

# Klare Sicht im Blut durch Beleuchtung mit Infrarot-Lasern

## Neue Möglichkeiten in der Herzchirurgie durch neuartiges bildgebendes Verfahren im Infrarotbereich

Ein wichtiges Instrument in der modernen Medizin sind minimal-invasive, endoskopische Verfahren, auch unter dem Schlagwort Schlüsselloch-Medizin bekannt. Bei diesen sind im Gegensatz zu herkömmlichen chirurgischen Eingriffen keine großen Schnitte nötig sind, da miniaturisierte medizinische Instrumente Verwendung finden, die bereits durch sehr kleine Öffnungen in den Körper eingeführt werden können. Da der Operateur in diesem Fall keine direkte Sicht auf den zu operierenden Bereich hat, wird gleichzeitig ein Video-Endoskop eingeführt, dessen Live-Bilder auf einem Bildschirm beobachtet werden können und anhand derer die Operation oder Untersuchung gesteuert wird. Diese minimalinvasiven Verfahren sind heutzutage Standard bei einer Vielzahl von Eingriffen (z. B. in der Bauchhöhle), können jedoch in blutgefüllter Umgebung (z. B. im Herz oder Blutgefäßen) nicht angewendet werden, da bisherige endoskopische Systeme kein klares Bild durch Blut hindurch liefern können.

Durch die gemeinsame Entwicklung zweier Fraunhofer Institute (Fraunhofer IMS und IAF) sowie der Firma Angiocam IVS GmbH konnte demonstriert werden, dass sich durch ein neuartiges bildgebendes Verfahren, das auf Infrarot-Laser als aktive Beleuchtungsquelle basiert, klare Bilder durch mehrere Millimeter dicke Blutschichten hindurch erreichen lassen. Wesentlich hierbei ist, dass man die richtige Wellenlänge für die Beleuchtung ermittelt und die Laser dafür „maßschneidert“.

### Blut – durchsichtig wenn man richtig hinschaut

Blut ist im sichtbaren Spektralbereich undurchsichtig, was vor allem durch die Streuung des Lichtes an roten Blutkörperchen und zu einem geringeren Teil durch Lichtabsorption hervorgerufen wird. Beide Effekte,

### DIE AUTOREN

#### MARCEL RATTUNDE

Marcel Rattunde studierte Physik an der Universität Freiburg (Deutschland) und der University of Oregon (USA). Das Physik-Diplom erhielt er 1999 mit einer Arbeit zum MBE-Wachstum von AlGaIn-Halbleiterschichten. Die Dissertation schloss er 2003 mit einer Arbeit am Fraunhofer IAF über die Entwicklung GaSb-basierter Diodenlasern ab. Die Arbeitsgebiete am IAF umfassen momentan die Entwicklung von Infrarot Scheibenlasern, Diodenlasern und Lasermodulen. Er leitet verschiedene Forschungsprojekte zu Infrarotlasern, darunter unter anderem das europäische Projekt VERTIGO zu Halbleiter-Scheibenlasern.



Dr. Marcel Rattunde  
Fraunhofer Institute  
for Applied Solid State Physics  
E-Mail: marcel.rattunde@iaf.fraunhofer.de

#### INGO KRISCH

Ingo Krisch promovierte nach dem Physikstudium 1997 in der Plasmaphysik in Bochum. Parallel hat er einen Masterabschluss in der medizinischen Physik erworben. Während eines dreijährigen Auslandsaufenthaltes in Frankreich (Ecole Polytechnique) und England leitete er mehrere multidisziplinäre europäische Forschungsprojekte, u.a. in der EUV-Projektionslithographie und der Sprengstoffdetektion. Anschließend war er am Fraunhofer IMS in Duisburg als Projektleiter verantwortlich für F&E Projekte aus dem Bereich CMOS-Bildsensorik und Systemdesign. Eines seiner Projekte, das Retina Implantat Projekt, hat den Fraunhofer Preis 2008 gewonnen. Im September 2008 hat er die Angiocam IVS GmbH gegründet.



Dr. Ingo Krisch  
Angiocam IVS GmbH  
E-Mail: ik@angiocam.de

Streuung und Absorption im Blut, sind jedoch stark wellenlängenabhängig, wie Abb. 1 zeigt: Die Streuverluste werden mit zunehmender Wellenlänge geringer (Abb. 1, rote Kurve), während die Absorption durch einige starke Absorptionsbanden gekennzeichnet ist, zwischen denen sich relative „Transmissionsfenster“ befinden, z.B. bei 1,6  $\mu\text{m}$  oder 2,2  $\mu\text{m}$  (Abb. 1, blaue Kurve). Durch die geringeren Streuverluste und die noch nicht zu starke Absorption ist eine Wellenlänge von 2,2  $\mu\text{m}$  am besten geeignet, um ein optisches System zu realisieren, das auch in blutgefüllter Umgebung klare und scharfe Bilder liefern kann. Bei kürzeren Wellenlängen wird durch die zu starke Streuung die Auflösung und Bildqualität stark beeinträchtigt, und bei noch längeren Wellenlängen ist die Absorption so hoch, dass kein praktisches bildgebendes Verfahren mehr möglich ist.

Als Beleuchtungsquelle für diesen Wellenlängenbereich eignen sich vor allem kompakte Diodenlaser, die die nötige optische Leistung effektiv zur Verfügung stellen und dessen Licht effizient in Glasfasern eingekoppelt werden kann.

### Leistungsstarke Halbleiterlaser ermöglichen beliebige Wellenlängen im IR-Bereich

Bei Halbleiter-Lasern ist die Emissionswellenlänge durch die Zusammensetzung und die Dicke der verwendeten Halbleiterschichten quasi frei einstellbar. D. h. die Laserwellenlänge kann speziell auf die Anwendung hin optimiert werden was mit klassischen Festkörperlaser (wie z.B. Nd:YAG oder Ho:YAG) nicht möglich ist. Außerdem können die kompakten Halbleiter-Laser durch die große Zahl der möglichen Bauformen

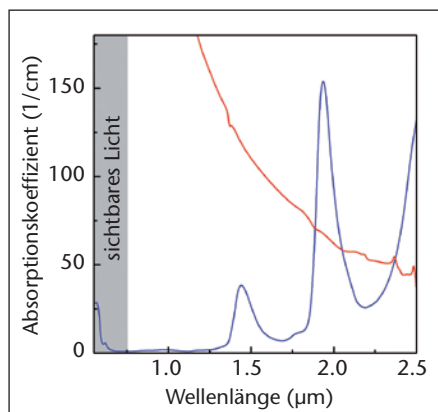


ABB. 1: Absorptionskoeffizient der Streuverluste (rote Linie) und der Absorptionsverluste (blaue Linie) in Blut als Funktion der Wellenlänge; aus Roggan *et al.*, *Journal of Biomed. Optics* 4, 36 (1999).

## DIE FIRMA

### Angiocam IVS GmbH

Das Unternehmen wurde als Spin-off der Fraunhofer Gesellschaft am 11. September 2008 gegründet. Das Kerngeschäft des Unternehmens ist die Entwicklung, Herstellung und Vermarktung einer neuen Technologie und des zugehörigen Systems, das die Umgebung von intransparenten Flüssigkeiten endoskopisch untersuchen kann. Ein neuartiges Videoendoskop zur blutdurchdringenden Bildgebung wird das erste Produkt und adressiert den Medizintechnikmarkt. Mit Hilfe der Echtzeitbilder dieses Videoendoskops werden neue Therapieansätze in der minimalinvasiven Kardiochirurgie und Kardiologie ermöglicht. Weitere Applikationen im Bereich der Medizin und der Industrieautomation sind in der Planung. [www.angiocam.de](http://www.angiocam.de)

(z. B. Breitsteifenlaser, Halbleiter-Scheibenlaser etc.) auch von der Ausgangsleistung und der Stahlqualität her optimal an die Anforderungen verschiedener Anwendungen angepasst werden.

Im Rahmen des Projektes wurden am Fraunhofer IAF, das langjährige Erfahrung in der Entwicklung von Halbleiter-Lasern im Infrarotbereich von 1.8–12 µm besitzt, leistungsstarke 2,2 µm-Diodenlaser für die aktive Beleuchtung des Videoendoskop-Systems entwickelt. Die Laser basieren auf dem GaSb-Halbleiter-Materialsystem und wurden angefangen von der Herstellung der Halbleiterschichten bis hin zu den fertigen fasergekoppelten Lasermodulen (siehe Abb. 2) am Institut gefertigt. Die Lasermodule beinhalten ferner ein Peltier-Element sowie einen Temperatur-Sensor, mit deren

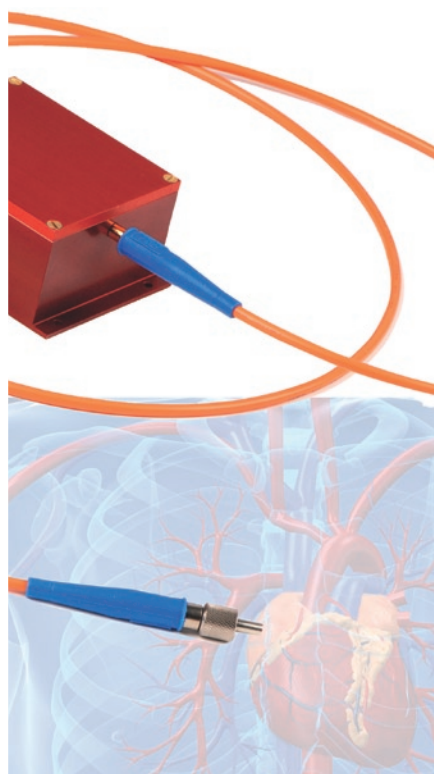


ABB. 2: Fasergekoppeltes Diodenlasermodul mit einer Emissionswellenlänge von 2.2 µm und 500 mW Ausgangsleistung aus der optischen Faser mit 200 µm Kerndurchmesser (© Fraunhofer IAF/ Sebastian Kaulitzki, [www.fotoloa.de](http://www.fotoloa.de))

Hilfe die Temperatur des Lasers stabilisiert und gezielt variiert werden kann. Da sich mit der Temperatur auch die Emissionswellenlänge des Lasers verändert, kann dadurch letztere in einem Bereich von 80 nm frei eingestellt werden. Dies ist sehr hilfreich, um die Laserwellenlänge optimal an die anwendungsspezifischen Erfordernisse anzupassen. Die maximale Ausgangsleistung der Module beträgt 500 mW aus der optischen Faser (Kerndurchmesser 200 µm), was ausreichend ist, um durch eine mehrere Millimeter dicke Blutschicht hindurch zu beleuchten und optisch abzubilden.

### Klare Sicht durch reduzierte Streuung

In Abb. 3 sind mehrere Testbilder gezeigt, bei denen für unterschiedliche Beleuchtungswellenlängen durch eine Blutschicht hindurch eine Teststruktur aufgenommen wurde. Dieses Testbild ist ein Industrie-Standard, um das Auflösungsvermögen und die Bildqualität eines optischen Systems zu beurteilen und besteht aus horizontalen und vertikalen Linien mit unterschiedlichem Abstand. Diese Teststruktur wurde von hinten mit (a) einer Weißlichtquelle (sichtbarer Spektralbereich), (b) einem 1,6 µm-Dioden-

laser und (c) dem neu entwickeltem 2,2 µm-Diodenlaser beleuchtet. Das Bild wurde von der Frontseite durch eine 4 mm dicke Blutschicht hindurch mit an die entsprechenden Wellenlängen angepassten kommerziell erhältlichen Kameras aufgenommen. In dem rot markierten Bereich der jeweiligen Bilder betragen die Linienbreite und der Linienabstand der Teststruktur 1,4 mm. Im unteren Bild (Abb. 3c), das mit Hilfe der 2,2 µm Beleuchtungsquelle aufgenommen wurde, sind diese Linien aufgelöst und unterscheidbar, während sie für die kürzeren Beleuchtungswellenlängen (Abb. 3b und a) ausgewaschen und nicht unterscheidbar sind. Dies ist auf die steigenden Streuverluste im Blut bei kürzeren Wellenlängen zurückzuführen (Abb. 1, rote Kurve), die das Auflösungsvermögen eines abbildenden Systems in Blut stark beeinträchtigen. Die Bilder in Abb. 3 zeigen daher deutlich, dass der Wellenlängenbereich um 2,2 µm sehr gut für ein abbildendes System in blutgefüllter Umgebung geeignet ist, bei der das Blut nicht durch eine transparente Flüssigkeit ausgetauscht werden muss.

Die derzeitigen Bildgebungsverfahren bei Herzoperationen (z. B. Computertomographie, Sonographie) können nur von außen an den Körper angesetzt werden, sind apparativ z. T. sehr aufwendig und unterstützen einen minimal-invasiven Eingriff nur sehr beschränkt. Aus Kostengründen und auch wegen der niedrigeren gesundheitlichen Belastung für den Patienten ist diese Form der Operation jedoch klar zu bevorzugen. Hier eröffnet das Infrarot-Videoendoskop neue Möglichkeiten für die medizinische Diagnostik und Therapie wie z. B. Live-Bilder im blutgefüllten Herzen während minimal-invasiver Herzoperationen oder Herzkatheter-Untersuchungen. Als weiterer positiver Effekt kann auf den Einsatz von belastender Röntgendiagnostik in Kombination mit injizierten Kontrastmitteln verzichtet werden, was die Strahlenbelastung der Patienten reduziert.

Auf Basis dieser positiven Forschungsergebnisse wurde eigens die Angiocam Infrarot Vision Systems GmbH gegründet mit dem Ziel, dieses neuartige Videoendoskop zur Marktreife zu bringen und zu kommerzialisieren.

### Mehr als nur klar sehen – spektroskopische Untersuchungen inklusive

Durch die Flexibilität der Infrarot-Halbleiterlaser kann das IR-Videoendoskop problemlos

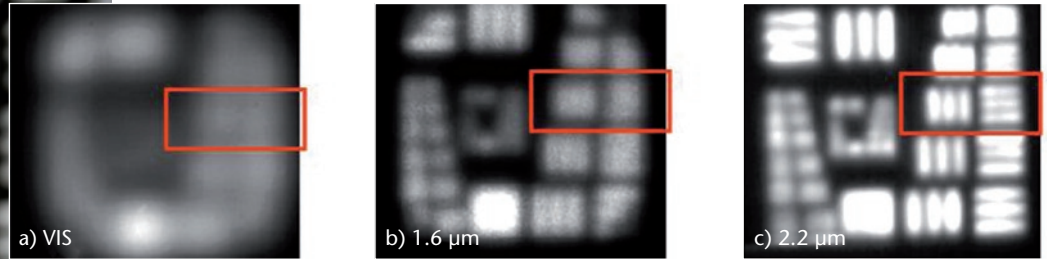
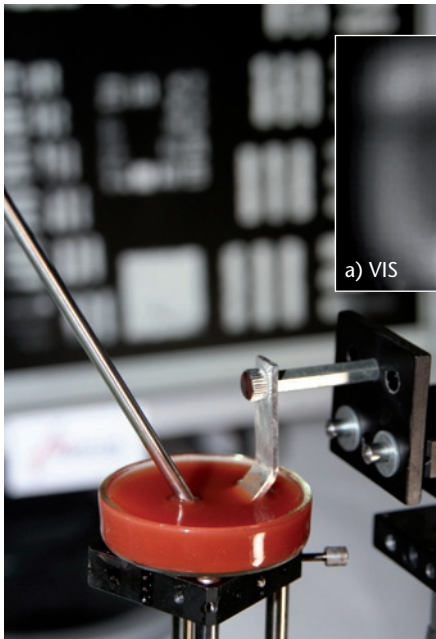


ABB. 3: Testbilder zur Bestimmung der Auflösungsgrenze, aufgenommen durch eine 4 mm dicke Blutschicht, wobei das Bild mit verschiedenen Lichtquellen beleuchtet wurde: a) sichtbares Licht b) 1.6  $\mu\text{m}$  Diodenlaser c) vom IAF realisierter 2.2  $\mu\text{m}$  Diodenlaser.

(© Angiocam IVS GmbH)

zu einem System erweitert werden, dass durch die gezielte Variation der Beleuchtungswellenlänge spektroskopische Untersuchungen der verschiedenen Gewebeararten ermöglicht. Dadurch können neben der reinen Sichtkontrolle vielfältige Informationen wie z. B. über Ablagerungen und die Beschaffenheit des Gewebes ermittelt werden.

Die Halbleiter-Laserquelle kann hierfür zum einen wie oben beschrieben mit der Temperatur und dem Betriebsstrom in der Emissionswellenlänge verändert werden, zum anderen können auch kompakte Lasermodule mit einem externen Gitter als wellenlängenselektivem Element (sog. external cavity Diodenlaser) aufgebaut werden. Im 2  $\mu\text{m}$  Bereich wurden mit dieser Bauform Durchstimmbereiche eines Lasers von 150 nm realisiert. Des Weiteren kann auch das Licht verschiedener Laser mit unterschiedlicher Emissionswellenlänge in einem Faserbündel zusammengefasst werden, um so gezielt zwischen verschiedenen Beleuchtungswellenlängen umzuschalten.

### Ausblick: Beleuchten und bearbeiten

Der Wellenlängenbereich zwischen 2 und 3  $\mu\text{m}$  ist nicht nur für die medizinische Diagnostik, wie die hier beschriebene Bildgebung im Blut, interessant. Wie man aus Abb. 1 erkennt befindet sich um 1,9  $\mu\text{m}$  sowie bei 2,9  $\mu\text{m}$  starke Absorptionsbanden von Wasser (und damit auch von Gewebe). Dementsprechend ist die Eindringtiefe in Gewebe sehr gering, so dass präzise Manipulationen von Gewebestrukturen möglich sind.

Am Fraunhofer IAF sind hierfür neuartige Laser in der Entwicklungsphase, die ver-

## DIE INSTITUTE

### Fraunhofer IAF

Das Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik (IAF) arbeitet im Bereich Forschung und Entwicklung von halbleiterbasierte Lasern und Leuchtdioden im einem sehr breiten Wellenlängenspektrum vom UV bis hin zum langwelligeren Infrarot (350 nm bis 12  $\mu\text{m}$ ). Dabei wird vom IAF die gesamte Entwicklungskette vom Design und der Herstellung der Halbleiterstruktur über das „Packaging“ bis hin zu Lasermodulen und Subsystemen abgedeckt.

Durch das breite Spektrum an vorhandenen Technologien können an die jeweilige Anwendung angepasste Laser und Systeme entwickelt werden. Die Anwendungen dieser Laser überdecken einen breiten Bereich von der Medizintechnik über die Messtechnik (z. B. Gasmessungen) bis zur Materialbearbeitung und Sicherheitsanwendungen.

[www.iaf.fraunhofer.de](http://www.iaf.fraunhofer.de)

### Fraunhofer IMS

Ein Kerngeschäft des Fraunhofer Instituts für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme (IMS) in Duisburg ist die Erforschung neuer Sensorprinzipien und die kundenspezifische IC-Entwicklung. Dabei wird primär die eigene CMOS-Linie für Entwicklung und Fertigung genutzt. Am Fraunhofer IMS wurden in den letzten Jahren verschiedene CMOS-Bildsensoren entwickelt und gefertigt, anschließend wurden Kamerasysteme für spezielle Anwendungen aufgebaut. Das Portfolio umfasst unter anderem: eine hochdynamische Kamera, eine Hochgeschwindigkeitskamera und eine 3D-Kamera (Kamera mit Tiefenauflösung).

[www.ims.fraunhofer.de](http://www.ims.fraunhofer.de)



ABB. 4: Prototyp eine Halbleiter-Scheibenlasermoduls, mit dem im 1.8–2.9  $\mu\text{m}$  Wellenlängenbereich sehr hohe Leistungsdichten erreichbar sind. (© Fraunhofer IAF)

glichen mit den oben beschriebenen Lasermodulen (Abb. 2) eine um den Faktor 500 höhere Leistungsdichte aus der optischen Faser aufweisen und sich damit z. B. als Laserskalpell oder für die lokale Koagulation von Gewebe eignen. Diese sog. Halbleiter-Scheibenlaser können ebenfalls mit beliebiger Wellenlänge im 1,8–3  $\mu\text{m}$  Bereich hergestellt werden, so dass die Eindringtiefe (und damit „Bearbeitungstiefe“) zwischen ca. 1 mm und 1  $\mu\text{m}$  frei eingestellt werden kann. Abb. 4 zeigt den Prototyp solch eines Lasers der bereits sehr kompakte Ausmaße besitzt.

### Zusammenfassung

Das neuartige Videoendoskop, das auf dem Prinzip der aktiven Beleuchtung im infraroten Wellenlängenbereich beruht, eröffnet neue Möglichkeiten für die medizinische Diagnostik sowie Therapie, vor allem im Bereich minimal-invasive Herzoperationen. Eine weitere Einsatzmöglichkeit ist die Qualitätskontrolle von technischen Oberflächen, die von trüben Flüssigkeiten umgeben sind.

Diese Entwicklung wurde maßgeblich durch Halbleiter-basierte Laser ermöglicht, die von ihrer Wellenlänge her spezifisch an die Anforderungen angepasst wurden.