



Als 1960 erstmalig ein Laser vorgestellt wurde, sprach man von einer Lösung, die ein Problem sucht. Heute sind Laser in vielen Anwendungen, so auch in der Medizin, nicht mehr wegzudenken.

# Diodenlaser sicher steuern und regeln

Das physikalische Prinzip des Lasers beruht auf Atomen oder Molekülen, die angeregt werden können, sodass sie – spontan oder stimuliert – Licht emittieren. Je nach Anregungsart werden drei Lasertypen unterschieden: Bei Festkörperlasern mit Dauerstrichleistungen (Continuous Wave, CW) von bis zu 10 kW regt eine externe Lichtquelle die Atome an, die sich in einem Feststoff befinden. Bei Gaslasern, die Leistungen von bis zu 100 kW CW erreichen, wird Gas in einer Glasröhre elektrisch angeregt. Halbleiterlaser erzeugen mit einem Stromfluss durch einen p-n-Übergang Photonen. Sie werden daher auch Laserdioden genannt. Ihre Leistung reicht von einigen Milliwatt bis 100 W CW. Allen Lasern ist gemein, dass sie kohärentes, paralleles und monochromatisches Licht aussenden, das sich für den Einsatz in Optiken besonders gut eignet.

Die Leistung von Laserdioden ist zwar gegenüber der von Festkörper- und Gaslasern geringer und ihre Strahlqualität unter Umständen schlechter, dafür brauchen sie jedoch wenig Platz und können einfach durch elektrischen Strom angeregt werden. Weitere Vorteile sind ein hoher Wirkungsgrad, eine lange Lebensdauer und lange Wartungsintervalle sowie eine geringe Leistungsdegradation. Inzwischen sind Laserdioden in Leistungsklassen zwischen 405 und 1064 nm Wellenlänge kommerziell verfügbar. Die Anwendungen von Diodenlasern in der Medizin reichen aufgrund der immer leichter verfügbaren Dioden von der Human- über die Zahn- bis hin zur Veterinärmedizin (Bild 1). Sie beschleunigen die Wundheilung in der Low Level Laser Therapy (LLLT) oder desinfizieren Kavitäten bei der Zahnbehandlung. Auch als hocheffiziente Pump Laser für Festkörperlaser werden Laserdioden eingesetzt. Dabei kommen sowohl verschiedene Wellenlängen als auch Leistungen und Pulsweiten bis hin zu wenigen Nanosekunden zum Einsatz.

Aber welche Ansteuerschaltung ist die richtige? Zunächst wird nach den Betriebsarten wie Dauerstrichbetrieb (CW) oder Puls-

## Sicherer CW-Betrieb mit hoher Leistung

betrieb unterschieden. Diese können mit einer geschlossenen Regelung der optischen

Ausgangsleistung oder des Laserdiodenstroms ebenso kombi-



### KONTAKT

iC-Haus GmbH  
55294 Bodenheim  
Tel. +49 (0)6135 92920  
Fax +49 (0)6135 9292-192  
[www.ichaus.com](http://www.ichaus.com)  
Compamed: Halle 8b/K30

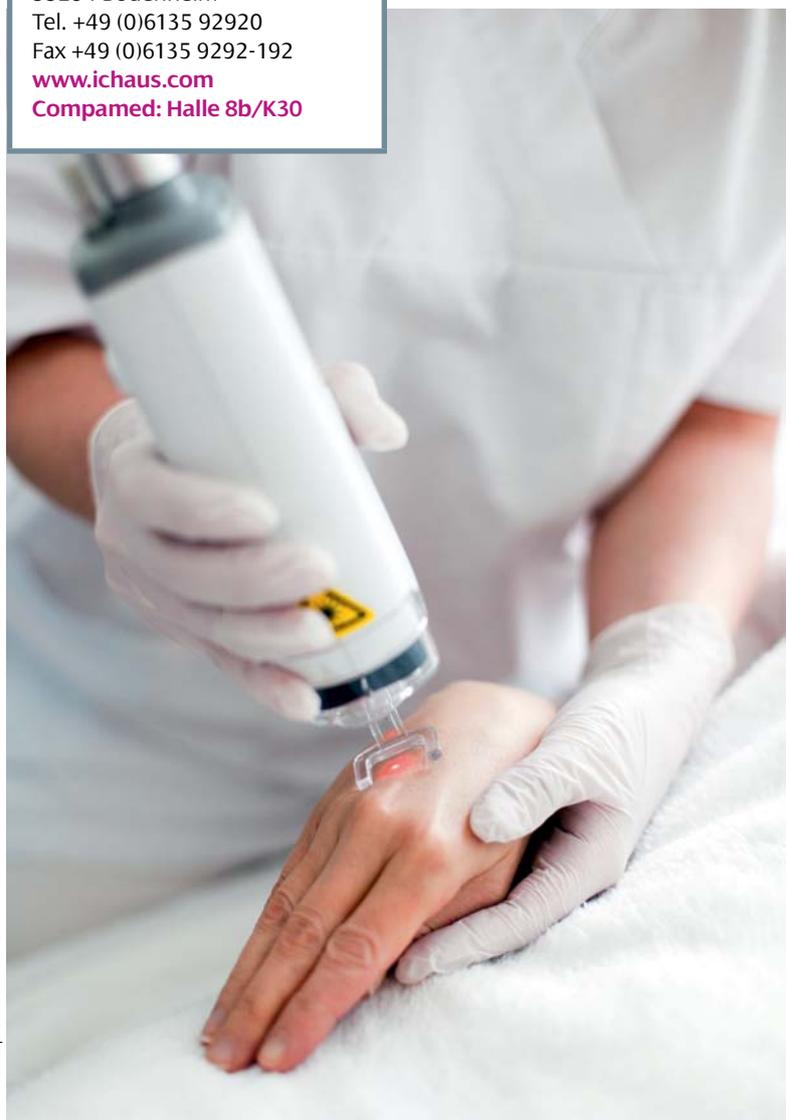
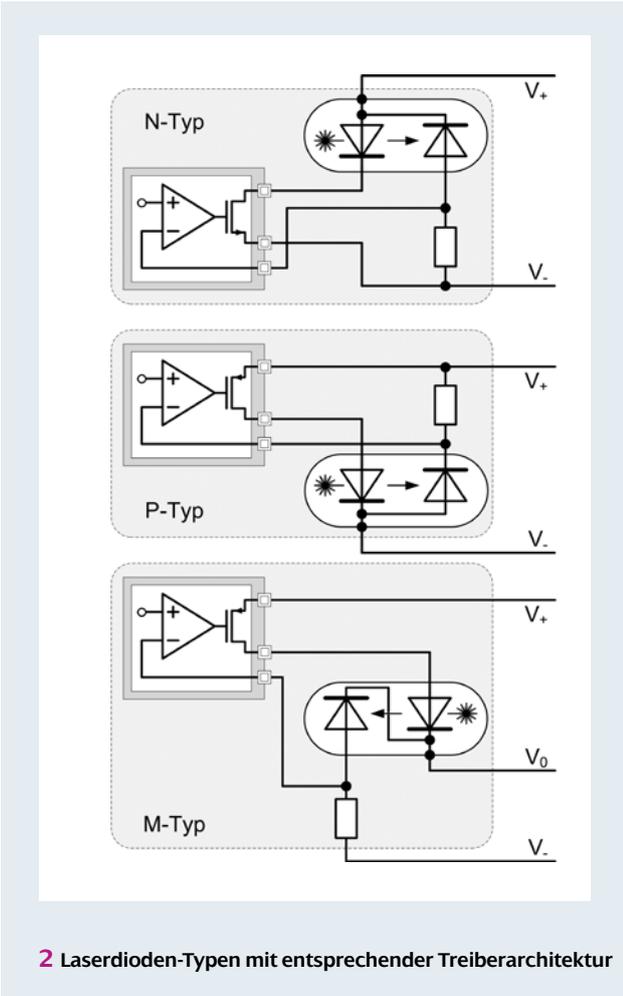


Bild 1: iStockphoto.com/ichaus

1 Der Einsatz von Diodenlasern in der Medizin reicht von der Human- über die Zahn- bis zur Veterinärmedizin

Bilder 2 bis 4: © Heus GmbH



**2 Laserdioden-Typen mit entsprechender Treiberarchitektur**

niert werden wie mit einer offenen Steuerung. Je nach Pulsfrequenz und Tastverhältnis ist die geeignete Regelung auszuwählen. Entscheidend sind auch die gewünschte Ausgangsleistung des Lasers und die gewählte Wellenlänge, die Einfluss auf den benötigten Laserdiodenstrom und die Höhe der Versorgungsspannung haben. Laserdiodenhersteller geben in ihren Applikationsbeschreibungen oft sehr einfach

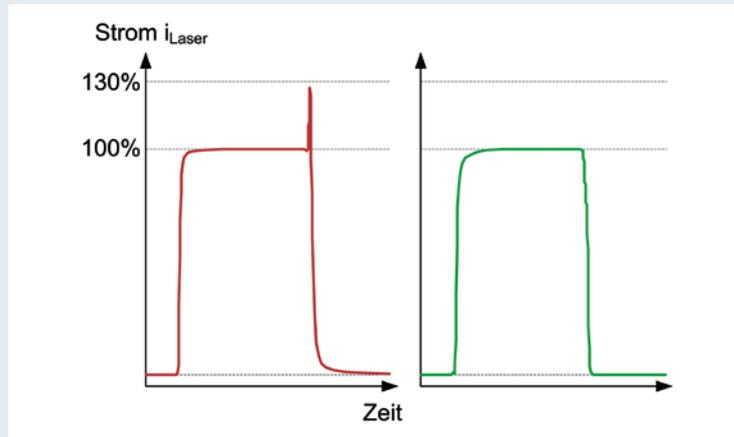
gehaltene, diskrete Schaltungen aus Standardbauteilen wie Transistoren und Operationsverstärkern für den CW-Betrieb an. Diese einfachen Schaltungen erfüllen jedoch in der Regel nicht die Ansprüche hinsichtlich Sicherheit und definierter Ausgangsleistung, die in der Medizintechnik gestellt werden. Integrierte Schaltungen bieten hier eine höhere Regelgenauigkeit, zum Beispiel um die optische Ausgangsleistung unabhängig von der Höhe der Versorgungsspannung und der Temperatur konstant zu halten. Außerdem ermöglichen sie zusätzliche Überwachungsvorrichtungen und bieten einen Überspannungsschutz für den sicheren Betrieb. Der Einsatz solcher ICs erfordert nur wenig Bauraum und erhöht gleichzeitig die generelle Zuverlässigkeit der Schaltung.

Für gepulste Anwendungen wird in diskreten Ansteuerschaltungen traditionell ein Kondensator mit einer vergleichsweise hohen Spannung (bis zu 50 V) aufgeladen und dann über einen schnellen Schalter (Avalanche-Transistor) in die Laserdiode „leergeschossen“. Der resultierende Lichtpuls ist in etwa proportional zu der im Kondensator gespeicherten Energie – die Pulsform ist jedoch völlig undefiniert. Heutzutage lassen sich gepulste Anwendungen deutlich kontrollierter und reproduzierbarer mit geregelten integrierten Lösungen realisieren. Dabei sind bereits aus Spannungen < 10 V Ströme bis in den Ampere-Bereich und Pulsweiten bis zu wenigen Nanosekunden möglich. Für reine CW-Anwendungen empfiehlt sich für eine konstante optische Ausgangsleistung ein Treiberbaustein, der eine APC (**Tabelle A**) ermöglicht. ACC-geregelte Systeme ohne Monitordiode können zwar Temperatureffekte in der Ansteuerung kompensieren, der Temperaturegang und die Alterung der Laserdiode werden jedoch in der Regelung nicht berücksichtigt. Um den Regelkreis im APC-Betrieb zu schließen, ist eine Monitordiode erforderlich, die in der Laserdiode integriert sein kann. Die Treiberarchitektur sollte entsprechend der Pin-Konfiguration (N/M/P) der Laserdiode gewählt werden, um den Einbau in ein Gehäuse und das Anbringen eines Kühlkörpers (das Laserdiodengehäuse ist mit Bezugspotential verbunden) zu vereinfachen (**Bild 2**). **»»**



@ www.med-eng.de/  
652117

### 3 Laserdiodenstrom mit und ohne Ausschalt-Spike



» Weitere Auswahlkriterien sind darüber hinaus die benötigte Treiberfähigkeit (Laserdiodenstrom) für den gewünschten Arbeitspunkt und die unterstützte Betriebsspannung der Laserdiode (Versorgungsspannung des Treiber-ICs). Letztere kann je nach Wellenlänge der Laserdiode variieren zwischen zirka 1,9 V (IR), 2,4 V (rot), etwa 5 V (blau/violett) und zirka 6 V (echtes Grün). Mit diesen drei Informationen lässt sich leicht der passende CW-Treiber mit APC auswählen. So können Laserdioden im Bereich bis zirka 200 mW angesteuert und auf wenige Prozent genau geregelt werden.

mindest schädigen und damit deren Lebensdauer verkürzen können. Mit geeigneten Treiber-ICs lassen sich diese Ausschalt-Spikes eliminieren. **Bild 3** zeigt den Unterschied zwischen einem Treiber ohne und einem mit Spike-Unterdrückung. Die Ausgangsspikes liegen leicht 30 Prozent über dem eingestellten Pulsstrom und schädigen oder zerstören CW-Laserdioden vor allem dann, wenn sie dicht an der Maximalleistung betrieben werden.

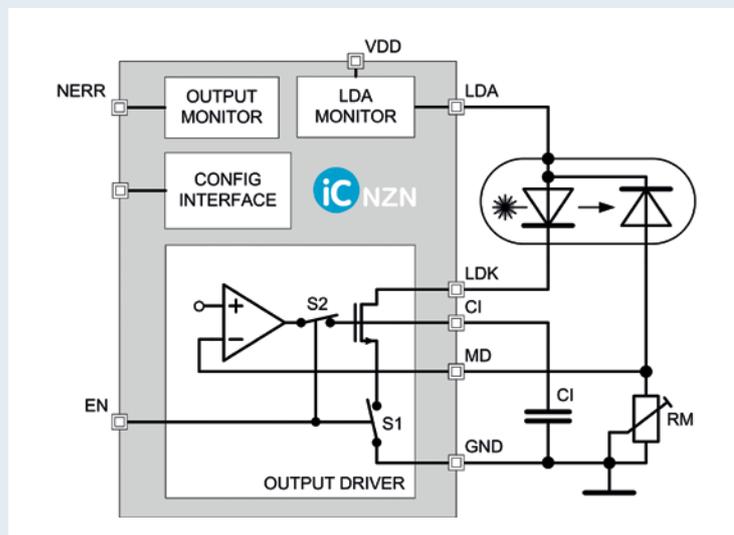
Für den gepulsten Betrieb entscheiden zusätzlich Pulsfrequenz und Tastverhältnis über die geeignete Regelmethode.

### Gepulster Betrieb ohne Spikes

Auch der Schalter selbst ist entscheidend für die Lebensdauer der Laserdiode. Einfache Transistorschalter erzeugen bedingt durch die parasitäre Miller-Kapazität beim Ausschalten Stromüberhöhungen, die die Laserdiode zerstören oder zu-

Für eine APC kommen bei gepulsten Anwendungen zwei Methoden infrage. Die Spitzenwert-Regelung regelt jeden Puls einzeln aus und ist komfortabel und flexibel. Bedingt durch die endliche Reaktionsgeschwindigkeit einer solchen Regelung lassen sich je nach Konfiguration Pulsfrequenzen von DC bis zu wenigen MHz ( $\mu$ s-Pulse) erreichen. Bei der Mittelwertregelung wird der Mittelwert der optischen Ausgangsleistung konstant gehalten. Sie ermöglicht Schaltfrequenzen von etwa 100 kHz bis zu über 100 MHz, abhängig vom Treiberbaustein. **Bild 4** zeigt das stark vereinfachte Schaltbild eines solchen Treibers

### 4 Vereinfachte Treiberarchitektur mit N-Typ-Diode



Leistungsregelung APC (Automatic Power Control)	Stromregelung ACC (Automatic Current Control)	Offene Steuerung
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ konstante Laserleistung</li> <li>o kleinste Pulse im µs-Bereich</li> <li>- Monitordiode erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ hohe Pulsfrequenzen</li> <li>+ keine Monitordiode notwendig</li> <li>o konstanter Laserstrom</li> <li>- keine konstante Laserleistung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ höchste Pulsfrequenzen</li> <li>+ keine Monitordiode</li> <li>- keine Regelung</li> </ul>

### A Übersicht der Ansteuermethoden für Laserdioden

mit N-Typ-Laserdiode. Die Pulsleistung wird mit dem Potentiometer RM eingestellt, die Monitordiode liefert das Signal zum Schließen der Regelschleife. Die Reaktionsgeschwindigkeit und damit die maximale Pulsfrequenz lassen sich mit der Kapazität CI einstellen. Eine zusätzliche Laserstromüberwachung sowie ein Fehlerausgang, der das Erreichen der einstellbaren Strombegrenzung oder der maximal zulässigen Chip-Temperatur signalisiert, bieten zusätzliche Systemsicherheit. So lässt sich beispielsweise die Alterung der Laserdiode überwachen.

Steht keine Laserdiode mit Monitordiode zur Verfügung oder werden noch höhere Schaltfrequenzen benötigt, ist eine einfache Stromregelung (ACC) sinnvoll (**Tabelle A**). Dabei wird nur der Strom durch die Laserdiode unabhängig von Temperatur und Versorgungsspannung konstant gehalten. Ohne aktive

#### Diodentreiber-ICs machen es einfach

Temperaturregelung der Laserdiode lässt sich jedoch aufgrund der starken Temperaturabhängigkeit des Laserlichts vom Laserdiodenstrom keine konstante Ausgangsleistung erzielen. Allerdings ermöglicht die Stromregelung den flexibelsten Pulsbetrieb ohne Einschränkungen, durchgehend von CW bis zur maximalen Schaltgeschwindigkeit. Da die Stromregelung auch die Pulsweitenmodulation erlaubt, kommt sie häufig in Anwendungen zum Einsatz, in denen die Ausgangsleistung stufenlos von 0 bis 100 Prozent einstellbar sein soll. Eine APC im CW-Betrieb ist bei Leistungen kleiner 10 Prozent der Maximalleistung einer Laserdiode nicht möglich, da kein stabiler Betrieb gewährleistet werden kann. Je nach Anforderung lässt sich der entsprechende Baustein auswählen, der die gewünschte Betriebsart unterstützt. Aktuelle Laserdiodentreiber-ICs wie der »iC-NZN« vereinen alle vorgestellten Regelverfahren in einem Baustein und bieten Stromüberwachung, Spike-Freiheit und Überspannungsschutz in einem.

Für Spezialanwendungen, bei denen die genannten Verfahren nicht anwendbar sind, zum Beispiel bei sehr kurzen Pulsen im ns-Bereich und gleichzeitig Strömen in Ampere-Bereich (Lichtleistungen bis zu einigen 10 W), liegt der Fokus auf der Spike-freien Pulserzeugung, die eine hochoptimierte Aufbau- und Verbindungstechnik erfordert. Daher verzichtet man bei entsprechenden Treiber-ICs meist auf eine integrierte Regelung. Diese wird dann extern als (oft µC-gestützte) überlagerte Regelung ausgeführt, bei der zyklisch Stichproben des Laserlichts ausgewertet werden und die Stromeinstellung der Leistungsschalter entsprechend nachgeführt wird. Mit vergleichsweise kleinen ICs lassen sich so aus niedrigen Versorgungsspannun-

gen (5 V) definierte Pulse von 3 A DC bis 9 A Pulsstrom mit Stromanstiegszeiten kleiner 1 ns erzeugen. Die dafür benötigten gedruckten Schaltungen (PCBs) müssen auf minimale Leitungsinduktivitäten und maximale Wärmeabfuhr sowohl des Treiber-ICs als auch der Laserdiode optimiert sein, damit diese Treibereigenschaften zur Geltung kommen können. Ansonsten wird die Schaltgeschwindigkeit eines solchen Lasersystems nicht durch den Treiber, sondern durch die Leitungsinduktivitäten und die verfügbare Treiberspannung bestimmt:

$$dI/dt = U/L$$

Zwar lässt sich die Geschwindigkeit eines solchen Systems durch höhere Spannungen beschleunigen, jedoch erhöht sich dadurch auch die Verlustleistung. Die einzige Option für schnelle Systeme ist somit, die Leitungsinduktivitäten auf ein absolutes Minimum zu reduzieren. Hier bringt der geringe Platzbedarf von integrierten Schaltungen wie dem iC-HG gegenüber den diskret aufgebauten Schaltungen Vorteile. Sie lassen sich dicht an die Laserdiode montieren und reduzieren so die parasitären Zuleitungsinduktivitäten. Alternative Emitter wie VCSEL-Arrays erlauben sogar eine Chip-auf-Chip-Montage, die die Verbindungen zwischen Laserquelle und Treiber-ICs weiter reduziert. Im Extremfall so weit, dass die verbleibenden Leitungsinduktivitäten keine Rolle mehr spielen und die volle Schaltgeschwindigkeit der Chip-Technologie nutzbar wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Laserdioden speziell in der Medizintechnik eine attraktive Lichtquelle für zahlreiche Anwendungen darstellen. Integrierte Treiberbausteine vereinfachen den Schaltungsentwurf und erlauben einen einfachen, sicheren und gleichzeitig hochperformanten Betrieb solcher Laserdioden. ■



**Alexander Flocke**  
ist Entwicklungsingenieur bei iC-Haus.  
[alexander.flocke@ichaus.de](mailto:alexander.flocke@ichaus.de)



**Uwe Malzahn**  
ist Applikationsingenieur für Laserdiodentreiber bei iC-Haus.  
[uwe.malzahn@ichaus.de](mailto:uwe.malzahn@ichaus.de)