

# Optische Materialien

**Klaus Betzler**

**28. Januar 2009**

## 1 Überblick

- Materialien
- Worum geht es?
- Physikalische Beschreibung

## 2 Fluoreszenz

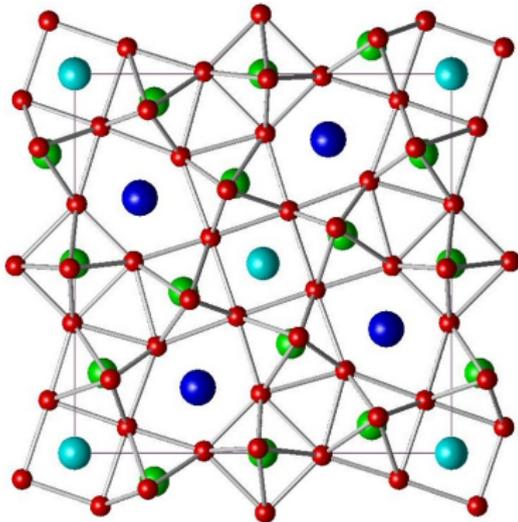
- Absorption
- Lumineszenz
- Lebensdauer, Effizienz

## 3 Nichtlineare Optik

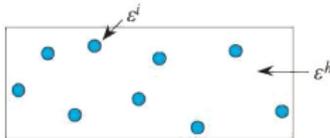
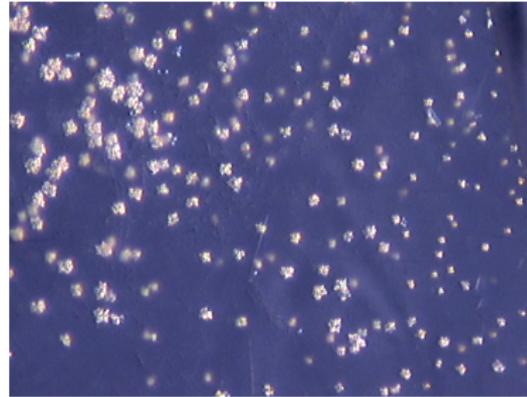
- Linear – Nichtlinear
- Nichtkollineare Frequenzverdopplung
- Anwendung: Licht mit zylindrischer Polarisation
- Anwendung: k-Raum-Spektroskopie

## 4 Abschlussarbeiten

# Kristalle



# Gläser Komposite Keramiken



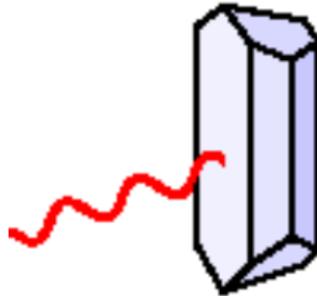
# Material und Funktion

# Material und Funktion



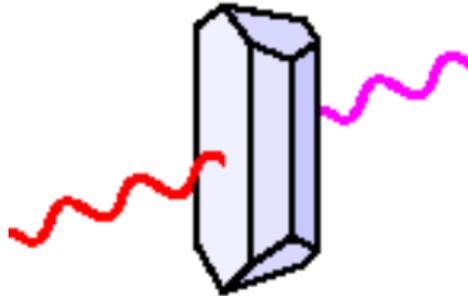
Anregung  $\Rightarrow$

# Material und Funktion



**Anregung  $\Rightarrow$  Material  $\Rightarrow$**

# Material und Funktion



**Anregung  $\Rightarrow$  Material  $\Rightarrow$  Wirkung**

# Materialtensoren

$$P = \chi \epsilon_0 E$$

$\chi$  — Suszeptibilitätstensor

⇒ Dielektrizitätskonstante

⇒ Brechungsindex

⇒ Absorption

# Materialensoren

$$P = \chi \epsilon_0 E$$

$\chi$  — Suszeptibilitätstensor

⇒ Dielektrizitätskonstante

⇒ Brechungsindex

⇒ Absorption

# Materialensoren

$$P = \chi \epsilon_0 E$$

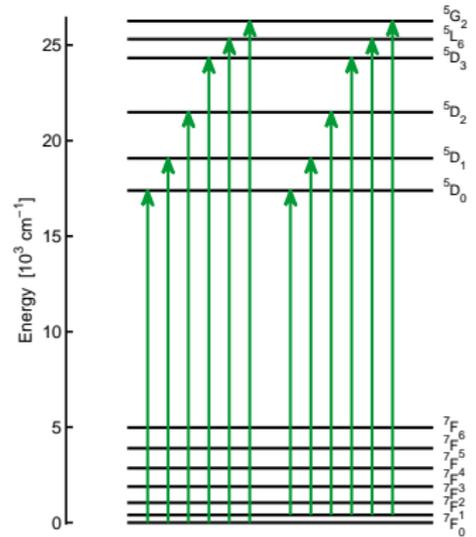
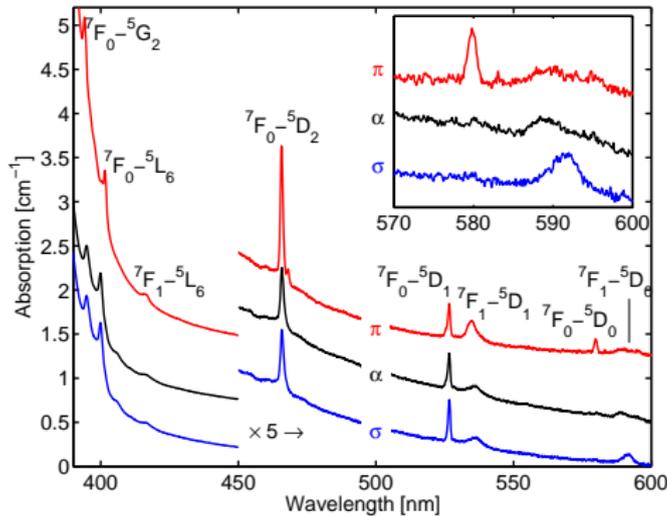
$\chi$  — Suszeptibilitätstensor

⇒ Dielektrizitätskonstante

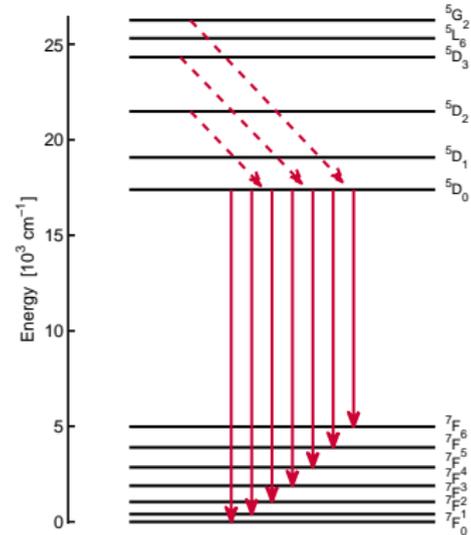
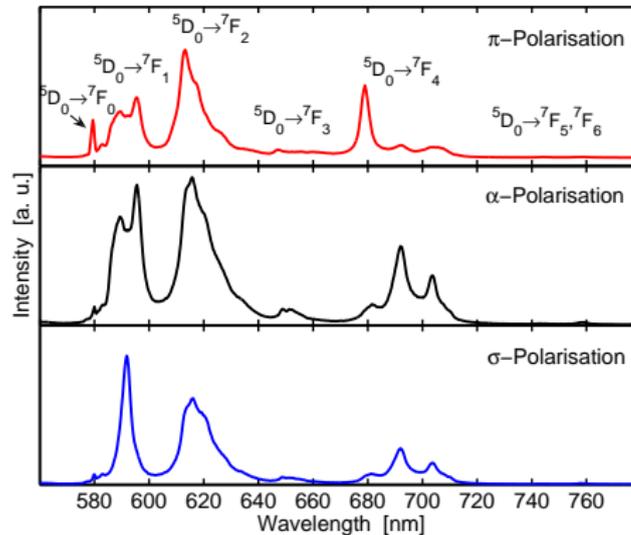
⇒ Brechungsindex

⇒ Absorption

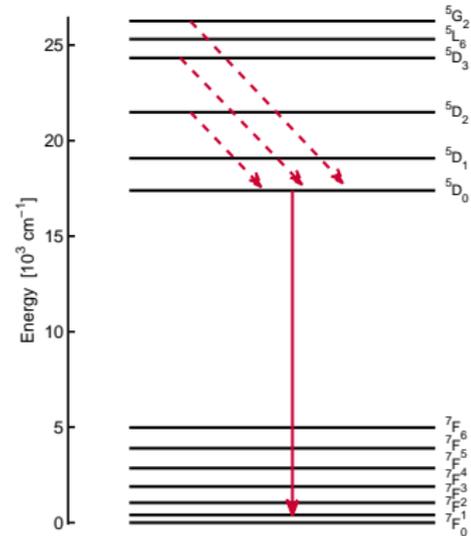
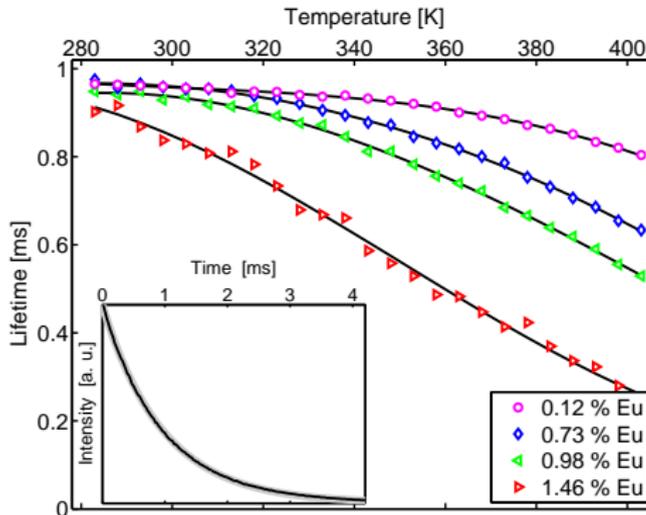
# Strontium-Barium-Niobat mit Europium



# Strontium-Barium-Niobat mit Europium



# Strontium-Barium-Niobat mit Europium



## Lineare Antwort

- Grunderfahrung in der Physik (und im Leben):  
**Wir leben in einer linearen Welt !**
- Mechanik: Doppelte Kraft  $\Rightarrow$  Doppelte Beschleunigung
- Elektrik: Doppelte Spannung  $\Rightarrow$  Doppelter Strom
- Messtechnik vertraut auf Linearität:  
Länge, Gewicht, Intensität, ...
- Preise verhalten sich linear:  
Zwei Äpfel sind doppelt so teuer wie einer.

## Lineare Antwort

- Grunderfahrung in der Physik (und im Leben):

Wir leben in einer **linearen** Welt !

- Mechanik: Doppelte Kraft  $\Rightarrow$  Doppelte Beschleunigung
- Elektrik: Doppelte Spannung  $\Rightarrow$  Doppelter Strom
- Messtechnik vertraut auf Linearität:  
Länge, Gewicht, Intensität, ...
- Preise verhalten sich linear:  
Zwei Äpfel sind doppelt so teuer wie einer.

## Lineare Antwort

- Grunderfahrung in der Physik (und im Leben):  
**Wir leben in einer linearen Welt !**
- Mechanik: Doppelte Kraft  $\Rightarrow$  Doppelte Beschleunigung
- Elektrik: Doppelte Spannung  $\Rightarrow$  Doppelter Strom
- Messtechnik vertraut auf Linearität:  
Länge, Gewicht, Intensität, ...
- Preise verhalten sich linear:  
Zwei Äpfel sind doppelt so teuer wie einer.

## Lineare Antwort

- Grunderfahrung in der Physik (und im Leben):  
**Wir leben in einer **linearen** Welt !**
- Mechanik: Doppelte Kraft  $\Rightarrow$  Doppelte Beschleunigung
- Elektrik: Doppelte Spannung  $\Rightarrow$  Doppelter Strom
- Messtechnik vertraut auf Linearität:  
Länge, Gewicht, Intensität, ...
- Preise verhalten sich linear:  
Zwei Äpfel sind doppelt so teuer wie einer.

## Lineare Antwort

- Grunderfahrung in der Physik (und im Leben):  
**Wir leben in einer linearen Welt !**
- Mechanik: Doppelte Kraft  $\Rightarrow$  Doppelte Beschleunigung
- Elektrik: Doppelte Spannung  $\Rightarrow$  Doppelter Strom
- Messtechnik vertraut auf Linearität:  
Länge, Gewicht, Intensität, ...
- Preise verhalten sich linear:  
Zwei Äpfel sind doppelt so teuer wie einer.

## Lineare Antwort

- Grunderfahrung in der Physik (und im Leben):  
**Wir leben in einer linearen Welt !**
- Mechanik: Doppelte Kraft  $\Rightarrow$  Doppelte Beschleunigung
- Elektrik: Doppelte Spannung  $\Rightarrow$  Doppelter Strom
- Messtechnik vertraut auf Linearität:  
Länge, Gewicht, Intensität, . . .
- Preise verhalten sich linear:  
Zwei Äpfel sind doppelt so teuer wie einer.

## Lineare Antwort

- Grunderfahrung in der Physik (und im Leben):  
**Wir leben in einer linearen Welt !**
- Mechanik: Doppelte Kraft  $\Rightarrow$  Doppelte Beschleunigung
- Elektrik: Doppelte Spannung  $\Rightarrow$  Doppelter Strom
- Messtechnik vertraut auf Linearität:  
Länge, Gewicht, Intensität, ...
- Preise verhalten sich linear:  
Zwei Äpfel sind doppelt so teuer wie einer.

## Nichtlineare Antwort

- Was aber, wenn Sie 100 Äpfel kaufen ?
- Sie bekommen Rabatt.
- Das ist die **Nichtlineare Antwort** im täglichen Leben.
- **Und in der Physik ?**
- Das Hookesche Gesetz gilt nur eingeschränkt.
- Bei hohen Intensitäten verzerrt Ihr Verstärker.
- **Fazit: Linearität ist immer nur eine Näherung.**

## Nichtlineare Antwort

- Was aber, wenn Sie 100 Äpfel kaufen ?
  - Sie bekommen Rabatt.
  - Das ist die **Nichtlineare Antwort** im täglichen Leben.
- Und in der Physik ?
  - Das Hookesche Gesetz gilt nur eingeschränkt.
  - Bei hohen Intensitäten verzerrt Ihr Verstärker.
- **Fazit: Linearität ist immer nur eine Näherung.**

## Nichtlineare Antwort

- Was aber, wenn Sie 100 Äpfel kaufen ?
- Sie bekommen Rabatt.
- Das ist die **Nichtlineare Antwort** im täglichen Leben.
- **Und in der Physik ?**
- Das Hookesche Gesetz gilt nur eingeschränkt.
- Bei hohen Intensitäten verzerrt Ihr Verstärker.
- **Fazit: Linearität ist immer nur eine Näherung.**

## Nichtlineare Antwort

- Was aber, wenn Sie 100 Äpfel kaufen ?
- Sie bekommen Rabatt.
- Das ist die **Nichtlineare Antwort** im täglichen Leben.
- Und in der Physik ?
- Das Hookesche Gesetz gilt nur eingeschränkt.
- Bei hohen Intensitäten verzerrt Ihr Verstärker.
- **Fazit: Linearität ist immer nur eine Näherung.**

## Nichtlineare Antwort

- Was aber, wenn Sie 100 Äpfel kaufen ?
- Sie bekommen Rabatt.
- Das ist die **Nichtlineare Antwort** im täglichen Leben.
  
- **Und in der Physik ?**
  - Das Hookesche Gesetz gilt nur eingeschränkt.
  - Bei hohen Intensitäten verzerrt Ihr Verstärker.
  
  - **Fazit: Linearität ist immer nur eine Näherung.**

## Nichtlineare Antwort

- Was aber, wenn Sie 100 Äpfel kaufen ?
- Sie bekommen Rabatt.
- Das ist die **Nichtlineare Antwort** im täglichen Leben.
- **Und in der Physik ?**
- Das Hookesche Gesetz gilt nur eingeschränkt.
- Bei hohen Intensitäten verzerrt Ihr Verstärker.
- **Fazit: Linearität ist immer nur eine Näherung.**

## Nichtlineare Antwort

- Was aber, wenn Sie 100 Äpfel kaufen ?
- Sie bekommen Rabatt.
- Das ist die **Nichtlineare Antwort** im täglichen Leben.
  
- **Und in der Physik ?**
  
- Das Hookesche Gesetz gilt nur eingeschränkt.
- Bei hohen Intensitäten verzerrt Ihr Verstärker.
  
- **Fazit: Linearität ist immer nur eine Näherung.**

## Nichtlineare Antwort

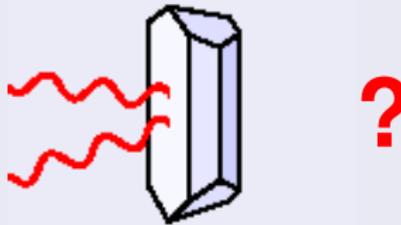
- Was aber, wenn Sie 100 Äpfel kaufen ?
- Sie bekommen Rabatt.
- Das ist die **Nichtlineare Antwort** im täglichen Leben.
  
- **Und in der Physik ?**
  
- Das Hookesche Gesetz gilt nur eingeschränkt.
- Bei hohen Intensitäten verzerrt Ihr Verstärker.
  
- **Fazit: Linearität ist immer nur eine Näherung.**

## Lineare und Nichtlineare Antwort in Materialien

Was passiert mit **LICHT** in **MATERIE** ?

## Lineare und Nichtlineare Antwort in Materialien

Was passiert mit **LICHT** in **MATERIE** ?

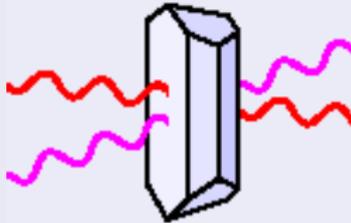


## Lineare und Nichtlineare Antwort in Materialien

### Lineare Antwort

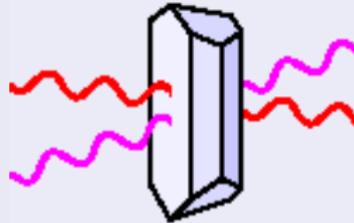
## Lineare und Nichtlineare Antwort in Materialien

**Lineare  
Antwort**



## Lineare und Nichtlineare Antwort in Materialien

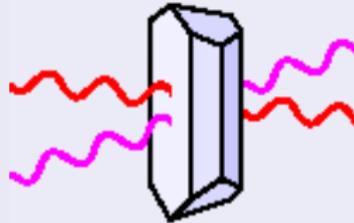
**Lineare  
Antwort**



**Keine  
Wechselwirkung  
der Lichtwellen**

## Lineare und Nichtlineare Antwort in Materialien

**Lineare  
Antwort**

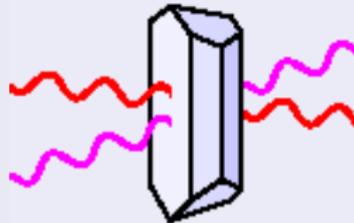


**Keine  
Wechselwirkung  
der Lichtwellen**

**Nichtlineare  
Antwort**

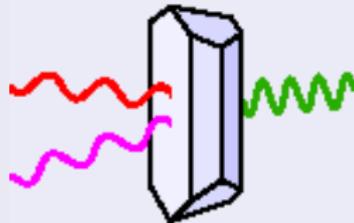
## Lineare und Nichtlineare Antwort in Materialien

**Lineare  
Antwort**



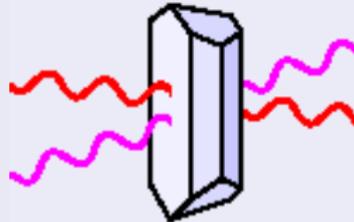
**Keine  
Wechselwirkung  
der Lichtwellen**

**Nichtlineare  
Antwort**



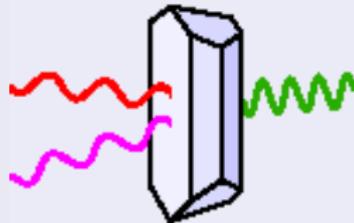
## Lineare und Nichtlineare Antwort in Materialien

**Lineare  
Antwort**



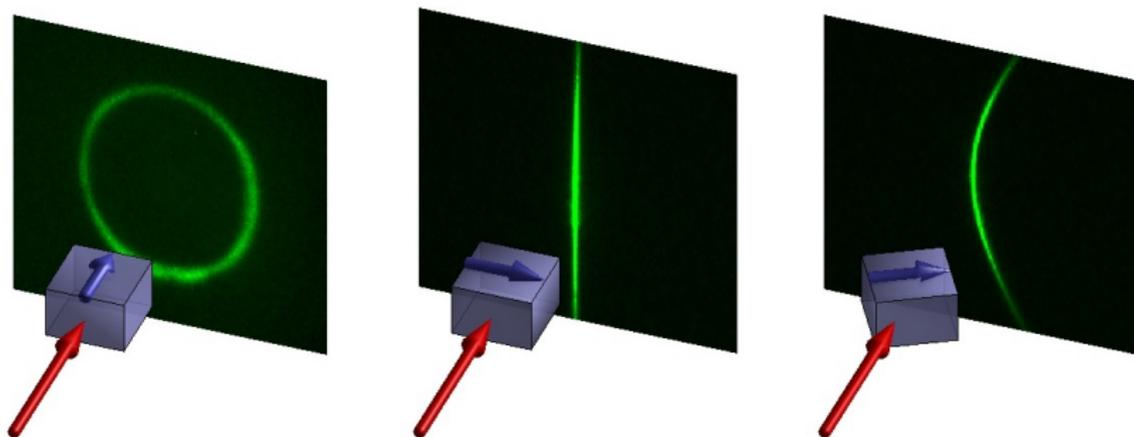
**Keine  
Wechselwirkung  
der Lichtwellen**

**Nichtlineare  
Antwort**



**Wechselwirkung  
der Lichtwellen**

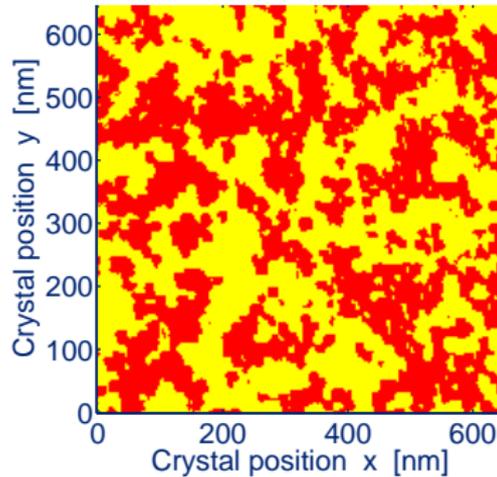
## Nanodomänen in Strontium-Barium-Niobat (SBN)



Arthur-R. Tunyagi, Michael Ulex, Klaus Betzler: *Noncollinear optical frequency doubling in Strontium Barium Niobate*, Physical Review Letters 90:243901 (2003)

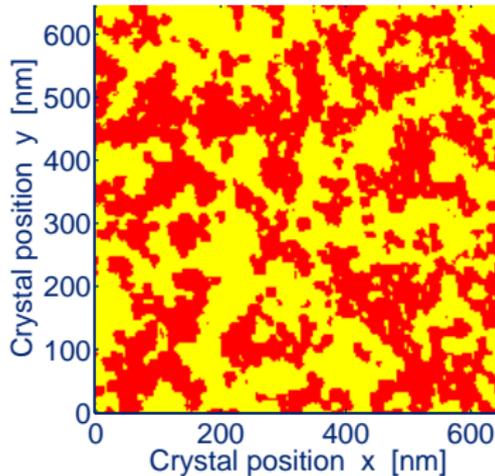
# Nanodomänenstruktur in SBN

## AFM-Bild im Ortsraum



## Nanodomänenstruktur in SBN

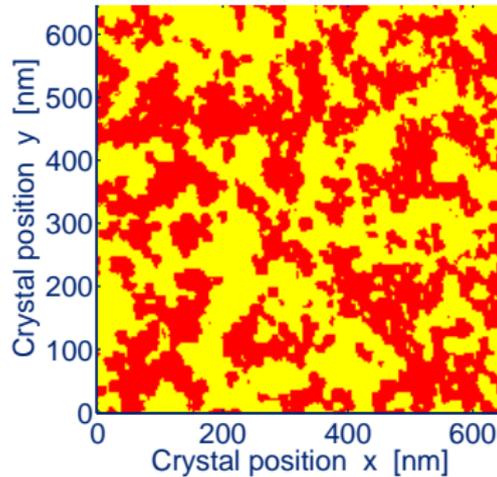
### AFM-Bild im Ortsraum



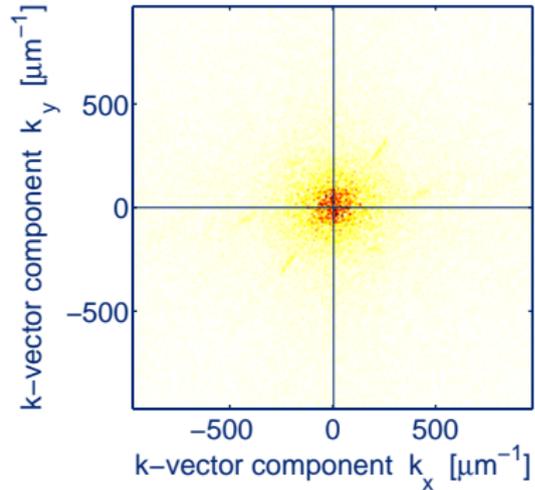
### Transformation in den k-Raum

## Nanodomänenstruktur in SBN

### AFM-Bild im Ortsraum

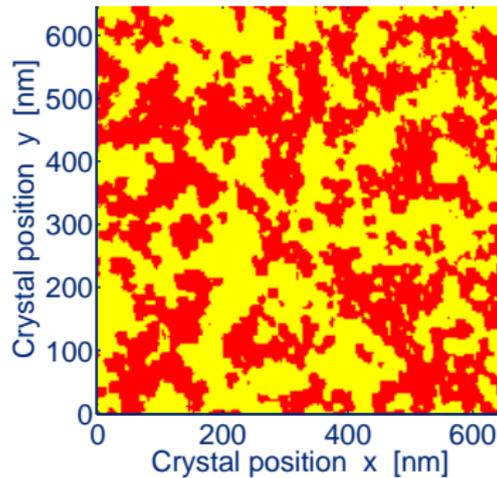


### Transformation in den k-Raum

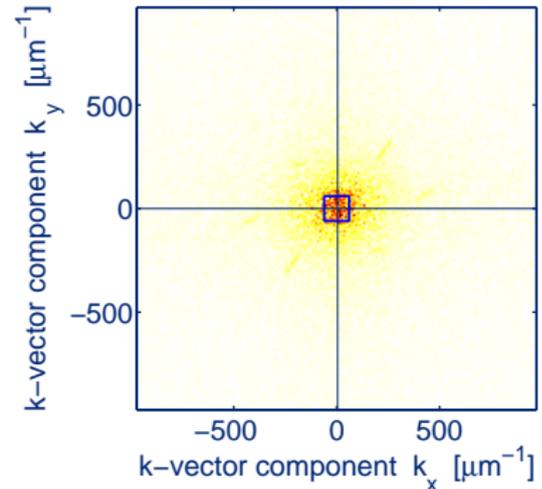


## Nanodomänenstruktur in SBN

### AFM-Bild im Ortsraum

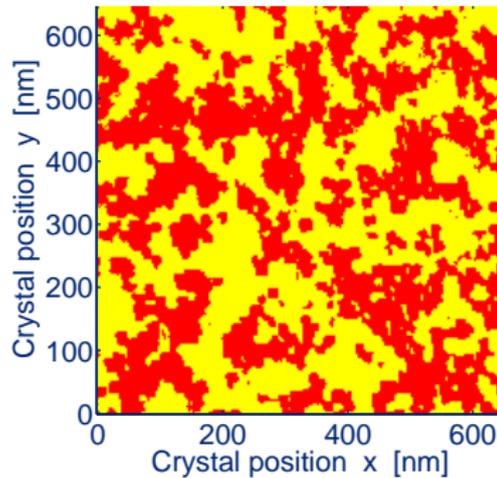


### Transformation in den k-Raum

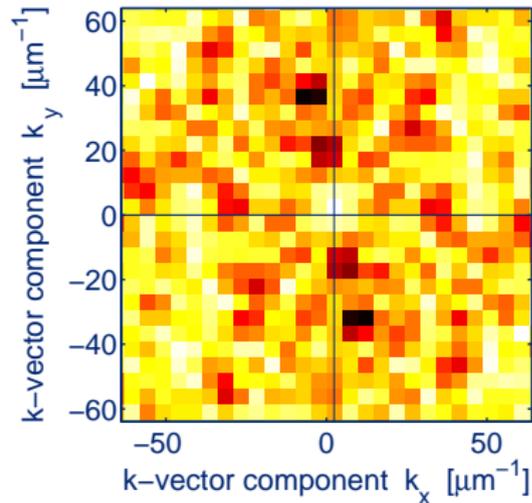


## Nanodomänenstruktur in SBN

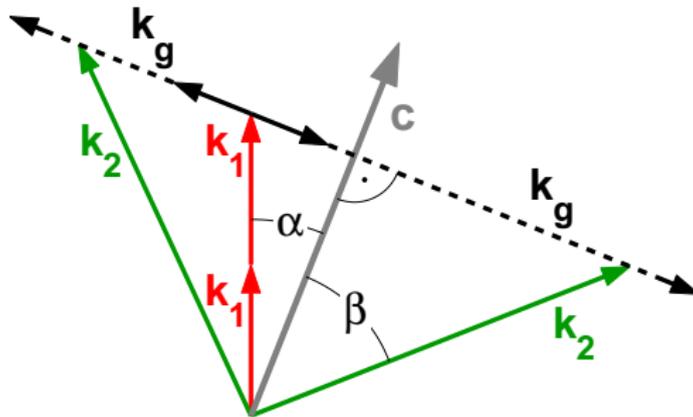
### AFM-Bild im Ortsraum



### Transformation in den k-Raum

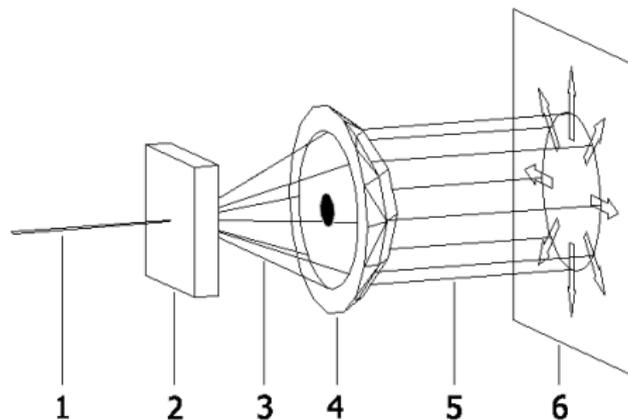


Impulsvektordiagramm:  $\Sigma \mathbf{k} = 2 \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_g - \mathbf{k}_2 = 0$



$$2 k_1 \cos \alpha = k_2 \cos \beta \quad \Longrightarrow \quad n_1(\alpha) \cos \alpha = n_2(\beta) \cos \beta$$

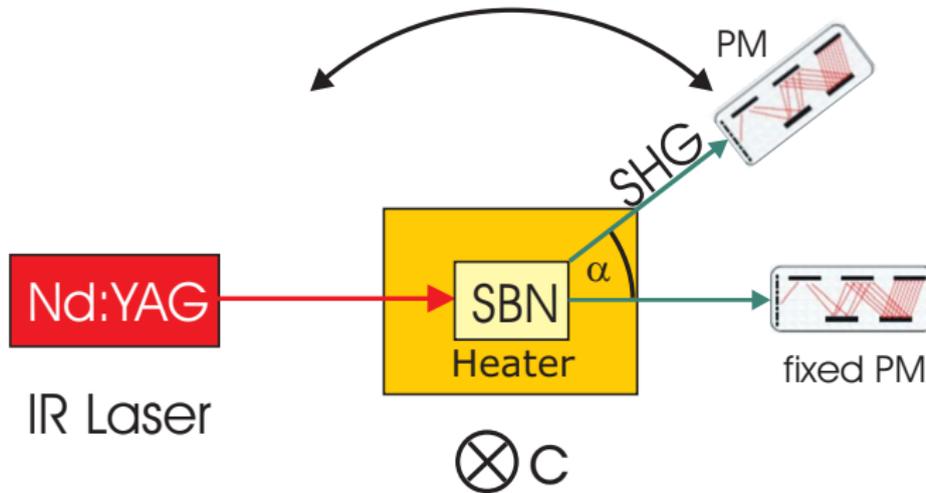
## Radial polarisiertes Licht



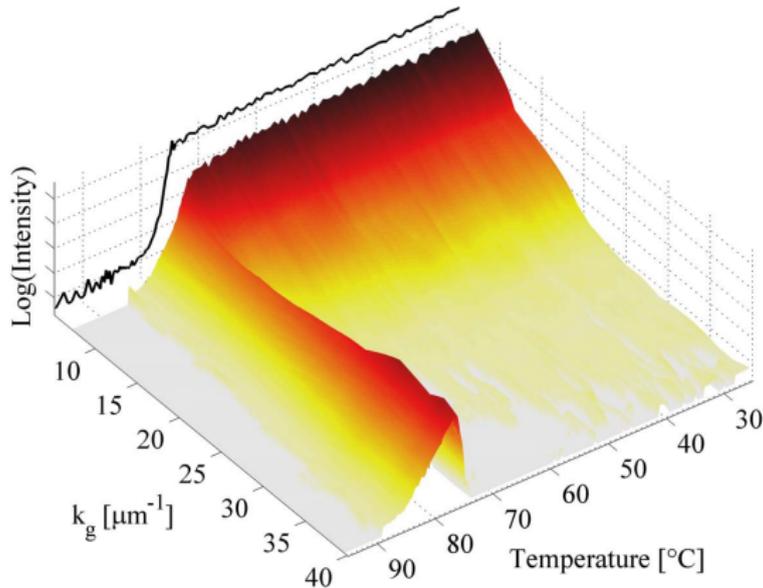
- 1 Laser
- 2 SBN-Kristall
- 3 Nichtkollineares SHG-Licht
- 4 Kollimations-Optik
- 5 Zylindrischer Parallelstrahl
- 6 mit radialer Polarisation

Arthur-R. Tunyagi, Klaus Betzler: *Lichtquelle für radial polarisiertes Licht*,  
Patent Nr. 102004013284, Deutsches Patent- und Markenamt 21.10.2004.

## Experimenteller Aufbau k-Raum-Spektroskopie



## Messergebnisse



Uwe Voelker, Klaus Betzler: *Domain morphology from k-space spectroscopy of ferroelectric crystals*, Physical Review B 74:132104 (2006)

## Aktuelle Abschlussarbeiten



**Urs Heine (Promotionsarbeit):**

**k-Raum-Spektroskopie am Relaxor-Ferroelektrikum  
Calcium-Barium-Niobat**



**Alexander Niemer (Promotionsarbeit):**

**Nichtlineare Lumineszenzanregungsprozesse in  
Strontium-Barium-Niobat**



**Kai Dinges (Diplomarbeit):**

**Nichtkollineare Frequenzverdopplung an reinem und  
dotiertem Strontium-Barium-Niobat**