

Faszinierende Anfänge des Wasserstrahl-Lasers

Die Fusion von Licht und Wasser führt zu einer Technologie, mit der harte Materialien mit hoher Präzision bearbeitet werden können. Die Idee eines Lasers in einem haarfeinen Niederdruck-Wasserstrahl, der den Strahl durch Totalreflexion wie eine optische Faser leitet, kommt aus der Zahnmedizin.

Nitin Shankar

Bernold Richerzhagen entschied sich für ein Master-Studium der Grundlagen des Maschinenwesens mit Ausrichtung Medizintechnik an der RWTH Aachen, das er mit einer Diplomarbeit über die Entwicklung eines künstlichen Herzens abschloss. Ein Jahr später nahm er im Rahmen seiner Doktorarbeit an einem Forschungsprojekt des Labors für Angewandte Optik der EPFL (Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne) teil, bei dem es um die Entwicklung eines laserbasierten Dentalwerkzeugs ging. Ziel war es, ein Laserenergieübertragungssystem für zahnmedizinische Anwendungen wie die Entfernung von Karies zu entwickeln. Richerzhagen entschied, trotz missglückter Vorarbeiten einen neuen Ansatz zur Übertragung der Laserenergie

und zur gleichzeitigen Kühlung des Zahns während des Laserbohrens zu erproben. Er sah vor, den Laserstrahl durch Totalreflexion in einem Wasserstrahl zu leiten, ähnlich wie bei einer optischen Faser. Der Laser würde die Wärme für den Abtrag liefern, während das Wasser den Zahn kühlen würde. Ein wasserstrahlgeführter Laser bietet eine gleichzeitige Kühlung, ohne dass es zu einer Wärmeschädigung des Zahns kommt.

Richerzhagens Konzept basierte darauf, einen Laserstrahl durch eine Druckwasserkammer zu leiten und ihn dann in einer Düse zu fokussieren (Abb. 1). Seine Berechnungen zeigten, dass es möglich war, einen Laserstrahl in einer Düse zu fokussieren ohne andere Verluste als die natürliche Absorption im Wasser. Der aus der Düse austreten-

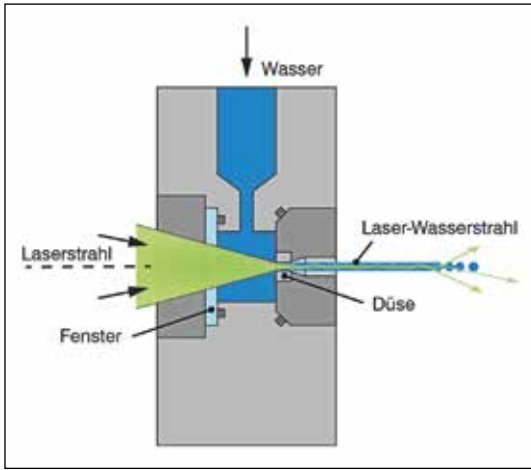


Bild: Synova

Abb. 2: Kopplungseinheit.

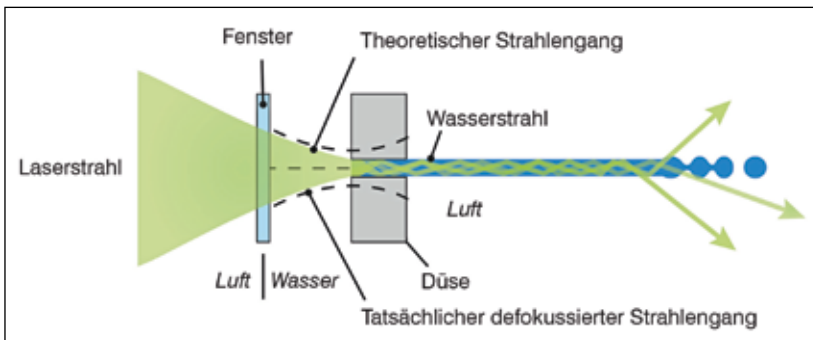


Bild: Synova

Abb. 3: Defokussierter Strahlengang.

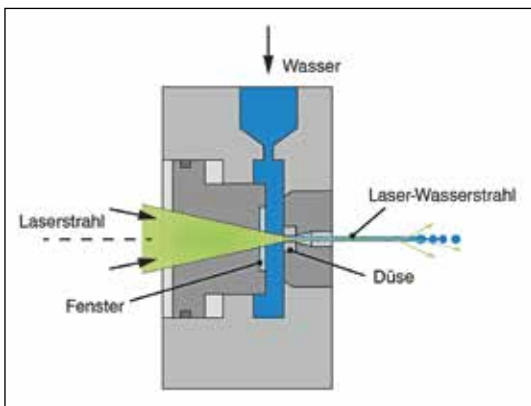


Bild: Synova

Abb. 4: Schema der verbesserten Kopplungseinheit.

de Niederdruckwasserstrahl würde den Laserstrahl durch Totalreflexion lenken. Dieser parallele wassergeführte Laser würde auf dem Zahn arbeiten. Richerzhagen stand vor zwei Herausforderungen. Die erste bestand darin, Energie von einer Laserquelle auf das Handgerät des Zahnarztes zu übertragen. Die zweite, weitaus bedeutendere war, eine Kopplungseinheit zu entwickeln, die den Laserstrahl in einem Wasserstrahl zusammenführt. Richerzhagens erste Kopplungseinheit bestand aus einer geschlossenen Wasserkammer mit einem Fenster auf der einen Seite und einer Düse auf der anderen Seite. Der Laserstrahl, der durch das Fenster und das Wasser hindurchging, wurde auf den Düsen-eintritt fokussiert. Er trat als Laserstrahl umhüllt von einem Wasserstrahl aus (Abb. 2).

Weltleitmesse der Schleiftechnik



GrindTec 2022

15. – 18. März
Messe Augsburg

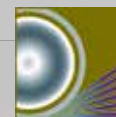
GrindTec 2022 – starker Content und spannende Premieren:



GrindTec
FORUM



GrindTec
CAMPUS



GrindTec
FACTORY



GrindTec
CHALLENGE



GrindTec
START-UP



GrindTec
INNOVATION

Entdecken und erleben Sie die neuen Themenwelten der GrindTec 2022
www.grindtec.de

Veranstalter

Fachlicher Träger



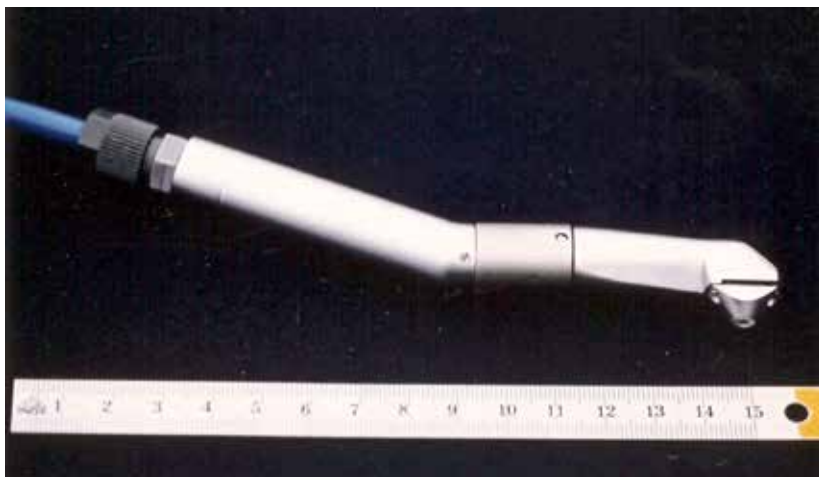


Bild: Synova

Abb. 5: Wassergekühltes
zahnärztliches Handgerät.

Richerzhagens Kopplungseinheit hatte gemischte Ergebnisse. Obwohl seine Berechnungen ergaben, dass der Laserstrahl die Düse durchdringen sollte, beschädigten die Laser-Impulse die Düsenbohrungen. Der Strahl wurde offenbar defokussiert. Richerzhagen war mit dem Problem der beschädigten Düsen konfrontiert. Der Laserstrahl sollte innerhalb des Wasserstrahls reflektiert werden. Diese innere Totalreflexion ist auf die Brechung zurückzuführen, ein Phänomen, bei dem der Laserstrahl beim Übergang von Wasser in Luft zur Oberfläche hin gekrümmt wird. Trifft der Strahl unter einem kritischen Winkel auf die Wasseroberfläche, wird er wie eine optische Faser im Wasser vollkommen reflektiert. Vorrangig ging es darum, die äusseren Faktoren zu ermitteln, die die verlustfreie Fokussierung des Laserstrahls in der Düse verhindern. Die Untersuchung zur Lösung dieses Problems würde Jahre dauern und zu mehreren interessanten Entdeckungen führen.

Thermische Defokussierung

In Richerzhagens erstem Experiment wurde gemessen, wie Wasser die Energie eines Laserpulses absorbiert. Dieses Experiment bewies, dass Wasser einen Teil der Energie jedes Laserpulses absorbiert. Diese in Wärme umgewandelte Energie erhöhte seine Temperatur und veränderte seinen Brechungsindex. Dies führte zu einer Verschiebung des Brennpunkts des Strahls. Somit lag ein Teil der Energie ausserhalb des theoretischen Strahlengangs. Diese Energie traf auf die Oberfläche der Düse und beschädigte sie (Abb. 3). Der nächste Schritt bestand darin, die Auswirkungen der thermischen Defokussierung auf das Laserstrahlprofil zu messen.

Richerzhagen entwarf einen Versuchsaufbau mit einer Optik und einer Hochgeschwindigkeitskamera, um die Veränderung der Laserstrahltaile zu Beginn und am Ende eines 200-Mikrosekunden-Laserpulses aufzuzeichnen, während dieser eine Wasserkammer durchlief. Die Ergebnisse zeigten, dass sich der Durchmesser der Laserstrahltaile, der zu Beginn weniger als 0,2 Millimeter betrug, am Ende

des Laserpulses auf 0,4 Millimeter verdoppelte. Dies war ein Beweis dafür, dass die thermische Defokussierung das Profil des Laserstrahls veränderte.

Richerzhagen beschloss, die Änderung des Brechungsindex von Wasser in Abhängigkeit von seiner Temperatur zu messen. Diese Erkenntnis würde es ihm ermöglichen, Massnahmen zu ergreifen, um den thermischen Defokussierungseffekt zu beseitigen. Er stellte fest, dass die vorhandenen quantitativen Daten für seine Zwecke nicht ausreichten. Er musste diese Beziehung in einer kontrollierten Laborumgebung unter Verwendung eines 1064-nm-Lasers messen. Das Ziel war es, genaue Daten zu erhalten, die für eine theoretische Simulation benötigt werden.

Richerzhagen konzipierte einen Aufbau mit optischer Interferometrie. Nachdem das Wasser in dem Glasgefäss auf eine bestimmte Temperatur erhitzt worden war, musste eine Stunde gewartet werden, bis sich die Wassertemperatur stabilisiert hatte. Ein Spiegel im Wasser wurde um eine bestimmte Länge bewegt, um die Veränderung der Interferenzsignale zu messen. Die Messungen wurden für Wassertemperaturen von 20°C bis 60°C durchgeführt, um den Brechungsindex für jedes Temperaturgrad zu erfassen. Die Daten waren so aussagekräftig, dass sie 1996 in der Zeitschrift «Applied Physics» und im «Handbook of Chemistry and Physics» veröffentlicht wurden. Als Nächstes beschloss Richerzhagen, die Ergebnisse seiner experimentellen Messungen durch numerische Simulationen zu bestätigen. Vereinfacht ausgedrückt, basierte seine Simulation auf einem Laserstrahl, der ein Gitter aus finiten Elementen durchquert und dessen Weg durch unterschiedliche Brechungsindizes in axialer und radialer Richtung beeinflusst wird. Richerzhagens theoretische Simulationsergebnisse entsprachen sehr gut denen, die er in seinen früheren praktischen Experimenten erzielt hatte. Die Ergebnisse wurden in der Zeitschrift «Applied Physics» (1996) und in der Zeitschrift «Optical Engineering» (1996) veröffentlicht. Obwohl seine Forschung bahnbrechend war, konzentrierte sich Richerzhagen weiterhin auf sein Ziel, eine Kopplungseinheit zu entwickeln, die die Düsen nicht beschädigt.

Verbesserte Kopplungseinheit

Um die Wassertemperatur beim Durchgang eines Laserpulses zu stabilisieren, fand Richerzhagen eine Lösung auf der Grundlage der Strömungslehre. Er wusste, dass sich das Wasser in einem quasi-stationären Zustand befinden muss, der als laminare Strömung bezeichnet wird. Bei niedrigen Geschwindigkeiten fliesst solches Wasser ohne seitliche Vermischung. Benachbarte Schichten gleiten wie Spielkarten aneinander vorbei. Allerdings führt das ruhende Wasser zu der thermischen Linse, die den Laserstrahl beeinflusst. Also muss der quasi-stationäre Zustand aufgegeben werden. Um trotzdem eine laminare Strömung bei hoher Geschwindigkeit des Wassers zu gewährleisten, gestaltete er



Bild: Synova

die Wasserkammer neu. Sie ermöglichte eine homogene Strömung im Laserpfad. Dieser entscheidende Durchbruch wurde erreicht, indem die Strömungseigenschaften auf die Düse genau analysiert und gezielt beeinflusst wurden.

Diese Konstruktionsänderung führte zu einer sehr dünnen Kammer, die die Temperatur des Wassers gering hält, wenn der Laserpuls sie durchläuft. Das Wasser floss ohne Turbulenzen aus der Kam-

Bernold Richerzhagen hat die Grundlagen für eine Bearbeitungstechnologie gelegt, die in vielen Industriezweigen zunehmend Anwendung findet, z. B. die wirtschaftliche Bearbeitung von Keramikmatrix-Verbundwerkstoff-Komponenten für die Luftfahrtindustrie.

mer durch die Düse. Der Laserstrahl wurde direkt in die Düse fokussiert. Er koppelte sich mit dem aus der Düse austretenden Wasserstrahl. Der Prozess funktionierte. Mit diesem verbesserten Design der Kopplungseinheit (Abb. 4) hatte Richerzhagen zum ersten Mal im Jahr 1993 die Machbarkeit eines wasserstrahlgeführten Lasers zum Abtragen von Material nachgewiesen. Dieses Design wurde für das zahnärztliche Handgerät verwendet (Abb. 5).

Die erfolgreiche Durchführung des Projekts zum dentalen Laserhandgerät bildete die Grundlage für Richerzhagen, seine Doktorarbeit im Mai 1994 abzuschließen. Während der Arbeit an seinem PhD-Projekt meldete Richerzhagen ein deutsches Patent im Jahr 1994 und ein europäisches Patent im Jahr 1995 an. Richerzhagen gründete 1997 die Synova SA, um Laserschneidmaschinen herzustellen, die seine patentierte wasserstrahlgeführte Lasertechnologie nutzen (Abb. 6). Es gelang ihm, diese Technologie in vielen Industriezweigen anzuwenden. Seit ihrer Gründung hat die Synova SA weltweit mehr als 400 Maschinen für verschiedene Industriebereiche geliefert, von der Automobil- und Luftfahrtindustrie bis hin zu Diamanten und Halbleitern.

Richerzhagen hat die Grundlagen für eine Bearbeitungstechnologie gelegt, die in vielen Industriezweigen zunehmend Anwendung findet. Dies ist die einzige Technologie, mit der CMC (Keramikmatrix-Verbundwerkstoffe)-Komponenten für die Luftfahrtindustrie wirtschaftlich bearbeitet werden können. Führende Forschungsinstitute auf der ganzen Welt interessieren sich für diese Technologie und ihre möglichen Anwendungen. Die Zukunft sieht für die Entwicklung dieser Technologie vielversprechend aus.

SMM

Synova S.A.
Route de Genolier 13, 1266 Duillier
Tel. 021 55 22 600,
synova.ch

Anzeige

Ihr kompetenter Partner für hydraulische Antriebs- und Systemtechnik!

- Gesamtanlagen
- Lösungen nach Mass
- ... gerne beraten wir Sie!
- Service / Reparaturen aller Art
- Oelabreinigung / Oelanalysen
- Oelentwässerung
- Analysen für Technische Sauberkeit und Prozesse
- ... gerne beraten wir Sie!

