

Sonnen- und Mondhöfe :

Ringe um Mond bevor es regnet!

Regentropfen wirken als  
Beugungsobjekte, Tröpfchen sind  
ungeordnet  $\Rightarrow$  Lichtstreuung

N Tröpfchen

$\Rightarrow$  N-fache Verstärkung  
des Beugungsbilds eines  
Tröpfchens

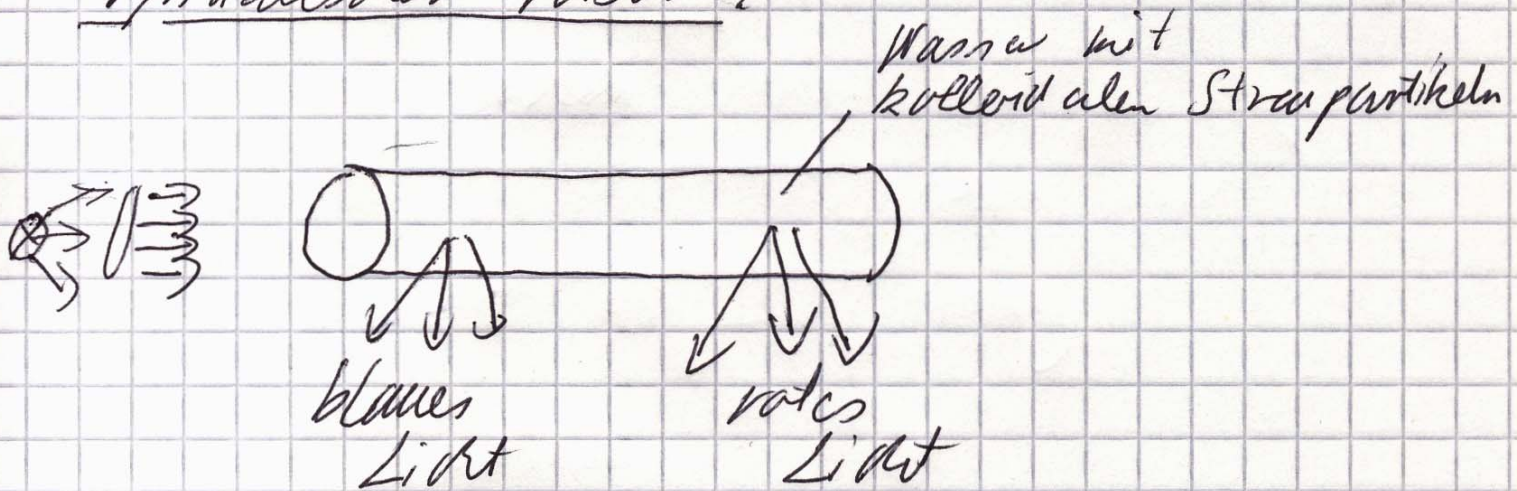
$\Rightarrow$  sichtbare Ringe ~~um~~  
um Mond

# Theorie des Himmelsblaus

(2)

Lord Rayleigh 1871

Tyndallscher Versuch:



⇒ Rayleigh-Strreuung:

Das Licht an Kolloiden wird  
um so stärker gestreut je  
kurzwelliger es ist!

3

## Erklärung:

jedes Molekül in der Atmosphäre  
agiert als Hertzscher Dipol

⇒ Sonnenlicht induziert Dipolmomente

$$P = \frac{P}{N} = \frac{\epsilon_r - 1}{N} \epsilon_0 E_0$$

$P$ : Polarisation       $N$ : Anzahldichte der  
Moleküle

vom Molekül abgetragte Feldstärke  $E$   
im Abstand  $r$ :

$$E = \frac{\omega^2 P}{4\pi \epsilon_0 c^2 r} \sin \vartheta$$

$\vartheta$ : Winkel zur Dipolachse  
des Moleküls

④

⇒ Intensität des gestreuten  
Licht  $J$  / einfallender Intensität  $J_0$ :

$$\frac{J}{J_0} = \frac{\pi^2 V (n^2 - 1)^2 \sin^2 \alpha}{N r^2 \lambda^4} \quad \text{mit } n = \sqrt{\epsilon_r}$$

gestreute Lichtintensität:

$J \sim \frac{1}{\lambda^4} \Rightarrow$  blaues Licht  
wird mehr gestreut  
 $\Rightarrow$  Himmel ist blau!

Abend- und Morgenrot:

Abends, morgens Sonnenlicht  
hat längeren Weg durch  
Atmosphäre  $\Rightarrow$  rotes Licht

(5)

## 15. Auflösungsvermögen

optischer Instrumente:

In jeder Abbildung wird  
ein Punkt auf ein Beugungsscheibchen  
abgebildet



## Auflösung Mikroskop:

Größe Airy Disc:  
in Bildchen  $d' = 1,22 \frac{a\lambda}{R}$

$a$ : Entfernung der Bildebene  
vom Objektiv

$R$ : ~~Radius des Objektivs~~  
Radius der Objektivlinse

(6)

mit  $\frac{d}{d'} = \frac{f}{d}$

⇒ grösse Airy-Disc in Objekt ebene:

$$d = 1,22 \frac{f \lambda}{R} = 1,22 \frac{\lambda}{A}$$
$$A = \frac{R}{f}$$

Grösse des objektivseitig gemessenen  
Beugungsscheibchen (Airy Disc)  
begrenzt Auflösung!

⇒ Auflösungsvermögen:

$$u = 0,82 k \frac{A}{\lambda} \quad k \geq 1$$

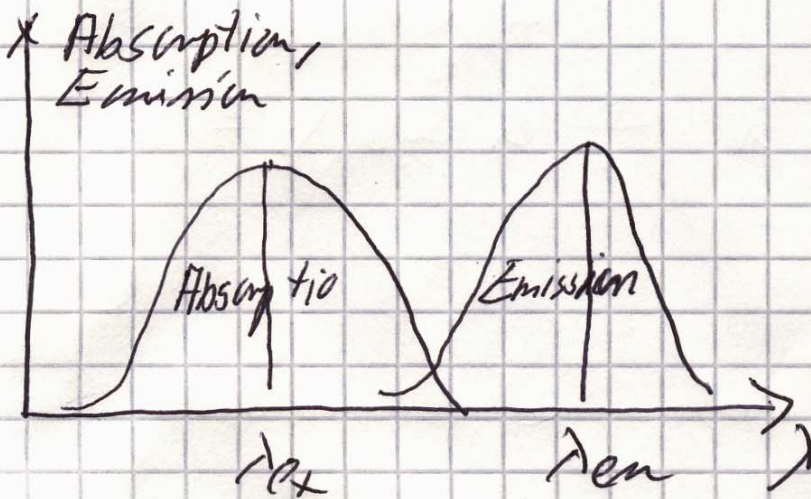
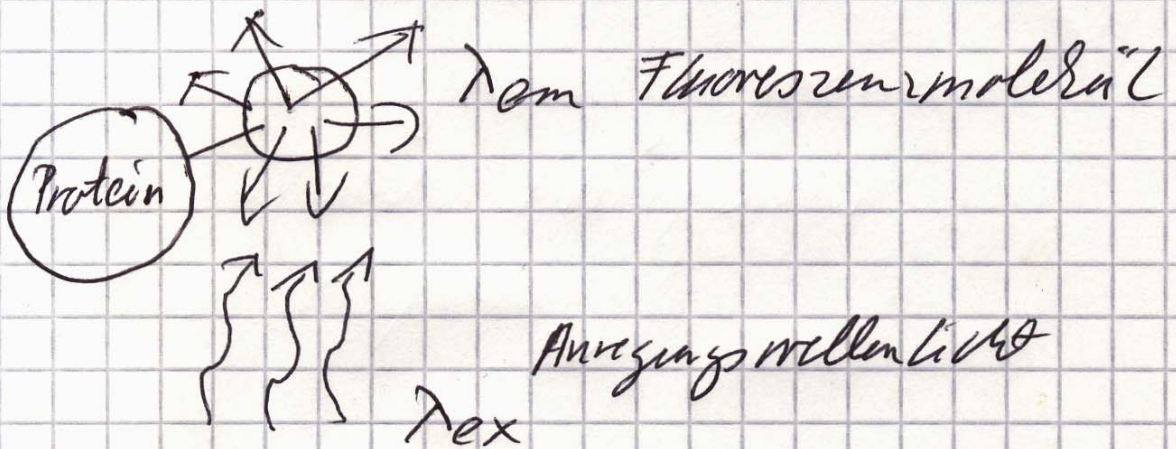
Helmholtz 1874

Ernst Abbe 1873

# Einzelmolekülmikroskopie

Proteine  $\approx$  5 nm Gross

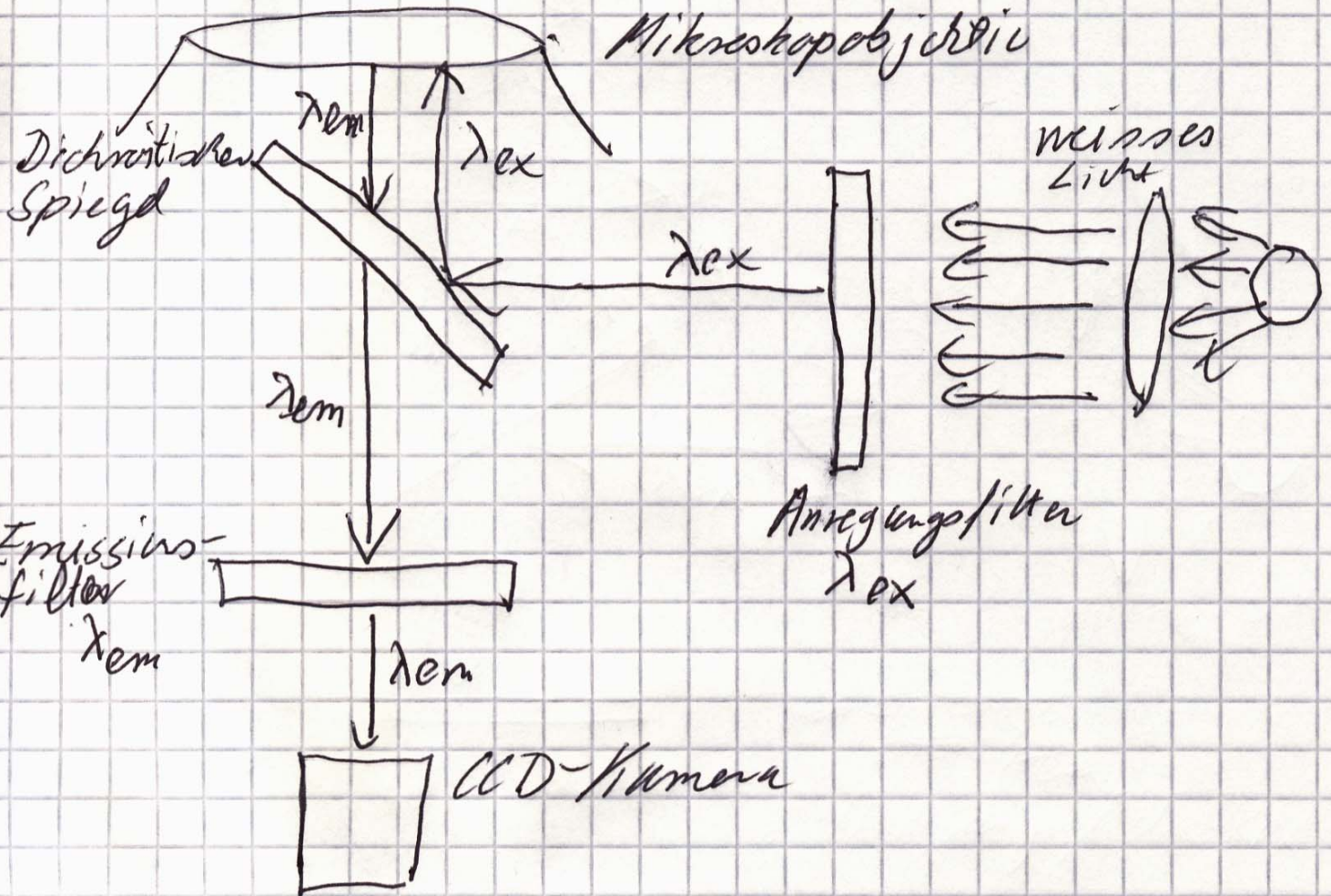
## Fluoreszenzmarkierung:



# Fluoreszenz-mikroskopie

Fluoreszenz markiertes Protein

oooo



Wenn das Beugungsdreieck des Proteins nicht mit anderen überlappt ist es möglich die Bewegung eines einzelnen Moleküls / Proteins zu verfolgen, obwohl es kleiner als die  $\lambda/2$  ist.



9

## Auflösung und Vergrößerung von Mikroskopen:

Luftobjektive:

•  $A = 0,25$   $f = 16 \text{ mm}$   $d = 2,5 \lambda$

$$d = 0,61 \frac{\lambda}{A}$$

$$V_{\text{obj}} = 10 \quad V_{\text{okular}} = 20 \quad \Rightarrow V_{\text{Mik}} = 200$$

• Ölimmersion:

$A = 1,3$   $f = 1,8 \text{ mm}$   $d = 0,45 \lambda$

$$V_{\text{obj}} = 100 \quad V_{\text{okular}} = 10 \quad \Rightarrow V_{\text{Mik}} = 1000$$

Flaggenauflösung verlangt:  $V_{\text{ok}} = 500 \frac{A}{V_{\text{obj}}} = 1000 \frac{A}{V_{\text{obj}}}$

$\Rightarrow$  noch mehr Vergrößerung kostet  
Kontrast!

optische Qualität des Mikroskops

bestimmt weiterhin Kontrast

$\Rightarrow$  Kontrastübertragungsfunktion

Kontrast  $K = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{min}} + I_{\text{min}}}$