

## Messung von IPL-Quellen, die mit Kontaktgel arbeiten

Von Dr. Ephraim Greenfield

Quellen mit intensiv gepulstem Licht - meist bekannt unter dem englischen Begriff Intensed Pulsed Light (IPL) - sind in der Dermatologie weit verbreitet. Die gepulsten Quellen werden entweder über die Luft oder mittels eines Kontaktgels, das etwaige Reflektionen verhindert, optisch mit der Haut gekoppelt. Doch wie lässt sich die Ausgangsleistung einer solchen IPL-Quelle messen, wenn diese über das Kontaktgel mit der Haut des Patienten verbunden wird?

Ophir definiert dies wie folgt: Der Output wird definiert als die Energiemenge, die über das Kontaktgel in ideal absorbierende (komplett schwarze) Haut gelangt. Auch wenn diese ideal absorbierende Haut nicht existiert, lässt sich damit die ideale Kopplung der Energie durch das Gel beschreiben. Wird die IPL-Energie über die Luft mit der Haut verbunden, erreicht weniger Energie die Haut, da ein Teil der Lichtimpulse schon am Schutzglas des Geräts vorne bzw. von der Haut reflektiert wird. Generell liegt der Unterschied zwischen der Energiekopplung über die Luft und mittels des Kontaktgels bei 10-15%.

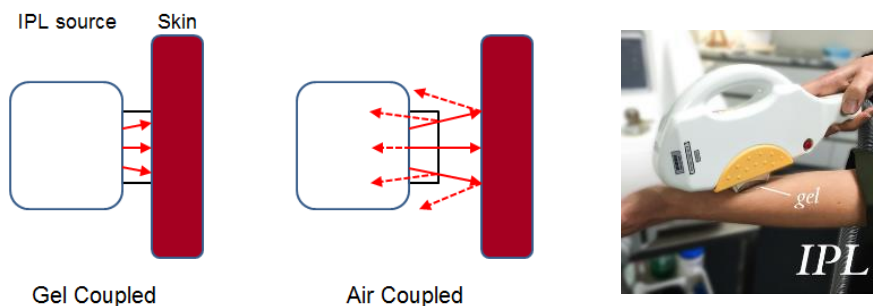
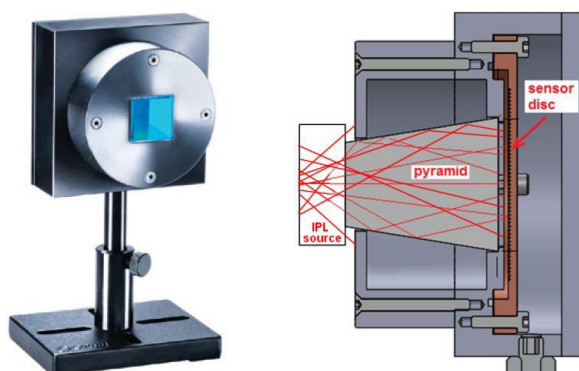


Abbildung 1: Reflektionen eines IPL-Geräts bei der Anwendung über die Luft oder die Kopplung über ein Kontaktgel.

### IPL-Sensor L40(150)A für gelgekoppelte Quellen

Der Energiesensor Ophir L40(150)A wurde gezielt für die Messung der Energie-Ausgangsleistung von IPL-Quellen entwickelt, die mit einem Kontaktgel mit angepasstem Brechungsindex zwischen Lichtquelle und Haut des Patienten arbeiten. Um diese Situation zu simulieren, verfügt der Sensortyp für divergente Strahlen über eine Glaspyramide, die über Gel mit der Quelle verbunden wird. Die Pyramide ermöglicht es nahezu dem gesamten, hochdivergenten Licht der Quelle, die Messoberfläche des thermischen Sensors zu erreichen.



Der thermische Sensor verfügt über eine Ophir LP2-Beschichtung, die mehr als 96% des Lichts über einen großen Bereich an Wellenlängen und Winkeln absorbiert. Ist die IPL-Quelle größer als die Eingangsseite der Pyramide, erreicht ein Teil des Lichts die Pyramide nicht und somit misst der Sensor auch nur den Teil, der tatsächlich auf den Sensor fällt.

Abbildung 2: Äußere Form des Ophir L40(150)A (links) sowie dessen schematischer Aufbau (rechts)

Um die Effizienz des L40-Sensors zu berechnen, müssen wir die winkelabhängige Verteilung des Lichts kennen. Wir messen dazu den Output verschiedener IPL-Quellen, die mit Kontaktgel gekoppelt sind, in einer Glashemisphäre. Sie ermöglicht es, dass Licht mit größerem Abstrahlwinkeln hindurchgehen kann (bei klassischem Flachglas würde jeder Lichtwinkel über 42 Grad totalreflektiert werden.) Die Winkelverteilung des Lichtaustritts wird rechts für verschiedene Lichtquellen gezeigt.

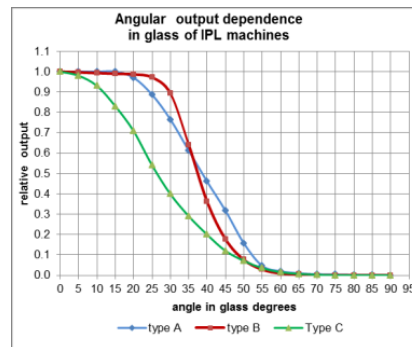


Abbildung 3: Messung des Outputs einer IPL-Quelle in einer Glashemisphäre, rechts die Ergebnisse für verschiedene IPL-Quellen

### Effizienz und Kalibrierung eines IPL-Sensors Typ L40

Nachdem wir die winkelabhängige Verteilung des von der IPL-Quelle abgestrahlten Lichts kennen, lässt sich daraus die Effizienz berechnen, mit der der Sensor das IPL-Licht misst. Eine Analyse per Raytracing ergibt, dass der L40-Sensor das Licht der sehr divergenten IPL-Quellen sehr effizient erfasst. Abhängig von der Winkelverteilung gelangen 93-95% des Lichts, das in die Pyramide fällt, auf die andere Seite. Berücksichtigt man die Montagepunkte der Pyramide und andere kleinere Verluste, erreichen immer noch 90 % des in die Pyramide einfallenden Lichts die Sensorfläche.

Kalibriert wird der L40 Sensor, indem eine kollimierter 1070 nm Laserstrahl durch die Pyramide auf die Sensorfläche gelenkt wird. In diesem Fall gelangen 92% des Lichts durch die Pyramide (die Reflektion der Pyramideneintritts- und -austrittsflächen schon berücksichtigt). Nimmt man alle diese Faktoren zusammen, ergibt sich folgende Rechnung:

$$\text{Kalibrierfaktor} = (\text{Effizient mit IPL-Quelle } 90\%) / (\text{Effizienz des Laser } 92\%)$$

Daraus ergibt sich eine Kalibrierung derart, dass der Sensor 2% mehr anzeigt als die per Laser eingebrachte Energie.

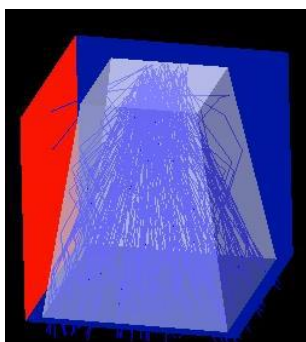


Abbildung 4: Vereinfachte Darstellung der einfallenden Lichtstrahlen in die Pyramide.

## ***IPL-Sensor L50(300)A für Gel- und Luftgekoppelte Quellen***

Der pyramidenförmige L40 IPL-Sensor arbeitet sehr präzise, da nahezu das gesamte IPL-Licht erfasst wird und es kaum eine Abhängigkeit zur Winkelverteilung gibt. Allerdings hat er eine recht kleine Apertur mit 22x22mm; bei IPL-Quellen mit einem größeren Wirkungsquerschnitt wird demzufolge nur ein Teil des Lichts erfasst. Der IPL-Sensor vom Typ L50(300)A mit Frontglas ermöglicht die Messung von Quellen mit deutlich größeren Strahlquerschnitten sowohl mit Luft- als auch mit Gelkopplung. Das vordere Glas ist auf der Oberseite unbeschichtet und verfügt auf der Rückseite über eine Antirefleksionsbeschichtung.

Für Messung einer gelgekoppelten Quelle bringt man das Gel auf das vordere Glas des Sensors auf und koppelt darüber die IPL-Quelle. Das Licht fällt durch das Glas und wird von der LP2-Sensordisc absorbiert. In diesem Fall wird das gesamte Licht mit einem Winkel größer als 42 Grad zurück reflektiert, so dass die winkelabhängige Verteilung des Lichts einen größeren Einfluss hat.

Eine Analyse per Raytracing zur Performance des L50 Sensors zeigt, dass je nach Winkelverteilung 84-90 % des Lichts, das durch das vordere Glas einfällt, auf der Sensorfläche auftrifft. Ähnlich wie bei L40-Sensor werden auch die L50-Sensoren mit einem kollimierten 1070nm Laserstrahl geradewegs durch das Glas kalibriert. Da die meisten IPL-Quellen eine Winkelverteilung ähnlich wie Typ C in Abbildung 3 aufweisen, gehen wir von einer Effizienz in diesem Bereich, aber näher an Typ C aus.

Kalibrierungsfaktor = (Effizienz mit IPL-Quelle 88%) / (Effizienz mit Laser 96%)

Wir kalibrieren den Sensor 8% höher als die angewendete Laserenergie.



*Abbildung 5: Ophir L50(300)A – IPL-Sensor für Gel- und Luftgekoppelte Quellen*

## ***Experimentelle Beweisführung***

Um diese Berechnungen zu verifizieren, messen wir die Pulse einer Energist i Pulse IPL-Quelle jeweils mit einem Sensor Typ L40 und L50. Der i Pulse verfügt über eine winkelabhängige Verteilung vom Typ C. Beide Sensoren wurden basierend auf den oben ermittelten Kalibrierfaktoren kalibriert. Hier die Messungen die Strahlungsdichte:

L40 Sensor: 34,9 Joule

L50 Sensor: 64,0 Joule

Nach der Korrektur der vom L40 absorbierten Menge (22x22mm Eingangsapertur im Vergleich zur 27x33mm Apertur der Lichtquelle) und unter der Annahme, dass der Ausgang der Quelle gleichmäßig verteilt ist, erhalten wir folgende Ergebnisse:

Energiedichte des L40 Sensors:  $34,9\text{J}/4,8\text{cm}^2 = 7,27\text{J}/\text{cm}^2$

Energiedichte des L50 Sensors:  $64,0\text{J}/8,91\text{cm}^2 = 7,18\text{J}/\text{cm}^2$

Es gibt also eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen den beiden Messungen – der Messunterschied liegt im Bereich von 1%. Damit zeigen wir, dass gekoppelte IPL-Quellen innerhalb der Variationen aufgrund der Winkelabhängigkeit sowohl mit dem L40- als auch der L50-Sensor zuverlässig gemessen werden können.



Abbildung 6: Messaufbau zur experimentellen Beweisführung