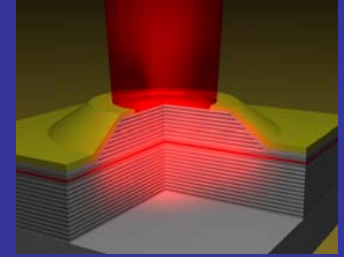


# Rote VCSEL mit Laserbetrieb bis 70°C



M. Jetter, R. Roßbach, M. Eichfelder,  
P. Michler

Universität Stuttgart, Institut für Strahlenphysik

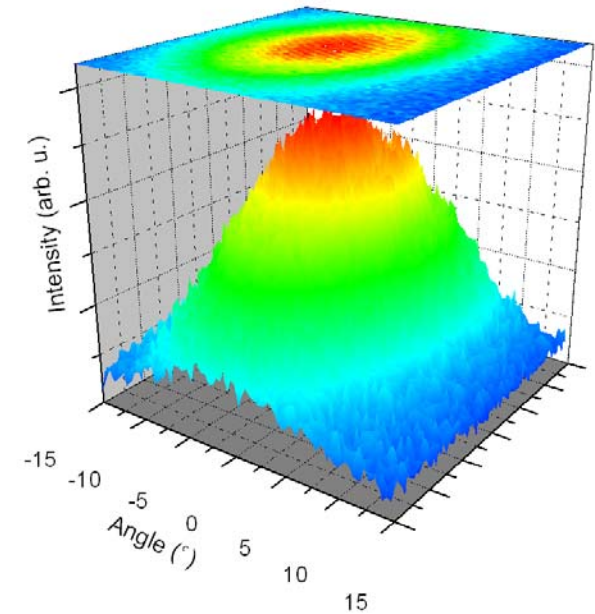
- Motivation
- Thermischer Haushalt
  - Epitaktische Maßnahmen
  - Prozesstechnik
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

# Motivation

## Warum VCSEL?

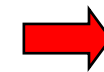
- Kosten günstiges on Wafer testen
- Parallele Prozessierbarkeit von 2D-Arrays
- Rundes Strahlprofil
- Kleine Divergenzwinkel ( $10^\circ$ )
- Niedrige Schwellströme ( $< 1 \text{ mA}$ )

## Und wofür?

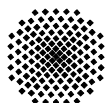


## POF-Anwendungen

- Last Mile Networks
- Automotive Anwendungen



Dafür in **Rot**



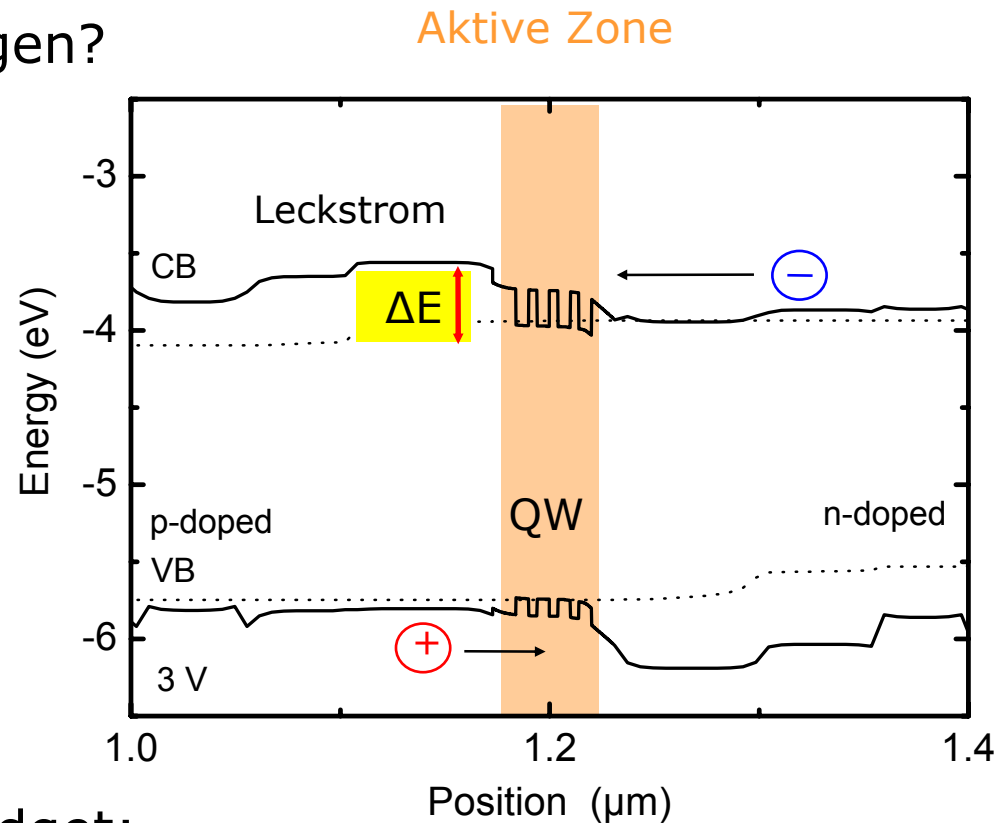
# Rote VCSEL

Wo liegen die Herausforderungen?

$\lambda=670 \text{ nm}$   $\longrightarrow$   $\lambda=650 \text{ nm}$

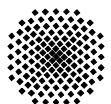
$\Delta E=400 \text{ meV}$   $\longrightarrow$   $\Delta E=340 \text{ meV}$

- Temperatursensitivität
- Zuverlässigkeit



**Kontrolle** des thermischen Budget:

- $\rightarrow$  **Epitaxie**: Reduzierung des Serienwiderstandes  $R_S$  (Dotierung) und des Betriebsstroms  $I$  (Oxidapertur)
- $\rightarrow$  Über ein **Wärmedissipationsmodell** zum optimalen Prozess



# Epitaxie: MOVPE

## Wachstumsbedingungen

AIX - 200

Materials:

TMGa, TEGa, TMAI, TMIn,

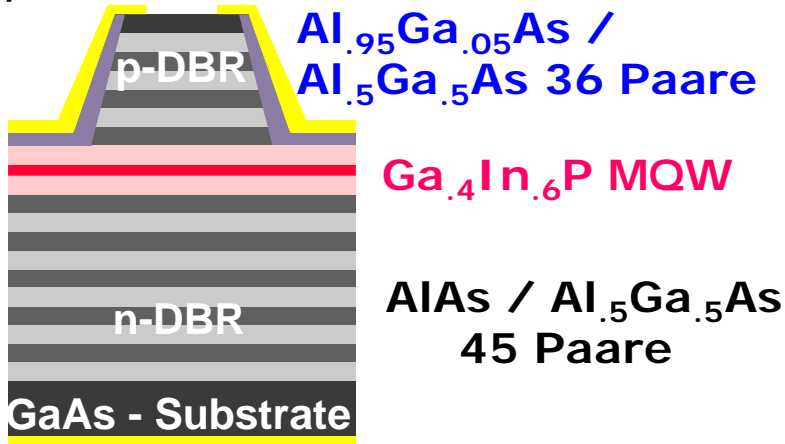
AsH<sub>3</sub>, PH<sub>3</sub>, DMZn, SiH<sub>4</sub>

horizontal Reaktor

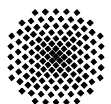
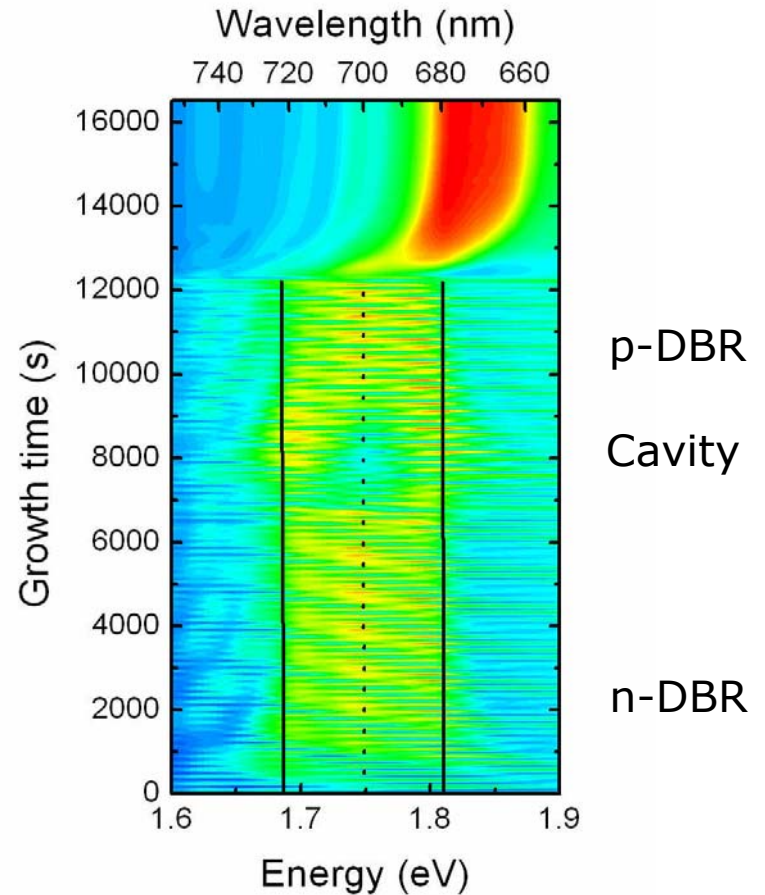
bei 100 mbar

T<sub>G</sub> = 650°C - 750°C und

V/III ~ 4-100



## In-situ Reflektionsmessung



# Reduzierung des Serienwiderstandes

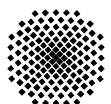
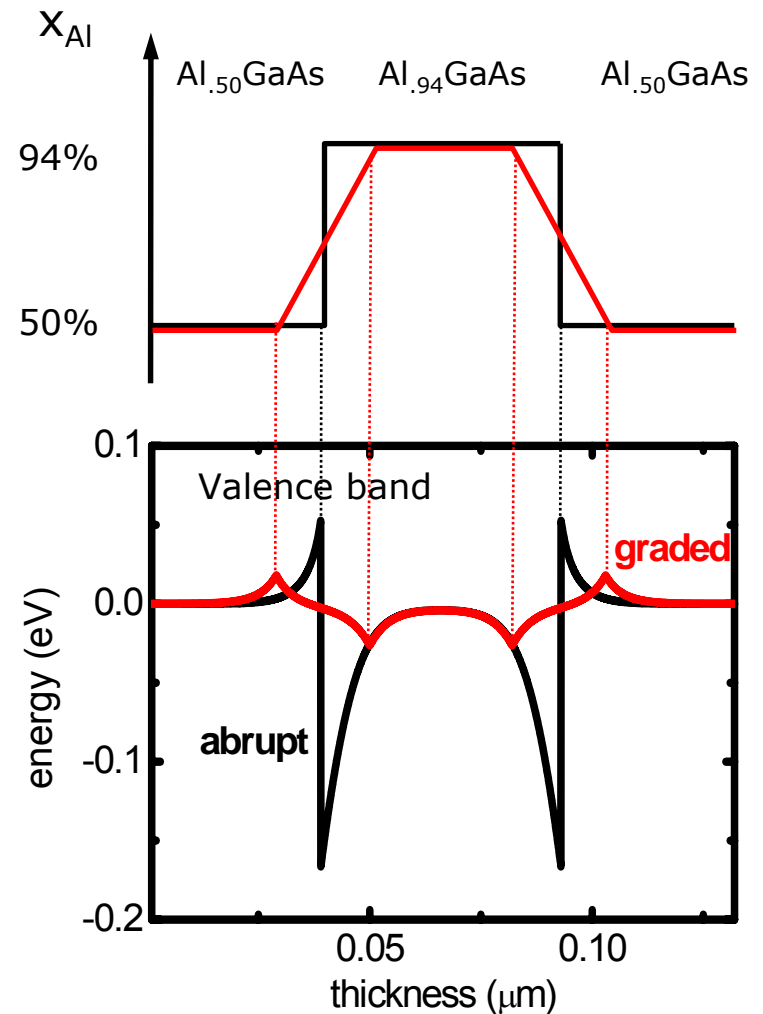
## P-Seite des Bauteils

1) Reduktion der Barrierenhöhen an den Grenzflächen

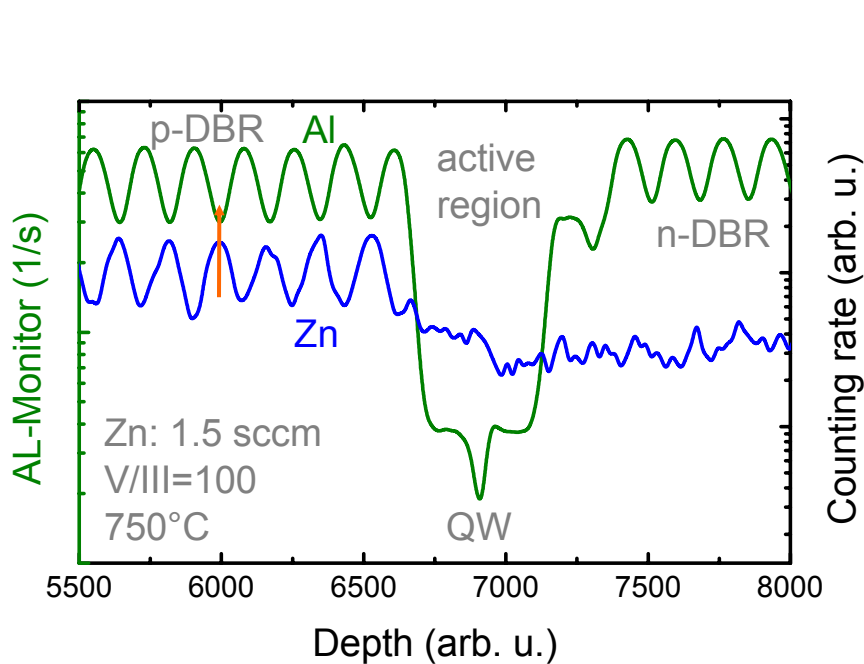
➔ Kompositionsgrading

2) Änderung der Dotierung:

- Ladungsträgerkonzentration
- Ladungsträgerbeweglichkeit
- Spezifischen Widerstand
- Diffusion

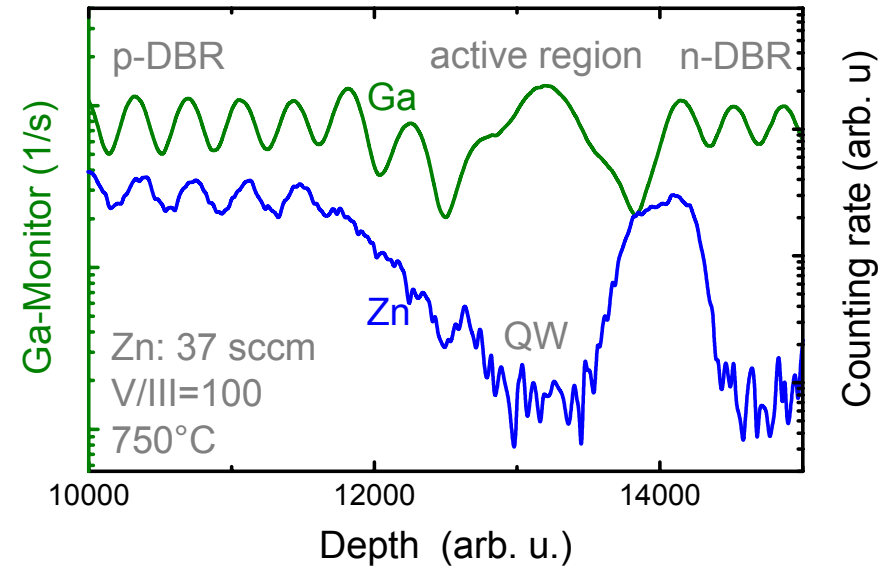


# Zn-Dotierung und Zn-Diffusion



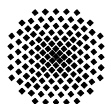
„Normale“ Dotierung

SIMS



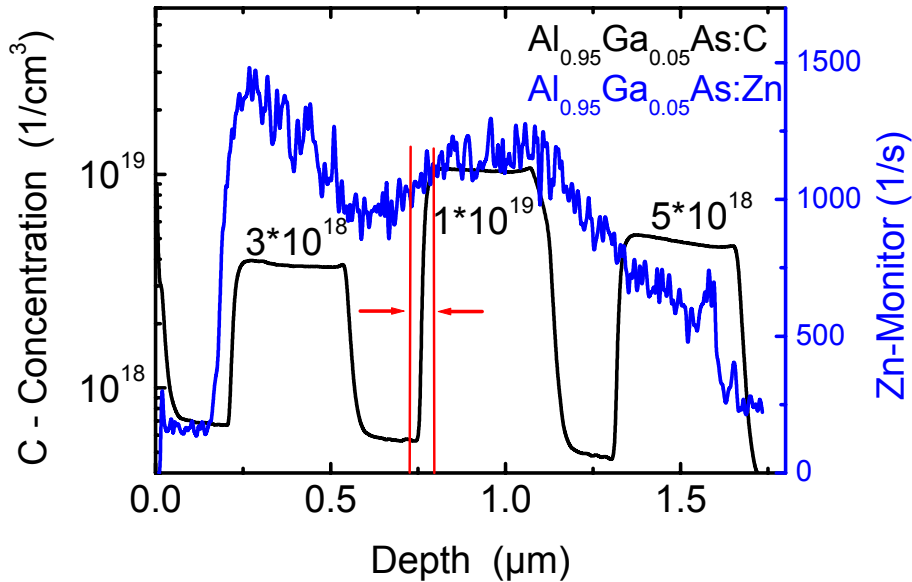
Zn diffundiert bei hohen Konzentrationen durch die Quantenfilme hindurch

➔ Zerstörung des pn-Übergangs



# Übergang zur intrinsischen C-Dotierung

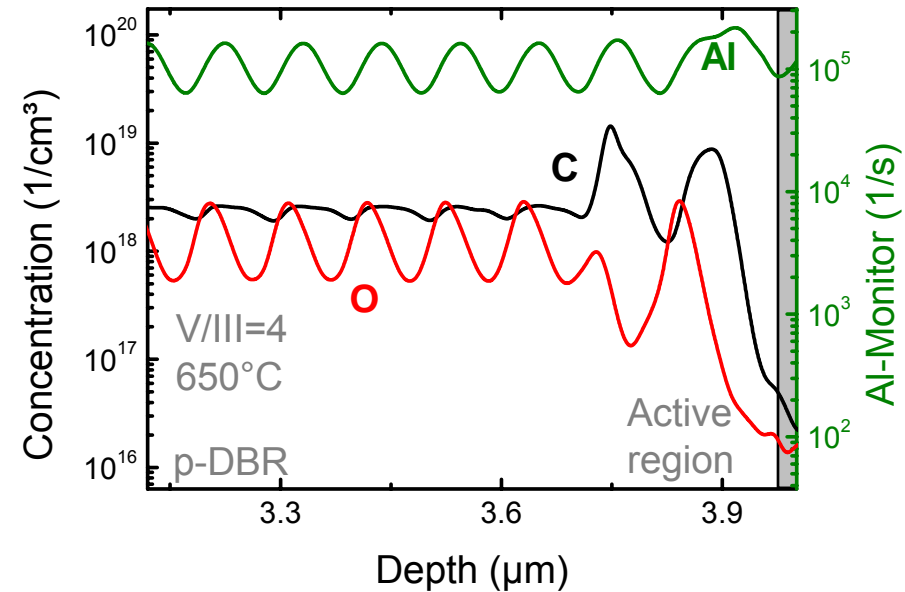
Test Struktur



SIMS



VCSEL Struktur

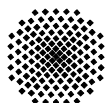


Hohe C-Konzentration für hoch Al-haltige Schichten erreichbar  
→ Keine Diffusion

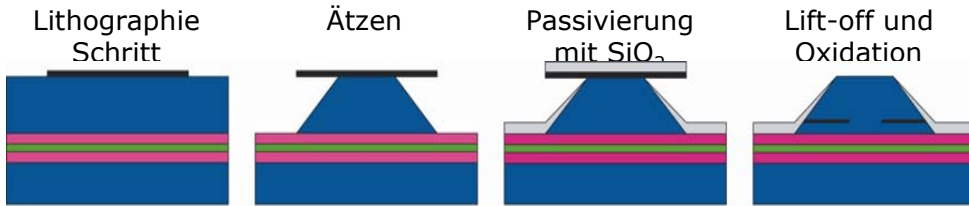
**Sauerstoffeinbau**

→ Verlust aktiver Ladungsträger  
→ Verschlechterung der Materialqualität

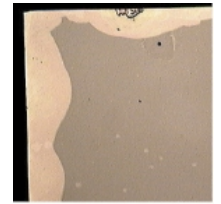
→ Kombination beider Dotierstoffe! ( $\text{V/III}=8$ ,  $750^\circ\text{C}$ )



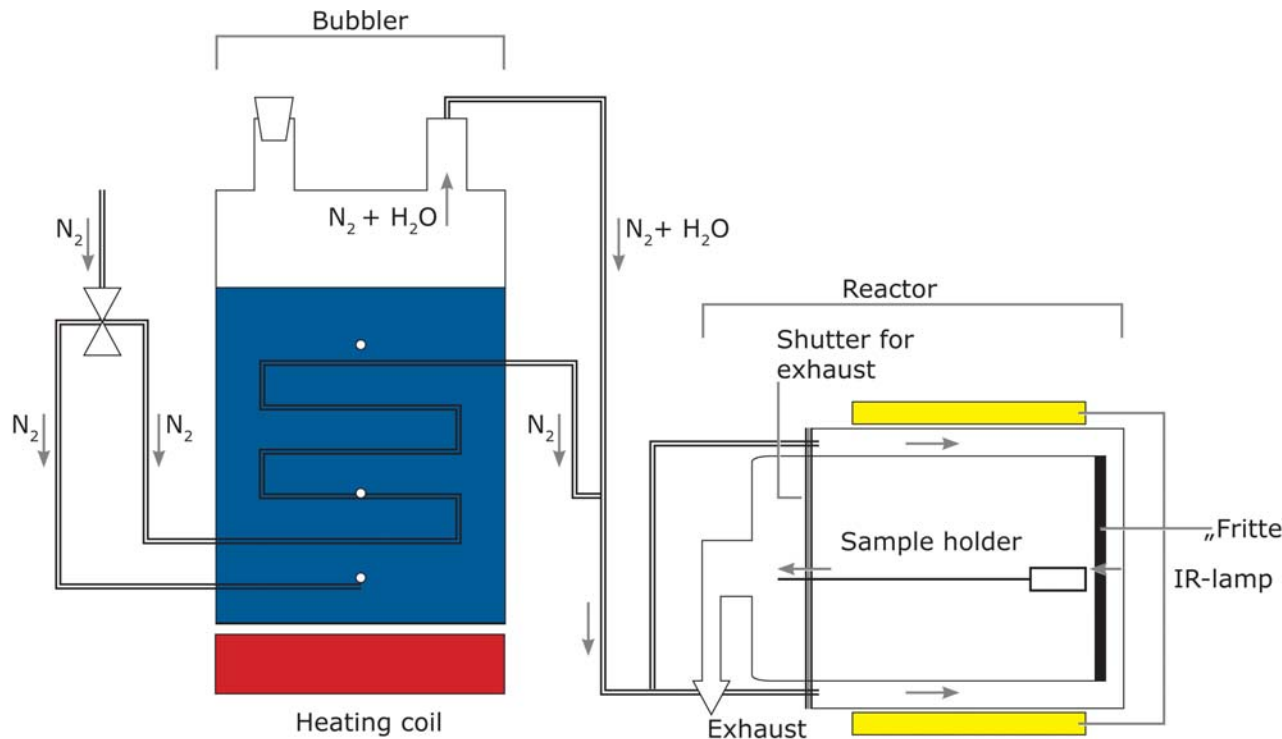
# Reduzierung des Betriebsstroms



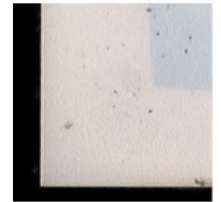
$T_B = 70^\circ\text{C}$   
 $t = 5400\text{s}$



54.69  $\mu\text{m}$



$T_B = 75^\circ\text{C}$   
 $t = 1800\text{s}$

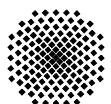


15.75  $\mu\text{m}$

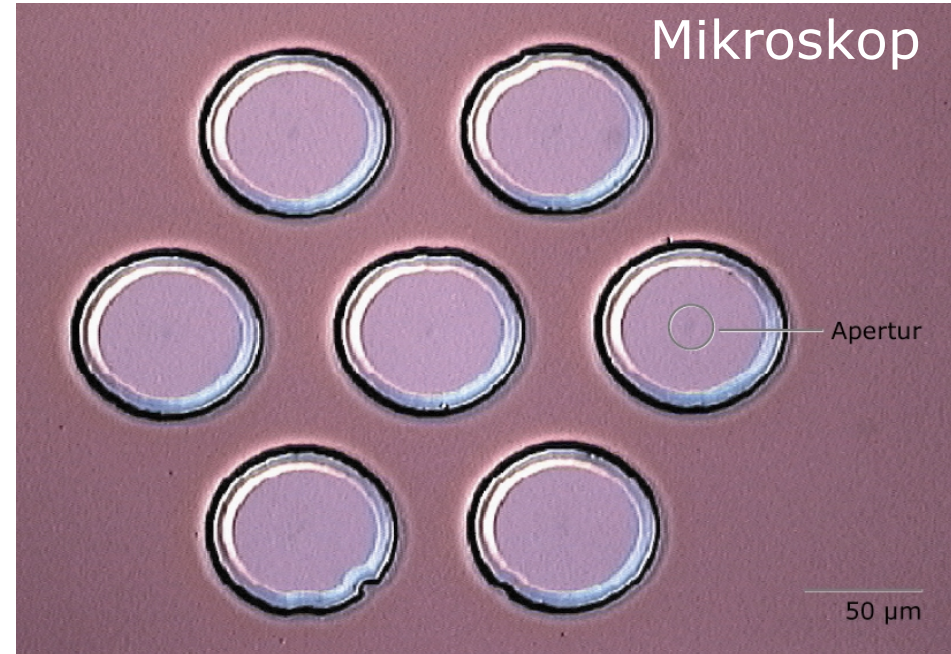
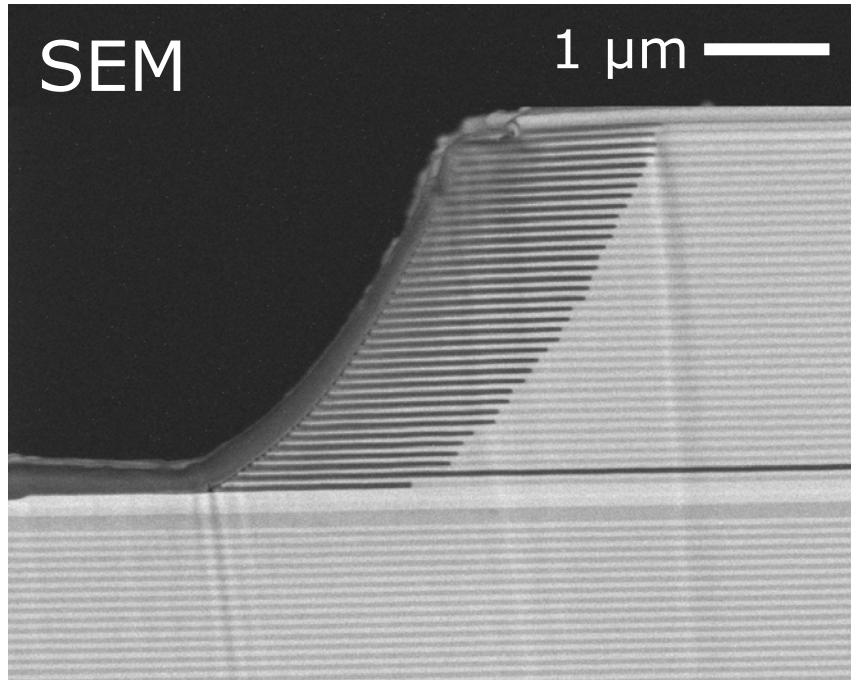
$T_B = 75^\circ\text{C}$   
 $t = 3600\text{s}$



74.39  $\mu\text{m}$

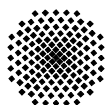


# Selektivität und Prozessstabilität

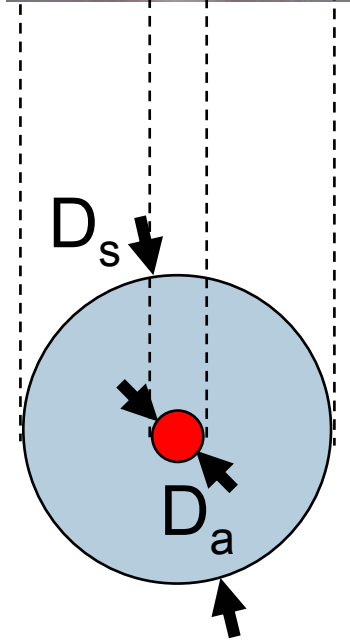
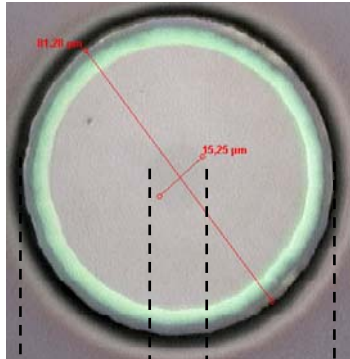


$$\text{Selektivität } S = w_{\text{Ox}}/w_{\text{mirror}}$$

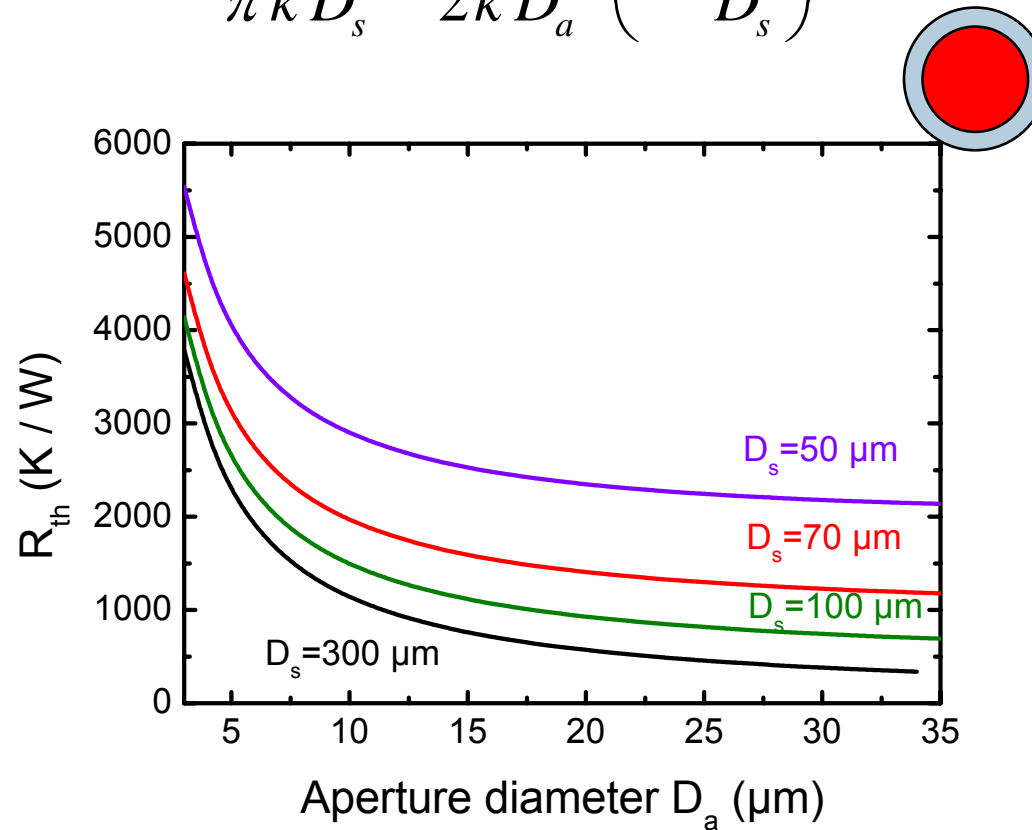
Hohe Selektivität bedeutet gute Strominjektion über den Ringkontakt, bei definierter Stromführung



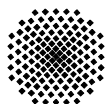
# Zylindrisches Wärmedissipationsmodell



$$R_{th} = \frac{4d}{\pi k D_s^2} + \frac{1}{2k D_a} \cdot \left(1 - \frac{D_a}{D_s}\right)^{3/2}$$



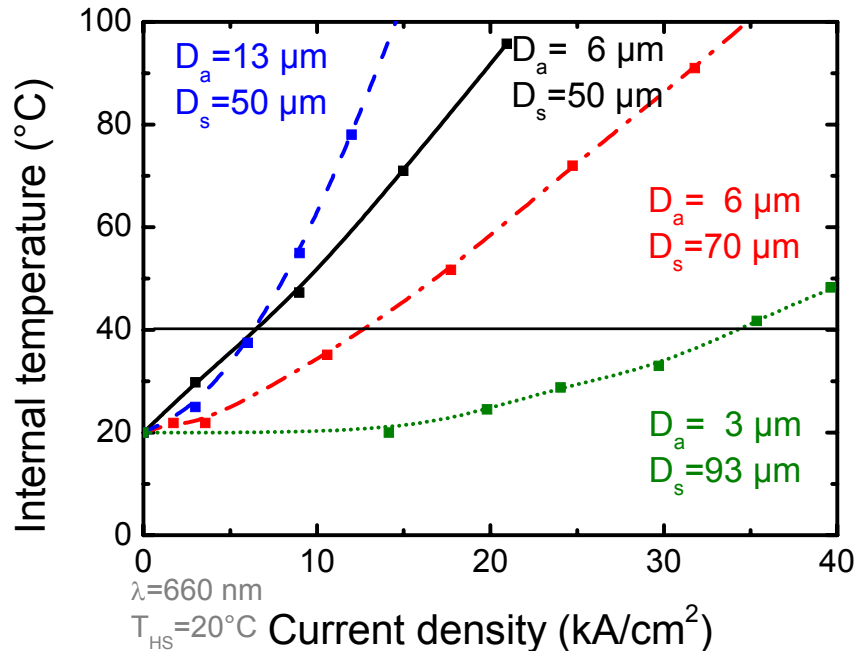
Nakwaski, Osinski, EL 28 572 (1992)



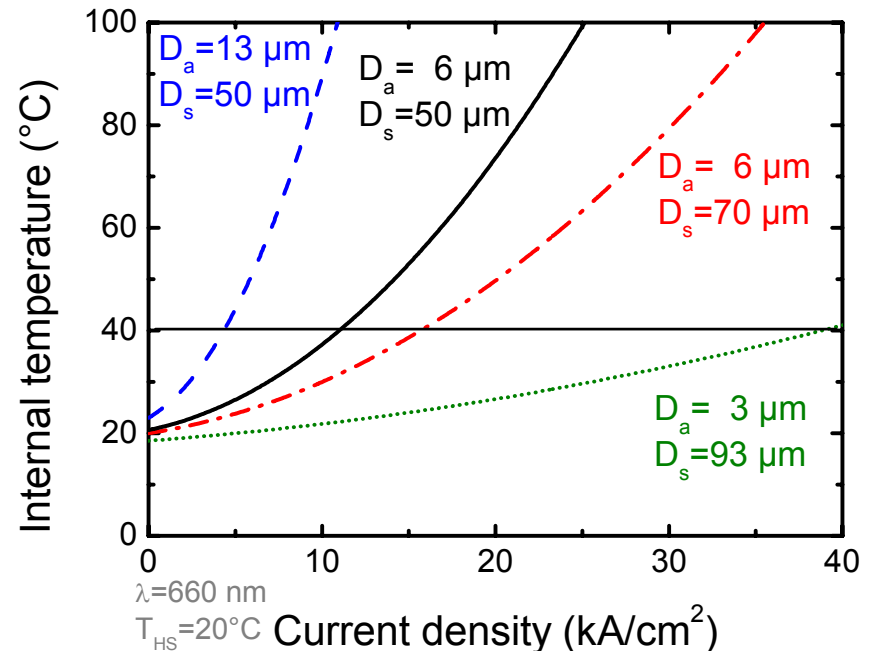
# Interne Temperatur

$$T(I) - T_{HS} = R_{th} \cdot \left\{ \underbrace{U_0 I}_{\text{Erwärmung}} + \underbrace{R_s I^2}_{\text{Kühlung}} - P_{opt} \right\}$$

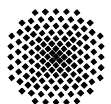
## Experiment



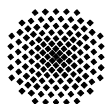
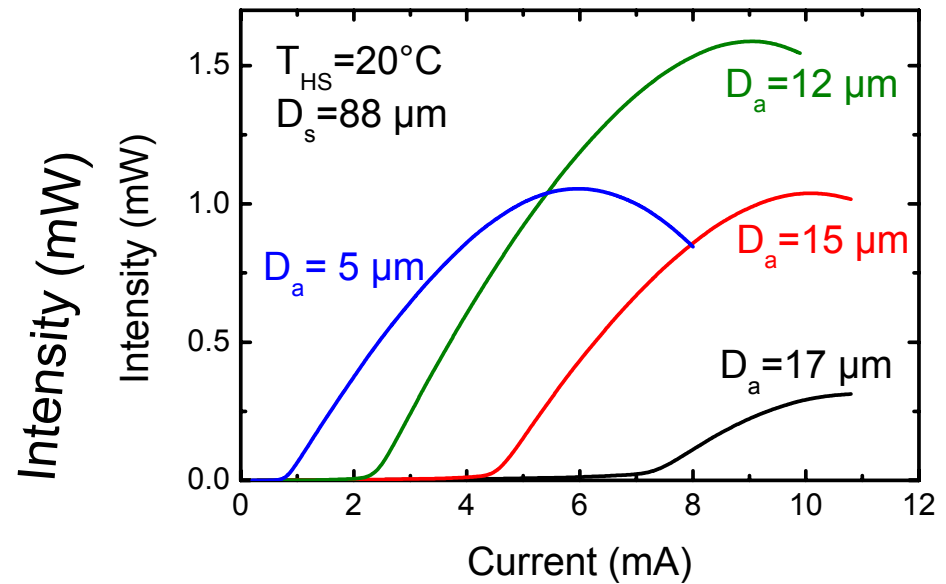
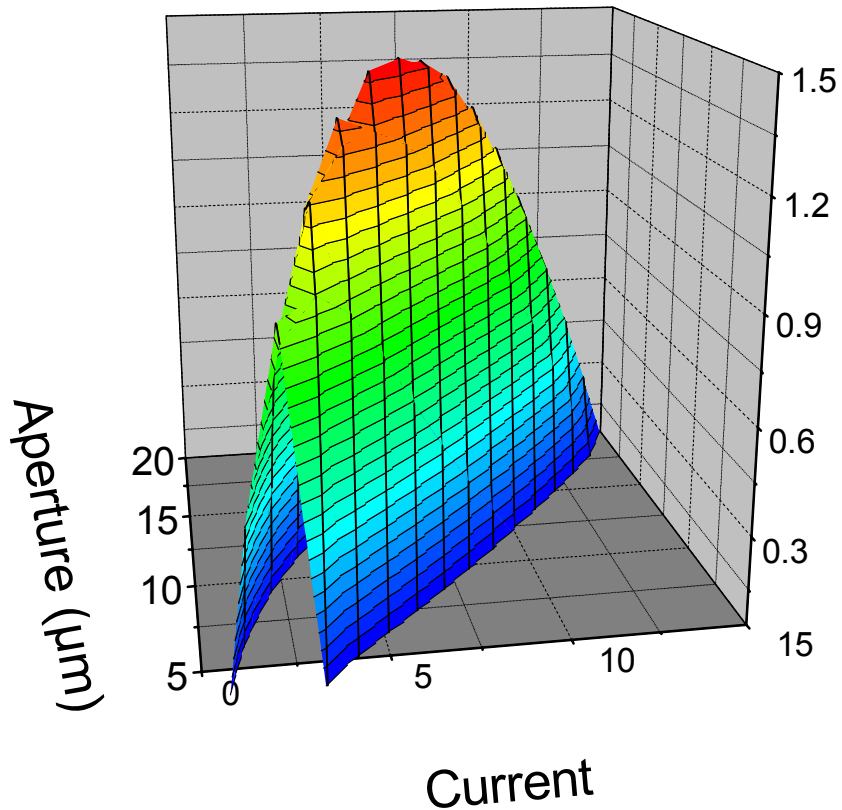
## Model



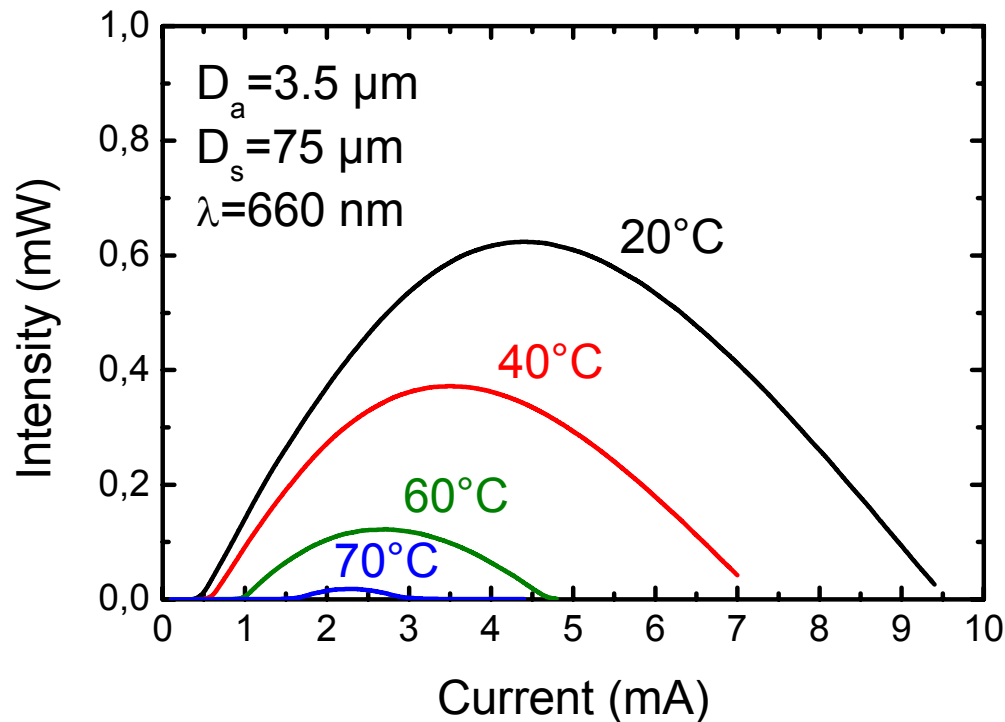
$$j \sim S_0, S_0^{1/2} \sim \omega$$



# P-I- $D_a$ Abhängigkeit

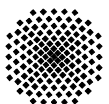


# cw P-I-Kennlinien

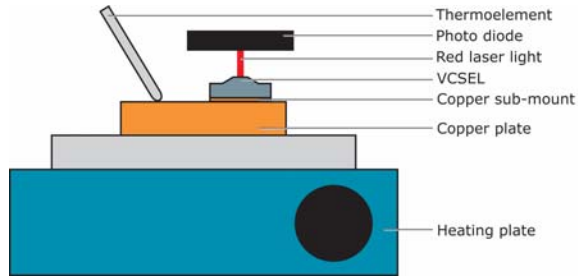


Über **0.1 mW** bei **60°C**  
Lasertätigkeit bis zu **70°C**  
Niedriger Schwellstrom  
von **500  $\mu\text{A}$**

Kleine Oxidapertur  
→ gute Temperaturstabilität  
→ kleiner Schwellstrom

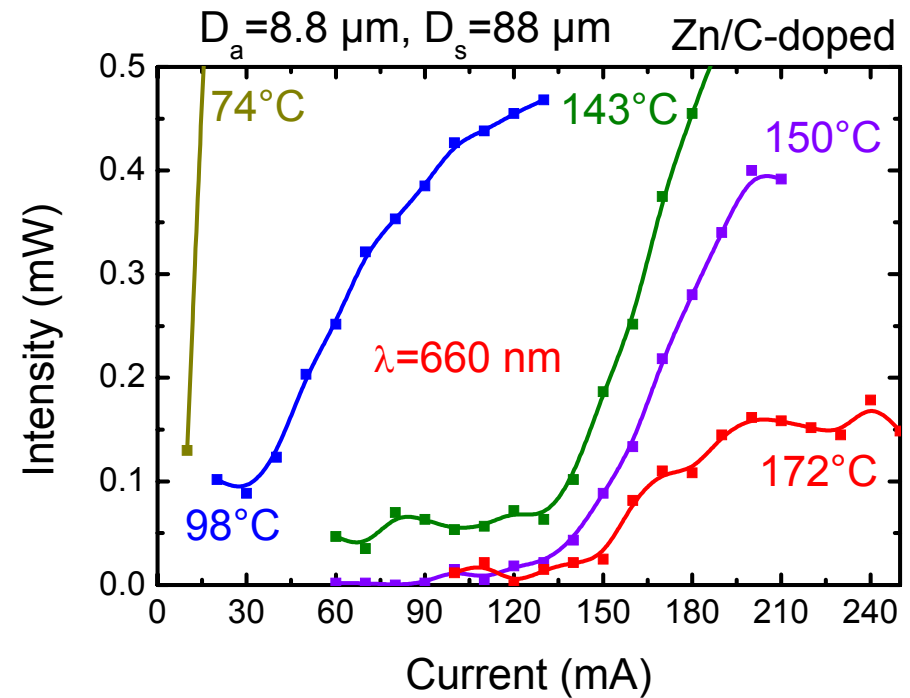
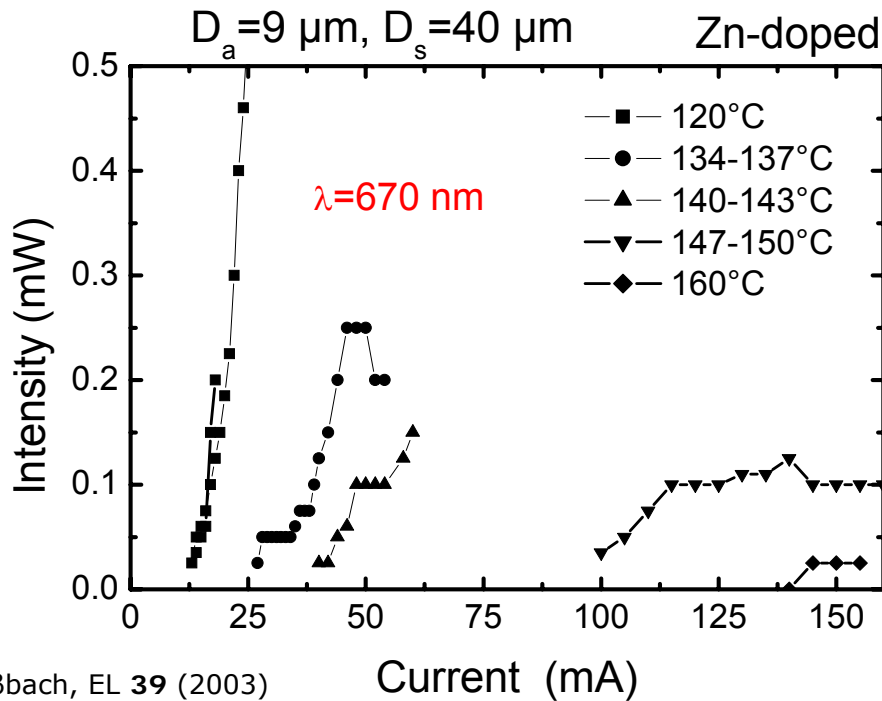


# Gepulster Betrieb

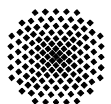


Messbedingungen:

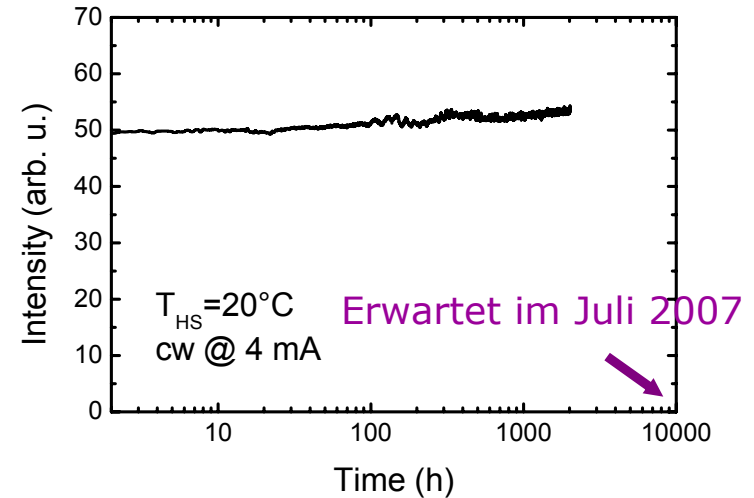
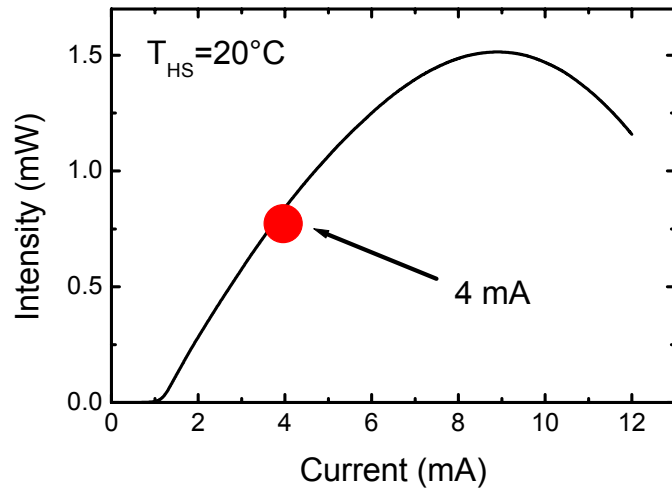
$0.3 \mu\text{s} / 200 \text{ Hz}$



Roßbach, EL 39 (2003)

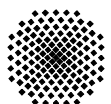
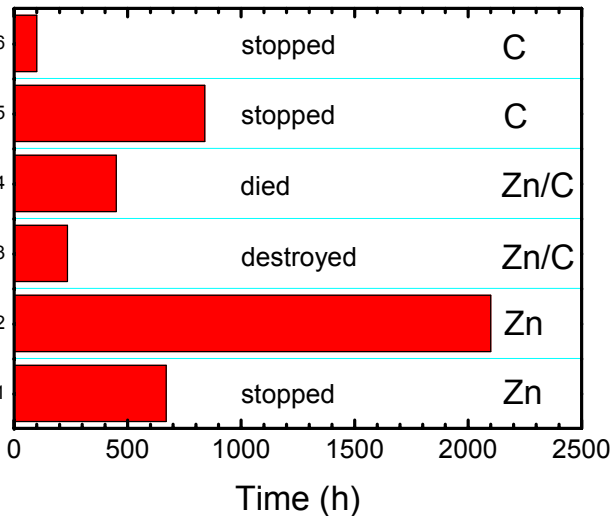


# Zuverlässigkeit: Lebensdauermessungen



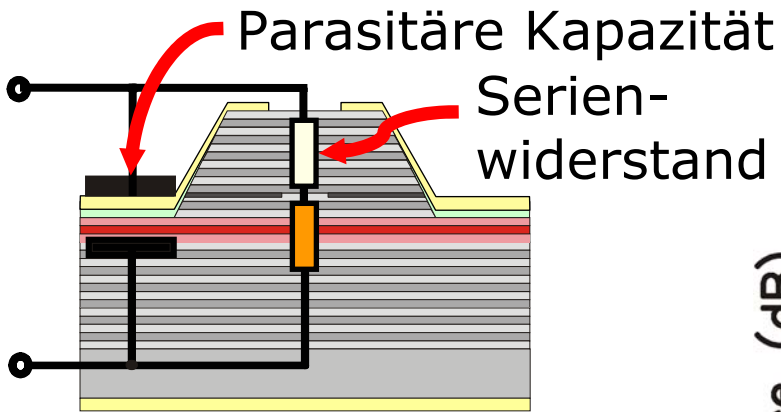
> 2500 hours

Auf dem besten Weg um die Anforderungen für kommerzielle Anwendungen zu erfüllen!

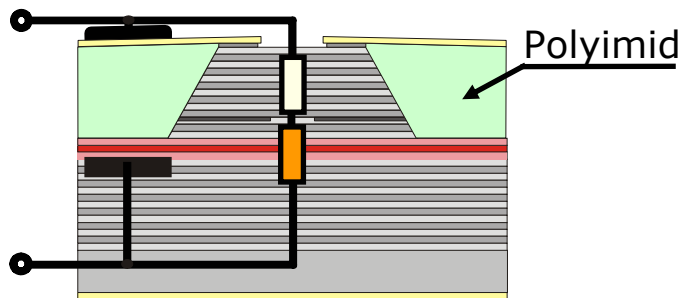


# Hochfrequenzergebnisse: Kleinsignal

## Ersatz Schaltbild

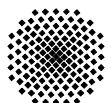
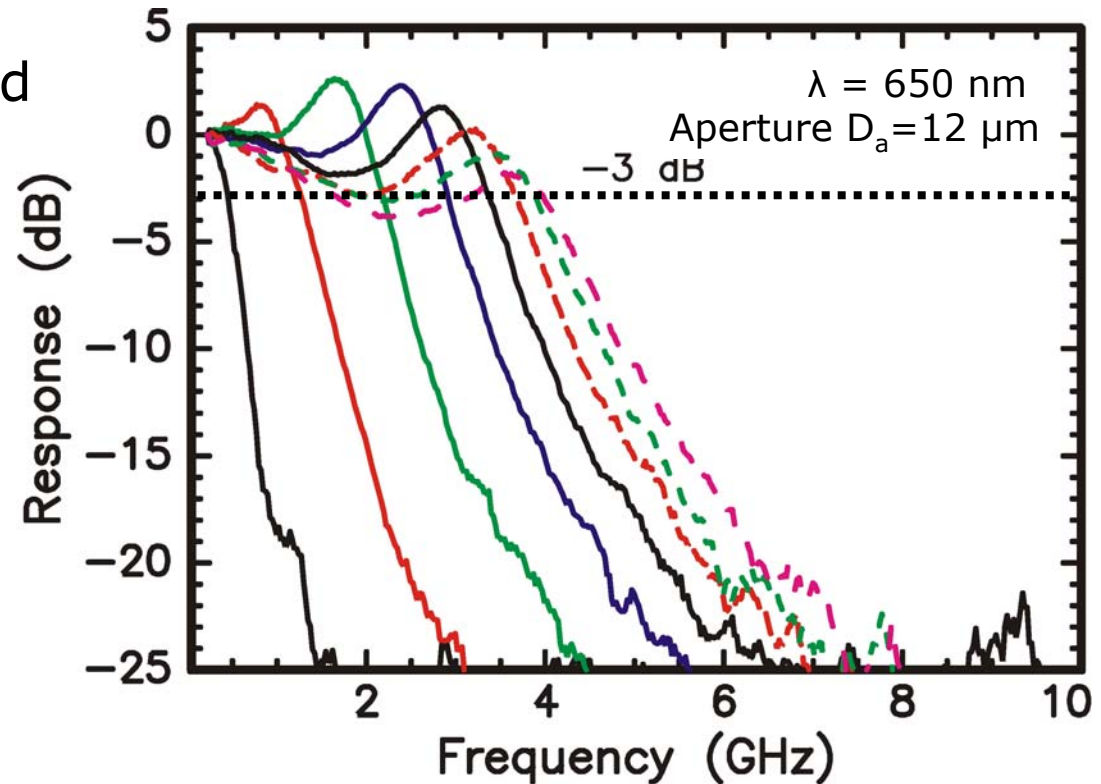


RC-Product begrenzt Bandbreite

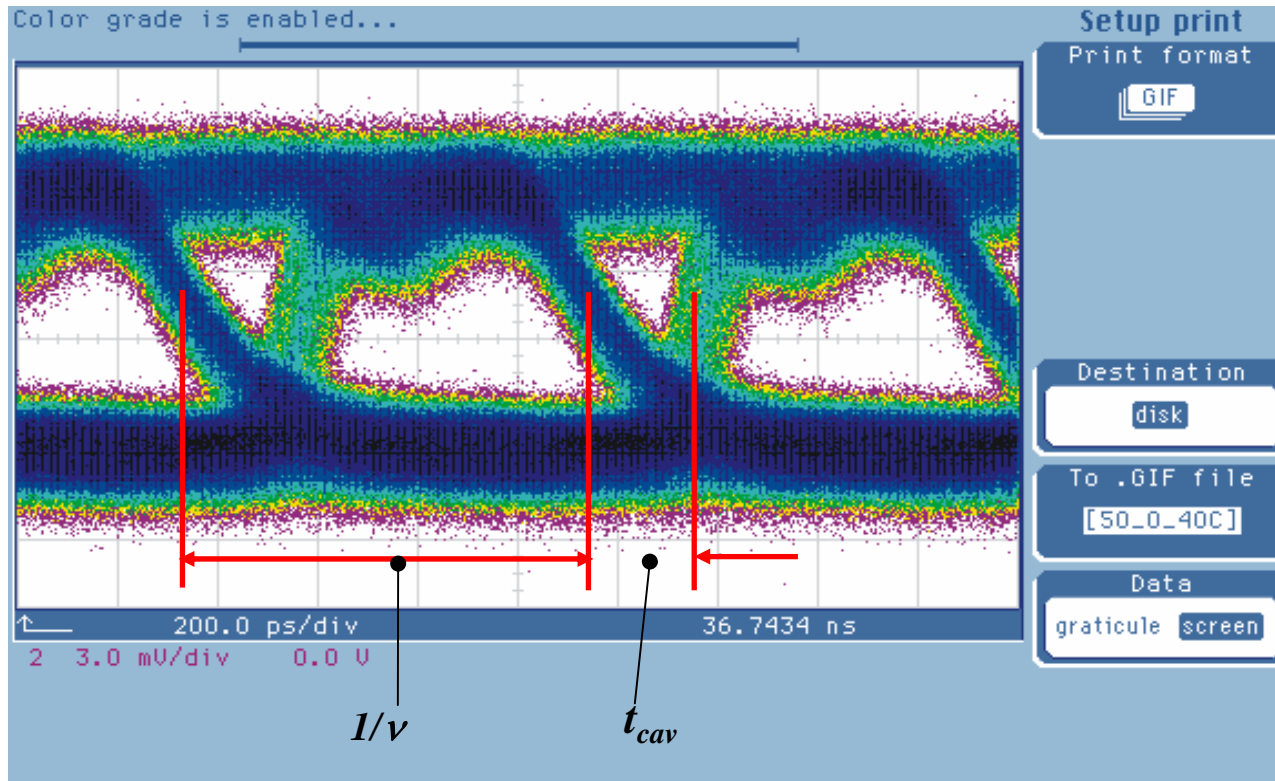


## Kleinsignal Modulationsantwort

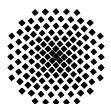
Modulationsbandbreite 4 GHz



# Groß-Signalmodulation: Augendiagramm



- **Datenrate: 1.25 Gb/s**



# Zusammenfassung

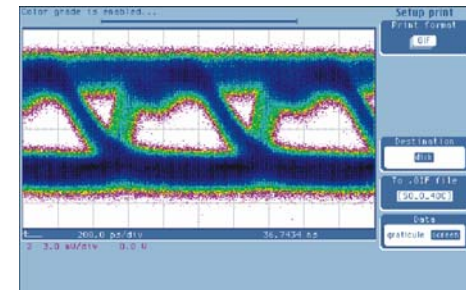
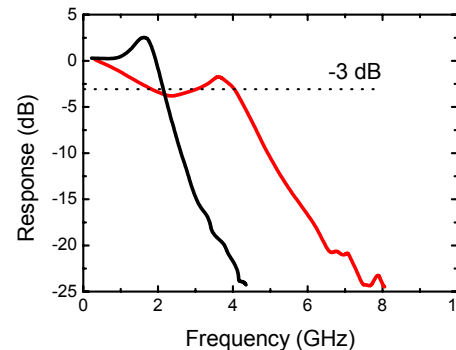
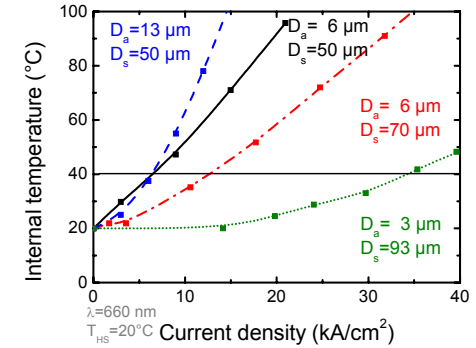
## Wärmedissipationsmodell

- Vorhersage der Laser Performance
- Temperaturstabilität: Kleine Apertur  
Große Mesa

## Volle Prozesskontrolle

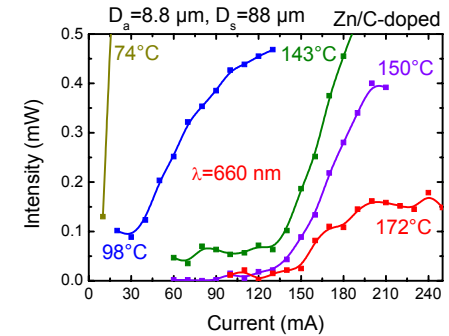
- Definierte Herstellung der Oxidapertur des VCSEL
- Dotierstoffkombination Zn/C erfolgreich implementiert

**VCSEL**  
**hochfrequenztauglich**

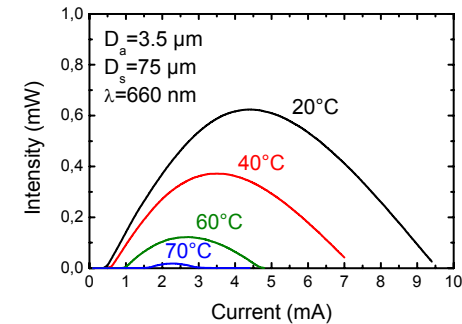


# Zusammenfassung: 660 nm VCSEL

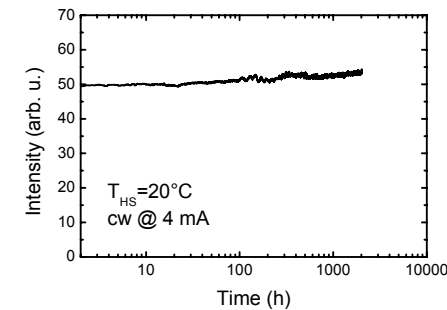
Lasertätigkeit, gepulst bis  $> 170^\circ\text{C}$



Lasertätigkeit, dauerstrich bis  $70^\circ\text{C}$



Lebensdauer der VCSEL  
Momentan  $> 2500$  Stunden cw



# Danke für ihre Aufmerksamkeit

