Strahldurchmesser von Werksangabe auf den Normdurchmesser umrechnen

Die Hersteller- oder Werksangaben geben meist den Strahldurchmesser d2 von Lasereinrichtungen zwischen jenen Punkten an, an denen die Bestrahlungsstärke auf $1/e^2$ abgesunken ist. Im Gegensatz dazu verlangt die DIN EN 60825 Teil 1 einen Strahldurchmesser d1 zu jener Querschnittsfläche, die den Leistungsanteil 1-1/e umfasst. Hier wird gezeigt, wie man die beiden Werte ineinander umrechnen kann.

Im Ergebnis gilt

$$d1 = \frac{d2}{\sqrt{2}} = 0.71 \cdot d2$$

Es folgt die Herleitung ...

Dazu wird angenommen, dass der Laserstrahl näherungsweise eine Gauß-Verteilung aufweist. Diese Näherung ist recht gut, wenn keine sichtbaren höheren Moden vorliegen. In ungünstigen Fällen gilt die Gauß-Verteilung für den leistungsstärksten "Hot Spot". Die Leistungsverteilung wird rotationssymmetrisch angesetzt. Bei elliptischen Strahlquerschnitten ist als Radius der Mittelwert aus großer und kleiner Halbachse zu wählen (steht sinngemäß in der Norm DIN EN 60825-1).

In allen Fällen wird angenommen, dass sie Bestrahlungsstärke (W/m²) auf einem Kreisring (2*π*r*dr) um die Strahlachse konstant und gaußverteilt ist.

Es sei zunächst $P_0 := 1 \cdot W$

Die Bestrahlungsstärke folgt nach diesen Festlegungen dem folgenden Ausdruck, der so normiert ist, dass im Achsenabstand r = d2/2 die Bestrahlungsstärke auf einen relativen Anteil von $1/e^2$ abgesunken ist

$$B_0 \cdot e^{-8 \cdot \left(\frac{r}{d2}\right)^2}$$

B_0 ergibt sich dadurch, dass das Integral die Leistung P_0 ergeben muss.
Aufgelöst nach B_0 ergibt sich folgender Ausdruck:

$$\frac{P_0}{2 \cdot \pi \cdot \int_0^{d2 \cdot 10} e^{-\left[8 \cdot \left(\frac{r}{d2}\right)^2\right]} \cdot r\, dr}$$

Das Integral im Nenner ist bestimmt [0...∞], eine Funktion von d2 und lässt sich zu folgendem Ausdruck vereinfachen

$$B_0(d2) := \frac{8 \cdot P_0}{\pi\, d2^2}$$

Dies ist der in der Strahlachse geltende Wert für die Bestrahlungsstärke!

Die Bestrahlungsstärke ist somit auf einem der Kreisringe im Abstand r wie folgt verteilt:

$$BStr(r, d2) := \frac{8 \cdot P_0}{\pi\, d2^2} \cdot e^{-8 \cdot \left(\frac{r}{d2}\right)^2}$$

Für den in der Norm definierten Strahldurchmesser d1 gilt die Nebenbedingung, dass innerhalb eines Abstandes d1/2 von der Strahlachse der verbleibende Leistungsanteil $(1\text{-}e^{-1})$ betragen soll.

Wir haben also eine Funktion P/P_0 mit obigen Integralausdruck bis zum unbekannten dx dx ist ein Halbmesser oder d1 = 2*dx. Der Funktionsausdruck sieht somit aus, wie folgt:

$$\frac{8 \cdot P_0}{\pi\, d2^2} \cdot \int_0^{dx} e^{-\left[8 \cdot \left(\frac{r}{d2}\right)^2\right]} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r\, dr$$

Dieser Ausdruck kann vereinfacht werden zu

$$P_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{8 \cdot dx^2}{d2^2}}\right)$$

Der Ausdruck im Exponenten rechts muss für dx den Wert 1 ergeben. Damit haben wir eine Bestimmungsgleichung für dx

$$8 \cdot \frac{dx^2}{d2^2} = 1 \quad \text{oder} \quad dx(d2) := \frac{d2}{\sqrt{8}}$$

Der nach Norm gültige Strahldurchmesser ist d1 = 2*dx:

$$d1(d2) := 0.7071 \cdot d2$$

Mithin ist der Strahldurchmesser d1 nach Norm um den Faktor $\frac{1}{\sqrt{2}}$ **kleiner** als die Werksangabe - also das etwa 0,7-fache.