

Optische Systeme (15. Vorlesung)

Martina Gerken
12.02.2007

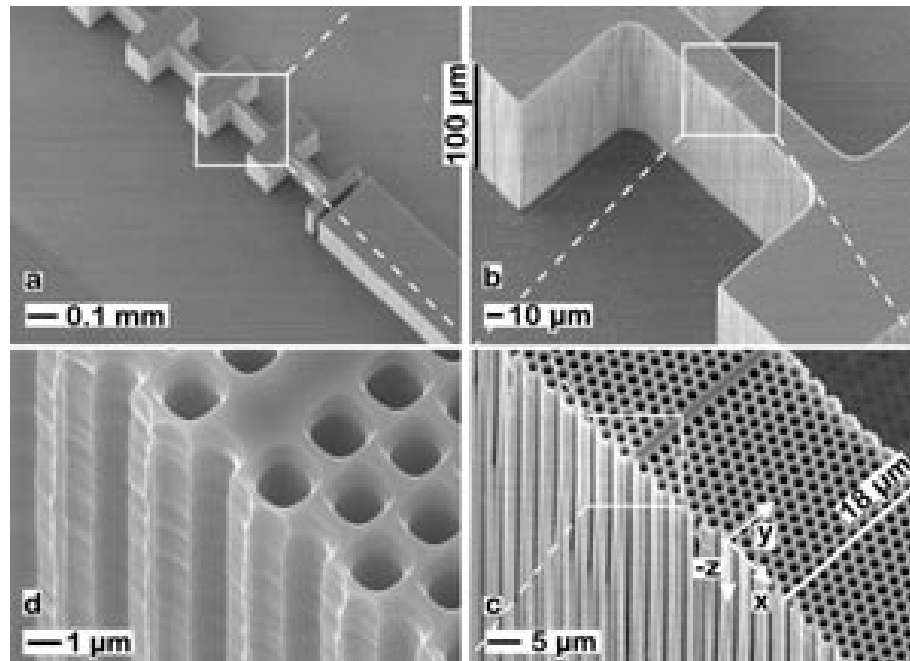
Universität Karlsruhe (TH) 

15.2

Inhalte der Vorlesung

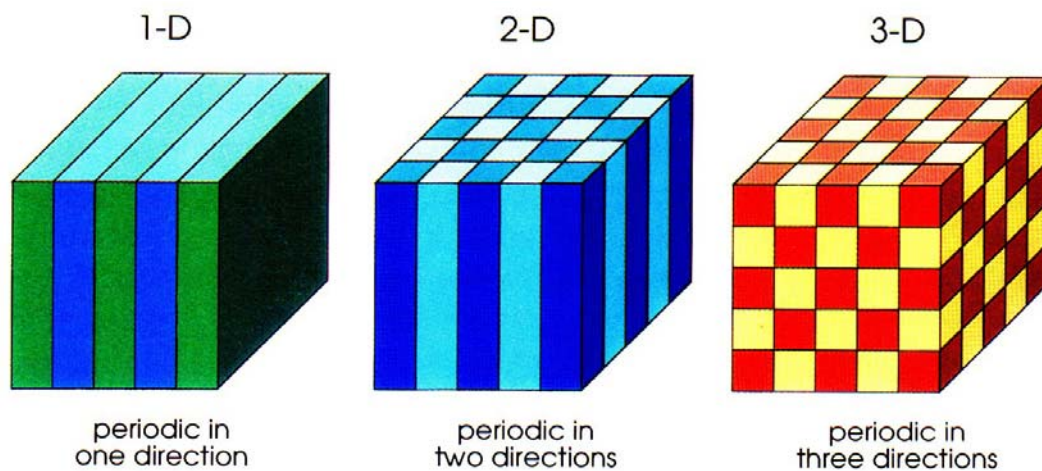
1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
4. Biomedizinische optische Systeme
5. Optische Materialbearbeitung
6. Optische Datenspeicherung -> Optik in der Datenspeicherung
7. Optische Informationstechnik
8. Mikro- und Nanooptische Systeme
 - 8.1 Klassifizierung optischer Komponenten
 - 8.2 Herstellung optischer Komponenten von Makro bis Mikro
 - 8.3 Mikrooptische Systeme
 - 8.4 Nanooptik
 - 8.5 Mikrodisplays für Beamer

- Definition von Nanooptik: Herstellung mit Nanotechnologie
 - Minimale Merkmalsgröße im Nanometerbereich (Gesamtbauelement kann größer sein)

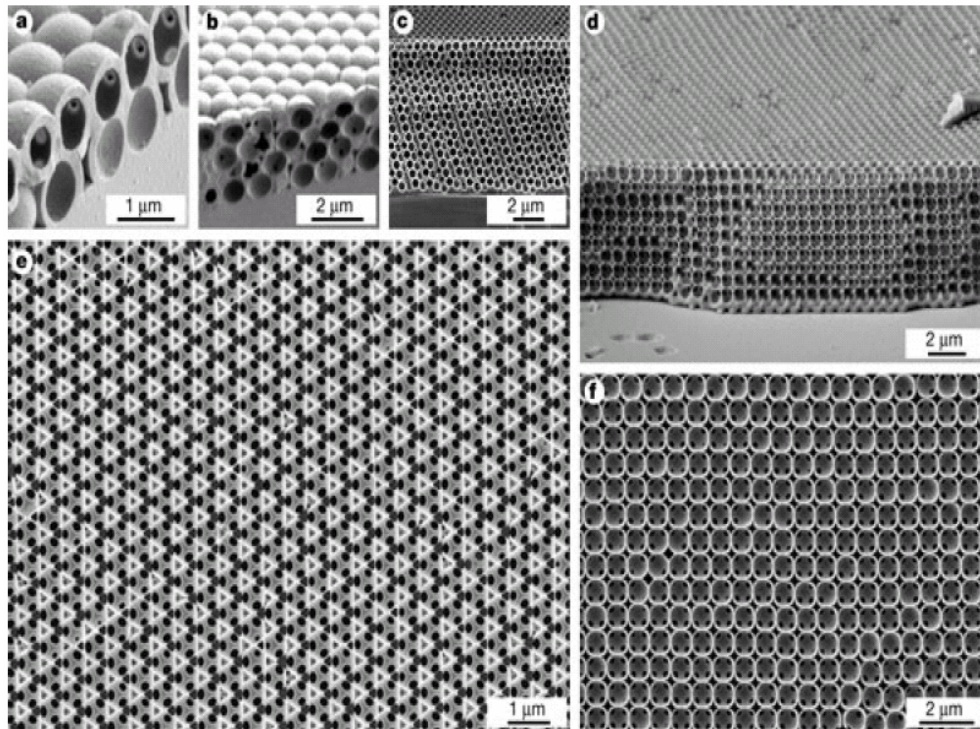


Quelle: www.nanotruck.net

- Periodische Modulierung des Brechungsindex
 - Periode in Größenordnung der Wellenlänge



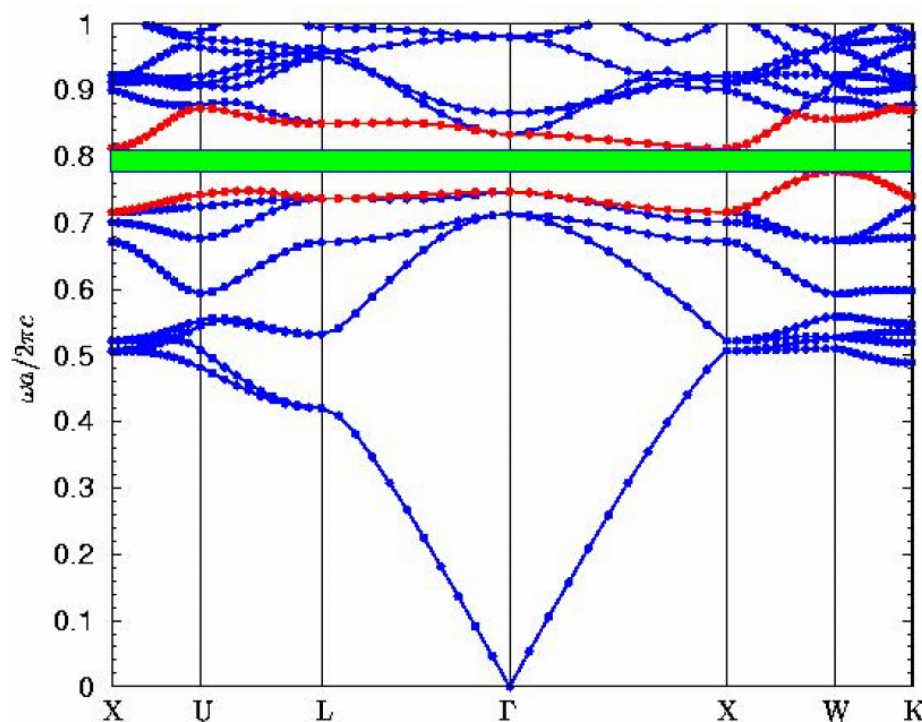
Quelle: Joannopoulos/Meade/Winn, *Photonic Crystals-Molding the Flow of Light* (1995).



Quellen: H. Sözüer, J. Haus, R. Inguva, Phys. Rev. B **45**, 13962 (1992)
 J. Wijnhoven, W. Vos, Science **281**, 802 (1998)
 A. Blanco et al., Nature **405**, 437 (2000)
 Y.A. Vlasov et al., Nature **414**, 289 (2001)

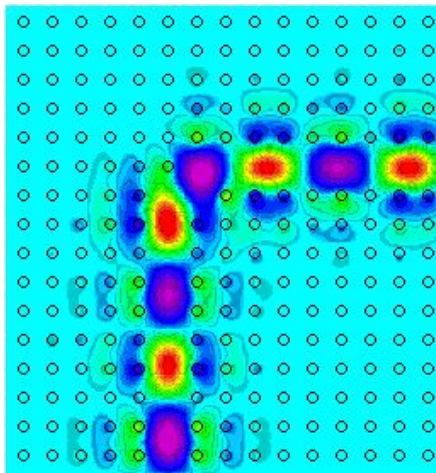
Bandstruktur einer inversen Siliziumopalstruktur

- Äquivalent zu der Bandstruktur für Elektronen im Festkörper ergeben sich erlaubte Bänder und Bandlücken für Photonen

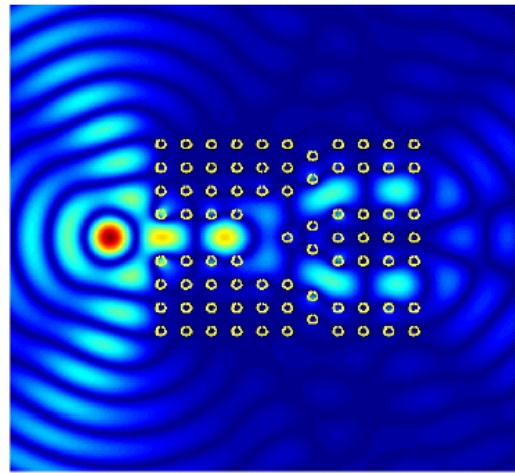


Quelle: K. Busch

- Neuartige Wellenleiter mit kleinen Krümmungsradien möglich
- Neue Ansätze für integrierte Optik

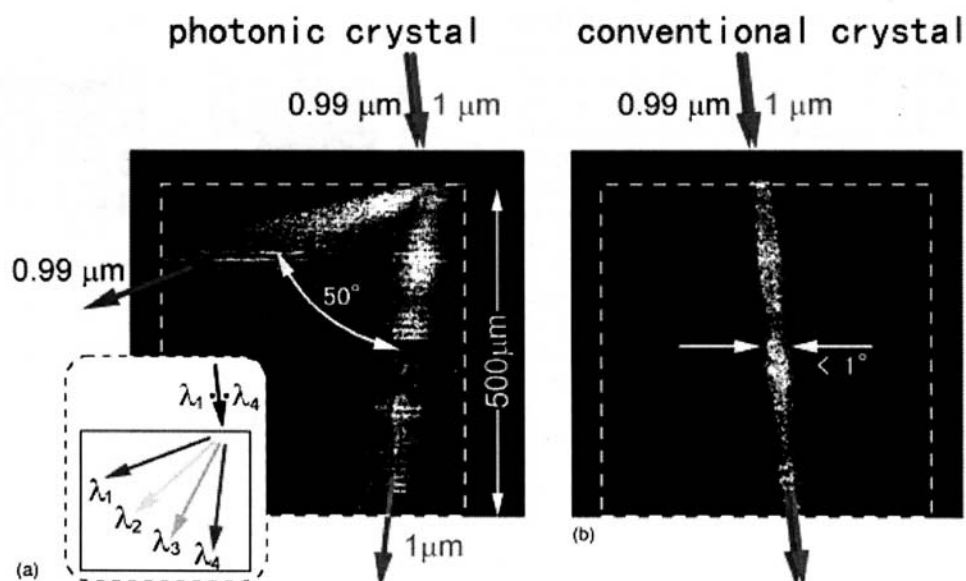


Quelle: ab-initio.mit.edu



Quelle: K. Busch

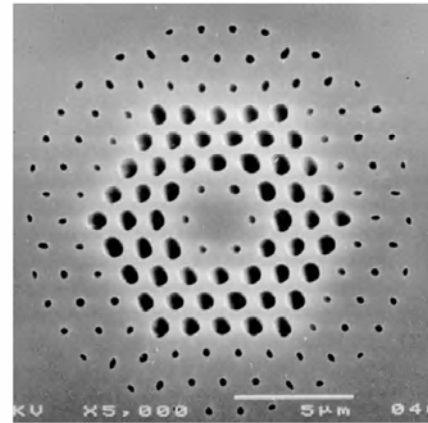
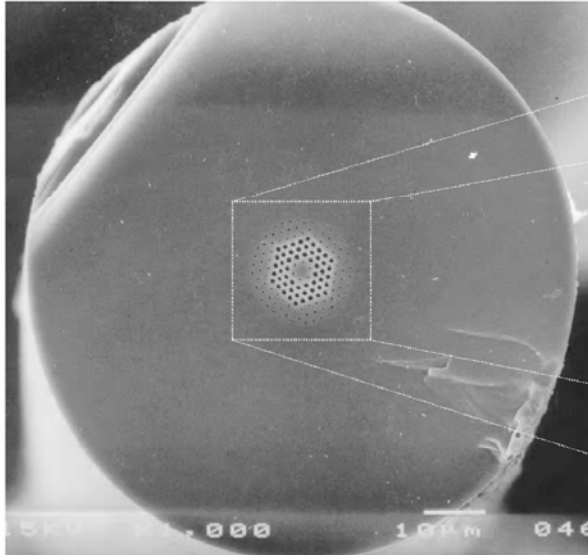
- Starke Änderung der Ausbreitungsrichtung mit Wellenlänge
 - Hervorgerufen durch Nanostrukturierung nicht durch Materialdispersion



Quelle: H. Kosaka et al., Phys. Rev. B **58**, R10 096-R10 099 (1998).

A typical photonic crystal fibre

Will Reeves

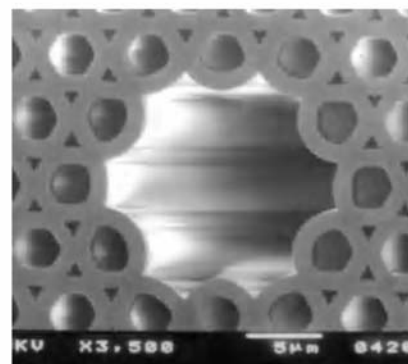
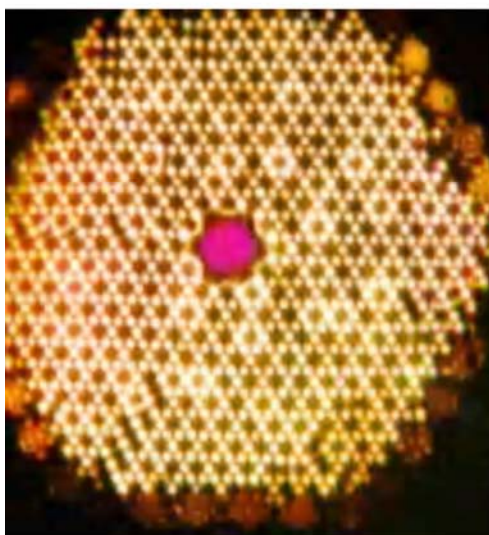


Philip Russell, University of Bath, p.s.j.russell@bath.ac.uk

... pure fused silica throughout

Hollow-core PCF guiding pink light

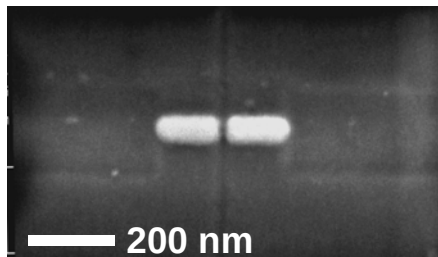
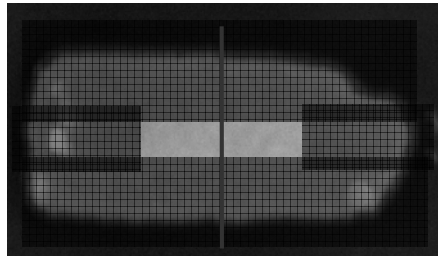
Cregan et al, Science **285** (1537-1539) 1



- guided colour depends on geometry & size

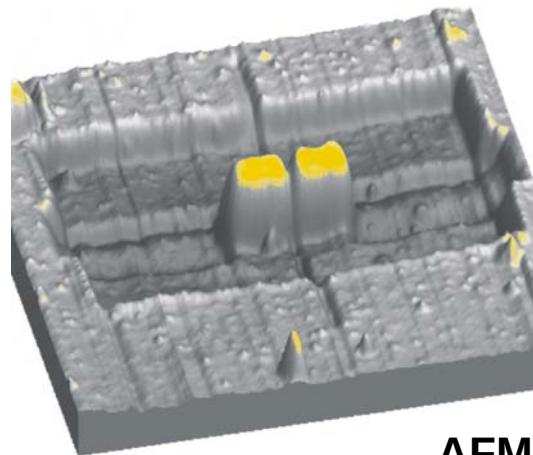
II. Focused ion-beam milling

→ Au antennas & rods



SEM

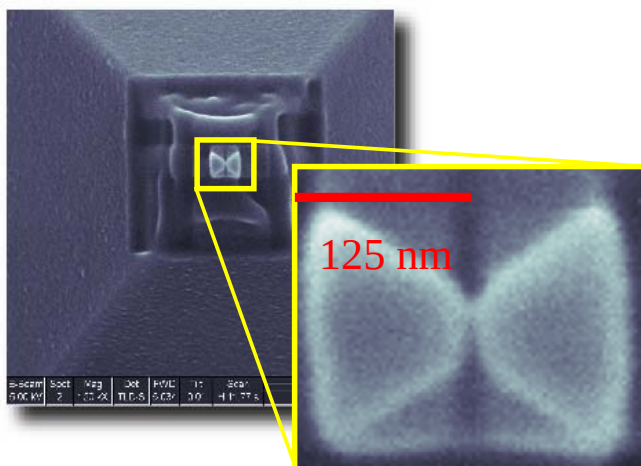
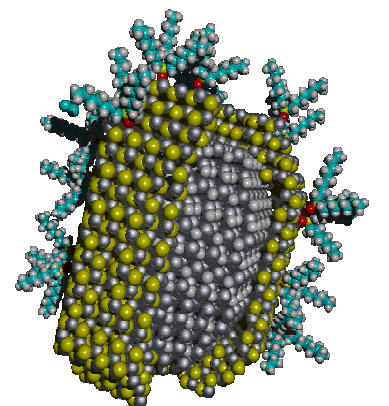
Analysis by SEM and AFM



AFM

Quelle: H. Eisler

Super Emitter Concept

Scanning optical
bowtie antenna

~5 nm

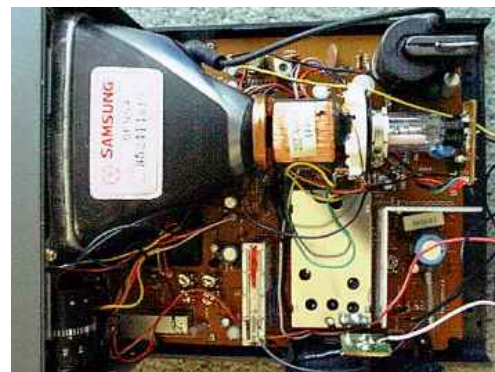
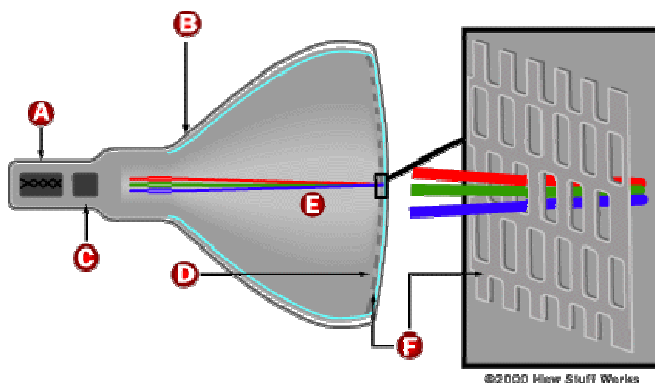
Quantum Dot

- Mehr zum Thema in der Vorlesung „Nanooptik“ im nächsten Semester!

Quelle: H. Eisler

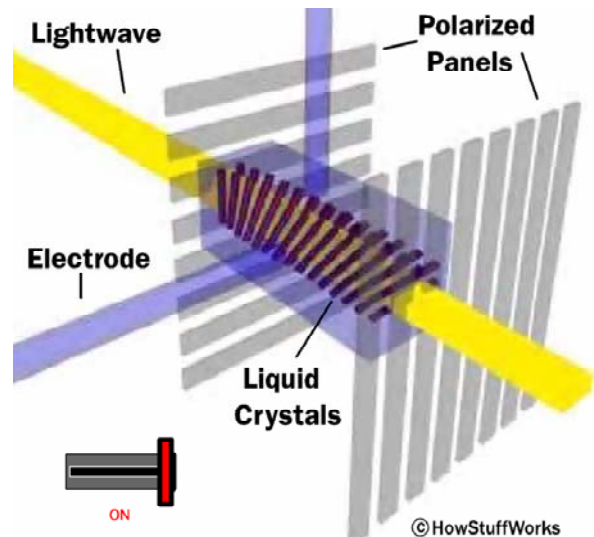
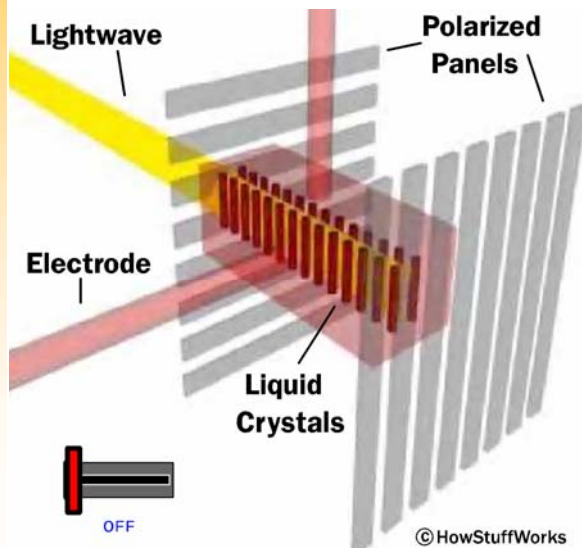
1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
4. Biomedizinische optische Systeme
5. Optische Materialbearbeitung
6. Optische Datenspeicherung -> Optik in der Datenspeicherung
7. Optische Informationstechnik
8. Mikro- und Nanooptische Systeme
 - 8.1 Klassifizierung optischer Komponenten
 - 8.2 Herstellung optischer Komponenten von Makro bis Mikro
 - 8.3 Mikrooptische Systeme
 - 8.4 Nanooptik
 - 8.5 Mikrodisplays

- Kathodenstrahlröhre (Braunsche Röhre)
 - 3 Elektronenstrahlen erzeugen Leuchten der Phosphorfarbstoffe auf Mattscheibe
 - Lochmaske 20 mm hinter Mattscheibe wirkt als Schattenmaske zur unabhängigen Anregung der Farben



Flüssigkristall-Lichtventil

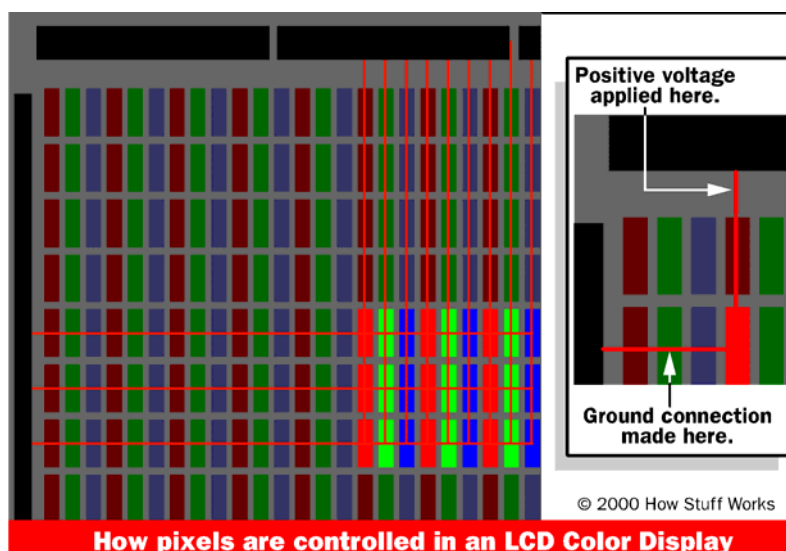
- Ohne angelegte Spannung
 - Kein Licht durch gekreuzte Polarisatoren
- Mit angelegter Spannung
 - Polarisation des Lichtes durch Doppelbrechung im Flüssigkristall gedreht



Quelle: www.howstuffworks.com

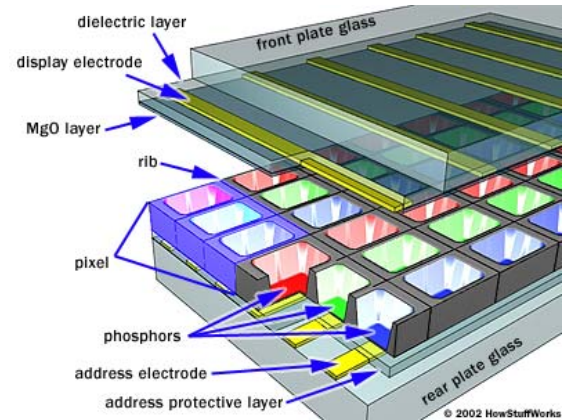
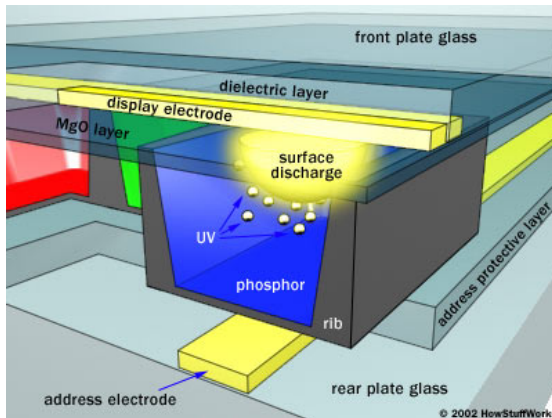
LCD-Bildschirm

- Liquid Crystal Display besteht aus Matrix von Flüssigkristall-Lichtventilen



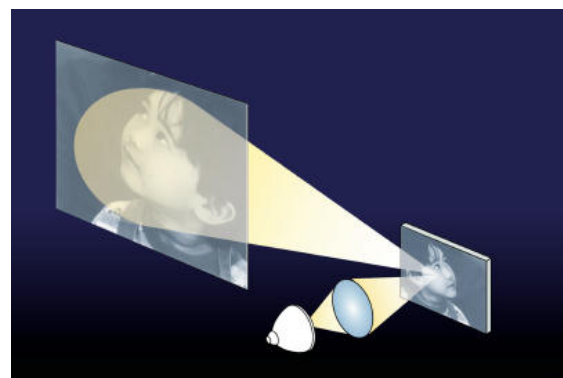
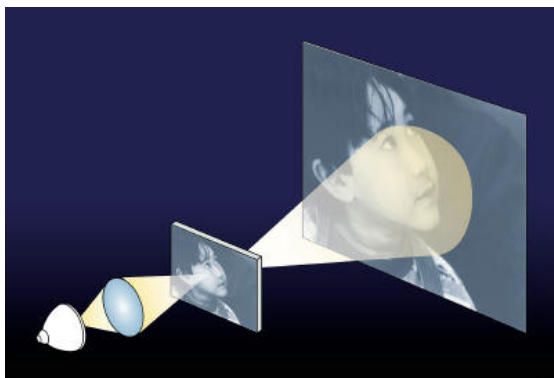
Quelle: www.howstuffworks.com

- Plasma aus Xenon und Neon wie bei Leuchtstofflampe gezündet
- Emittierte UV-Strahlung wird durch entsprechenden Leuchtstoff in rotes, grünes oder blaues Licht umgewandelt



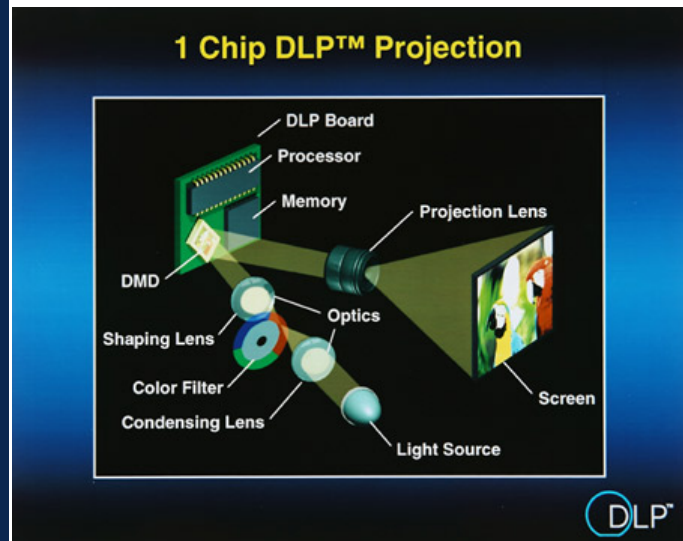
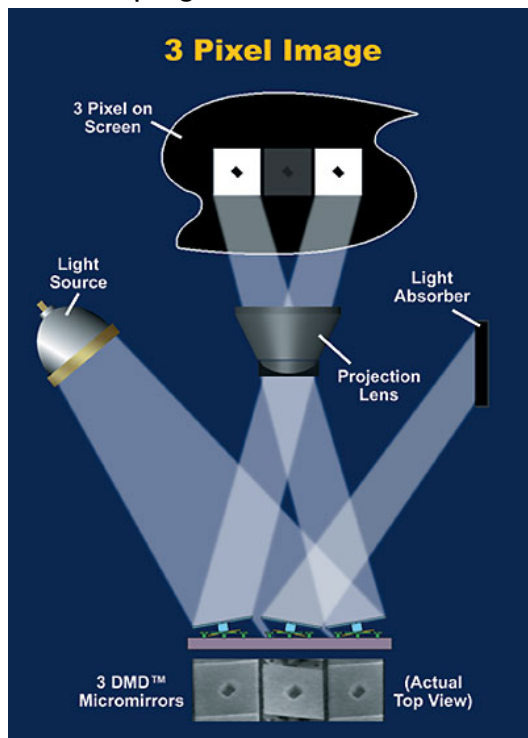
Quelle: www.howstuffworks.com

- Frontprojektion
 - Mikrodisplay in Transmission
- Rückprojektion
 - Mikrodisplay in Reflexion
 - Projektion auf Rückprojektionsbildschirm



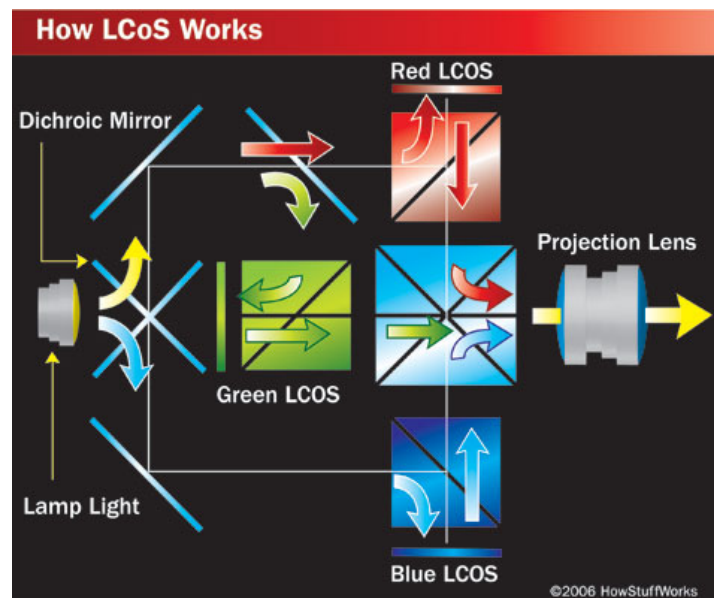
Quelle: www.howstuffworks.com

- DLP
 - Auch DMD-Chip (Digital Micromirror Device) genannt
 - Spiegel die zwischen zwei stabilen Zuständen in 16 µs schalten



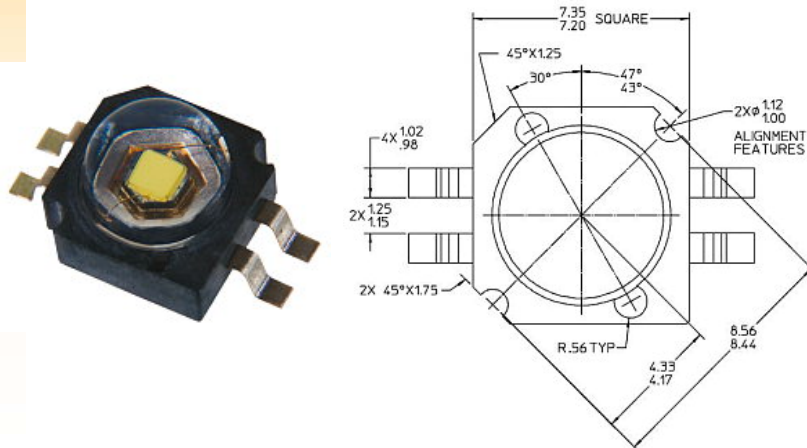
Quelle: www.howstuffworks.com

- LCD: Liquid Crystal Display
 - Einsatz in Transmission
 - In Weiß oder Farbe (rote, grüne, blaue Subpixel) erhältlich
- LCoS: Liquid Crystal on Silicon
 - Einsatz in Reflexion



Quelle: www.howstuffworks.com

- Entwerfen Sie einen LED-Beamer für den mobilen Einsatz!
 - Schätzen Sie Beamer-Helligkeit in Lumen ab!
 - Wie könnten Sie die Helligkeit erhöhen?
- Annahmen
 - 0,5 Zoll Mikrodisplay (77,4 mm²)
 - Luxeon™ K2-LEDs mit 110 lm Lichtstrom, 4 mm² Fläche, 140° Abstrahlwinkel in weiß, rot, grün, blau



Quelle: www.lumileas.com



Quelle: www.howstuffworks.com

- Étendue G (auch Lichtleitwert genannt) berechnet aus:

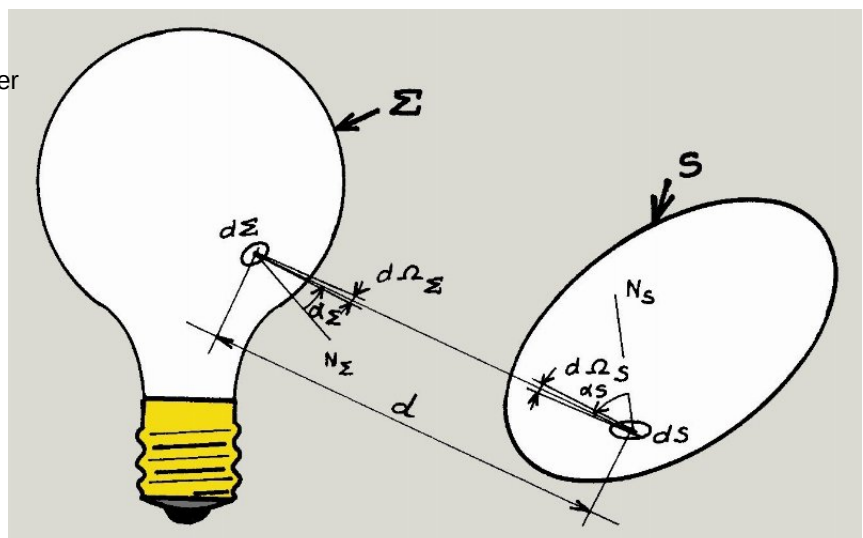
$$G = \int_{\Sigma} \int_S d^2 G .$$

$$d^2 G = d\Sigma \cdot \cos \alpha_{\Sigma} \cdot d\Omega_{\Sigma} = \frac{d\Sigma \cdot dS \cdot \cos \alpha_{\Sigma} \cdot \cos \alpha_S}{d^2} = dS \cdot \cos \alpha_S \cdot d\Omega_S$$

- $d\Sigma$: Flächenelement Sender
- dS : Flächenelement Empfänger
- $d\Omega$: Raumwinkelemente
- α : Winkel zur Normalen

$$d\Omega_{\Sigma} = \frac{dS \cdot \cos \alpha_S}{d^2}$$

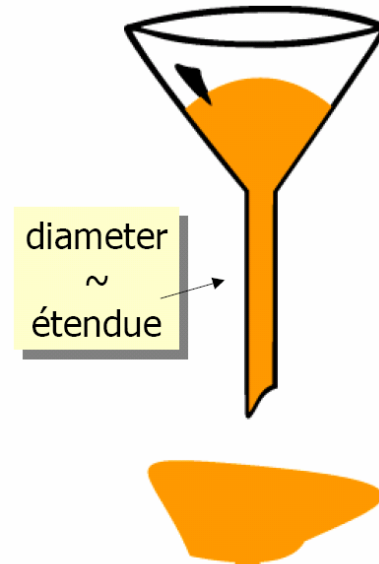
$$d\Omega_S = \frac{d\Sigma \cdot \cos \alpha_{\Sigma}}{d^2}$$



Quelle: en.wikipedia.org

Étendue oder „Es gibt keinen Lichttrichter!!“

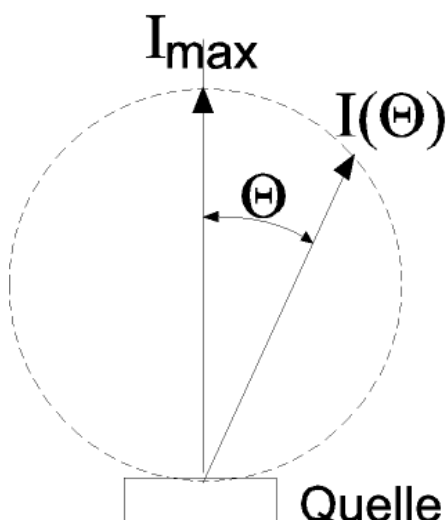
- Étendue ist Erhaltungsgröße (Lagrange-Invariante) des optischen Systems
 - Äquivalent zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik: Entropie in einem abgeschlossenen System nimmt niemals ab
 - Oder: Es gibt kein Perpetuum mobile zweiter Art.
- Kleinste Étendue ist System bestimmend
- Optische Elemente können Étendue nur erhalten oder größer machen!
- Multiplexing ist jedoch möglich über
 - Wellenlänge
 - Polarisation
 - Zeit



Quelle: www.lumileds.com

Étendue für einzelne LED

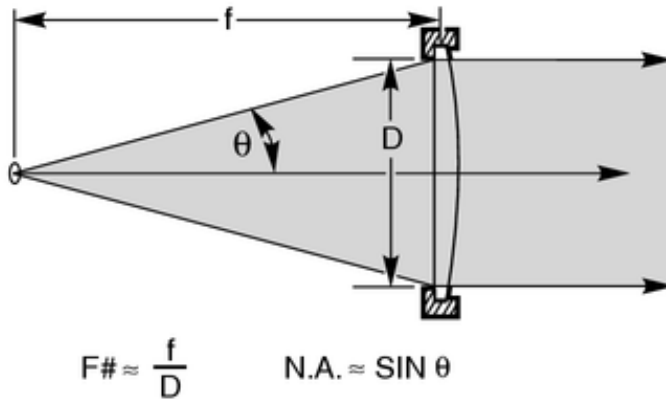
- Annahme: LED hat Lambert-Abstrahlungscharakteristik
- Öffnungswinkel $\alpha=140^\circ$
- Fläche ca. $(5,5 \text{ mm})^2$
 - $E_{\text{LED}} \approx 40 \text{ mm}^2 \text{ sr}$



$$E = \pi * A * n^2 * \sin^2(\alpha)$$

Quelle: de.wikipedia.org

- $A = 77,4 \text{ mm}^2$
- z.B. Öffnungswinkel $\theta=20^\circ$
- $NA \approx 0,34$
- $E_{MD} \approx 28 \text{ mm}^2 \text{ sr} !!$
 - Mikrodisplay limitiert Lichtstrom!

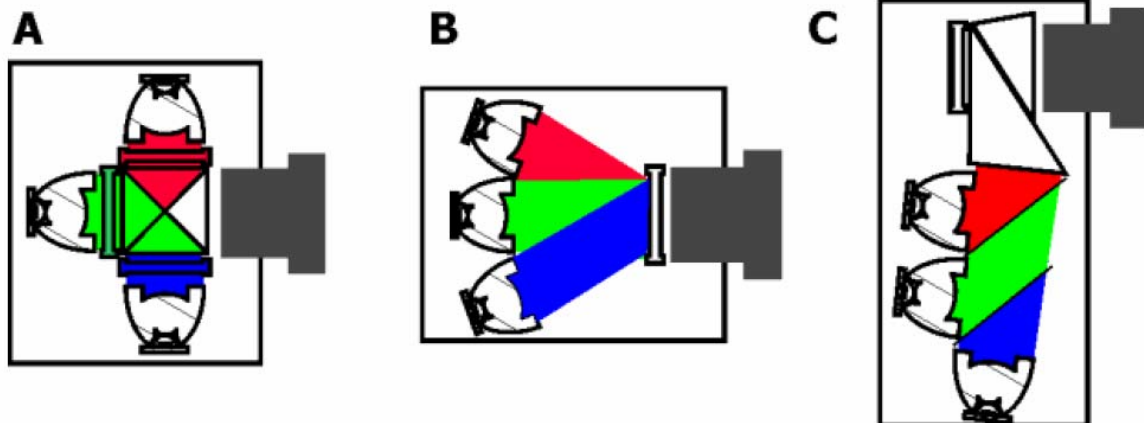


$$F\# = \frac{1}{2 NA}$$

Untersuchen Sie Ihren Entwurf auf Étendue-Verstöße!

Quelle: www.newport.com

LED Projection Architectures



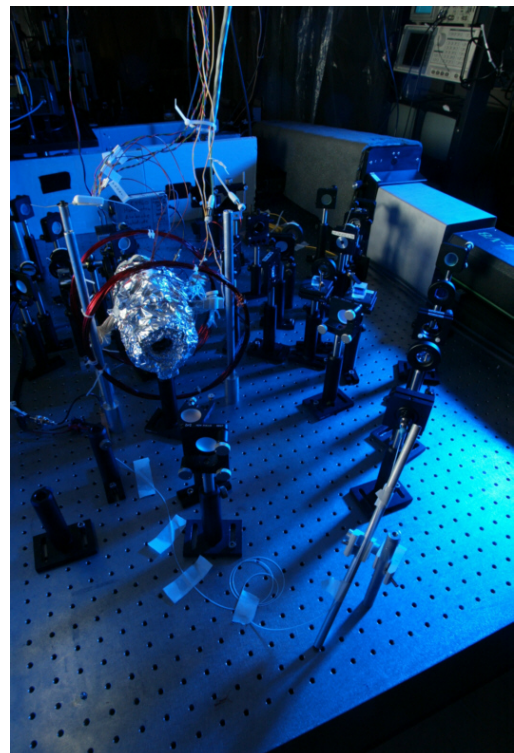
- No color wheels / Dichroics in illumination path
- No IR or UV from LEDs
- Instant on/off
- Small Size / Low Weight
- Long Life

- Low voltage
- Vivid colors
- No Mercury
- No Explosions
- ...
- Lowest (System) Cost (of Ownership)

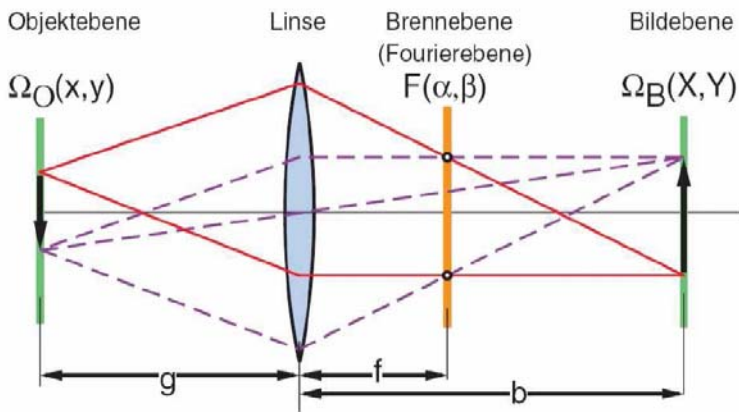
BUT
Low Flux

1. Grundlagen der Wellenoptik
2. Abbildende optische Systeme
3. Optische Messtechnik
4. Biomedizinische optische Systeme
5. Optische Materialbearbeitung
6. Optische Datenspeicherung -> Optik in der Datenspeicherung
7. Optische Informationstechnik
8. Mikro- und Nanooptische Systeme

- Optische Computer sind noch in weiter Ferne
 - Optische Effekte zwar schnell, aber ganze Laboraufbauten notwendig, um einzelnes Bit nachzuweisen
- Optische Verbindungstechnik
 - Für Strecken ab ~km elektrischer Verbindungstechnik überlegen
 - siehe Vorlesung „Optische Kommunikationssysteme“

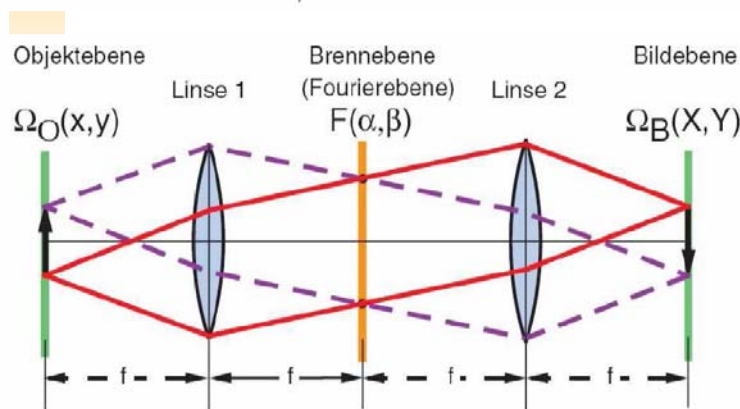


1-bit all-optical switch



- Licht aus gleicher Richtung („Raumfrequenz“) wird auf einem Punkt in Brennebene vereinigt

- entspricht Fouriertransformation
- Rücktransformation ergibt Bild

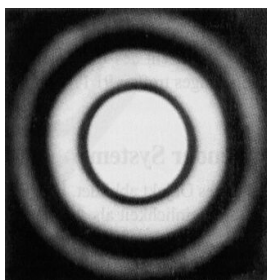


- Durch begrenzte Öffnung der Linse werden hohe Raumfrequenzen (große Winkel) abgeschnitten

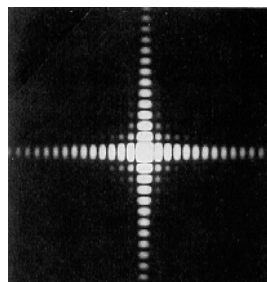
- endliche Auflösung des Bildes
- gezielte Filterung in der Fourierebene (Brennebene) möglich

Quelle: www.physik.uni-halle.de

- Optisch gewonnene Fouriertransformierte
 - Transformierte einer Kreisöffnung auch als Airymuster bezeichnet
 - Überlagerung von Airymustern begrenzt Auflösung



Kreis (kleiner Durchmesser)



Quadratische Öffnung

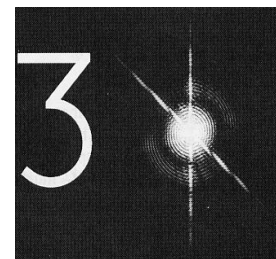
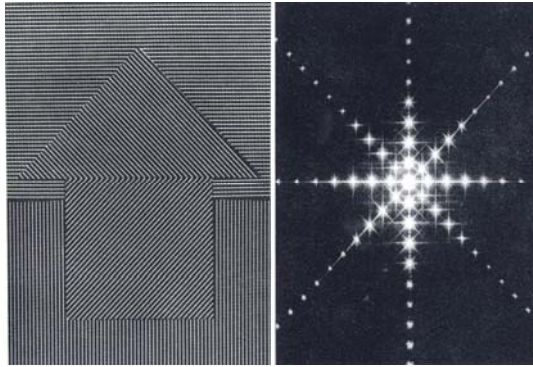


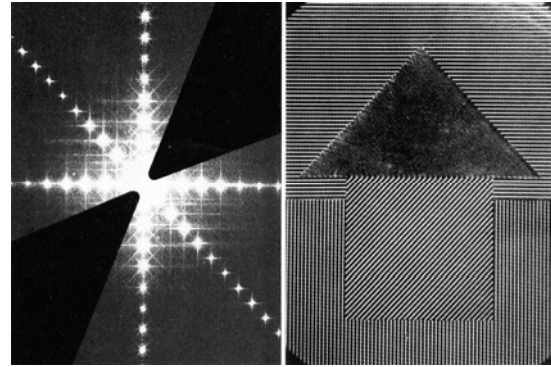
Bild und Transformierte der Zahl „3“

Beispiele für optische Filterung

- Durch Anbringung entsprechender Blenden lassen sich gezielt z.B. Streifen aus Bildern entfernen.
 - Beispiel „Fourierhaus“:



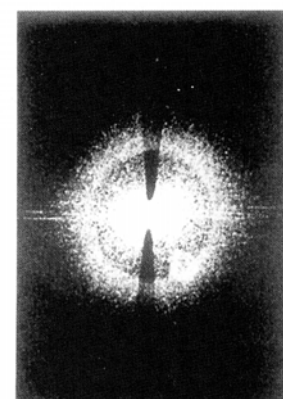
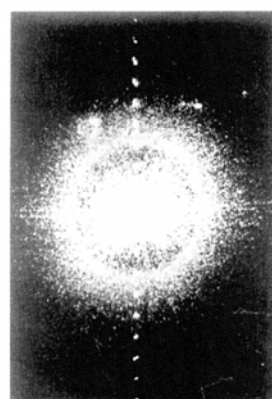
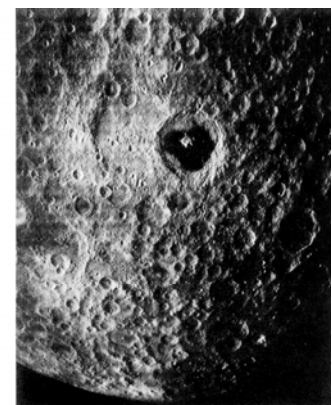
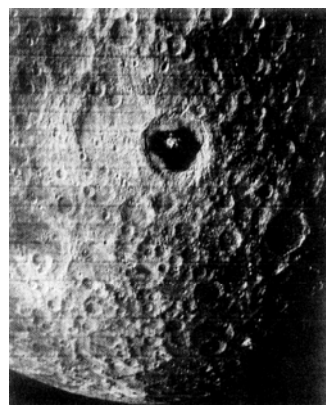
Die verschiedenen Flächen enthalten Streifenmuster in verschiedenen Richtungen



Entfernen einer Raumrichtung in der Fourierebene lässt die Streifen in der entsprechenden Richtung im Bild verschwinden

Beispiele für optische Filterung

- Einsatz für die Bildbearbeitung:
 - Streifen im linken Bild erzeugen in der Fourier-transformierten senkrechte Ordnungen
 - Durch Ausblenden werden die Streifen eliminiert



- Was ist Nanooptik?
- Wie funktioniert ein Rückprojektionsfernseher?
- Was ist Étendue?
- Wo muss ich eine Blende für eine optische Filterung hoher Raumfrequenzen im System einsetzen?

1. Grundlagen der Wellenoptik

- 1.1 Die Helmholtz-Gleichung
- 1.2 Lösungen der Helmholtz-Gleichung: Ebene Wellen und Kugelwellen
- 1.3 Das Huygenssche Prinzip
- 1.4 Reflexion und Brechung an Grenzflächen
- 1.5 Polarisierung
- 1.6 Materialwechselwirkung
- 1.7 Komplexer Brechungsindex
- 1.8 Dispersion
- 1.9 Fermat'sches Prinzip
- 1.10 Doppelbrechung und Polarisationskontrolle
- 1.11 Planare Wellenleiter
- 1.12 Zylindrische Wellenleiter
- 1.13 Gaußsche Strahlen

2. Abbildende optische Systeme

- 2.1 Lupe / Mikroskop
- 2.2 Blenden / Aperturen
- 2.3 Aberrationen
- 2.4 Bekannte Mikroskope
- 2.5 Teleskop
- 2.6 Fotografie
- 2.7 Optik Design: Matrizenoptik

3. Optische Messtechnik

- 3.1 Spektroskopie
- 3.2 Materialcharakterisierung
- 3.3 Interferometrische Entfernungsmessung
- 3.4 Einschub: Planplatten, Reflexionsprismen, Strahlteiler
- 3.5 Entfernungsmessung über Triangulation
- 3.6 Laufzeit-Entfernungsmesser
- 3.7 Fokussierentfernungsmesser
- 3.8 Winkelmessung
- 3.9 Optische Mäuse

4. Biomedizinische optische Systeme

5. Optische Materialbearbeitung

6. Optische Datenspeicherung -> Optik in der Datenspeicherung

- 6.1 Kopierer und Laserdrucker
- 6.2 CD-/DVD-Spieler
- 6.3 Magneto-Optical Discs (MO), MiniDisc (MD)
- 6.4 Holographische Datenspeicher

7. Optische Informationstechnik

8. Mikro- und Nanooptische Systeme

- 8.1 Klassifizierung optischer Komponenten
- 8.2 Herstellung optischer Komponenten von Makro bis Mikro
- 8.3 Mikrooptische Systeme
- 8.4 Nanooptik

- Optische Grundlagen erklären können
 - Was ist die Brennweite einer optischen Linse?
- Funktionsweise eines optischen Systems beschreiben können
 - Erklären Sie die Funktionsweise eines Mikroskops!
- Gängige optische Systeme aus verschiedenen Bereichen erläutern können
 - Beschreiben Sie ein modernes optisches Mikroskop!
- Optisches System für bestimmten Zweck auslegen können
 - Legen Sie ein einfaches Mikroskop mit zwei Linsen aus!

- Bitte bei mir im Büro melden!
 - LTI, 2. OG, Zimmer 224
- Blauen Schein und Studiausweis mitbringen!
- Prüfungsdauer ca. 20 Minuten

- „Frau X / Herr Y, Sie sind doch Experte für optische Systeme. Wir müssen unseren DVD-Spieler dringend mit dem neuen Speichermedium kompatibel machen. Bitte entwickeln Sie bis heute Abend einen Aktionsplan!“

