



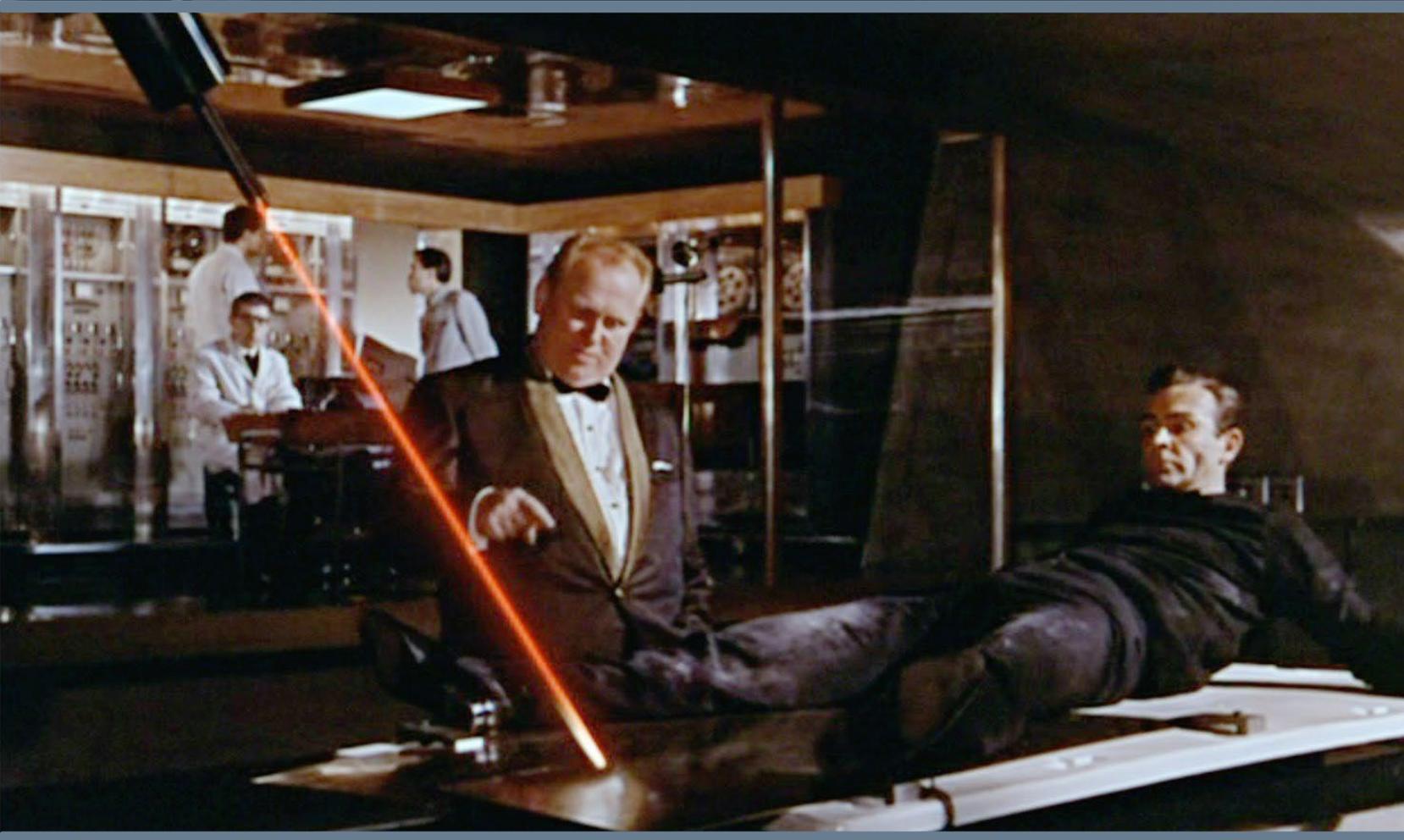
Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Tutorial 2: Systemtechnik

Thorsten Kramer
SWISSPHOTONICS

Einleitung



«No, Mr. Bond.
I expect you to **die!** »

«Do you expect me to
talk?»

Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Deutscher Zukunftspreis 2013

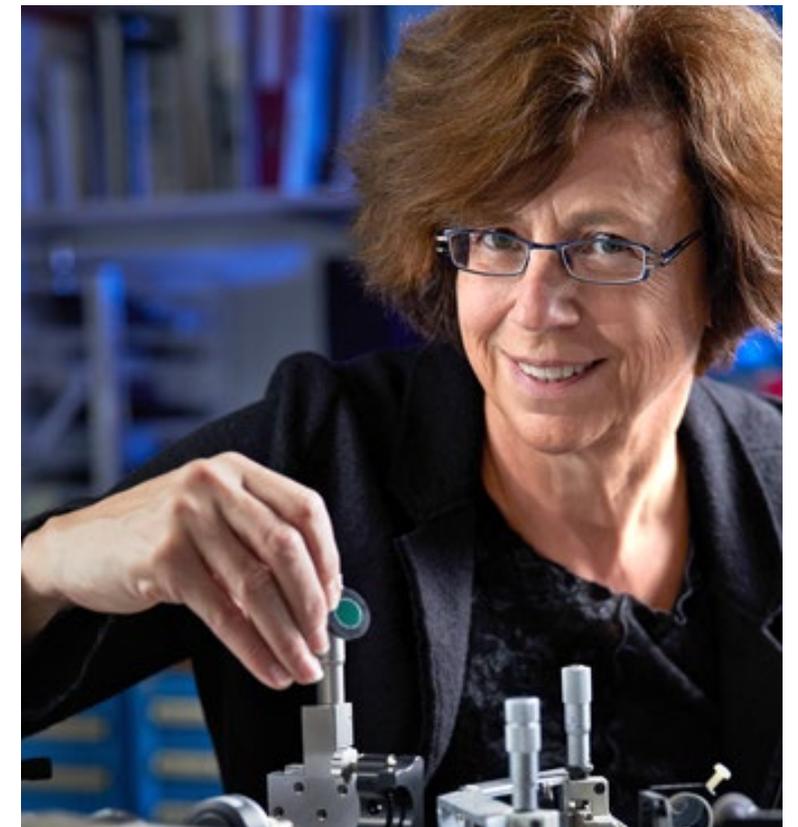
«Ultrakurzpulslaser für die industrielle Massenfertigung - produzieren mit Lichtblitzen»



Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Europäischer Erfinderpreis 2018

Ursula Keller erhält den Europäischen Erfinderpreis für ihr Lebenswerk



Einleitung



2 October 2018

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Physics 2018

“for groundbreaking inventions in the field of laser physics”

with one half to

Arthur Ashkin

Bell Laboratories, Holmdel, USA

“for the optical tweezers and their application to biological systems”

and the other half jointly to

Gérard Mourou

École Polytechnique, Palaiseau, France

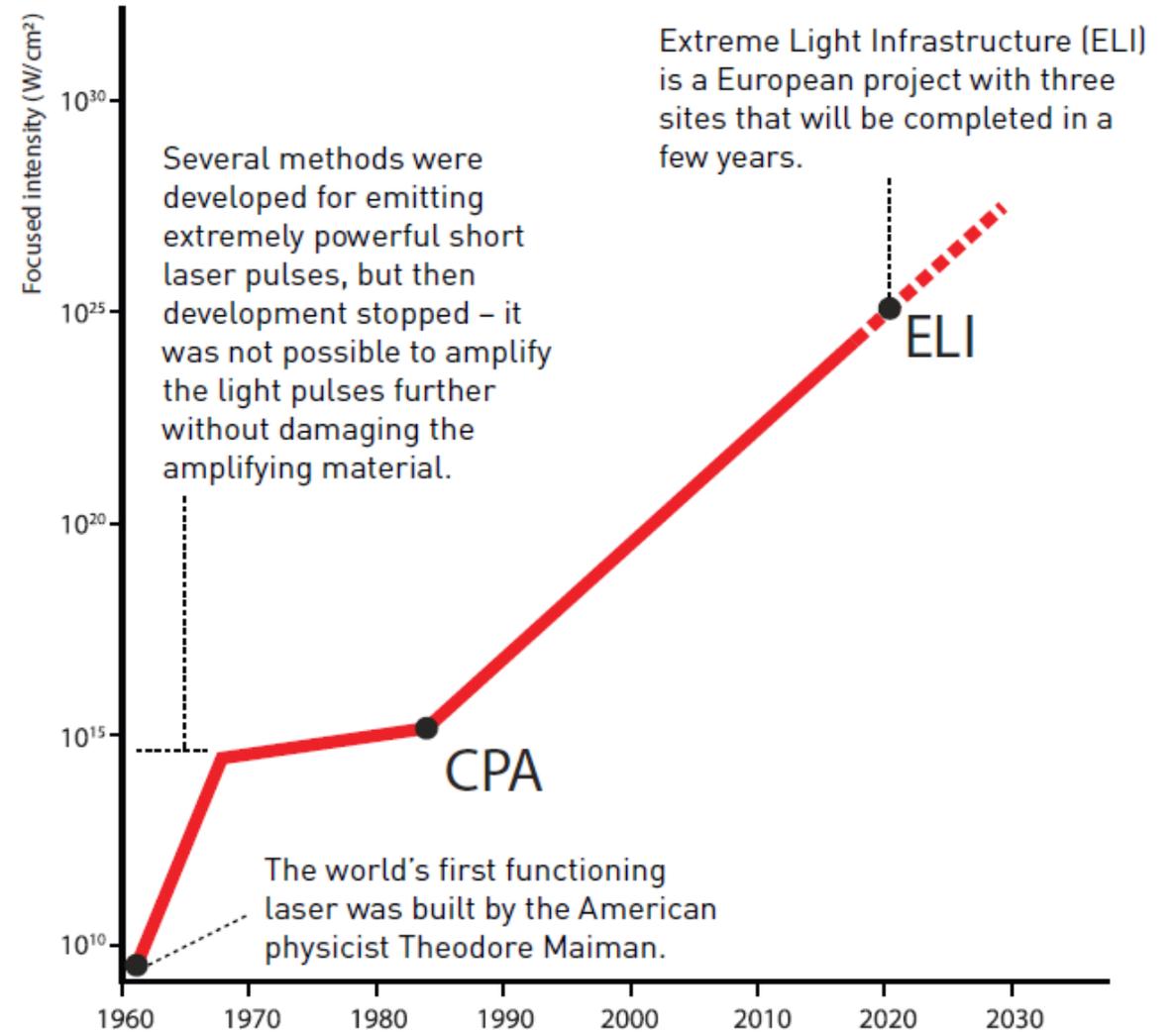
University of Michigan, Ann Arbor, USA

and

Donna Strickland

University of Waterloo, Canada

“for their method of generating high-intensity, ultra-short optical pulses”



Einleitung

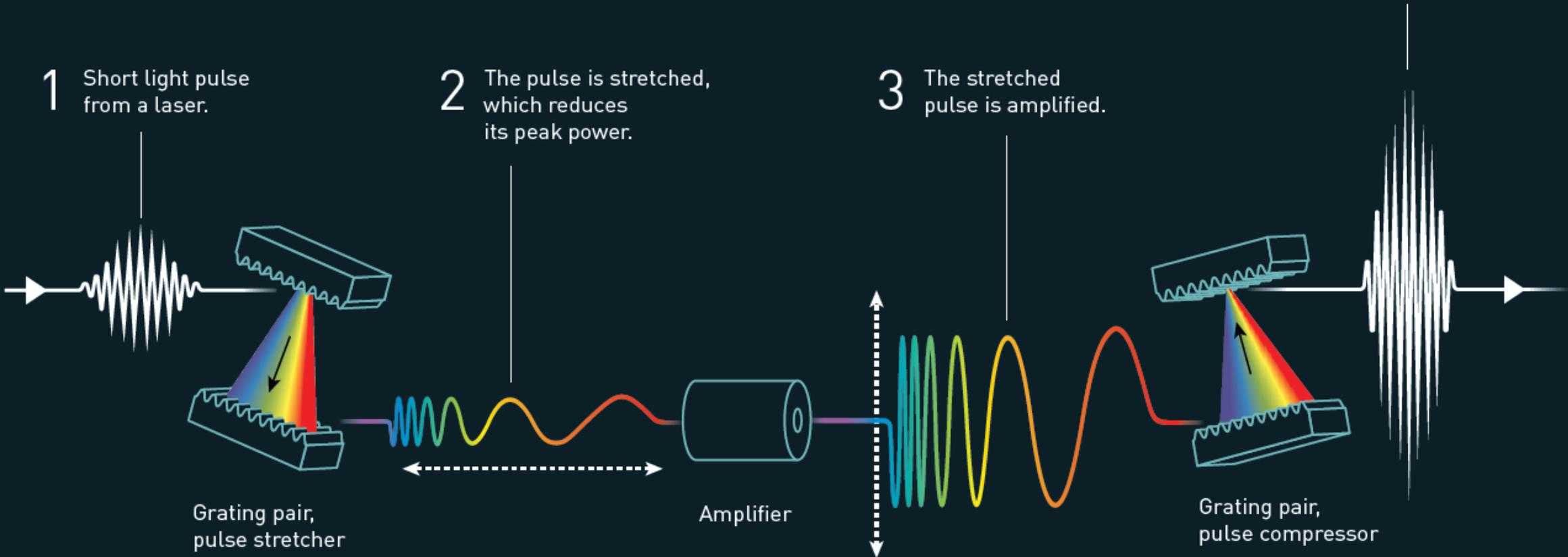
CPA - chirped pulse amplification

1 Short light pulse from a laser.

2 The pulse is stretched, which reduces its peak power.

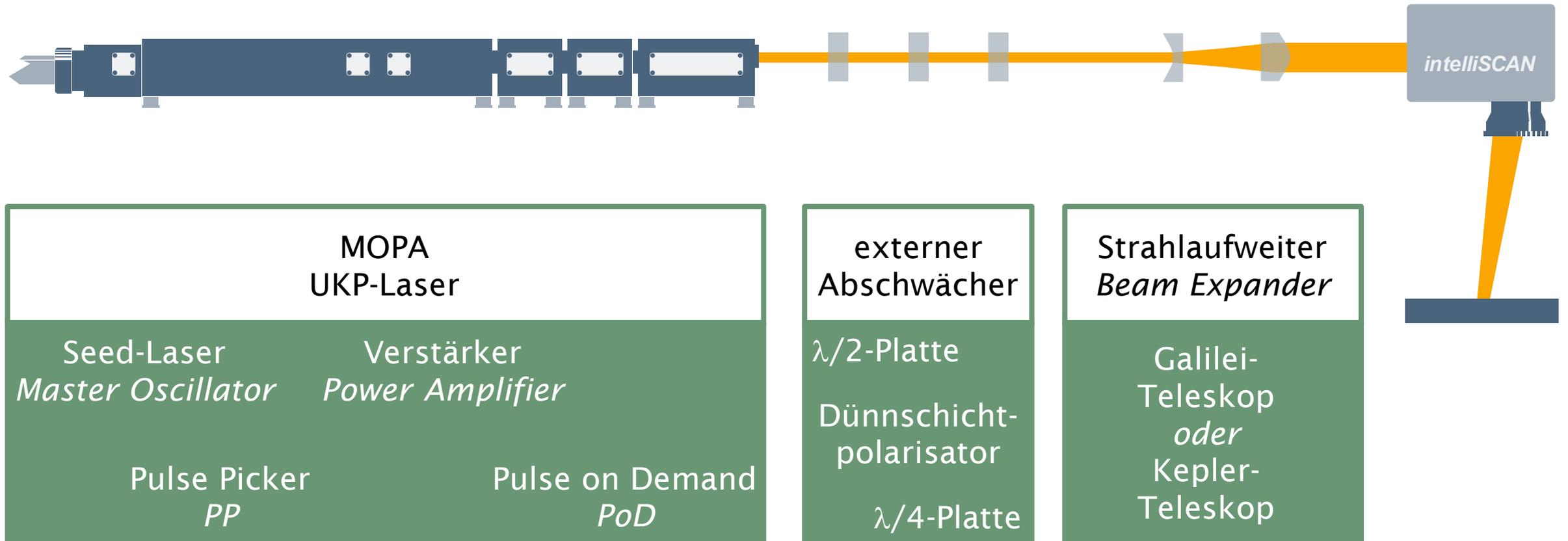
3 The stretched pulse is amplified.

4 The pulse is compressed and its intensity increases dramatically.



Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

Typischer Aufbau | Strahlengang



Typen ultrakurz gepulster Laser

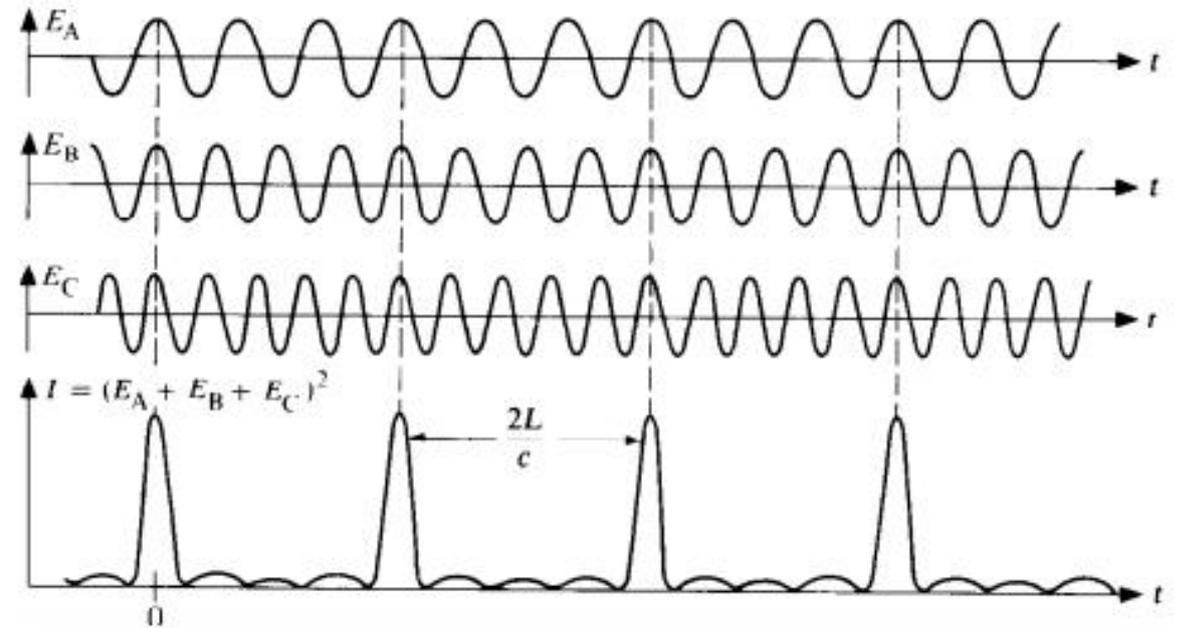
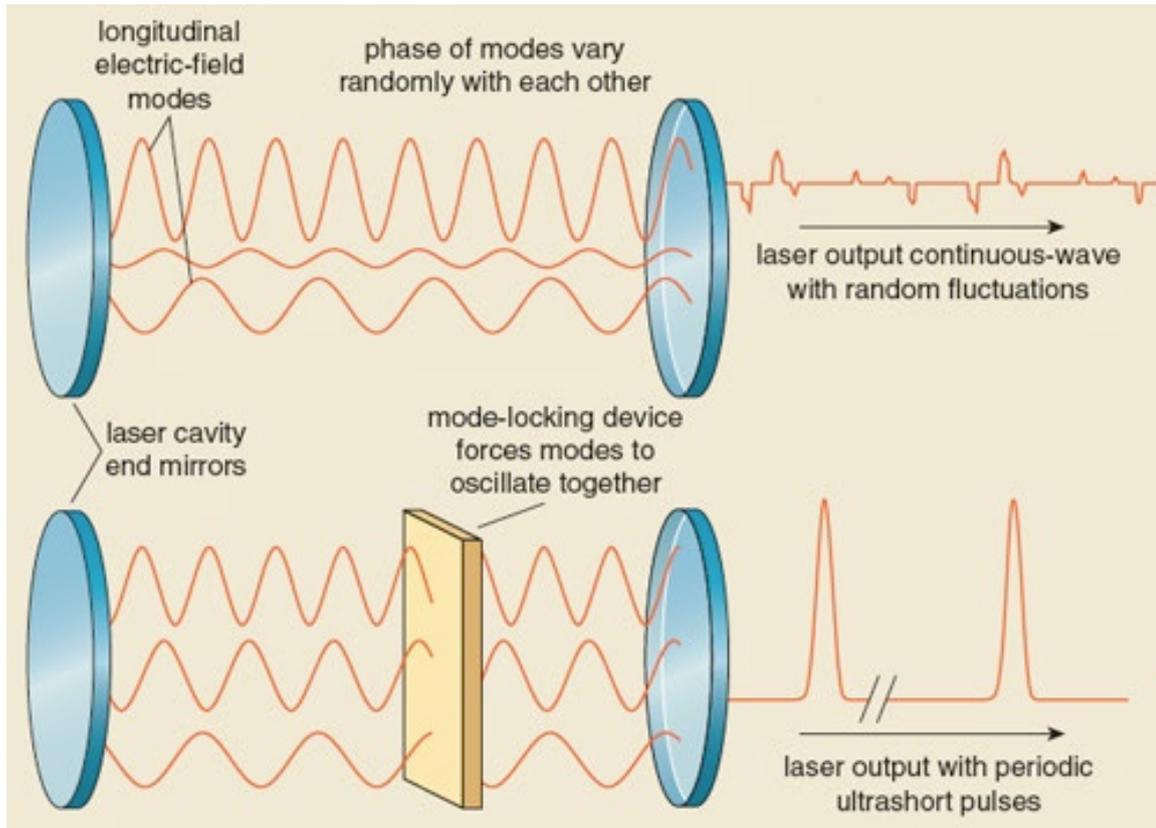


Überblick

- ▶ Modenkopplung
- ▶ Regenerative Verstärker REGEN
- ▶ Master-Oscillator Power Amplifier MOPA
- ▶ SLAB-Prinzip

Gepulste Lasersysteme

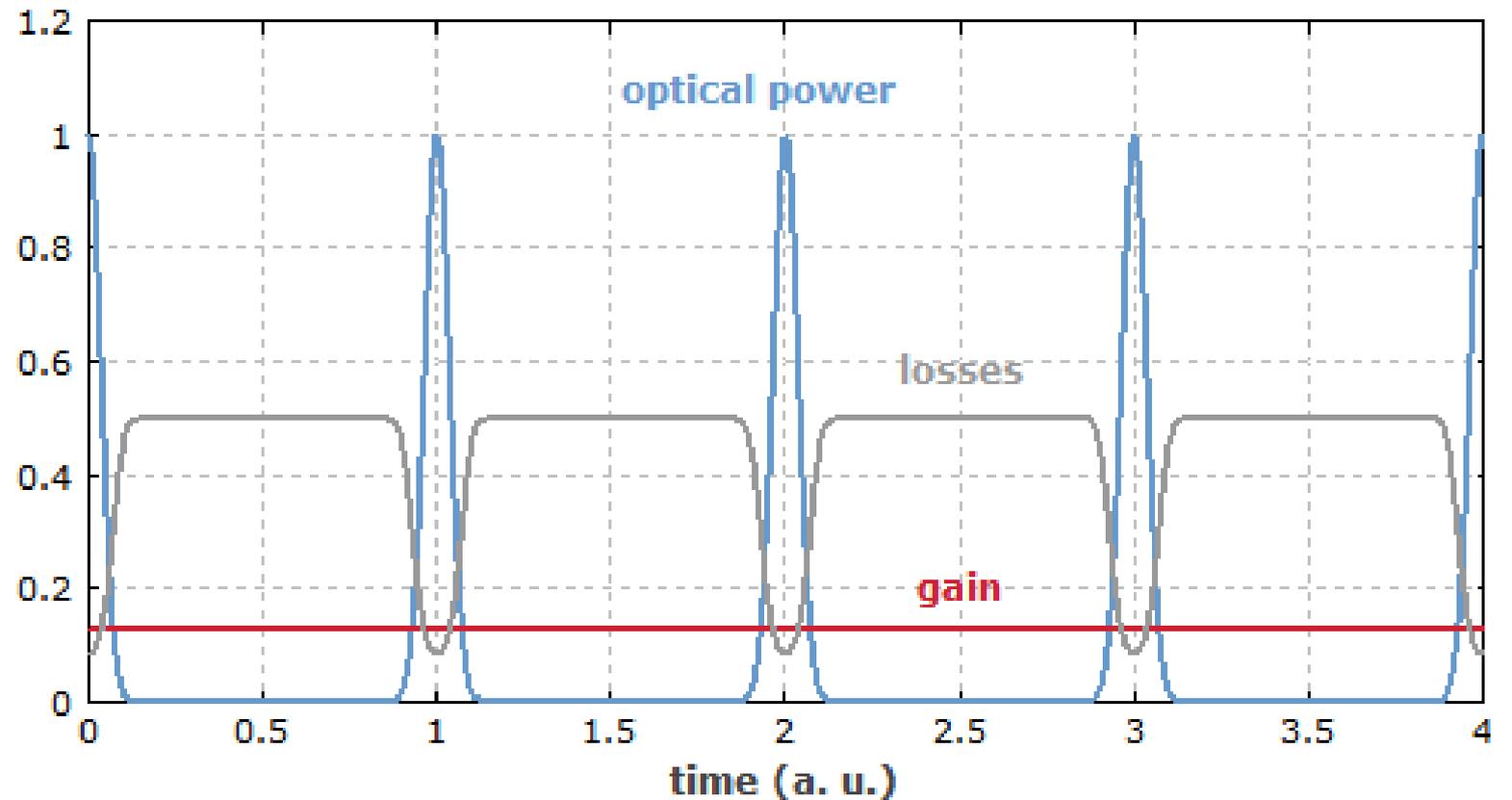
Modenkopplung | Modelocking



Gepulste Lasersysteme

Modenkopplung | Modelocking

- ▶ Modulation der Resonatorverluste
- ▶ Einsatz von sättigbaren Absorbern



Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

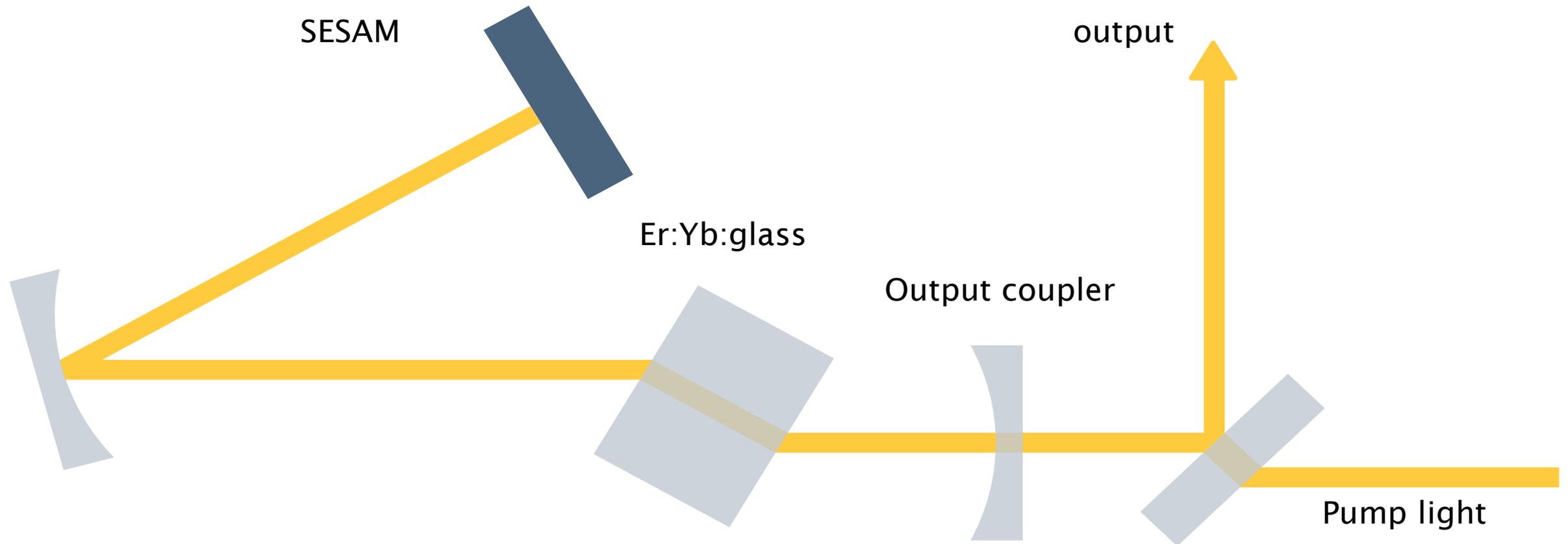
Gepulste Lasersysteme

Regenerative Verstärker | Regenerative Amplifier || **REGEN**



Gepulste Lasersysteme

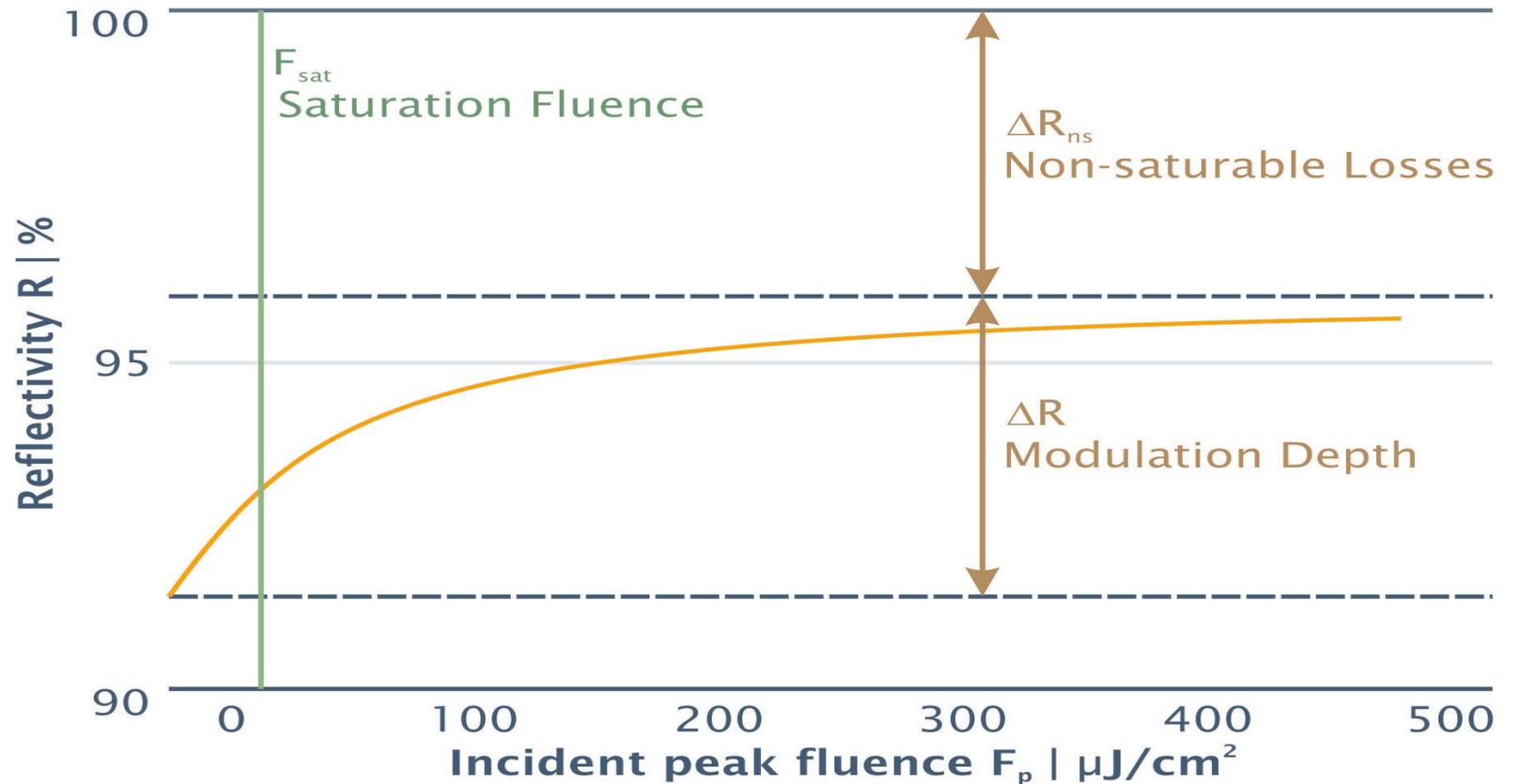
MOPA | **M**aster-**O**scillator **P**ower-**A**mplifier



Gepulste Lasersysteme

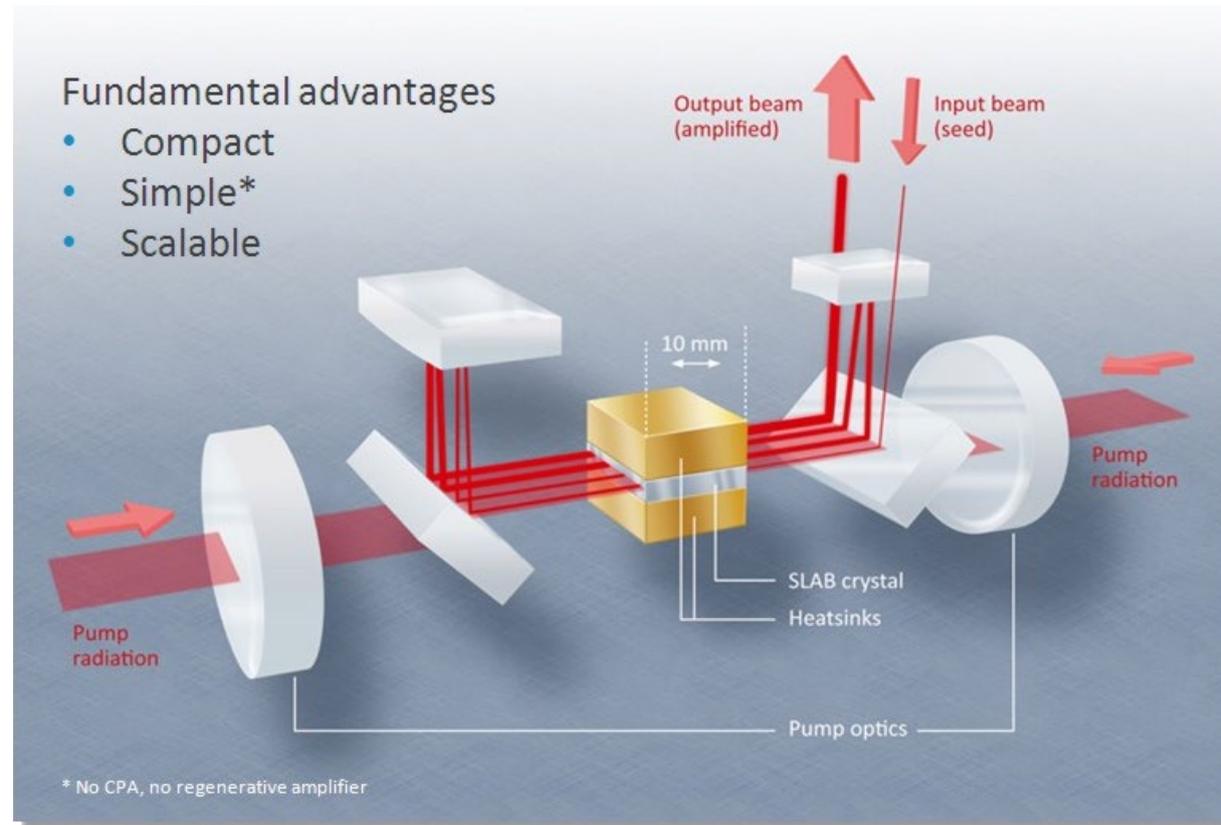
SEmiconductor Saturable Absorber-Mirror (SESAM)

SESAM devices are a family of optical devices that allow for very simple, self-starting passive mode-locking of ultrafast solid-state lasers.



Gepulste Lasersysteme

Alternative Verstärker | slab || **AMPHOS**



Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation



Überblick

- ▶ Fixoptiken
- ▶ Scanner
 - ▶ Galvanometer-Scanner
 - ▶ Polygonscanner
- ▶ Spezialoptiken
- ▶ Lichtleitfasern

Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Fixoptiken



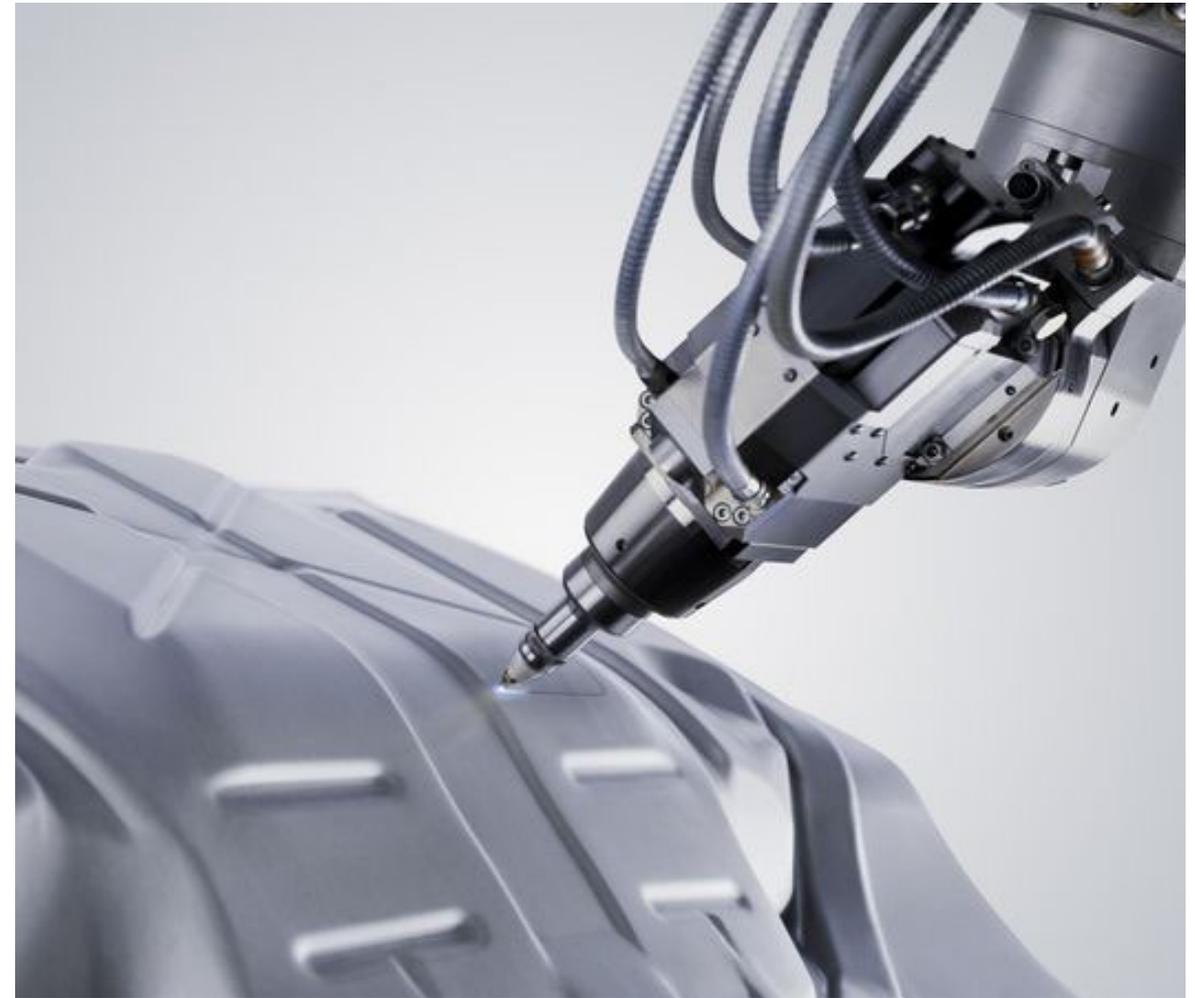
Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Fixoptiken



Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Fixoptiken



Fixoptiken



Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Fixoptiken



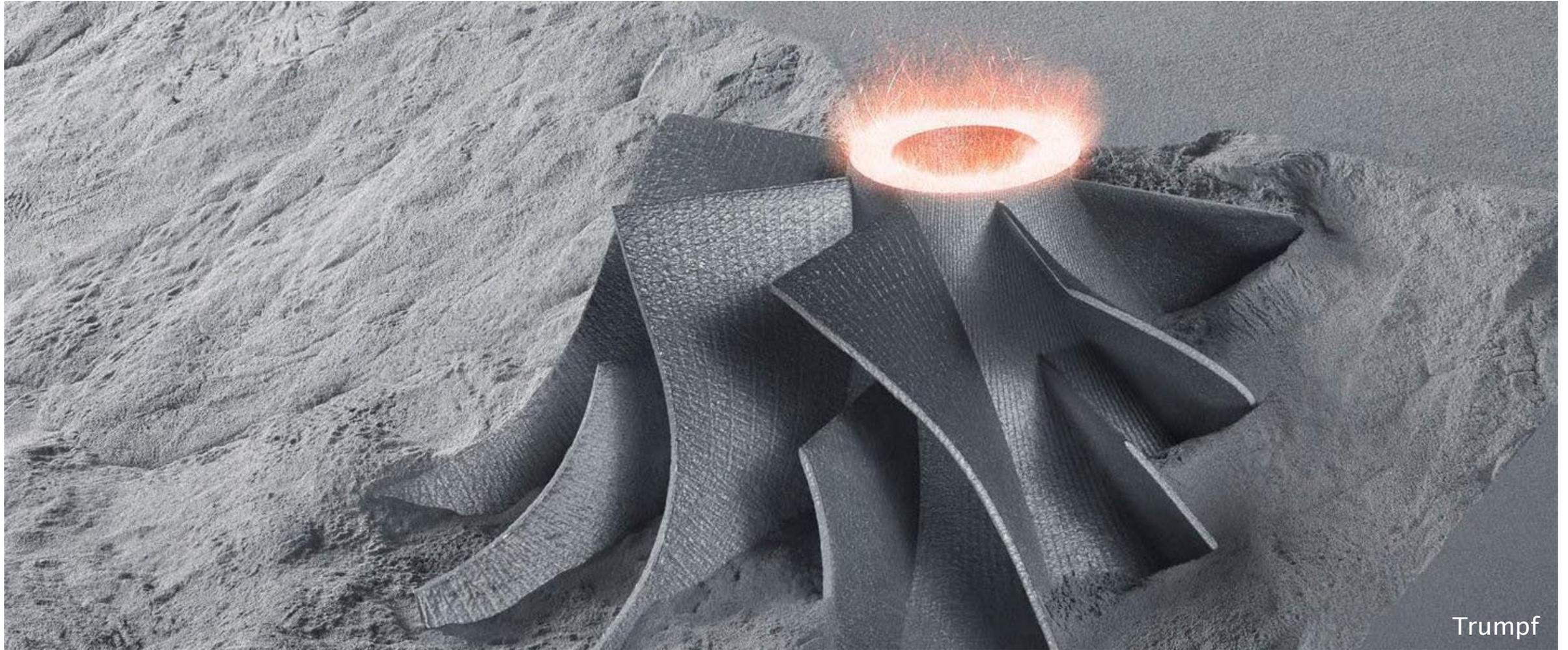
Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Fixoptiken



Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

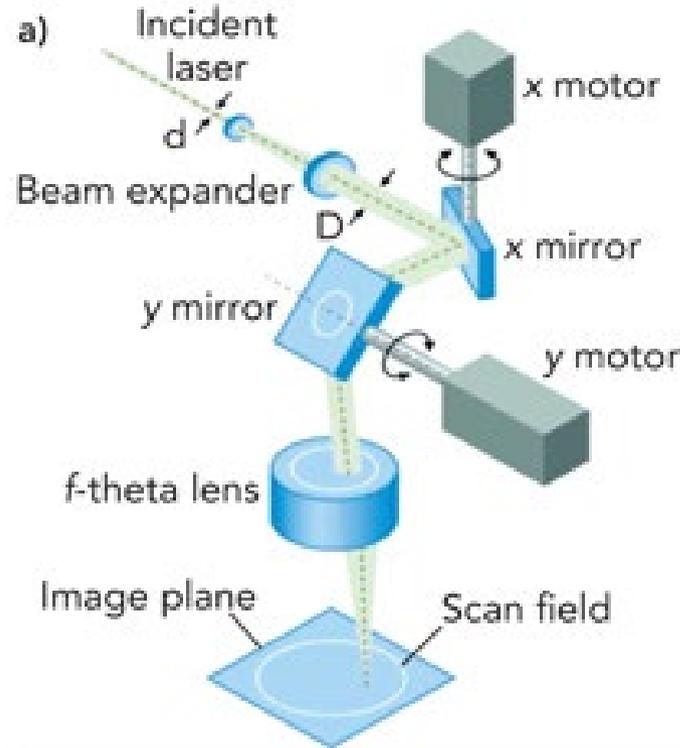
Scanner



Trumpf

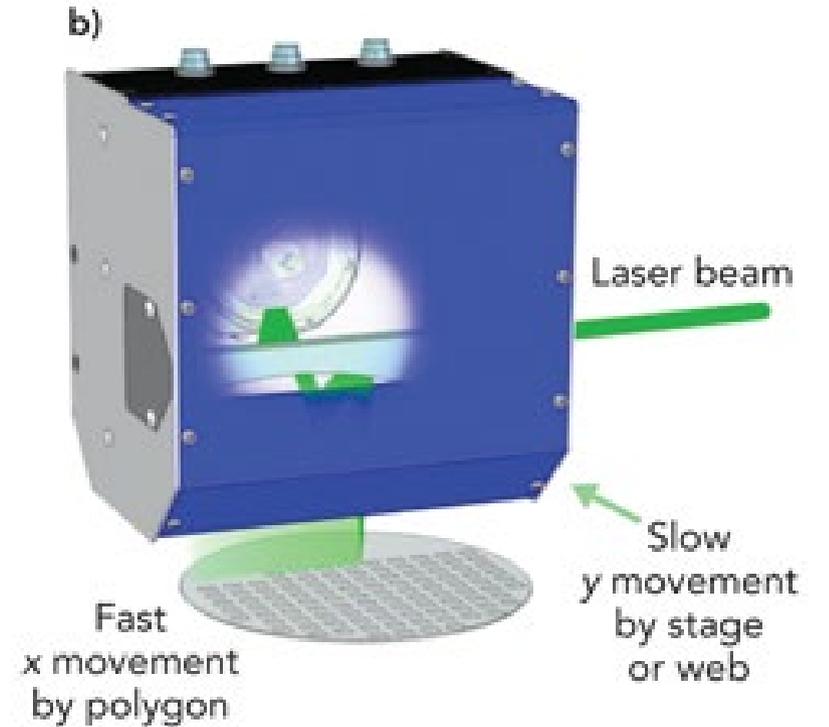
Scanner

Galvanometerscanner vs Polygonscanner



Speed	Max 10–15m/s
Scan field*	Often limited to 50–80mm

* Full telecentric processing



Speed	Max 10–100m/s (constant)
Scan field*	Up to 300mm without stitching

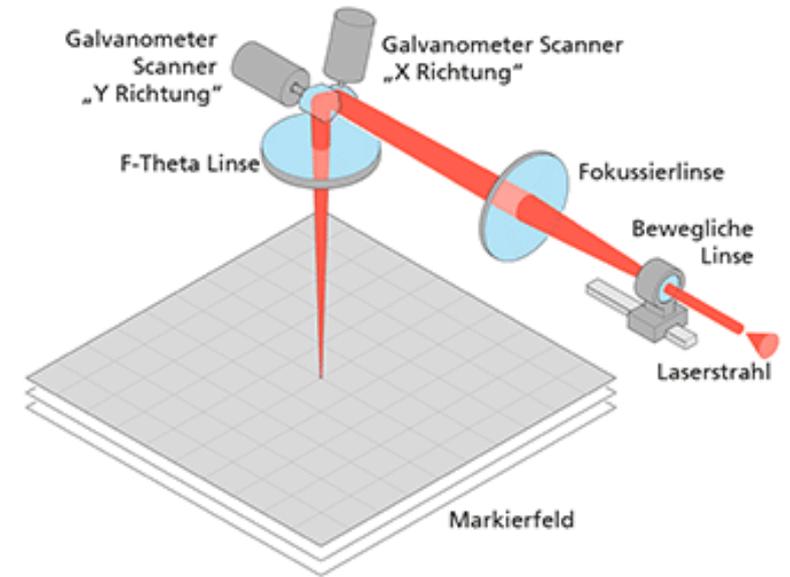
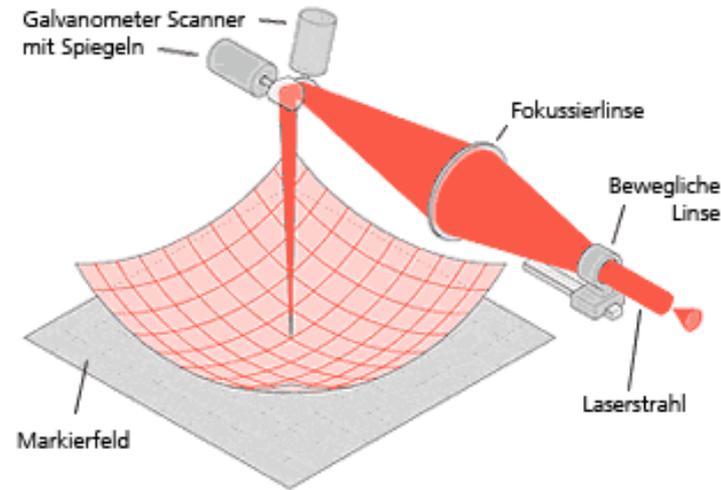
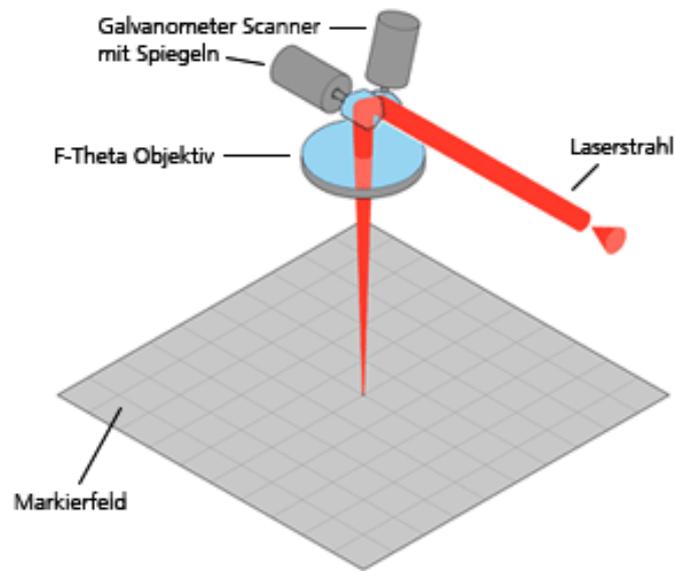
Prinzipieller Aufbau

Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Galvanometer-Scanner



Galvanometer-Scanner



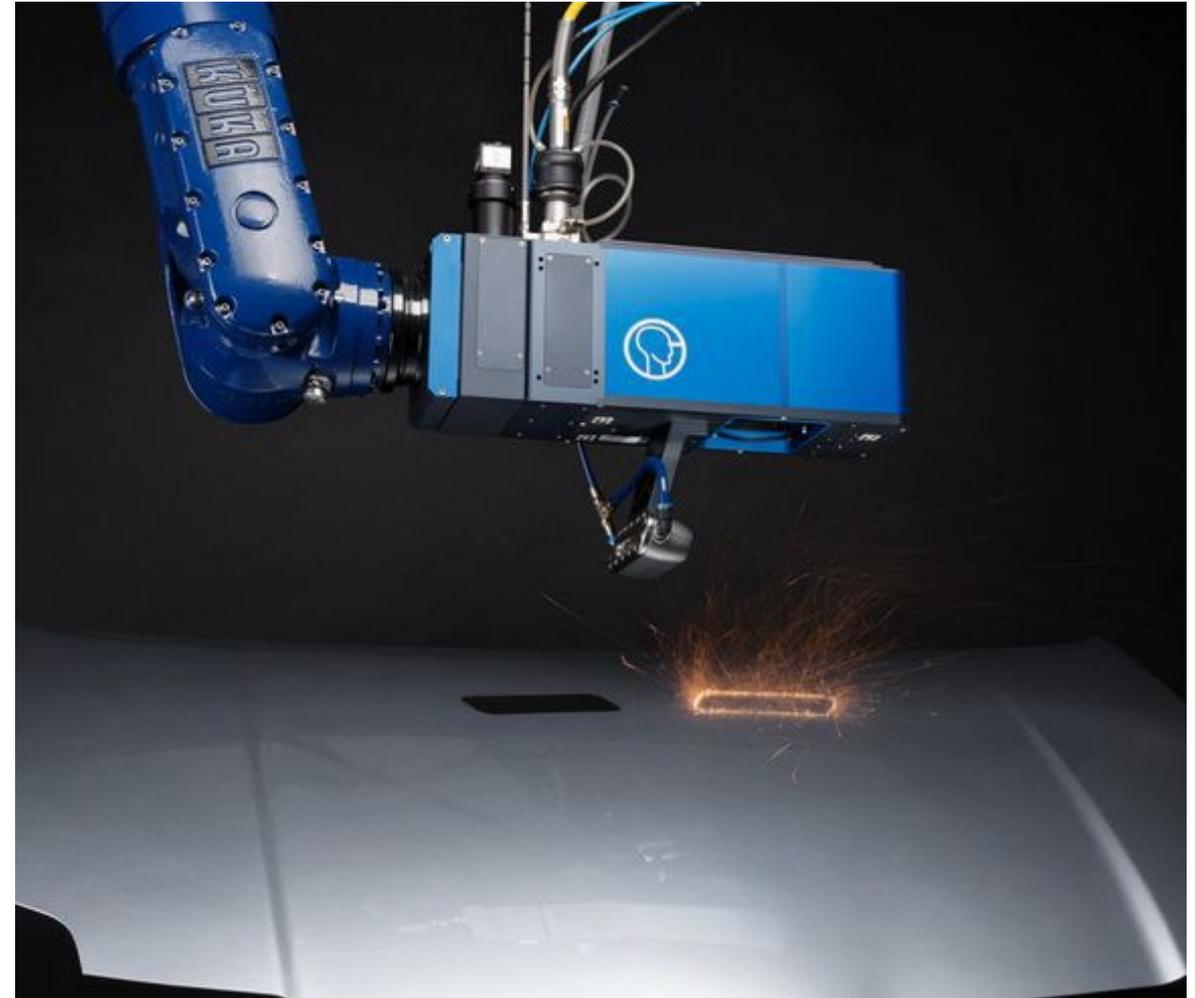
Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Galvanometer-Scanner

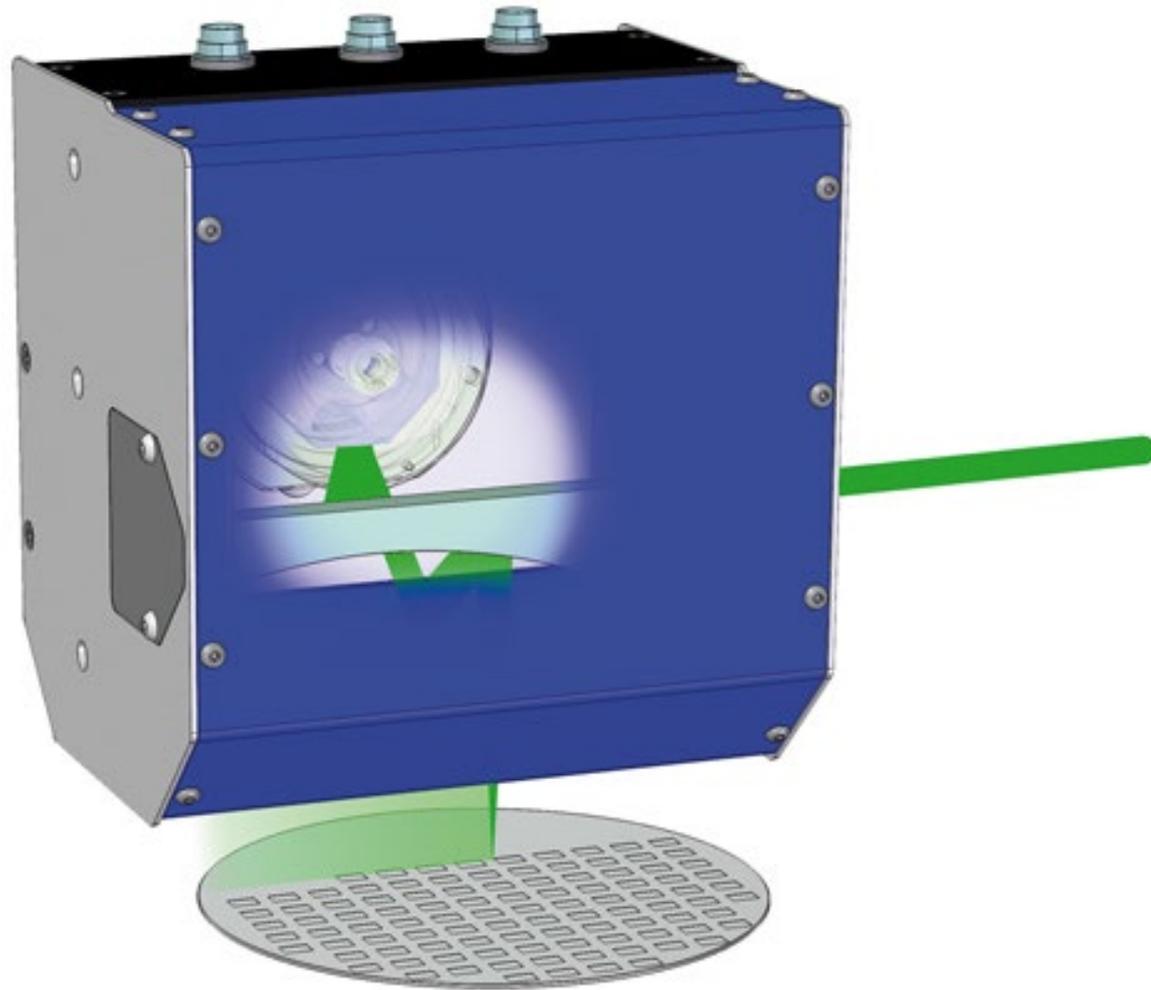


Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Galvanometer-Scanner

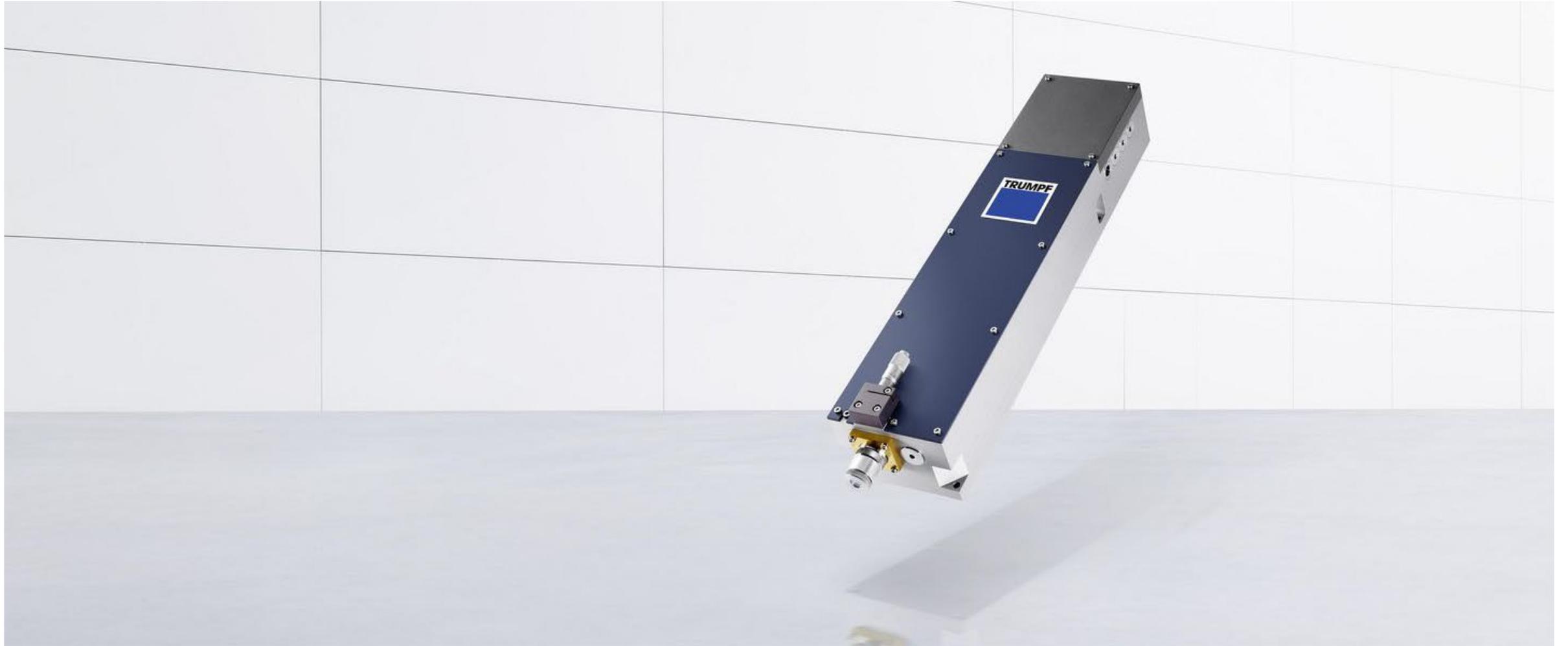


Polygon-Scanner



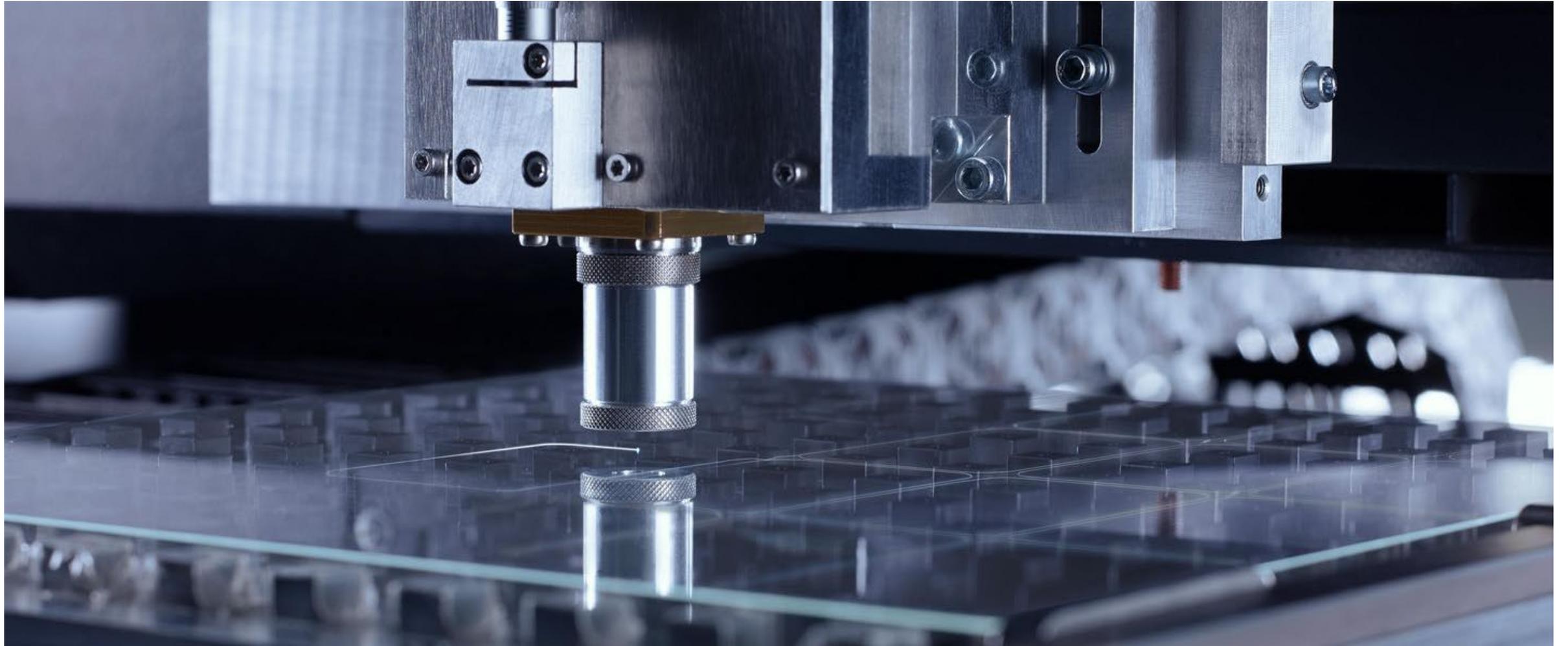
Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Spezial-Optiken



Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Spezial-Optiken



Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Spezial-Optiken



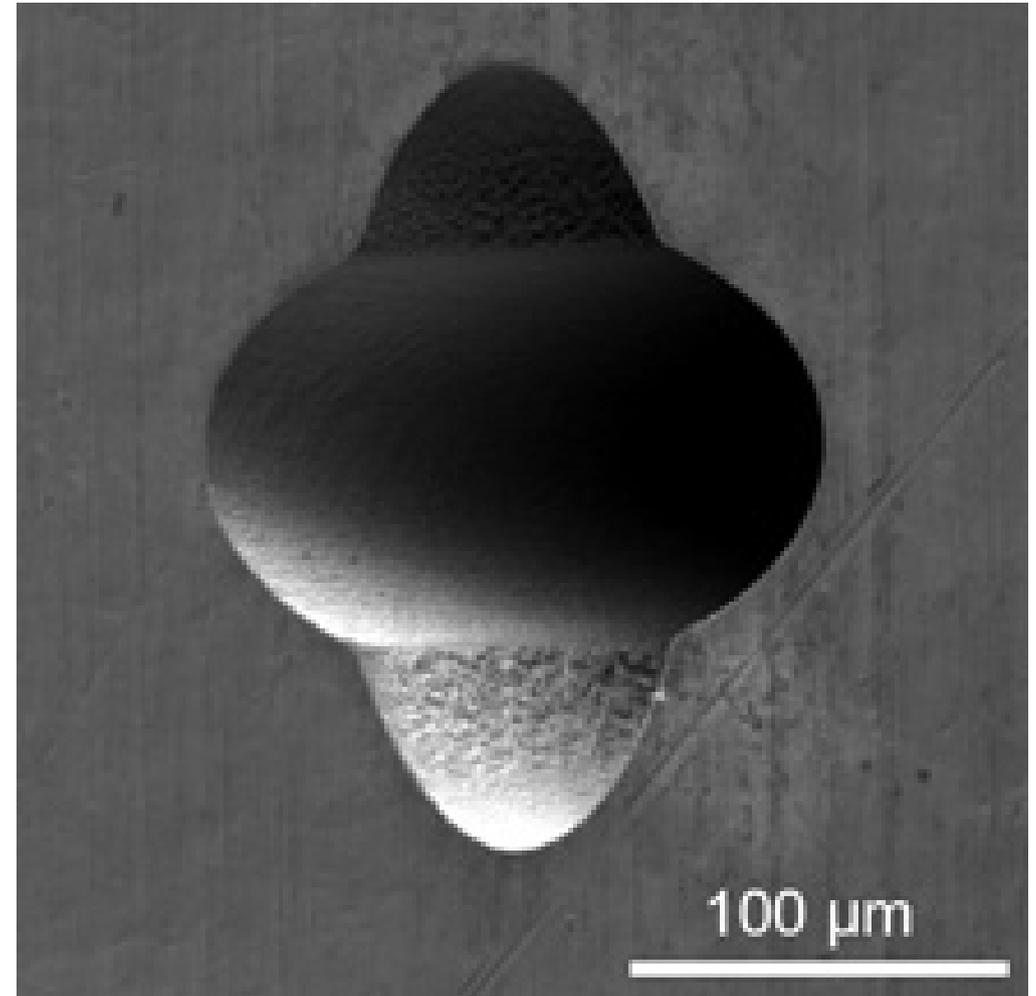
Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

Spezial-Optiken

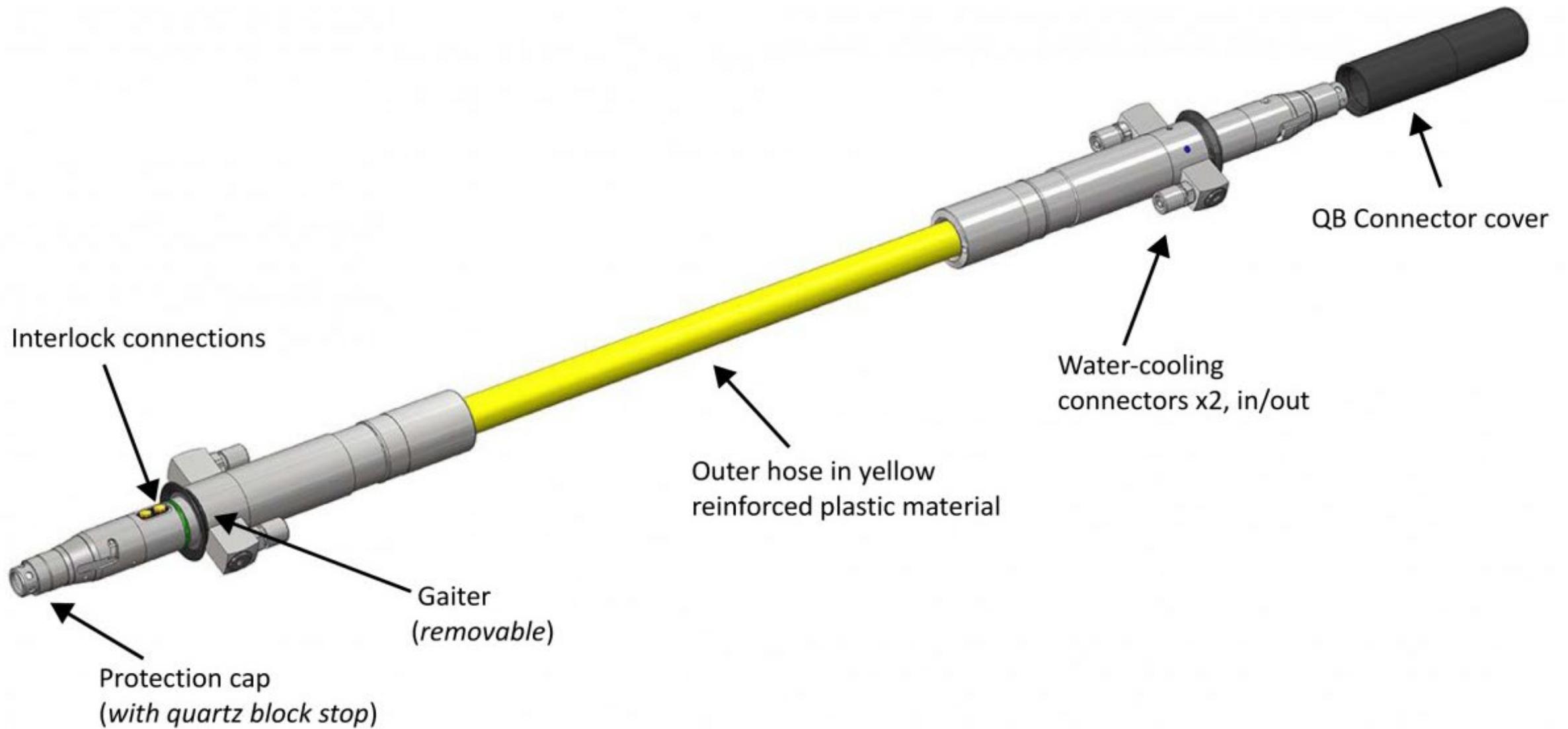


Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

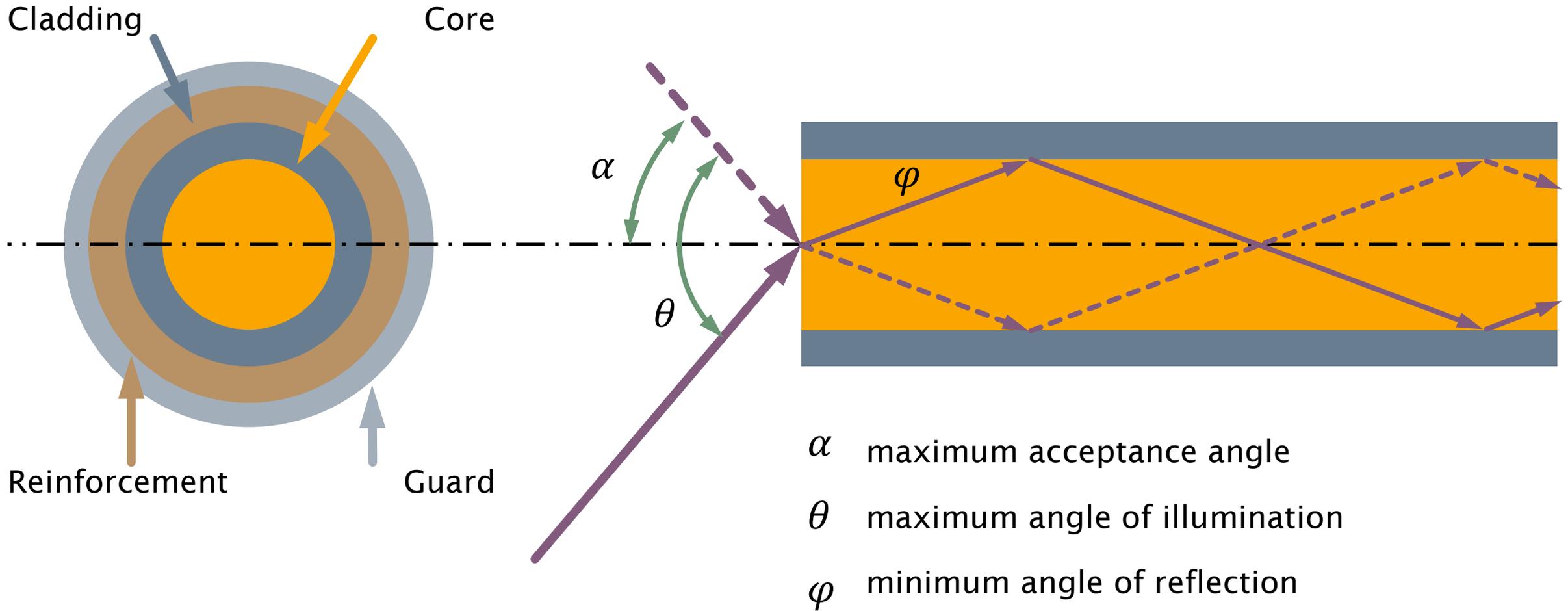
Spezial-Optiken



Lichtleitfasern

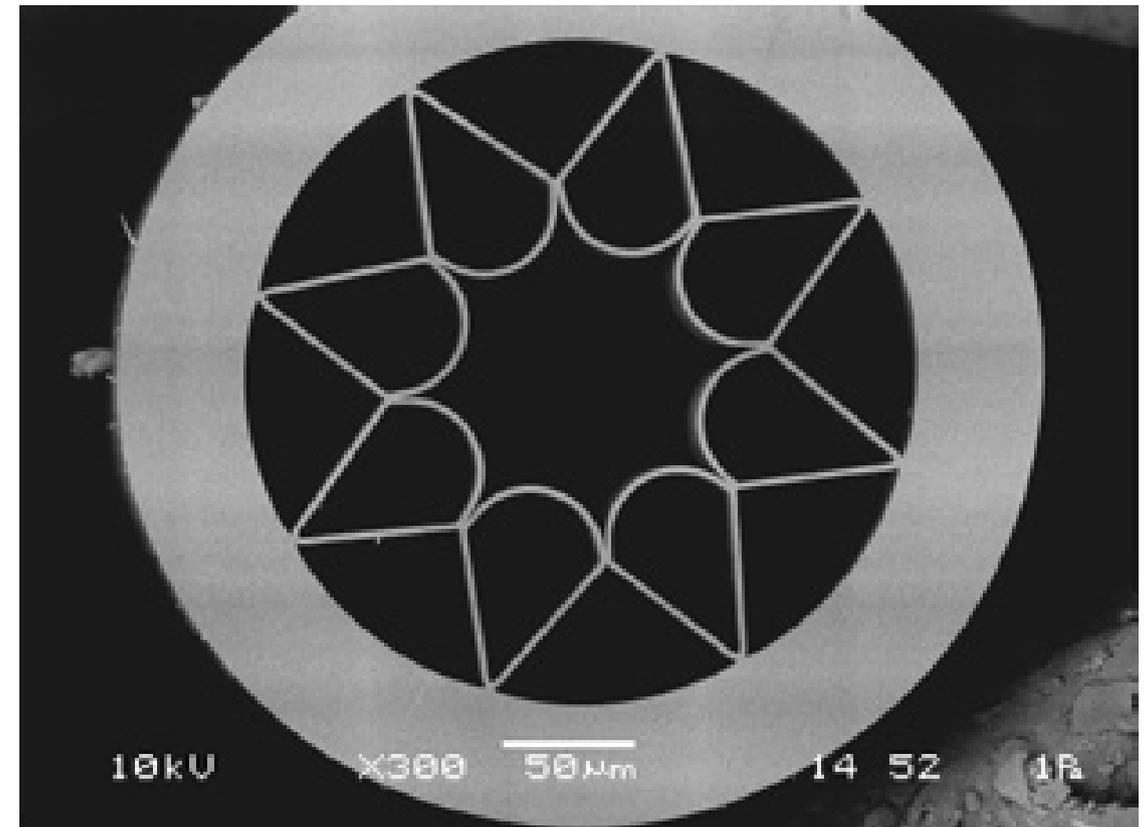
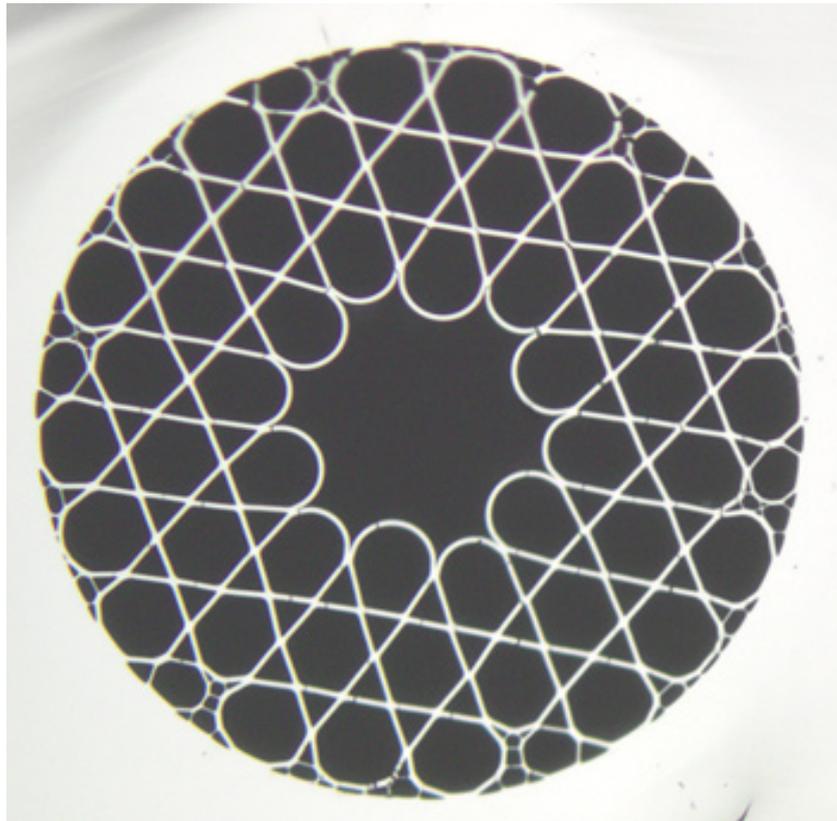


Lichtleitfasern



Lichtleitfasern

Photonische Fasern



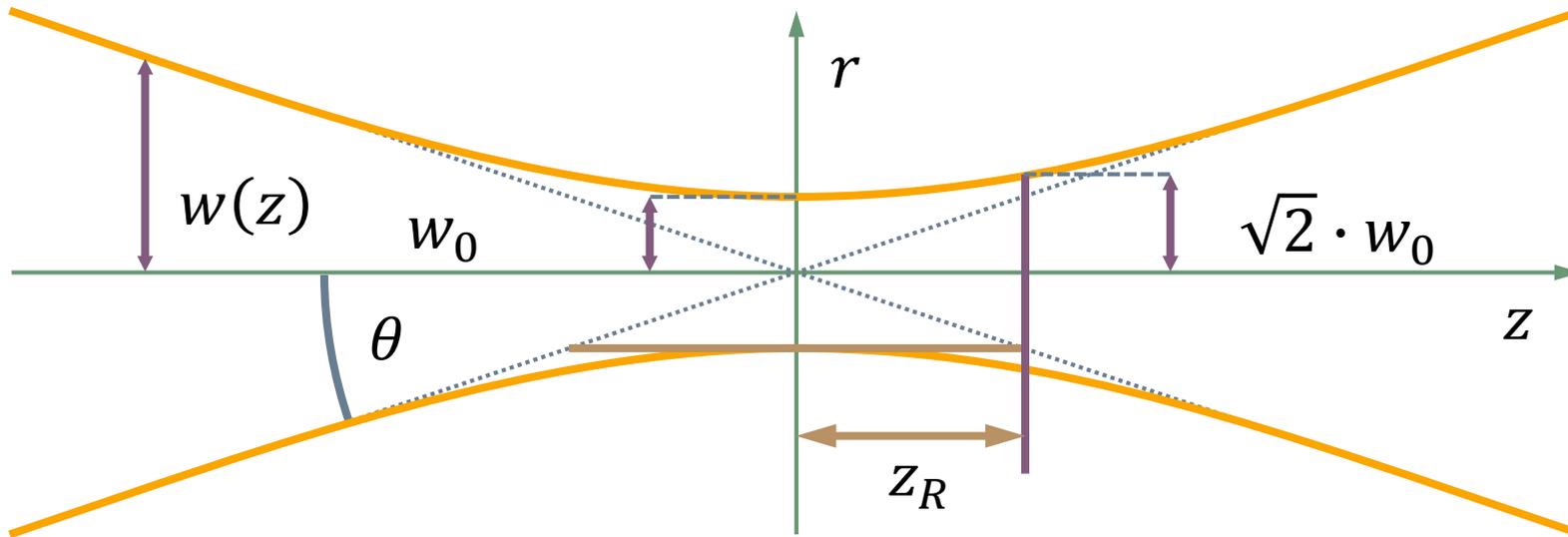
Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation



Überblick

- ▶ Strahlausbreitung
- ▶ Akusto-Optische Modulatoren AOM
- ▶ Diffraktive Optische Elemente DOE
- ▶ Spatial Light Modulators SLM

Gauss-Strahl: Kaustik



Strahlradius:

$$w^2(z) = w_0^2 \left(1 + \left(\frac{z}{z_R} \right)^2 \right)$$

Konfokaler Bereich:
(Rayleighlänge)

$$z_R = \frac{w_0^2 \cdot \pi}{\lambda}$$

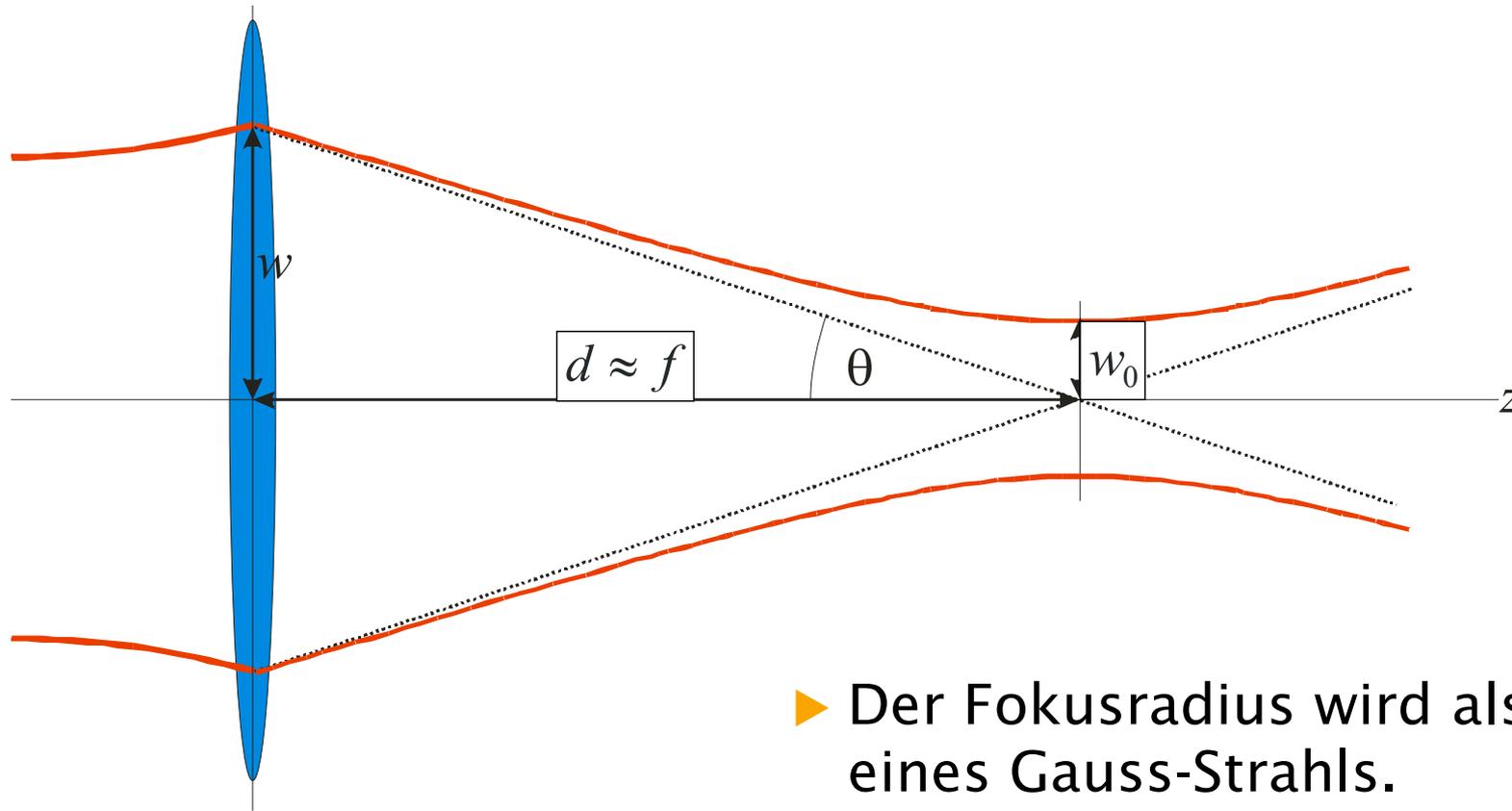
Für kleine Winkel θ gilt $\tan(\theta) = \theta$, und damit:

$$w_0 \cdot \theta = \frac{\lambda}{\pi} \quad \text{Strahlparameterprodukt}$$

$$\tan(\theta) = \frac{w_0}{z_R} = \frac{\lambda}{\pi \cdot w_0}$$

Strahltaile (Fokusradius) und Strahldivergenz sind nicht unabhängig voneinander. Je kleiner der Fokusradius wird, desto grösser wird die Divergenz des Strahls.

Multimode-Strahl: Fokussierung



$$\frac{w}{f} = \tan(\theta) \approx \theta$$

$$w_0 \cdot \theta = w_0 \cdot \frac{w}{f} = M^2 \cdot \frac{\lambda}{\pi}$$

$$w_0 = M^2 \cdot \frac{\lambda}{\pi} \cdot \frac{f}{w}$$

- ▶ Der Fokusradius wird also M^2 mal grösser, als der eines Gauss-Strahls.
- ▶ Die Fläche des Fokus wird sogar M^4 mal grösser und die erreichte Intensität damit M^4 mal kleiner.

Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

Verzögerungsplatten

Verzögerungs- oder Wellenplatte (auch: λ/n -Plättchen):

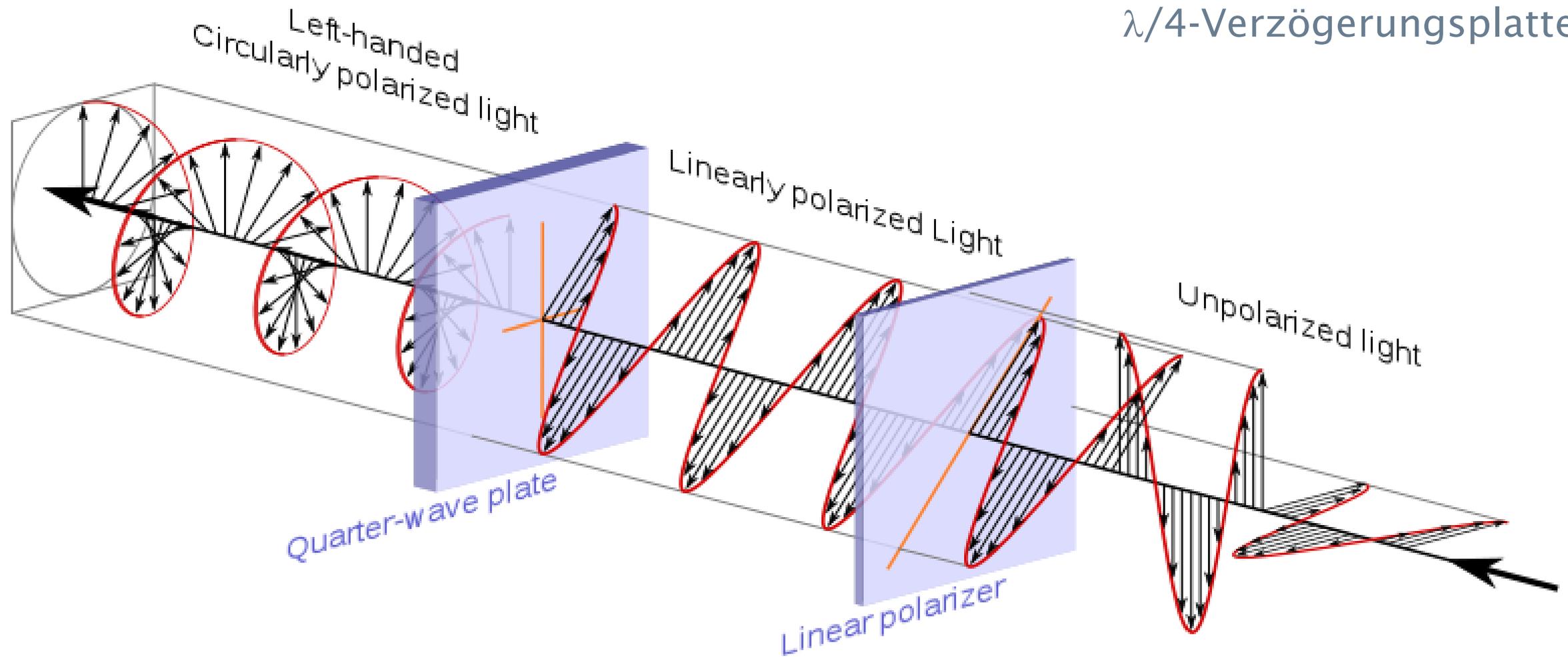
optisches Bauelement, ändert Polarisation und Phase von elektromagnetischen Wellen

- ▶ Ein **$\lambda/4$ -Plättchen** verzögert Licht um eine viertel Wellenlänge gegenüber dazu senkrecht polarisiertem Licht.
Es kann aus linear polarisiertem Licht zirkular oder elliptisch polarisiertes Licht machen und aus zirkular polarisiertem Licht wieder linear polarisiertes.
- ▶ Ein **$\lambda/2$ -Plättchen** verzögert Licht um eine halbe Wellenlänge gegenüber dazu senkrecht polarisiertem Licht.
Es kann die Polarisationsrichtung von linear polarisiertem Licht um einen wählbaren Winkel drehen.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Verz%C3%B6gerungsplatte>

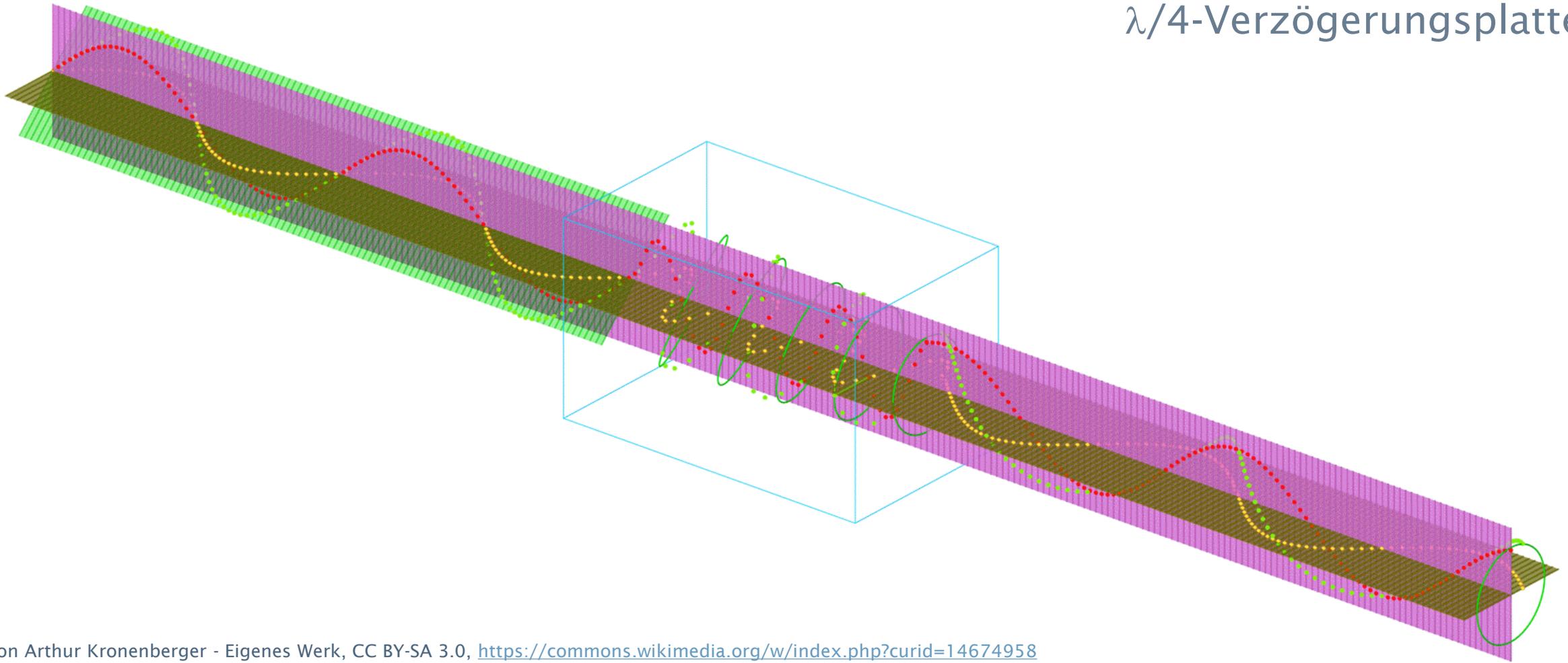
Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

$\lambda/4$ -Verzögerungsplatte



Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

$\lambda/4$ -Verzögerungsplatte



Von Arthur Kronenberger - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14674958>

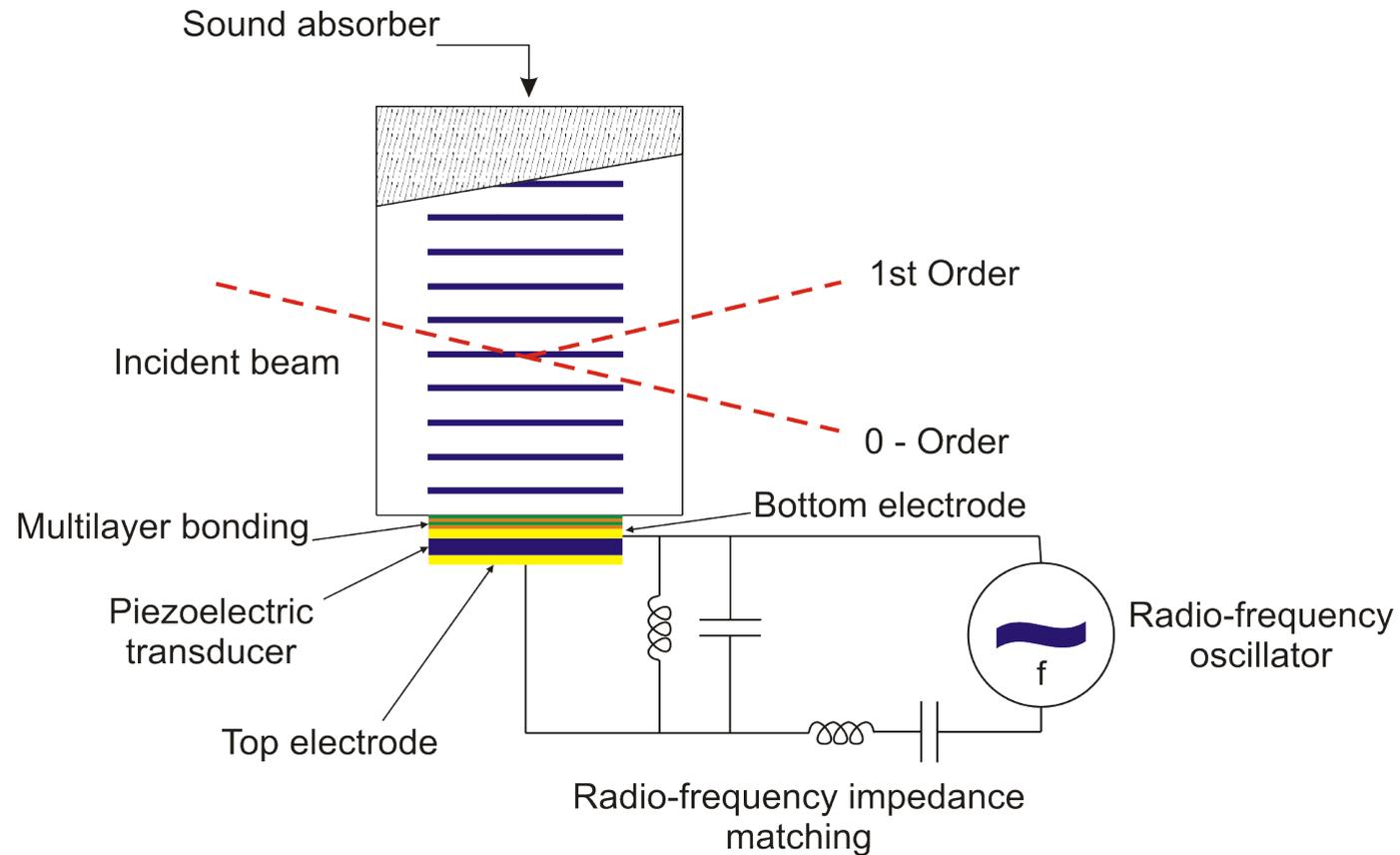
Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

Akusto-Optische Modulatoren AOM

- ▶ Optisches Bauelement, beeinflusst einfallendes Licht in Frequenz und Ausbreitungsrichtung oder Intensität
In transparentem Festkörper wird mit Schallwellen ein optisches Gitter erzeugt.
An Gitter wird der Lichtstrahl gebeugt und gleichzeitig in seiner Frequenz verschoben.
- ▶ Schallwelle mit Frequenz f bewirkt periodische Änderung der Dichte und damit eine periodische Modulation des Brechungsindex.
Abstand der „Gitterlinien“ ist gleich der Wellenlänge Λ der Ultraschallwelle
Berechnung über Schallgeschwindigkeit c_{Schall} und Schallfrequenz f
$$\lambda_{\text{Schall}} = c_{\text{Schall}}/f.$$
- ▶ Typische Schallgeschwindigkeiten liegen zwischen 3700 und 4300 m/s.
- ▶ Eine Frequenz f von 195 MHz ergibt eine Gitterkonstante von 19 bis 22 μm .

https://de.wikipedia.org/wiki/Akustooptischer_Modulator

Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation



Akusto-Optischer Modulator
Prinzipieller Aufbau



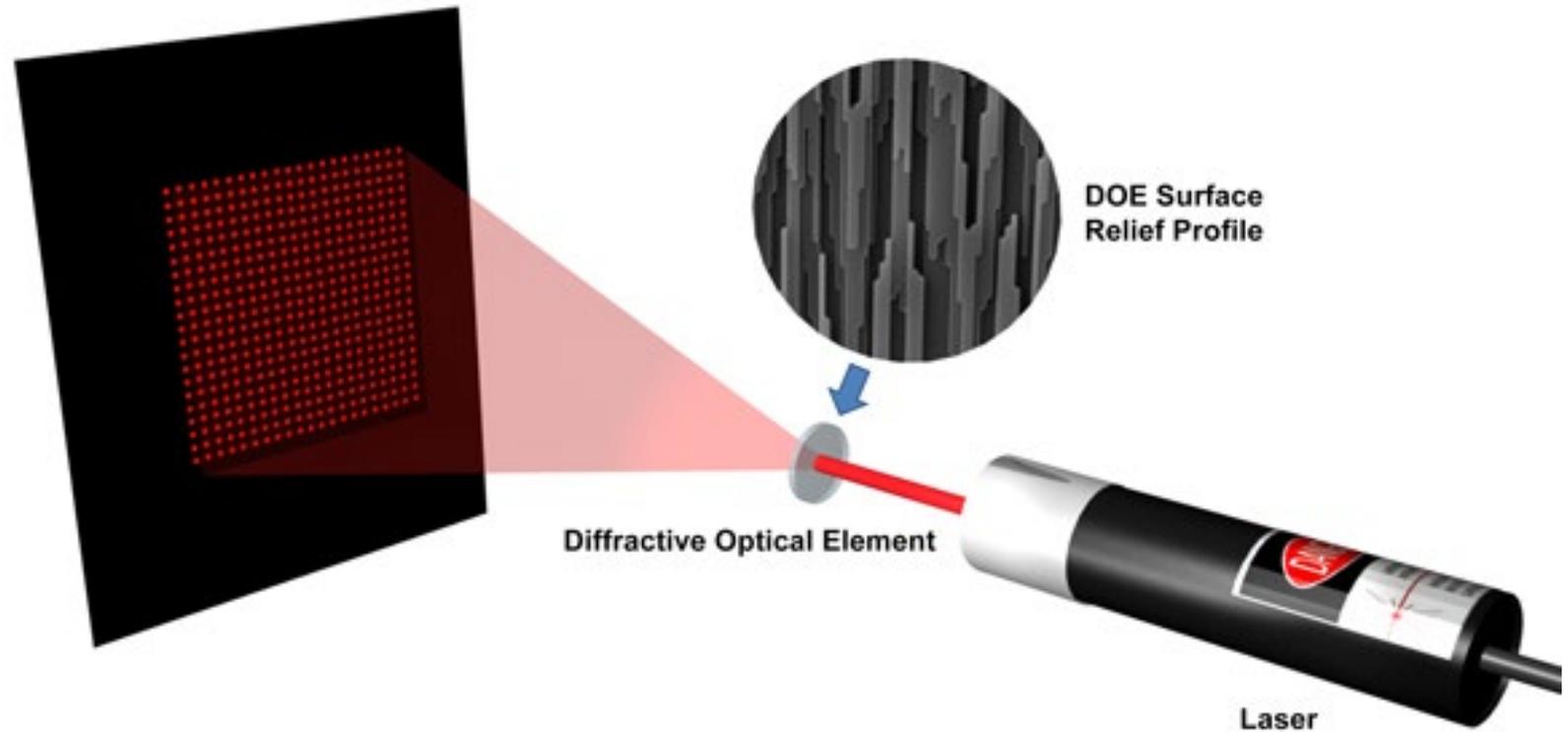
Akusto-Optischer Modulator
Beispiel

Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

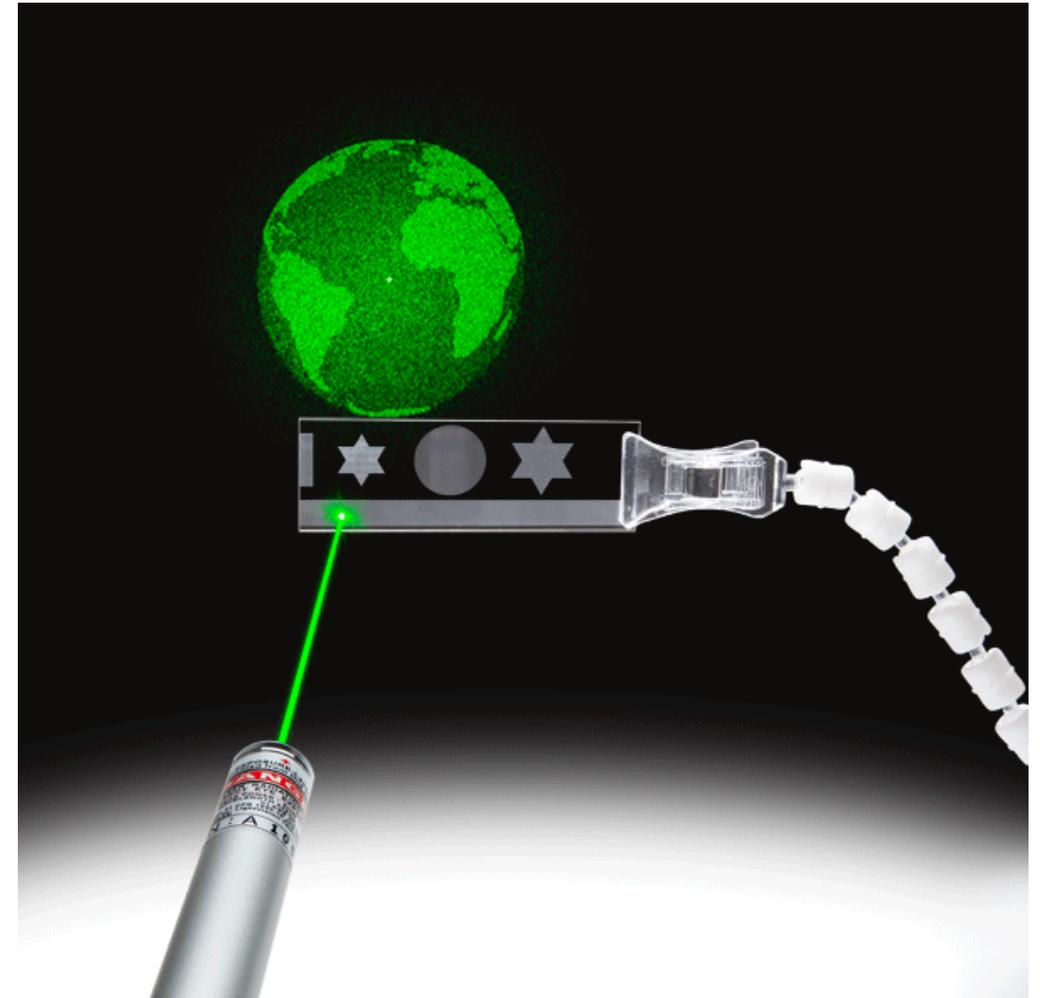
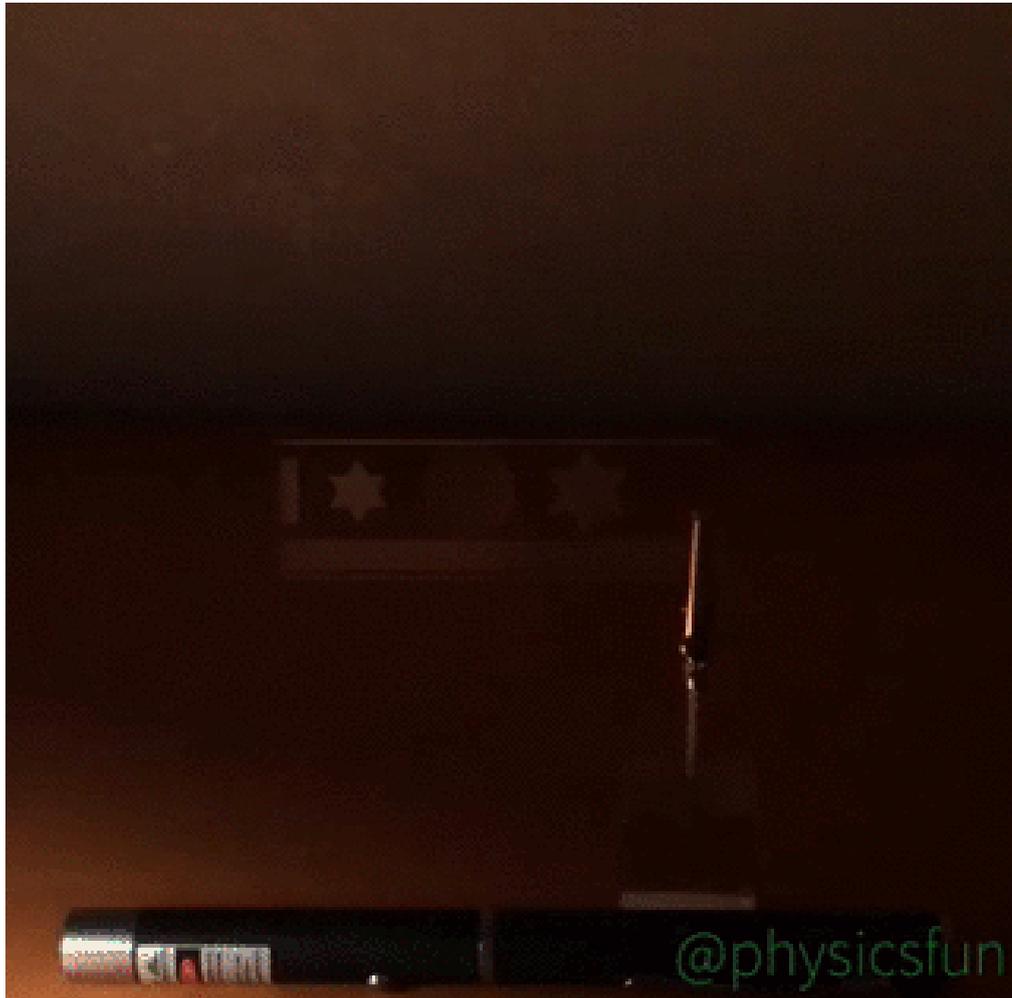
Diffraktive Optische Elemente DOE

Aufgaben

- ▶ Beam Shaping (Strahlformung)
- ▶ Beam Splitting (Zerlegung in Teilstrahlen)

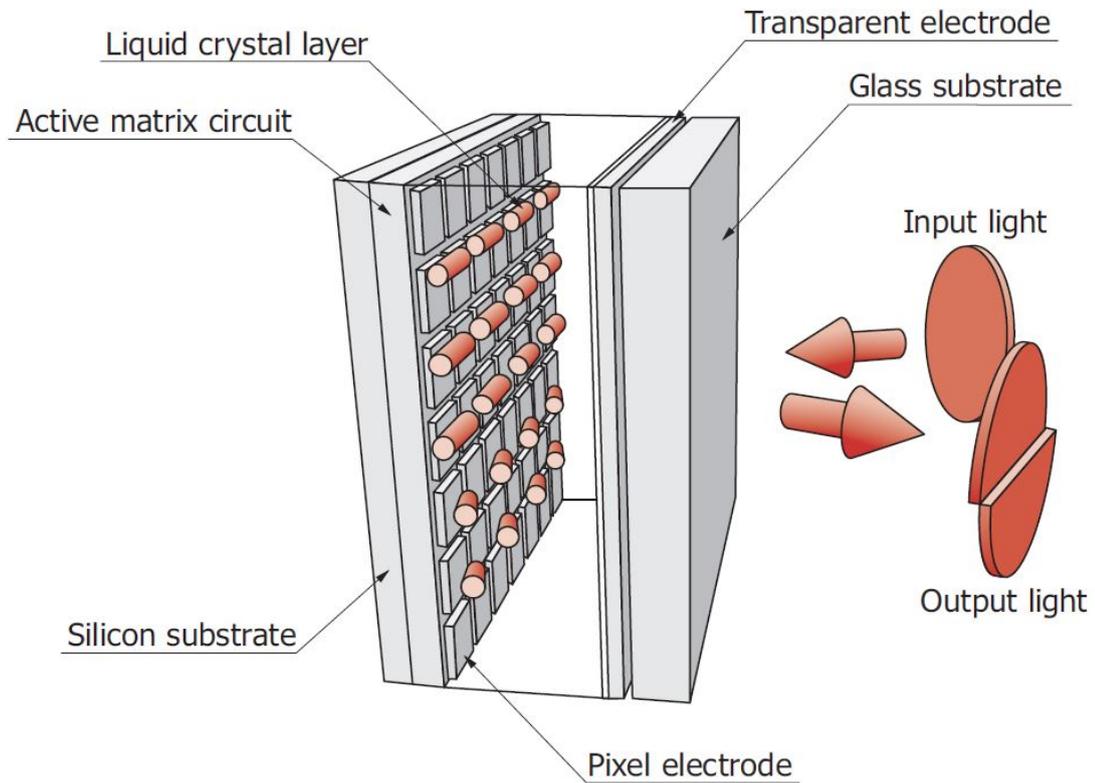


Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation



Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

Spatial Light Modulators SLM

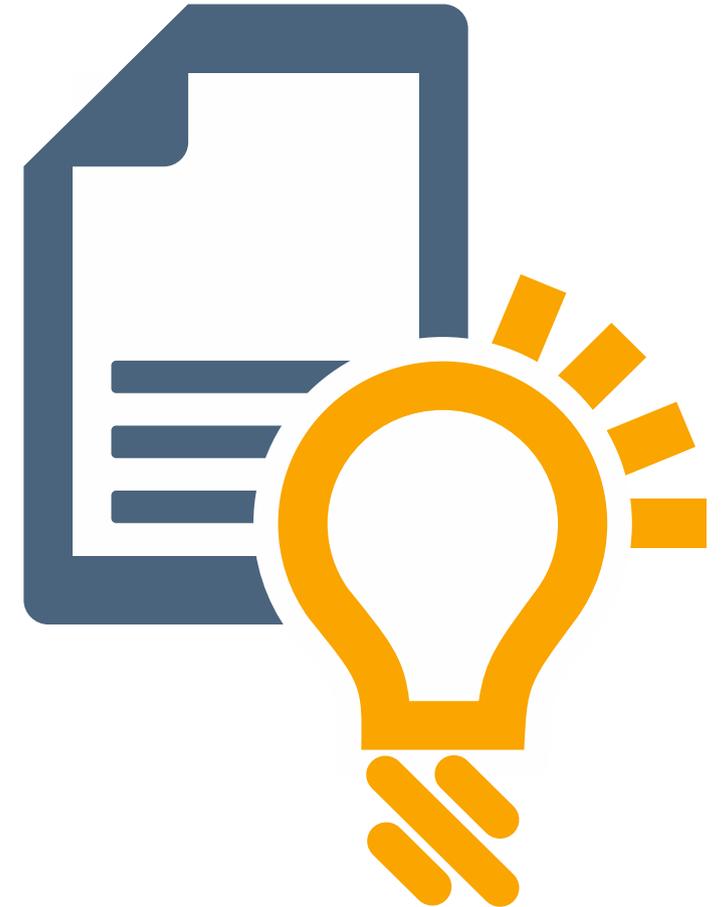
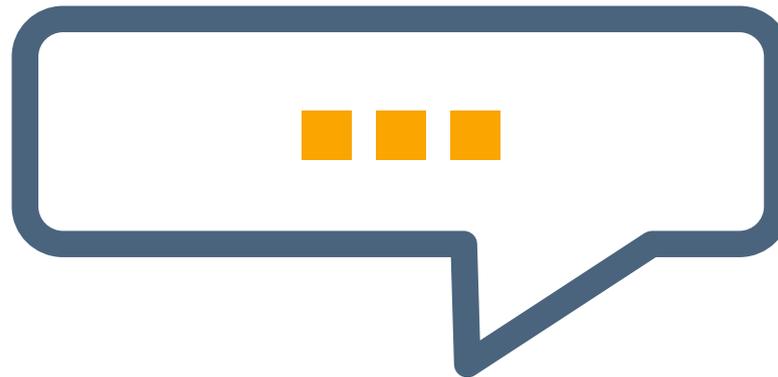


Systemtechnik



Anmerkungen?

Fragen?



Ideen?