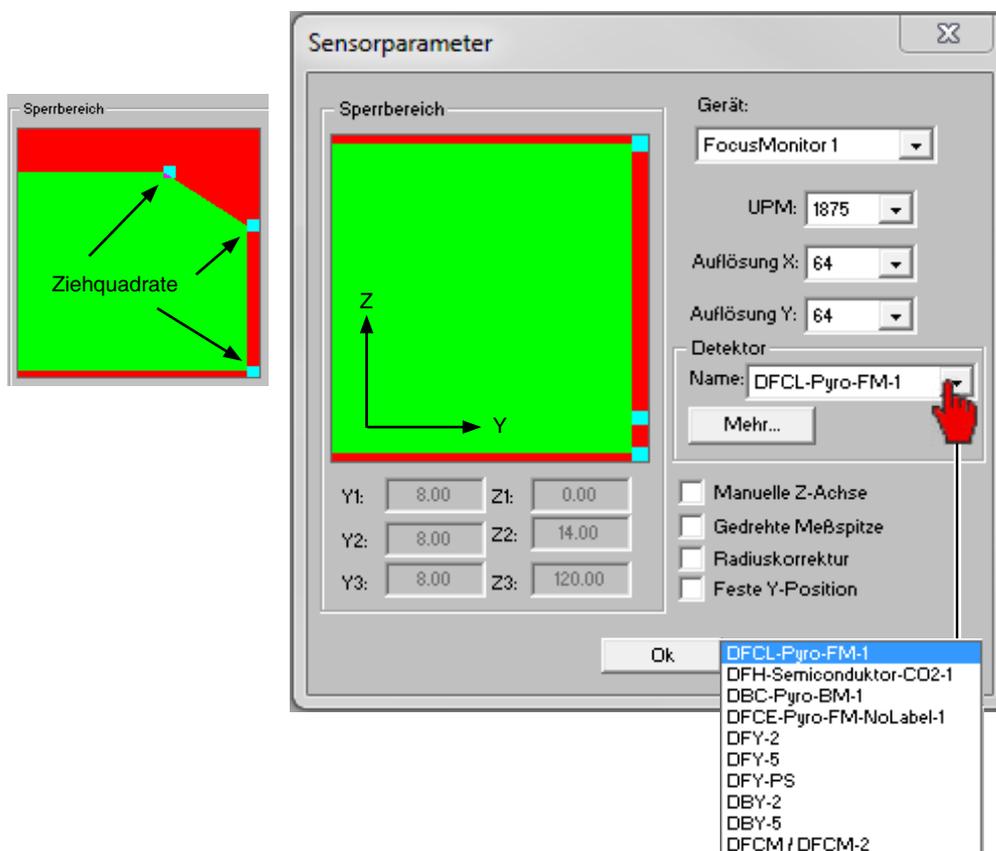


Abb. 11.1: Dialogfenster **Sensorparameter**

## Gerät

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

## UPM (Einstellen der Rotationsgeschwindigkeit)

Für die Arbeit mit hohen und höchsten Leistungsdichten kann beim FocusMonitor die Drehzahl der Messspitze erhöht werden. Der Basiswert ist 1875 Umdrehungen pro Minute. Für hohe Leistungsdichten können Sie mit  $3750 \text{ min}^{-1}$  und für höchste – bei vielen Geräten sogar mit  $7500 \text{ min}^{-1}$  – arbeiten. Optional sind auch weitere Drehzahlen möglich.



Wenn Sie die Auflösung oder die Drehzahl ändern, müssen Sie einen Reset-Zyklus auslösen, damit die Einstellungen vom Gerät übernommen werden.

## Auflösung

Mögliche Einstellungen:

- 32 x 32 bis 256 x 128 beim **BeamMonitor**
- 32 x 32 bis 256 x 256 beim **FocusMonitor**

In der Regel sind 64 Bildpunkte pro Zeile bei insgesamt 64 Zeilen ausreichend. Die Auflösung in y-Richtung gibt die Anzahl der Zeilen vor und die Auflösung in x-Richtung die Anzahl der Abtastpunkte pro Zeile. Die Messzeit vergrößert sich, wenn die Anzahl der Messspuren steigt. Bei 64 x 64 Bildpunkten liegt der minimale zeitliche Abstand zweier Messungen bei 8 bis 9 Sekunden.

Die Zeit für den Datentransfer hängt von der Datenmenge und der Schnittstelle ab. Die Datenmenge steigt mit höherer Auflösung. Die Leistung des PCs beeinflusst ebenfalls die Datentransferzeit.

Bitte beachten Sie folgende Abhängigkeit der minimalen Fenstergröße von der gewählten Drehzahl und Auflösung:

Drehzahl in $\text{min}^{-1}$	x-Auflösung in Pixel	Minimale Fenstergröße x und y in mm
1875	32	0,03
	64	0,06
	128	0,12
	256	0,25
3750	32	0,06
	64	0,12
	128	0,25
	256	0,5
7500	32	0,12
	64	0,25
	128	0,5
	256	1,0

Tab. 11.1: Minimale Fenstergröße

Bitte beachten Sie folgende Abhängigkeit der Fenstergröße von der gewählten Drehzahl und Auflösung beim FocusMonitor mit der Option zum Vermessen kleiner Strahlen:

Fenstergröße 6 mm x 6 mm und 8 mm x 8 mm				Fenstergröße 12 mm x 12 mm und 24 mm x 12 mm			
y-Auflösung in Pixel	Drehzahl in min <sup>-1</sup>			y-Auflösung in Pixel	Drehzahl in min <sup>-1</sup>		
	1875	3750	7500		1875	3750	7500
64	✓	✓	–	64	✓	–	–
128	✓	✓	✓	128	✓	✓	–
256	✓	✓	✓	256	✓	✓	–

### Detektor

Für die verschiedenen Anwendungen und spezielle Wellenlängen gibt es unterschiedliche Detektoren. Um das unterschiedliche Zeitverhalten der eingesetzten Detektoren zu kompensieren, ist die Auswahl des richtigen Detektortyps nötig. (Voreinstellungen in der Datei „laserds.ini“). Beim Einsatz von CO<sub>2</sub>-Halbleiterdetektoren müssen die Kompensationsparameter eventuell entsprechend ihrer Beschriftung manuell angepasst werden. Das entsprechende Einstellfenster öffnen Sie durch Anklicken der Schaltfläche **Mehr**.



Abb. 11.2: Dialogfenster für das Anpassen von CO<sub>2</sub>-Halbleiterdetektoren

Eine Auswahltabelle der Detektortypen finden Sie im Kapitel „15 Auswahl der Detektoren und Messspitzen“ auf Seite 87.



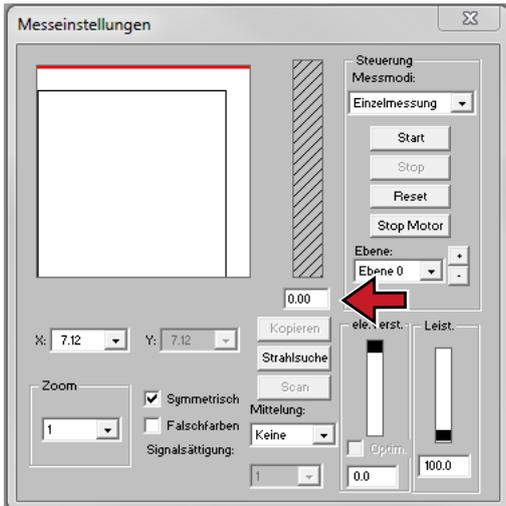
Nach einer Änderung der Empfindlichkeit durch Umschalten am Detektor müssen Sie das Gerät zurücksetzen (aus- und wieder einschalten).

### Manuelle Z-Achse

Aktivieren Sie diese Option, wenn die z-Position der Messebene nicht über die interne z-Achse verfahren wird.

Geben Sie in diesem Fall die z-Werte für jede Ebene manuell im Menü **Messeinstellungen** >> **Einzelmessung** ein, die Software führt auf Basis der ermittelten Strahlradien und der z-Werte eine Kaustikauswertung durch.

So kann z. B. auch der Strahlpropagationsfaktor aus den Messdaten des unfokussierten Strahls in verschiedenen Abständen von der Strahlquelle bestimmt werden.



Eingabefeld z-Position

Abb. 11.3: Manuelle Eingabe der z-Position

### Gedrehte Messspitze

Aktivieren Sie diese Option, wenn Sie mit einer um 180 ° gedrehten Messspitze arbeiten. Die x-Achse wird dann intern gedreht (siehe Abb. 11.4).

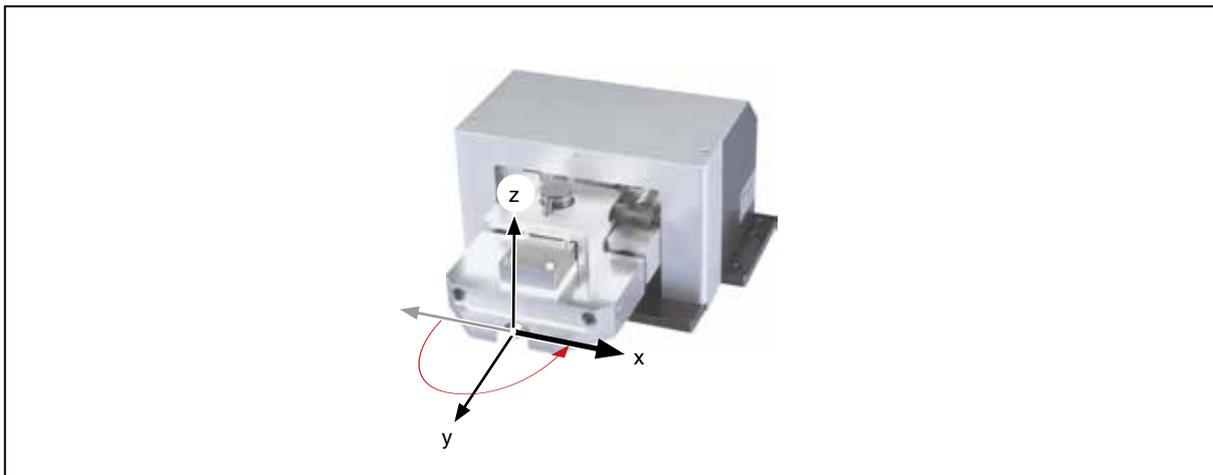


Abb. 11.4: Koordinaten bei gedrehter Messspitze

### Radiuskorrektur

Schalten Sie die Radiuskorrektur ein beim Vermessen von rechteckigen oder linienförmigen Laserstrahlen. Diese Option kompensiert die Krümmung der Abtastspuren.

### Feste y-Position

Aktivieren Sie diese Option, wenn Sie bei fester y-Position einzelne Schnitte durch den Strahl mit hoher Wiederholrate aufnehmen wollen. Siehe hierzu auch Kapitel 23.3 auf Seite 114.

### 11.1.2 Messumgebung (Menü Messung>>Umgebung)

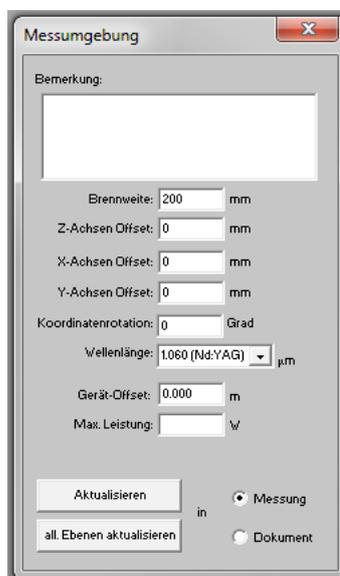


Abb. 11.5: Dialogfenster Messumgebung

Im Dialogfenster *Messumgebung* können Sie Daten wie den Lasertyp, Informationen über die Fokussieroptik usw. speichern (das Eingabefeld **Gerätoffset** ist für den FocusMonitor/BeamMonitor nicht relevant). Diese Daten können unter **Darstellung>>Übersicht** gelesen werden.



In das Kommentarfeld dürfen Sie das Zeichen '#' nicht eingeben. Dieses Zeichen wird in der Software als Trennzeichen verwendet. Wird es im Kommentarfeld eingesetzt, können Probleme beim Speichern und Wiederlesen von Messdaten auftreten.

Einen Zeilenwechsel im Kommentarfeld erzwingen Sie mit der Tastenkombination:

**<Strg> + <Eingabe>**

Die Eingabe der Leistung ist ein Bezugswert für die relative Leistungsstellung im Menüpunkt *Einzelmessung* oder *Kaustikmessung*. 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.

Weiterhin können Sie einen z-Achsen-Offset sowie Koordinatendrehwinkel eingeben. Die Wellenlänge bildet die Basis für die korrekte Bestimmung der Beugungsmaßzahl. Wählbar sind

- 10,6 µm für die CO<sub>2</sub> - Laserstrahlung
- 1,06 µm für Nd:YAG - Laserstrahlung
- 0,632 µm für HeNe - Laserstrahlung.

Sie können einen µm-Wert auch numerisch eingeben.

Die Einträge können Sie auch nach einer Messung mit der Schaltfläche **Aktualisieren** noch verändern. Mit **In allen Ebenen aktualisieren** werden die eingegebenen Werte in allen Ebenen eingefügt und verrechnet, während bei **Aktualisieren** die Werte nur in der aktuellen Ebene verarbeitet werden.

### 11.1.3 Strahlsuche (Menü **Messung**>>**Einstellung: Strahlsuche**) ►FM◀.

Hier werden die Parameter für die automatische Strahlsuche festgelegt. Die Voreinstellung ist für die üblichen Anwendungen geeignet.



Abb. 11.6: Dialogfenster **Einstellungen**

Die Strahlsucheparameter stellen Sie ein über:

#### **Punkt X, Punkt Y**

- Die Auswahl der räumlichen Auflösung. Bei sehr kleinen Strahlen kann es mit 64 x 64 Bildpunkten im 8 mm x 8 mm Fenster zu Suchproblemen kommen, da der Pixelabstand dabei etwa 120 µm beträgt. In diesem Fall empfehlen wir, die Auflösung zu vergrößern.

#### **Trigger**

- Die Signalschwelle (Trigger) ist abhängig vom Nullniveau des Messsystems.

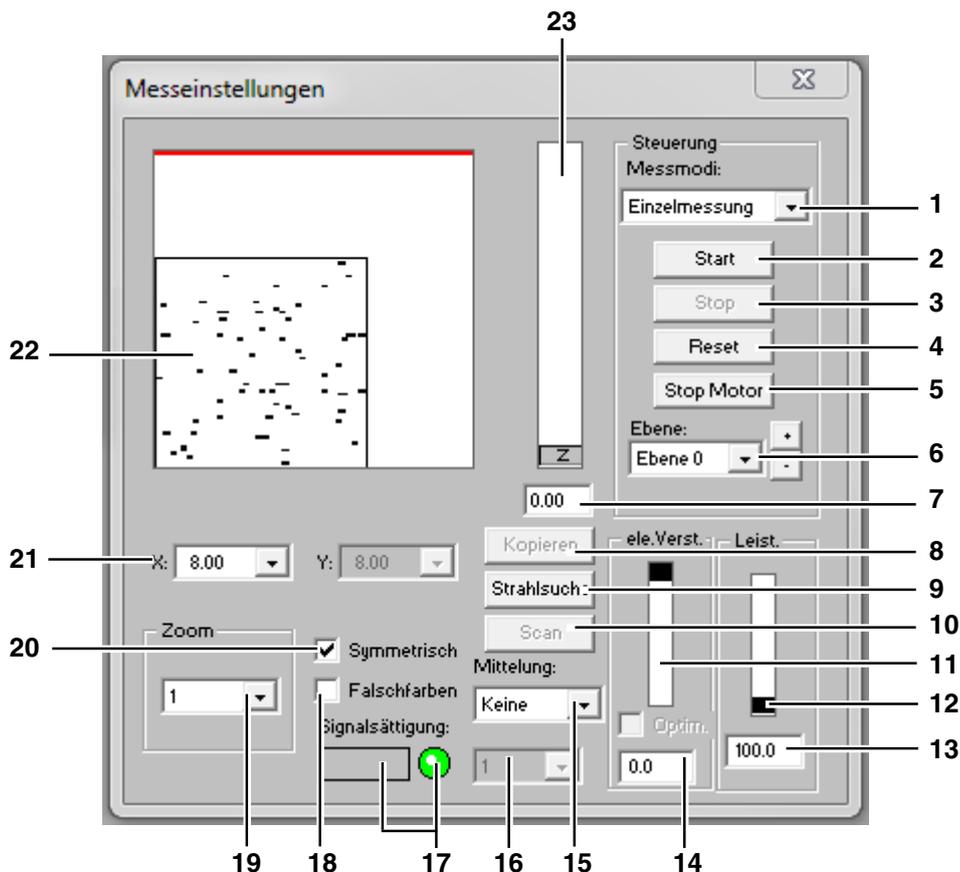
#### **Prozent**

- Der Prozentwert gibt an, um wieviel das Signal das Nullniveau überschreiten muss, um als Strahl erkannt zu werden. Diese Größe wird durch das Signal/Rauschverhältnis des Detektors bestimmt.

#### **Messfenster Faktor**

- Der Messfenster-Faktor bestimmt die Größe des Messfensters bei der Strahlsuche. Der Faktor gibt an, um wievielfach größer das Messfenster im Verhältnis zum Strahldurchmesser gewählt wird.

11.1.4 Einzelmessung (Menü Messung>>Einzelmessung)



1	Einzelmessung Monitor LineScan (Option)	Einzelmessung in der ausgewählten Ebene Wiederholende Messungen in der ausgewählten Ebene Messen einer Einzelspur bei fester y-Achse
2	Start	Startet eine Messung in der aktuell ausgewählte Ebene
3	Stop	Beendet die Messung in der aktuell ausgewählte Ebene
4	Reset	Das Messgerät wird zurückgesetzt
5	Stop Motor	Stoppt die rotierende Messspitze, nachdem die Messung beendet ist.
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 automatische Strahlsuche in aktueller Messebene
10	Scan	Für FM und BM nicht relevant
11	ele. Verst.	Schieberegler zum Einstellen der elektrischen Verstärkung
12	Leist.	Schieberegler zum Einstellen der Laserleistung
13	Eingabefeld Leist.	Numerische Eingabe der Laserleistung
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 $\triangle$ iO, rot $\triangle$ niO)
18	Falschfarben	Aktiviert die Option Falschfarbendarstellung
19	Zoom	Vergrößerungseinstellung für das Messfensters
20	Symmetrisch	Diese Option erzwingt die Verwendung quadratischer Messfenster, deren Größe allein über x einstellbar ist
21	X/Y	Einstellen der Messfenstergröße, insbesondere für nicht quadratische Fenster.
22	Anzeigefeld	Messfenster zeigt das aktuelle Messergebnis
23	Z	Schieberegler zum Einstellen der z-Position

Mit diesem Dialogfenster können Sie Einzelmessungen oder wiederholende Messungen durchführen. Der Messmodus **Monitor** startet eine fortlaufend wiederholende Messung mit aktuellen Einstellungen. Die Wiederholrate ist abhängig von der räumlichen Auflösung und der Drehzahl. Die Messzeit liegt bei 64 x 64 Pixeln und 1875 min<sup>-1</sup> bei etwa 10 Sekunden. Den Monitorbetrieb beenden Sie mit einem Klick auf die Schaltfläche **Abbrechen** im Statusfenster (am rechten unteren Bildschirmrand).



Abb. 11.7: Statusfenster

Die Messfensterposition können Sie manuell oder automatisch einstellen.

Mit der Schaltfläche **Strahlsuche** wird beim FocusMonitor das Messfenster automatisch eingestellt. 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 mit dem gefundenen Strahl im Messfeld des Einzelmessungsfensters eingeblendet. Die Fenstergröße ist dabei noch nicht optimiert. Mit der Schaltfläche **Start** können Sie dann den Strahl aufnehmen.

Bei der manuellen Strahlsuche (für den BeamMonitor und den FocusMonitor) können Sie die Lage und die Größe des Messfensters innerhalb der mechanischen Grenzen selbst festlegen. Die Auswahl wird in einem PopUp-Menü getroffen, wo [x] für quadratische bzw. [x] und [y] für rechteckige Messfenster festzulegen ist. Die maximale Größe des Messfensters beträgt beim FocusMonitor in der Standard-Konfiguration 8 mm x 8 mm (optional bis 24 mm x 12 mm).

Beim BeamMonitor orientiert sich das maximale Fenster an der Eintrittsapertur. 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 im Messfenster.

### Größe des Messfensters

Um die Messfehler zu minimieren, empfehlen wir, die Messfenstergröße so zu wählen, dass der Strahldurchmesser 30 % bis 70 % der Grundseitenlänge des Messfensters entspricht. In jedem Fall muss ein Beschnitt der Verteilung durch den Rand des Messfensters vermieden werden.

### Elektrische Verstärkung

Die Leistungsdichteverteilung wird von einem Detektor gemessen. Dessen analoges Ausgangssignal wird verstärkt und anschließend digitalisiert. Es stehen verschiedene Detektoren zur Verfügung (siehe Tab. 15.2 auf Seite 88)

Falls der Detektor übersteuert (rotes LED-Symbol in der Anzeige zur Signalsättigung bzw. ein ADC-Wert von 4095 in der Darstellung **Variable Schnitte**), reduzieren Sie die Verstärkung mit dem Schieberegler „Verst.“ (oder durch numerische Eingabe) und wiederholen Sie die Messung.

Sowohl eine Übersteuerung als auch zu niedrige Verstärkung können zu unsicheren oder falschen Resultaten führen. Wir empfehlen eine Nachregelung der Verstärkung, um korrekte Ergebnisse zu erhalten.

### Laserleistung

Die Laserleistung können Sie mit dem Schieberegler einstellen oder numerisch eingeben. Den Referenzwert für die Leistung geben Sie im Dialogfenster **Messung>>Messumgebung** ein. Die Berechnung der Leistungsdichten bezieht sich auf die hier eingestellten Leistungswerte.

Klicken sie auf die Schaltfläche **Start**, um die Messung zu starten.

In eine Messdatei können bis zu 50 Messebenen aufgenommen werden. Das ist relevant für Vermessungen der Strahlkaustik sowie für Zeit- oder Leistungsreihen. Sie können für die Darstellung zwischen den einzelnen Messebenen hin- und herschalten.

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

Mit der Option **Mittelung** werden die Ergebnisse von bis zu 50 Einzelmessungen pro Ebene gemittelt. Es stehen verschiedene Analysealgorithmen bereit:

Auswahl	Funktion
Mittelwert	bildet den Mittelwert der gemessenen Verteilungen
Max. Pixel	ermittelt die punktwisen Maxima der gemessenen Verteilungen
Max. Spur	ermittelt die maximalen Spuren der gemessenen Verteilungen

Die Auswahl **Max. Pixel** und **Max. Spur** sind vor allem bei der Untersuchung gepulster Strahlung hilfreich. Die bei **Max. Pixel** bestimmten Radien sind wegen Nullpunktunsicherheiten nicht immer zuverlässig.

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 die Balkendarstellung angezeigt

Mit der Schaltfläche **Stop** können Sie eine laufende Messung abbrechen, dies beendet auch den Monitorbetrieb.



Wenn Sie die Datenübertragung mit der Schaltfläche **Stop** unterbrechen, müssen Sie im Menü **Freie Kommunikation** die Schnittstelle (ComPort) neu auswählen.

Mit der Schaltfläche **Stop Motor** stoppen Sie die Rotation der Messspitze nach Ablauf der aktuellen Messung. Klicken Sie anschließend auf die Schaltfläche **Reset**.



## VORSICHT

**Verletzungsgefahr durch rotierende Bauteile**

**Die Messspitzen des FocusMonitor und des BeamMonitor rotieren auch nach dem Abschalten der Spannung zunächst noch weiter.**

- ▶ **Nicht in den Strahleneingang des Messgerätes fassen oder Gegenstände hineinhalten, solange die Messspitze noch rotiert.**

### 11.1.5 Kaustikmessung ►FM◀

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. Für jede Messebene sind deshalb diese Parameter getrennt einstellbar.

#### **ACHTUNG**

##### **Beschädigungsgefahr durch Übertemperatur**

**Bitte beachten Sie, dass Serienmessungen im Vergleich zu Ihrem Produktionsprozess manchmal wesentlich länger dauern und die Optik in dieser Zeit nicht über den Prozessgasstrom gekühlt wird.**

- **Sorgen Sie in diesem Fall für eine ausreichende Kühlung der optischen Komponenten!**

Die Ergebnisse einer Fokusvermessung können durch eine nicht gekühlte Optik verfälscht werden. Die Kaustikmessung selbst können Sie sowohl manuell als auch automatisch durchführen.

#### **Kaustikmessung vorbereiten**

Nach korrekter Montage des FocusMonitor sollte der Strahlfokus in der Mitte des Verfahrbereichs der z-Achse liegen (siehe auch Kapitel 5.4.1 auf Seite 18).

#### **Automatische Kaustikmessung**

Für die automatische Kaustikmessung müssen Sie eingeben:

- die Leistung
- die Verstärkung
- die Zahl und die Art der Mittelung
- die minimale und maximale z-Position (bei numerischer Eingabe erst größeren Wert eingeben)
- die Zahl der zu vermessenden Ebenen (minimal 15)
- die Startebene für die Strahlsuche.

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

Der Messzyklus beginnt mit einer automatischen Strahlsuche in der ausgewählten Startebene. Die erste Strahlsuche wird typisch mit maximaler Fenstergröße 8 mm x 8 mm durchgeführt. Falls die Suchfenstergröße nicht dem Maximalfenster entsprechen soll, gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Deaktivieren Sie die Option **Maximale Fenstergröße**
2. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Einstellungen**
3. Geben Sie die gewünschte Fenstergröße (X/Y) ein

Klicken Sie auf die Schaltfläche **Details**, um die Strahlsuchparameter hinsichtlich räumlicher Auflösung, Schwellwerthöhe (Trigger) und minimaler Signalhöhe einzustellen (siehe auch Kapitel 11.1.3 auf Seite 46).

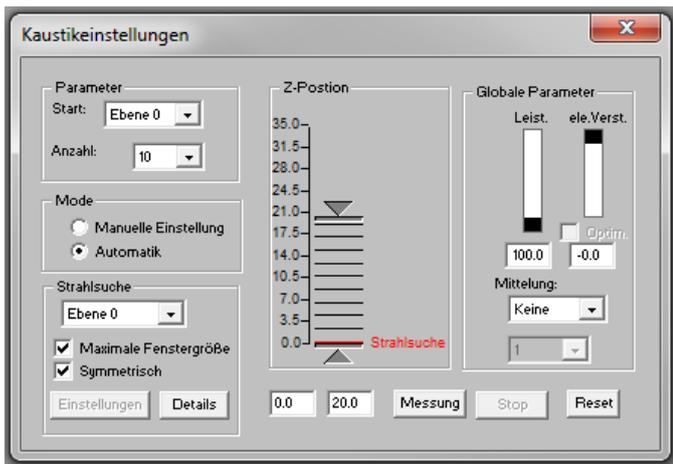


Abb. 11.8: Dialogfenster **Kaustikeinstellungen (Automatik)**

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

### Manuelle Kaustikmessung

Empfohlene Einstellungen:

Im Bereich von je 2 Rayleighlängen beiderseits des Fokus minimal 10 Messebenen anlegen. Mindestens 5 davon im Abstand von  $\pm$  einer Rayleighlänge um den Fokuspunkt. Fünf weitere Messpunkte sollten mindestens 2 Rayleighlängen vom Fokus entfernt liegen.

Für eine normkonforme Messung (ISO 11146) muss mindestens über 4 Rayleighlängen gemessen werden. Als praktikabel haben sich 5-6 Rayleighlängen mit etwa 15 Messebenen erwiesen. Bei einer unbekanntem Strahlgeometrie sollten Sie sich zunächst durch einige Einzelmessungen oder eine Kaustikmessung mit 5 Ebenen orientieren, bevor Sie eine automatische Kaustikmessung starten.

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

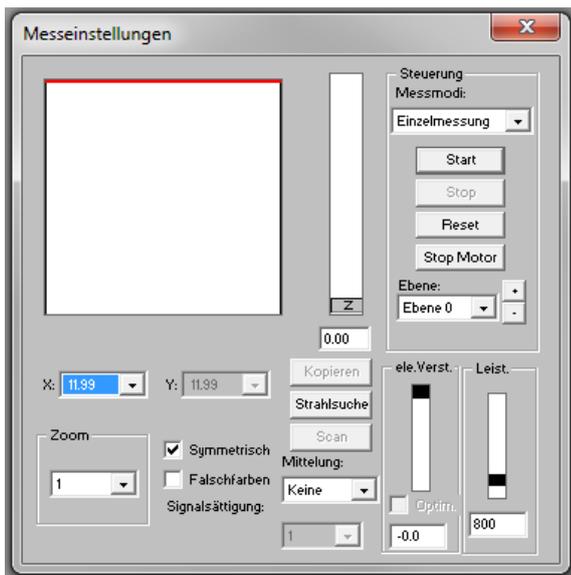


Abb. 11.9: Dialogfenster **Messung>>Einzelmessung**

Für die manuelle Kaustikmessung sind die folgenden Schritte notwendig:

1. Wählen Sie den Menüpunkt **Datei>>Neu**
2. Wählen Sie den Menüpunkt **Messung>>Einzelmessung**
3. Wählen Sie die erste Ebene aus
4. Stellen Sie die z-Position ein
5. Stellen Sie die Messfenstergröße und -position ein
6. Klicken Sie auf die Schaltfläche **Start**
7. Wählen Sie die nächste Ebene aus, klicken Sie auf **Kopieren** und fahren Sie fort mit Punkt 4.

Wiederholen Sie die Schritte **3.** bis **7.** ca. 10 bis 15 mal.

Im Menüpunkt **Messung>>Kaustik** wählen Sie die Option **Manuelle Einstellung** und klicken auf die Schaltfläche **Messung**.

Danach werden die verschiedenen Ebenen mit den eingestellten Parametern gemessen.

Die Messparameter können Sie im Menüpunkt **Datei>>Messeinstellungen speichern** sichern und bei Bedarf wieder laden.

Als z-Abstand der einzelnen Ebenen empfehlen wir einen Wert, der ca. 0,5 % der Brennweite beträgt. Bei einer Brennweite von 5" (127 mm), sind das ca. 0,5 mm bis 0,6 mm. Bei einer Kaustikmessung mit 15 Ebenen wird damit auf der z-Achse ein Bereich von etwa 8 mm überstrichen.

### Zyklische Kaustikmessungen

Bei zyklischen Kaustikmessungen ist es sinnvoll, die Einstellungen der verschiedenen Aufnahmeparameter in einer Datei zu speichern. Diese Daten sind dann bei Bedarf jederzeit verfügbar und können für neue Messungen 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, weil z. B. die Gasdüse noch montiert ist.

Solch ein Messzyklus dauert ca. 2 bis 3 Minuten. Für diesen Fall ist es auch sinnvoll, den FocusMonitor mit der Anlagensteuerung über das SPS-Interface zu koppeln, damit das Ein- und Ausschalten des Lasers programmgesteuert von der LaserDiagnoseSoftware übernommen werden kann. Für Prüfungen nach einem Laser- und Anlagenservice bietet sich eine Messung mit mehr Ebenen an, weil hier die Messergebnisse mit höherer Genauigkeit ermittelt werden.

Vor der Messung werden bei Bedarf die gespeicherten Einstellungsdaten für die Kaustik aus einer Voreinstellungsdatei geladen (**Datei>>Messeinstellungen laden**). Nach der Eingabe des gewünschten Dateinamens werden die entsprechenden Daten geladen. Die Messung selbst wird dann als manuelle Kaustikmessung ausgelöst.

### 11.1.6 Justiermode ▶BM◀

Dieses Mess- und Darstellungsmenü ist für die speziellen Erfordernisse bei der Justage von Laserresonatoren mit dem BeamMonitor ausgelegt. Dargestellt wird die Strahlsymmetrie der zuletzt gemessenen Leistungsdichteverteilungen.

Typischer Messablauf:

Automatische Strahlsuche mit der Schaltfläche **Suche Strahl**, danach wird mit der Schaltfläche **Fortlaufend** ein Monitorbetrieb gestartet, bei dem die aufeinanderfolgende Messungen jeweils zyklisch in die Ebenen 0 bis 19 geschrieben werden (wobei auf 19 wieder 0 folgt).

Sie können mit den Schaltflächen **>>Justiermenü** und **>>Messmenü** zwischen 2 Darstellungsarten umschalten.

Im Messmenü des Justiermode wird eine Falschfarbendarstellung der letzten zwei Messungen zusammen mit den Zahlenwerten für die Strahllage und den Strahlradius angezeigt.

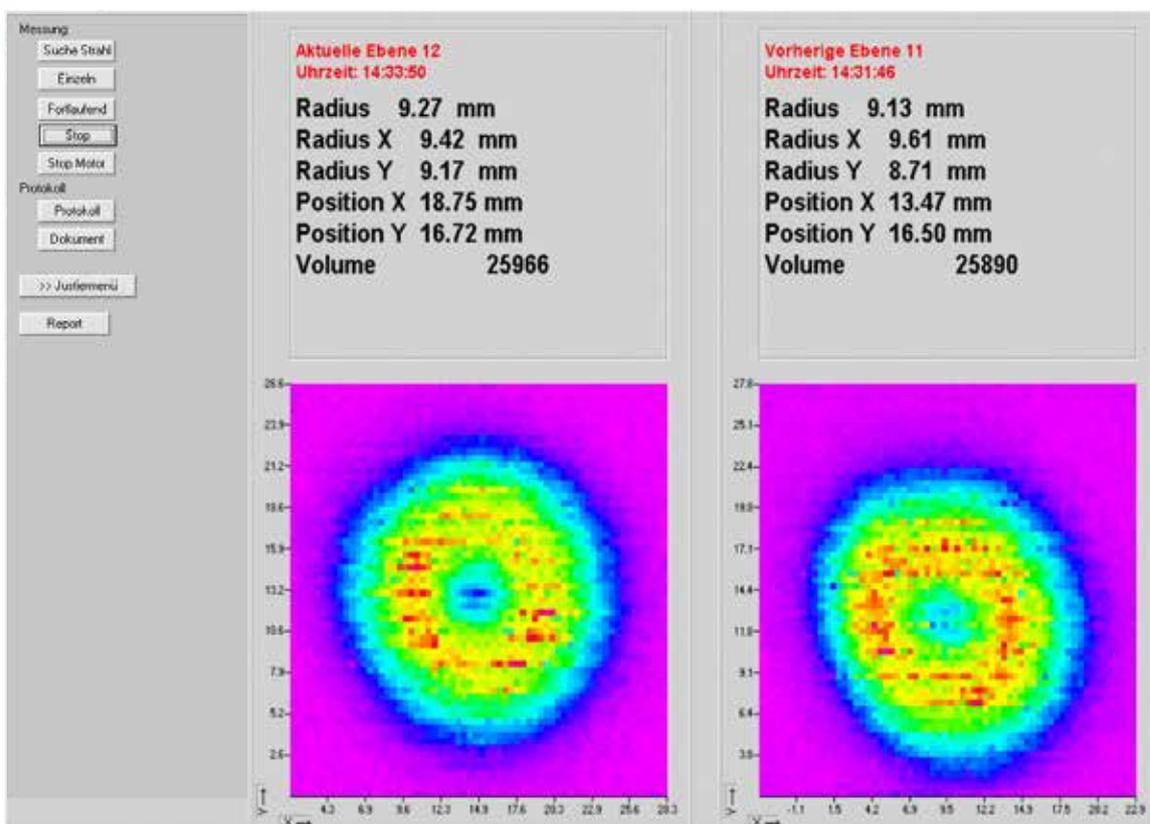


Abb. 11.10: Das Messmenü des Justiermodes

Die zweite Darstellungsart ist das **Symmetriemenü**.

Das **Symmetriemenü** vergleicht Ergebnisse der letzten drei Messungen hinsichtlich der Strahlsymmetrie in verschiedenen Leistungsbereichen (genauer zur Symmetriepfung ist in Kapitel 11.2.7 auf Seite 65 beschrieben).

Darüber hinaus werden angezeigt: das Radiusverhältnis  $R_x$  zu  $R_y$  (berechnet nach der 2. Momenten-Methode) und das Volumen der Leistungsdichteverteilung (als relatives Maß für die Laserleistung).

Die Ergebnisse werden numerisch angezeigt und visuell durch farbige Quadrate hervorgehoben. Grün steht für die minimale Abweichung von der Kreissymmetrie und rot für die maximale Abweichung. Gelb gibt den Zwischenwert an.

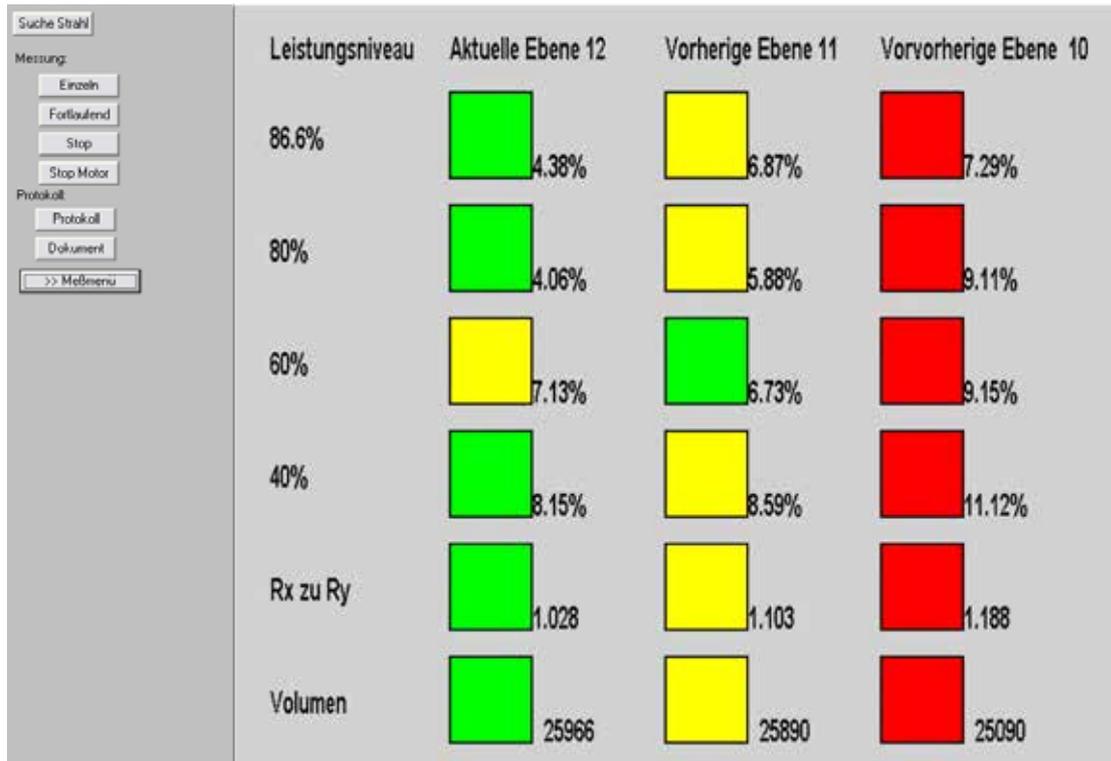


Abb. 11.11: Symmetriemenü des Justiermodes

Die Messergebnisse können automatisch dokumentiert werden. Entweder über das Schreiben der gemessenen Strahlradien und Strahlpositionen in eine Protokolldatei mit der Schaltfläche **Protokoll** (siehe Kapitel 11.2.7 auf Seite 65) oder durch Speichern der gesamten Messdaten mit der Schaltfläche **Dokument**. Im Menüpunkt **Dokument** kann bei Bedarf der zeitliche Abstand zweier Messungen (Delay) eingestellt werden.

Mit dem Menüpunkt **Report** können exemplarische Ergebnisse, z. B. als Servicebericht (Abb. 11.13 auf Seite 55) gespeichert und später ausgedruckt werden.



Abb. 11.12: Dokumentfenster

Mit der Schaltfläche **In Datei übernehmen** wird die Reportseite im Datensatz mitgespeichert. Der Name des Servicetechnikers oder der Firmenname können bei Bedarf in der Einstellungsdatei „laserds.ini“ dauerhaft hinterlegt werden.

**Ergebnisse der Laservermessung:**

Kundenname:

Adresse:

Servicetechniker:

Lasertyp:

Kommentar:

Ebene:

Ebene:

Ebene:

Ebene:	Ebene 0	Ebene 1	Ebene 2
Radius [mm]	9.008	7.451	6.262
Radius X [mm]	8.718	7.224	6.121
Radius Y [mm]	9.288	7.671	6.400
Winkel [°]	26.281	36.046	-41.246
Position X [mm]	18.043	17.740	17.709
Position Y [mm]	16.768	16.695	16.551
Leistung [kW]	0.500	1.000	1.500
Radius inten. [kW/cm²]	0.072	0.205	0.489
Peak inten. [kW/cm²]	0.332	0.920	1.855
Datum:	8.12.97	8.12.97	8.12.97
Uhrzeit:	12: 9:40	12:10:27	12:11:50
Y-Achsen Offset			
Koordinatenrotation [dg.]			

Abb. 11.13: Beispiel einer Reportseite

### Optionen

In diesem Menü sollten nur erfahrene Anwender Einstellungen vornehmen. Viele der Einstellungen sind für den FocusMonitor bzw. BeamMonitor nicht relevant.

Relevant ist die Umschaltmöglichkeit für die Strahlabmessungen zur Anzeige vom Durchmesser statt Radius, siehe Abb. 11.14.

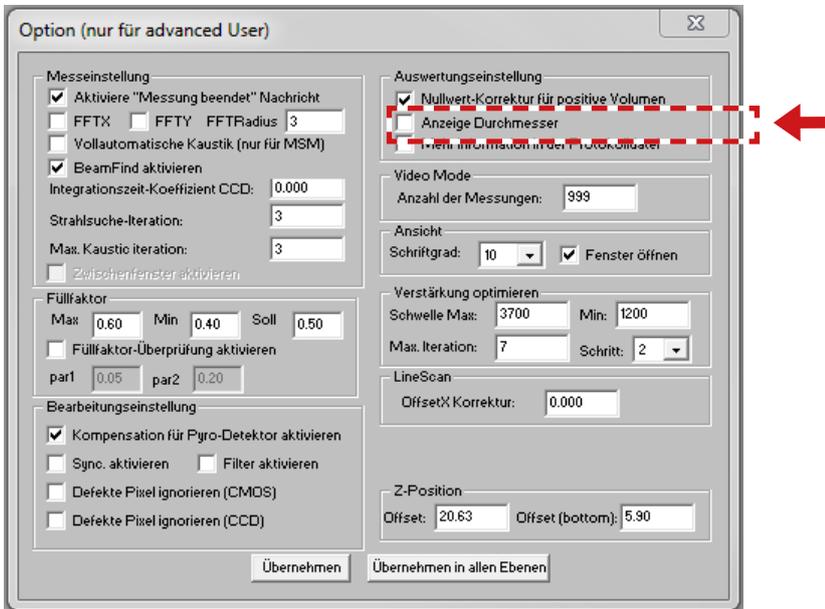


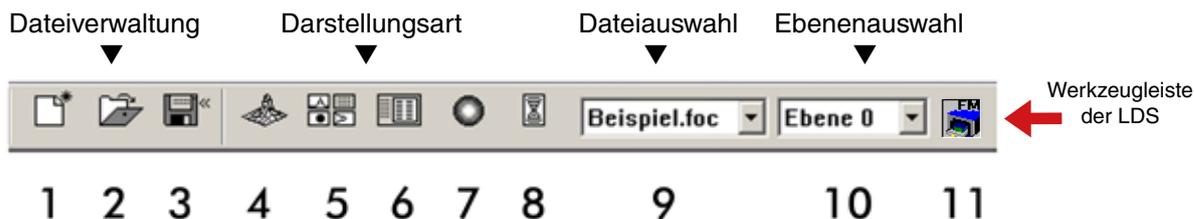
Abb. 11.14: Einstellung für die Anzeige des Durchmessers

## 11.2 Darstellung und Dokumentation der Messergebnisse

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.

Durch Anklicken der Symbole auf der Werkzeugleiste sind die folgenden Programmmenüs unmittelbar zu erreichen.



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

In den Menüs für die Darstellungsart der Einzelmessungen (**Variable Schnittlinien**, **Isometrie** und **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 **Grafische Übersicht**.

### 11.2.1 Falschfarben

Hier wird eine Falschfarbendarstellung der gemessenen Leistungsdichteverteilung erzeugt.

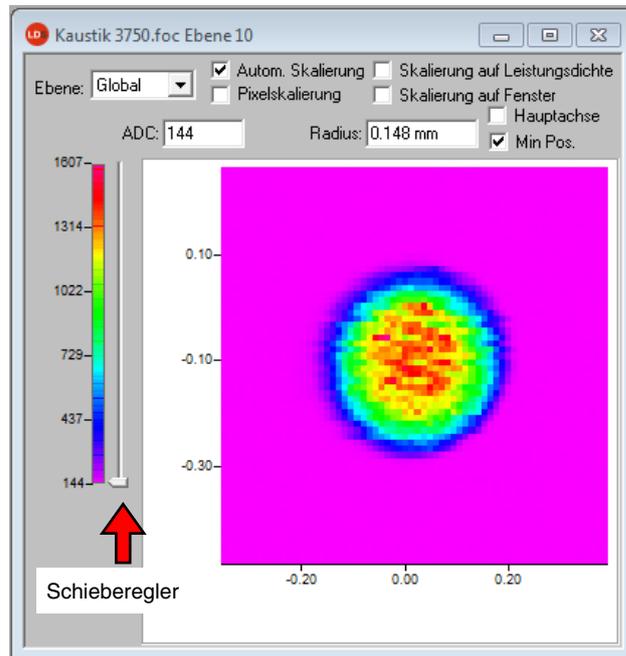


Abb. 11.15: Dialogfenster **Falschfarben**

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.

#### **Hauptachse**

Die Strahlachsen können eingeblendet werden.

### 11.2.2 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.

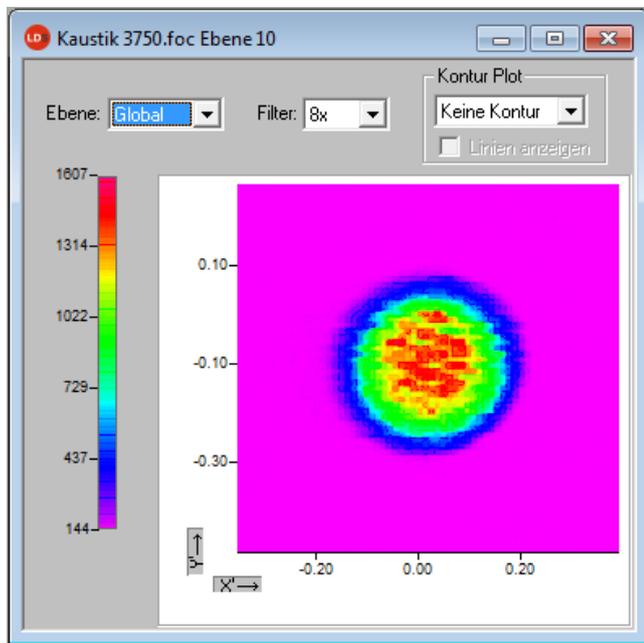


Abb. 11.16: Dialogfenster Falschfarben (gefiltert)

### 11.2.3 Isometrie

Dieser Menüpunkt erzeugt eine räumliche Darstellung der gemessenen Leistungsdichteverteilung einer Ebene. Die Farbdarstellung lässt sich deaktivieren.

Eine Drehung der Verteilung um jeweils 0°, 90°, 180° und 270° ist möglich.

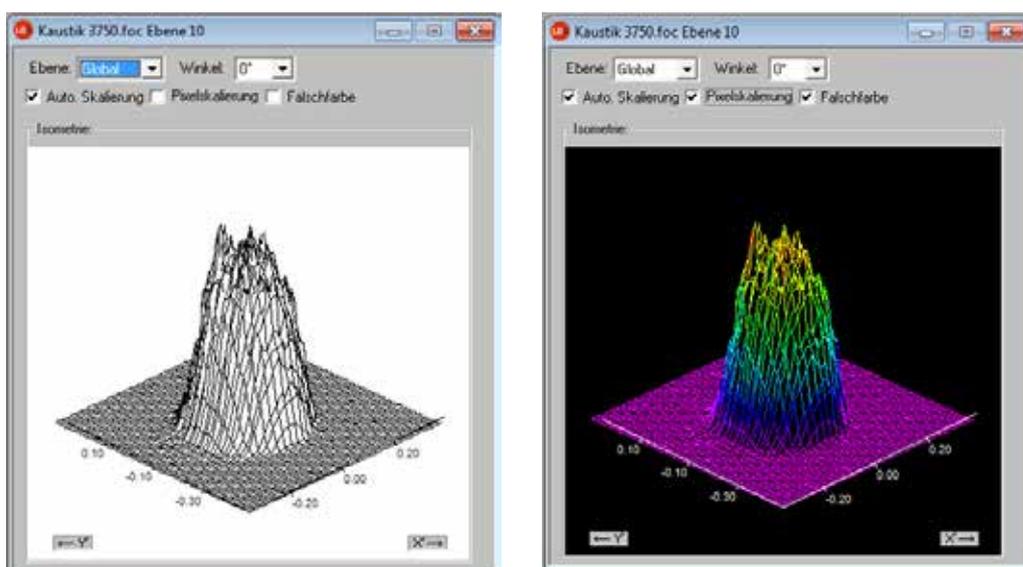


Abb. 11.17: Dialogfenster Darstellung>>Isometrie (links mit deaktivierter Farbdarstellung)

### 11.2.4 Kaustikdarstellung (2D-Darstellung)

Die Ergebnisse der Kaustikmessung können Sie mit dem Menüpunkt **Darstellung>> Kaustik** anzeigen. Die Abb. 11.18 zeigt auf der linken Seite die berechneten Strahlparameter wahlweise auf Basis der 86 %-Radien oder die Momentenauswertung nach ISO 11146. In der Bildmitte zeigt die Grafik den Kaustikverlauf an; dabei sind die Strahlradien über der Strahlausbreitungsrichtung aufgetragen. Rechts ist schließlich die Falschfarbendarstellung jeweils einer - u. a. mit der Maus wählbaren - Messebene samt numerischer Ergebnisse eingeblendet, die für diese Ebene berechnet wurden.

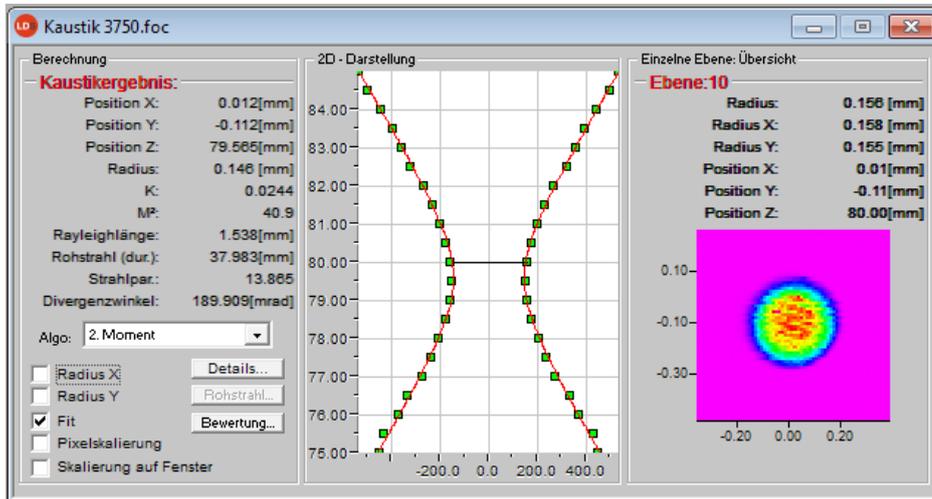


Abb. 11.18: Dialogfenster **Darstellung>>Kaustik**

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
- 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 von 1. Alle anderen Strahlen haben größere Werte. Für Schweißblaser ( $CO_2$ ) liegen sie bei 2 bis 5. Bei Schneidlasern ( $CO_2$ ) sind Werte von 1,1 bis 2,5 üblich. Bei Strahlquellen mit höherer Laserleistung sind die Beugungsmaßzahlen im Allgemeinen kleiner als bei Quellen mit geringer Leistung.

#### 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. Angegeben werden die Gerätekoordinaten. Hinweise zur absoluten Lage im Raum finden Sie im Kapitel 24 auf Seite 121. Unter Umständen auch auf Basis einer TCP-Kalibrierung (Option).

## 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.

Die Bewertungsfunktion (siehe Seite 62) gibt Ihnen hierzu nähere Informationen.

## Rayleighlänge

Die Rayleighlänge ist ein abgeleiteter Parameter und beschreibt den Abstand vom Fokus in z-Richtung, bei dem der Strahlradius um den Faktor  $\sqrt{2}$  ( $\approx 1,41$ ) zugenommen und die Strahlfläche um den Faktor 2 zugenommen hat. Die Rayleighlänge wächst mit dem Strahlpropagationsfaktor und der Brennweite der Fokussieroptik (siehe Kapitel 24 auf Seite 121). Die doppelte Rayleighlänge ist ein ungefährer 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 zwei Rayleighlängen durchzuführen. Besser ist ein Bereich der vierfachen Rayleighlänge - wie er auch in der ISO 11146 gefordert wird, ideal sind 5 bis 6 Rayleighlängen. Dieser Forderung steht jedoch die manchmal schnell sinkende Leistungsdichte des zu vermessenden Laserstrahls gegenüber. Bei einem Abstand von zwei 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).



Kauslikergebnis:	
Fokusradius:	84.704 [µm]
Fokusradius X':	85.129 [µm]
Fokusradius Y':	82.598 [µm]
K:	0.91
Kx:	0.90
Ky:	0.93
MP:	1.10
MPx:	1.11
MPy:	1.08
Position Z:	89.84[mm]
Position Z(X):	90.11[mm]
Position Z(Y):	89.58[mm]
Rayleighlän.:	1.925 [mm]
Rayleighlänge X:	1.941 [mm]
Rayleighlänge Y:	1.871 [mm]
Divergenz:	88.003 [mrad]
Divergenz X:	87.737 [mrad]
Divergenz Y:	88.285 [mrad]
Strahlpar.:	3.727[mm*mrad]
Strahlparameter X:	3.734[mm*mrad]
Strahlparameter Y:	3.646[mm*mrad]
Fokus-Symmetrie(x/ry):	1.03
Astigmatische Differenz:	0.28
Strahlrichtung:	3.763 [mrad]
Qualität des Fit-Algorithmus:	0.9944

Abb. 11.19: Ergebnisfenster **Kaustik>>Details**

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

## Bewertung

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

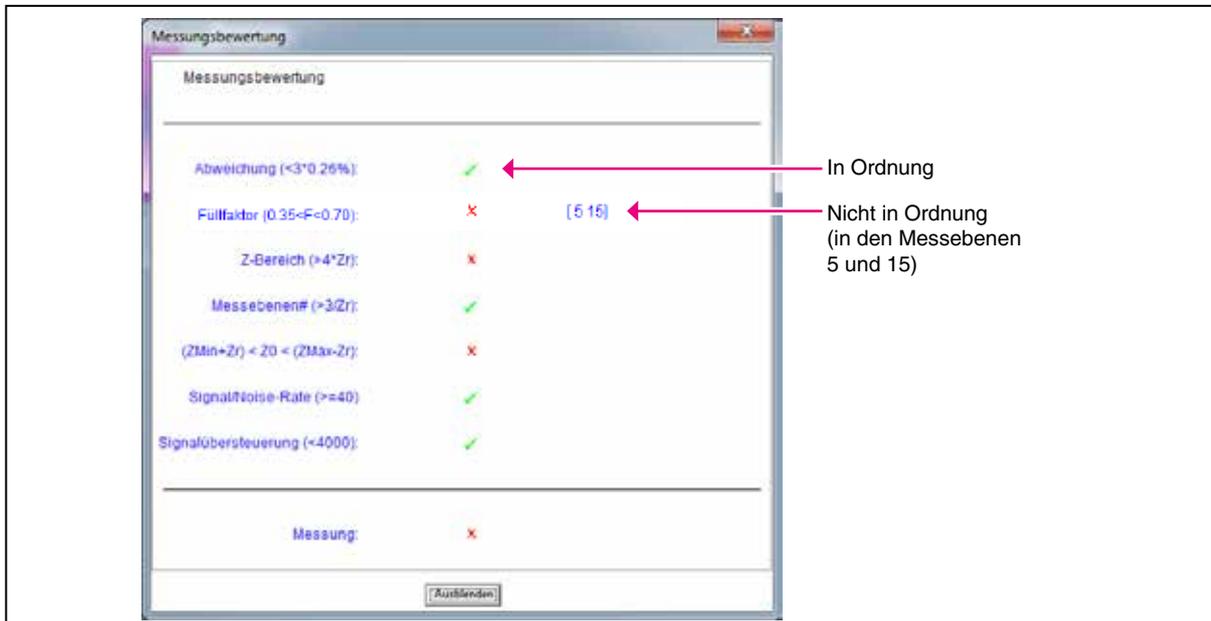


Abb. 11.20: Ergebnisfenster der Bewertungsfunktion

Unter „Abweichung“ wird die mittlere relative Standardabweichung des Kaustikfits von den Radien nach der 2. Momentmethode 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.

Bewertete Funktionen	Prüfkriterium	Positive Bewertung ✓
Abweichung	Mittlere relative Standardabweichung des Kaustikfits nach der 2. Momentmethode	Standardabweichung $< 3,5 \%$ , kein Messwert außerhalb eines Bereiches von $\pm 3 \cdot$ Standardabweichung
Füllfaktor	Bezeichnet das Verhältnis Strahldurchmesser zu Messfenstergröße	Im Bereich 0,3 - 0,6
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 Mindestmessbereiches und dieser Bereich beträgt mindestens eine Rayleighlänge in jede z-Richtung.
Signal/Noise-Rate	Untersucht das Signal/Rausch-Verhältnis	FocusMonitor: S/N $> 40$
Signalübersteuerung	Untersucht den max. Leistungsdichtewert	Unterhalb von 4000 Counts

Tab. 11.2: Kriterien für die Bewertung

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.

Beim FocusMonitor können verschiedene Detektoren eingesetzt werden. Daher wird nicht direkt die Amplitude, sondern das Signal/Rausch-Verhältnis (S/N-Verhältnis) bewertet, da unterschiedliche Detektoren ein unterschiedliches Rauschen haben können.

Für die Bewertung wird der im Menü **Messung** >> **Sensorparameter** eingestellte Detektor herangezogen.

Liegt das S/N-Verhältnis über 40:1, so wird ein grünes Häkchen (✓) angezeigt. Ein rotes Kreuz (✗) zeigt ein S/N-Verhältnis von unter 25:1 an; dabei können Rauschteile die Messunsicherheit für den Strahldurchmesser und abgeleitete Größen erhöhen.

Zeigt nur die letzte, äußerste Ebene einer Kaustik ein schlechteres Signal/Rausch-Verhältnis, so kann man in solchen Fälle oft trotzdem noch belastbare Ergebnisse erhalten.

Sind mehrere Ebenen betroffen, so kann eine genauer auf die Anwendung zugeschnittene Messspitzen-Detektor-Kombination ein höheres S/N-Verhältnis liefern.

### 11.2.5 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, mit der rechten Maustaste im Fenster frei positionieren.

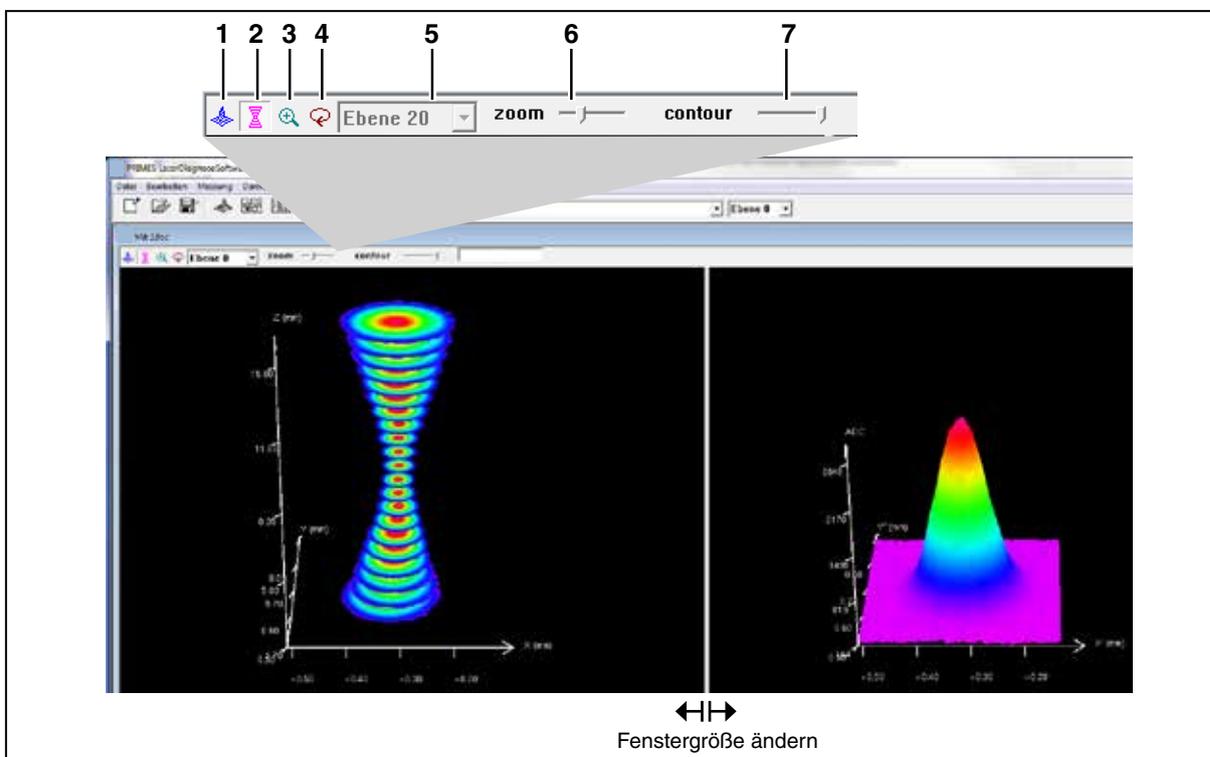


Abb. 11.21: Darstellung in 3D

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.

### 11.2.6 Übersicht 86 % bzw. 2. Moment

Für die Radiusdefinition gibt es zwei wesentliche Bestimmungsmöglichkeiten:

- Bestimmung der Strahlradien nach der 86% -Leistungsdefinition (Kap. 24.2.4 auf Seite 126)
- Bestimmung der Strahlradien nach der 2. Momentenmethode (ISO 11146) (Kap. 24.2.3 auf Seite 125)

Weitere Möglichkeiten stellt die Software optional zur Verfügung (siehe Kapitel 24.2.5 auf Seite 126).

Kaustik 3750.foc- 86% Übersicht					
Ebene:	Ebene 0	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4
Radius [mm]	0.431	0.398	0.352	0.313	0.269
Position X [mm]	-0.010	-0.023	0.007	0.002	0.005
Position Y [mm]	-0.106	-0.109	-0.098	-0.102	-0.100
Position Z [mm]	75.000	75.500	76.000	76.500	77.000
Nullwert [A/D-Cnts]	149.750	149.500	149.250	149.250	149.750
Leistung [kW]	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
Radius inten. [kW/cm <sup>2</sup> ]	47.404	51.489	65.831	82.461	119.463
Peak inten. [kW/cm <sup>2</sup> ]	280.498	435.540	547.987	586.358	769.836
Datum:	20.12.2010	20.12.2010	20.12.2010	20.12.2010	20.12.2010
Uhrzeit:	14:54:26	14:54:34	14:54:48	14:54:56	14:55:10
Brennweite [mm]	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Z-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Y-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Koordinatenrotation [dg.]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Wellenlänge [µm]	1.064	1.064	1.064	1.064	1.064
Füllfaktor	0.431	0.398	0.470	0.418	0.538
Bemerkung:					

Abb. 11.22: Ergebnisfenster Darstellung>>Übersicht (86%)

Kaustik 3750.foc- 2. Moment Übersicht					
Ebene:	Ebene 0	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4
Radius [mm]	0.451	0.430	0.368	0.332	0.272
Radius X [mm]	0.449	0.428	0.369	0.331	0.273
Radius Y [mm]	0.453	0.432	0.367	0.332	0.272
Winkel [°] (x/y-Richtung)	-20.8	10.1	33.5	17.1	37.2
Position X [mm]	-0.006	-0.020	0.006	0.001	0.003
Position Y [mm]	-0.103	-0.113	-0.098	-0.104	-0.104
Position Z [mm]	75.000	75.500	76.000	76.500	77.000
Nullwert [A/D-Cnts]	149.750	149.500	149.250	149.250	149.750
Leistung [kW]	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
Peak inten. [kW/cm <sup>2</sup> ]	280.498	435.540	547.987	586.358	769.836
Datum:	20.12.2010	20.12.2010	20.12.2010	20.12.2010	20.12.2010
Uhrzeit:	14:54:26	14:54:34	14:54:48	14:54:56	14:55:10
Brennweite [mm]	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Z-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Y-Achsen Offset	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Koordinatenrotation [dg.]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Wellenlänge [µm]	1.064	1.064	1.064	1.064	1.064
Radius X' [mm]	0.449	0.429	0.369	0.331	0.272
Radius Y' [mm]	0.452	0.432	0.368	0.332	0.272
Füllfaktor	0.451	0.430	0.491	0.442	0.545
Elliptizität (Rmin/Rmax)	0.991	0.992	0.994	0.996	0.997
RadiusX'/RadiusX'	0.999	1.000	1.002	1.000	1.001
RadiusY'/RadiusY'	1.001	1.000	0.998	1.000	0.999
3*RadiusX'/WindowsizeX	0.674	0.643	0.738	0.662	0.817
3*RadiusY'/WindowsizeY	0.679	0.648	0.736	0.665	0.817
Bemerkung:					

Abb. 11.23: Ergebnisfenster Darstellung>>2. Moment

Wenn das Messsignal das Nullniveau nur wenig überschreitet, werden die Messergebnisse nicht schwarz

sondern grau dargestellt. In solchem 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, insbesondere in den Kommentarzeilen können auch nach einer Messung noch verändert werden. Dazu dient im Menüpunkt **Messung>>Umgebung** die Schaltfläche **Aktualisieren**.

### 11.2.7 Symmetrieprüfung

Dieses Darstellungsmenü prüft die Rotationssymmetrie der Leistungsdichteverteilung eines Laserstrahls. Es kann z. B. in Verbindung mit dem Monitorbetrieb zur Justierung von Laserresonatoren benutzt werden. Im Folgenden werden in den Abbildungen Abb. 11.25 und Abb. 11.26 zwei Beispiele für die möglichen Resultate der Symmetrieprüfung an einem elliptischen Strahl gezeigt.

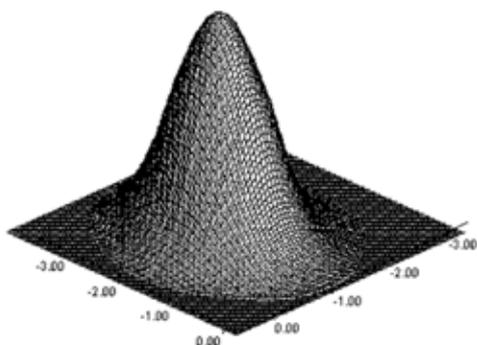


Abb. 11.24: Leistungsdichteverteilung eines elliptischen Strahls

Die in Abb. 11.24 dargestellte Leistungsdichteverteilung eines elliptischen Strahls ergibt mit der **Symmetrieprüfung** folgende Resultate.

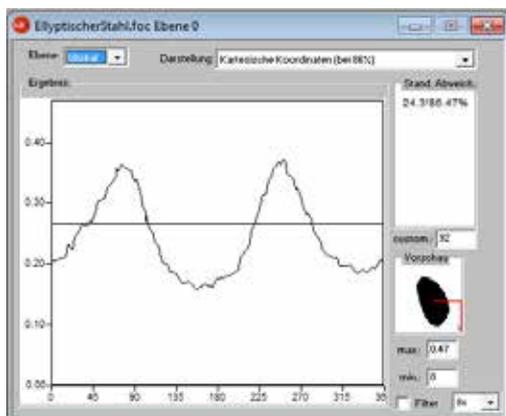


Abb. 11.25: Darstellung in kartesischen Koordinaten.

Die Abszisse in Abb. 11.25 zeigt den Winkel und die Ordinate den Strahlradius mit den Schnittlinien bei verschiedenen Leistungen zwischen 86 % und 10 % der Gesamtleistung. 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. 11.26). 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.

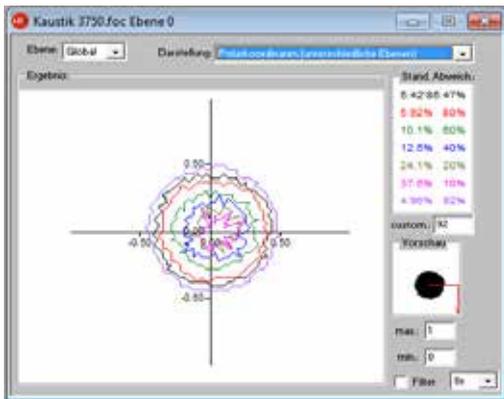


Abb. 11.26: Symmetriepfung in Polarkoordinaten

### 11.2.8 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.

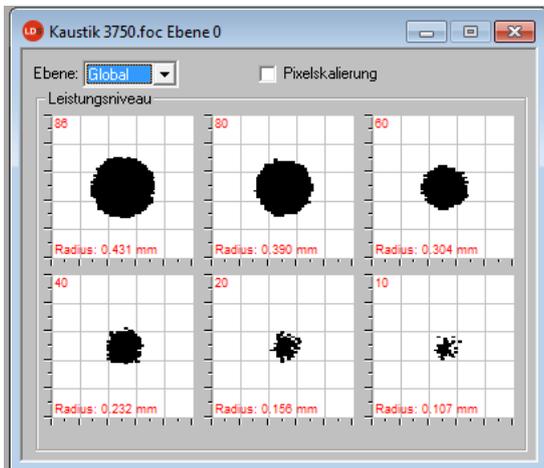


Abb. 11.27: Darstellungsfenster **Feste Schnitte**

### 11.2.9 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.

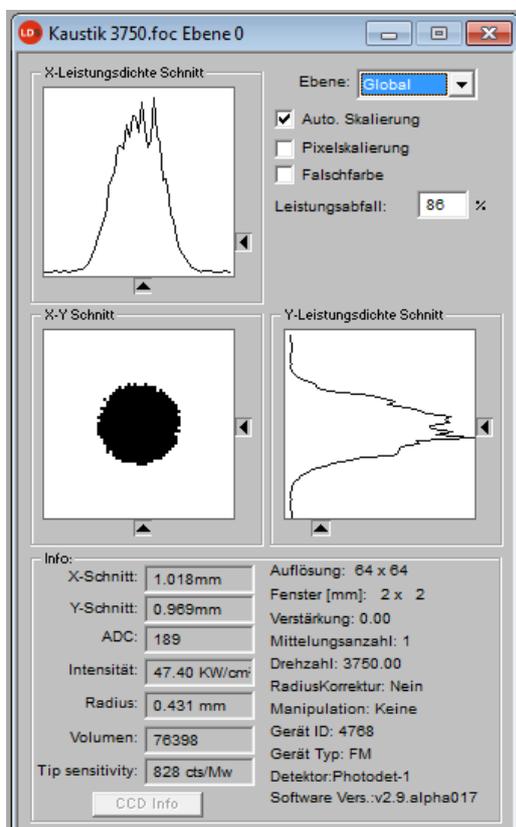


Abb. 11.28: Darstellungsfenster **Variable Schnitte**

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. In der untersten Zeile wird die Messspitzenempfindlichkeit angezeigt. Die Werte werden berechnet basierend auf der korrekt eingegebenen Laserleistung. Rechts oben kann man auf die aus Kapitel 11.2.1 bekannten Skalierungen umschalten. Darunter befindet sich ein Eingabefeld, in dem Sie den zur Radiusbestimmung erwünschten Leistungsabfall (-einschluss) eintragen können. Neben diesen Funktionen bietet dieses Fenster noch eine Menge weitere Informationen über die Bedingungen, unter denen gemessen wurde.

Ebenso werden die Verstärkung, die Zahl der Mittelungen sowie die Rotationsgeschwindigkeit während der Messung angezeigt.

### 11.2.10 Graphische Übersicht

Das Darstellungsfenster **Graphische Übersicht** bietet viele Möglichkeiten, die Messwerte aus den einzelnen Messebenen darzustellen.

Über der x-Achse können die Leistung, die Zeit, die Ebenen oder die z-Position aufgetragen werden. Für die y-Achse stehen die Daten des Radius, der x bzw. y- Position, der Winkel und der Elliptizität zur Verfügung. Insgesamt kann dieses Fenster 16 verschiedenen Graphen darstellen.

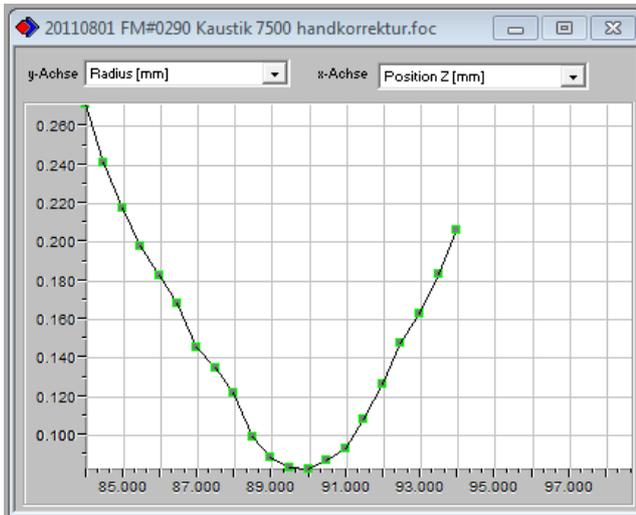


Abb. 11.29: Grafische Übersicht

### 11.2.11 Farbtafeln

Es sind verschiedene Farbtabellen verfügbar. Sie können zwischen den Farbtabellen hin- und herschalten. So kann die Zuordnung von A/D-Wandlerwerten und den verschiedenen Farbskalen variiert werden. Dies ist wichtig für jede Falschfarbendarstellung.

Drei Einstellungen sind möglich:

- lineare Farbtafel (Grundeinstellung)
- Farbtafel analog der Wurzelfunktion
- Farbtafel 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.

### 11.2.12 Position ▶FM◀

In diesem Menü können Sie den Messkopf in eine gewünschte z- oder y-Position verfahren, zum Beispiel:

- in die Parkposition (Park Position,  $z=0$   $y=0$ )
- in die gemessene Fokusebene (Fokus Position)
- in eine benutzerdefinierte z-Position (General Z-Position)
- in eine benutzerdefinierte y-Position (General Y-Position)

Als Referenz für die Abstände können Sie beim Standardeinbau im Auswahlfeld **Mode** den Schlitten (Auswahl **Schlittenoberkante**) oder die Messspitze (Auswahl **Pinhole**) wählen. Ist Ihr Gerät über Kopf eingebaut, müssen Sie das Kontrollkästchen **Umgedreht** aktivieren. Dann werden die Abstände auf die Messspitze oder die Schlittenunterkante (*Abdeckung auf der Unterseite*) referenziert.

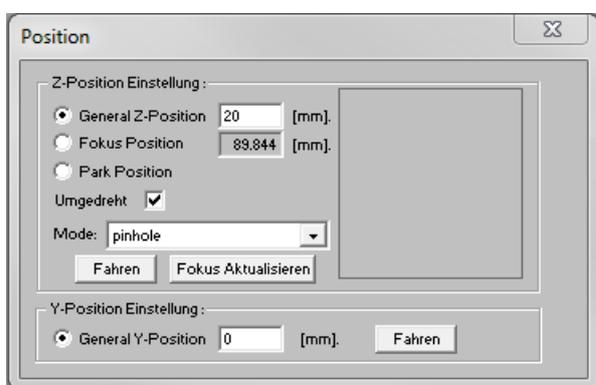


Abb. 11.30: Dialogfenster **Darstellung>>Position**

### 11.2.13 Evaluation (Option)

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.

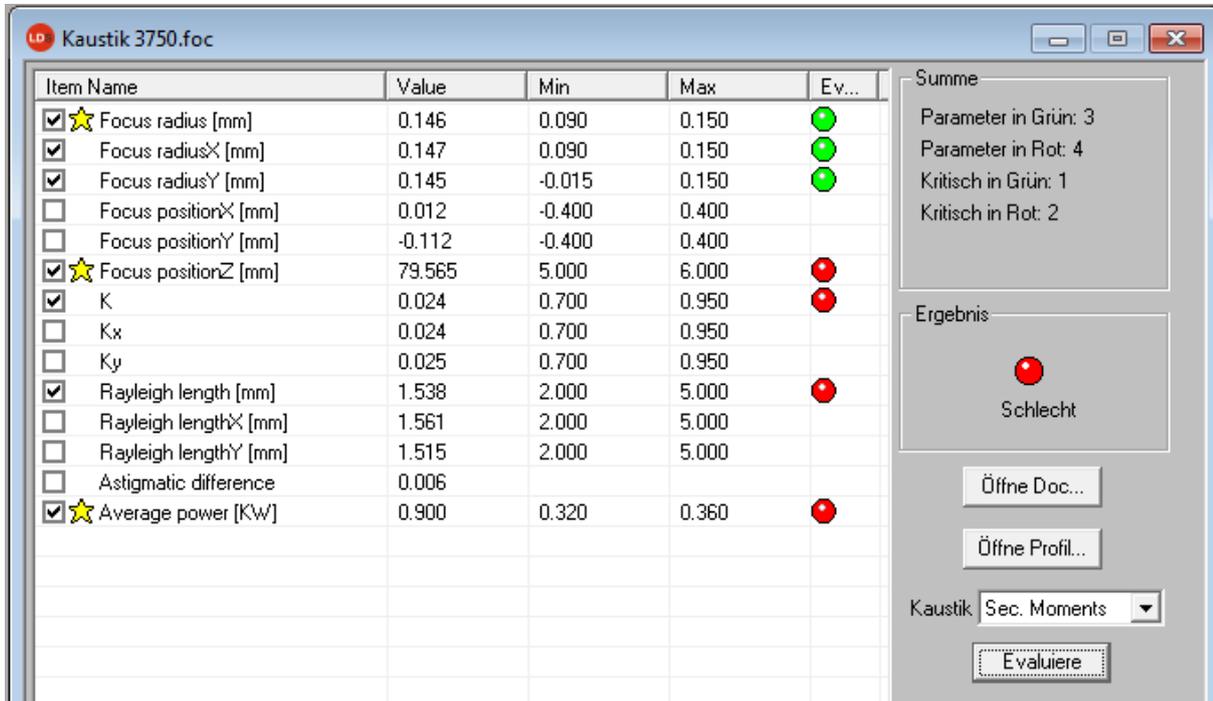


Abb. 11.31: Dialogfenster Evaluation

Die Parameter, die Grenzwerte und die Kennzeichnung als kritischer Wert werden in einer Profildatei vorgegeben (Textdatei, siehe Beispieldatei in Abb. 11.32).

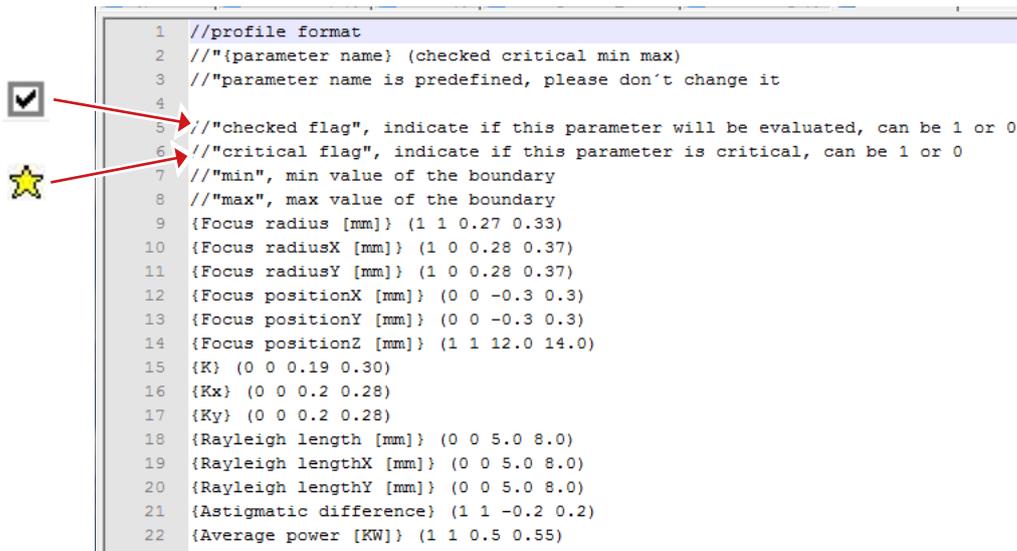


Abb. 11.32: Beispiel für eine Profildatei

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 **Evaluieren**.

### 11.3 Datei

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

#### 11.3.1 Neu

Mit **Neu** erstellen Sie eine neue Datei.

#### 11.3.2 Öffnen

Mit **Öffnen** öffnen Sie eine ausgewählte Datei.

#### 11.3.3 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 (Kap. 23.2 auf Seite 113). Nur Dateien mit diesen Formaten können vom Programm geöffnet werden.

#### 11.3.4 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.

---

#### 11.3.5 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.

#### 11.3.6 Messeinstellungen laden

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

#### 11.3.7 Messeinstellungen speichern

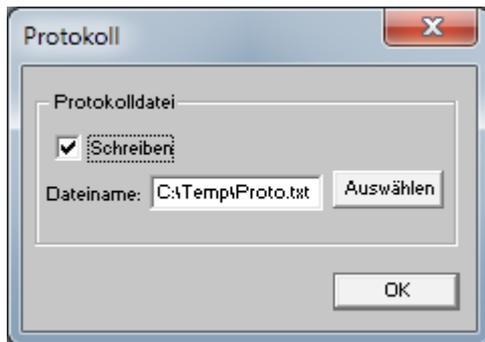
Sie speichern die aktuellen Messeinstellungen (.ptx-Datei).

### 11.3.8 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. Moment 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.



### 11.3.9 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.

### 11.3.10 Vorschau Drucken

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

### 11.3.11 Zuletzt geöffnete Datei

Auswahl der zuletzt bearbeiteten Dateien.

### 11.3.12 Ende

Beendet das Programm.

## 11.4 Bearbeiten

### 11.4.1 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.

### 11.4.2 Ebene löschen

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

### 11.4.3 Alle Ebenen löschen

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

## 11.5 Kommunikation

### 11.5.1 Geräte suchen

Wollen Sie nach dem Starten der LaserDiagnoseSoftware neue Geräte an den PRIMES Bus anschließen, müssen Sie zunächst die Spannung abschalten. Nach dem Wiedereinschalten müssen Sie mit dieser Funktion den Bus erneut nach den angeschlossenen Systemen absuchen.

### 11.5.2 Freie Kommunikation

Mit Hilfe dieses Menüs können Sie die Kommunikation über den PRIMES-Bus überwachen. Außerdem werden hier die Einstellungen zur Kommunikation vorgenommen. Weitere Informationen finden Sie im Kapitel „10 Kommunikation testen“ auf Seite 38.

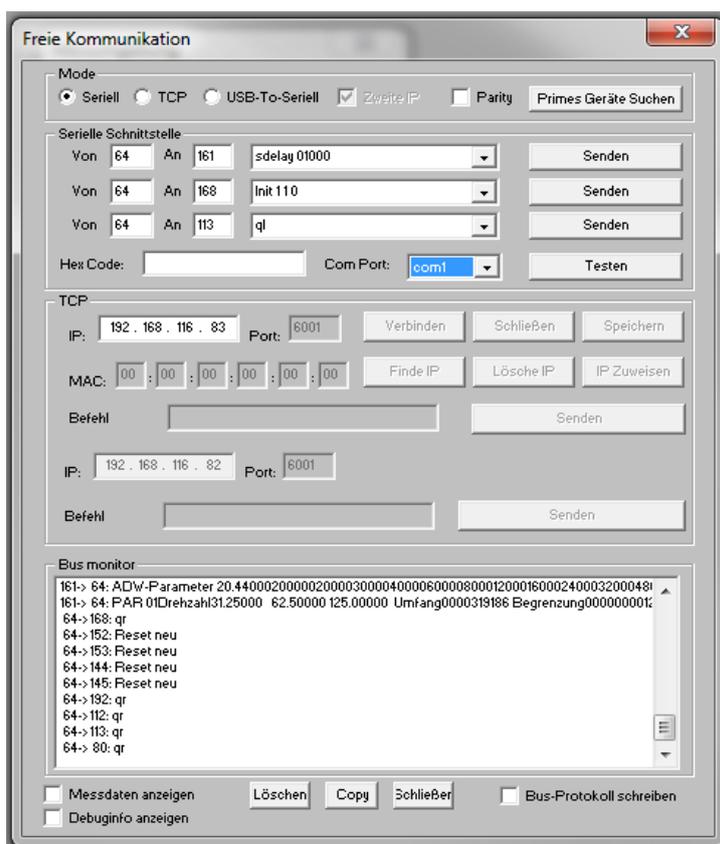


Abb. 11.33: Dialogfenster **Kommunikation**>>**Freie Kommunikation**

### 11.5.3 Liste gesuchter Geräte

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

## 11.6 Skript

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.

### 11.6.1 Editor

Mit dem Skripteditor können Sie Skripte erstellen, die z. B. komplexe Messabläufe automatisch steuern. Ein Beispiel ist in Abb. 11.34 gezeigt - die Prozedur zur Strahlsuche mit dem BeamMonitor. 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.

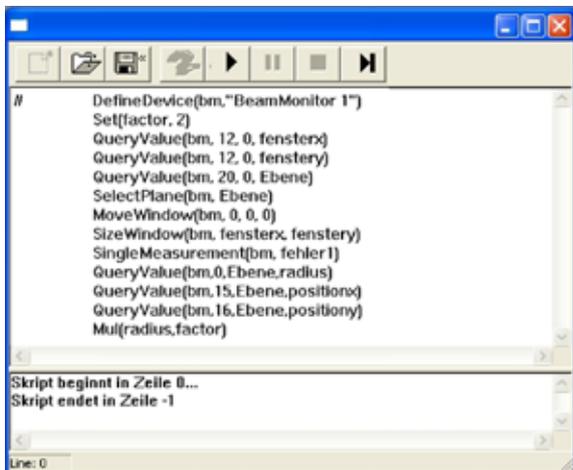


Abb. 11.34: Skript für die Strahlsuche-Prozedur des BeamMonitor

### 11.6.2 Auflisten

Hier werden alle vorhandenen Skripte aufgelistet



Abb. 11.35: Liste der vorhandenen Skripte

### 11.6.3 Python

Startet den Python-Editor. Die Grafische Benutzeroberfläche ist identisch mit der in Abb. 11.34 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.

Detaillierte Informationen zur Skriptsteuerung gibt die separate Beschreibung "Dokumentation zur Python-Skript-Steuerung der PRIMES LaserDiagnoseSoftware".

## 12 Messen

Dieses Kapitel beschreibt die manuelle Bedienung des PRIMES-Laser-Diagnosesystems und erklärt, wie die besten Resultate zu erzielen sind.

Eine automatische Messung mit dem FocusMonitor oder dem BeamMonitor kann über das PRIMES-SPS-Interface von der Anlagensteuerung aus gestartet werden. In diesem Fall übernimmt eine Ablaufsteuerung, z. B. über ein Skript, den gesamten Messbetrieb. Die Arbeit mit der Skriptsteuerung ist in der zugehörigen Dokumentation beschrieben.



### GEFAHR

**Verletzungsgefahr durch Laserstrahlung**

**Im Messbetrieb entsteht Streustrahlung.**

- ▶ **Tragen Sie Laserschutzbrillen (OD 6), die an die verwendete Laserwellenlänge angepasst sind und entsprechende Schutzkleidung.**
- ▶ **Sorgen Sie für eine ausreichende Abschirmung der Streustrahlung und die vollständige und sichere Absorption der Strahlung, die das Gerät passiert.**
- ▶ **Sorgen Sie für den senkrechten Einfall des Strahles in das Messgerät.**
- ▶ **Halten Sie im Messbetrieb einen Sicherheitsabstand von 1 Meter zum FocusMonitor ein!**

### 12.1 Voraussetzungen

Die nachfolgende Beschreibung setzt voraus, dass

- die in Kapitel „1 Grundlegende Sicherheitshinweise“ geforderten Schutzmaßnahmen getroffen worden sind
- die Messgeräte gemäß Kapitel „5 Montage“ richtig ausgerichtet und stabil befestigt sind
- alle Komponenten des Messsystems gemäß Kapitel „6 Elektrischer Anschluss“ angeschlossen sind
- die Software (LDS) und bei USB-Anschluss der USB/RS232-Treiber gemäß Kapitel „9.2 Software installieren“ installiert sind.

### 12.2 Mögliche Messarten

#### 12.2.1 Einzelmessung

Es wird nur eine Messung in einer Ebene durchgeführt. Die Einzelmessung können Sie automatisch oder manuell einrichten. Die Position und die Größe des Messfensters können Sie relativ zum maximalen Messbereich einstellen. Die Verstärkung ist getrennt einstellbar. Eine Falschfarbendarstellung ist möglich.

#### 12.2.2 Kaustikmessung

Es werden mehrere Messungen in verschiedenen Ebenen der z-Achse durchgeführt. Die Parameter können Sie automatisch oder manuell im Menüpunkt **Messung>>Messeinstellungen** einstellen. Die Messung ermöglicht die direkte Bestimmung der Beugungsmaßzahl  $M^2$  (Strahlpropagationsfaktors K).



Beim Messen mit dem DFY-PS-Detektor müssen Sie vor der Kaustikmessung eine manuelle Einzelmessung durchführen (siehe Kapitel 12.4 auf Seite 82).

**12.2.3 Justiermode**

Spezieller Messmode für den BeamMonitor zur Resonatorjustierung und für Serviceeinsätze. Zeichnet sich aus durch eine einfache Bedienoberfläche und übersichtliche Dialogfenster. Die Messergebnisse können in getrennten Ebenen und in speziellen Präsentationsmenüs dargestellt werden (siehe auch Kapitel 11.1.6 auf Seite 53).

**12.3 Kurzanleitung für eine erste Einzelmessung**



Schalten Sie zuerst die Versorgungsspannung des Gerätes ein und warten Sie ca. 20 Sekunden. Starten Sie dann erst die Software.

Beim Ein- oder Ausschalten der Versorgungsspannung wird ein geräteinterner Reset-Zyklus gestartet, während dieser Zeit sind keine Messungen möglich!

1. Schalten Sie die Versorgungsspannung ein. Warten Sie ca. 20 Sekunden bis der geräteinterne Bootvorgang beendet ist.

**Nur beim USB-Anschluss:**

- Starten Sie die LaserDiagnoseSoftware.
- Öffnen Sie das Dialogfenster **Kommunikation**>>**Freie Kommunikation** und stellen Sie ein:

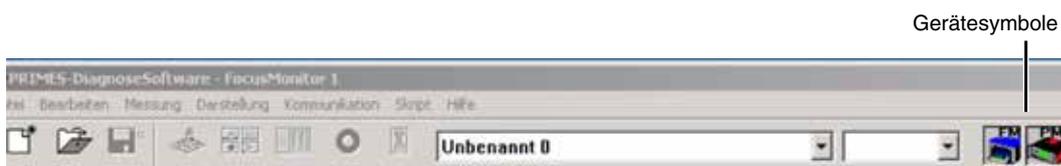
A USB-To-Serial ("Parity" deaktivieren)

B ComPort: com3 (com1 bis com6 frei wählbar, von der Konfiguration Ihres PCs abhängig)

Gewöhnlich sind die ComPort-Anschlüsse 3...6 frei. Falls nicht, müssen Sie im Windows®-Gerätemanager die Anschlüsse neu zuweisen, siehe Kapitel 9.2.1 auf Seite 30.

- Schalten Sie die Versorgungsspannung ein. Warten Sie ca. 20 Sekunden bis der geräteinterne Bootvorgang beendet ist.

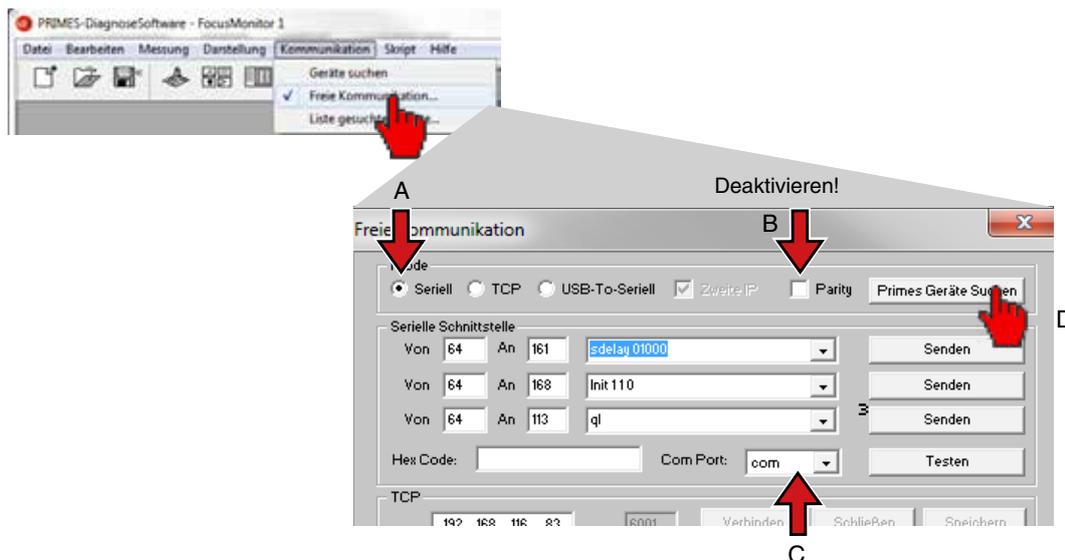
2. Starten Sie die LaserDiagnoseSoftware. Die angeschlossenen Geräte werden innerhalb von 20 Sekunden erkannt und oben rechts in der Werkzeugleiste die Gerätesymbole eingeblendet.



Wenn das Gerät **nicht** erkannt worden ist:  
 Öffnen Sie das Dialogfenster **Kommunikation**>>**Freie Kommunikation** und stellen Sie ein:

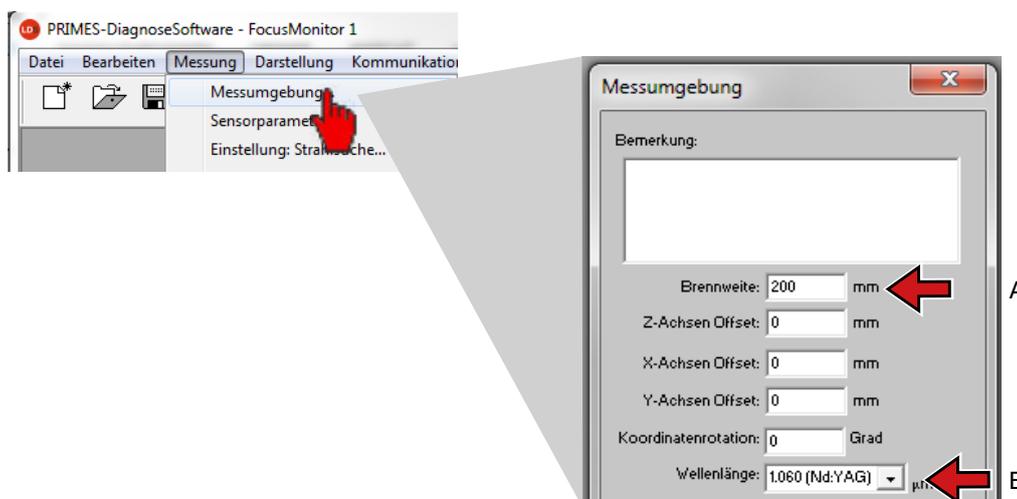
- A Seriell
- B Parity deaktivieren
- C ComPort: com3 (com1 bis com6 frei wählbar, ist von der Konfiguration Ihres PCs abhängig)
- D Klicken Sie auf die Schaltfläche **Primes Geräte suchen**.

Gewöhnlich sind die Com-Anschlüsse 3..6 frei. Falls nicht, müssen Sie im Windows®-Gerätemanager die Anschlüsse neu zuweisen, siehe Kapitel 9.2.1 auf Seite 30.



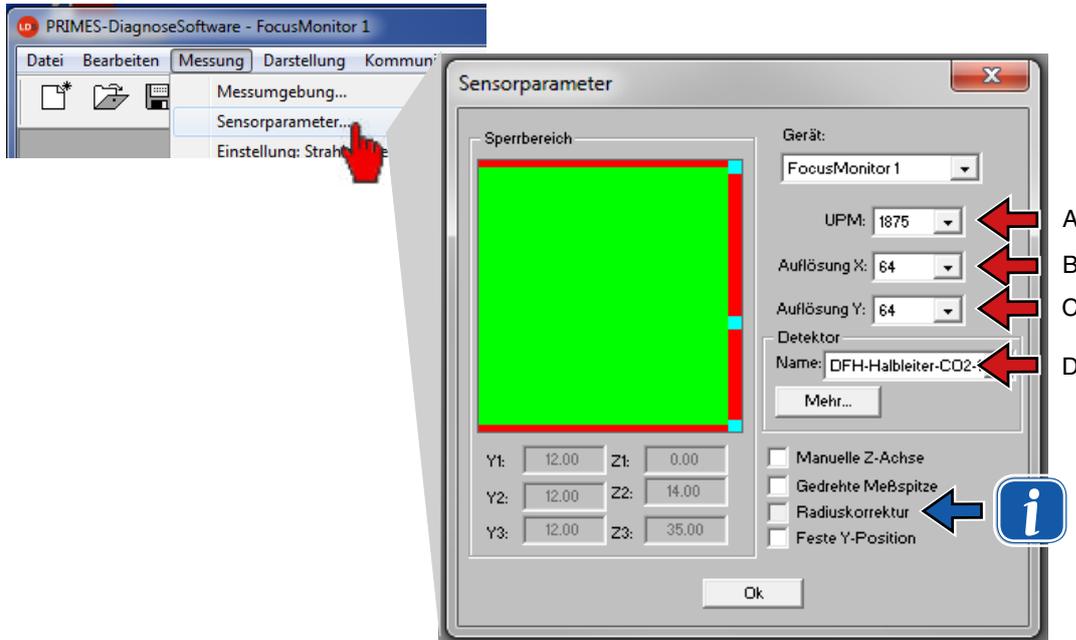
3. Öffnen Sie das Dialogfenster **Messung**>>**Umgebung** und geben Sie ein:

- A Die Brennweite
- B Wählen Sie die Wellenlänge aus



4. Öffnen Sie das Dialogfenster **Messung>>Sensorparameter** und wählen Sie:

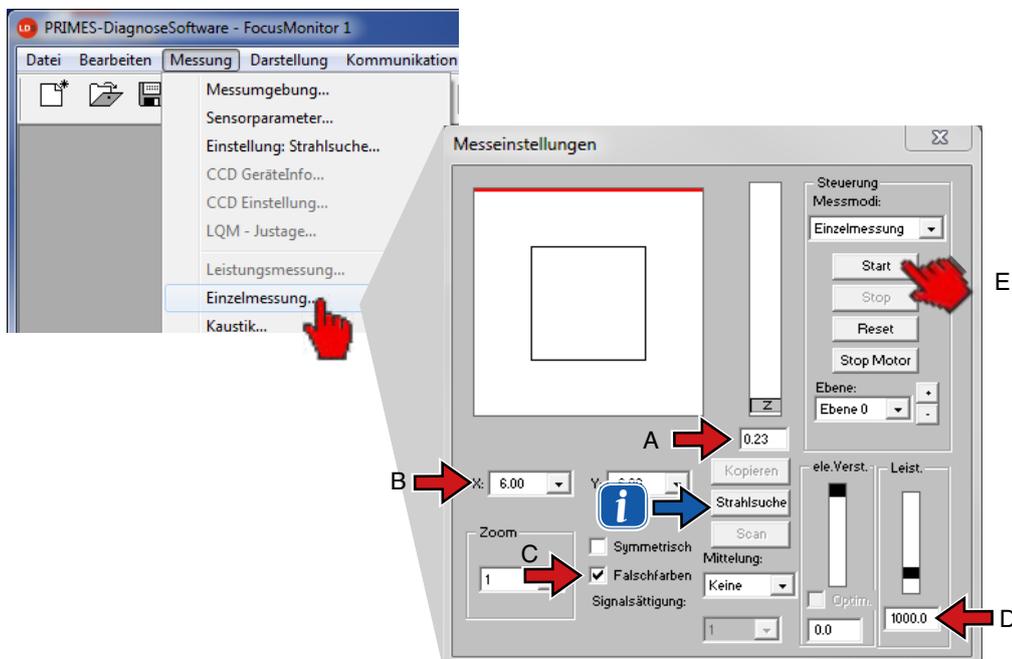
- A Die Drehzahl, welche Sie anhand der Tabellen in Kapitel „15 Auswahl der Detektoren und Messspitzen“ auf Seite 87 und des Datenblattes der Messspitze ermittelt haben.
- B Die Auflösung X: 64 (empfohlen)
- C Die Auflösung Y: 64 (empfohlen)
- D Den Detektortyp (finden Sie auf dem Etikett des Detektors)



Bei rechteckigen oder linienförmigen Laserstrahlen empfehlen wir, die Radiuskorrektur zu aktivieren.

5. Öffnen Sie das Dialogfenster **Messung>>Einzelmessung** und wählen Sie

- A Die gewünschte z-Position
- B Fenstergröße in x-Richtung: empfohlene Einstellung X=8.0 mm  
Fenstergröße in y-Richtung: empfohlene Einstellung Y=8.0 mm
- C Falschfarben



- D Geben Sie im Bereich „Leist.“ die Laserleistung des zu messenden Strahls ein. Ermitteln Sie die zu erwartende Leistungsdichte und stellen Sie sicher, dass die Zerstörschwelle nicht überschritten wird (siehe Tab. 15.3 auf Seite 89 und Tab. 15.4 auf Seite 90).
- E Schalten Sie den Laser ein und klicken Sie auf die Schaltfläche „Start“.



Die Schaltfläche **Strahlsuche** übernimmt beim FocusMonitor automatisch die Positionierung und die Auswahl des Messfensters. Dabei bleibt die z-Position jedoch unverändert und die Suche beschränkt sich auf den eingestellten Fensterbereich. War die Suche erfolgreich, wird das gefundene Messfenster eingeblendet. Es ist eine reine Suchfunktion. Die Messfenstergröße ist nicht optimiert.

**Signalübersteuerung** (bei Detektoren für NIR- und CO<sub>2</sub>-Laser)

Ist das Signal zu groß, können Sie die Verstärkung reduzieren. Wenn dies nicht hilft, müssen Sie die Empfindlichkeit des Detektors umschalten (siehe Abb. 12.1). Nicht alle Detektoren bieten diese Möglichkeit (siehe auch „Tab. 15.2: Detektorauswahl“ auf Seite 88).

Detektortyp	Empfindlichkeit einstellbar
DFY-2	Ja
DFY-5	Ja
DFY-PS	Ja (automatisch)
DFGE	Ja
DFING	Ja
DFH	Nein
DFCM	Nein



Nach jedem Umschalten des Detektorschalters müssen Sie das Gerät zurücksetzen (aus- und wieder einschalten). Dies ist notwendig für eine korrekte Bestimmung des Offsets und verhindert so Fehlmessungen.

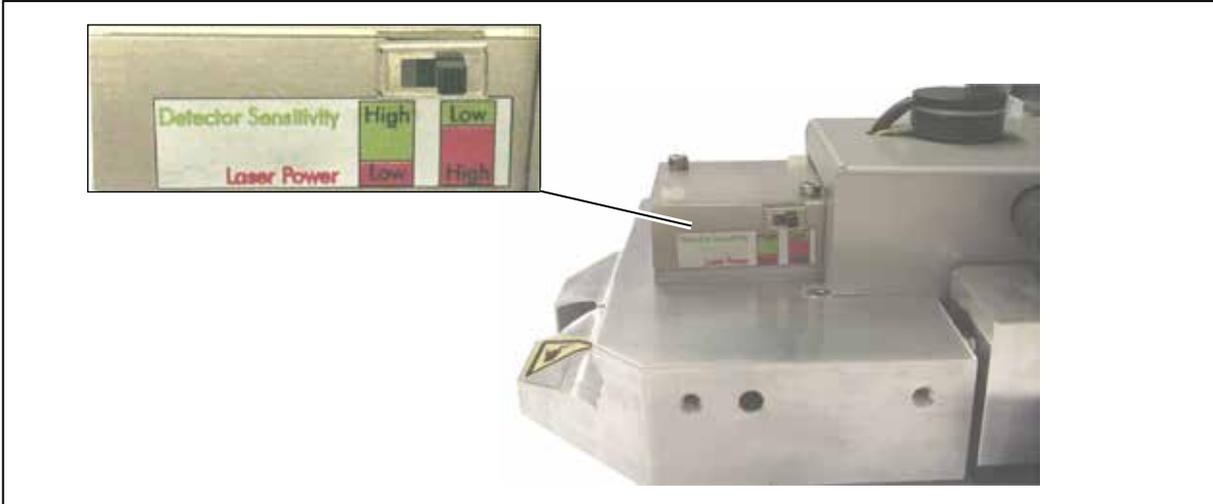


Abb. 12.1: Schalter für die Empfindlichkeit des Detektors am FocusMonitor

Beim BeamMonitor müssen Sie dazu die Abdeckung der Revisionsöffnung im Boden entfernen (Abb. 12.2). Darunter befindet sich der Detektor (siehe auch Kapitel 15.5 auf Seite 95).

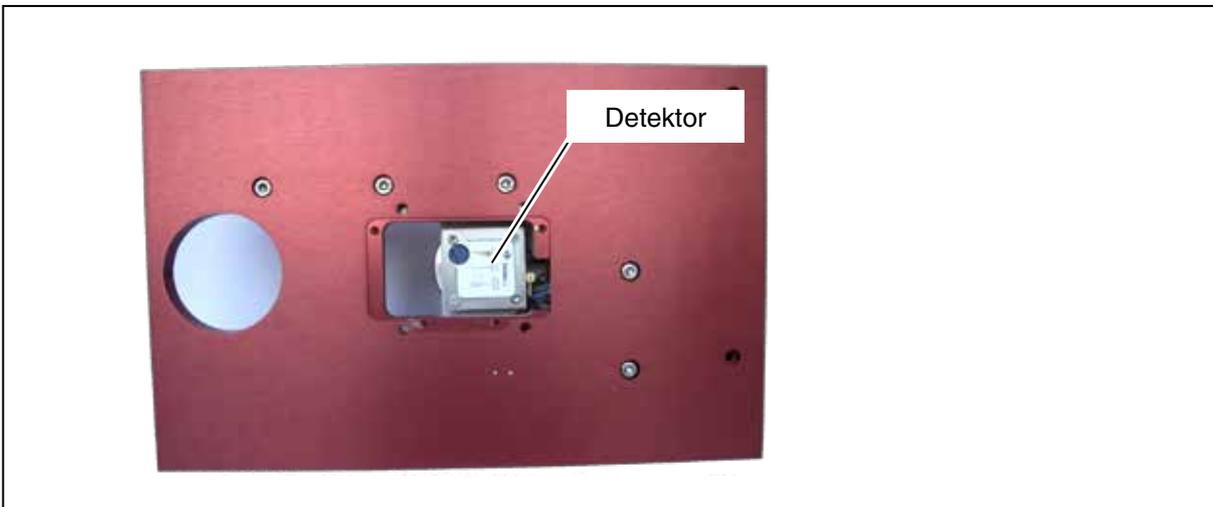


Abb. 12.2: Detektor des BeamMonitor

Die Messergebnisse können Sie z. B. durch den Menüpunkt **Darstellung>>Variable Schnitte** visualisieren (siehe Abb. 12.3). Hier werden die Konturlinien der räumlichen Leistungsdichteverteilung in x- und y-Richtung angezeigt.

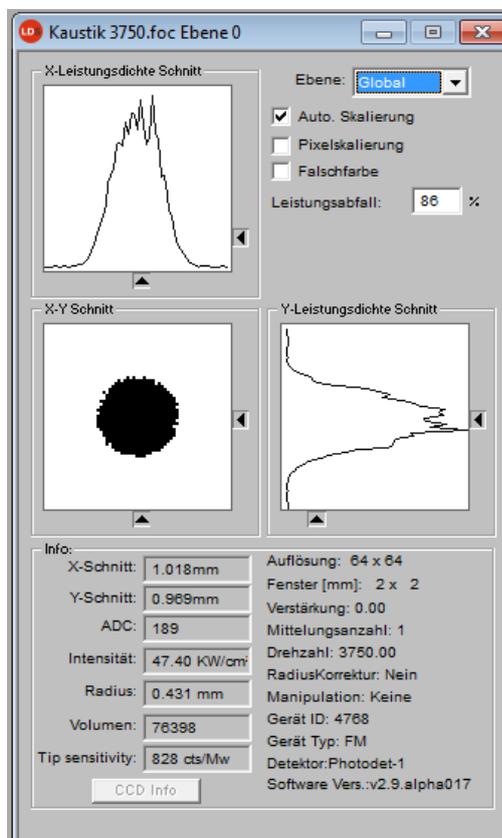


Abb. 12.3: Darstellung des Messergebnisses durch variable Schnitte

Unter **Messung>>Messumgebung>>Kommentar** können Sie spezifische Angaben über die Strahlquelle, die verwendete Fokussieroptik usw. eintragen.

Im Menüpunkt **Datei>>Speichern** können Sie die Messdaten speichern.

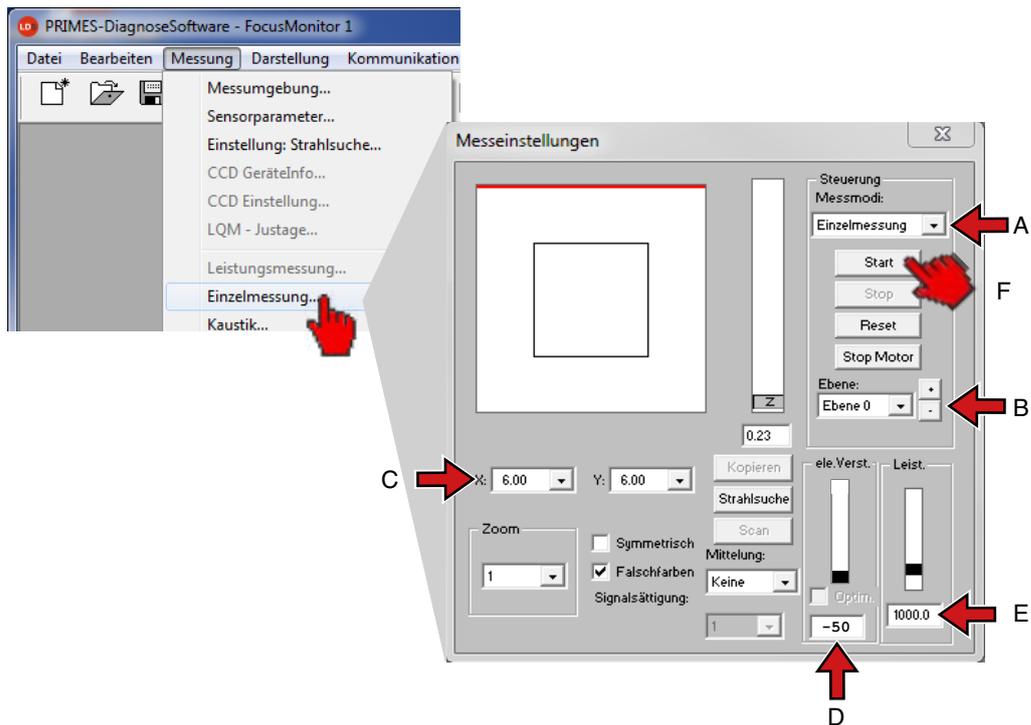
### 12.4 Messen mit dem DFY-PS-Detektor

Mit diesem neuen Detektor für das NIR ist ein großer Dynamikbereich auch ohne ein mechanisches Umschalten verfügbar.

Wegen seines großen Dynamikbereiches müssen Sie beim Messen mit dem DFY-PS-Detektor vor der Kaustikmessung eine manuelle Einzelmessung durchführen.

1. Öffnen Sie das Dialogfenster **Messung>>Einzelmessung** und wählen Sie

- A Den Messmode **Einzelmessung**
- B Die **Ebene 0**
- C Die Fenstergröße in x- und y-Richtung

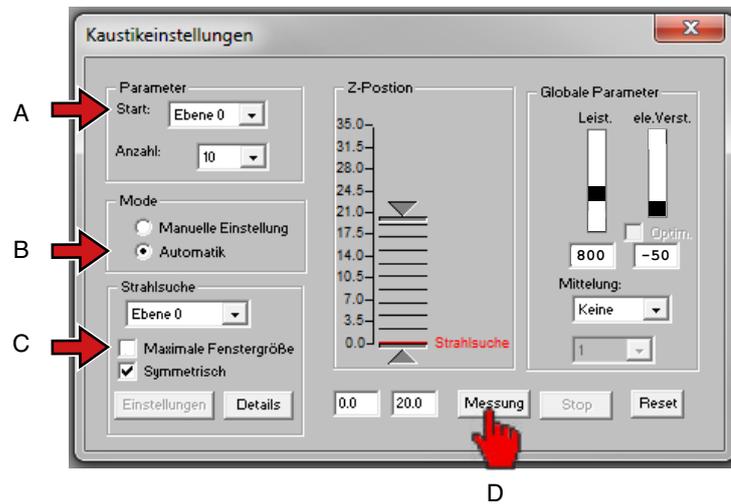


- D Geben Sie im Bereich **el. Verst.** die Verstärkung **-50** dB ein.
- E Geben Sie im Bereich **Leist.** die Laserleistung ein.
- F Schalten Sie den Laser ein und klicken Sie auf die Schaltfläche **Start**.

Wurde der Strahl nicht gefunden, wiederholen Sie die Messung unter schrittweisem Erhöhen der Verstärkung (z. B. in 5 dB- oder 10 dB-Schritten) solange, bis der Strahl gefunden wird. Nachdem der Laserstrahl gefunden wurde und in dieser Ebene vermessen worden ist, können Sie eine Kaustikmessung starten.

2. Öffnen Sie das Dialogfenster **Messung**>>**Kaustikmessung** und wählen Sie

- A Startebene **Ebene 0**.
- B Mode **Automatik**.
- C Falls aktiv, deaktivieren Sie die Option **Maximale Fenstergröße**
- D Schalten Sie den Laser ein und klicken Sie auf die Schaltfläche **Messung**.



## 13 Diskussion der Messergebnisse und Fehleranalyse

Für die korrekte Interpretation der gemessenen Werte und die Beurteilung der errechneten Ergebnisse müssen die spezifischen Eigenschaften des BeamMonitor und des FocusMonitor berücksichtigt werden. Eine komfortable automatische Prüfung der Einstellungen und Ergebnisse bietet die LaserDiagnoseSoftware mit der Bewertungsfunktion (siehe Abb. 11.20 auf Seite 62).

Das Programm nutzt standardmäßig parallel zwei verschiedene Methoden zur Radiusbestimmung (weitere sind optional verfügbar).

### **86%-Definition:**

*Der Strahlradius wird berechnet anhand des Strahlgebietes, in dem 86 % der gesamten Laserleistung eingestrahlt werden. Damit lässt sich der Radius eines Kreises bestimmen, der die selbe Fläche umschließt. Darauf basiert die hier verwendete Strahlradiusdefinition (siehe auch „24 Grundlagen der Strahldiagnose“ auf Seite 121).*

Diese Definition ist jedoch nur sinnvoll, wenn es sich um einen rotationsymmetrischen Laserstrahl ohne Modulationsgebiete (partiell sehr geringe Strahlungsintensität) im Strahlgebiet handelt.

### **2. Momente Methode-Definition:**

*Der Radius des Laserstrahls wird berechnet aus dem 2. Moment der Leistungsdichteverteilung des Strahls gemäß ISO 11146 (siehe auch „24 Grundlagen der Strahldiagnose“ auf Seite 121).*

Manchmal ist es hilfreich, den Strahlradius manuell durch die 10 – 90 % Leistungsdichte in der **Variable Schnitte**-Darstellung zu bestimmen.

**Optionale Radiusdefinitionen** (siehe auch Kapitel 24.2.5 auf Seite 126):

- Schneidenmethode nach ISO 11146
- Spaltmethode nach ISO 11146
- Gaußfit-Methode
- $1/e^2$ -Leistungsdichteabfall-Methode
- Leistungseinschluss-Methode mit frei definierbarem 1. Leistungseinschluss
- Leistungseinschluss-Methode mit frei definierbarem 2. Leistungseinschluss

### **Strahllage im Messfenster**

Das Messfenster muss so positioniert werden, dass es den gesamten Strahl umschließt. Dies ist notwendig für eine korrekte Berechnung des Strahlradius und der Strahllage. Mögliche maximale Messfenstergrößen sind 8 mm x 8 mm, optional 16 mm x 8 mm oder 24 mm x 12 mm.

### **Zeitliche Stabilität**

Der FocusMonitor und der BeamMonitor sind für die Vermessung kontinuierlicher Laserstrahlung konzipiert. Zeitliche Schwankungen der Laserleistung oder Veränderungen der räumlichen Leistungsdichteverteilung können möglicherweise nicht exakt vermessen werden, sobald die Zeitkonstante der Schwankungen kleiner als die Messzeit von ca. 3 Sekunden ist.

Dauergepulste Laserstrahlung kann gemessen werden, jedoch können Interferenzen zwischen der Laserfrequenz und der Abtastfrequenz des Messgerätes auftreten. Verschiedene Mittelungsmodi können hier manchmal weiterhelfen – insbesondere die Menüpunkte **maximale Pixel** sowie **maximale Spur**.

Optional ist für den FocusMonitor ein Triggerausgang für gepulste Laser verfügbar. Das Triggersignal ist mit der Drehung der Messspitze gekoppelt und kann so zur Synchronisierung benutzt werden. Die Polarität, Pulsweite und Verzögerung des Triggersignals sind einstellbar. Die Einstellmöglichkeiten werden in einer separaten Dokumentation beschrieben.

Erfolgt die Leistungsstellung des Lasers über eine Pulsweitenmodulation (üblich bei vielen hochfrequen-

zangeregten Systemen), so kann eine Modulation der Laserleistung mit der Pulsfrequenz auftreten. Das bewirkt eine periodische Modulation auf dem Messergebnis. Gegebenenfalls treten Schwebungen auf.

Transmissive Optiken (z. B. Auskoppelplatten und Linsen) zeigen typischerweise ein thermisches Einlaufverhalten. Das bedeutet, dass je nach Optikmaterial etwa 10–20 Sekunden oder einige Minuten nach dem Einschalten des Laserstrahls vergehen, bis die Optik im thermischen Gleichgewicht ist. Während dieser Zeit verändert sich der Brechungsindex und die Dicke des Optikmaterials, das führt im Allgemeinen zu Veränderungen des Strahldurchmessers und der Strahldivergenz. Daraus resultiert schließlich eine Änderung der Fokusslage. Bei einer Beurteilung etwaiger Messergebnisse muss das in Betracht gezogen werden.

Gegebenenfalls sollte erst nach einer ausreichenden Thermalisierungszeit gemessen werden.

Zur Vermessung der Thermalisierung der Optik muss ein definierter Zeitabstand zwischen dem Einschalten des Lasers und dem Start der Messung gewählt werden.

Für eine Beurteilung des Fokusshift ist oft auch der Vergleich der Kaustiken bei niedriger und bei hoher Laserleistung hilfreich.

### **Geringes Signal/Rausch-Verhältnis**

Wenn die gemessenen Signale das Nullniveau nur wenig überschreiten und das Signal zu Rauschverhältnis gering ist, werden die berechneten Strahlparameter in der Übersichtsdarstellung nur in grauer statt in schwarzer Schrift angezeigt. In diesem Fall ist es nicht sicher, ob die berechneten Werte für den Radius und die Position belastbar sind. Prüfen Sie in diesem Fall die Relevanz der Messwerte sorgfältig.

Durch Mittelung kann im Allgemeinen das Signal/Rauschverhältnis verbessert werden.

Relaxationsprozesse des Lasers im Bereich von einigen 10 kHz kann der Detektor des FocusMonitor auflösen. Die Strahlverteilungen erscheinen deshalb manchmal unruhig. Eine zeitliche Mittelung hilft hier.

## 14 Fehlerbehebung

Fehler	Mögliche Ursache	Abhilfe
Fehler während einer Messung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fehler in der Datenübertragung</li> <li>Prozessorabsturz im Messsystem</li> <li>Fehler in der Programmausführung</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Starten Sie das System neu (Schaltfläche <b>Reset</b> im Menü <b>Messung&gt;&gt;Einzelmessung</b>)</li> <li>Schalten Sie die Versorgungsspannung aus und wieder ein und lösen Sie erneut einen Reset-Zyklus aus.</li> <li>Starten Sie den Computer neu.</li> </ol>
Außer einem Grundrauschen und dem Nulloffset <sup>1)</sup> ist kein Messsignal vorhanden.	Das Gerät ist nicht richtig ausgerichtet.	Prüfen Sie die Geräteausrichtung zum Laserstrahl.
	Die Leistungsdichte im Fokus ist zu niedrig.	Erhöhen Sie die Laserleistung. Die absolute Leistungsdichte im Fokus muss typischerweise einige Hundert kW/cm <sup>2</sup> betragen, um mit einer Standardmessspitze ein signifikantes Messsignal zu erreichen.
	Bei kleinen Fokusspots (z. B. $r_f=80\ \mu\text{m}$ ) und maximalem Messfenster ist die Auflösung zu niedrig gewählt.	Messen Sie zunächst außerhalb des unmittelbaren Fokusbereiches. Führt dies nicht zum Ergebnis, erhöhen Sie die Auflösung (z. B. 128x128).
	Die Messspitze ist defekt.	Setzen Sie eine neue Messspitze ein (siehe auch Kapitel 15.3 auf Seite 91).
	Die Messspitze ist falsch eingebaut.	Drehen Sie die Messspitze um.
	Die Signalverstärkung ist zu niedrig.	Stellen Sie im Dialogfenster <b>Messung&gt;&gt;Einzelmessung</b> die maximale Verstärkung ein und wählen Sie den maximalen Messbereich. Aktivieren Sie bei der Darstellung die Option <b>Autoscale</b> .
BeamMonitor findet kein Strahl	Strahleinfall von der falschen Seite.	Drehen Sie das Messgerät um.
Die Messspitze wird während der Messung zerstört.	Die Leistungsdichte ist zu groß, sodass auf der Oberfläche der Messspitze ein Plasma gezündet wird.	Erhöhen Sie die Drehzahl der Messspitze (siehe Tabellen Seite 89 und Seite 90) und spülen Sie den Messbereich mit Helium.
Bei der Vermessung kleiner Strahlen wird ein Versatz der aufgenommenen Messspuren zueinander beobachtet.	Schwankungen im Gleichlauf der Rotationsscheibe sowie Verzögerungen beim Auslösen des Triggersignals.	Legen Sie die Strahlposition möglichst weit an den linken Rand des Messfensters. So wird der zeitliche Abstand zwischen dem Triggersignal und dem Messbeginn kleiner und Störungen können so reduziert werden. Oft ist hier auch eine Mittelung hilfreich.

<sup>1)</sup> Beim FocusMonitor typischerweise 150 counts, beim BeamMonitor etwa 800 counts (die aktuelle Zahl der „Counts“ können Sie im Menüpunkt **Darstellung>>Variable Schnitte** ablesen).

## 15 Auswahl der Detektoren und Messspitzen

Unterschiedliche Messspitzen und Detektoren stehen für verschiedene Wellenlängen, Leistungsdichtebereiche oder Strahldivergenzen zur Verfügung, um jeweils mit maximaler Leistung messen zu können. Somit kann eine optimale Konfiguration des FocusMonitor erreicht werden. Bezüglich Leistung oder Leistungsdichte kann jeweils nur ein Wert voll ausgeschöpft werden.

Messspitzen	High Power CO <sub>2</sub>	High Div YAG	Diode Tip
Typische Pinhole-Durchmesser in µm	20-25	20	50
Strahldivergenz/Akzeptanzwinkel in mrad	< 240	< 200	< 400
Typische Wellenlänge in µm	10-12	0,7-1,1	0,7-1,0
<b>CO<sub>2</sub>-Laser</b>			
Max. Leistungsdichte*) in MW/cm <sup>2</sup>	30	—	—
Max. Leistung in kW	15	—	—
<b>Nd:YAG-Laser</b>			
Max. Leistungsdichte*) in MW/cm <sup>2</sup>	—	10	1,0
Max. Leistung in kW	—	10	4
<b>Diodenlaser</b>			
Max. Leistungsdichte in MW/cm <sup>2</sup> *)	—	2	1
Max. Leistung in kW	—	6	4
<b>Geeignete Detektoren</b>	DFCM, DFH	DFY, DFING, DFY-PS	DFY, DFING, DFY-PS

Tab. 15.1: Auswahl von Messspitzen und Detektoren

\*) Bitte beachten Sie die Zerstörgrenzen in Tab. 15.3 auf Seite 89 und Tab. 15.4 auf Seite 90.

Die Messspitzen sind je nach Ausführung mit unterschiedlichen Leistungsdichten belastbar. Die Leistungsdichte ist abhängig von der Laserleistung und der Fokusgröße.

### ACHTUNG

#### Beschädigungsgefahr der Messspitze

Bei sehr großen Leistungsdichten (CO<sub>2</sub> > 15-20 MW/cm<sup>2</sup>; YAG > 6 MW/cm<sup>2</sup>) ist es möglich, dass auf der Oberfläche der Messspitze ein Plasma gezündet wird. Das kann zur Zerstörung der Messspitze führen.

- ▶ Erhöhen Sie die Drehzahl gemäß den Tabellen Tab. 15.3 auf Seite 89 und Tab. 15.4 auf Seite 90 und spülen Sie bei Bedarf mit Schutzgas (Helium).

Ein entsprechender Schutzgasanschluss ist in den Geräten mit Hochleistungserweiterung integriert.

In Abbildung Abb. 15.1 ist ein Messverlauf mit Zerstörung der Messspitze dargestellt.

- bei normalem Betrieb

- während eine Messspitze zerstört wurde.

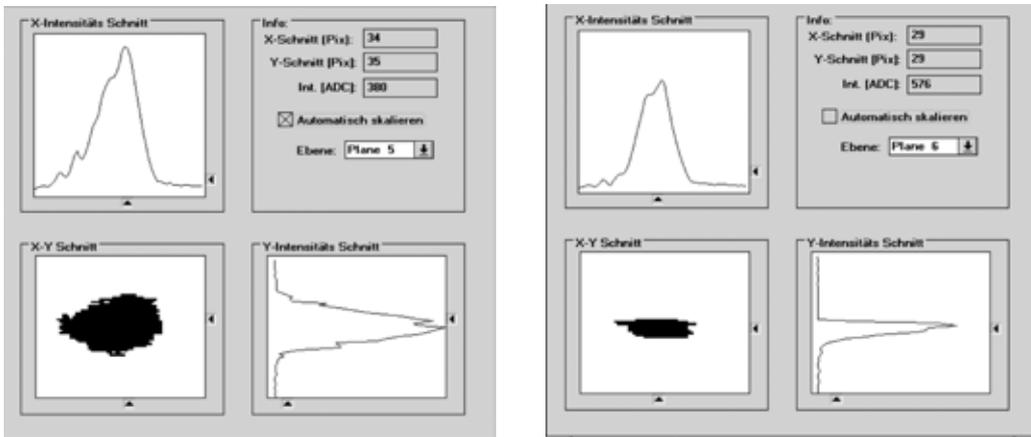


Abb. 15.1: Messverlauf in der Darstellung **Variable Schnitte**

Im rechten Bild ist deutlich erkennbar, zu welchem Zeitpunkt das Messsignal ausgesetzt hat. Im Zweifelsfall kann eine Messspitze mit Hilfe eines HeNe-Lasers auf Durchgang geprüft werden. Dazu wird die Messspitze ausgebaut und mit einem 0,5 bis 1,0 mW Laser von hinten in die Spitze geleuchtet. Das Pinhole sollte einen deutlichen roten Reflex liefern.

Stellen Sie die Drehzahlen entsprechend der Leistungsdichte ein, die Sie in den Tabellen Tab. 15.3 auf Seite 89 und Tab. 15.4 auf Seite 90 ablesen. Geben Sie die Drehzahl im Dialogfenster **Messung>>Sensorparameter** ein.

**Detektoren**

Je nach Anwendung werden verschiedene Detektoren eingesetzt (siehe Tab. 15.1). Um das unterschiedliche Zeitverhalten der Systeme zu kompensieren, sind die verwendeten Detektoren explizit im Menü **Messung>>Sensorparameter** auszuwählen.

Detektortyp	Laser	Sensorart	Verstärkung	Wellenlängenbereich in $\mu\text{m}$
DFCM	CO <sub>2</sub>	Pyroelektrischer-Detektor	1	9 – 12
DFCM-2	CO <sub>2</sub>	Pyroelektrischer-Detektor	1 und 15	9 – 12
DFY-2	NIR/VIS	Photodiode	1 und 15	0,4 – 1,1
DFY-5	NIR/VIS	Photodiode	1, 5, 25, 125, 625	0,4 – 1,1
DFY-PS	NIR/VIS	Photodiode	Automatische Anpassung der Empfindlichkeit	0,4 – 1,1
DFGE	NIR	Photodiode	1, 5, 25, 125, (625)	1 – 1,5
DFING	NIR	Photodiode	1, 5, 25, 125, (625)	1 – 2,1
DFH	CO <sub>2</sub>	Halbleiter	1	9 – 12

Tab. 15.2: Detektorauswahl

### 15.1 Grenzwerte für den Messbetrieb mit HP-CO<sub>2</sub>-Messspitzen

Spezifikation für maximale Leistungsdichte ist 30 MW/cm<sup>2</sup> bis 6 kW, zwischen 6 kW und 12 kW bis 20 MW/cm<sup>2</sup>, darüber bis 20 kW max. 15 MW/cm<sup>2</sup>. Die Berechnungen gehen von einem Gauß-Profil aus. Die maximale Leistungsdichte in realen Strahlen mit den gleichen Abmessungen ist oft geringfügig kleiner (minus 10-20 % typisch, minus 50 % für eine Tophat-Verteilung). Im Zweifelsfall starten Sie mit geringerer Laserleistung.

Zuordnung in der Tabelle:

Tabellenfeld	Weiß	Grün	Gelb	Orange	Weiß mit roten Werten
Drehzahl in min <sup>-1</sup>	1875	3750	7500	7500 und Schutzgasspülung	Zerstörungsgefahr!

70	5.20	25.96	51.97	77.95	103.94	207.88	311.81	415.75	623.63	1039.38
80	3.98	19.89	39.79	59.68	79.58	159.15	238.73	318.31	477.46	795.77
90	3.14	15.72	31.44	47.16	62.88	125.75	188.63	251.50	377.26	628.76
100	2.55	12.73	25.46	38.20	50.93	101.86	152.79	203.72	305.58	509.30
125	1.63	8.15	16.30	24.45	32.59	65.19	97.78	130.38	195.57	325.95
150	1.13	5.66	11.32	16.98	22.64	45.27	67.91	90.54	135.81	226.35
175	0.83	4.16	8.32	12.47	16.63	33.26	49.89	66.52	99.78	166.30
200	0.64	3.18	6.37	9.55	12.73	25.46	38.20	50.93	76.39	127.32
225	0.50	2.52	5.03	7.55	10.06	20.12	30.18	40.24	60.36	100.60
250	0.41	2.04	4.07	6.11	8.15	16.30	24.45	32.59	48.89	81.49
275	0.34	1.68	3.37	5.05	6.73	13.47	20.20	26.94	40.41	67.34
300	0.28	1.41	2.83	4.24	5.66	11.32	16.98	22.64	33.95	56.59
325	0.24	1.21	2.41	3.62	4.82	9.64	14.47	19.29	28.93	48.22
350	0.21	1.04	2.08	3.12	4.16	8.32	12.47	16.63	24.95	41.58
375	0.18	0.91	1.81	2.72	3.62	7.24	10.86	14.49	21.73	36.22
400	0.16	0.80	1.59	2.39	3.18	6.37	9.55	12.73	19.10	31.83
425	0.14	0.70	1.41	2.11	2.82	5.64	8.46	11.26	16.92	28.20
450	0.13	0.63	1.26	1.89	2.52	5.03	7.55	10.06	15.09	25.15
475	0.11	0.56	1.13	1.69	2.26	4.51	6.77	9.03	13.54	22.57
500	0.10	0.51	1.02	1.53	2.04	4.07	6.11	8.15	12.22	20.37
525	0.09	0.46	0.92	1.39	1.85	3.70	5.54	7.39	11.09	18.48
550	0.08	0.42	0.84	1.26	1.68	3.37	5.05	6.73	10.10	16.84
575	0.08	0.39	0.77	1.16	1.54	3.08	4.62	6.16	9.24	15.40
600	0.07	0.35	0.71	1.06	1.41	2.83	4.24	5.66	8.49	14.15
625	0.07	0.33	0.65	0.98	1.30	2.61	3.91	5.22	7.82	13.04
650	0.06	0.30	0.60	0.90	1.21	2.41	3.62	4.82	7.23	12.05
675	0.06	0.28	0.56	0.84	1.12	2.24	3.35	4.47	6.71	11.18
700	0.05	0.26	0.52	0.78	1.04	2.08	3.12	4.16	6.24	10.39
725	0.05	0.24	0.48	0.73	0.97	1.94	2.91	3.88	5.81	9.69
750	0.05	0.23	0.45	0.68	0.91	1.81	2.72	3.62	5.43	9.05
775	0.04	0.21	0.42	0.64	0.85	1.70	2.54	3.39	5.09	8.48
800	0.04	0.20	0.40	0.60	0.80	1.59	2.39	3.18	4.77	7.96
850	0.04	0.18	0.35	0.53	0.70	1.41	2.11	2.82	4.23	7.05
900	0.03	0.16	0.31	0.47	0.63	1.26	1.89	2.52	3.77	6.29
950	0.03	0.14	0.28	0.42	0.56	1.13	1.69	2.26	3.39	5.64
1000	0.03	0.13	0.25	0.38	0.51	1.02	1.53	2.04	3.06	5.09
1500	0.01	0.06	0.11	0.17	0.23	0.45	0.68	0.91	1.36	2.26
2000	0.01	0.03	0.06	0.10	0.13	0.25	0.38	0.51	0.76	1.27
	0.10	0.50	1.00	1.50	2.00	4.00	6.00	8.00	12.00	20.00

Fokussdurchmesser in µm

Leistung in kW

Tab. 15.3: Leistungsdichte in MW/cm<sup>2</sup>

Die Lebensdauer der Messspitzen hängt neben der Leistungsdichte auch von der Reinheit der Oberfläche

ab (Staub, Partikel, Fingerabdrücke). Bitte behandeln Sie die Messspitzen so sorgfältig wie möglich.

**15.2 Grenzwerte für den Messbetrieb mit FK High div-Messspitzen**

Die Berechnungen gehen von einem Tophat-Profil aus. Die maximale Leistungsdichte in realen Strahlen mit den gleichen Abmessungen ist oft höher (plus 10 %-60 % typisch, plus 100 % für eine Gauß-Verteilung). Im Zweifelsfall starten Sie mit geringerer Laserleistung. Die maximale Leistungsdichte beträgt bis 5 kW Leistung 10 MW/cm<sup>2</sup>. Bei höheren Leistungen liegen noch wenig Erfahrungen vor. Wir empfehlen mit nicht mehr als 8 MW/cm<sup>2</sup> (bis 12 kW) zu arbeiten, bzw. max. 6 MW/cm<sup>2</sup> bis 20 kW.

Zuordnung in der Tabelle:

Tabellenfeld	Weiß	Grün	Gelb	Orange	Weiß mit roten Werten
Drehzahl in min <sup>-1</sup>	1875	3750	7500	7500 und Schutzgasspülung	Zerstörungsgefahr!

	70	2.60	12.99	25.98	38.98	51.97	103.94	155.91	207.88	311.81	519.69
	80	1.99	9.95	19.89	29.84	39.79	79.58	119.37	159.15	238.73	397.89
	90	1.57	7.86	15.72	23.58	31.44	62.88	94.31	125.75	188.63	314.38
	100	1.27	6.37	12.73	19.10	25.46	50.93	76.39	101.86	152.79	254.65
	125	0.81	4.07	8.15	12.22	16.30	32.59	48.89	65.19	97.78	162.97
	150	0.57	2.83	5.66	8.49	11.32	22.64	33.95	45.27	67.91	113.18
	175	0.42	2.08	4.16	6.24	8.32	16.63	24.95	33.26	49.89	83.15
	200	0.32	1.59	3.18	4.77	6.37	12.73	19.10	25.46	38.20	63.66
	225	0.25	1.26	2.52	3.77	5.03	10.06	15.09	20.12	30.18	50.30
	250	0.20	1.02	2.04	3.06	4.07	8.15	12.22	16.30	24.45	40.74
	275	0.17	0.84	1.68	2.53	3.37	6.73	10.10	13.47	20.20	33.67
	300	0.14	0.71	1.41	2.12	2.83	5.66	8.49	11.32	16.98	28.29
	325	0.12	0.60	1.21	1.81	2.41	4.82	7.23	9.64	14.47	24.11
	350	0.10	0.52	1.04	1.56	2.08	4.16	6.24	8.32	12.47	20.79
	375	0.09	0.45	0.91	1.36	1.81	3.62	5.43	7.24	10.86	18.11
	400	0.08	0.40	0.80	1.19	1.59	3.18	4.77	6.37	9.55	15.92
	425	0.070	0.35	0.70	1.06	1.41	2.82	4.23	5.64	8.46	14.10
	450	0.063	0.31	0.63	0.94	1.26	2.52	3.77	5.03	7.55	12.58
	475	0.056	0.28	0.56	0.85	1.13	2.26	3.39	4.51	6.77	11.29
	500	0.051	0.25	0.51	0.76	1.02	2.04	3.06	4.07	6.11	10.19
	525	0.046	0.23	0.46	0.69	0.92	1.85	2.77	3.70	5.54	9.24
	550	0.042	0.21	0.42	0.63	0.84	1.68	2.53	3.37	5.05	8.42
	575	0.039	0.19	0.39	0.58	0.77	1.54	2.31	3.08	4.62	7.70
	600	0.035	0.18	0.35	0.53	0.71	1.41	2.12	2.83	4.24	7.07
	625	0.033	0.16	0.33	0.49	0.65	1.30	1.96	2.61	3.91	6.52
	650	0.030	0.15	0.30	0.45	0.60	1.21	1.81	2.41	3.62	6.03
	675	0.028	0.14	0.28	0.42	0.56	1.12	1.68	2.24	3.35	5.59
	700	0.026	0.13	0.26	0.39	0.52	1.04	1.56	2.08	3.12	5.20
	725	0.024	0.12	0.24	0.36	0.48	0.97	1.45	1.94	2.91	4.84
	750	0.023	0.11	0.23	0.34	0.45	0.91	1.36	1.81	2.72	4.53
	775	0.021	0.11	0.21	0.32	0.42	0.85	1.27	1.70	2.54	4.24
	800	0.020	0.10	0.20	0.30	0.40	0.80	1.19	1.59	2.39	3.98
	850	0.018	0.09	0.18	0.26	0.35	0.70	1.06	1.41	2.11	3.52
	900	0.016	0.08	0.16	0.24	0.31	0.63	0.94	1.26	1.89	3.14
	950	0.014	0.07	0.14	0.21	0.28	0.56	0.85	1.13	1.69	2.82
	1000	0.013	0.06	0.13	0.19	0.25	0.51	0.76	1.02	1.53	2.55
	1500	0.006	0.03	0.06	0.08	0.11	0.23	0.34	0.45	0.68	1.13
	2000	0.003	0.02	0.03	0.05	0.06	0.13	0.19	0.25	0.38	0.64
	3000	0.001	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.08	0.11	0.17	0.28
		0.10	0.50	1.00	1.50	2.00	4.00	6.00	8.00	12.00	20.00

Fokushdurchmesser in µm

Leistung in kW →

Tab. 15.4: Leistungsdichte in MW/cm<sup>2</sup>

Die Lebensdauer der Messspitzen hängt neben der Leistungsdichte auch von der Reinheit der Oberfläche ab (Staub, Partikel, Fingerabdrücke). Bitte behandeln Sie die Messspitzen so schonend wie möglich.

### 15.3 Messspitze am FocusMonitor montieren

#### **ACHTUNG**

##### **Beschädigungsgefahr der Messspitze**

Die sehr feine Bohrung der Messspitze kann durch Anfassen mit bloßen Händen und durch Schmutzpartikel schnell verstopfen.

- ▶ Tragen Sie bei der Montage/Demontage puderfreie Latexhandschuhe und achten Sie auf eine schmutz- und staubfreie Umgebung.

##### **Montagefolge:**

1. Schalten Sie die Versorgungsspannung aus.
2. Drehen Sie den FM auf den Kopf.
3. Drehen Sie die Rotationsscheibe bis die Messspitze in der Gehäuseaussparung sichtbar wird.
4. Entfernen Sie die Befestigungsschrauben des Haltebleches (je nach Baujahr: aktuell Torx T8 oder früher Innensechskant SW 1,5).

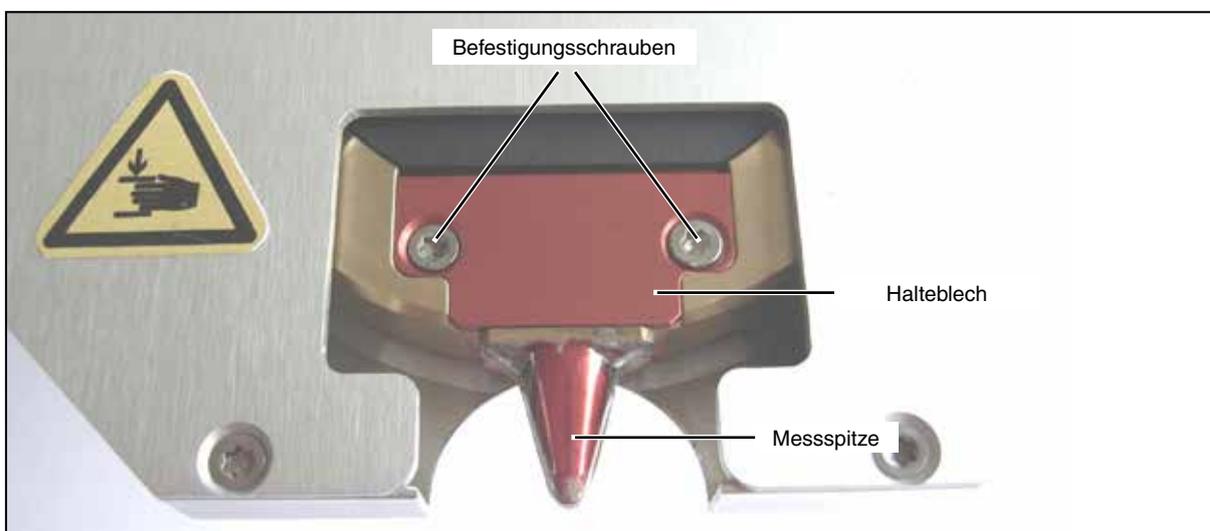


Abb. 15.2: Messspitze, Ansicht von unten

5. Drücken Sie die Messspitze samt Halteblech mit einem Schraubendreher von unten durch die Gehäusebohrung vorsichtig hoch (siehe Abb. 15.3).

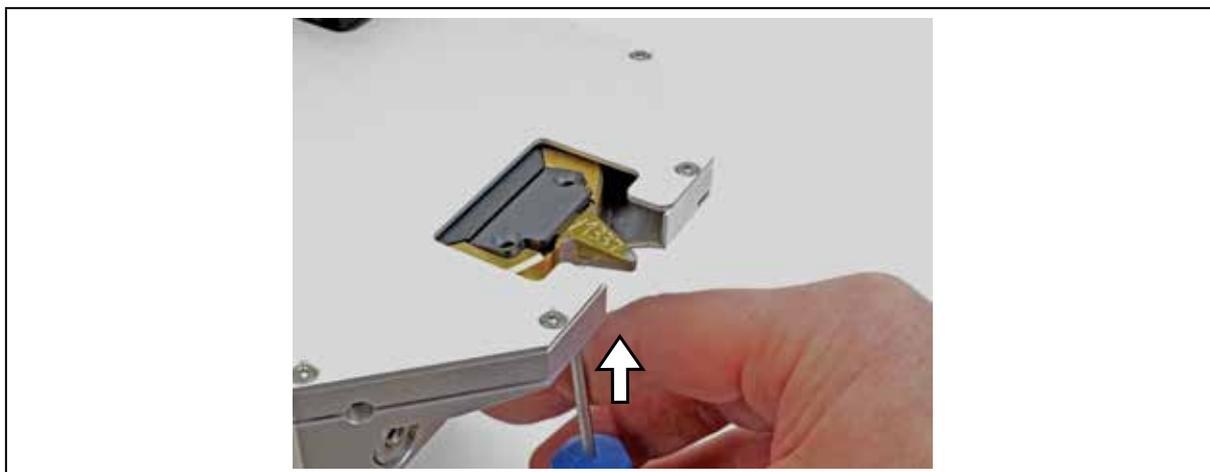


Abb. 15.3: Messspitze herausdrücken

6. Ziehen Sie das Halteblech etwas nach oben und dann nach vorne, bis es sich lockert und mühelos entfernen lässt.
7. Entfernen Sie vorsichtig die Messspitze.
8. Setzen Sie die neue Messspitze ein (Achtung, die Eintrittsöffnung befindet sich auf der gewölbten Seite, siehe Abb. 15.4) oder drehen Sie die Messspitze um.



Abb. 15.4: Eintrittsöffnung (Pinhole) in der Messspitze

9. Setzen Sie das Halteblech mit der Führungsnut nach oben zeigend unter etwa 45 Grad mit kleinen Auf- und Ab-Bewegungen in die Rotationsscheibe ein und drücken es dann nach unten in die Aussparung (siehe Abb. 15.5).
10. Prüfen Sie mit leichtem Druck an der Vorderkante des Haltebleches, ob es richtig aufliegt.

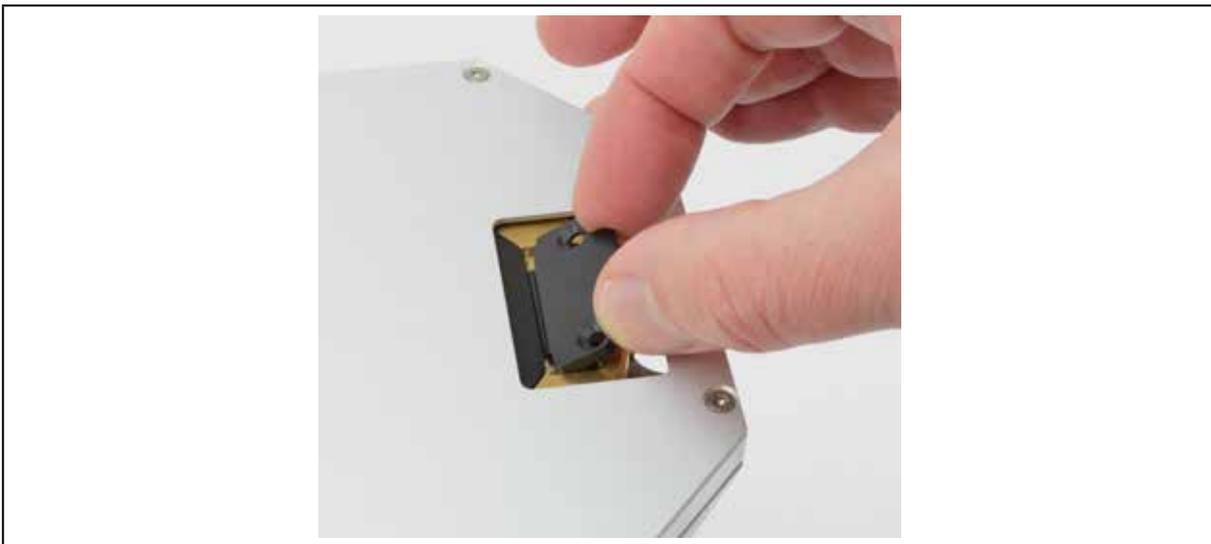


Abb. 15.5: Halteblech einsetzen

11. Setzen Sie die Schrauben ein und drehen Sie diese handfest an.



Wenn Sie die Messspitze gedreht haben, sollten Sie die Option "Gedrehte Messspitze" in der Software aktivieren (siehe Seite 44), damit die korrekte Orientierung der x-Koordinaten sichergestellt ist.

---

## 15.4 Detektor am FocusMonitor wechseln

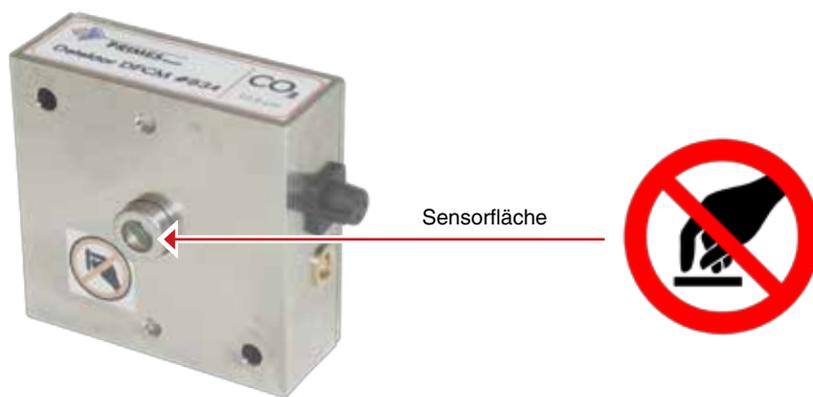
Standardmäßig ist der FocusMonitor mit einem DFCM- oder DFY- Detektor ausgerüstet. Für spezielle Anwendungen kann dieser Detektor durch ein System mit geänderter Empfindlichkeit oder anderem Zeitverhalten ersetzt werden. Mehr zur Auswahl der Detektoren für eine optimale Konfiguration des FocusMonitor finden Sie in Tabelle Tab. 15.1 auf Seite 87.

### ACHTUNG

#### Beschädigungsgefahr des Detektorsensors

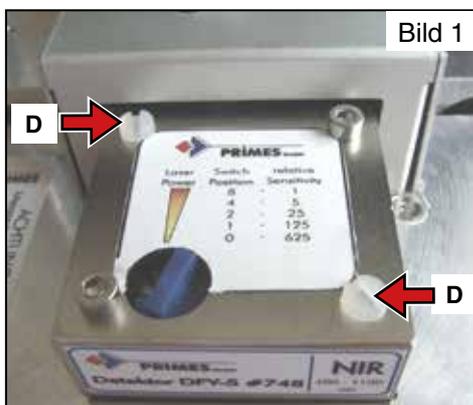
Der Detektorsensor darf nicht beschädigt werden und ist vor Verschmutzung zu schützen.

- ▶ Berühren Sie den Detektorsensor nicht mit den Fingern und legen Sie ihn nie auf der Sensorfläche ab.

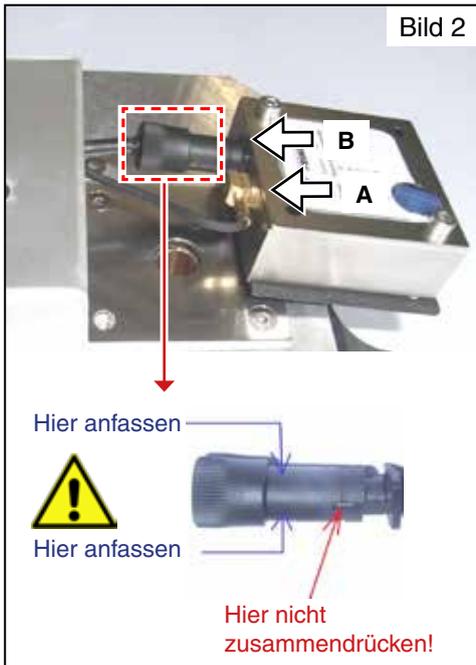


Verwenden Sie ausschließlich die isolierenden Kunststoffschrauben zur Befestigung des Detektors. Damit wird vermieden, dass elektrische Rauschsignale eingestreut werden können. Vergessen Sie das Moosgummiplättchen beim Einbau nicht, sonst kann die Rotationsscheibe durch die Schrauben mechanisch blockiert werden. Das Moosgummiplättchen sorgt ebenfalls für eine mechanische Entkopplung des Detektors.

#### Montagefolge:

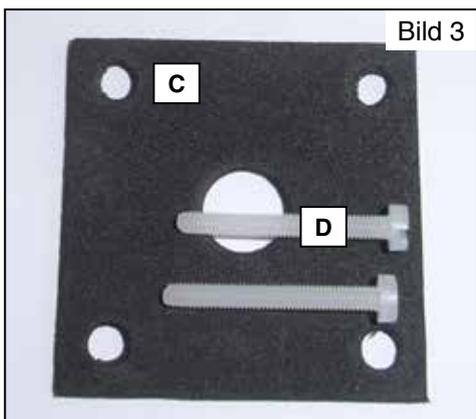


1. Schalten Sie die Spannungsversorgung aus.
2. Entfernen Sie die Kunststoffschrauben (D) am Detektor (Bild 1).



3. Nehmen Sie vorsichtig den Detektor aus der Position und lösen Sie zuerst den goldfarbenen Winkelstecker (A), danach den schwarzen Stecker (B) an der Rückseite des Detektors.

Bitte ziehen Sie nicht an den Kabeln!



4. Zur Montage des neuen Detektors legen Sie zuerst das Moosgummiplättchen (C) auf die Befestigungsfläche des Detektors (Bild 3). Schließen Sie dann die Kabel an. Richten Sie den Detektor so aus, dass er beidseitig Abstand zum Gehäuse hat (Bild 4).

5. Schrauben Sie den Detektor mit den beiden Kunststoffschrauben (D) fest.

 Werden die Schrauben zu fest angezogen, können sie die Rotationsscheibe blockieren! Ziehen Sie die Schrauben nur **handfest** an. Das Moosgummiplättchen darf maximal auf die Hälfte seiner ursprünglichen Dicke zusammengedrückt werden!



Starten Sie nach einer Empfindlichkeitsumstellung am Detektor das Gerät neu, indem Sie die Spannungsversorgung wieder einschalten und **Reset** anklicken.

## 15.5 Detektor am BeamMonitor wechseln

Der Detektorwechsel ist ähnlich dem des FocusMonitor (siehe Kapitel 15.4 auf Seite 93). Sie müssen lediglich die Revisionsöffnung im Boden des Gehäuses öffnen. Diese ist mit vier Torx-Schrauben (T8) befestigt.

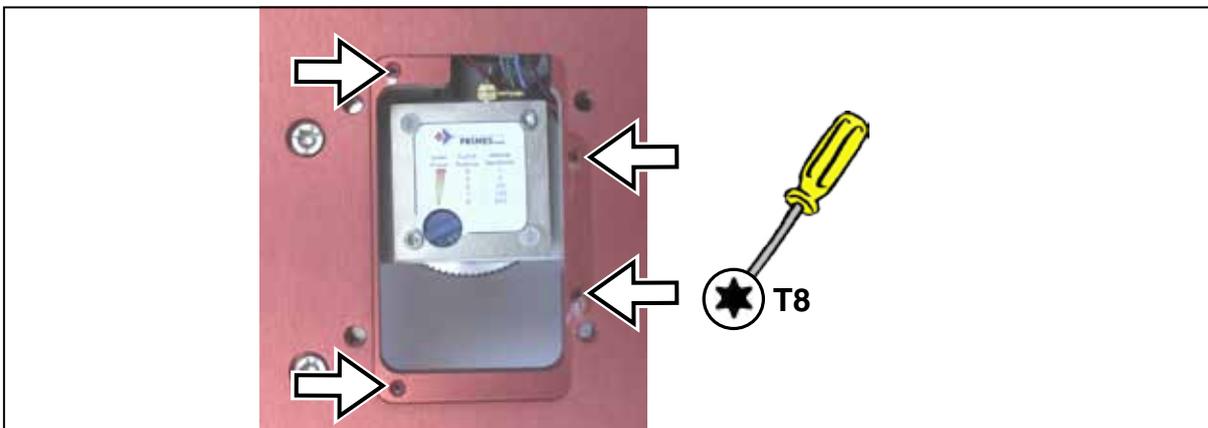


Abb. 15.6: Revisionsöffnung des BeamMonitor

## 16 Wartung

Unter normalen Betriebsbedingungen arbeiten der FocusMonitor und der BeamMonitor weitgehend wartungsfrei.

In sehr staubiger Umgebung empfehlen wir, die mechanischen Führungen sowie die Spindeln vorsichtig mit Isopropanol zu reinigen und leicht einzufetten.

Generell empfehlen wir alle 12-24 Monate einen Service beim Hersteller durchzuführen.

## 17 Transport

Um Schäden zu vermeiden empfehlen wir, den FocusMonitor nur in der Originalverpackung oder im PRIMES-Transportkoffer zu befördern. Bei nicht vorhersehbaren Transportbedingungen demontieren Sie bitte die Messspitze des FocusMonitor und legen Sie diese in das mitgelieferte Kunststoffkästchen.

## 18 Maßnahmen zur Produktentsorgung

PRIMES ist im Rahmen des Elektro-Elektronik-Gesetzes (Elektro-G) 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 innerhalb der EU zu entsorgende PRIMES-Messgeräte zur kostenfreien Entsorgung (dieser Service beinhaltet nicht die Versandkosten) an unsere Adresse senden:

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

## 19 Technische Daten

### 19.1 FocusMonitor

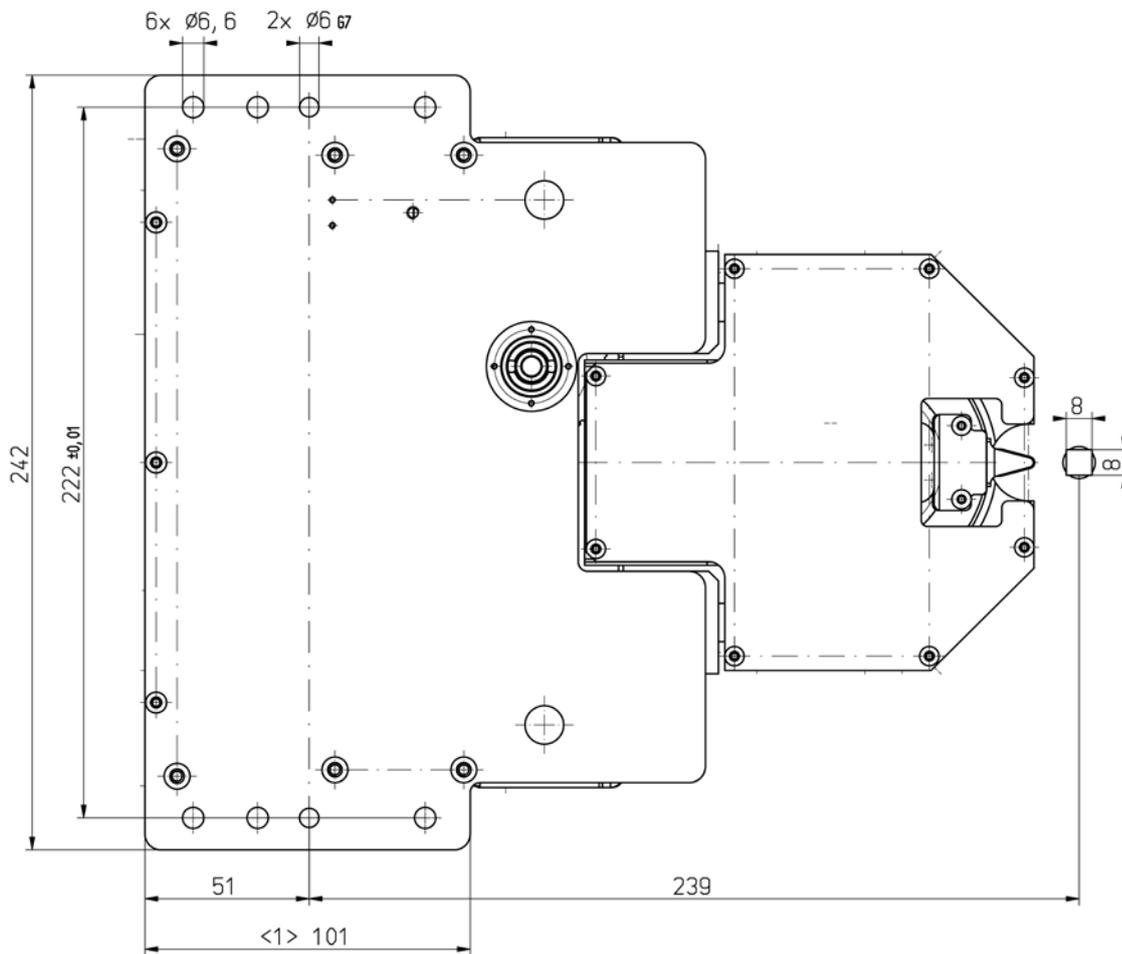
Versorgungsdaten		
Versorgungsspannung, DC	V	24 ± 5 %
Maximale Stromaufnahme	A	4
Max. Stromaufnahme im Standby-Betrieb	A	0,4
Schutzgas (wasser- und ölfrei) Maximaler Druck	bar	He oder N <sub>2</sub> oder Ar 0,5
Kenndaten Messung		
Max. Leistungsdichtebereich (Details siehe Seite 89 und Seite 90)		
CO <sub>2</sub> -Laser	MW/cm <sup>2</sup>	30
HighDivYAG	MW/cm <sup>2</sup>	10
Diode	MW/cm <sup>2</sup>	1
Strahldurchmesser, typ.	µm	150 ... 2000
Maße und Gewichte		
Abmessungen Länge x Breite x Höhe		
FM35	mm	276 x 242 x 131
FM120	mm	276 x 242 x 216
Gewicht, ca.		
FM35	kg	6
FM120	kg	7,3
Umgebungsbedingungen		
Gebrauchstemperaturbereich	°C	+10 ... +40
Lagerungstemperaturbereich	°C	-10 ... +50
Referenztemperatur	°C	+22
Max. zulässige relative Luftfeuchte (nicht kondensierend)	%	80

## 19.2 BeamMonitor

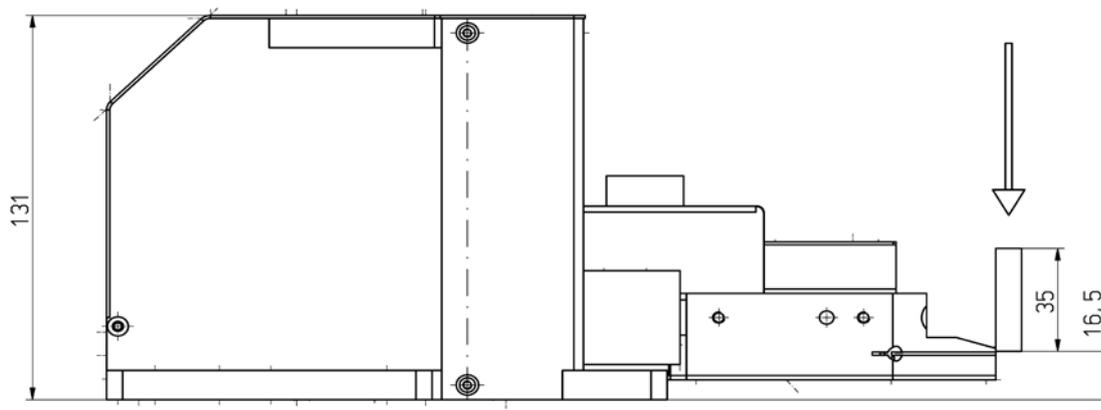
<b>Versorgungsdaten</b>		
Versorgungsspannung, DC	V	24 ± 5 %
Maximale Stromaufnahme	A	1,8
Max. Stromaufnahme im Standby-Betrieb	A	0,4
<b>Kenndaten Messung</b>		
Max. Leistungsmessbereich	kW/cm <sup>2</sup>	10
Wellenlänge	µm	10,6 oder 1,06
Drehzahl		
BM60	min <sup>-1</sup>	1983
BM100	min <sup>-1</sup>	1562
<b>Maße und Gewichte</b>		
Abmessungen Länge x Breite x Höhe		
BM60 (Labor)	mm	311,5 x 203 x 76,5
BM60T (Industrie)	mm	316 x 212 x 83
BM100	mm	436 x 292 x 83
Gewicht, ca.		
BM60 (Labor)	kg	4,5
BM60T (Industrie)	kg	5,8
BM100	kg	9
<b>Umgebungsbedingungen</b>		
Gebrauchstemperaturbereich	°C	+10 ... +40
Lagerungstemperaturbereich	°C	-10 ... +50
Referenztemperatur	°C	+22
Max. zulässige relative Luftfeuchte (nicht kondensierend)	%	80

**20 Abmessungen**

**20.1 Messfensterposition und Abmessungen FM35 (Strahleinfall von oben)**

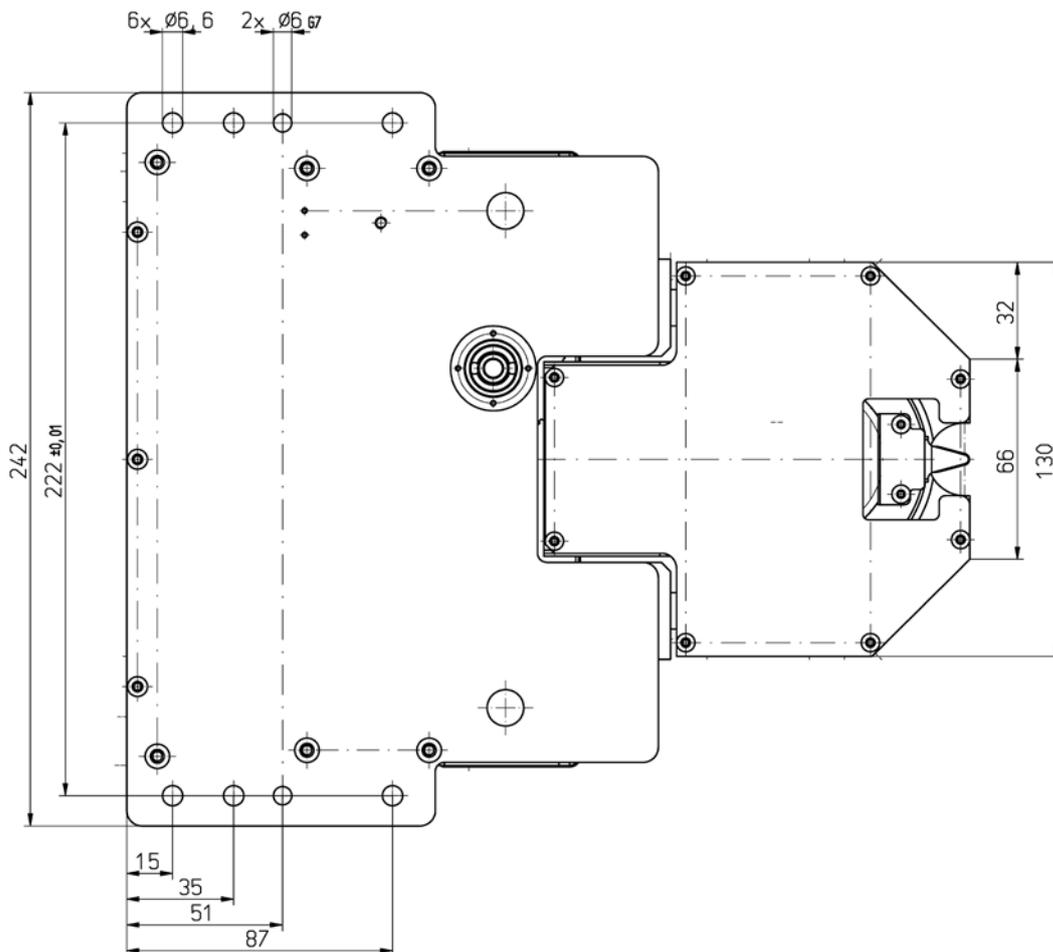


Beam entrance from the top



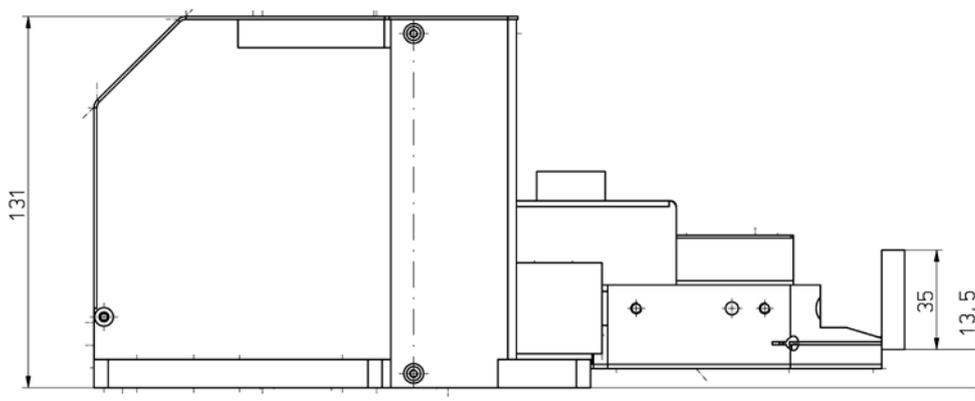
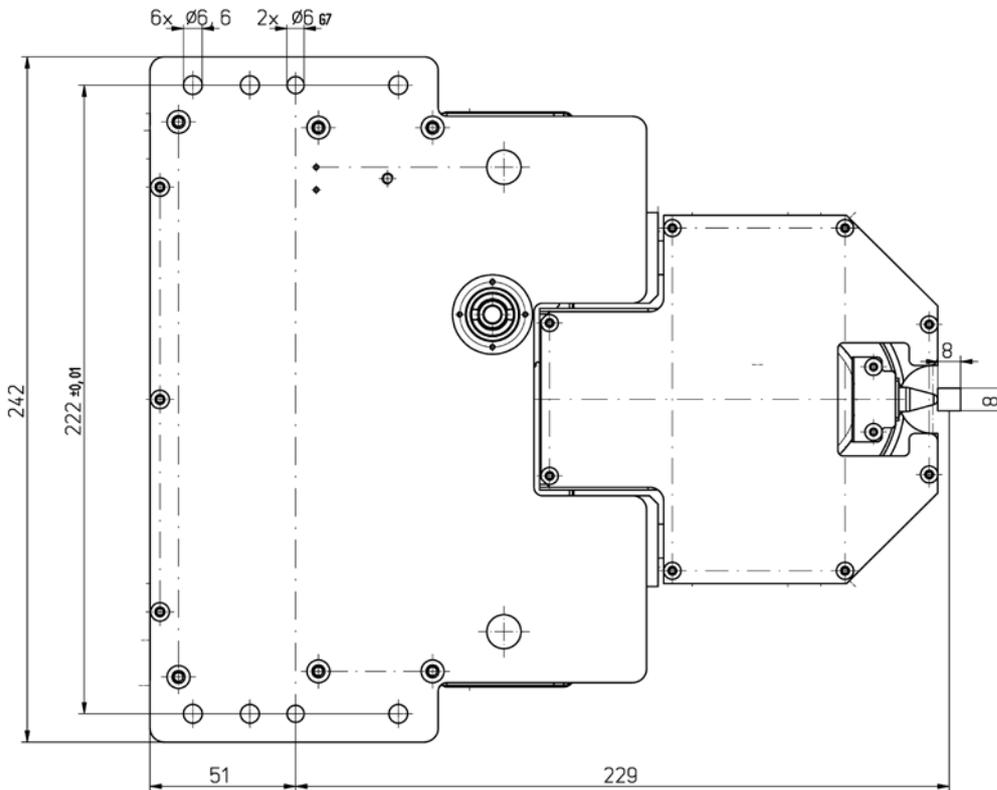
Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

Abmessungen FM35 (Strahleinfall von oben, Fortsetzung)



Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

20.2 Messfensterposition und Abmessungen FM35 (gedrehte Messspitze)

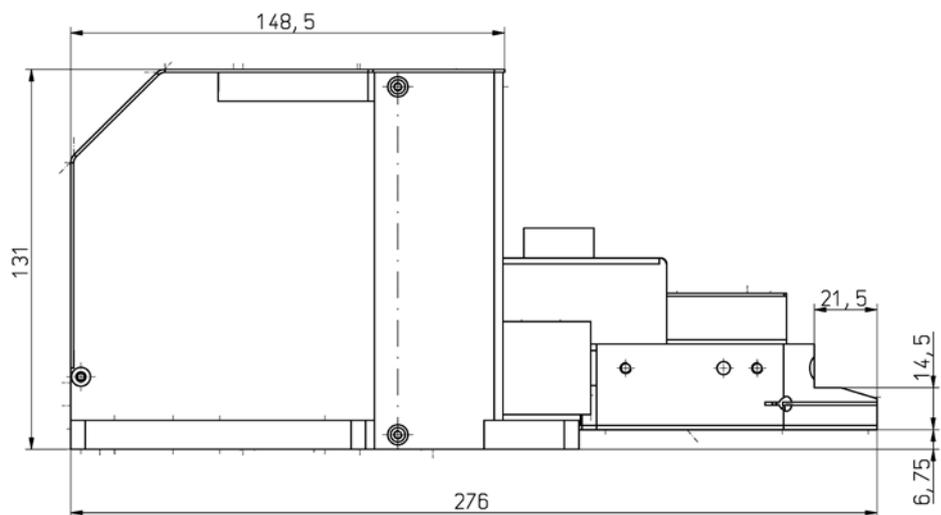
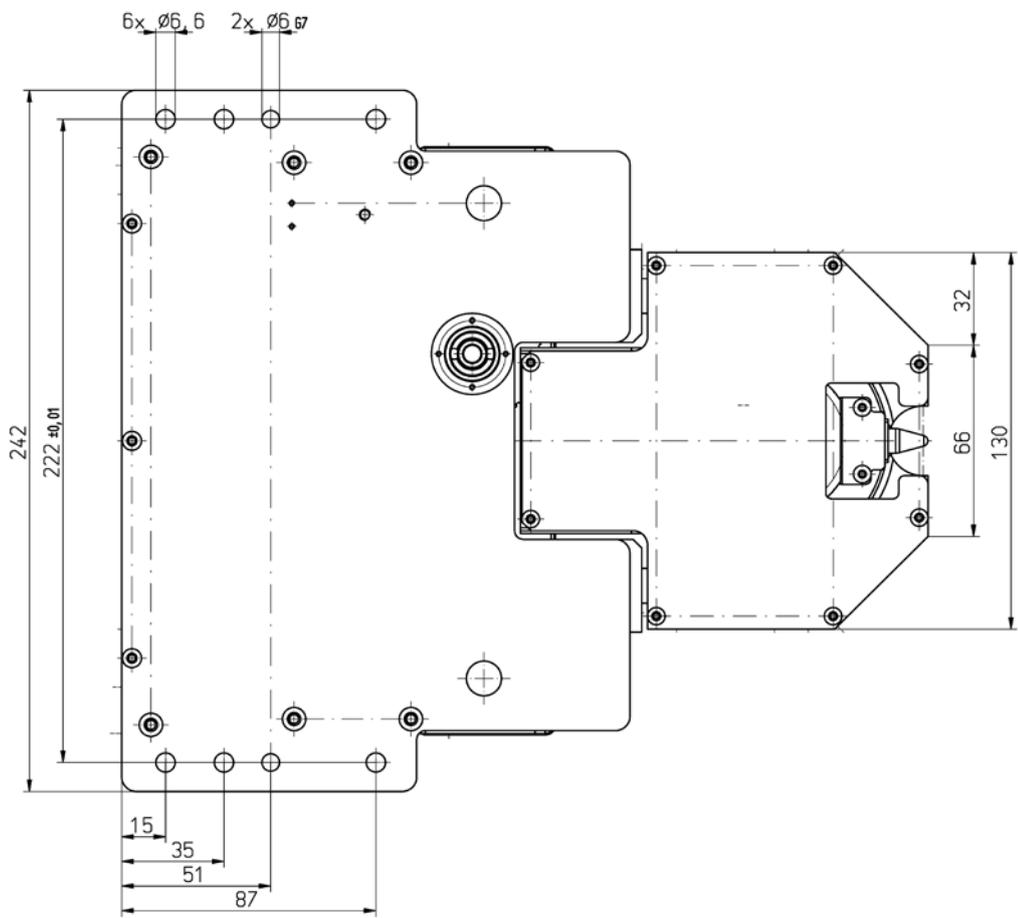


Beam entrance from up-side down



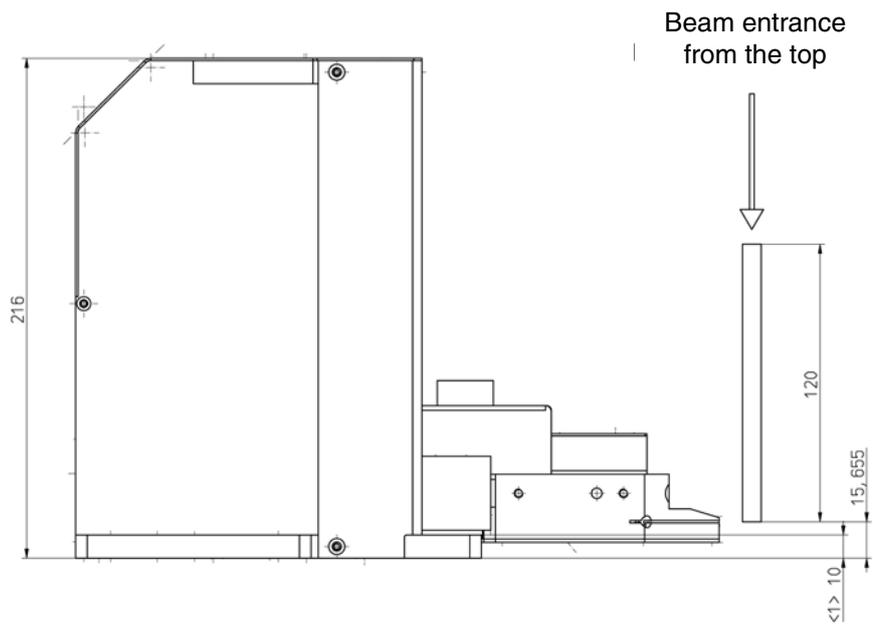
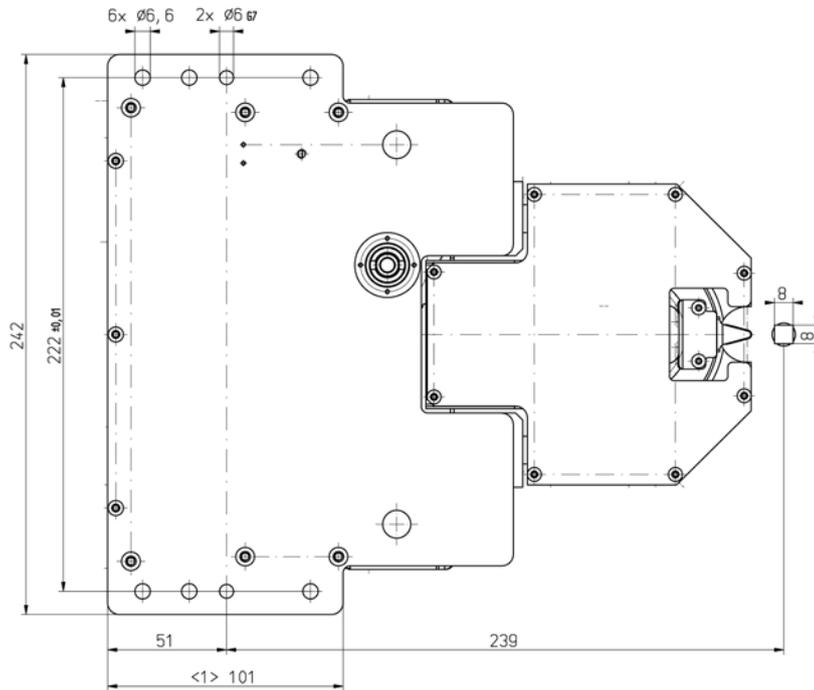
Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

Abmessungen FM35 (gedrehte Messspitze, Fortsetzung)



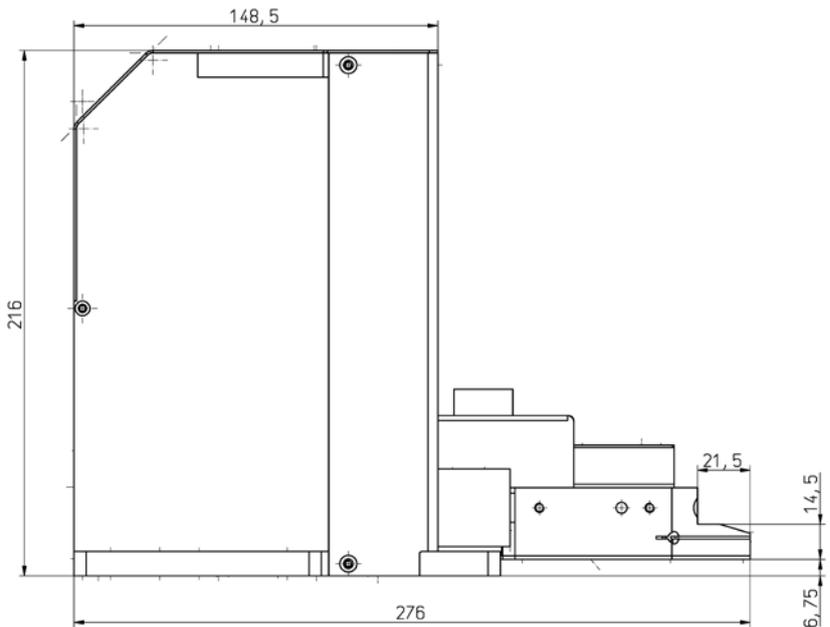
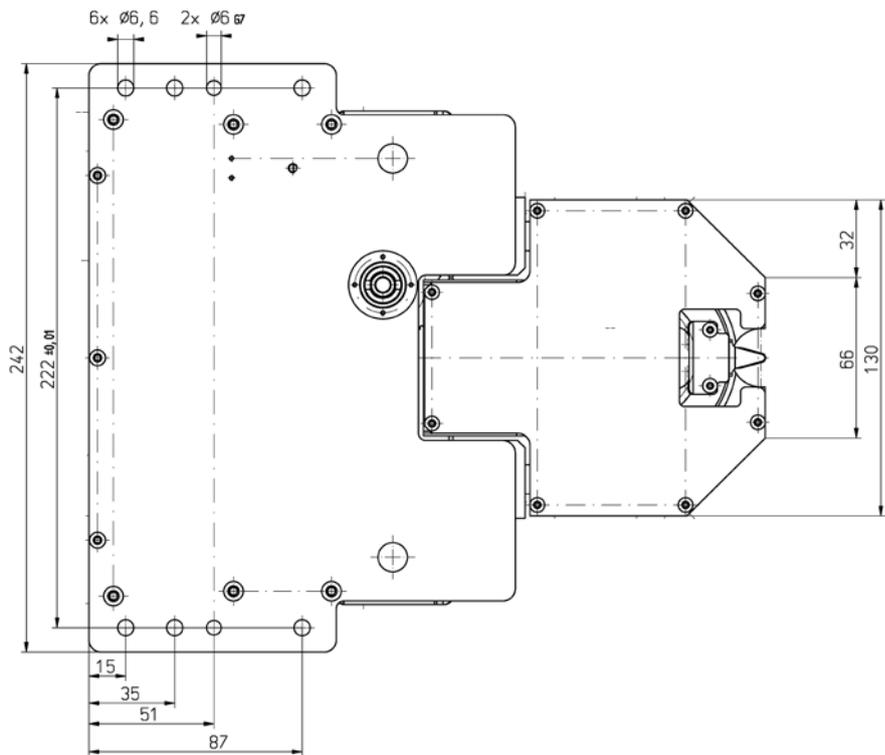
Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

**20.3 Messfensterposition FM120 (Strahleintritt von oben)**



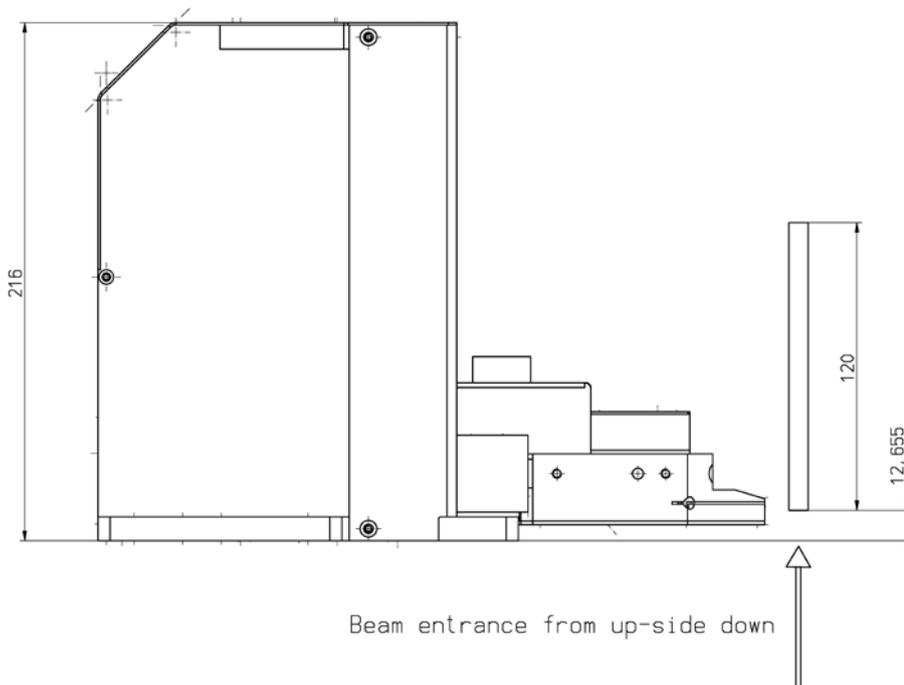
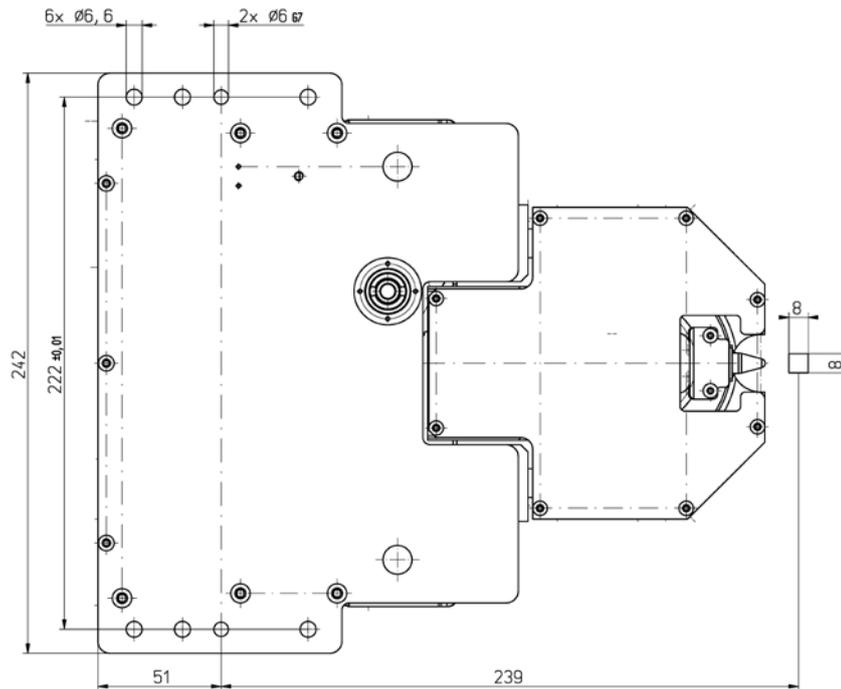
Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

FM120 (Strahleintritt von oben, Fortsetzung)



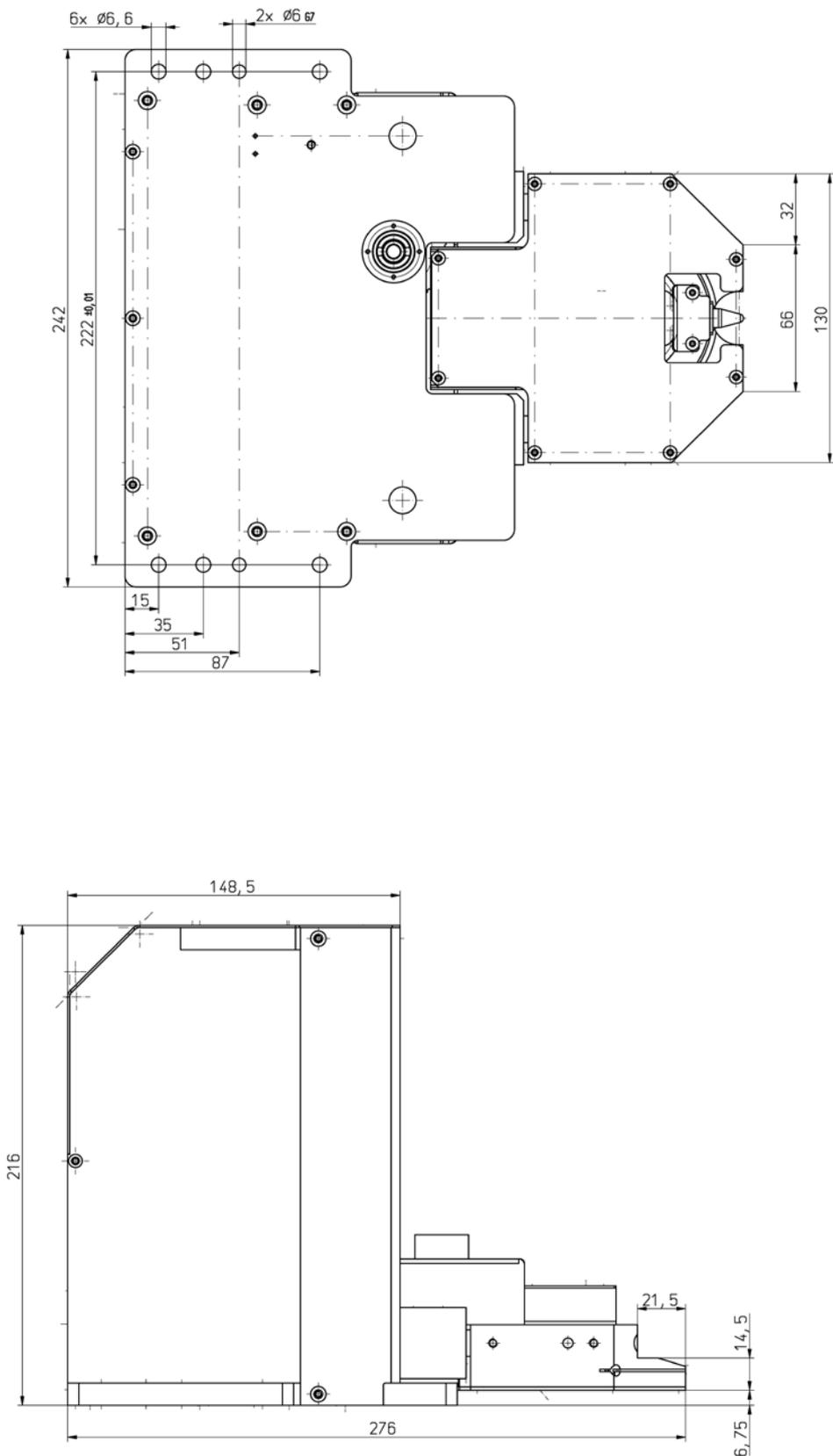
Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

**20.4 Messfensterposition FM120 (Strahleintritt von unten)**



Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

FM120 (Strahleintritt von unten, Fortsetzung)



Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

20.5 Position des Pinhole am FocusMonitor (bezogen auf die Gerätekoordinaten)

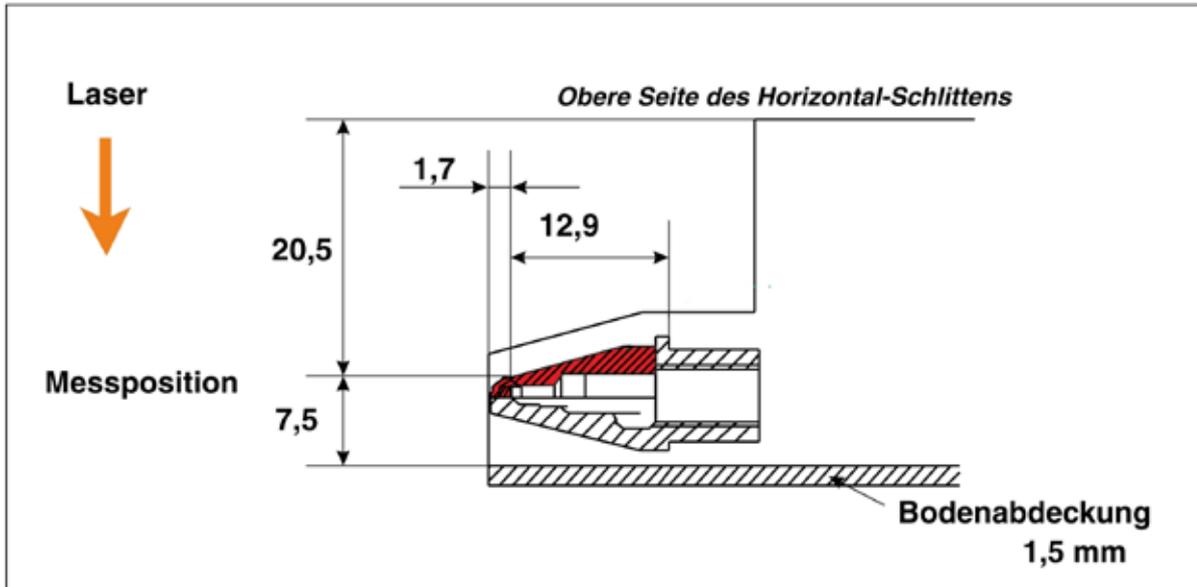


Abb. 20.1: Messöffnung oben

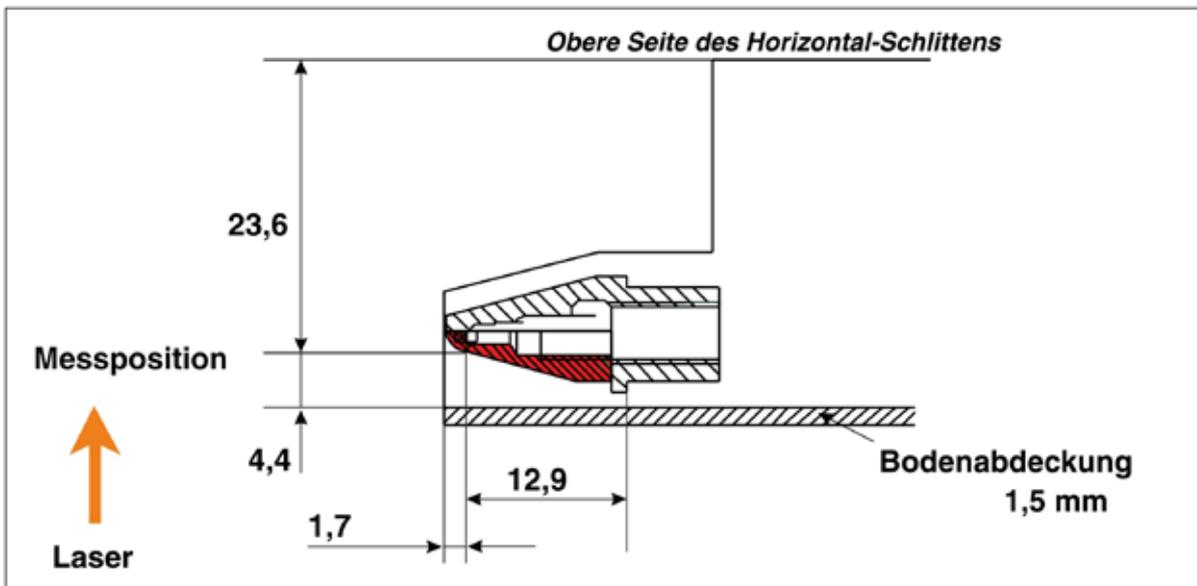
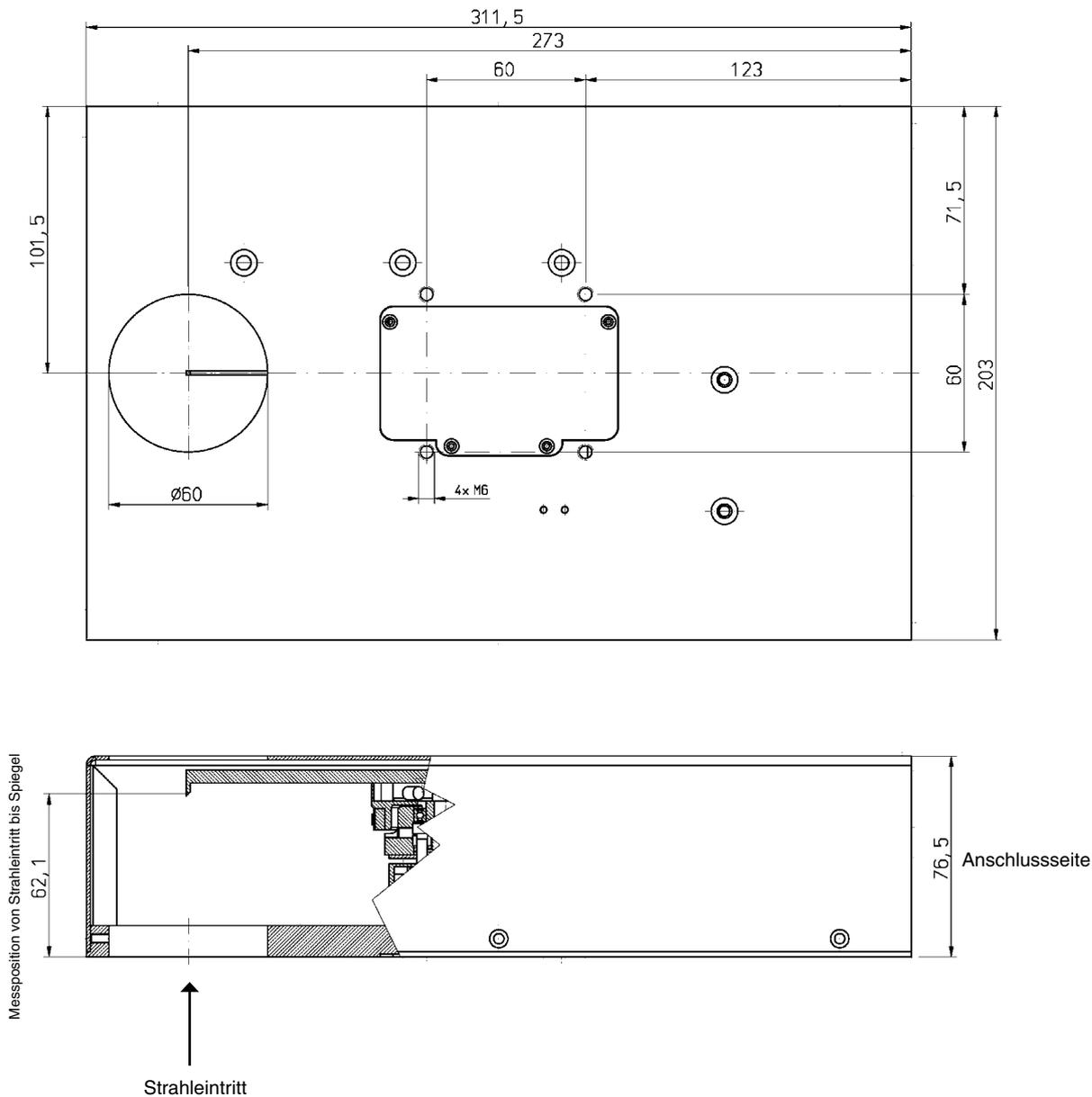


Abb. 20.2: Messöffnung unten (Messspitze gedreht)

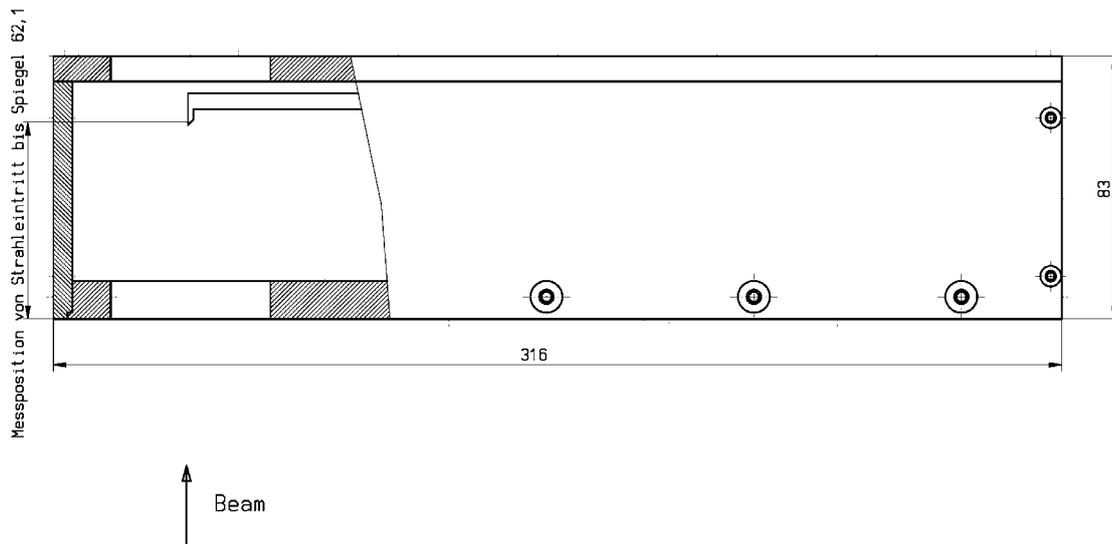
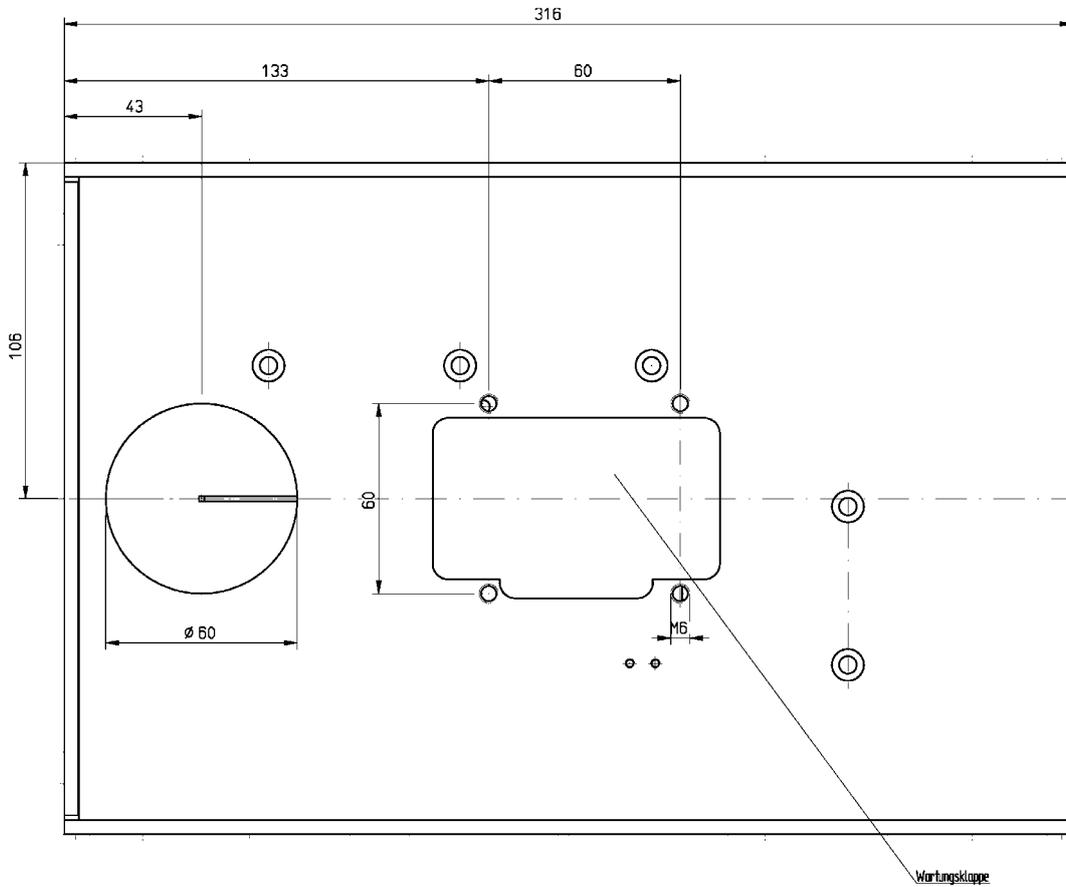
Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

20.6 Abmessungen BM60 (Laborausführung)



Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

**20.7 Abmessungen BM60-T CO<sub>2</sub> (Industrierausführung)**

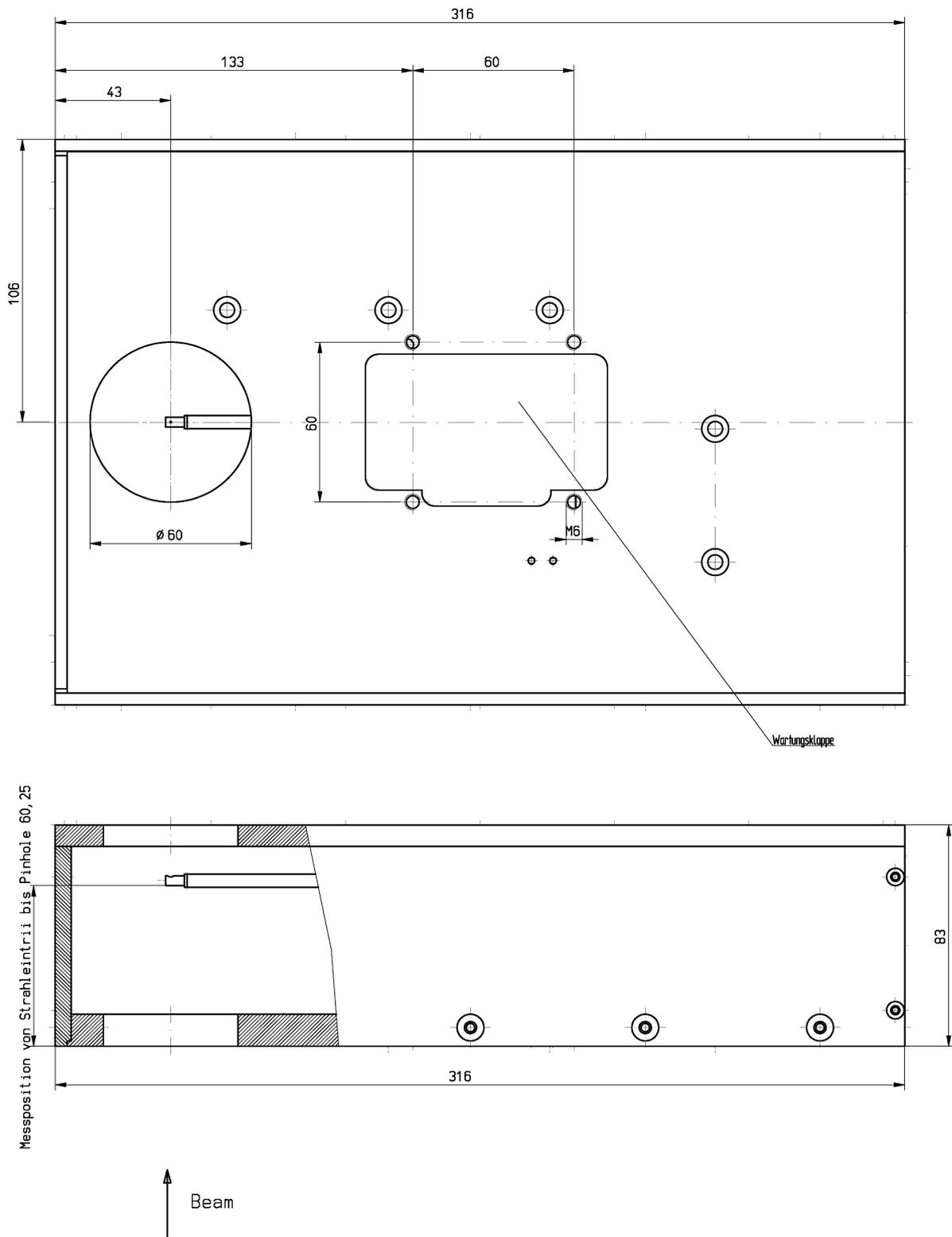


Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)



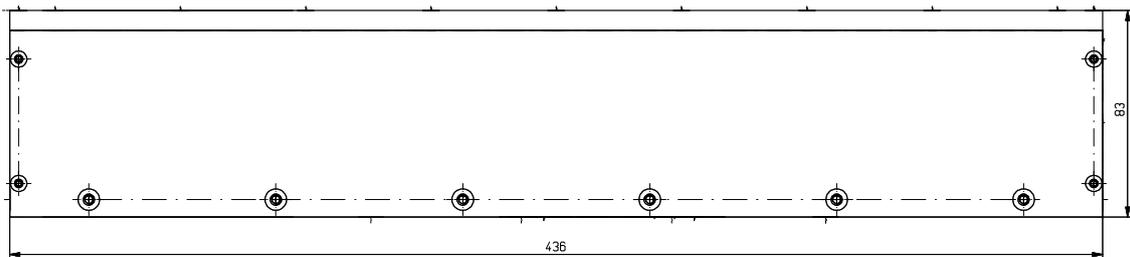
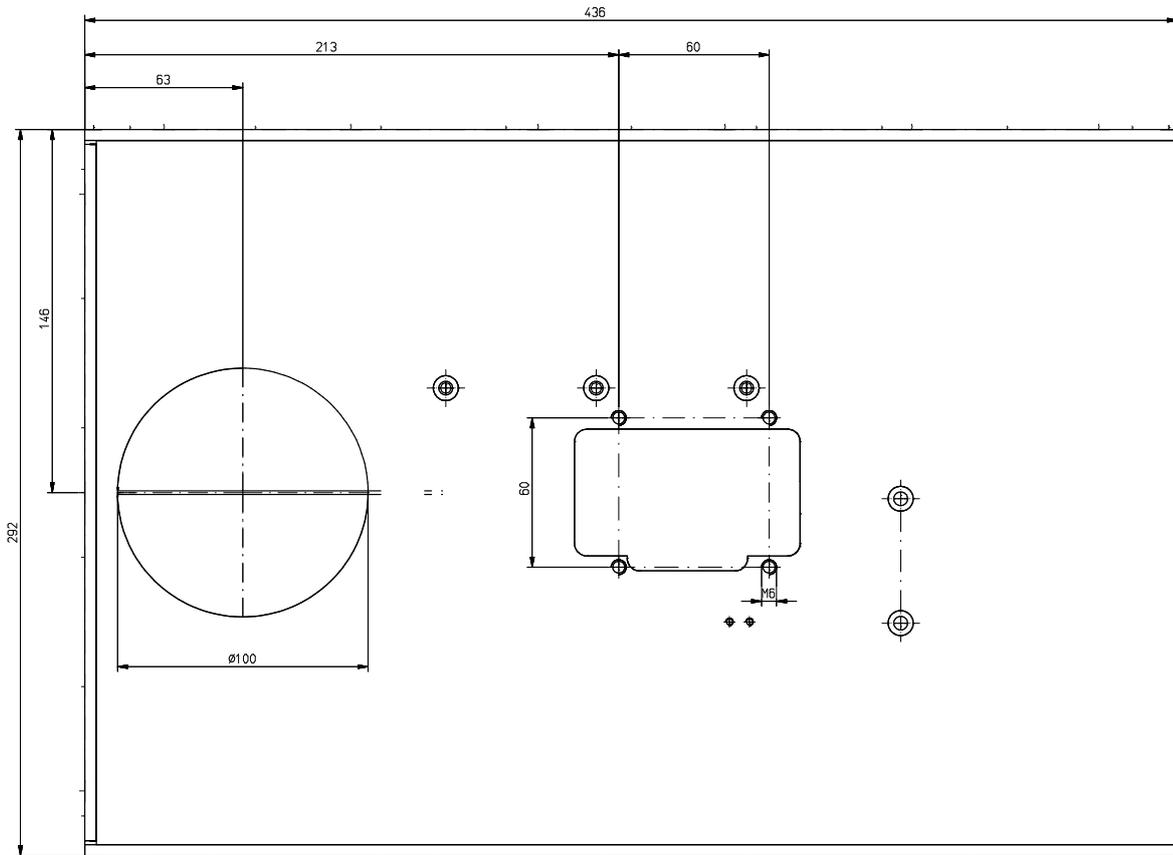
Der BeamMonitor-CO<sub>2</sub> kann nicht zur NIR-Variante umgebaut werden.

20.8 Abmessungen BM60-T NIR (Industrierausführung)



Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

**20.9 Abmessungen BM100**



Alle Angaben in mm (Allgemeintoleranz ISO 2768-v)

## 21 Konformitätserklärung FocusMonitor

**Original-EG-Konformitätserklärung**

Der Hersteller: PRIMES GmbH, Max-Planck-Straße 2, 64319 Pfungstadt

erklärt hiermit, dass das Gerät mit der Bezeichnung:

**FocusMonitor (FM)**

Typen: FM35; FM120; FM+ 120; FMW; FMW+

die Bestimmungen der folgenden einschlägigen EG-Richtlinien erfüllt:

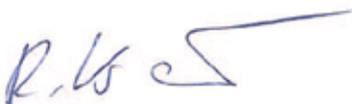
- Maschinenrichtlinie 2006/42/EG
- EMV-Richtlinie 2014/30/EU
- Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU
- RoHS-Richtlinie 2011/65/EU zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten
- Richtlinie 2004/22/EG über Messgeräte

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, 26.April 2017

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Reinhard Kramer, Geschäftsführer

**22 Konformitätserklärung BeamMonitor****Original-EG-Konformitätserklärung**

Der Hersteller: PRIMES GmbH, Max-Planck-Straße 2, 64319 Pfungstadt

erklärt hiermit, dass das Gerät mit der Bezeichnung:

**BeamMonitor (BM)**

**Typen: BM60; BM100; BM100+; BMHQ**

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 2004/22/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, 26. April 2017



Dr. Reinhard Kramer, Geschäftsführer

## 23 Anhang

### 23.1 Anlagensteuerung

Mit einem SPS-Interface ist eine Kommunikation des Messgerätes mit der SPS-Steuerung des Lasers möglich. Es können z. B. Warnmeldungen oder Korrektursignale an die Laser/Anlagensteuerung gesendet werden, falls sich Fokusslage oder Fokusradius signifikant ändern.

Eine weitere Möglichkeit ist, Messungen von der Bearbeitungsanlage automatisch auszulösen. Auch die Variation von Anlagen- oder Laserparametern bei verschiedenen Messungen kann so automatisiert werden z. B. die Fokussmessung bei verschiedenen Ausgangsleistungen des Lasers.

PRIMES bietet ein SPS-Interface mit 16 Eingangs- und 16 Ausgangskanälen an. Für die Eingänge werden CNY 17-kompatible Optokoppler zur potentialfreien Verbindung verwendet.

Das **BeamControlSystem** (BCS) von PRIMES beinhaltet den FocusMonitor als Komponente für die Leistungsdichte- und Kaustikmessung und bietet eine PROFIBUS-Schnittstelle für die Anlagenkommunikation.

### 23.2 Beschreibung des MDF-Dateiformates

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 Messbereiches: Länge in x (mm) Länge in y (mm)
4. Zeile: Position entlang der Strahlachse: z-Position (mm)
5. Zeile: Transversale Position des Zentrums des Messbereiches: 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

....

....

### 23.3 Messung mit fester y-Achsenposition

Mit dem FocusMonitor können Sie schnell wiederholende Messungen in fester y-Position durchführen. Dies ermöglicht Messungen einzelner Schnitte durch die Leistungsdichteverteilung mit einer Zeitauflösung von etwa 20 ms bis 30 ms – entsprechend der Drehzahl der Messspitze ( $1875 \text{ min}^{-1} \triangleq 30 \text{ Hz}$  und  $3750 \text{ min}^{-1} \triangleq 60 \text{ Hz}$ ).

Mechanisch wird dazu die y-Achse des FocusMonitor zu einer festen Position bewegt. An dieser Position misst er einzelne Spuren durch die Strahlverteilung während jeder Umdrehung der Messspitze. Die Daten werden zum PC übertragen.

**Messablauf**

1. Führen Sie eine Standard-Einzelmessung durch (siehe Abb. 23.1)

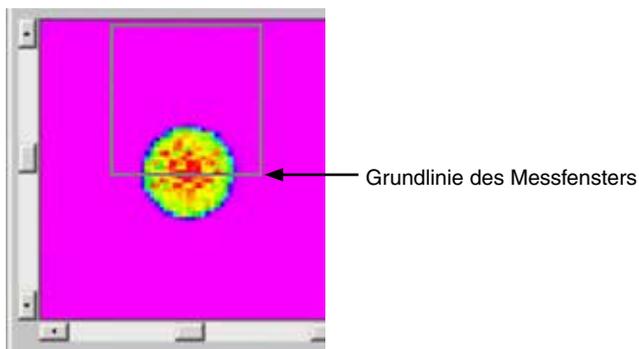


Abb. 23.1: Zweidimensionaler Scan

2. Wechseln Sie in das Dialogfenster **Sensorparameter** und aktivieren Sie die Option **Feste y-Position**.
3. Wählen Sie den Menüpunkt **Messung>>Einzelmessung** und legen Sie die zu untersuchende y-Position fest, indem Sie die Grundlinie des Messfensters zur gewünschten Position bewegen. Oft ist das Strahlzentrum von hohem Interesse.
4. Starten Sie die Messung durch Anklicken der Schaltfläche **Messen**. Sie können maximal 256 Spuren

aufnehmen. Die Zahl der Spuren legen Sie im Dialogfenster *Sensorparameter* fest. Bei  $1875 \text{ min}^{-1}$  entsprechen 256 Spuren etwa 8 Sekunden Messzeit.

5. Wählen Sie den Menüpunkt *Darstellung*>>*Variable* *Schnitte* oder *Falschfarben*.
6. Aktivieren Sie die Option *Pixelskalierung*. Dann werden die einzelnen gemessenen Spuren sichtbar. Der zeitliche Anfang der Spuren liegt am unteren Ende des Messfensters, das Ende an der oberen Seite.

Bitte bedenken Sie, dass die berechneten Radien, Positionen und Leistungsdichten für diese Messaufgabe hier keine gültigen Werte liefern.

Einen erweiterten Funktionsumfang bietet die Option "Continuous LineScan", siehe Kapitel 23.4 auf Seite 116.

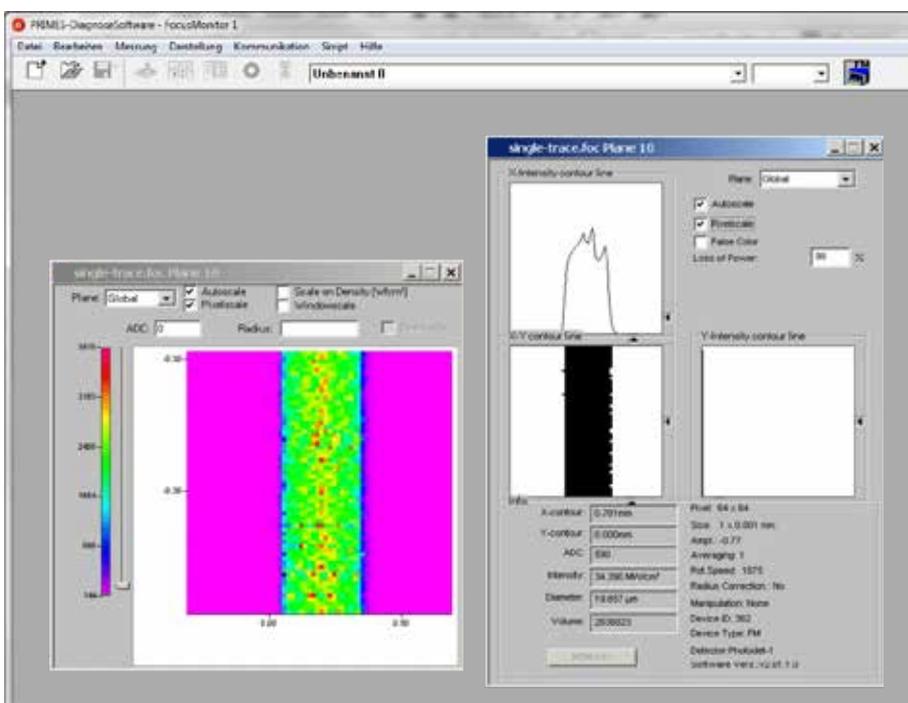


Abb. 23.2: Darstellung einer Messung mit fester y-Position

### 23.4 Messen mit „Continuous LineScan“ **\*\*OPTION\*\*** ▶FM◀

Mit der Option „Continuous LineScan“ wird der Laserstrahl über eine bestimmte Zeit bei fester y-Achse vermessen. Gemessen wird eine Einzelspur durch die Leistungsdichteverteilung in Zeitabständen von etwa 20 ms bis 30 ms, je nach gewählter Drehzahl der Messspitze (1875 min<sup>-1</sup>  $\triangleq$  30 Hz und 3750 min<sup>-1</sup>  $\triangleq$  60 Hz).

Der Messkopf des FocusMonitor wird zu einer festen y-Position bewegt. An dieser Position misst er auf einzelnen Spuren die Leistungsdichteverteilung während jeder Umdrehung der Messspitze. Die Daten werden mit 115 200 Baud zum PC übertragen.

Bei hohen Drehzahlen und/oder hohen x-Auflösungen würde die Zeit zwischen zwei Messungen nicht für die Datenübertragung ausreichen. In diesem Fall wird nur jede zweite (Interleave-Faktor 2) bzw. nur jede vierte (Interleave-Faktor 4) Messung berücksichtigt.

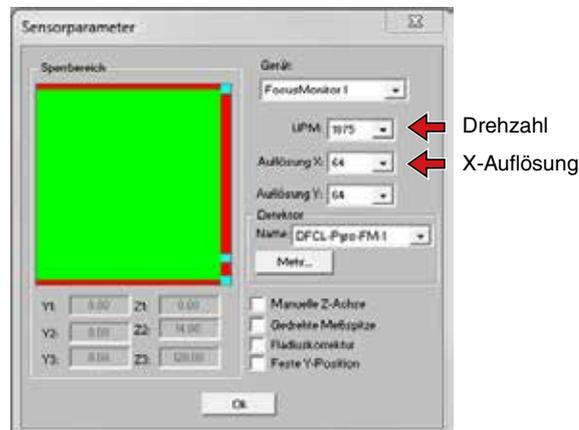
Drehzahl in min <sup>-1</sup>	x-Auflösung in Pixel	Interleave-Faktor	Messfrequenz in Hz
1875	32	1	31,250
	64	1	31,250
	128	2	15,625
	256	2	15,625
3750	32	1	62,500
	64	2	31,250
	128	4	15,625
	256	4	15,625
7500	32	2	62,500
	64	4	31,250
	128	(8)	-
	256	(8)	-

Abb. 23.3: Messfrequenz in Abhängigkeit von der Drehzahl

Die Messung wird über eine vorwählbare Zeitdauer (1 sec bis 10 min oder „max. Zeit“  $\triangleq$  ca. 13,5 Minuten) oder bis zum manuellen Abbruch durchgeführt.

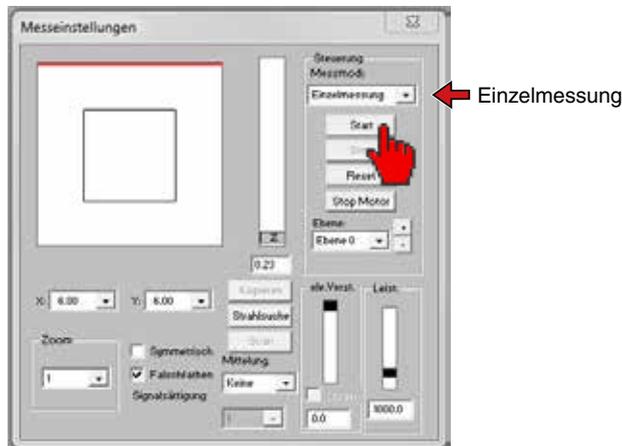
#### 23.4.1 Messablauf

- Öffnen Sie das Dialogfenster `Messung>>Sensorparameter` und wählen Sie Drehzahl und X-Auflösung.

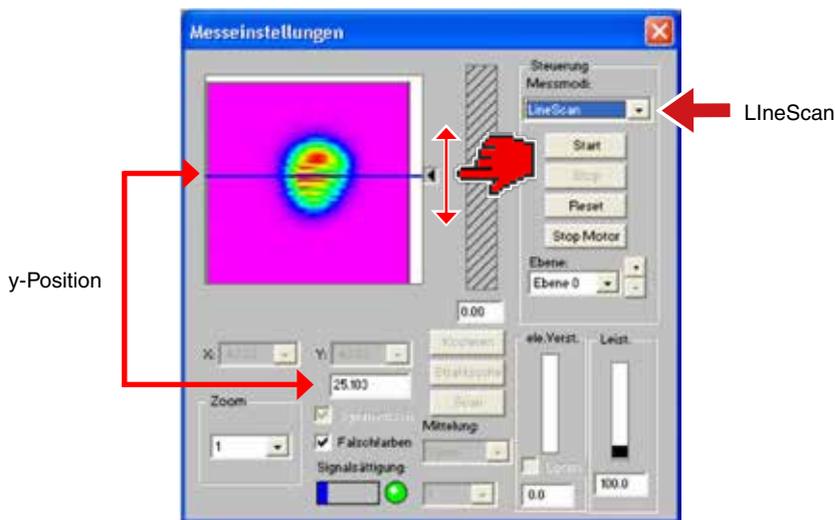


Bitte beachten Sie, dass die hohe Auflösung von 1024 Pixeln nur bei entsprechend schnellen PCs dargestellt werden kann.

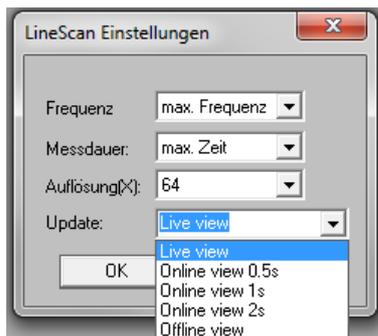
2. Starten Sie eine Einzelmessung (Menü *Messung* >> *Einzelmessung*) und passen Sie die Fensterposition und Fenstergröße so an, dass der Strahl das Fenster gut ausfüllt. Diese Parameter werden für den LineScan übernommen.



3. Wählen Sie nun den Messmode **LineScan** aus. Es erscheint eine blaue Linie im Messfenster, die Sie auf die gewünschte Y-Position ziehen (üblicherweise Mitte des vorher ausgewählten Fensters). Bei Bedarf ändern Sie die Vergrößerung (Zoom), um genauer einstellen zu können.



4. Klicken Sie auf **Start**, es erscheint ein Fenster zur Einstellung der Linescan-Parameter (siehe Tab. 23.1). Sie können hier nochmal die Parameter ändern (dieses Eingabefeld und das im Menü *Sensorparameter* aktualisieren sich gegenseitig)



Parameter	Bedeutung	Mögliche Einstellungen/Auswirkung
Frequenz	Anzeigefrequenz der Spuren	1 Hz, 6 Hz, 7 Hz, 15 Hz, <b>max. Frequenz</b> $\triangleq$ jede gemessene Spur wird angezeigt.
Messdauer	Dauer der Messung	1 s, 10 s, 30 s, 1 min, 5 min, 10 min, <b>max. Zeit</b> $\triangleq$ 13,5 min.
Auflösung (X)	Anzahl der Messwerte je Spur	32, 64, 128, 256
Update	Aktualisierungseinstellungen und Art der Darstellung in den Fenstern.	<p><b>Live view:</b> Die Darstellung im Fenster B (siehe Abb. 23.4 auf Seite 119) entspricht der Darstellung „Intensität über x-Position“ im Menü <i>Variable Schnitte</i> und wird nach jeder Messung aktualisiert.</p> <p><b>Online view:</b> Für die Darstellung im Fenster A (Messfenster), wird in y-Richtung die Spurnummer (wahlweise die Zeit) aufgetragen, so dass man die zeitliche Entwicklung des Laserstrahls sieht. Zusätzlich werden im Fenster C einige Daten und berechnete Werte angezeigt. Sie können den Verlauf während der Messung beobachten (Aktualisierung 0,5 s, 1 s oder 2 s). Nach der Messung können Sie mit dem Schieber einzelne Spuren auswählen und sich deren Intensitätsverlauf und die zugehörigen Daten anschauen.</p> <p><b>Offline view:</b> Die Darstellungen werden erst nach Ende der Messung angezeigt.</p>

Tab. 23.1: LineScan-Einstellungen

5. Klicken Sie auf **OK**.
  - Die Rotationsscheibe wird mit der ausgewählten Drehzahl gestartet.
  - Die Messposition wird angefahren.
  - Die Spur wird mit der ausgewählten x-Auflösung fortgesetzt gemessen und die Daten zwischen den Messungen übertragen.
6. Die Messung wird beendet und der Messkopf wird in die Referenzposition gefahren, wenn
  - die vorgewählte Messdauer abgelaufen ist
  - der Messdaten-Anzeigebalken 100 % erreicht hat
  - Sie auf **Abbrechen** klicken
7. Speichern Sie die Daten (Menü *Datei*>>*Speichern als..*)

### 23.4.2 Darstellung

Im Menü *Darstellung*>>*LineScan* können Sie die Messdaten anzeigen und analysieren. Das Diagramm auf der linken Seite (A) zeigt eine Falschfarbendarstellung der Leistungsdichte über der Spurenanzahl (oder Zeit, wenn die Option **Zeit-Skala** aktiviert ist). Rote Bereiche in der Mitte zeigen Spurenabschnitte mit maximaler Leistungsdichte.

Wenn die Anzahl der Spuren die Darstellungskapazität des Fensters A überschreitet, erscheint rechts neben dem Fenster ein Scrollbalken, mit dem Sie entlang der Zeitachse scrollen können.

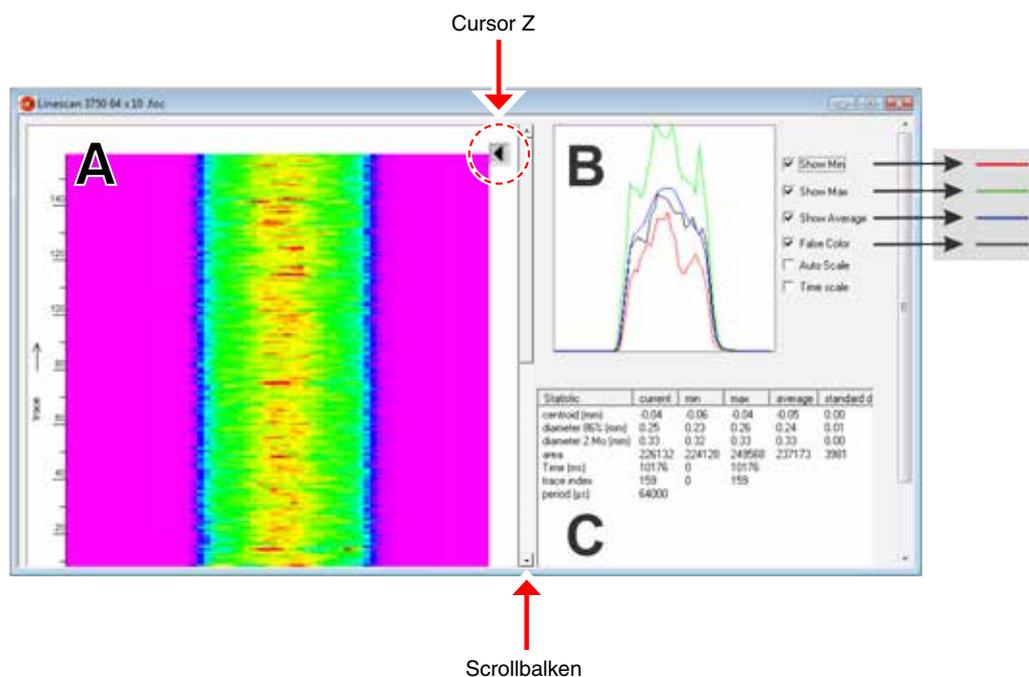


Abb. 23.4: Das Dialogfenster *Darstellung*>>*LineScan*

Im Fenster B wird der räumliche Verlauf einer Einzelspur durch die Leistungsdichteverteilung dargestellt. Sie können den Cursor Z entlang der vertikalen Zeitachse bewegen und die entsprechende einzelne Spur wird im Fenster B angezeigt. Aktivieren Sie die Kontrollkästchen **Min. anzeigen**, **Max. anzeigen** und **Mittel. anzeigen**, damit die aktuellen Werte der Leistungsdichte im Vergleich zum Minimalwert (rot), Maximalwert (grün) und Mittelwert (blau) aller Spuren angezeigt werden.

Eine Tabelle der verschiedenen Strahlparameter ist im Fenster rechts unten zu finden (C). Um die Veränderungen von Spur zu Spur in einer Messung statistisch zu ermitteln, zeigt diese Tabelle nicht nur Minimal-, Maximal- und Mittelwerte, sondern auch Standardabweichungen der verschiedenen Parameter.

Um die Strahlposition, den Durchmesser (86 % oder 2. Moment) oder den Bereich unter der Kurve als Funktion der Zeit darzustellen, klicken Sie auf den gewünschten Wert in der Tabelle. Das Diagramm auf der linken Seite wird dann den entsprechenden Graph anzeigen.

Mit der Option **Auto.Skalierung** wird die Skalierung des Graphen verändert.

Wählen Sie **Falschfarben**, um in die Falschfarbendarstellung zurückzukehren.

Die Fläche unter der Kurve gibt ein relatives Maß für die Strahlleistung. Somit wird eine schnelle Leistungsmessung möglich.

Beachten Sie beim Auswerten der Messdaten unbedingt, dass der Bereich unterhalb der Kurve beeinflusst wird, wenn die gesamte Leistungsdichteverteilung in das 2D-Strahlenprofil geändert wird, hier wird dann ebenfalls eine Maßzahl für das Volumen unter der Kurve angegeben. Die aufgeführten Einheiten für die Fläche sind willkürlich gewählt und lassen sich nicht allgemeingültig in einen Absolutwert der Leistung in Watt umrechnen. Im gleichen Setup sind relative Vergleiche jedoch möglich.

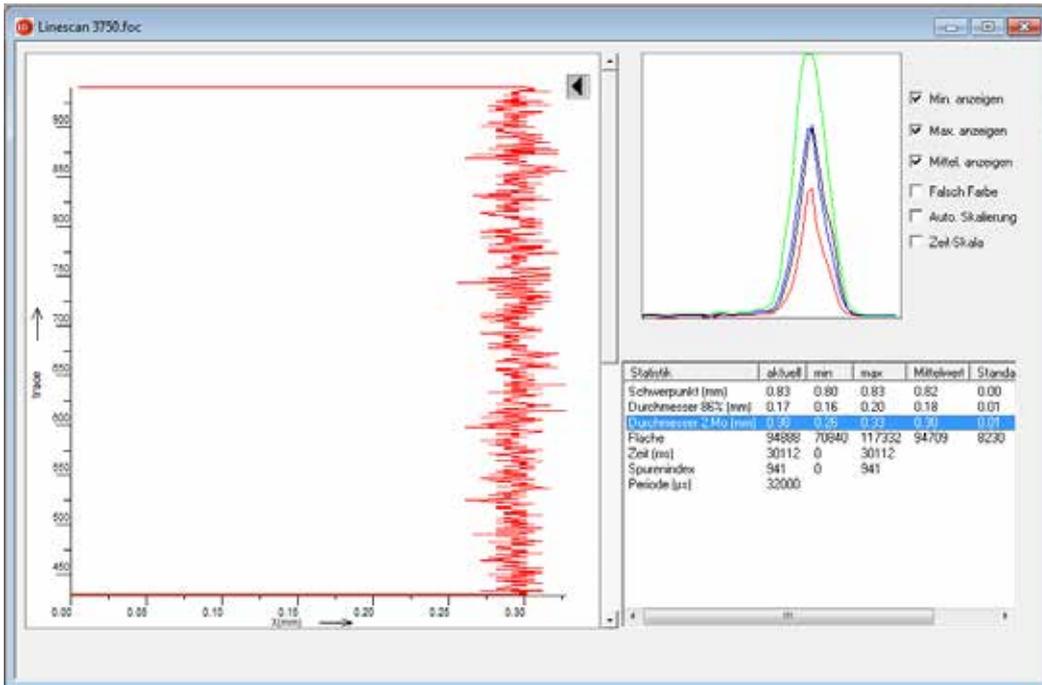


Abb. 23.5: Statistische Auswertung

Bitte beachten Sie, dass die 86 %-Werte für den Durchmesser nur aus einer eindimensionalen Linie ermittelt werden und sich im Allgemeinen von den Werten einer 2D-Messung unterscheiden werden. Grund ist, dass ein anderer Algorithmus genutzt wird (für Einzelspurberechnung: je 6,7 % des Bereichs unter der Kurve werden von beiden Seiten abgeschnitten/ausgelassen, und der restliche Bereich stellt den 86 %-Durchmesser dar).

2. Moment-Durchmesser liegen algorithmusbedingt im Vergleich etwas näher an den Werten als 2D-Messungen. Grundsätzlich sind aber Unterschiede durch die Algorithmen zu erwarten, die mit steigender Asymmetrie des Strahls größer werden können.

## 24 Grundlagen der Strahldiagnose

### 24.1 Laserstrahlparameter

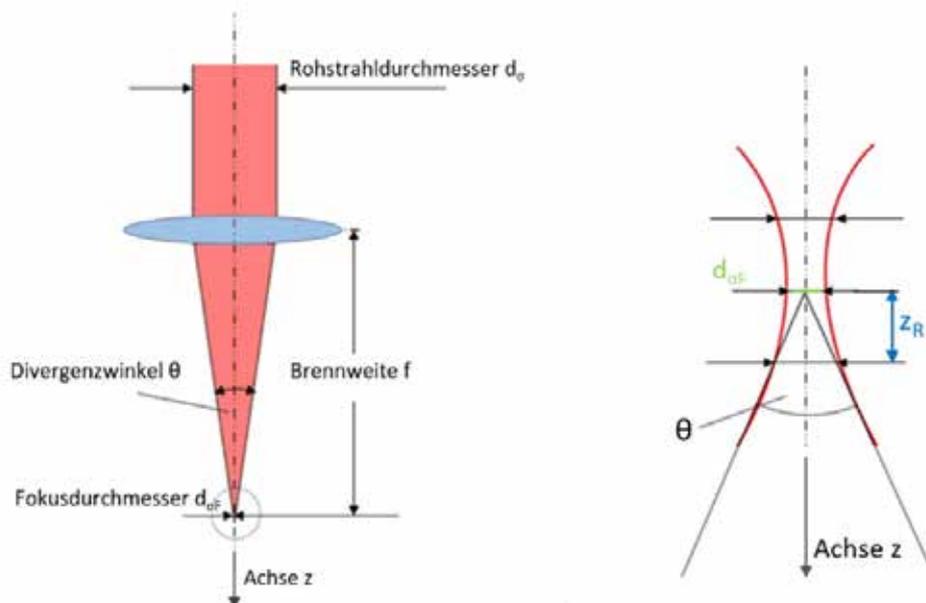


Abb. 24.1: Skizze zur Definition der Strahlparameter

#### 24.1.1 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  $\Theta$

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 Fokusdurchmesser sowie Divergenzwinkel sind nach der 2. Moment-Methode berechnet worden.

**Gleichung 1:**

$$d_{\sigma}(z) = \sqrt{d_{\sigma 0}^2 + \frac{1}{4}(z - z_0)^2 \cdot \theta_{\sigma}^2}$$

Weiterhin wird die Strahlausbreitung durch den sogenannten Strahlpropagationsfaktor K beschrieben.

**Gleichung 2:**

$$K = \frac{1}{M^2} = \frac{4 \cdot \lambda}{\pi} \cdot \frac{1}{d_{\sigma 0} \cdot \theta_{\sigma}}$$

mit:

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

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

**Gleichung 3:**

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

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:

**Gleichung 4:**

$$z_R = \frac{d_{\sigma 0}}{\theta} = \frac{\pi \cdot d_{\sigma 0}^2}{4\lambda \cdot M^2}$$

### 24.1.2 Nicht rotationssymmetrische Strahlen:

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

- die z-Positionen der Strahlteile (Fokus)  $z_x$  und  $z_y$
- die Durchmesser der Strahlteile  $d_{\sigma 0x}$  und  $d_{\sigma 0y}$
- die Fernfelddivergenzwinkel  $\Theta_{\sigma x}$  und  $\Theta_{\sigma y}$
- den Winkel  $\varphi$  zwischen der  $x'$ - Achse des Messsystems und der x- Achse des Strahls (die x- Achse des Strahls ist jede, die am nächsten zur x- Achse des Messsystems liegt.)

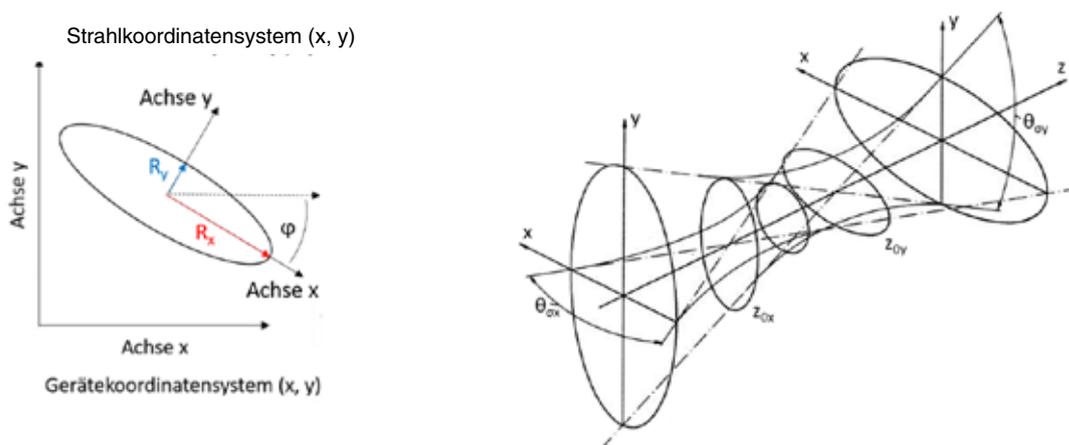


Abb. 24.2: Strahlparameter des nichtrotationssymmetrischen Strahls

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  $K_y$ .

## 24.2 Berechnung der Strahldaten

Es sind - zur Berechnung der Strahldaten - sowohl die von dem ISO Standard 11146 geforderten Algorithmen zur 2. Moment 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. Moment-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

### 24.2.1 Bestimmung des Nulllevels

Der Nulllevel kann zum Beispiel mit einem Histogramm bestimmt werden, in dem die Häufigkeit der gemessenen Leistungsdichtewerte aufgetragen ist (siehe Abb. 24.3).

- **Nulllevel des Signals**

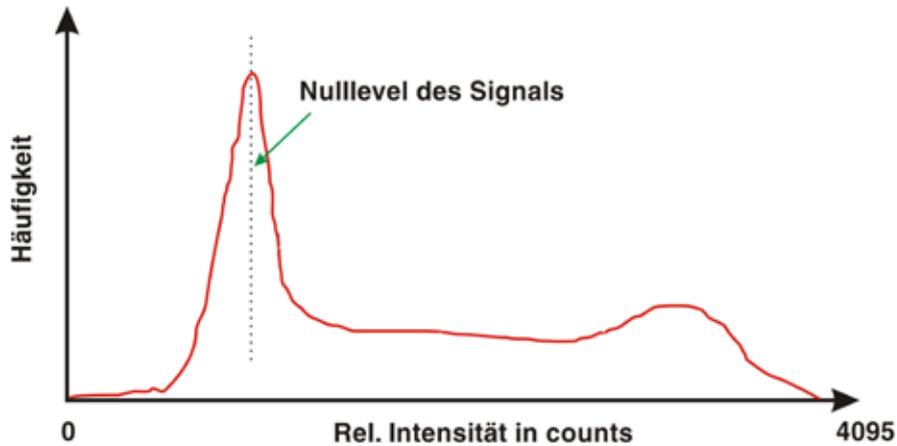


Abb. 24.3: Schematisches Histogramm der abgetasteten Messpunkte

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.

### 24.2.2 Bestimmung der Strahlage

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

**Gleichung 5:**

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

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

### 24.2.3 Radiusbestimmung mit dem 2. Moment der Leistungsdichteverteilung

Die Berechnung des Strahlradius nach dem 2. Moment der Leistungsdichteverteilung erfolgt nach Gleichung 6.

**Gleichung 6:**

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

Ausgehend von Gleichung 6 berechnet sich der Strahldurchmesser folgendermaßen:

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

**Gleichung 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 0,3 und 0,6 haben.

### 24.2.4 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.

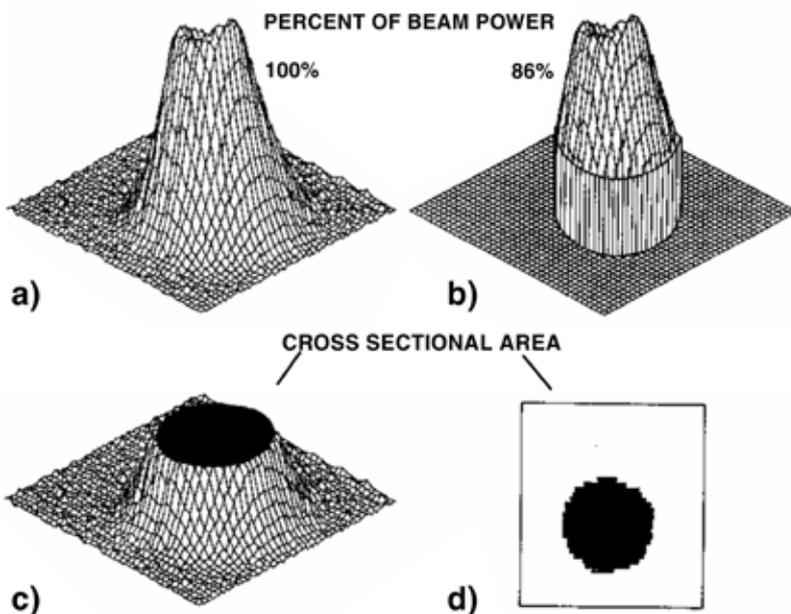


Abb. 24.4: Grafische Darstellung der Berechnung des 86%-Radius

- 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 %.

### 24.2.5 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

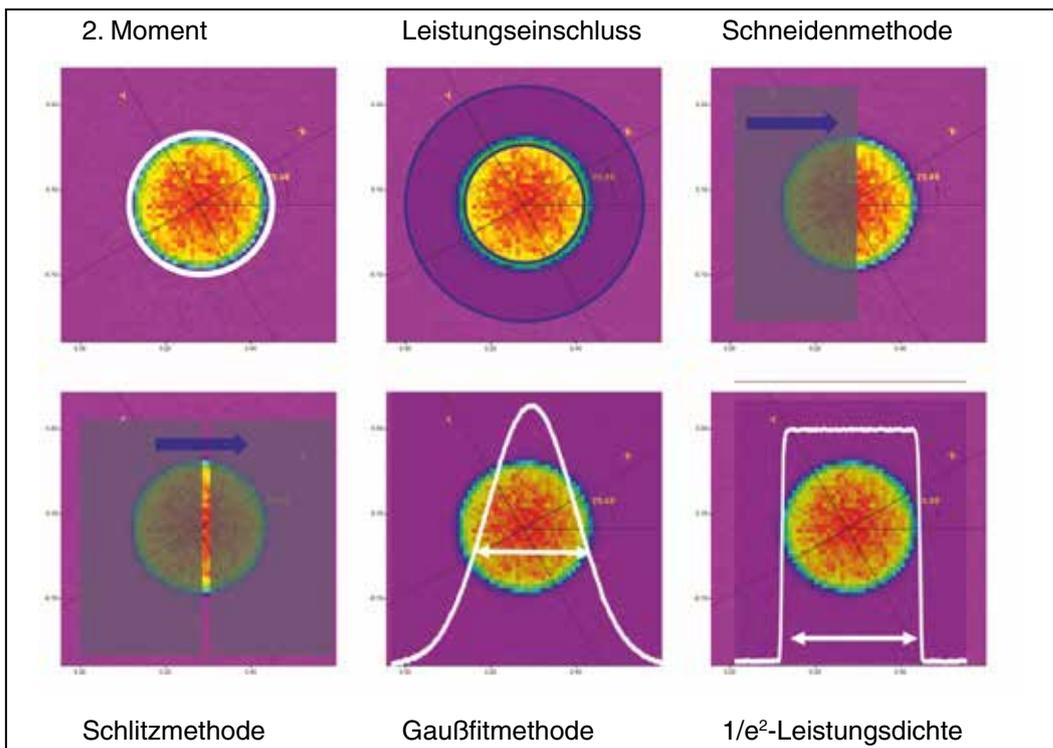
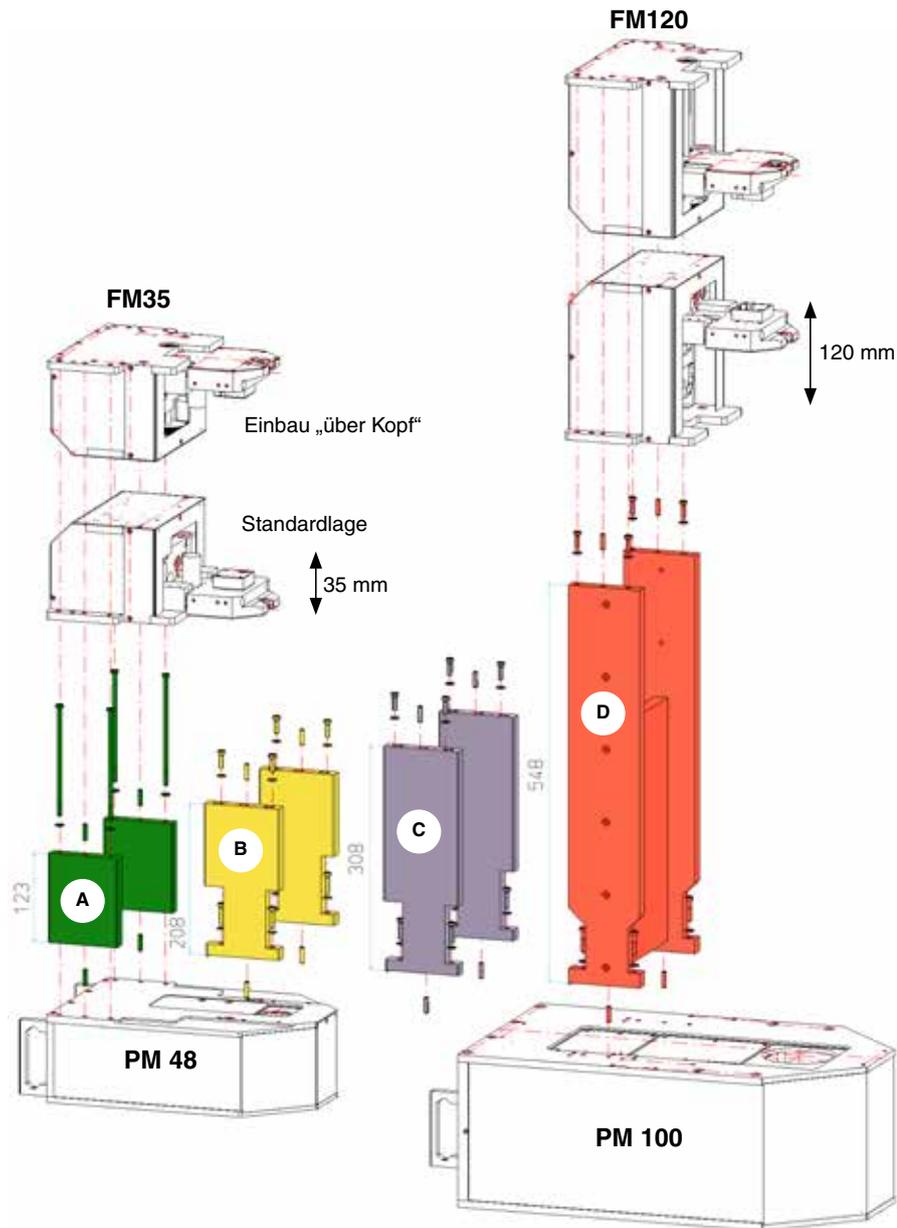


Abb. 24.5: Schematische Darstellung der optional für die PRIMES-LDS angebotenen Strahlradiusdefinitionen

## 25 Zubehör

### 25.1 Abstandhalter FocusMonitor-PowerMonitor

Die Abstandhalter ermöglichen die Montage des FocusMonitor auf dem PM 48 oder PM 100 in der Standardlage oder „über Kopf“. Insgesamt stehen vier Halterungen unterschiedlicher Bauhöhe zur Auswahl, die Eignung für Ihren Gerätetyp entnehmen Sie bitte Tabelle Tab. 25.1.



Abstandhalter Typ	Bauhöhe in mm	Effektive Brennweite in mm	Geeignet für		Bestell-Nr.
			FM35	FM120	
<b>A</b>	123	50 – 150	Ja	Nein	130-006-001
<b>B</b>	208	150 – 300	Ja	Ja	130-006-003
<b>C</b>	308	200 – 450	Ja	Ja	130-006-015
<b>D</b>	548	300 – 800	Nein	Ja	130-006-010

Tab. 25.1: Auswahl der Abstandhalter

Bitte stellen Sie vor der Inbetriebnahme sicher, dass die maximale Leistungsdichte für den PowerMonitor nicht überschritten wird!



Die Abstandhalter B und C sind sowohl für den FM35 als auch für den FM120 geeignet. Die oberen Befestigungsgewinde sind aber nicht identisch und deshalb mit einem Aufkleber gekennzeichnet. In Abb. 25.1 ist die Schrauben- und Passstiftposition für den FM35 dargestellt.

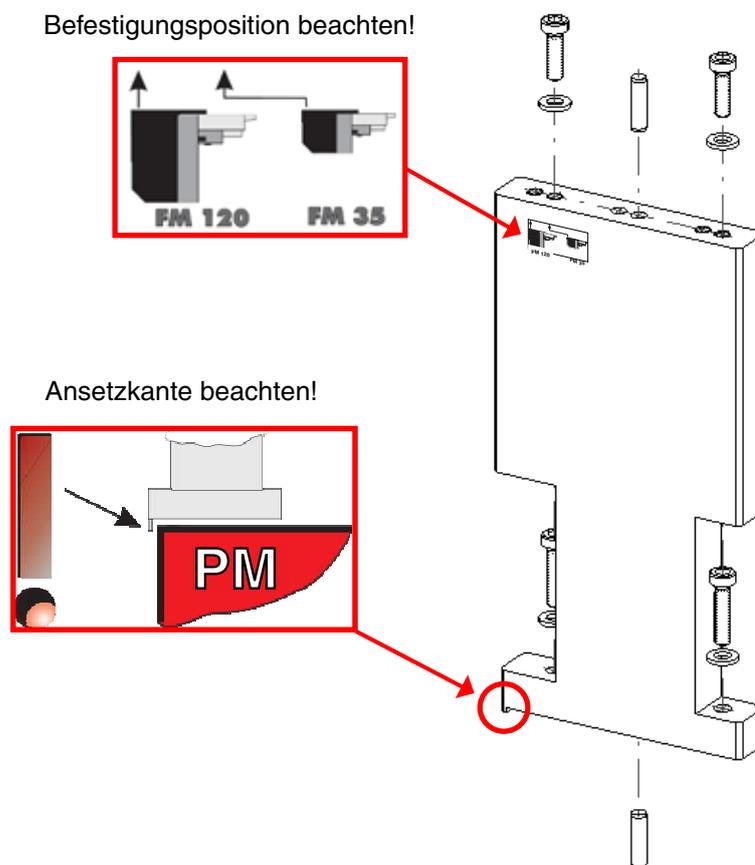


Abb. 25.1: Befestigungsbohrungen am Abstandhalter B und C

### 25.2 FM-Standplatte für den Überkopfbetrieb

Die Standplatte ermöglicht in Verbindung mit den Abstandshaltern eine stabile Befestigung des FocusMonitor für kundenspezifische Aufbauten.

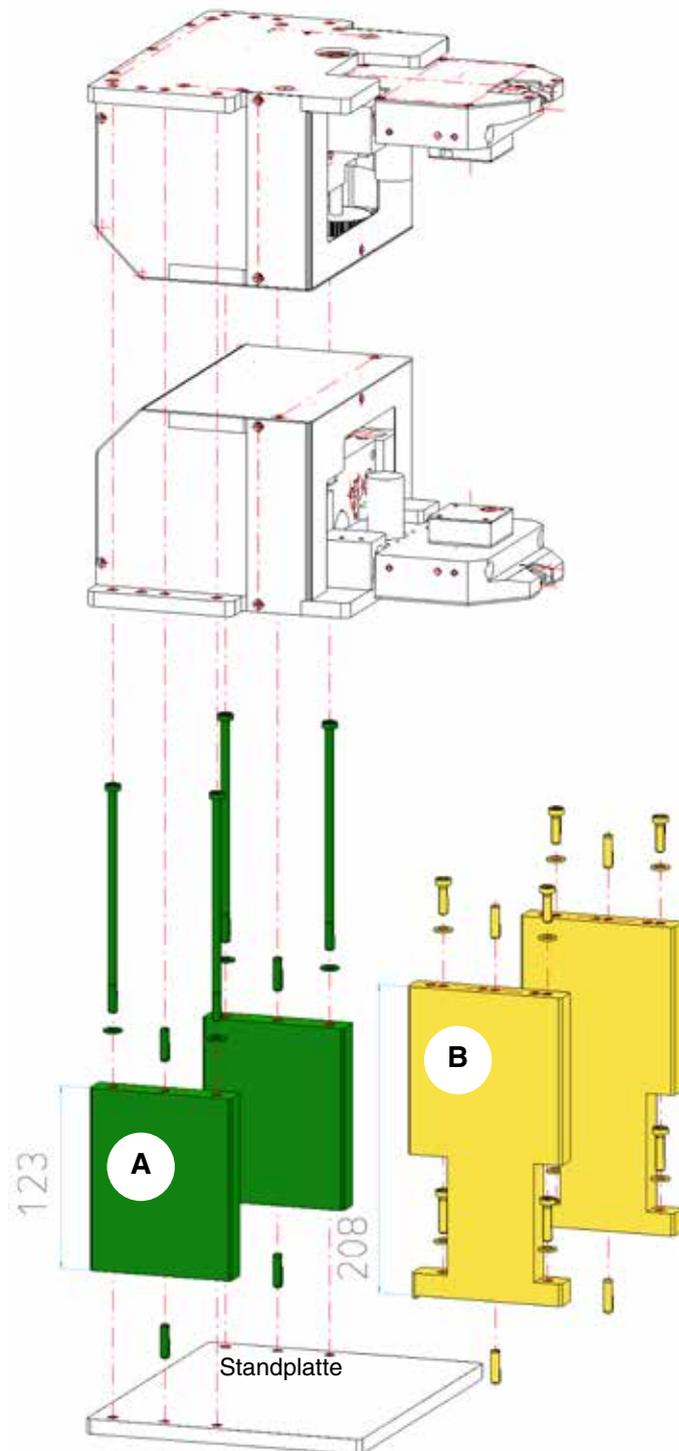


Abb. 25.2: Standplatte und Halterungen für den FM35

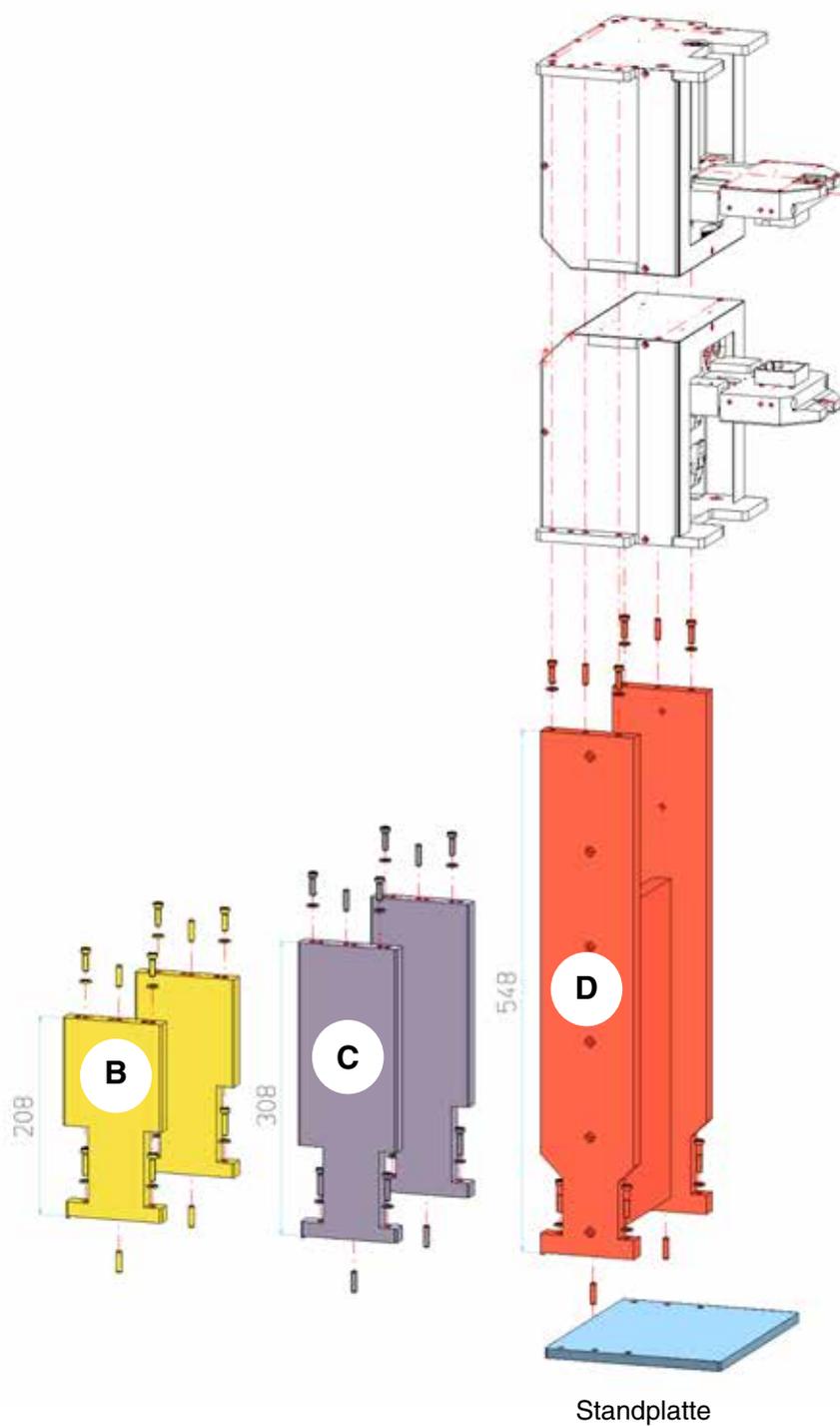


Abb. 25.3: Standplatte und Halterungen für den FM120

**25.3 Abmessungen der Standplatte**

