



Wie der Laser ans Licht kam

Steil ging es mit Lasern anfangs nicht nach oben, heute finden sie aber viele Anwendungen. Dieser Laser am französischen Centre d'Essais des Landes etwa misst Zusammensetzung und Turbulenzen der Atmosphäre.

Vor 50 Jahren leuchtete zum ersten Mal ein Laser. Inzwischen strahlen die intensiven Lichtquellen allerorten: von der Automobilproduktion bis zum CD-Spieler. Wissenschaftler des **Max-Planck-Instituts für Ökonomik** zeichnen seine wirtschaftliche Entwicklung in einem Kooperationsprojekt nach – und rütteln dabei an gängigen Annahmen, wie sich neue Techniken etablieren.

TEXT **RALF GRÖTKER**

Die Marsmenschen kommen. Und sie werden mit unschlagbaren Strahlenwaffen ausgerüstet sein! Ein solches Horrorszenario malte der amerikanische Schriftsteller Herbert G. Wells schon in seinem 1898 erschienenen Buch *Krieg der Welten* aus – mehr als ein halbes Jahrhundert bevor die wunderbare Strahlentechnik namens *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, kurz: *Laser* überhaupt erfunden wurde.

„Spätestens seit Einstein 1916 die Theorie der stimulierten Emission formuliert hatte, war auch wissenschaftlich erwiesen, dass eine derartige Lichtquelle existieren würde“, bestätigt Helmuth Albrecht, Technikhistoriker an der TU Bergakademie Freiberg. „Und man kannte auch die Eigenschaften: extreme Bündelung und hohe Energiedichte. Sogar dass mit dem Laser Entfernungen messen und Nachrichten übertragen kann, stand lange vor der eigentlichen Erfindung fest.“

Albrecht ist einer der Partner im LASSIE-Projekt: „Lasers: A Spatial-Sectoral System of Innovation and its Evolution“. Übersetzt heißt das in etwa: „Die Evolution des Innovationssystems ‚Laser‘ – mit Regionalbezug und unter Beteiligung der Sektoren Wissenschaft/

Wirtschaft/Politik“. In dem von der Volkswagen Stiftung finanzierten Projekt sind neben der Bergakademie Freiberg Wirtschaftswissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Ökonomik in Jena und der Friedrich-Schiller Universität Jena beteiligt.

TECHNOLOGIE-POLITIK, ABER SINNVOLL

Gemeinsames Ziel ist es, am Beispiel der Laserentwicklung allgemeine Muster von Technologietransfer und Wirtschaftsentwicklung aufzuspüren. Der Laser ist dafür denkbar gut geeignet. Fortschritte in der Technik sind ohne immer neue Erkenntnisse der Forschung undenkbar. Gleichzeitig gibt es einen ausgeprägten kommerziellen Sektor mit einer Vielzahl verschiedener Laser-bezogener Produkte und Anwendungen. Schließlich lässt sich die Entwicklung auch noch im internationalen Vergleich studieren.

Im Vordergrund des Projekts steht die Frage nach dem Systemcharakter der Laserentwicklung. „In den 1950er-Jahren glaubte man noch ganz naiv, dass sich Technik und Wirtschaft so entwickeln, wie Institutionen dies vorgeben: Erst kommt die Grundlagenforschung, dann die angewandte For-

schung, schließlich die Umsetzung durch die Industrie“, erklärt der Jenaer Regionalökonom Michael Fritsch, der auch Unternehmungsgründungen erforscht: „Heute geht man dagegen von sogenannten Innovationssystemen aus – voneinander abhängigen und miteinander agierenden Akteuren, die räumlich getrennt sind und über die Sektoren Wirtschaft, Politik und Forschung hinweg verteilt.“

Dieser Gedanke spielt auch in der Wirtschaftspolitik eine Rolle. „Es entspricht einer verbreiteten Annahme, dass ein koordiniertes Zusammenwirken von Politik, öffentlicher Forschungsförderung und dem Unternehmenssektor für die Volkswirtschaft zu besseren Ergebnissen führt als vollkommen freier Wettbewerb“, so Fritsch. Als Beweis dafür werde gern der Erfolg der japanischen Industrie der Achzigerjahre ins Feld geführt, die stark von dem damaligen Ministry of Commerce and Industry, MITI, gesteuert wurde.

Tatsächlich weiß man wenig darüber, was wirklich auf der Mikroebene passiert. Das ist, gelinde gesagt, ungünstig: Denn Kenntnis der Zusammenhänge wäre eine Voraussetzung für eine sinnvolle Technologie-Politik. Die Partner des LASSIE-Projekts wollen deshalb herausfinden, inwiefern die

- 1 Bitte pusten Sie ins Licht: Ein Kohlendioxid-Laser hilft bei der Diagnose von Magengeschwüren, indem er die verursachenden Bakterien anhand ihrer Stoffwechselprodukte identifiziert. Laser gehören in der Medizin heute zum Standard – als Skalpelle und optische Bohrer für den Zahnschmelz, um Nierensteine zu entfernen oder Fehlsichtigkeit zu korrigieren.
- 2 Wenn Astronomen ein Stern aufgeht, haben sie ihn vielleicht selbst gemacht. Ein Laser spiegelt ihnen einen Stern am Firmament vor, der als Modell dient, um im Teleskop die ständigen Turbulenzen innerhalb der Atmosphäre zu eliminieren.

Entwicklung der Lasertechnologie in Deutschland in Form eines „koordinierten Zusammenwirkens“ erfolgte – oder auf anderem Wege.

Guido Bünstorf, Forschungsgruppenleiter in der Abteilung Evolutionsökonomik am Jenaer Max-Planck-Institut und Mit-Initiator von LASSSIE, hat in den vergangenen Jahren die Entwicklung einer ganzen Reihe von Wirtschaftszweigen eingehend untersucht, meist in enger Zusammenarbeit mit Steven Klepper, Ökonom an der Carnegie Mellon Universität. Dabei haben die beiden Wissenschaftler herausgefunden, dass es in der Wirtschaft meist nicht so zugeht wie im Japan der 1980er-Jahre, sondern eher wie in Darwins Evolutionslehre. Statt auf das „System“ kommt es dabei meist eher auf den folgenreichen Ausnahmefall an.

Klepper hat gezeigt, dass die gesamte US-Automobilindustrie rund um Detroit nachweislich aus dem Keim einer einzigen Firma hervorgegangen ist: Olds Motor Works. General Motors, Cadillac, Ford, Dodge und Chevrolet, sie alle sind Kinder und Kindeskinde von Olds. Auf ähnliche Weise entstanden auch die Halbleiterproduktion in Silicon Valley und die „Gummihauptstadt“ Akron. Die Stadt am Ohio und Erie Canal befand sich Ende des 19. Jahrhunderts im raschen Aufbau und prosperierte als Umschlagplatz für Kohle und Getreideprodukte. „Greetings from Akron Ohio“: Auf einer Postkarte in Bünstorf's Büro kündigt ein Cartoon aus den Dreißigerjahren mit imposanten Hochhäusern, breiten Straßen und einem Zeppelin am Himmel von der Euphorie des Aufschwungs.

Der New Yorker Gummifabrikant Goodrich fand dort Investoren und siedelte sich in Akron an. 1888 übernahmen die Söhne das Geschäft und

stellten bald den ersten Ballonreifen für Autos her. Anfangs in Kooperation mit Goodrich, gründete auch der Pferdewagen-Reifen-Fabrikant Harvey S. Firestone ein Unternehmen. Schließlich gründeten die Söhne des Investors, der bei Vater Goodrich eingestiegen war, ebenfalls eine eigene Reifenfirma: Goodyear. Aus diesen dreien entstand, quasi durch Vererbung, so gut wie die gesamte US-Reifenindustrie.

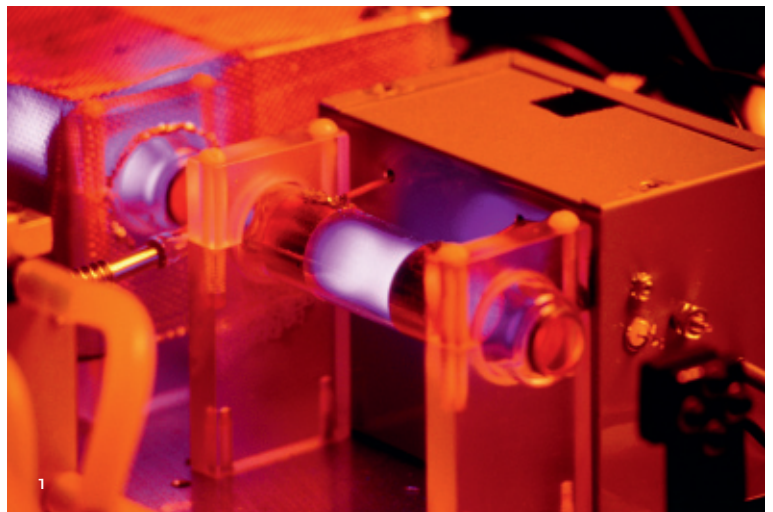
Bünstorf und Klepper haben zu den von ihnen untersuchten Fällen Unmengen an Detailinformationen und Daten gesammelt und statistisch ausgewertet, typische Verhaltensmuster analysiert und mit ihrer Hilfe mathematische Modelle der Industrieentwicklung getestet. Auch der Laser gehört zu ihren Forschungsthemen.

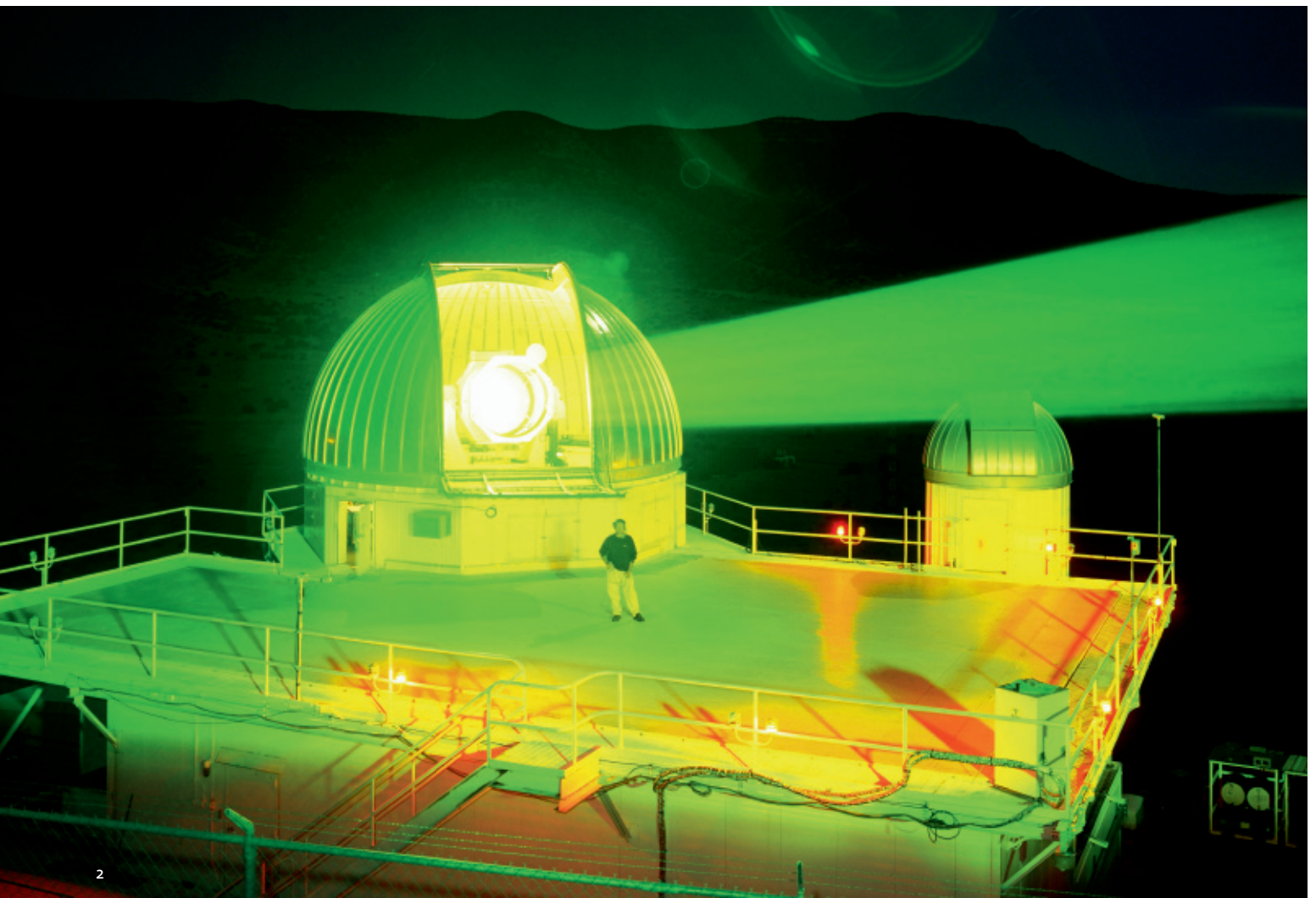
Am Anfang von LASSSIE stand so etwas wie eine Wette. „Angefangen hat alles eigentlich in Pittsburgh, bei Familie Klepper am Küchentisch“, erzählt Guido Bünstorf. „Ich habe Steve von meinen Plänen für das Laser-Projekt er-

zählt. Er meinte: ‚Ich glaube nicht an Innovationssysteme‘.“ Der Ausgang der Wette hängt vom betrachteten Zeitraum ab, aber letztlich muss Steve Klepper sie wohl doch verloren geben. Denn die Laserbranche in Deutschland besaß zwar mehr als zehn Jahre lang keinen Systemcharakter, nahm ihn nach den Erkenntnissen von LASSSIE aber in den 1980er-Jahren an.

ERSTE ANTWORTEN AUF DIE SYSTEMFRAGE

Das Forschungsprojekt zeichnet die Entwicklung im Detail nach. Erste Untersuchungen sind bereits abgeschlossen. Beim Treffen der Projektpartner im holzgetäfelten Sitzungssaal im Jenaer Max-Planck-Institut im November liegt ein Stapel frisch abgeschlossener Diplomarbeiten auf dem Tisch. Helmuth Albrecht ist aus Freiberg angereist, Guido Bünstorf aus Kassel, wo er eine Professur übernimmt, und Michael Fritsch von der Universität Jena, wo er den





2

Lehrstuhl für Unternehmensentwicklung, Innovation und wirtschaftlichen Wandel innehat. Außerdem dabei: Wolfgang Ziegler, Leiter der Patentinformationsstelle an der Universität Jena, der auf das Projekt aufmerksam wurde, als er ebenfalls einen Antrag bei der VW-Stiftung stellte. „Für uns ein Glücksfall: Ziegler kommt selbst aus der Laserforschung und weiß über alles Bescheid, was in der DDR stattgefunden hat“, sagt Bünstorf.

Die Sitzung beginnt mit der Präsentation einer Studie zum Thema Teambildung. Ein Diplomand stellt seine Arbeit in der Runde vor. Analysiert hat er „die unter der IPC H01s klassifizierten Patente, die sich mit Laserquellen beschäftigen. Nur deutsche Anmelder“. 3369 Laser-bezogene Patentanmeldungen aus den Jahren 1961 bis 2005 sind so zusammengekommen. Untersucht wurde die Größe der Erfinderteams, ebenso wie ihre Stabilität: Melden die Erfinder in dieser Konstellation häufiger ein Patent an? Wie oft melden im

Vergleich dazu Einzelerfinder ein Patent an? Die Antworten auf diese Fragen geben auch Auskunft über den Systemcharakter der Branche.

ZUNÄCHST KAUM KOOPERATION

Die aufwendig aufbereiteten Daten lassen Trendaussagen zu: Die Größe der Patent-Teams steigt deutlich und kontinuierlich an – was vermutlich mit der zunehmenden Komplexität der Materie zusammenhängt. Gleichzeitig gibt es Hinweise darauf, dass Wissenschaftler immer häufiger ihr Team wechseln – ein Zeichen für einen Zuwachs an Vernetzung. Aus der Runde kommen Fragen, Vorschläge, Anregungen. Wäre es möglich, das Ganze nach Bereichen aufzuschlüsseln? Könnte man das Gleiche nicht auch für Publikationen statt für Patente machen? Wie viele wohl das Ergebnis für andere Industriezweige aus?

„Eine wichtige Aktivität im LASSIE-Projekt besteht im Datensammeln“: so Guido Bünstorf. Grundlage für die Erhe-

bungen sind Unternehmensregister, Patentanmeldungen, Publikationsstatistiken, Dissertationen, Messekataloge und Fachzeitschriften. Dazu kommen Interviews mit den maßgeblichen Akteuren aus Wirtschaft und Forschung. „Wir bauen eine Datenbank auf, in der nach Jahren sortiert alle Ereignisse der Entwicklung abgefragt werden können – in einem Detailgrad, der für den betrachteten Zeitraum von knapp fünfzig Jahren meines Wissens nach für keine andere Technologie irgendwo auf der Welt existiert.“ Die Forscher verfolgen dabei das Ziel, Einzelpersonen über die Zeit hinweg auf ihrem Weg im Innovationssystem verfolgen zu können – von der Dissertation über Veröffentlichungen und Patentanmeldungen bis hin zu einer eventuellen Unternehmensgründung.

Alles in allem zeichnet sich in den Daten folgendes Bild ab: „In den Sechziger- und Siebzigerjahren gab es kaum Kooperationen. Wenig Spin-offs aus Hochschulen oder bestehenden Unternehmen. Geringe räumliche Mobilität

unter den Unternehmen. Austausch zwischen Universitäts- und Industrieforschern hat es nur auf Konferenzen gegeben“, resümiert Michael Fritsch. Von einem Systemcharakter kann in dieser Zeit mithin nicht die Rede sein. Verschiedene Formen der Vernetzung innerhalb der Laserszene nehmen erst ab den 1980er-Jahren zu. Die Forschungsförderung (ein in einer eigenen Dissertation untersuchtes Thema) tritt verstärkt auf den Plan. Die Gründung anwendungsorientierter Forschungseinrichtungen wie etwa des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik (ILT) in Aachen oder des Instituts für Strahlwerkzeuge in Stuttgart erfährt politische Unterstützung.

Diese Beobachtungen werfen eine spannende Frage auf: Wie ist es zu erklären, dass Deutschland in wichtigen Bereichen der Lasertechnik eine inter-

national führende Rolle einnehmen konnte, obwohl es ein System – und somit breite öffentliche Unterstützung – erst ab den 1980er-Jahren gab? Ist der Zusammenhang zwischen wirtschaftlichem Erfolg und gezielter Förderung von Schlüsseltechnologien vielleicht lockerer, als dies in der Wirtschafts- und Forschungspolitik üblicherweise angenommen wird? Ein Blick in die Geschichte gibt in dieser Frage Aufschluss.

EINEM AUSSENSEITER GELINGT DER GROSSE WURF

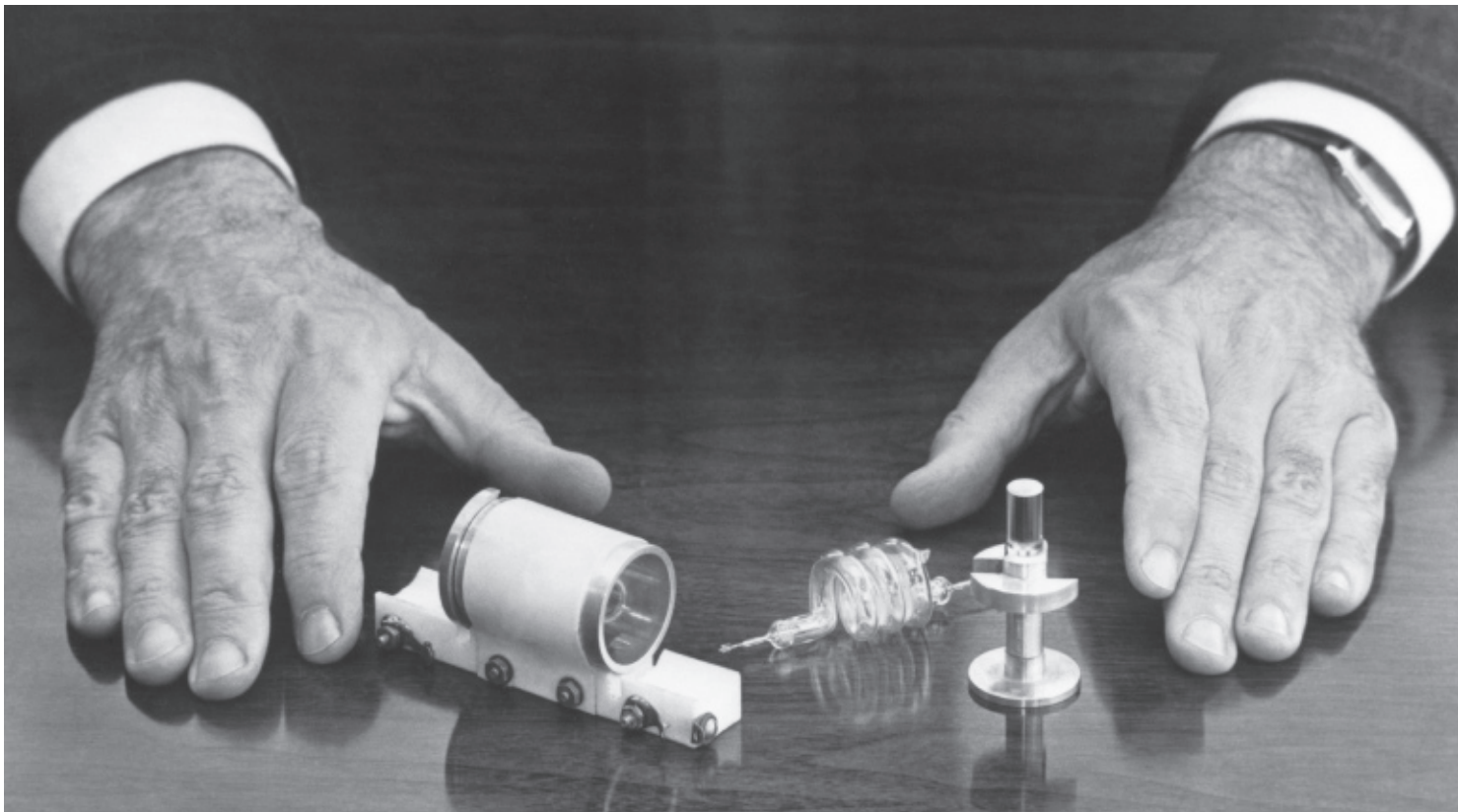
Erfunden wurde der Laser von Theodore H. Maiman – einem wissenschaftlichen Außenseiter, der bei der Hughes Aircraft Corporation in Kalifornien in einem Forschungslabor arbeitete. „Irgendwann im Frühsommer 1960 muss

Maiman der Durchbruch gelungen sein“, erklärt der Historiker Albrecht. „Es gelang ihm, einen Lasereffekt mit einem Rubinkristall zu erzeugen.“ Gleichzeitig, aber ohne Kenntnis von Maiman zu haben, tüftelte auch eine Arbeitsgruppe des späteren Physik-Nobelpreisträgers Arthur Schawlow am Laser. Schawlows Gruppe schaffte es nur wenige Monate später, im Oktober 1960, einen Laserstrahl zu erzeugen – und vermochte, anders als der Rivale Maiman, dieses Ergebnis auch in der Fachzeitschrift *PHYSICAL REVIEW LETTERS* zu veröffentlichen. „Damit ging es los“, so Albrecht: „Sofort fingen alle an, die Versuche nachzumachen. Bis Silvester 1961 hatten es die meisten geschafft.“

Siemens in München hatte schon vor dem Zweiten Weltkrieg Forschung im Mikrowellenbereich zum Einsatz in der Nachrichtentechnik betrieben und

„Eine Lösung, die ein Problem sucht“, sagte Theodore Maiman über den ersten Laser – einen Rubinlaser, der hier in Einzelteile zerlegt ist. Maiman baute ihn gemeinsam mit seinem Assistenten Charles Asawa in den Hughes Research Laboratories und nahm ihn am 16. Mai 1960 erstmals in Betrieb.

Foto: SPL-Agentur Focus



daran nach 1955, als die Forschungsbeschränkungen durch die Alliierten aufgehoben wurden, angeknüpft. 1961 arbeiteten in der Firma gleich zwei Teams in Konkurrenz an der neuen Technik. Es gelang sogar, den Laser nachzubauen, noch bevor das Schawlow-Team seine Ergebnisse publiziert hatte. Die deutsche Forschungslandschaft wurde dadurch nachhaltig geprägt: München entwickelte sich dank Siemens, in Konkurrenz mit Jena und Berlin, zur Hochburg der Laserforschung in Deutschland – wozu auch das 1960 gegründete, 1971 in die Max-Planck-Gesellschaft eingemeindete Institut für Plasmaphysik in Garching beigetragen hat.

Als der Nachbau des Lasers geglückt war, wurden erste Experimentalreihen gestartet, vor allem in den Bereichen Nachrichtentechnik und Materialbearbeitung. Eigenschaften der neuen Tech-

nik wurden systematisch ausgetestet. Schlag auf Schlag wurden immer neue Laserformen entdeckt: Auf die Entdeckung erst des Rubin- und dann des Helium-Neon-Gaslaser folgten in nur wenigen Jahren Glaslaser, Cesium-Gaslaser und Tieftemperatur-Halbleiterslaser, Ionenlaser, Kohlendioxidlaser, chemische Laser und Farbstofflaser.

GLASFASERKABEL BRACHTEN BREITE ANWENDUNG

Den Absatzmarkt für die neue Technik bot zunächst die Forschung selbst. Albrecht: „Die Labore haben sich um den Laser gerissen – nicht nur in der Industrie, sondern auch in den Universitäten und Schulen.“ 1971 gründeten zwei Studenten aus dem Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen das Unternehmen Lambda Physik.

Es entwickelte sich mit der Produktion von Wanderwellenstickstofflasern für den Forschungsmarkt zu einem der erfolgreichsten Spin-offs der Max-Planck-Gesellschaft überhaupt.

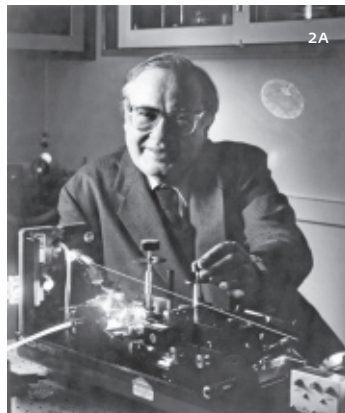
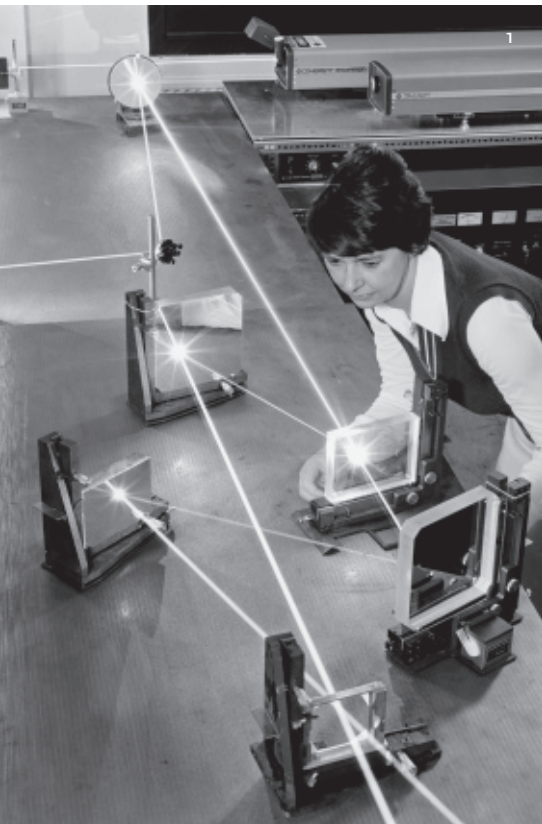
Bis der Laser auch in der industriellen Produktion zum Einsatz kam, vergingen allerdings weitere zehn Jahre. Das große Problem bestand darin, eine Technik zu konstruieren, die unter Industriebedingungen, als Bauelement in einem Materialbearbeitungszentrum, zuverlässig funktionierte. Kritisch erwies sich dabei vor allem die Strahlführung. „Anfangs hatte man das mit einem Spiegelsystem versucht. Das war aber sehr schwierig, weil der Strahl bei der kleinsten Dejustierung nicht mehr richtig ankam“, sagt Albrecht. Erst seit es Glasfaserkabel gibt, die als Lichtwellenleiter dienen, lassen sich die modernen, hochflexiblen Fertigungssysteme bauen, die heute in vielen Industriezweigen das Schneiden, Bohren und Schweißen übernehmen.

Obwohl der Laser in den USA erfunden wurde, brachten deutsche Maschinenhersteller und Ingenieure ihn zum kommerziellen Erfolg in der Industrieproduktion. Eine der ersten Anwendungen fand der Laser beim Bohren von Uhrensteinen und -federn bei der Firma Haas im Schwarzwaldstädtchen Schramberg. 1970 hatte Haas die ersten Nd-Gaslaser zum Punktschweißen an Spiralfedern gekauft; 1972 baute Haas dann mit der neu gegründeten Tochterfirma HAAS-Laser eigene Geräte. Ein anderes prominentes Beispiel: Berthold Leibinger, Geschäftsführer beim Maschinenbauer Trumpf, stellte 1979 die erste Stanz-Lasermaschine *Trumatic* vor und realisierte damit einen großen kommerziellen Erfolg.

MARKTFÜHRER DEUTSCHLAND

In Sachen Materialbearbeitung mit Lasern wurde die deutsche Industrie Weltmarktführer. Und dies, zumindest in den Anfangsjahren, ganz ohne politische Unterstützung. Für die Wirtschaftsforschung deutet der Erfolg der deutschen Lasertechnik darüber hinaus möglicherweise darauf hin, dass es so etwas wie ein Europäisches Paradox nicht gibt. Als Europäisches Paradox bezeichnen Wirtschaftsforscher die These, dass es den europäischen Industrie-

- 1 | Zunächst fanden Laser vor allem in der Forschung Verwendung, etwa um Interferenzmuster zu erzeugen. Sie entstehen, wenn ein in zwei Arme geteilter Strahl wieder vereinigt und ein Arm dabei ein bisschen verändert wird.
- 2 | Arthur Schawlow (A) entwickelte den Laser parallel zu Theodore Maiman (B). Die beiden wussten nicht, dass sie miteinander konkurrieren.





Schneiden mit Licht: Hier durchtrennt ein Kohlendioxid-Laser ein Rohr. Auch zum Schweißen etwa in der Automobilfertigung nutzt die Industrie heute im großen Stil die Hitze des intensiven, gebündelten Lichts.

nationen nicht an Innovationskraft fehle. Vielmehr mangle es ihnen am Willen und Talent, Innovationen auch kommerziell zu verwerten. Daher hinkten sie den USA wirtschaftlich hinterher. Doch als bewährtes deutsches Know-how in der Präzisionsfertigung mit einer neuen Technik zusammentraf, erkannten die Deutschen sehr wohl das kommerzielle Potenzial des Lasers und setzten es auch um.

EINE NEUE TECHNIK VERÄNDERT DEN MARKT

Nicht nur in der Systemfrage und beim Europäischen Paradox überraschte der Laser die Wirtschaftsforscher. Das Geschehen auf dem Lasermarkt lief auch in anderer Hinsicht einer bisher beobachteten Gesetzmäßigkeit der Industrieentwicklung zuwider. In den meisten Branchen kommt es schon nach wenigen Jahren zum *Shakeout* – dem großen Kehraus, der die meisten Anbieter zum

Marktaustritt zwingt und nur eine Handvoll von Großunternehmen überleben lässt. Der Grund dafür: Prozesse der Standardisierung sowie die immer effizientere Gestaltung von Herstellungsprozessen treten gegenüber Produktinnovationen stark in den Vordergrund. Daher haben Newcomer und kleinere Unternehmen keine Chance mehr und die Anzahl der insgesamt auf dem Feld tätigen Unternehmen reduziert sich.

Ganz anders beim Laser. „Obwohl die Laserindustrie als Ganze zulegte, konnten wir über mehr als 30 Jahre hinweg keine Verdrängung kleinerer Unternehmen aus dem Markt feststellen“, berichtet Steven Klepper: „Das war für uns ein totales Rätsel.“ Noch größer war die Verwunderung, als Klepper feststellte, dass die Verdrängung lediglich im Zeitraum von 1961 bis 1994 ausblieb – danach aber eintrat: Die Anzahl der Firmen halbierte sich nahezu. Warum passierte das zu einem so späten Zeitpunkt?

Klepper und seine Mitarbeiter schauten sich die Teilbereiche des Marktes an und stellten fest: Eine Firma, die Laser einer bestimmten Wellenlänge produzierte, hatte nicht unbedingt Wettbewerbsvorteile bei der Herstellung und Vermarktung anderer Lasertypen. Daher machten sich Effekte der Massenherstellung in den ersten Jahren so wenig bemerkbar, und es kam nicht zur Verdrängung. Aber warum änderte sich das dann? „Eine neue Erfindung! Der diodengepumpte Festkörperlaser. Das hat die Ökonomie der Industrie verändert“, behauptet Klepper. „Damit wurde es möglich, mit der gleichen grundlegenden Technik viele verschiedene Wellenlängen zu erzeugen.“

IST DIE ZEIT DES LASERS SCHON VORBEI?

Wenn diese Erklärung richtig ist, dann sollte Ähnliches auch in Deutschland zu beobachten sein. In der Tat: „Im Vergleich zu den USA“, resümiert Bünstorf, „trat die Entwicklung in Deutschland verzögert ein. Aber das Muster ist das gleiche: Erst mit Verspätung kommen die üblichen Prozesse der Industrieentwicklung in Gang.“

Laserdioden haben inzwischen dazu beigetragen, dass Laser heute allgegenwärtig sind: Sie stecken im CD-Spieler, in Verkehrsleitsystemen, medizinischen Geräten, Supermarktkassen und hinter dem Datumsaufdruck auf der Plastik-Trinkwasserflasche. Trotz des Siegeszuges der Technik in immer mehr Anwendungsfeldern ist die große Zeit des Lasers jedoch vielleicht schon vorbei. „In den letzten Jahren konnten wir keine Steigerung der Anzahl an Publikationen mehr ausmachen“, berichtet Bünstorf. Die Frühphase der technischen Entwicklung, die mit einer Steigerung der Forschungsaktivitäten einhergeht, scheint also bereits abgeschlossen. „Da alle Welt vom 21. als dem Jahrhundert der optischen Technologien redet, hätten wir das so nicht erwartet.“