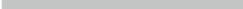


# Laser in Wissenschaft und Technik

Wolfgang Radloff

# Laser in Wissenschaft und Technik

**Spektrum**  
AKADEMISCHER VERLAG

The logo for Spektrum Akademischer Verlag, featuring the word "Spektrum" in a large, bold, serif font, with "AKADEMISCHER VERLAG" in a smaller, all-caps, sans-serif font directly beneath it. A horizontal grey bar is positioned below the text.

**Autor**

Prof. Dr. Wolfgang Radloff  
wolfgangradloff@mac.com

**Wichtiger Hinweis für den Benutzer**

Der Verlag, der Herausgeber und die Autoren haben alle Sorgfalt walten lassen, um vollständige und akkurate Informationen in diesem Buch zu publizieren. Der Verlag übernimmt weder Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für die Nutzung dieser Informationen, für deren Wirtschaftlichkeit oder fehlerfreie Funktion für einen bestimmten Zweck. Der Verlag übernimmt keine Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren, Programme usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag hat sich bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber dennoch der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar gezahlt.

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media  
[springer.de](http://springer.de)

© Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 2010  
Spektrum Akademischer Verlag ist ein Imprint von Springer

10 11 12 13 14 5 4 3 2 1

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Planung und Lektorat: Dr. Andreas Rüdinger, Bettina Saglio  
Herstellung und Satz: Crest Premedia Solutions (P) Ltd, Pune, Maharashtra, India  
Umschlaggestaltung: wsp design Werbeagentur GmbH, Heidelberg  
Titelfotografie: G. Steinmeyer, Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie, Berlin

ISBN 978-3-8274-2427-3

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	IX
<b>1 Einführung</b> .....	1
1.1 Entdeckung des Lasers .....	1
1.2 Bedeutung des Lasers heute .....	3
<b>2 Laserprinzip</b> .....	7
2.1 Laserresonator .....	7
2.2 Lasermoden .....	9
2.3 Laserbedingung .....	13
2.4 Besetzungsinversion und Lasertypen .....	15
2.4.1 Festkörperlaser .....	16
2.4.2 Gaslaser .....	19
2.4.3 Farbstofflaser .....	24
2.4.4 Halbleiterlaser .....	25
2.4.5 Röntgenlaser .....	27
<b>3 Lasereigenschaften</b> .....	31
3.1 Entwicklung .....	32
3.2 Kohärenz .....	37
3.2.1 Kohärenz im klassischen Sinn .....	37
3.2.2 Kohärenz höherer Ordnung .....	43
3.3 Frequenztransformation .....	47
3.3.1 Harmonischen- und Differenzfrequenz-Erzeugung .....	47

## VI Laser in Wissenschaft und Technik

3.3.2	Parametrische Fluoreszenz . . . . .	50
3.3.3	Nichtlineare Effekte höherer Ordnung . . . . .	51
3.4	Erzeugung kurzer Laserimpulse . . . . .	55
3.5	Hohe Energien, große Leistungen . . . . .	58

## 4 Anwendungen des Lasers . . . . . 63

4.1	Der gebündelte Laserstrahl . . . . .	63
4.1.1	Fluchtung . . . . .	63
4.1.2	Abstandsmessung und LIDAR . . . . .	65
4.2	Laser in Gebrauchsgütern . . . . .	68
4.2.1	CD- und DVD-Speicher . . . . .	69
4.2.2	Strichcode-Lesegeräte . . . . .	72
4.2.3	Laserdrucker . . . . .	73
4.2.4	Laserfernsehen . . . . .	75
4.3	Laser in der Kommunikationstechnik . . . . .	76
4.3.1	Lichtleiter . . . . .	76
4.3.2	Laser-Nachrichtenübertragung . . . . .	78
4.3.3	Quantenkommunikation . . . . .	81
4.4	Laser in der Materialbearbeitung . . . . .	83
4.4.1	Allgemeines . . . . .	83
4.4.2	Makromaterialbearbeitung . . . . .	85
4.4.3	Mikromaterialbearbeitung . . . . .	90
4.5	Laser in der Medizin . . . . .	98
4.5.1	Allgemeines . . . . .	98
4.5.2	Augenbehandlung . . . . .	100
4.5.3	Neue Entwicklungen . . . . .	103
4.6	Anwendungen von Hochleistungs- und Hochenergielasern . . . . .	107
4.7	Hochauflösende Spektroskopie . . . . .	112
4.7.1	Lineare Spektroskopie . . . . .	112
4.7.2	Nichtlineare Spektroskopie . . . . .	117
4.8	Ultraschnelle Prozesse . . . . .	120
4.8.1	Allgemeine Betrachtungen . . . . .	120
4.8.2	Zeitaufgelöste Spektroskopie in der Physik . . . . .	125

4.8.3	Femtochemie. . . . .	128
4.8.4	Ultraschnelle Prozesse in Biomolekülen . . . . .	131
4.9	Lasert für Präzisionsmessungen . . . . .	134
4.9.1	Anwendungen in der Metrologie . . . . .	134
4.9.2	Nachweis von Gravitationswellen . . . . .	140
<b>Literatur</b> . . . . .		<b>145</b>
<b>Bildnachweis</b> . . . . .		<b>147</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .		<b>149</b>

# Vorwort

Der Begriff „Laser“ ist heute allgemein bekannt und wird von der breiten Öffentlichkeit als Bezeichnung für eine Lichtquelle mit besonderen Eigenschaften verstanden. Was verbirgt sich aber hinter diesem Begriff? Welche Qualitäten besitzt diese neuartige Lichtquelle? Und – vor allem – welches sind die Gründe für die rasante Entwicklung, die der Laser in den vergangenen 50 Jahren – seit seiner Entdeckung im Jahre 1960 – genommen hat? Die kaum noch überschaubare Vielfalt der Anwendungen in Wissenschaft und Technik, die zu unzähligen, nicht vorhersehbaren Innovationen geführt hat, kann nur mit größtem Erstaunen wahrgenommen werden. Dem Leser ein wenig von diesem Staunen zu vermitteln, ist ein wesentliches Anliegen der nachfolgenden Betrachtungen.

Anfänglich war der neu entdeckte Laser nicht viel mehr als eine etwas exotische Lichtquelle, die einen gut gebündelten Lichtstrahl lieferte und die vorrangig für Experimente in wissenschaftlichen Labors geeignet schien. Es gab zwar einige erste Anwendungsversuche, zum Beispiel bei Vermessungsarbeiten im Bauwesen oder beim Bohren kleiner Löcher mit dem fokussierten Strahl, zeitweilig aber war völlig offen, ob diese neuartige Lichtquelle je eine größere Bedeutung erlangen würde. Zu gering waren die Wirkungsgrade beim Betreiben des Lasers, zu kurz seine Lebensdauer, und zu umfanglich gestalteten sich zunächst die Kosten für die Herstellung dieser Lichtquellen.

Wie ganz anders stellt sich heute – rund 50 Jahre später – die Situation dar! Der Laser ist geradezu ein Gebrauchsgegenstand. Wohl jeder hat schon einmal einen Laser-Pointer in der Hand gehalten, einem CD-Player gelauscht oder einen Laser-Drucker oder Laser-Scanner bedient. In den entwickelten Ländern existieren heute wahrscheinlich nur noch wenige Haushalte, in denen die Lasertechnik nicht in irgendeiner Form genutzt wird. Das liegt ganz wesentlich daran, dass mit dem Diodenlaser eine Laserquelle zur Verfügung steht, die einen hohen Wirkungsgrad und eine sehr lange Lebensdauer besitzt. Durch Kombination der kleinen kompakten Halbleiterdioden zu Barren und Stapeln lassen sich extrem hohe Laserleistungen erzielen. Wegen der großen Stückzahlen sind die Kosten für diese Laser außerordentlich niedrig.

Darüber hinaus sind viele weitere Lasermaterialien im Einsatz, die in den vergangenen Jahren im Hinblick auf optimale Anwendungen entwickelt wurden. Dabei sei nur am Rande erwähnt, dass einige Laser „der ersten Stunde“ – wie zum Beispiel der He-Ne-Gaslaser, der CO<sub>2</sub>-Gaslaser oder der Nd:YAG-Festkörperlaser – auch heute durchaus noch breite Anwendung finden.

Die Weiterentwicklung der Laserquellen und ihrer Eigenschaften war Grundlage für die heute so überaus breite Palette unterschiedlichster Anwendungen des Lasers in Wissenschaft und Technik. Die hohen Energien und Leistungen, die sich mit den Diodenlasern selbst oder mit Diodenlaser-gepumpten Festkörperlasern erzielen lassen, haben die industrielle Nutzung vor allem in der Materialverarbeitung nachhaltig vorangetrieben. Laserquellen in Verbindung mit der Glasfasertechnik stellen die entscheidenden Komponenten für die optische Kommunikationstechnik dar, die Grundlage für das moderne, weltumspannende Datennetz ist. Die erreichte Variabilität der Wellenlänge des Laserlichts ist für die Anwendungen von großem Nutzen, da sich so die Energieeinkopplung in die betreffenden Materia-

lien optimieren oder störende Verluste minimieren lassen. Die Monochromasie der Laserstrahlung, die man durch raffinierte Methoden auf höchste Werte steigern kann, erlaubt Messungen physikalischer Größen mit bisher undenkbarer Präzision. Die Entwicklung von Lasern mit extrem kurzen Impulsen lässt – wie mit einer Super-Blitzlicht-Kamera – die Registrierung von ultraschnellen Prozessen in der Natur zu, die sich bisher jeder Beobachtung entzogen. Die hohen Intensitäten im fokussierten Laserstrahl ermöglichen völlig neue Experimente bei sonst nicht erreichbaren Werten der elektromagnetischen Feldstärke.

Die faszinierende Entwicklung, die die Laserphysik in den vergangenen 50 Jahren genommen hat, widerspiegelt sich auch in der erstaunlich großen Zahl herausragender wissenschaftlicher Pionierleistungen, die mit Nobelpreisen in Physik und Chemie gewürdigt wurden. Für unmittelbar am Laser orientierte Arbeiten erhielten in dieser Zeit 18 Wissenschaftler den begehrten Preis.

Im einführenden Kapitel 1 dieses Buches wird die Entdeckung des Laserprinzips und die in den Folgejahren einsetzende rasante Entwicklung dieser neuen Lichtquelle skizziert. Das 2. Kapitel ist der Beschreibung des Laserprinzips gewidmet. Neben der prägenden Rolle des Laserresonators werden hier die Besonderheiten der wichtigsten Lasermaterialien diskutiert. Dabei erfolgt eine Beschränkung auf solche Lasermedien, deren Verstärkung auf der induzierten Emission in Atomen oder Molekülen beruht, während andere Laserquellen – wie der zunehmend an Bedeutung gewinnende Freie-Elektronen-Laser – nicht behandelt werden. Die aus dem Laserprinzip folgenden einzigartigen Eigenschaften der Laserstrahlung werden in Kapitel 3 erläutert. Nach der ausführlichen Diskussion der Kohärenz-Eigenschaften wird dabei vor allem auf die Erzeugung neuer Frequenzen, kurzer Impulse sowie hoher Energien und Leistungen eingegangen. In Kapitel 4 stehen ausgewählte, aus Sicht des Autors besonders

markante Anwendungsbeispiele aus Technik und Wissenschaft im Mittelpunkt, wobei – wo immer angebracht – die Entwicklung in den letzten 50 Jahren einbezogen wird. Dabei ist nicht zu vermeiden, dass ganze Anwendungsbereiche und viele Details der Laserentwicklung unerwähnt bleiben. Hier sei der Leser auf einige umfangreichere Publikationen der letzten Jahre verwiesen (siehe Anhang).

Das vorliegende Buch unterscheidet sich von den bisher auf diesem Gebiet veröffentlichten Fachbüchern, die sich vorrangig an Studierende und Absolventen der entsprechenden Fachgebiete an Universitäten und Hochschulen wenden. Hier wird der wesentlich breitere Kreis von wissenschaftlich und technisch interessierten Lesern angesprochen, die über kein Spezialwissen in den Naturwissenschaften verfügen. Das können zum Beispiel Ingenieure und Techniker sein, die beruflich mit Lasergeräten zu tun haben, wie auch interessierte Laien, die die Wirkprinzipien der Geräte verstehen möchten, die sie im Alltag mehr oder weniger häufig benutzen. Aber auch der Fachmann wird sicher das eine oder andere interessante Detail in diesem Buch entdecken. Wer auf anschauliche Weise erfahren möchte, wodurch die wesentlichen Eigenschaften des Lasers bedingt sind und wie diese Eingang in die immer weiter vorangetriebenen Anwendungen des Lasers gefunden haben, der wird in dem Buch nützliche Hinweise finden. Gleichzeitig kann der Leser nachempfinden, wie sich auf einem speziellen Wissensgebiet aus einer bescheidenen Quelle im Laufe der Jahre ein derart breiter Strom an neuen Erkenntnissen und großartigen technischen Innovationen entwickelt hat. Er erhält so eine Vorstellung davon, wie in unserem modernen Zeitalter neues Wissen und neue Techniken durch zielgerichtete systematische Forschungsarbeit entstehen.

Abschließend sei Herrn Dr. Hans-Herrmann Ritze und Herrn Prof. Peter Nickles vom Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie in Berlin sehr herzlich gedankt, die ausgewählte Kapitel dieses Buches kritisch durchgesehen haben.

Besonderer Dank gilt Frau Helga Gromilovich vom gleichen Institut für die elektronische Bearbeitung der Abbildungen. Die Mitarbeiter vom Spektrum Akademischer Verlag, Herr Dr. Andreas Rüdinger und Frau Bettina Saglio, haben in hilfreicher und konstruktiver Weise zum Gelingen des Werkes beigetragen.

Berlin, Juni 2010

Wolfgang Radloff

# 1

## Einführung

### 1.1 Entdeckung des Lasers

Die Basis für die Entwicklung des Lasers bildete die Erkenntnis Einsteins aus dem Jahre 1917, dass angeregte Atome neben der spontanen Emission von Lichtquanten – die allen bis dahin bekannten „natürlichen“ Lichtquellen zugrunde liegt – auch eine stimulierte Emission aufweisen, die durch ein schon vorhandenes Strahlungsfeld induziert wird. Ganz analog wie bei der Absorption von Licht die Zahl der absorbierten Lichtquanten der Intensität der eingestrahlten Welle proportional ist, wächst auch die stimulierte Emission mit der Stärke des vorhandenen Strahlungsfeldes. Im ersteren Fall erfahren die Atome den Übergang von einem tieferen zu einem höheren Energiezustand, denn bei der Absorption nehmen sie ja die Energie eines Lichtquants auf. Im zweiten Fall „springen“ sie durch Abgabe des induzierten Quants von einem höheren in einen tieferen Energiezustand. Geht man in beiden Fällen von einem identischen Lichtfeld aus, stimmt die Wahrscheinlichkeit für beide Prozesse überein. Da nun aber in einem Ensemble vieler Atome im „Normalfall“ des thermischen Gleichgewichts mehr Atome in unteren als in höheren Zuständen vorliegen, überwiegt immer die Absorption, und die stimulierte Emission wird gar nicht bemerkt. (Aus diesem Grunde blieb letzterer Prozess bis zu Einsteins Entdeckung auch verborgen.) Erst wenn es gelingt, das Atomsystem so anzuregen, dass mehr Atome in höheren als in den darunter lie-

genden Zuständen vorhanden sind – mithin eine Inversion bei der Besetzung der Atomzustände erreicht ist –, kann die stimulierte Emission die Absorption übertreffen, und das solcherart angeregte Atomsystem wird zum Verstärker der eingestrahnten Lichtwellen.

Diese heute so einleuchtend erscheinenden Erkenntnisse benötigten in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts einige Jahrzehnte der Reife, ehe man ihr ungewöhnliches Potenzial für die Verstärkung von elektromagnetischer Strahlung erkannte und nutzen konnte. Erst im Jahre 1954 wurden verschiedene Methoden publiziert, die die Verwirklichung des Prinzips im Mikrowellenbereich zum Inhalt hatten. Für die entsprechende Anordnung, mit der die Verstärkung und Erzeugung von Mikrowellen mit Hilfe der induzierten Emission gelang, wurde die Bezeichnung „Maser“ als Abkürzung für „Microwave amplification by stimulated emission of radiation“ eingeführt. Die maßgebliche Entwicklung des Masers erfolgte unabhängig voneinander in zwei Gruppen – durch N. G. Basov und A. M. Prochorov am Lebedev-Institut in Moskau und durch die Gruppe von C. H. Townes an der Columbia-Universität in New York. Alle drei Wissenschaftler wurden für diese Leistung im Jahre 1964 mit dem Nobelpreis für Physik geehrt.

Schon im Jahre 1958 schlugen die amerikanischen Physiker A. L. Schawlow und Townes vor, das Maserprinzip auch auf den optischen Bereich mit seinen wesentlich kürzeren Wellenlängen auszudehnen. Und tatsächlich gelang wenig später – im Jahre 1960 – der amerikanischen Gruppe um T. Maiman der experimentelle Nachweis der Verstärkung von Licht durch induzierte Emission in einem Rubin-Kristall. Damit war zum ersten Mal ein auf diesem neuartigen Prinzip beruhender Lichtverstärker geschaffen, der als Laser („Light amplification by stimulated emission of radiation“) bezeichnet wurde.

In den Folgejahren setzte eine intensive Forschungsarbeit auf diesem Gebiet ein, die zu einer ständigen Weiterentwicklung der Laserquellen und ihrer einzigartigen Eigenschaften sowie zu

deren Anwendungen in den unterschiedlichsten Bereichen von Technik und Wissenschaft führten.

## 1.2 Bedeutung des Lasers heute

Die technischen Anwendungen des Lasers beschränkten sich zunächst auf die einfache und naheliegende Nutzung des kollimierten Laserstrahls für Vermessungs- und Justierarbeiten. Erste Anwendungen des fokussierten Strahls in der Materialbearbeitung und in der Augenmedizin demonstrierten die potenziellen Möglichkeiten dieser neuartigen Lichtquelle. Die drastische Erweiterung des Lasermarktes setzte dann jedoch Anfang der 1980er Jahre mit der Installation der Laser-Scanner in den Supermärkten und dem Angebot preiswerter CD-Player in der Musikindustrie ein. Durch die Erhöhung der Laserleistung wurden immer neue Anwendungsfelder in der Materialverarbeitung erschlossen. So ist heute zum Beispiel in jedem modernen Werk der Automobilindustrie eine ganze Reihe von Lasergeräten für die unterschiedlichsten Fertigungsschritte im Einsatz. Dabei werden Hochleistungs-Diodenlaser immer mehr zu einem Schlüsselement zukünftiger Lasersysteme. Die Diodenlaser in Verbindung mit der optischen Fibertechnik bilden auch die Grundlage für das globale Telekommunikationsnetz, einschließlich des Internets.

Das weltweite Marktvolumen für Lasergeräte und entsprechende integrierte Systeme beläuft sich derzeit auf hohe zweistellige Milliardenbeträge im Jahr und hat überdurchschnittlich hohe Zuwachsraten. Allein für die Materialbearbeitung lag es im Jahre 2007 bei 2 Mrd. Euro für Laserquellen und 6,3 Mrd. Euro für Laserbearbeitungssysteme. Mit 40 % der weltweit verkauften Strahlquellen und 20 % der Lasersysteme hat die deutsche Optikindustrie daran einen herausragenden Anteil. Der Laser mit seinem weitreichenden Anwendungspotenzial trägt ganz

wesentlich dazu bei, dass das 21. Jahrhundert zum Jahrhundert der Optik deklariert wird.

Die Anwendungen des Lasers in der Wissenschaft profitierten in erster Linie von der ständigen Weiterentwicklung und „Veredelung“ seiner Eigenschaften in den 50 Jahren seit seiner Entdeckung. Heute kann man mit Lasern extrem hohe Energien erzeugen und damit zum Beispiel Temperaturen und Drücke erreichen, wie sie bei der Kernfusion auf der Sonne existieren. In unseren energiebewussten Zeiten hören wir häufig von Großkraftwerken, die Leistungen im Gigawatt-Bereich erzeugen. Wenn wir bei diesen Größen schon Schwierigkeiten mit unserem Vorstellungsvermögen haben, wie können wir uns dann Laserleistungen vorstellen, die eine Million mal größer sind, d. h. im Petawatt-Bereich liegen? Hilft es da, wenn gleich im Nebensatz dazu festgestellt wird, dass diese Leistungen nicht – wie im Kraftwerk – im kontinuierlichen Betrieb, sondern nur in äußerst kurzen Zeiten im Pikosekunden- und Femtosekunden-Bereich vorliegen? Femtosekunden wiederum sind nämlich kaum vorstellbar kurz: Das Größenverhältnis von 100 Femtosekunden zu einer Sekunde entspricht etwa dem Verhältnis vom Durchmesser eines menschlichen Haars zum Abstand Erde-Mond. Selbst dem Fachmann waren bis vor kurzem die Bezeichnungen für diese extremen Parameterbereiche nicht geläufig. Erst durch den Laser, diese von Menschenhand geschaffene Quelle von elektromagnetischer Strahlung im optischen Bereich, erlangten sie praktische Bedeutung. Da die betreffenden Größen und ihre Maßeinheiten in den folgenden Beschreibungen immer wieder benutzt werden, sind ihre Definitionen in Tab. 1.1 zusammengestellt.

Auf Grund der außerordentlichen Eigenschaften der Laserlichtquelle lassen sich völlig neuartige Experimente im Bereich der Optik durchführen. Die hohe Kohärenz der Laserstrahlung ermöglicht zum Beispiel holographische Messungen an räumlich ausgedehnten, dreidimensionalen Objekten und deren Veränderungen in Raum und Zeit. Frequenzstabile Laser erlauben die

**Tab. 1.1** Zehnerpotenzen vor Maßeinheiten, Vorsilben und ihre Bedeutung

Vorsilbe	Symbol	Zehnerpotenz
Exa	E	$10^{18}$
Peta	P	$10^{15}$
Tera	T	$10^{12}$ (Billion)
Giga	G	$10^9$ (Milliarde)
Mega	M	$10^6$ (Million)
kilo	k	$10^3$ (Tausend)
milli	m	$10^{-3}$ (Tausendstel)
micro	$\mu$	$10^{-6}$ (Millionstel)
nano	n	$10^{-9}$ (Milliardstel)
pico	p	$10^{-12}$ (Billionstel)
femto	f	$10^{-15}$
atto	a	$10^{-18}$

Bestimmung bisher nicht zugänglicher molekülphysikalischer Parameter mit höchster Präzision. Die extrem kurzen Laserimpulse mit Impulsdauern im Bereich von Femto- bis Attosekunden werden genutzt, um bisher nur vermutete, ultraschnelle Prozesse in der Physik, Chemie und Biologie zu analysieren. Die Ergebnisse dieser Analysen dienen nicht nur der Aufklärung der bisher nicht verstandenen Vorgänge, auf der Basis dieser Erkenntnisse ist darüber hinaus die gezielte Beeinflussung der betreffenden Prozesse durch den Einsatz geeigneter Laserimpulse möglich.

Dass auf allen Anwendungsfeldern des Lasers auch in Zukunft weitere bahnbrechende Entwicklungen zu erwarten sind, wird im Rahmen der in den folgenden Kapiteln beschriebenen Fakten deutlich werden. Nach der Darstellung des Laserprinzips (Kapitel 2) und der Diskussion der besonderen Eigenschaften dieser neuartigen Lichtquelle (Kapitel 3) werden im Hauptteil (Kapitel 4) typische und besonders attraktive Anwendungen des Lasers in Wissenschaft und Technik beschrieben.