

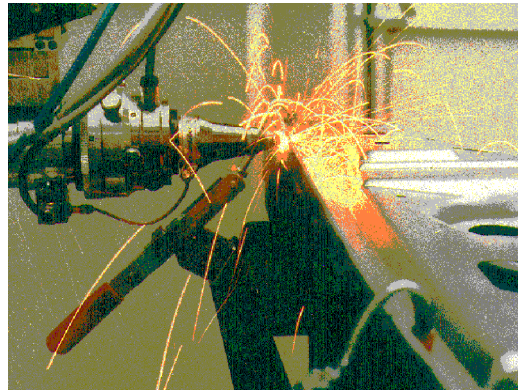
### **GLASFASER-LASERSTRAHLFÜHRUNGSSYSTEM FÜR FESTKÖRPERLASER**

Der Einsatz von Hochleistungs-Neodym-YAG-Lasern in der Fertigung mit Industrierobotern erfordert robuste flexible Strahlführungssysteme. Das von bedea Berkenhoff & Drebes GmbH neu entwickelte modulare Glasfaser-Laserstrahlführungssystem PowerFlex ist an viele Lasertypen adaptierbar. Das Lichtleitkabel wird bis zu 150m Lieferlänge gefertigt. Es ermöglicht die Verwendung unterschiedlicher Fasertypen von 200µm bis 1000µm Kerndurchmesser mit einem Steckersystem. Die Sicherheitssensoren erlauben die Überwachung von Steckzustand, Steckertemperatur, der gesamten Strahlführung vom Ausgang des Lasers bis zum Schutzglas am Bearbeitungskopf auf zu hohe Dämpfung und Unterbrechung und des Schutzglases im Bearbeitungskopf auf Beschädigung oder zu starke Verschmutzung. Im Fehlerfall ist die Reparatur von defekten Strahlführungssystemen möglich, die Stecker sind größtenteils wiederverwendbar

#### **Laser in der industriellen Fertigung**

Festkörperlaser in der Materialbearbeitung werden seit Jahren mit zunehmender Tendenz in der Produktion für die verschiedensten Applikationen eingesetzt. Erste Wahl für diese Anwendungen sind die Nd-YAG-Laser mit Ausgangsleistungen im Kilowattbereich bei 1064nm Wellenlänge. Diese Laserstrahlquellen sind seit Ende der 80er Jahre auf dem Markt.

Bild 1: Schweißen von Karosserieteilen mit Nd-YAG-Laserstrahlung über Glasfaser-Strahlführung (LZH)



Die Vorteile der Bearbeitung mit dem Festkörperlaser gegenüber anderen Verfahren sind:

- Die Bearbeitung wird berührungslos und damit weitgehend kräftefrei durchgeführt.
- Die Nd-YAG-Laserstrahlung eignet sich aufgrund der Wellenlänge von 1064nm hervorragend zur Übertragung mit Hilfe von flexiblen Glasfaser-Lichtleitern und zur Fokussierung auf das Werkstück mit konventionellen Optiken. Damit steht ein Werkzeug für mehrachsige bewegliche, automatisierte Fertigungseinrichtungen, z.B. Industrieroboter, zur Verfügung.
- Die Festkörperlaser stellen ein weitgehend universelles Werkzeug für die Mikrobearbeitung im 100µm-Bereich bis zur Makrobearbeitung mit mehr als 10mm Bearbeitungstiefe dar. Die Einsatzgebiete für die Bearbeitung mit Laserstrahlung reichen in der Materialbearbeitung vom 3D-Laserschneiden, dem Verschweißen von Blechen unterschiedlicher Dicke im Automobilbereich (Bild 1), dem Härten von Kurbelwellengleitflächen über das Trimmen von elektronischen Bauteilen in Hybridschaltungen bis zu medizinischen Anwendungen wie das Trennen von Blutgefäßen im Bereich der Netzhaut des menschlichen Auges.

### Was ist ein Festkörperlaser?

Grundsätzlich ist ein Laser ein Lichtverstärker. Da diese Verstärkung mittels Rückkopplung in einem optischen Resonator erfolgt, arbeitet jeder Laser idealerweise als Lichtverstärker bei einer durch den Resonator bestimmten Wellenlänge (Bild 2). Für den Festkörperlaser kennzeichnend ist der optische Resonator aus festem Material, beim Nd-YAG-Laser ein Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Kristallstab. Im Gegensatz dazu stehen Gaslaser mit gasförmigen optischen Resonator, z.B. der auch in der Materialbearbeitung eingesetzte CO<sub>2</sub>-Laser. Für die Anregung des optischen Resonators werden konventionell für den Nd-YAG-Laser im Kilowattbereich Blitzlampen (Impulsbetrieb) und Bogenlampen (Dauerstrichbetrieb) eingesetzt. Die Dauerleistung nach dem derzeitigen Stand der Technik bei Nd-YAG-Laser für die Materialbearbeitung beträgt 4kW. Neu entwickelt wurden Festkörperlaser, die mit Halbleiterlasern gepumpt werden. Dies führt zu kompakteren Abmessungen bei gleichzeitig höheren Laserwirkungsgraden, allerdings werden die Leistungsdaten der konventionellen Nd-YAG-Laser im Kilowattbereich noch nicht erreicht.

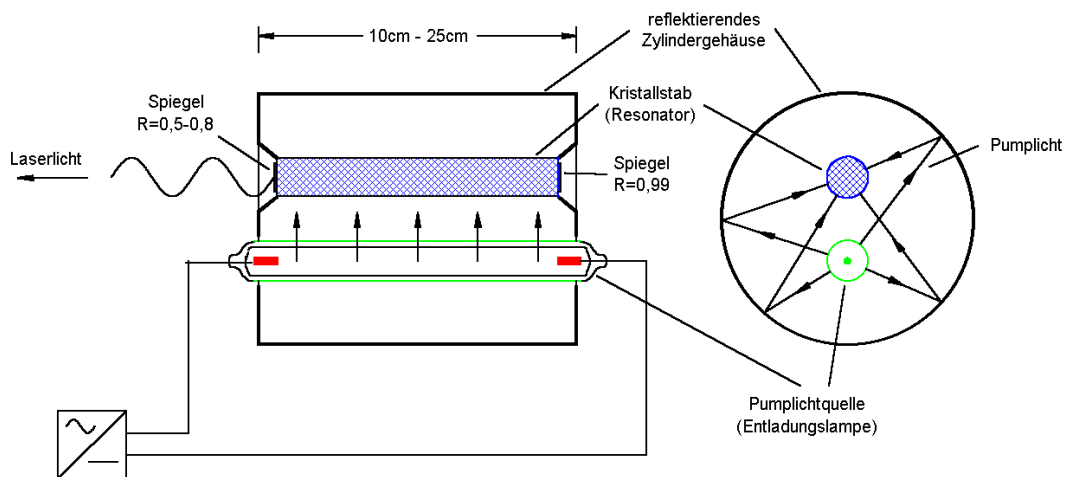


Bild 2: Prinzipaufbau Festkörperlaser

### Einsatzgebiete für Festkörperlaser

Laser werden heute für die vielfältigsten Anwendungen eingesetzt. Die Gruppe der Festkörperlaser bewährte sich in den folgenden Applikationen:

- Maschinenbau (Automobilindustrie)
  - Laserschweißen
  - Schneiden
  - Bohren
  - Härten
  - Markieren, Gravieren usw.
- Medizin
  - Laserchirurgie
  - Biostimulation
  - Augenheilkunde (Ophtalmologie)
  - In-vivo-Anwendungen (Endoskope, Mikroskope)
- Lichttechnik
  - Laserprojektion (z.B. Großbildprojektion, Designbeleuchtung)
  - Lasershowsysteme (Disco-Anwendungen usw.)

### Was sind Glasfaser-Laserstrahlführungssysteme?

Die vom Laser erzeugte hochenergetische Strahlung wird mittels einer Optik in die Glasfaser gekoppelt und zum Anwendungsort übertragen (Bild 3). Am anderen Ende der Faser wird vom Bearbeitungskopf bzw. der Auskoppeloptik die Laserstrahlung auf das Werkstück fokussiert.

Der Aufbau der Glasfaser (Lichtwellenleiter, LWL) ist vergleichbar mit den Glasfasern aus hochreinem Quarz ( $\text{SiO}_2$ ), die bereits seit Jahren für die optische Nachrichtenübertragung erfolgreich verwendet werden. Allerdings kommen aufgrund der Laserstrahlparameter und der hohen Leistungsdichte von bis zu  $2,5 \cdot 10^{10} \text{ W/m}^2$  nur sogenannte Dickkernfasern im Kerndurchmesserbereich von  $400 \mu\text{m}$  bis  $1000 \mu\text{m}$  zum Einsatz. Als Standard sind Stufenindexfasern üblich, bei erhöhten Anforderungen an die ausgangsseitige Strahlqualität werden auch Glasfasern mit Gradientenindexprofil benutzt.

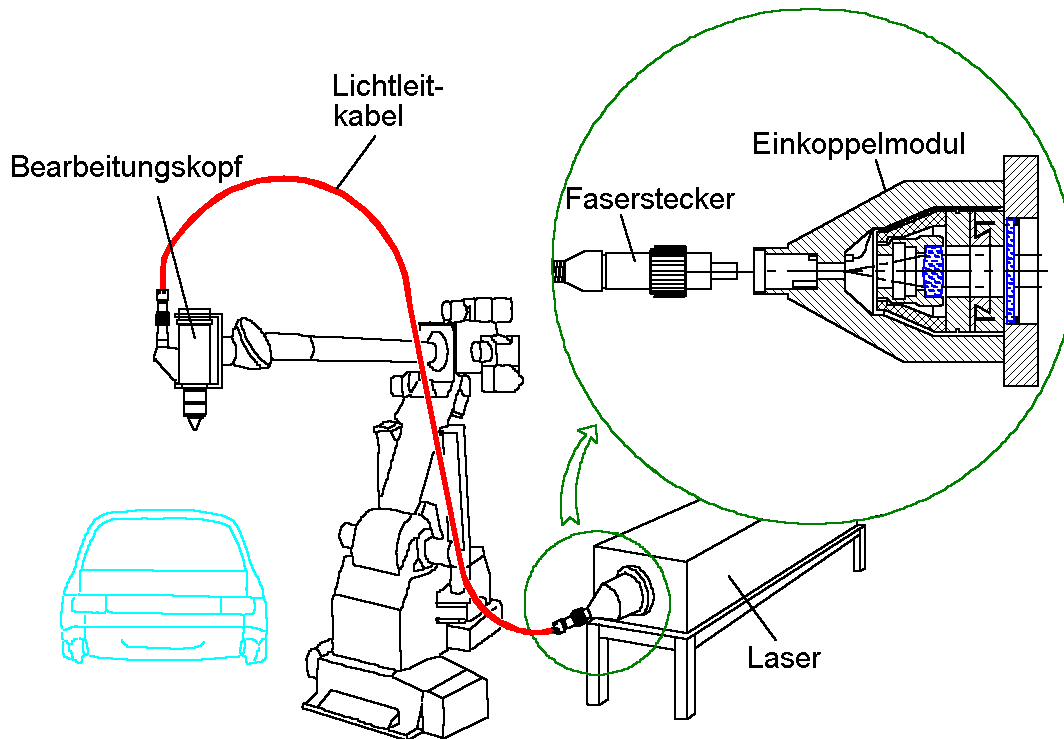


Bild 3: Laserstrahlführungssystem

Die Strahlführung gestaltet sich aufgrund der dünnen Glasfasern sehr biegsam. Diese flexible Strahlführung kann allerdings bedingt durch physikalische Gesetzmäßigkeiten nur bei den Lasertypen erfolgen, die in dem für Quarzfasern geeigneten Wellenlängenbereich vom Ultravioletten ( $300 \text{ nm}$ ) bis in den nahen Infrarotbereich ( $1600 \text{ nm}$ ) arbeiten.

Glasfaser-Laserstrahlführungssysteme in der Materialbearbeitung werden zur Zeit überwiegend in Verbindung mit Neodym-YAG-Laser bei  $1064 \text{ nm}$  eingesetzt.

Das bedea PowerFlex ist ein neues modulares Glasfaser-Laserstrahlführungssystem für Nd-YAG-Laser im Kilowattbereich (Bild 3).

Das System ist geeignet zur flexiblen Laserstrahlübertragung in der Oberflächen- und Materialbearbeitung (Schweißen, Schneiden, Bohren usw.) sowie für den 3D-Robotereinsatz mit bis zu sechs Freiheitsgraden (Achsen). Der modulare Aufbau kann leicht an unterschiedliche Lasertypen und familien, mit der Möglichkeit einer angeflanschten Einkopplung, adaptiert werden.

Das PowerFlex Strahlführungssystem besteht aus den folgenden Modulen:

- Einkoppelmodul (Bild 4)



Bild 4: Einkoppelmodul mit geöffneter Abdeckung der XYZ-Verstelleinheiten

Der am Laser austretende Parallelstrahl, mit einem Strahldurchmesser von 4mm bis 15mm, wird über eine Hochleistungsoptik optimal auf die Glasfaserendfläche fokussiert. Aufgrund der hohen Leistungsdichte der Laserstrahlung und der Forderung nach möglichst kleinem Fokusdurchmesser kommen hier, z.B. für 1064nm vergütete, mehrlinsige Sonderoptiken zum Einsatz. Die einzukoppelnde Laserstrahlung wird über präzise XYZ-Verstelleinheiten exakt auf den Faserkern justiert. Nach dem einmaligen Justieren des Fokuspunktes auf den Faserkern, ist ein reproduzierbarer Steckerwechsel gewährleistet. Unter den in der Materialbearbeitung üblichen Umweltbedingungen wird eine mechanische Reproduzierbarkeit im Bereich von 10µm erreicht.

Die Forderung nach möglichst kleinem Fokusdurchmesser bei der Einkopplung in den Faserkern ergibt sich aus dem Wunsch, möglichst kleine Faserkerndurchmesser einzusetzen, um unter gegebenen optischen Gesetzmäßigkeiten auf der Oberfläche am Bearbeitungsort eine möglichst hohe Energiedichte zu erzielen.

- Steckverbinder

Der Stecker ist für die Aufnahme üblicher Glasfasern von 200µm bis 1000µm Kerndurchmesser vorgesehen.

Die Quarzglasfaser wird werksseitig in dem Faserstecker (Bild 5) hochpräzise konfektioniert. Feinoptisch bearbeitete Endflächen gewährleisten geringe Steckerdämpfung und niedrige Rückreflexion. Der Faserstecker wird über die Präzisionsbuchse mit Verdrehsicherung im Einkoppelmodul oder am Bearbeitungskopf bzw. an der Auskoppeloptik adaptiert. Integrierte elektrische Mikrokontakte ermöglichen die Übertragung von Sensorsignalen, z.B. zur Steckzustandsüberwachung. Die Edelstahlausführung des Steckverbinders und die klebefreie Faserfixierung im Stecker sichern Langlebigkeit auch unter rauen Umgebungsbedingungen. Die Temperaturbeständigkeit der verwendeten Materialien und der gesamten Steckerkonstruktion ermöglicht eine hohe Verträglichkeit gegen Reflexionen und Fehleinkopplungen der Laserstrahlung. Bei der Strahlein- und auskopplung am Stecker entstehen durch den Luft-/Quarz-Übergang die größten Verluste des gesamten Laserstrahlführungssystems von bis zu 4% durch Reflexion. Eine optionale Antireflexbeschichtung der Faserendfläche kann diese Verluste auf kleiner 1% pro Übergang verringern. Grundsätzlich wird im Bereich von Steckverbinder und Einkoppelmodul ein Großteil dieser Verluste absorbiert. Die aufgenommene Verlustleistung führt zu einer Erwärmung dieser Komponenten. Dies wurde durch Materialauswahl und in der Konstruktion des PowerFlex Laserstrahlführungssystem besonders berücksichtigt.

Ein wichtiges Merkmal für den Anwender ist die einfache Konfektionierbarkeit des Steckers im Beschädigungsfall, z.B. durch Fehleinkopplung. Durch den modularen Aufbau des Steckers müssen nur wenige beschädigte Teile getauscht und das betroffene Faserende feinoptisch bearbeitet werden. Die Reparatur kann kurzfristig und kostengünstig beim Hersteller durchgeführt werden.



- **Lichtleitkabel**

Das Lichtleitkabel besteht aus der Glasfaser zur Strahlführung, den Schutzhüllen und den Sensorleitungen. Die Funktionen der Schutzhüllen sind zuerst Schutz der Glasfaser gegen die rauen Umgebungsbedingungen in der Materialbearbeitung, aber auch umgekehrt Schutz der Umgebung vor austretender gefährlicher Laserstrahlung im Falle eines Faserbruchs. Die gute Robotertauglichkeit ergibt sich aus den Eigenschaften: kompakter, querdruckstabiler, zugfester und flexibler Aufbau mit mechanische Begrenzung des minimalen Biegeradius der Faser. Konstruktiv wurden diese Anforderungen durch einen Stahlwellmantel mit doppelter thermoplastischer Ummantelung erreicht. Zusätzliche Sensorleitungen ermöglichen die Signalübertragung für die Sicherheitssensorik. Das Lichtleitkabel steht in Lieferlänge bis 150m zur Verfügung.
- **Bearbeitungskopf**

Für die flexible Materialbearbeitung - insbesondere mit Industrierobotern - hat sich der modulare Bearbeitungskopf von Thyssen Laser-Technik (Bild 6) bewährt. Die einzelnen Strahlführungs- und Fokussierungsmodule sind zum überwiegenden Anteil aus Edelstahl mit steckbaren dreipunktfixierten Verbindungsflanschen gefertigt, wodurch ein einfacher, reproduzierbarer und verschleißfreier Austausch einzelner Komponenten möglich ist. Als Optiken stehen Achromate im Durchmesser von 50mm mit Brennweiten von 80mm bis 160mm zur Verfügung. Je nach Applikation sind für den Bearbeitungskopf Sensoriken zur Überwachung des Abstandes zwischen Kopf und Werkstückoberfläche, zur Detektion von Plasmaleuchten und zum Erkennen eines verschmutzten Schutzglases einsetzbar. Der Einsatz dieser Sensorik dient insbesondere der Qualitätssicherung in der Materialbearbeitung durch Prozeßregelung.
- **Sicherheitssensorik**

Um den ordnungsgemäßen Betrieb von Festkörperlasern im Kilowattbereich mit Laserstrahlführungssystem im industriellen Einsatz zu gewährleisten, sind mehrere Überwachungseinrichtungen optional vorgesehen (Bild 7). Dies beginnt mit der Steckzustands- und Temperaturüberwachung am Faserstecker, zur Erfassung kritischer Betriebszustände im Steckverbinder. In einem elektrischen Sensorkreis wird bei Kurzschluß, Unterbrechung oder Widerstandsänderung außerhalb der zulässigen Toleranz für die eingesetzten Thermistoren (PTC-Widerstände) der Laserstrahl abgeschaltet. Ein zweites Sicherheitssystem überwacht die gesamte Strahlführung vom Ausgang des Lasers bis zum Schutzglas am Bearbeitungskopf auf zu hohe Dämpfung und Unterbrechung. Auch eine Beschädigung oder zu starke Verschmutzung des Schutzglases im Bearbeitungskopf wird als Fehler verarbeitet. Zur Detektion wird die von der Laserstrahlung erzeugte Streulichtmenge am Schutzglas mit dem Streulicht an einer Planparallelplatte vor der Optik im Einkoppelmodul verglichen. Das Streulicht wird störungsfrei über zwei Lichtwellenleiter an die Überwachungsschaltung geleitet. Im Fehlerfall wird die Laserstrahlung mit Hilfe von Sicherheitsrelais binnen Millisekunden abgeschaltet. Dieser Aufwand ist in den hohen Leistungen der Nd-YAG-Laser und dem damit vorhandenen Gefährdungspotential begründet.

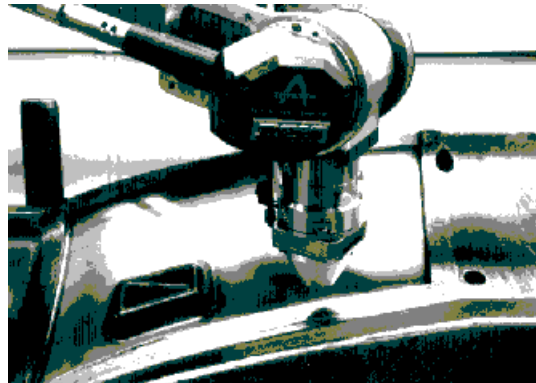


Bild 6: Bearbeitungskopf im Einsatz beim Härten eines Spritzgußwerkzeuges (TLT)

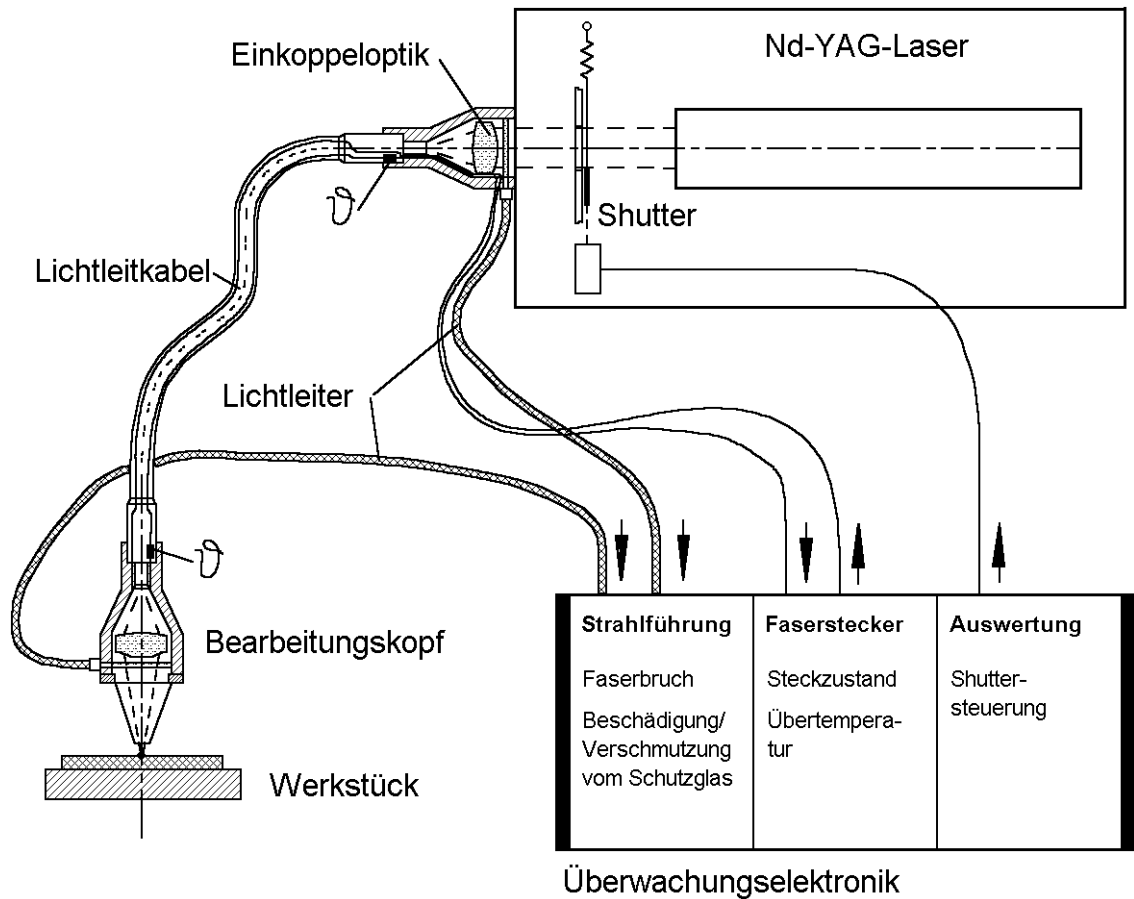


Bild 7: Sicherheitssensoren am Hochleistungs-Nd-YAG-Laser

**Einsatz von PowerFlex**

Das bedea Glasfaser-Laserstrahlführungssystem PowerFlex hat sich bei vielen Einsätzen von Hochleistungs-Neodym-YAG-Lasern in der Materialbearbeitung bewährt. Die Anwendungen reichen vom Umfangsschweißen von Heliostaten in Spanien bis zum 100m-System zwischen einem 3kW-Laser und dem Versuchslabor in einem deutschen Laserinstitut.

Bildnachweis:

Bild 1 (LZH): Laser Zentrum Hannover e.V., Hannover

Bild 6 (TLT): Thyssen Laser-Technik GmbH, Aachen

bedea Berkenhoff & Drebes GmbH  
Lasertechnik  
Tel. 06441-801-222  
Fax 06441-801-265  
Herborner Straße 100  
D-35614 Asslar <http://bedea.com/produkt/lasert>  
Email: [els@bedea.com](mailto:els@bedea.com)