



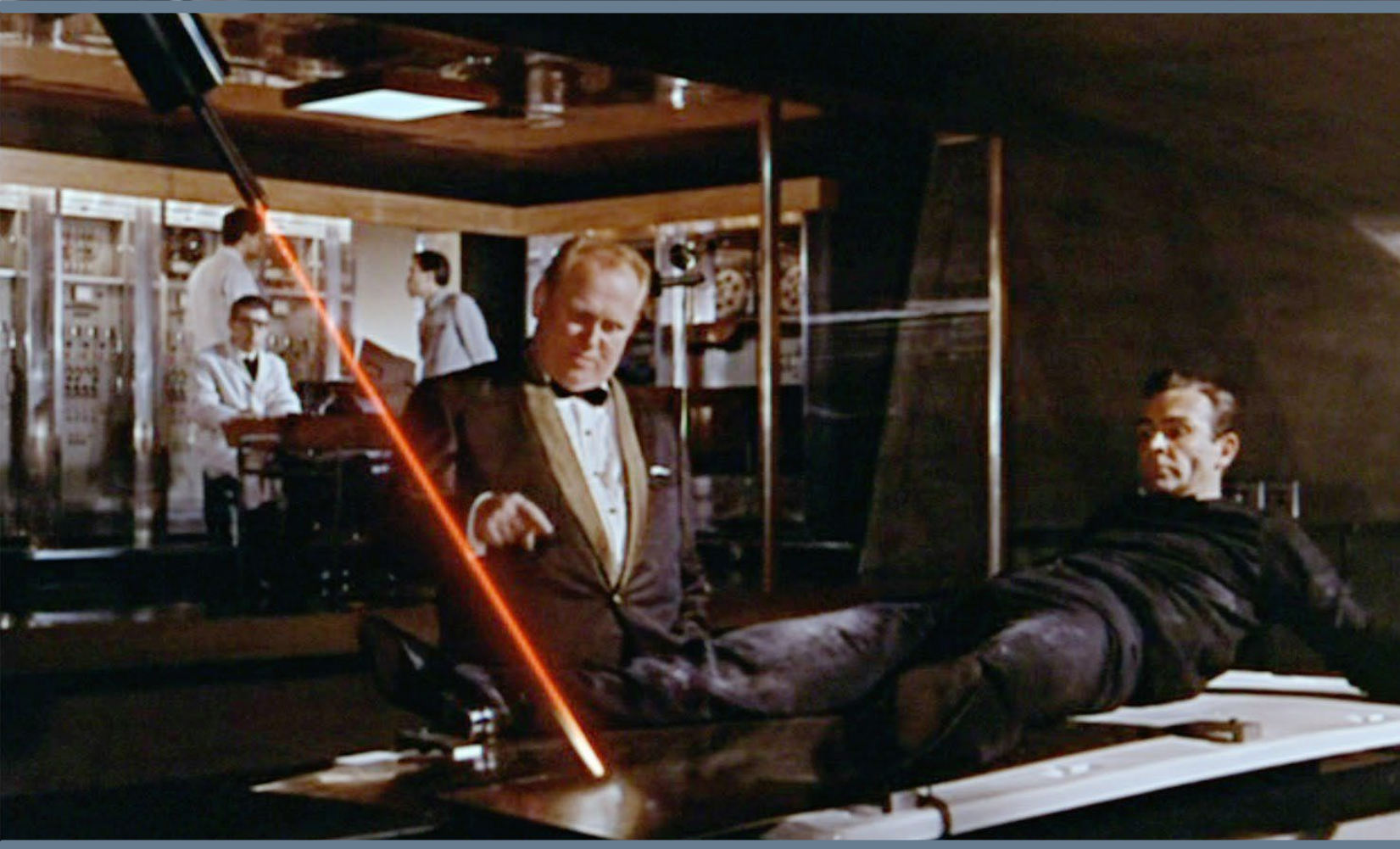
Berner Fachhochschule  
Haute école spécialisée bernoise  
Bern University of Applied Sciences

# 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

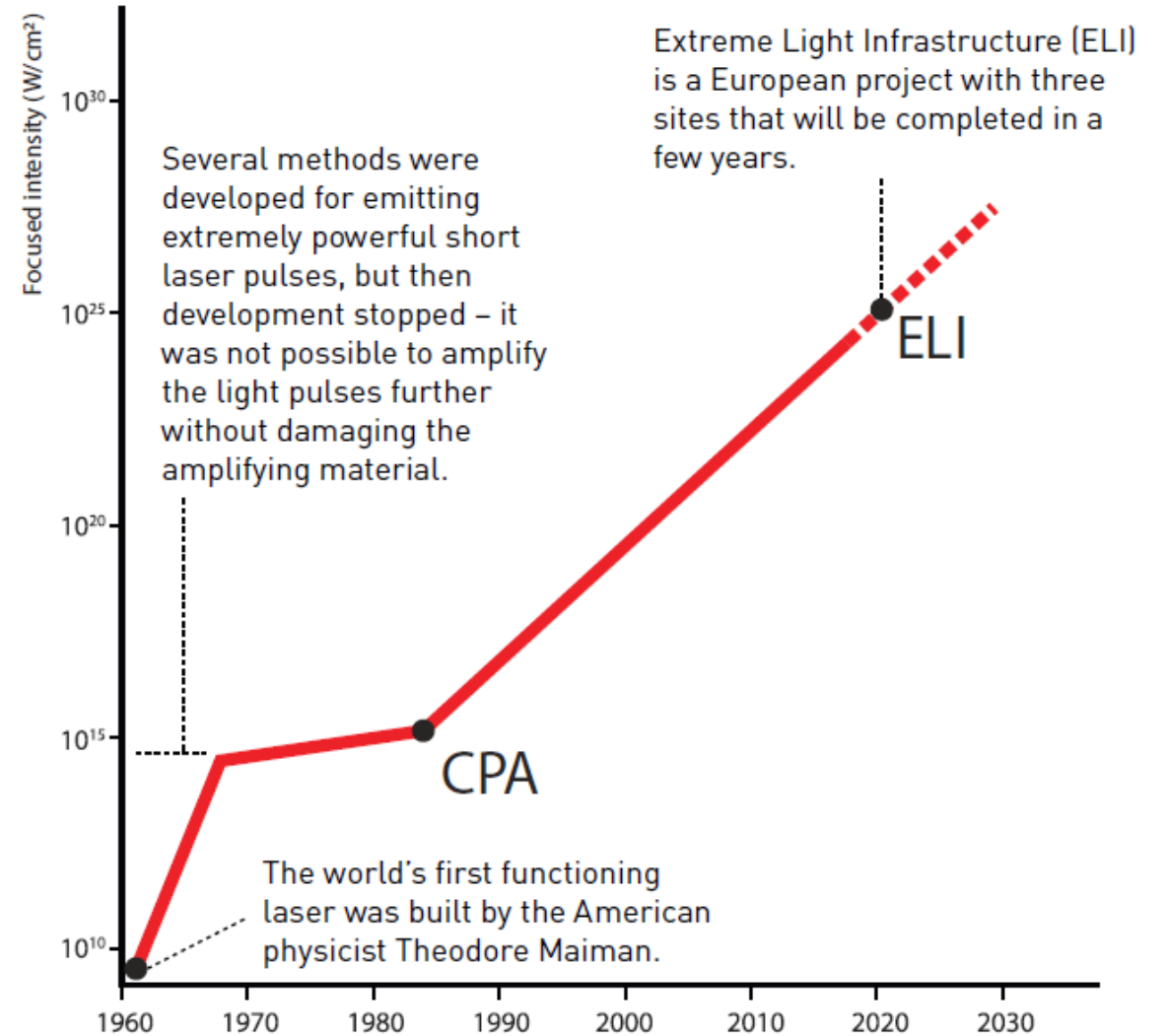
University of Michigan, Ann Arbor, USA

and

Donna Strickland

University of Waterloo, Canada

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



# Einleitung

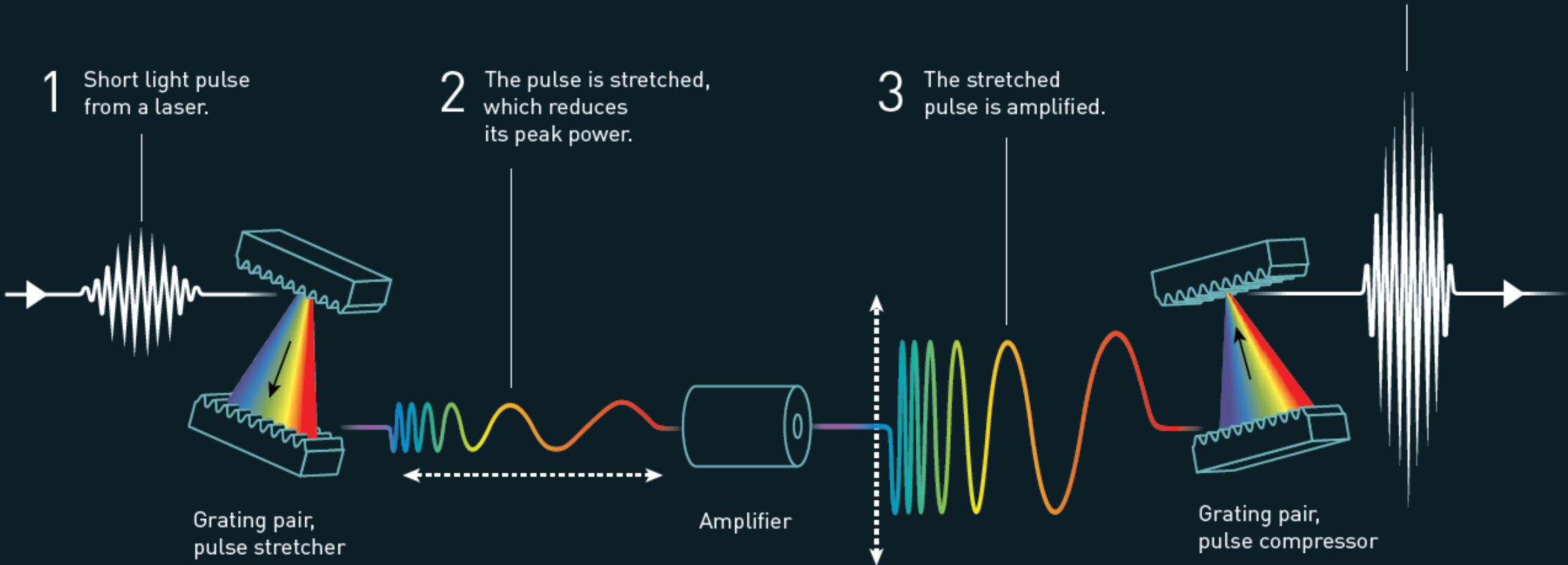
## CPA - chirped pulse amplification

1 Short light pulse from a laser.

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

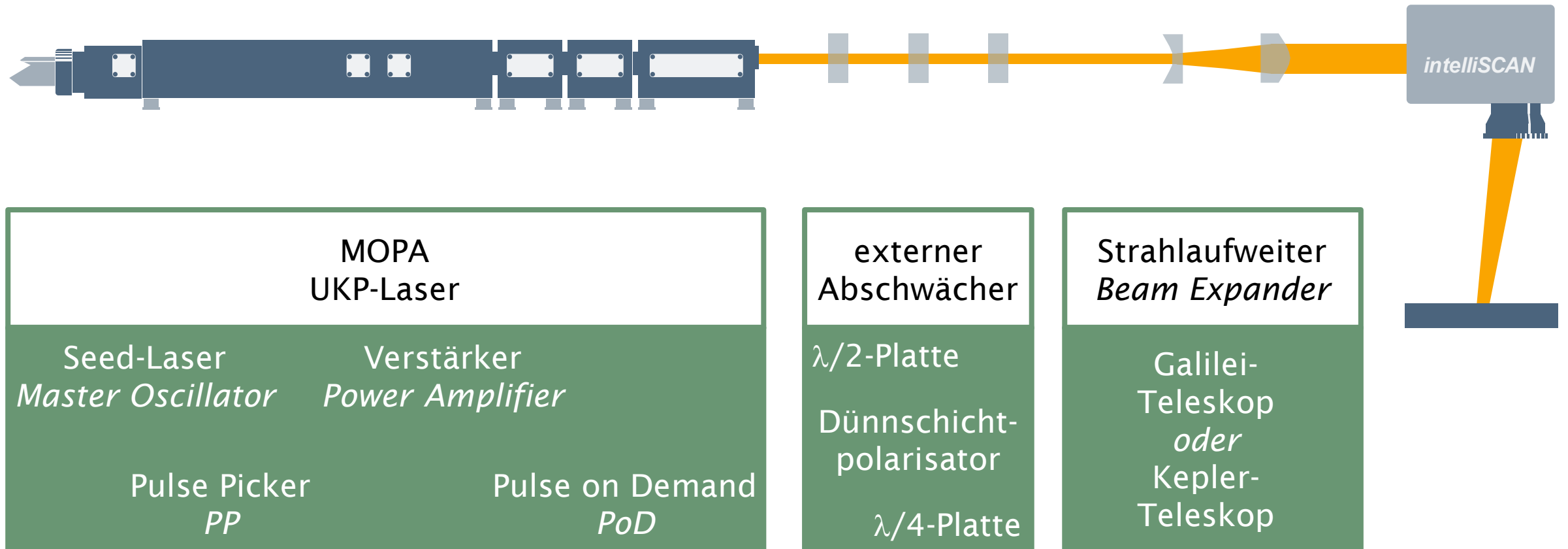
3 The stretched pulse is amplified.

4 The pulse is compressed and its intensity increases dramatically.



# Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

## Typischer Aufbau | Strahlengang



# Typen ultrakurz gepulster Laser



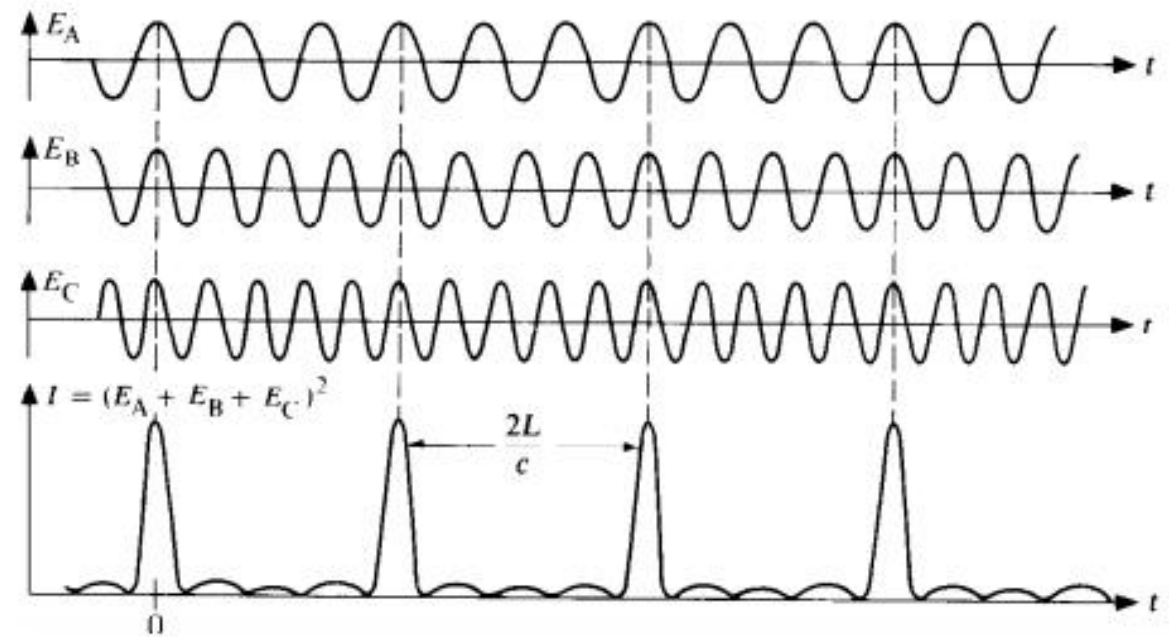
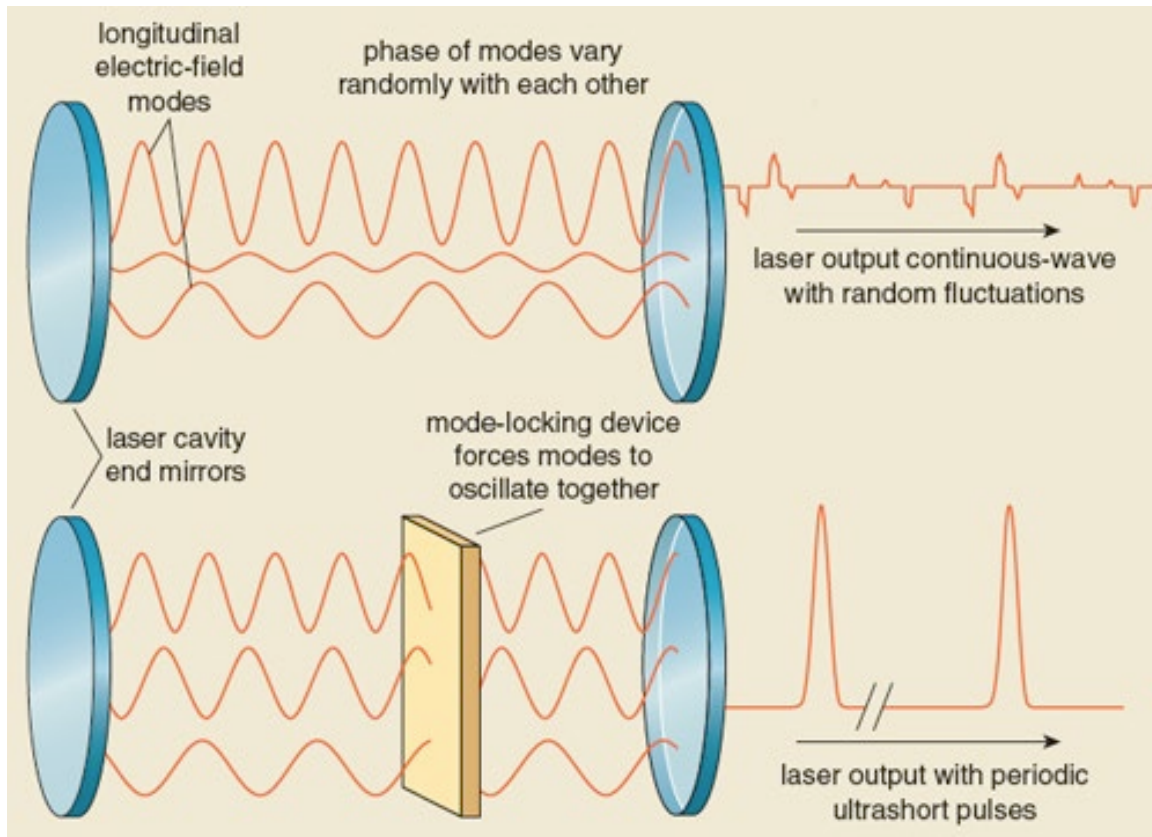
## Überblick

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



# Gepulste Lasersysteme

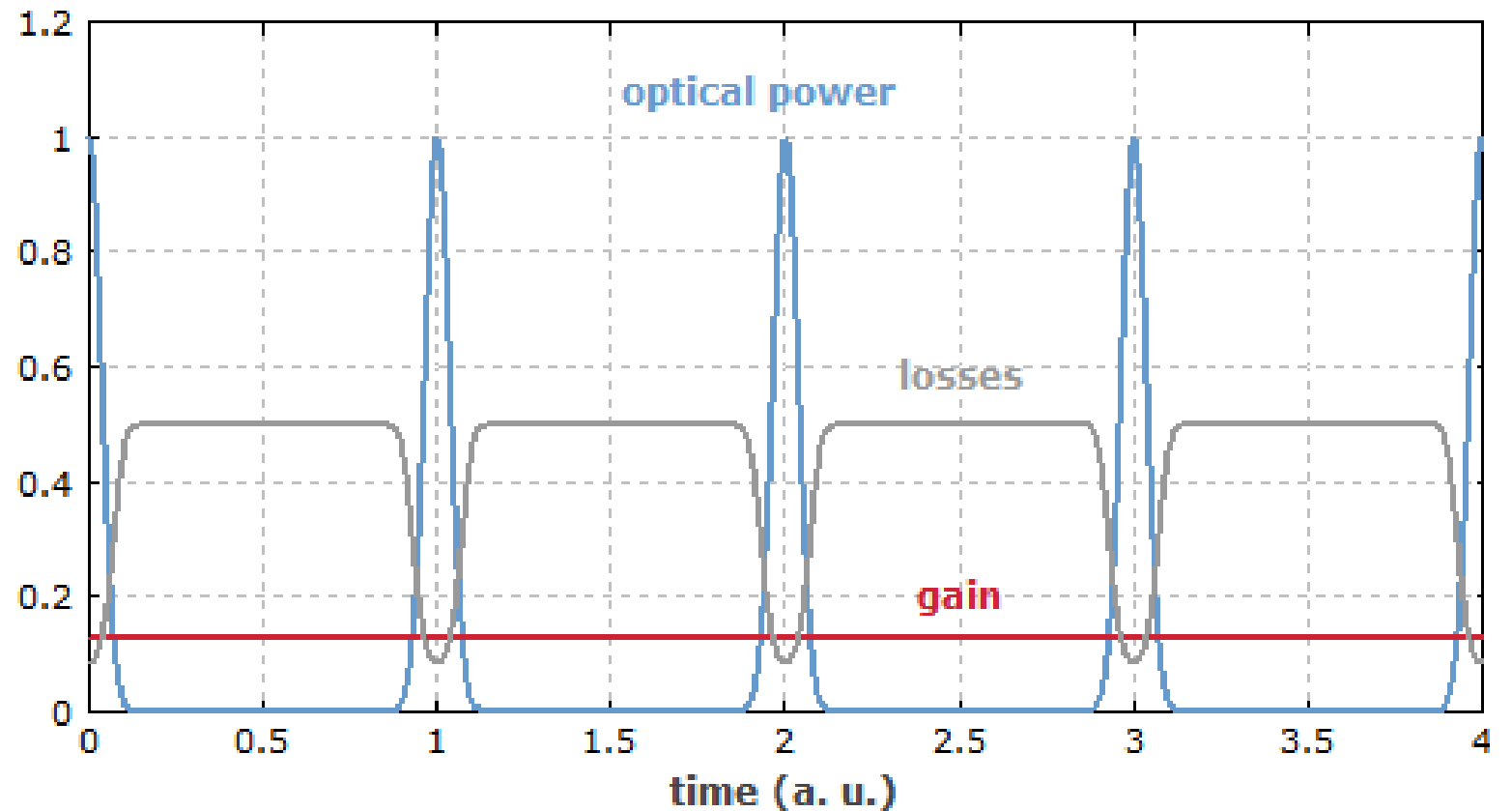
## Modenkopplung | Modelocking



# Gepulste Lasersysteme

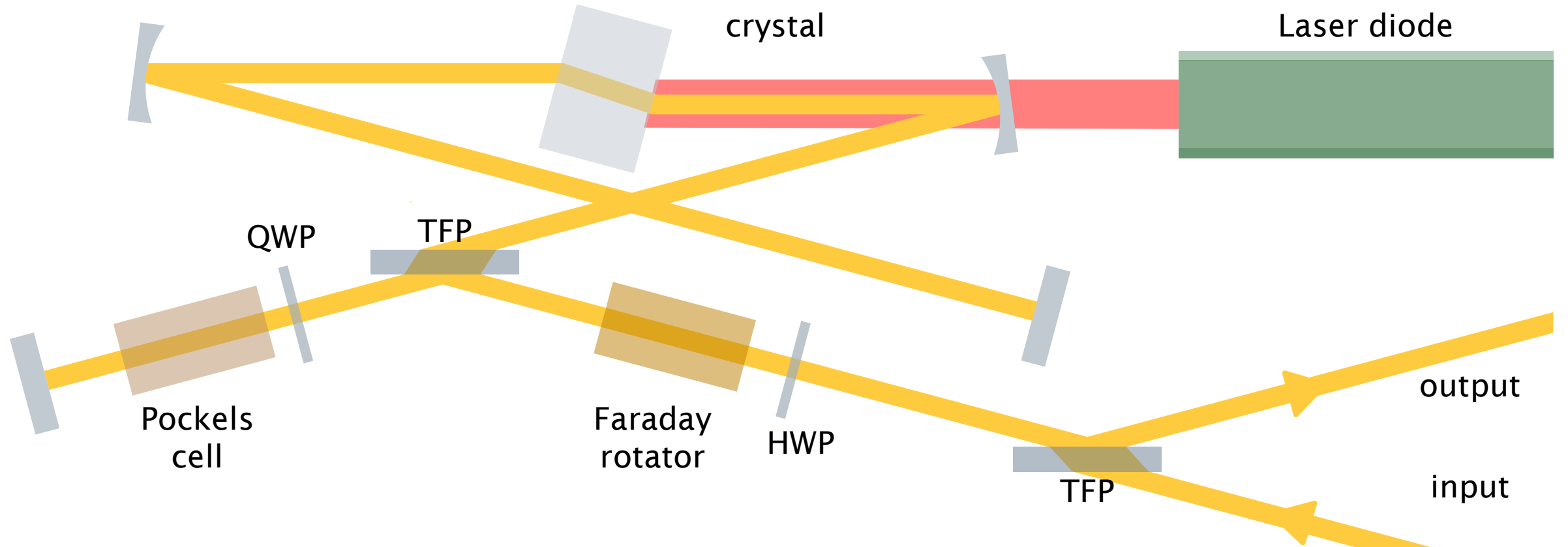
## Modenkopplung | Modelocking

- ▶ Modulation der Resonatorverluste
- ▶ Einsatz von sättigbaren Absorbern



# Gepulste Lasersysteme

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



Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

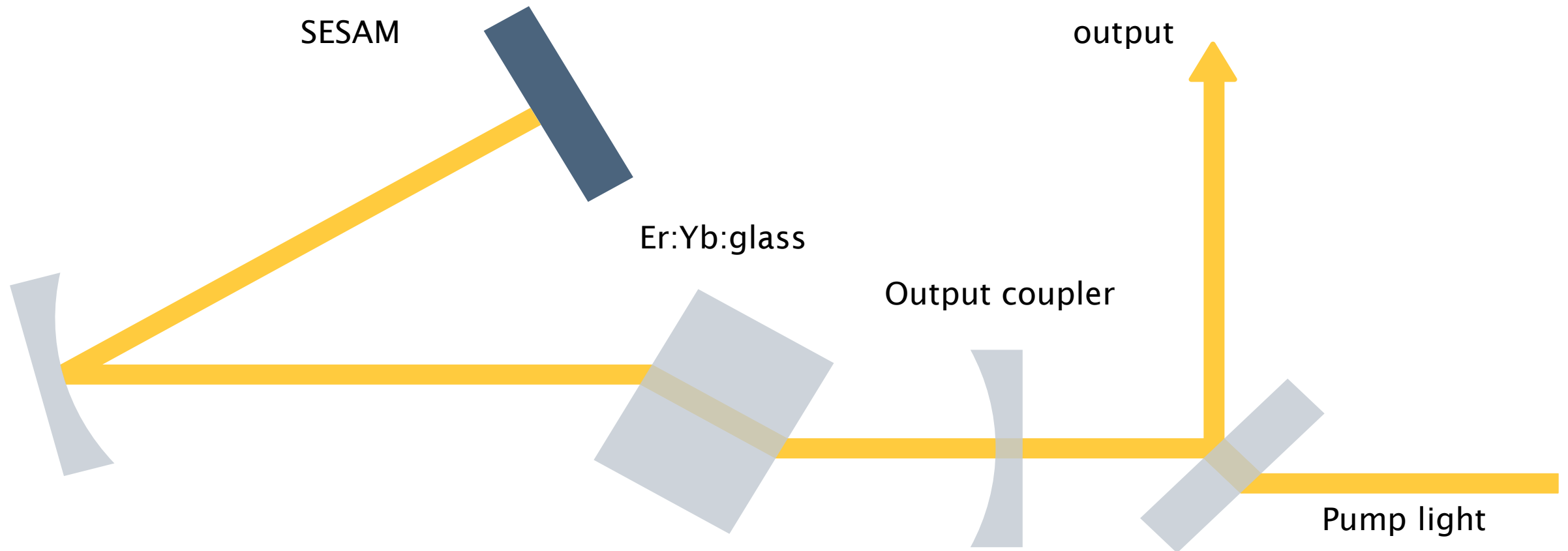
# Gepulste Lasersysteme

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



# Gepulste Lasersysteme

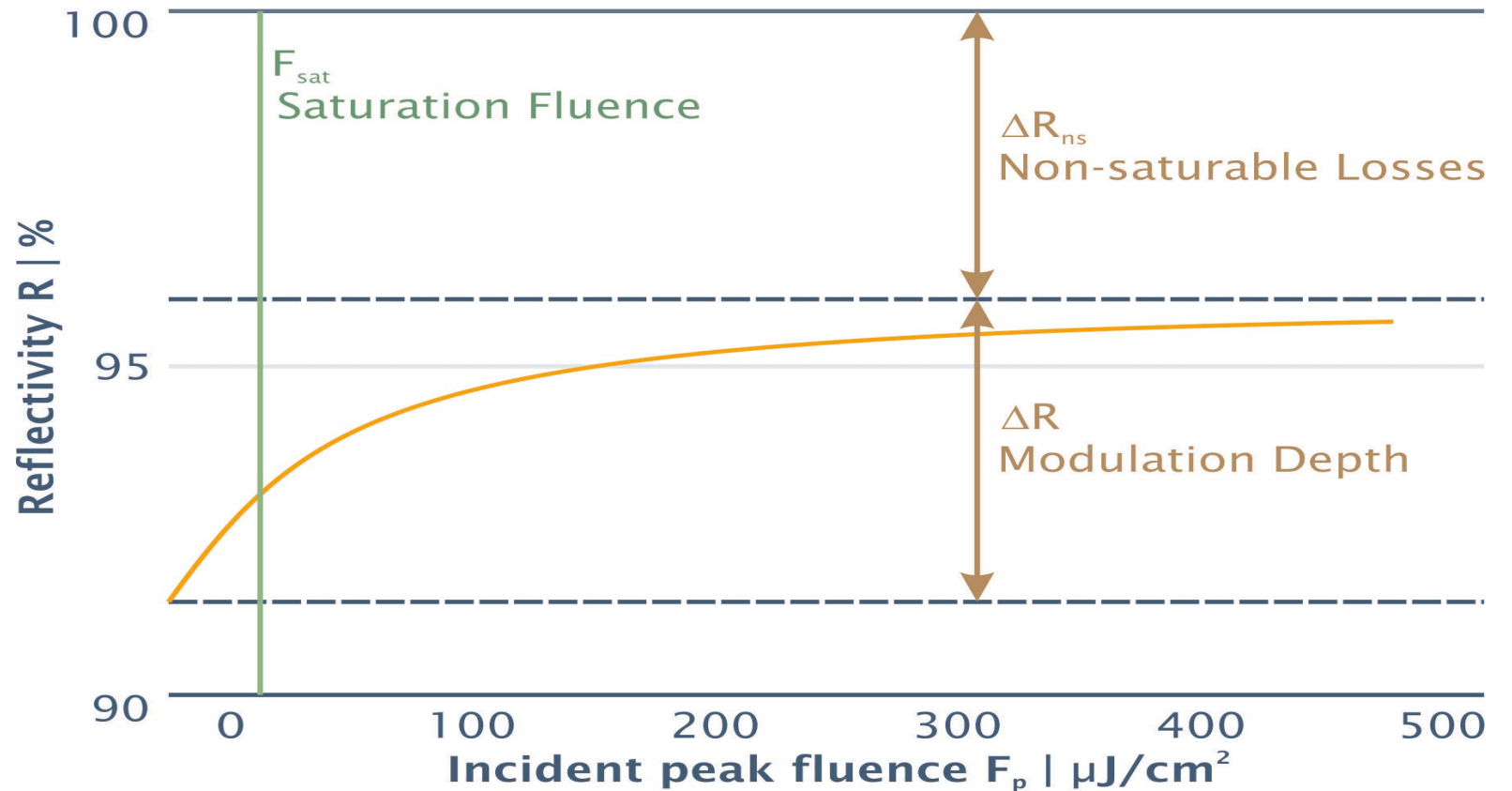
MOPA | **M**aster-**O**scillator **P**ower-**A**mplifier



# Gepulste Lasersysteme

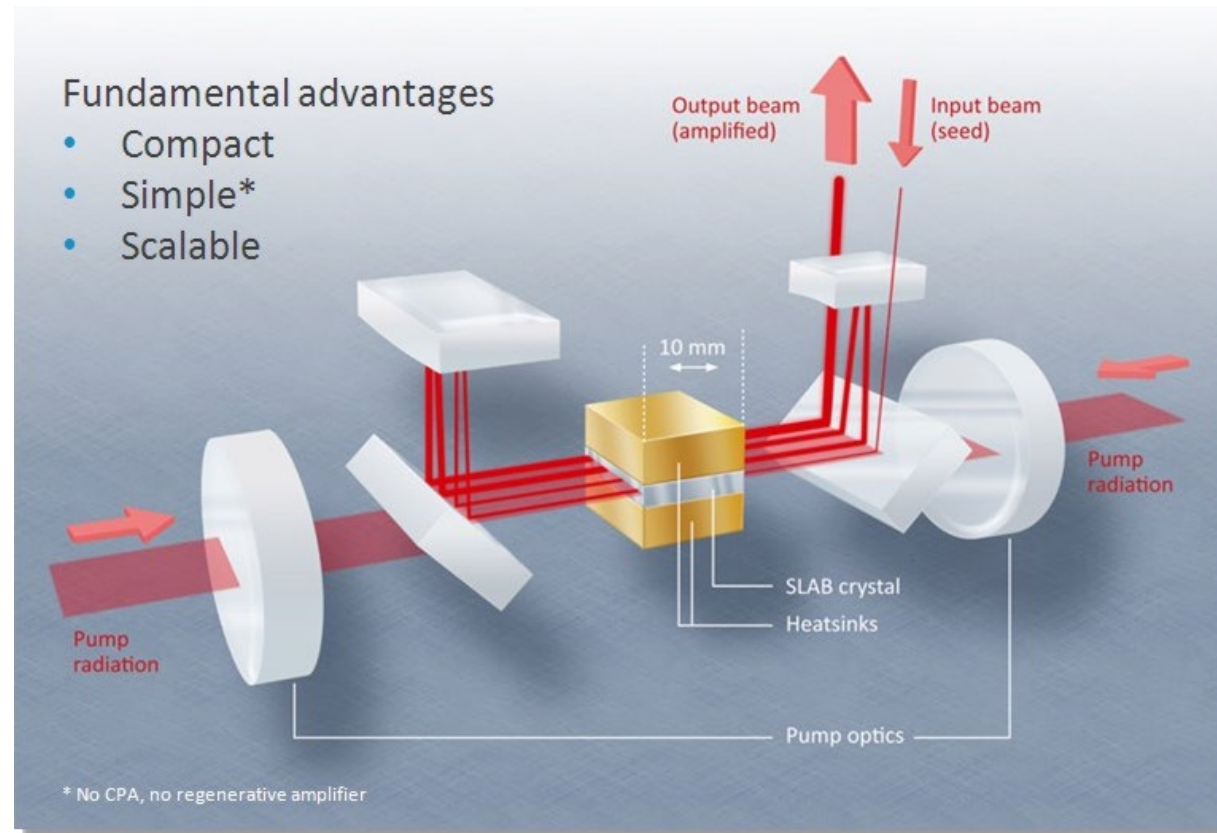
## SEmiconductor Saturable Absorber-Mirror (SESAM)

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

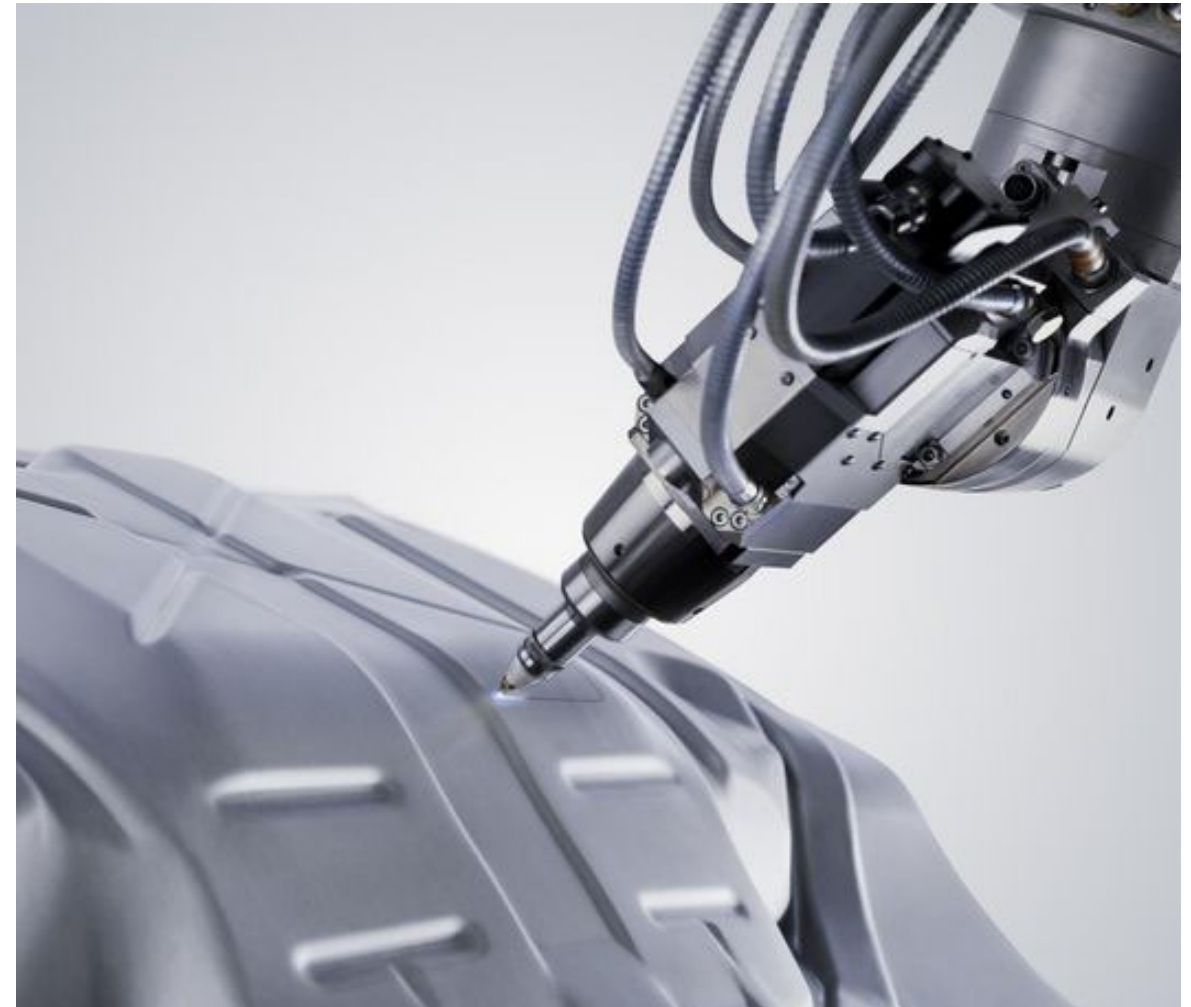


# Fixoptiken



Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

# Fixoptiken

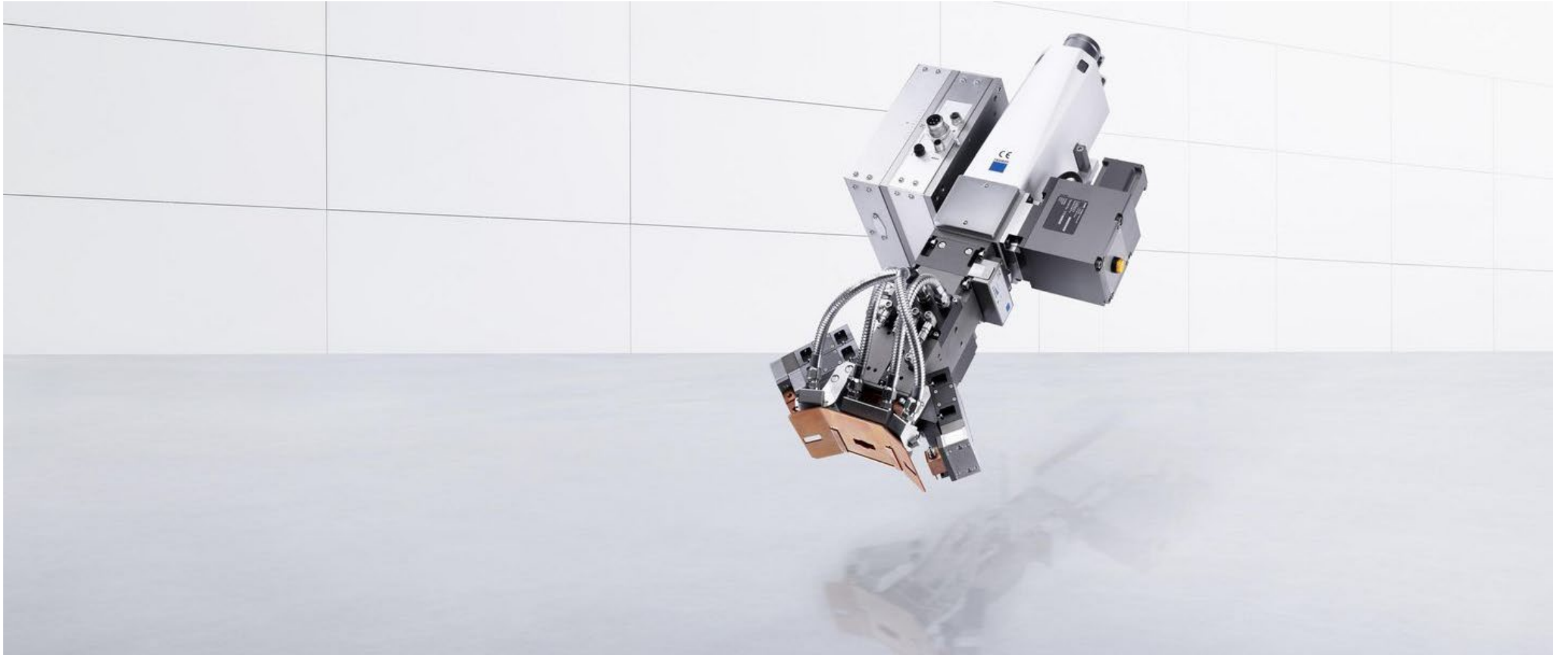


# Fixoptiken



Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

# Fixoptiken



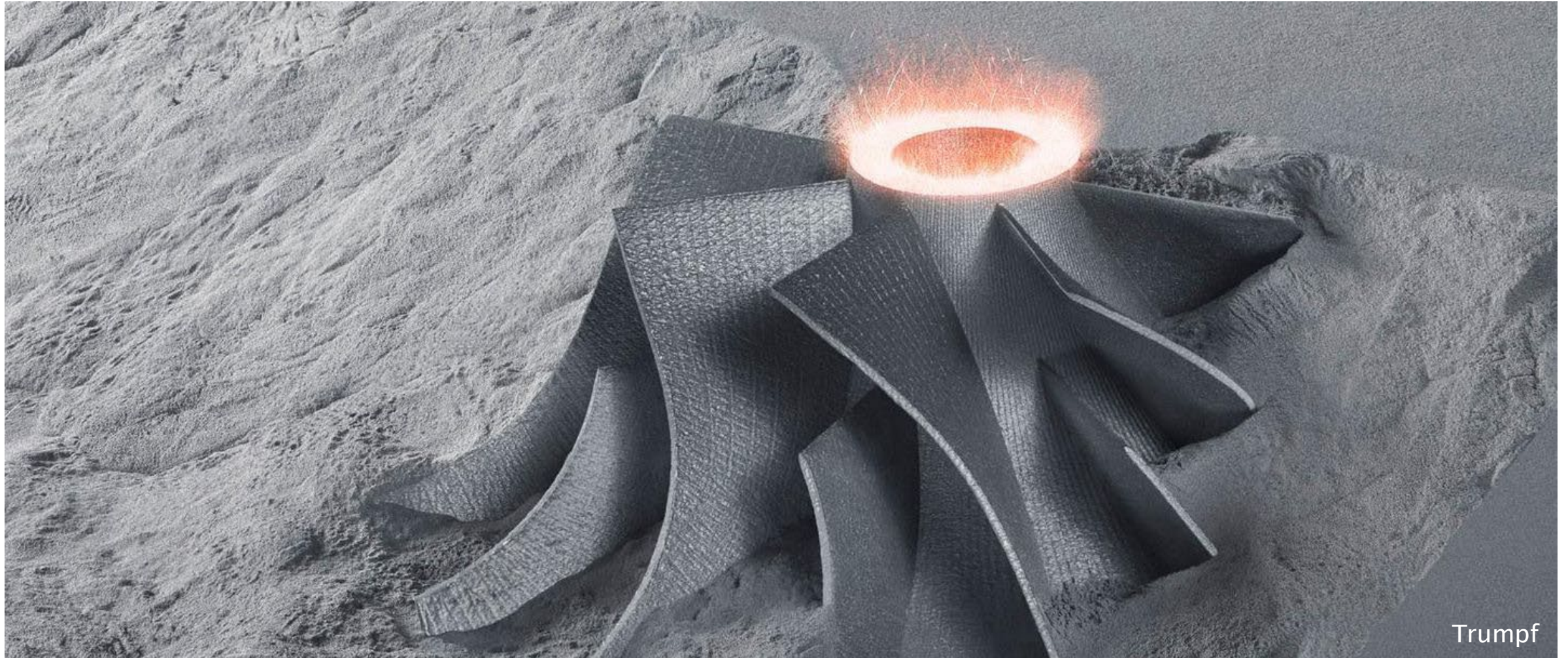
Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

# Fixoptiken



Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

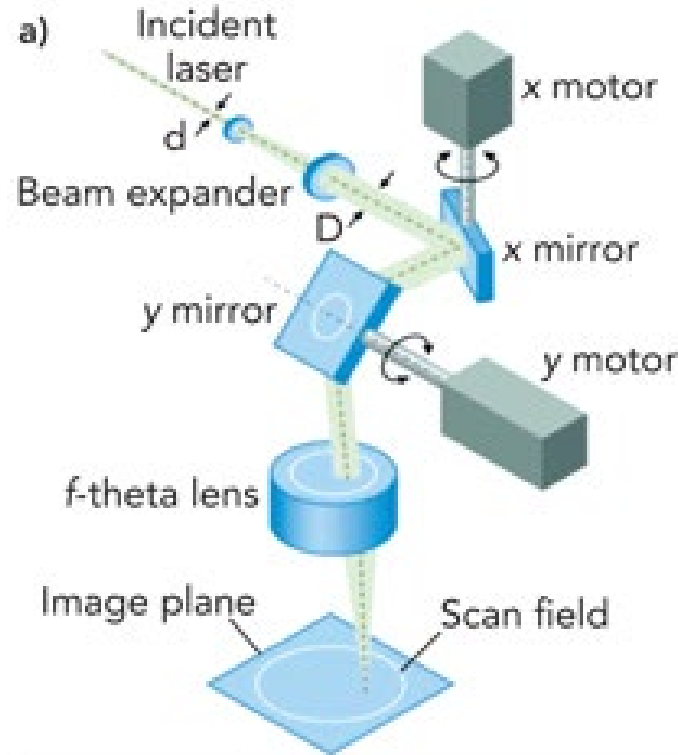
# Scanner



Trumpf

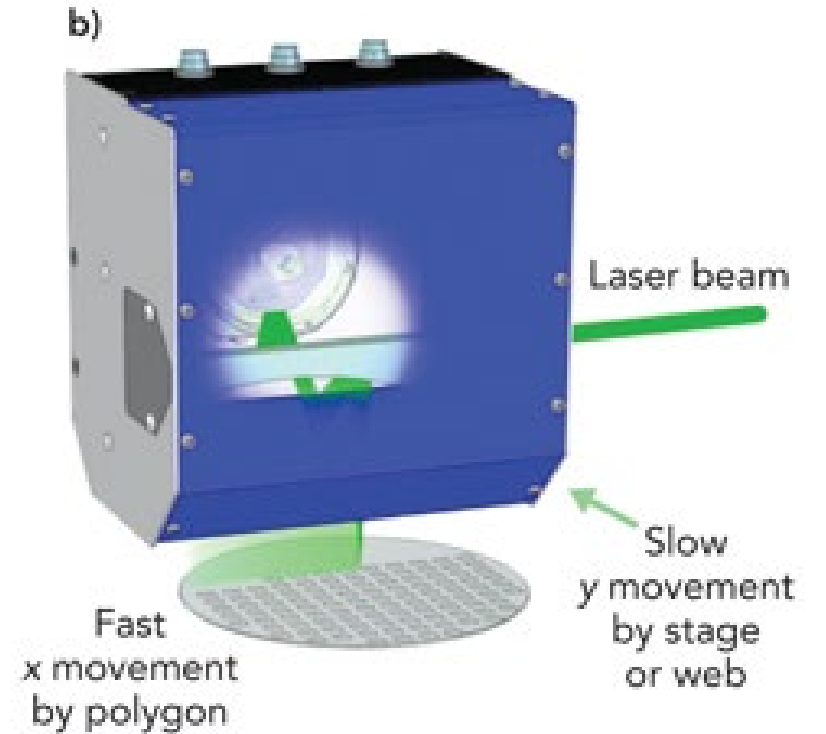
# Scanner

## 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

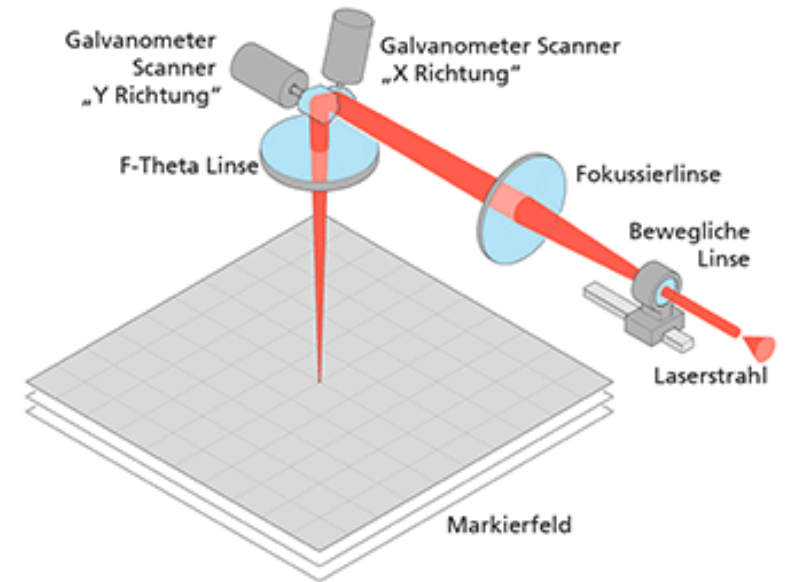
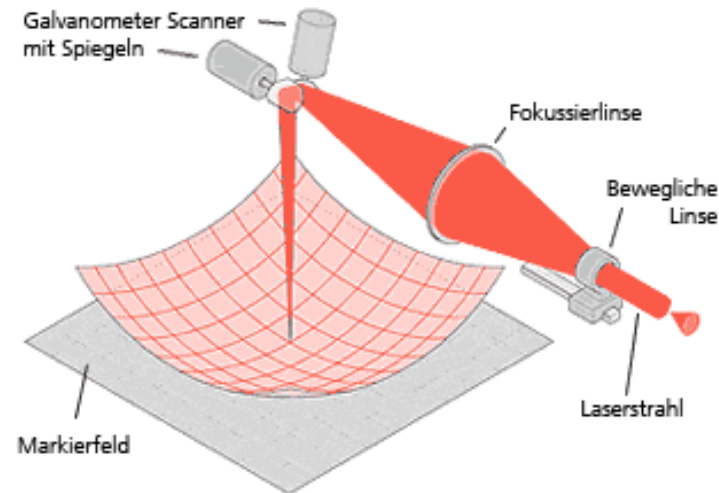
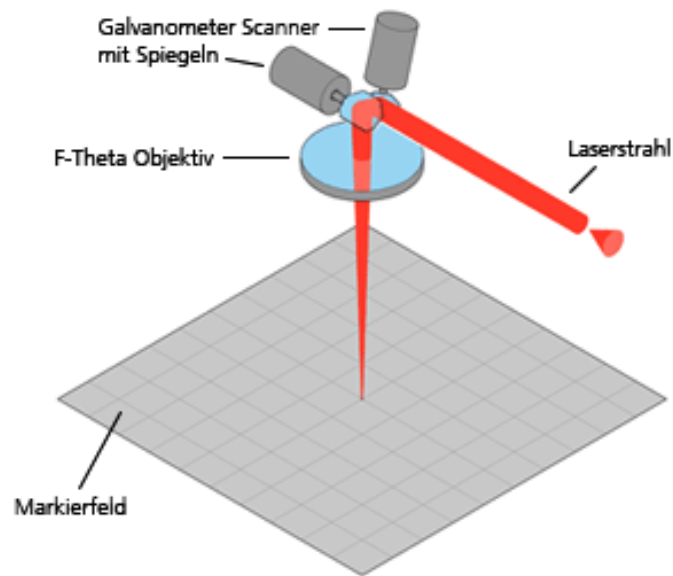


Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

# Galvanometer-Scanner



# Galvanometer-Scanner



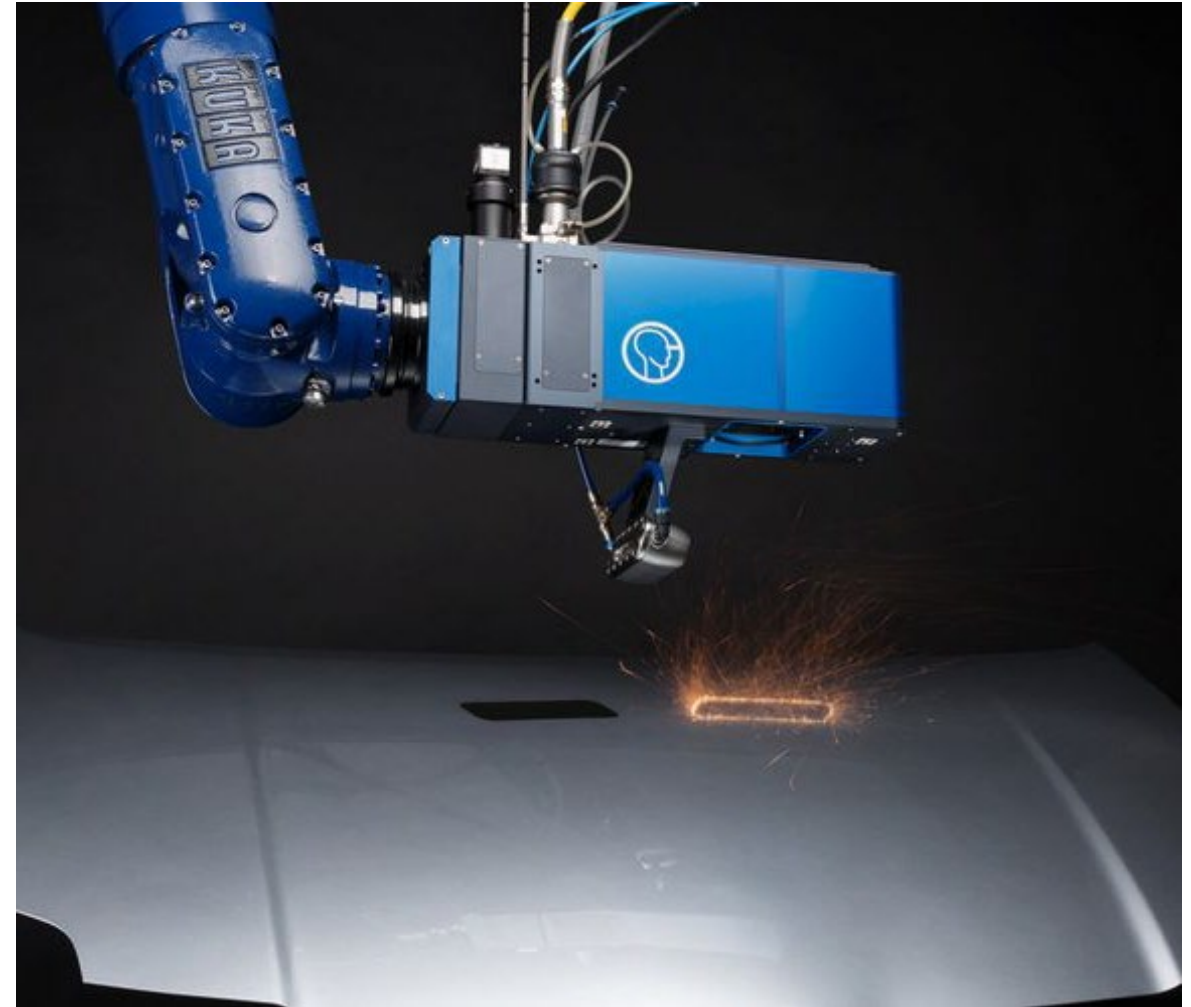
Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

# Galvanometer-Scanner

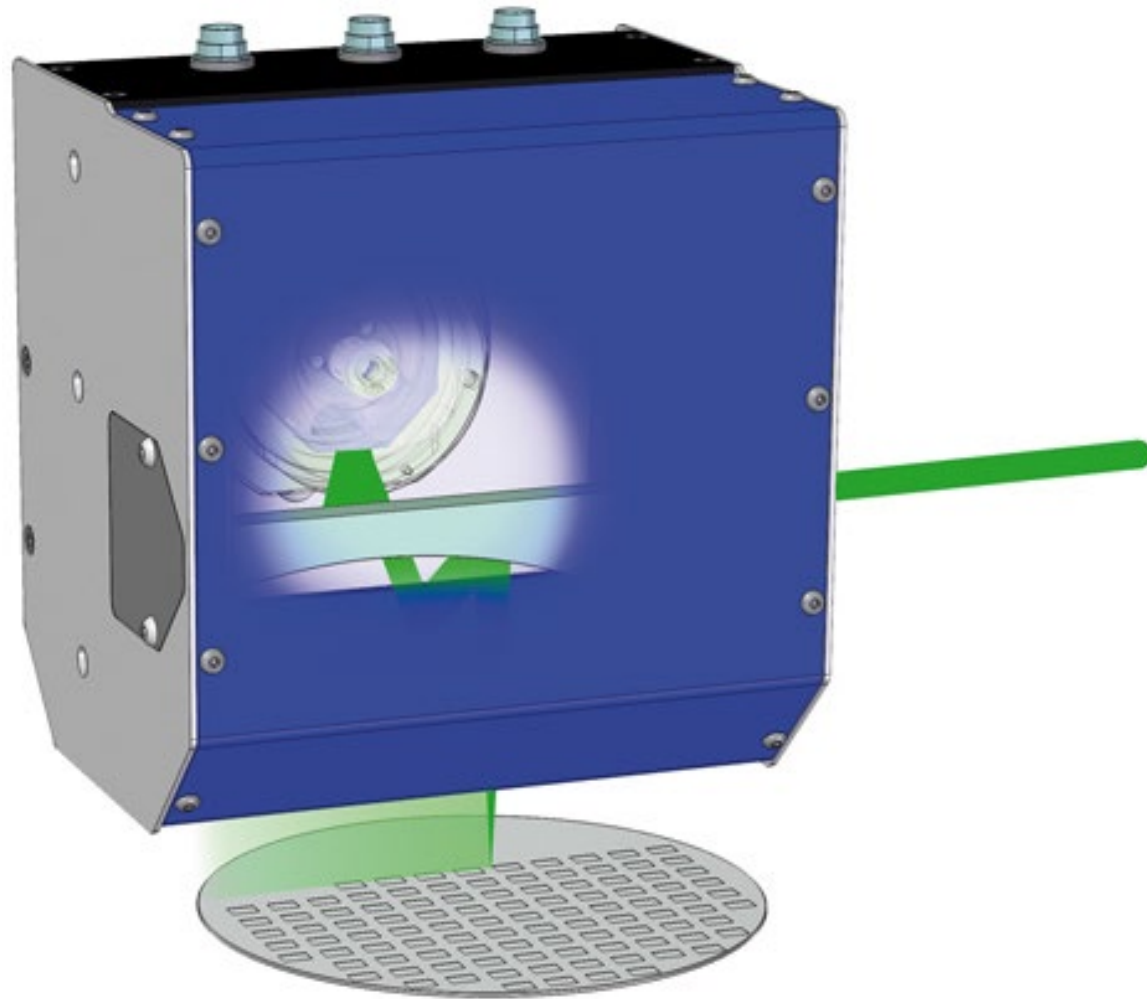


Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

# Galvanometer-Scanner

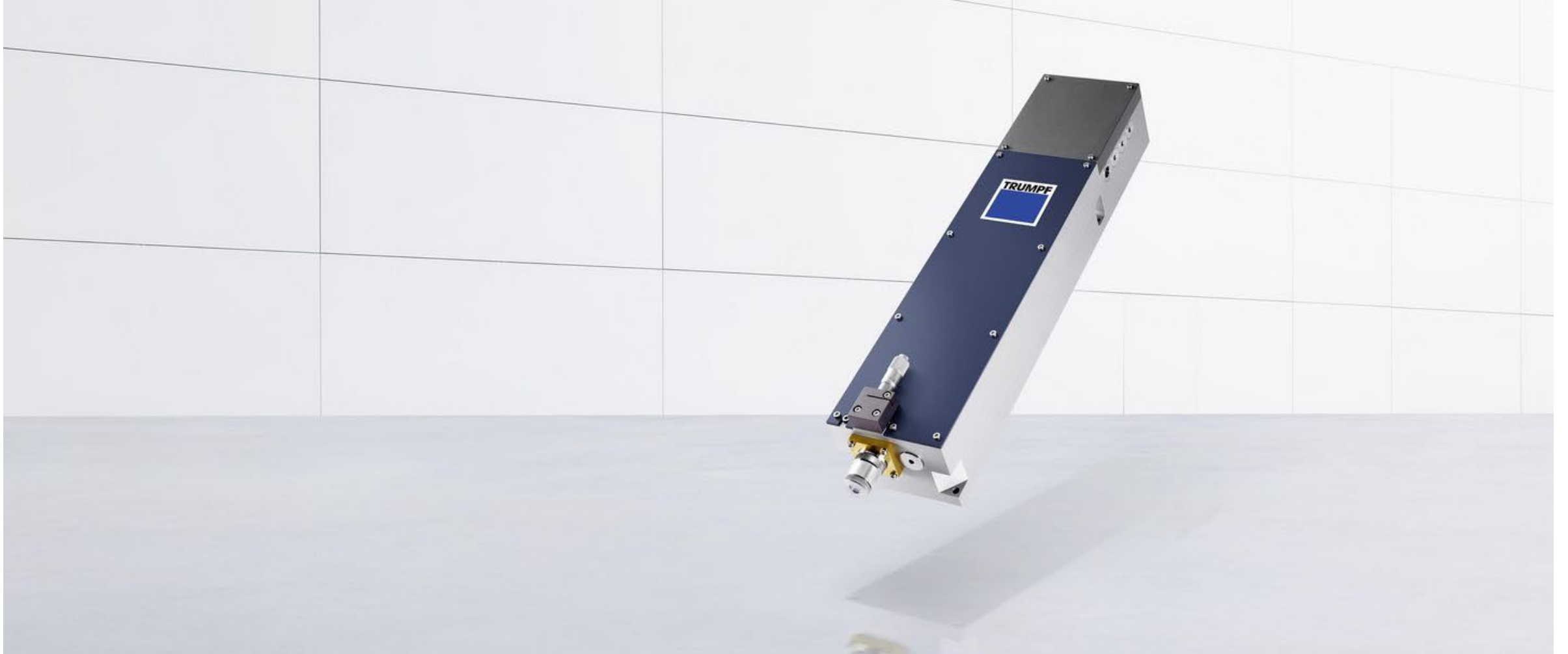


# Polygon-Scanner



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





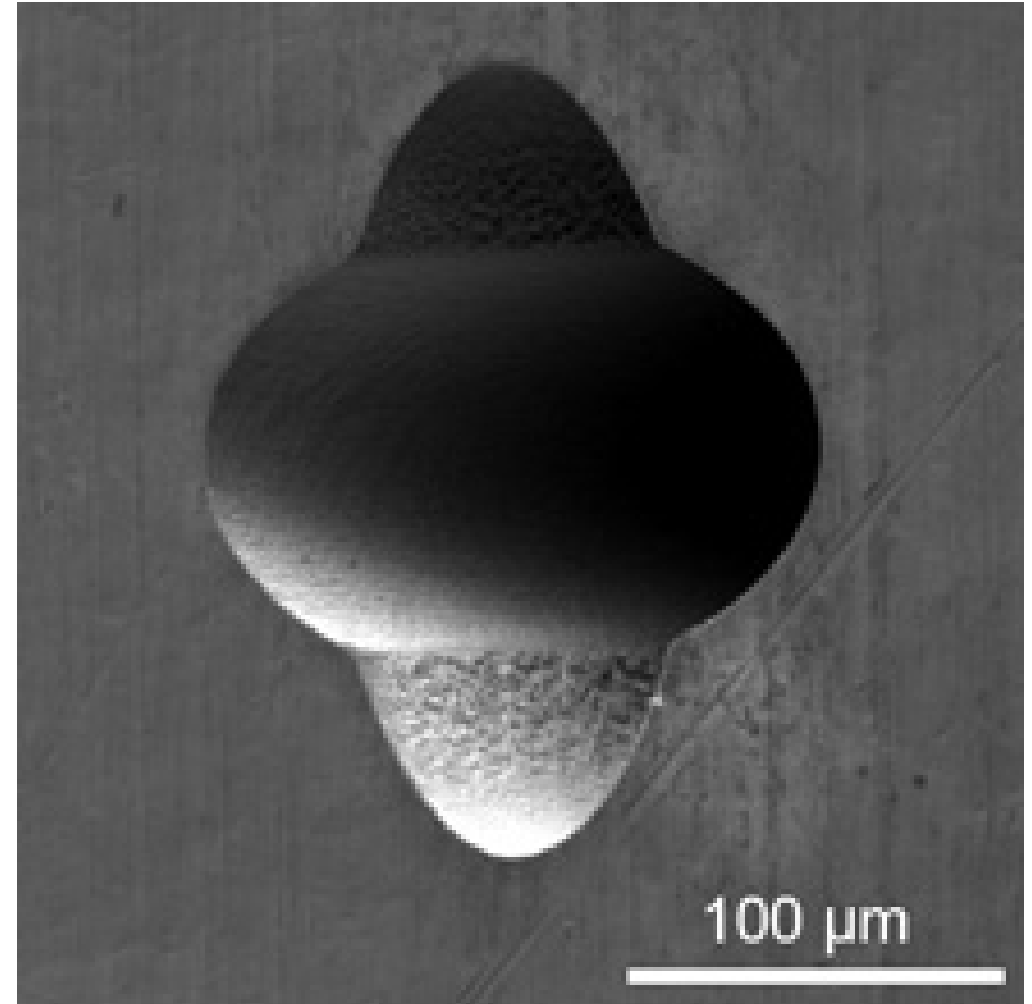
Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

# Spezial-Optiken

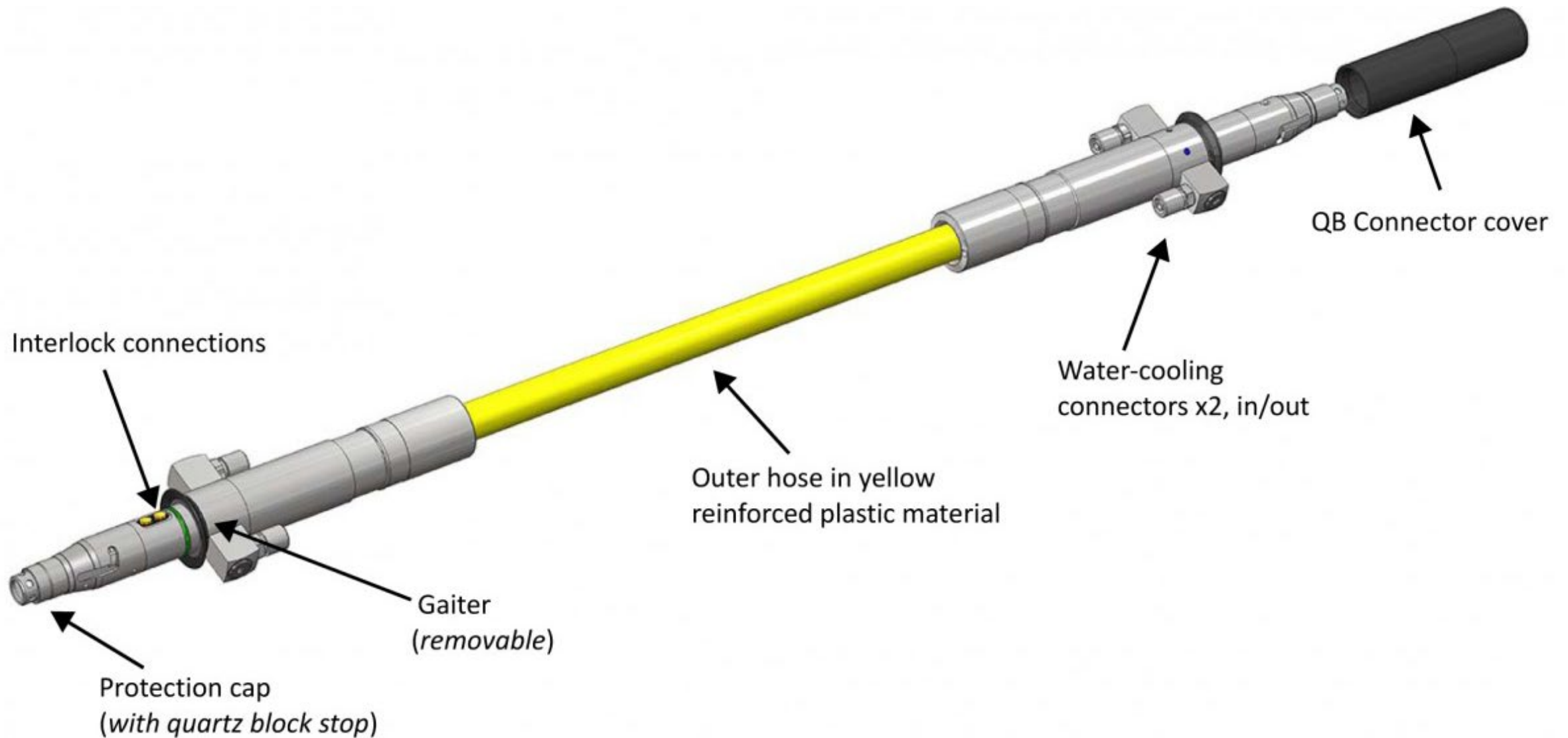


Vorsprung durch Photonik in MedTech und Präzision

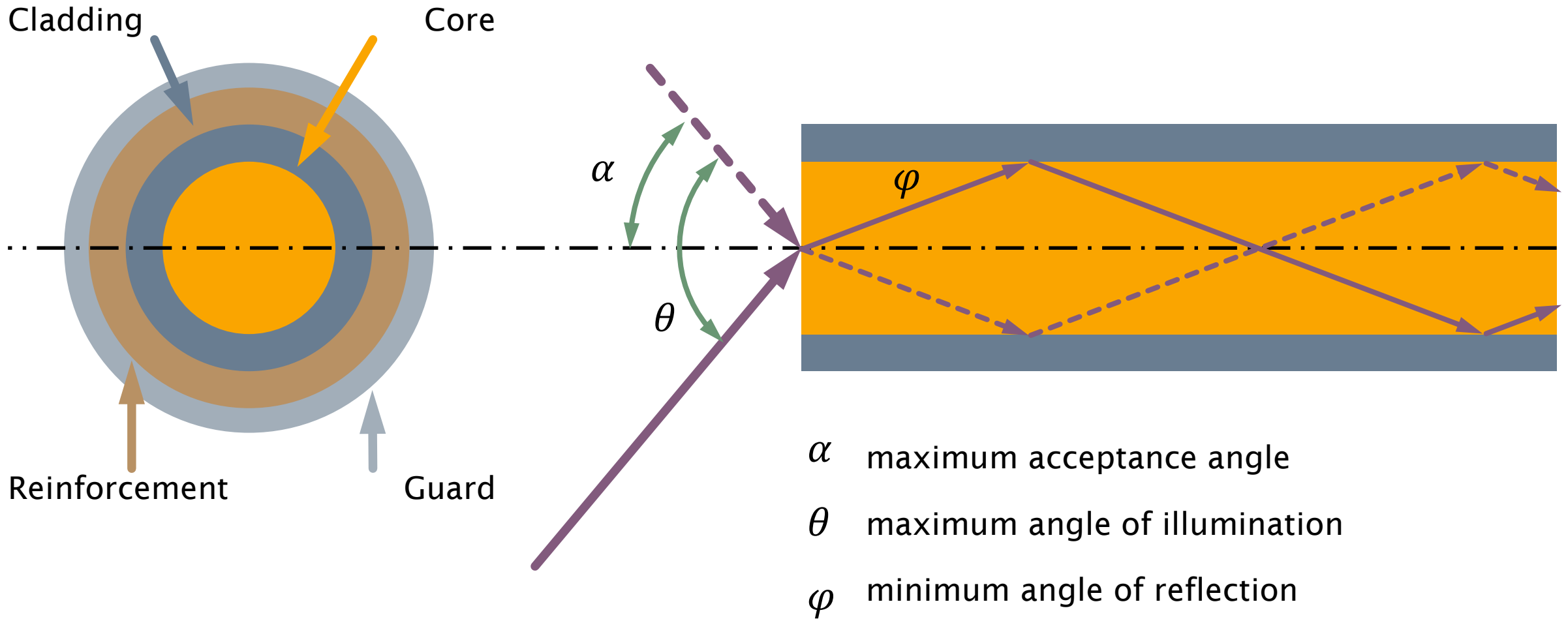
# Spezial-Optiken



# Lichtleitfasern

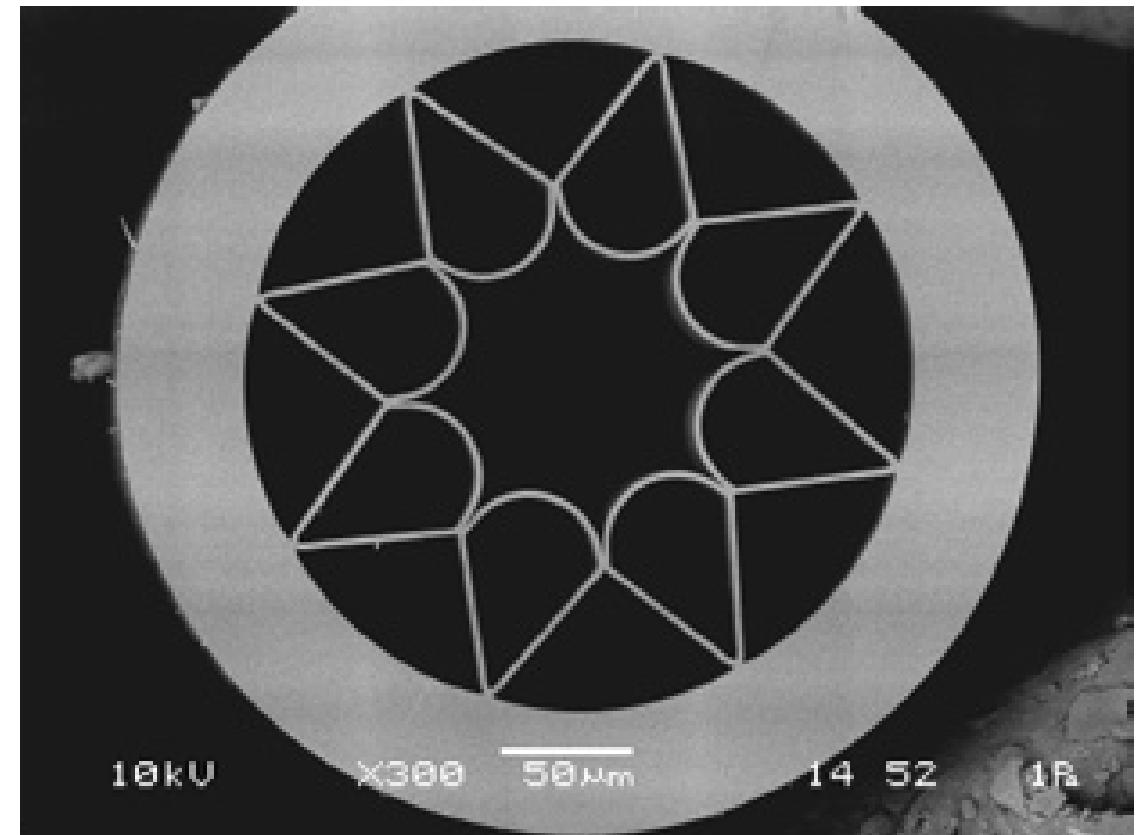
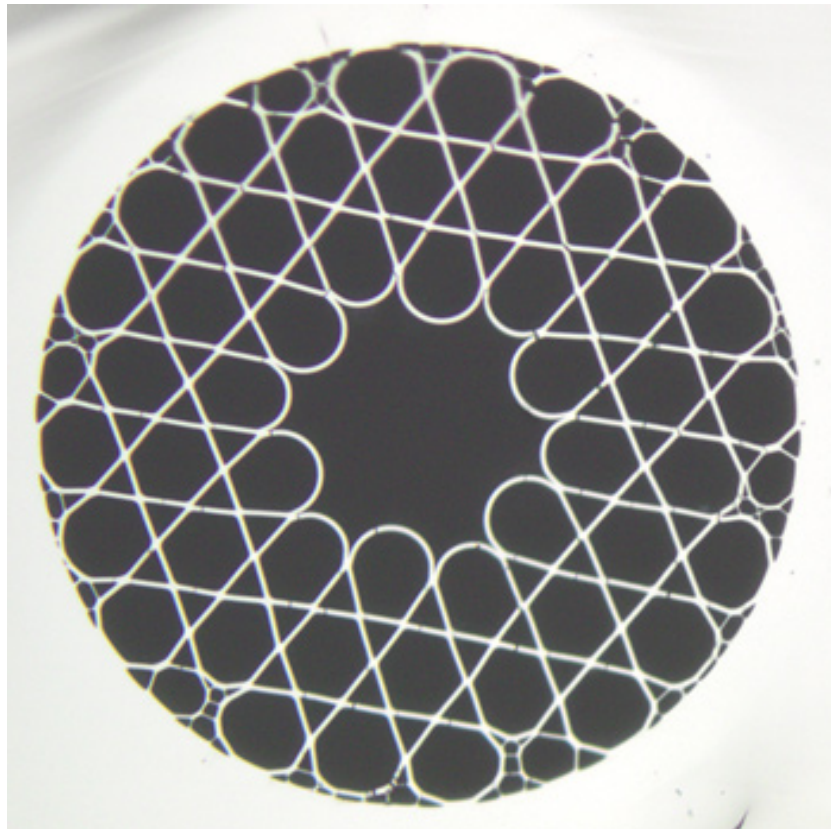


# Lichtleitfasern

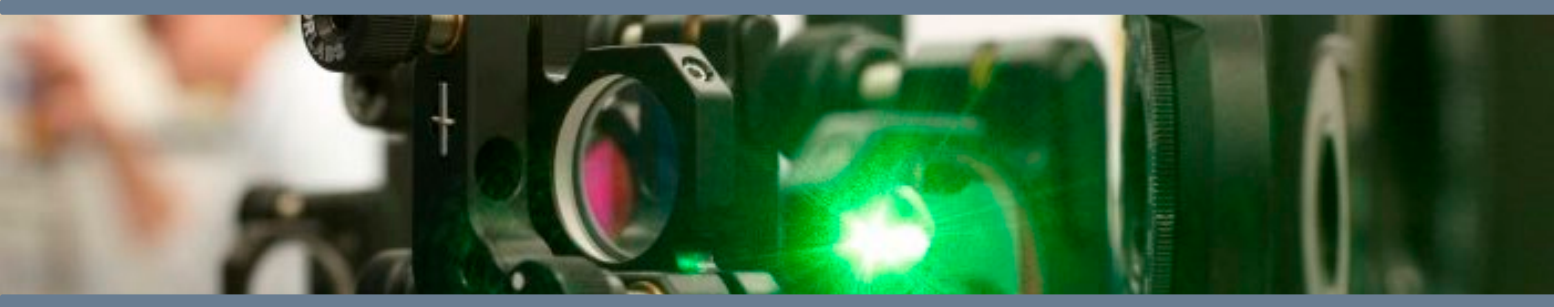


# Lichtleitfasern

## Photonische Fasern



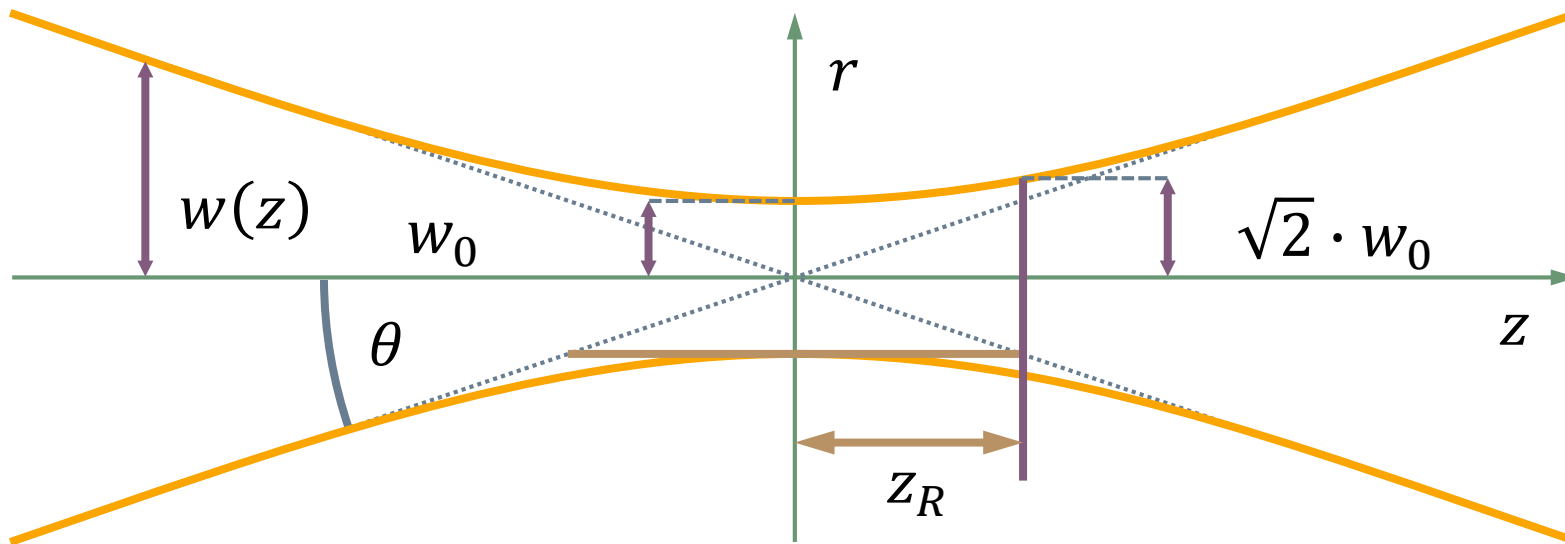
# Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation



## 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)

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

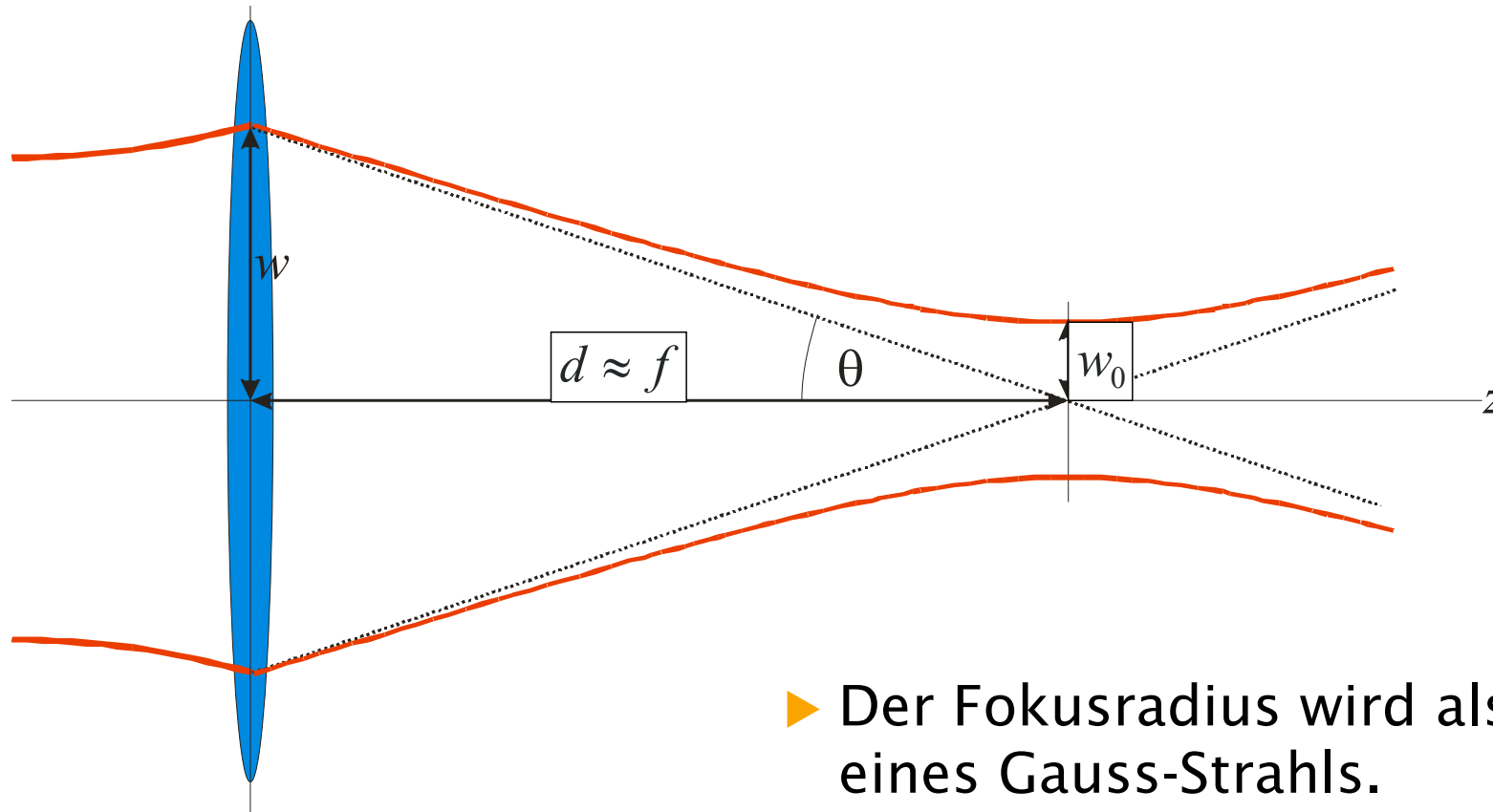
Für kleine Winkel  $\theta$  gilt  $\tan(\theta) = \theta$ , und damit:

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

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

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:  $\lambda/n$ -Plättchen):

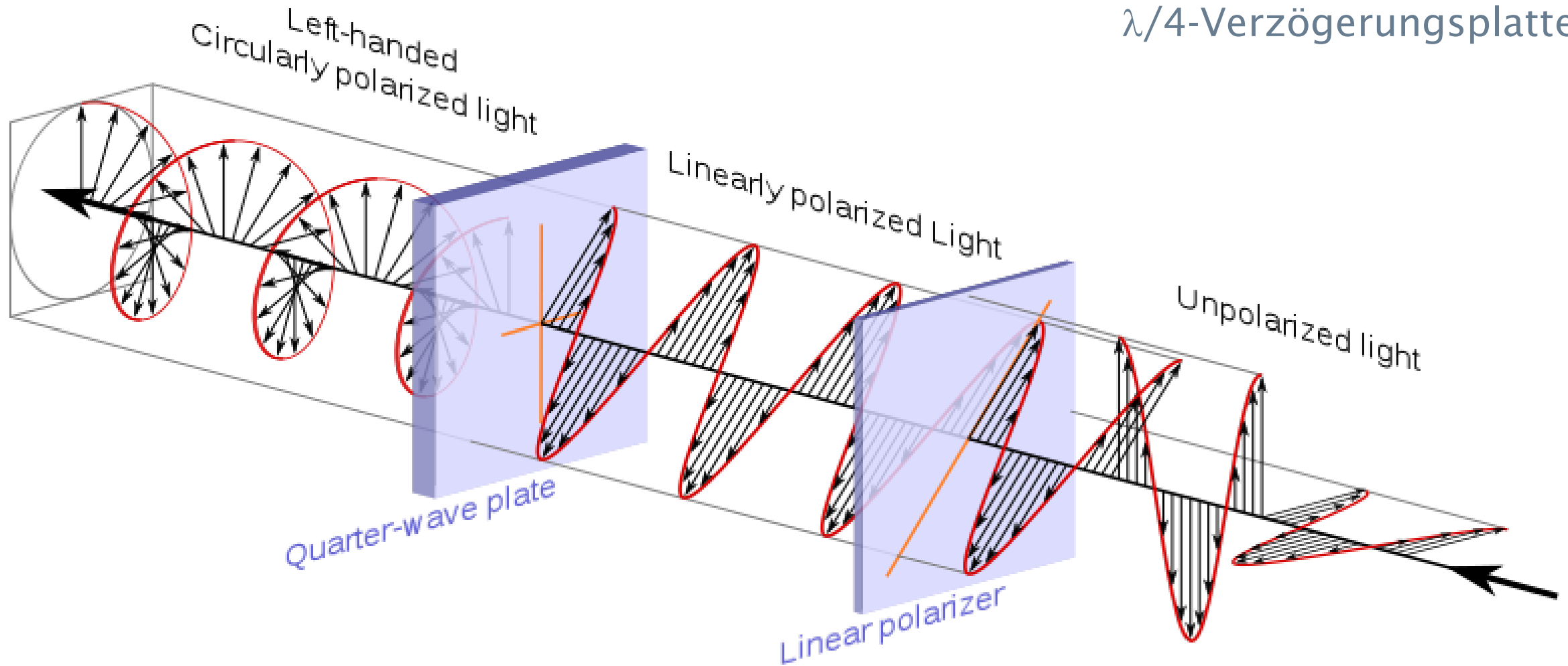
optisches Bauelement, ändert Polarisation und Phase von elektromagnetischen Wellen

- ▶ 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>

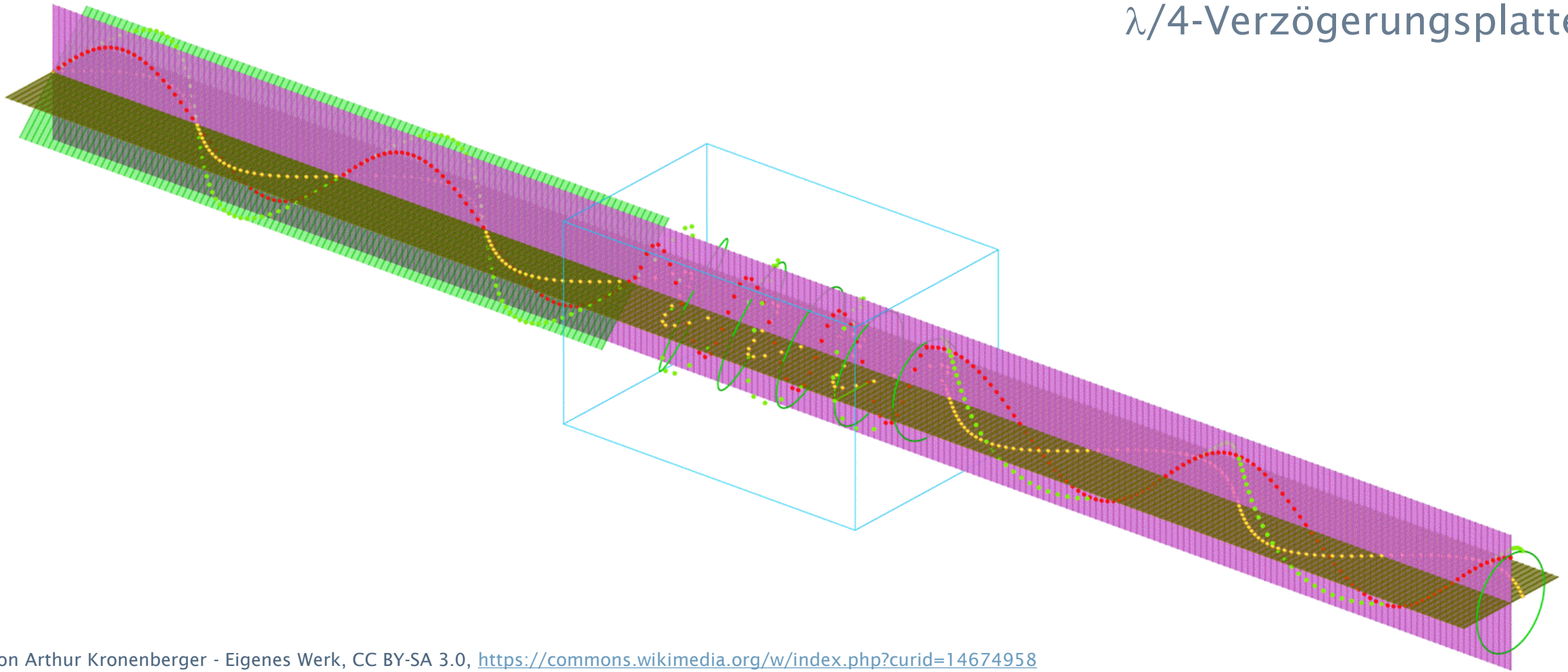
# Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

$\lambda/4$ -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>

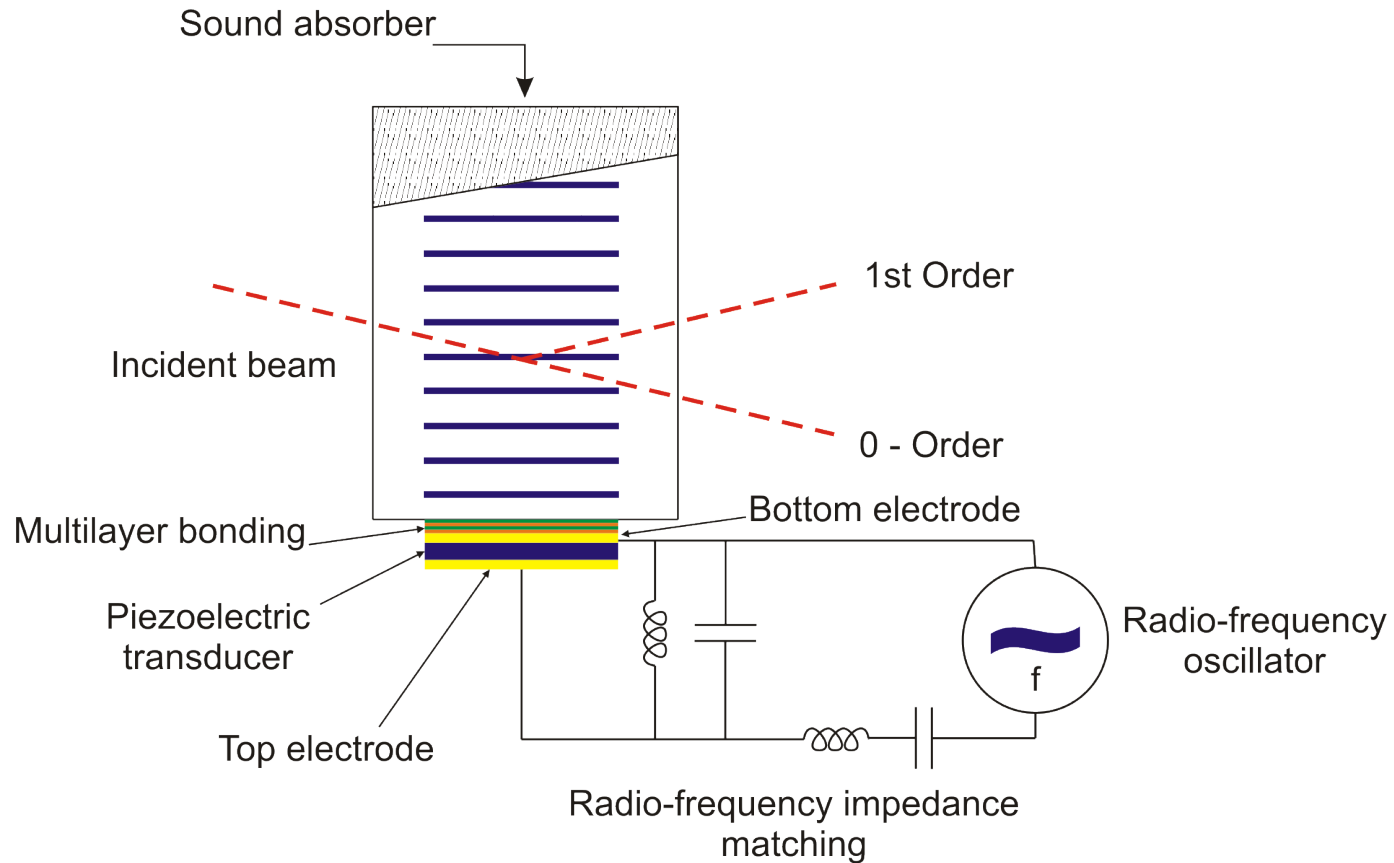
# Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

## 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  $\Lambda$  der Ultraschallwelle  
Berechnung über Schallgeschwindigkeit  $c_{\text{Schall}}$  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  $\mu\text{m}$ .

[https://de.wikipedia.org/wiki/Akustooptischer\\_Modulator](https://de.wikipedia.org/wiki/Akustooptischer_Modulator)

# Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation



Akusto-Optischer Modulator  
Prinzipieller Aufbau



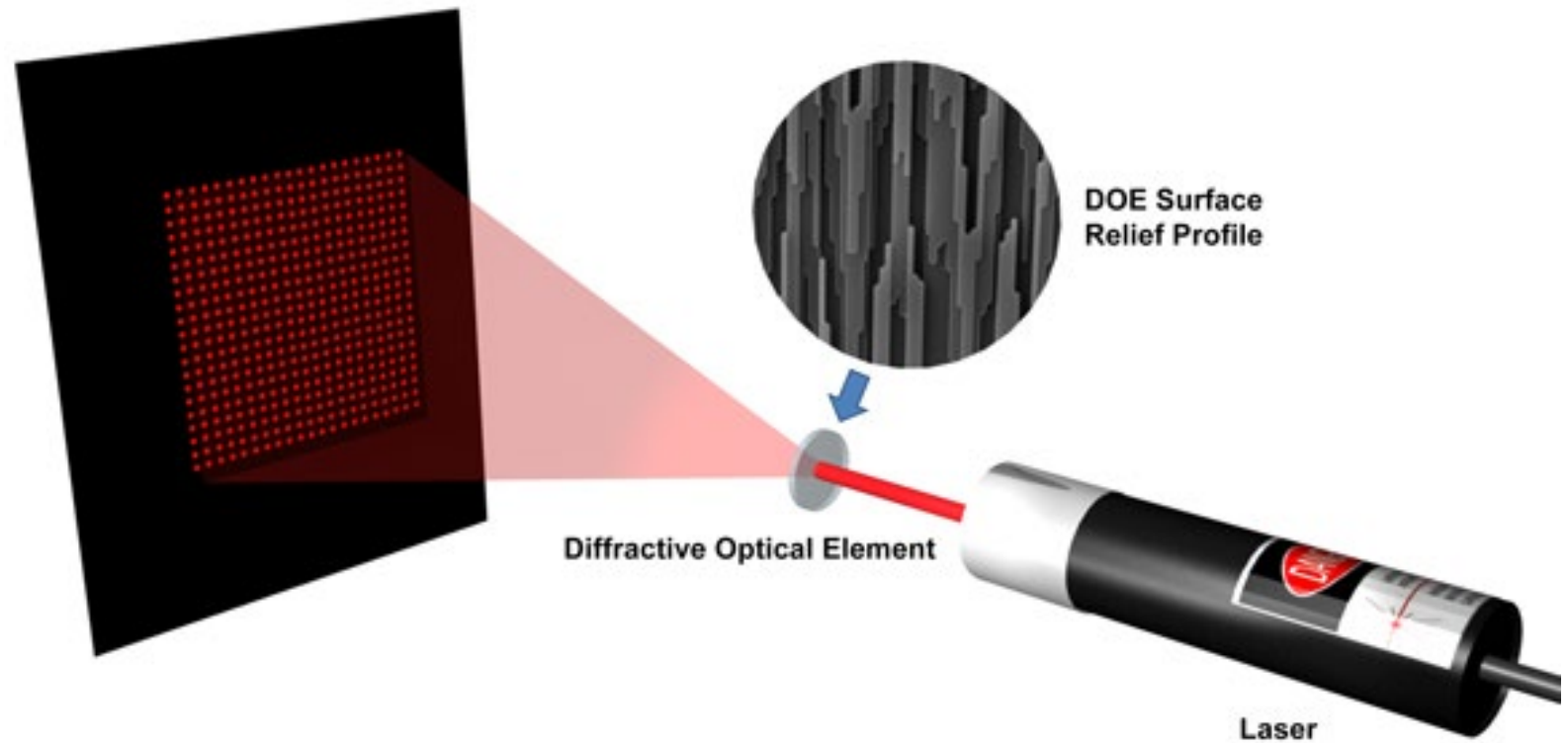
Akusto-Optischer Modulator  
Beispiel

# Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

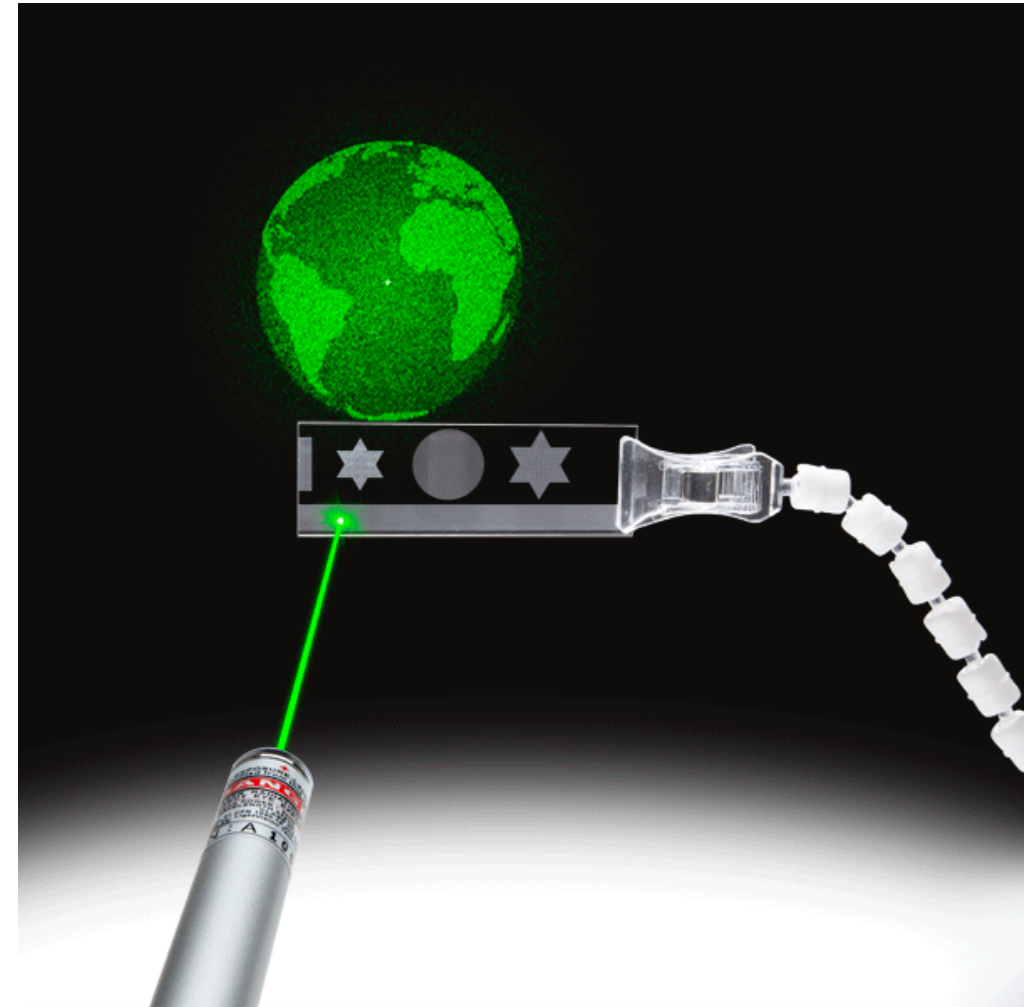
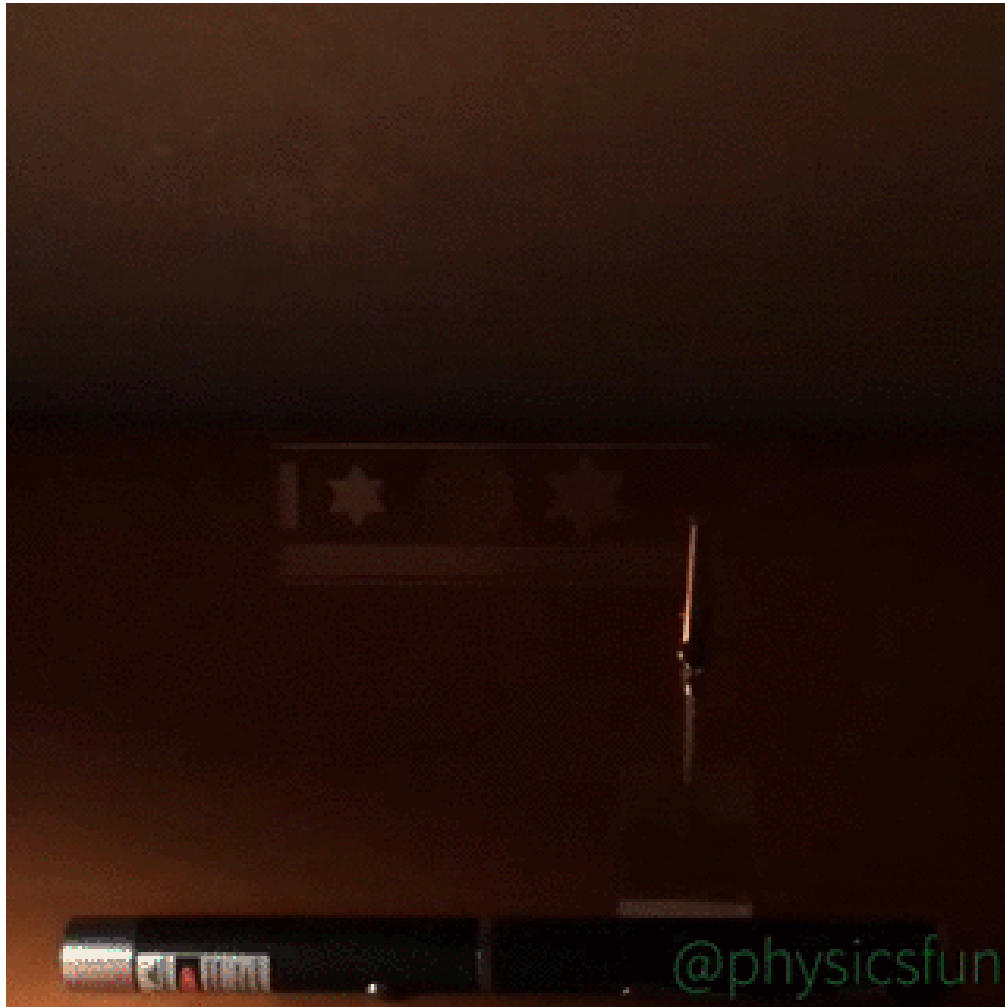
## Diffraktive Optische Elemente DOE

### Aufgaben

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

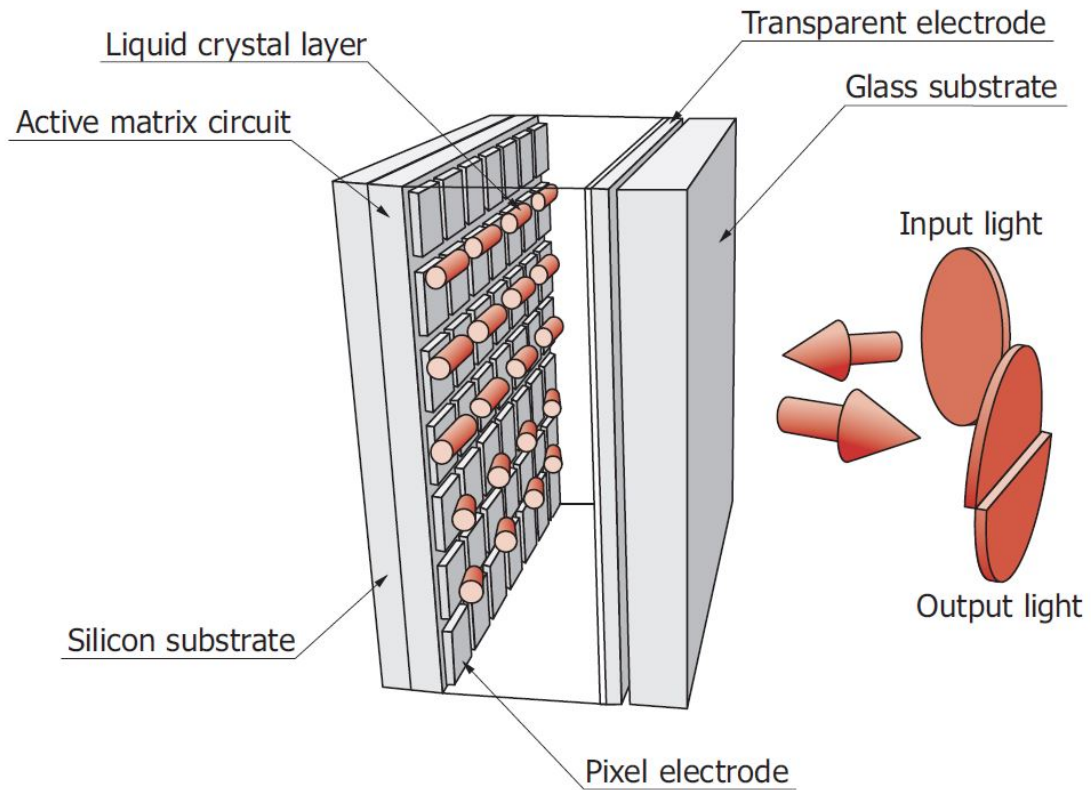


# Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation



# Strahlaufbereitung / Strahlmanipulation

## Spatial Light Modulators SLM



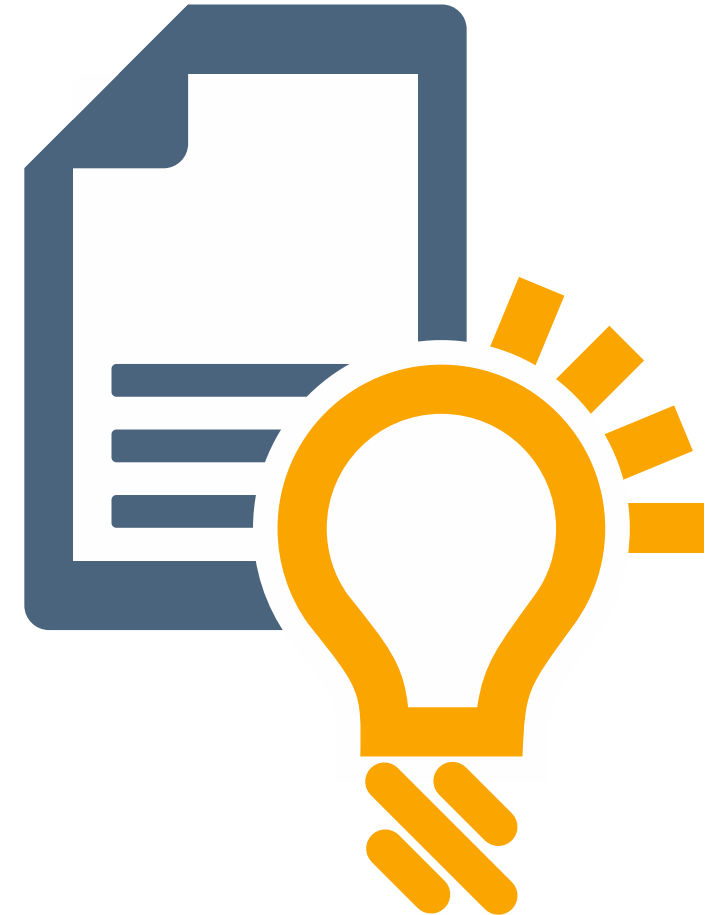


# Systemtechnik



Anmerkungen?

Fragen?



Ideen?