

LICHT zeigt

REFLEXION: Teilchen oder Welle

BEUGUNG: Welle (transversal oder longitudinal)

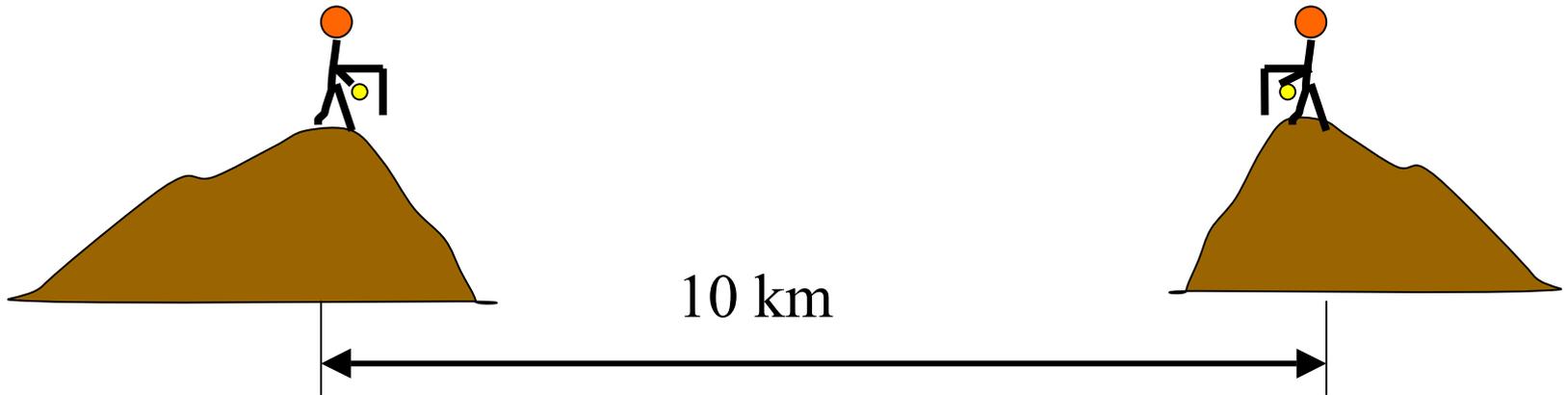
POLARISATION: Transversale Welle

Licht ist transversale elektromagnetische Welle

Die Phasengeschwindigkeit ist $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Bestimmung von c mittels Laufzeitmessung: Zeit, die das Licht benötigt, um eine Strecke zurückzulegen

Methode von Galilei:



Zwei Personen auf Hügeln. Beide verdecken eine Laterne.

Erste Person sendet einen Lichtblitz aus, In dem Augenblick in dem ihn die zweite Person sieht, enthüllt sie auch die Laterne. Die erste Person mißt die Zeit bis zum Eintreffen des zweiten Lichtblitzes.

Die “Laufzeit” setzt sich zusammen aus der Teit die das Licht für die 20 km benötigt: $2 \cdot 10^4 \text{m} / 3 \cdot 10^8 \text{s} = 66 \mu\text{s}$ **und**

Der Reaktionszeit der beiden Beobachter, z.B. $2 \cdot 0,7\text{s} = 1,4\text{ s}$

Die “Laufzeit” ist daher $1,4\text{ s} + 0,000066\text{s} = 1,400066\text{s}$

Hauptanteil der Laufzeit ist die Reaktionszeit.

Galilei erkannte das und stellt fest, daß die Lichtgeschwindigkeit viel größer ist als alle irdisch erreichbaren Geschwindigkeiten.

Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit daher entweder bei sehr großen Distanzen (Astronomie) oder bei kleinen Distanzen aber dabei Messung von kurzen Zeiten, z.B. Methode nach Fizeau

Methode nach Fizeau: Galilei Methode mit besseren Mitteln

Licht geht durch die
periodisch geöffnete Blende.

Wenn die Öffnungsfrequenz so
ist, daß der durchgelassene
Lichtstrahl bei der nächsten
Öffnung durchkommt, so sieht
der Beobachter das
zurückkommende Licht.

Es ist dann $c = 2.l/T = 2.l.f$

Abb 10.1 Biologische Physik

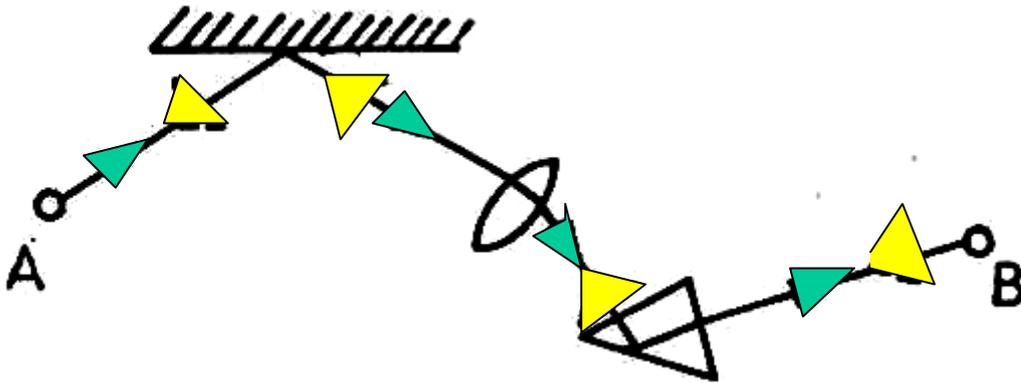
Eine periodisch geöffnete Blende
kann z.B. durch ein rotierendes
Zahnrad gebildet werden

Geometrische Optik:

Wir betrachten einen dünnen Lichtstrahl. Nur Reflexion und Brechung des Lichtes sind "gestattet", (Beugung ist ausgeschlossen, d.h. alle betrachteten Objekt sind viel größer als die Wellenlänge des Lichtes).

Dann gilt die Umkehrbarkeit von Strahlengängen:

Ein Strahl der von A nach B geht, geht auch von B nach A
(unmöglich bei Beugung)



REFLEXION: an einer ebenen Fläche ist schon bekannt, es gilt das Reflexionsgesetz.

Bei gekrümmten Flächen werden diese in kleine ebene Stücke zerlegt.

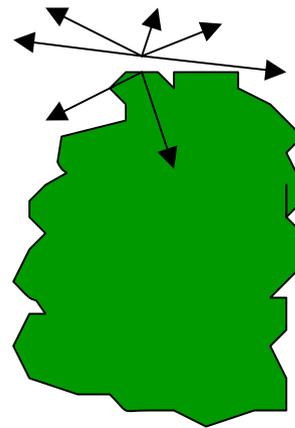
DIFFUSE REFLEXION, z.B: an einem Papier, einem Blatt oder einer Wolke.

Diese kann aufgefaßt werden als die Reflexion an einer unebenen Fläche

Meist tritt diffuse und reguläre Reflexion gleichzeitig auf: z.B. glänzender Lack, staubiger Spiegel

Für Überlegungen zur Entstehung von Bildern ist der Begriff des GEGENSTANDSPUNKTs wichtig.

Dies ist ein Punkt eines Gegenstandes von dem Lichtstrahlen in verschiedene Richtungen ausgehen: z.B. diffus reflektiert oder selbstleuchtend.

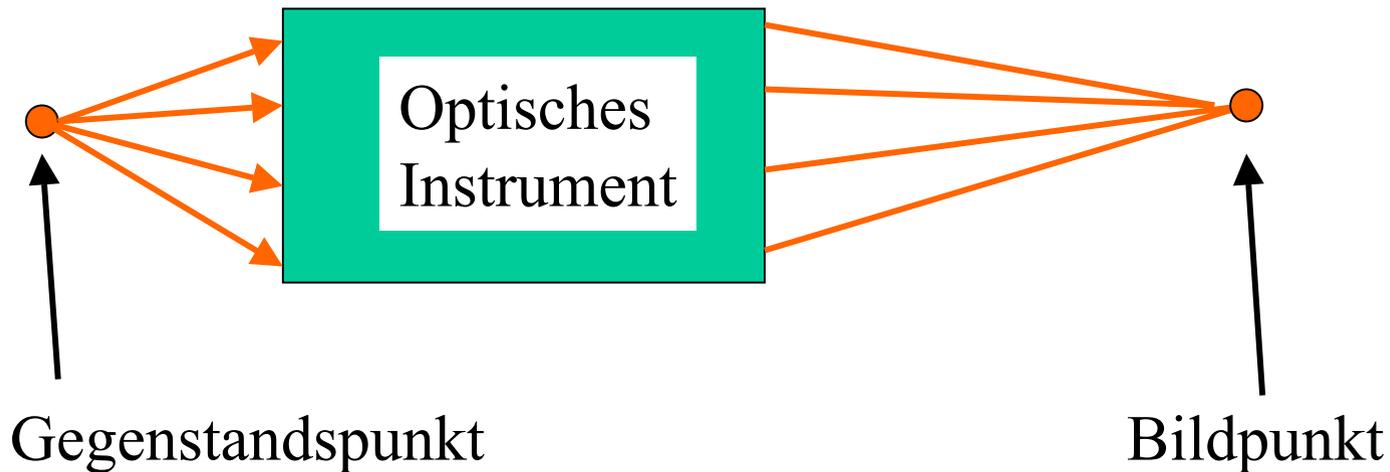


Vom
Gegenstandspunkt
gehen
Lichtstrahlen in
alle Richtungen
aus

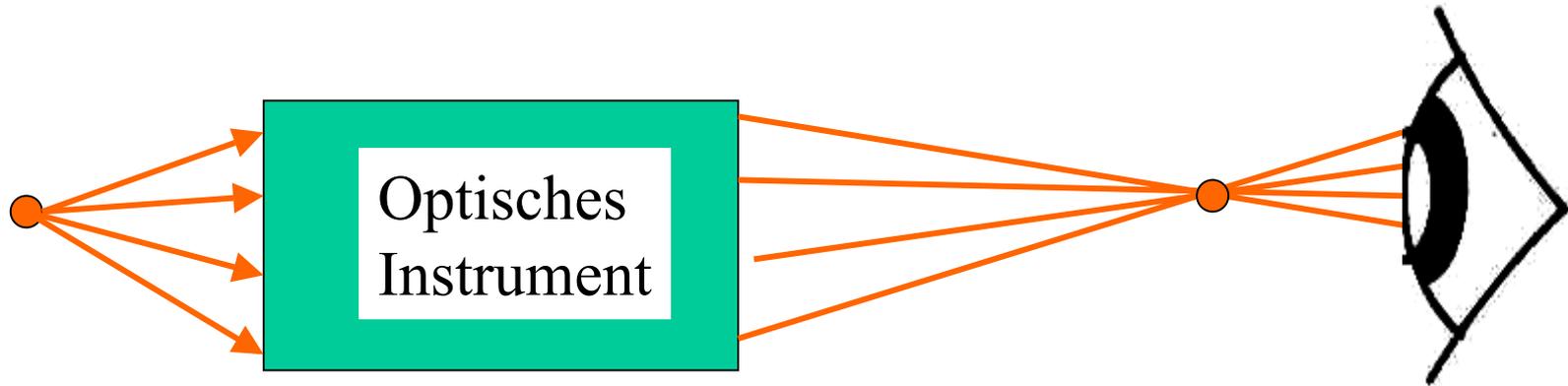
Die Lichtstrahlen treffen auch auf das Auge auf (und werden durch die Linse auf die Netzhaut gebündelt). Das Auge sieht den Gegenstandspunkt am Ausgangspunkt des Strahlenbüschels.

OPTISCHES INSTRUMENT (z.B. Mikroskop, OH Projektor, Fernrohr, Photoapparat) erzeugt ein Bild eines Gegenstandes (einer Summe von Gegenstandspunkten)

REELLER BILDPUNKT: Die STRAHLEN die von einem Gegenstandspunkt kommen, werden durch das optische instrument auf EINEN PUNKT VEREINIGT. Dort entsteht heller Fleck auf einen Schirm oder Projektionswand.



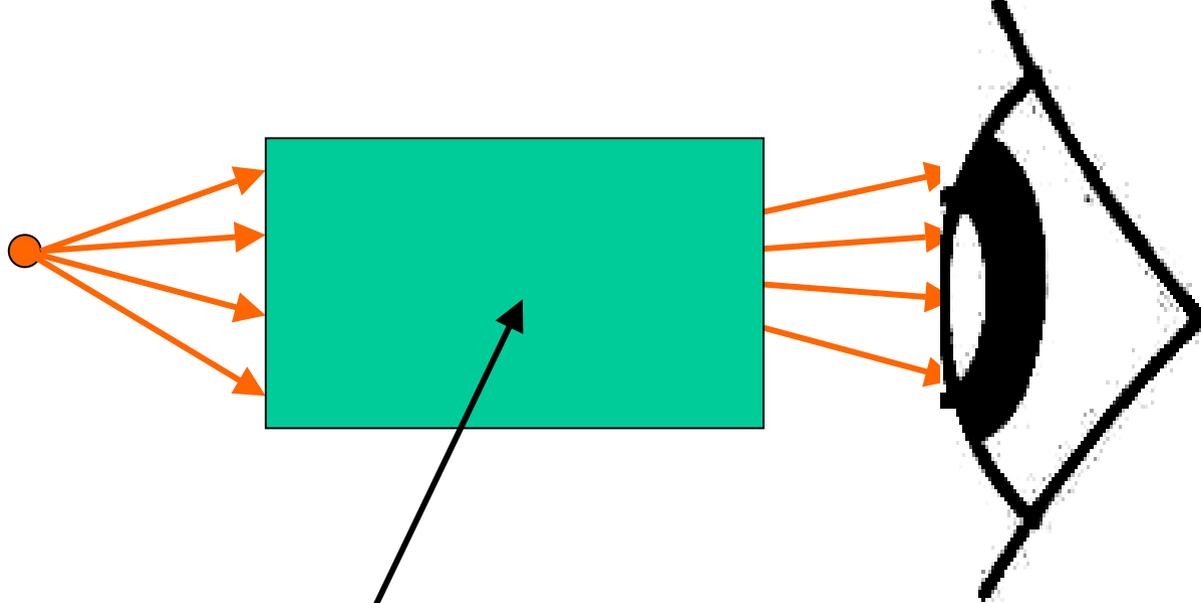
Der reelle Bildpunkt ist auch mit dem Auge dort sichtbar



Virtuelles Bild:



Strahlen verlassen das Instrument divergent



Das Auge interpretiert die divergenten Strahlen als vom virtuellen Bildpunkt des Gegenstandpunktes ausgehend. (Dort ist aber weder der Gegenstand noch ein reller Bildpunkt)

EBENER SPIEGEL: Es entstehen stets virtuelle Bilder hinter dem Spiegel.

Die Strahlen vom Punkt P werden nach dem Reflexionsgesetz ermittelt, sie sind divergent

Die Strahlen
scheinen aus dem
Punkt P' zu
kommen, das ist
das virtuelle Bild
von P .

Das Dreieck PR_1R_2
und $P'R_1R_2$ sind
kongruent, daher
ist P' gleich weit
hinter dem Spiegel

REFLEXION an allen Grenzflächen verschiedener Materialien: Glas, Wasser, Hornhaut.

Abb 10.6 Biologische physik

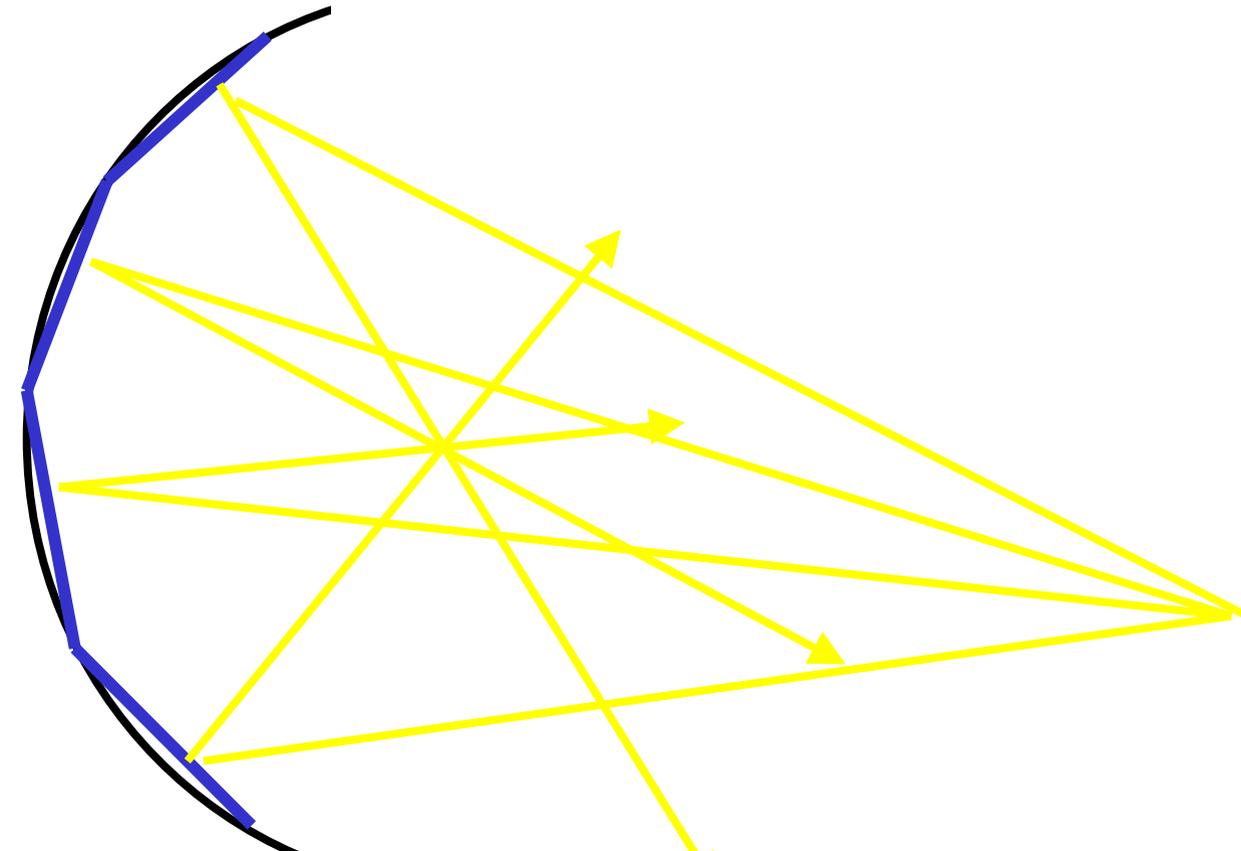
Zur Vermeidung von störenden Reflexionen: Oberflächenspiegel

Teildurchlässiger Spiegel:

sehr dünne Silber oder Aluminium Schichte

GEKRÜMMTE SPIEGEL Sphärischer Spiegel, Spiegelfläche ist
Teil einer Kugel.

Reflexion ermittelbar durch Ersatz des Spiegels durch kleine
Stücke eines ebenen Spiegels



Falls wenig Krümmung (kleiner Winkel zur optischen Achse, kleiner Öffnungswinkel):

Bildpunkt B eines Gegenstandspunktes G liegt auf der **optischen Achse** (Gerade durch Krümmungsmittelpunkt **M** und Gegenstandspunkt G)

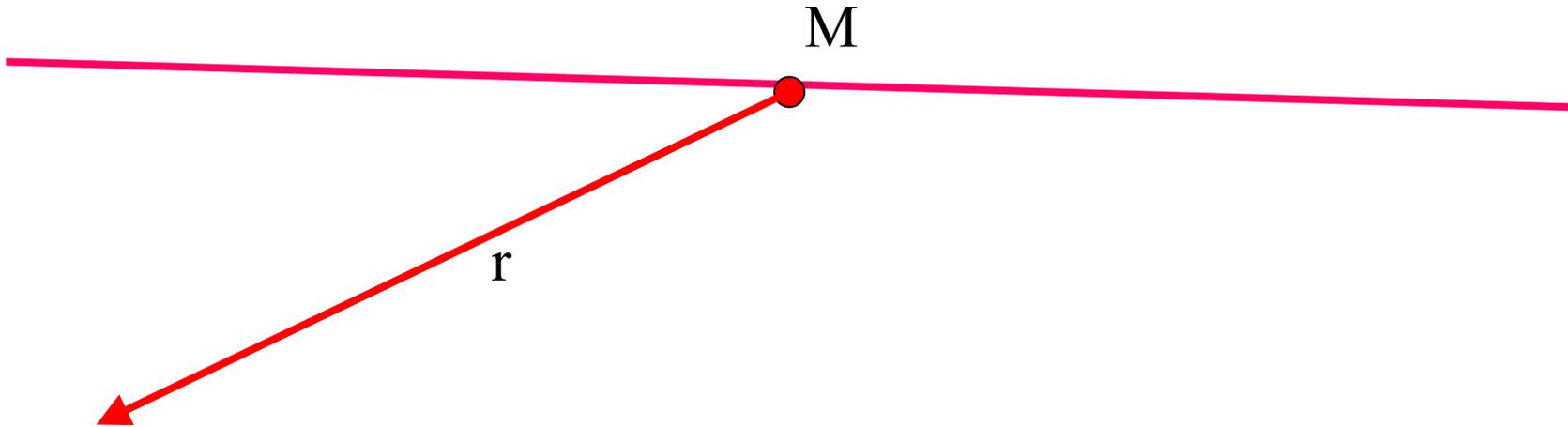


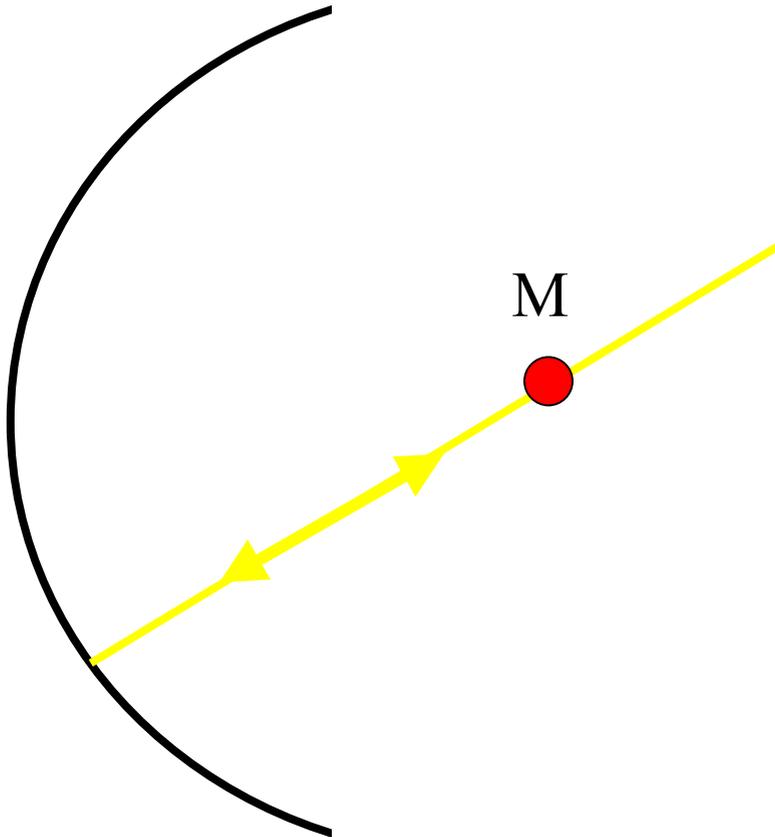
Abb. 10.9 Biologische Physik

Es gilt $\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ mit $f = \frac{r}{2}$

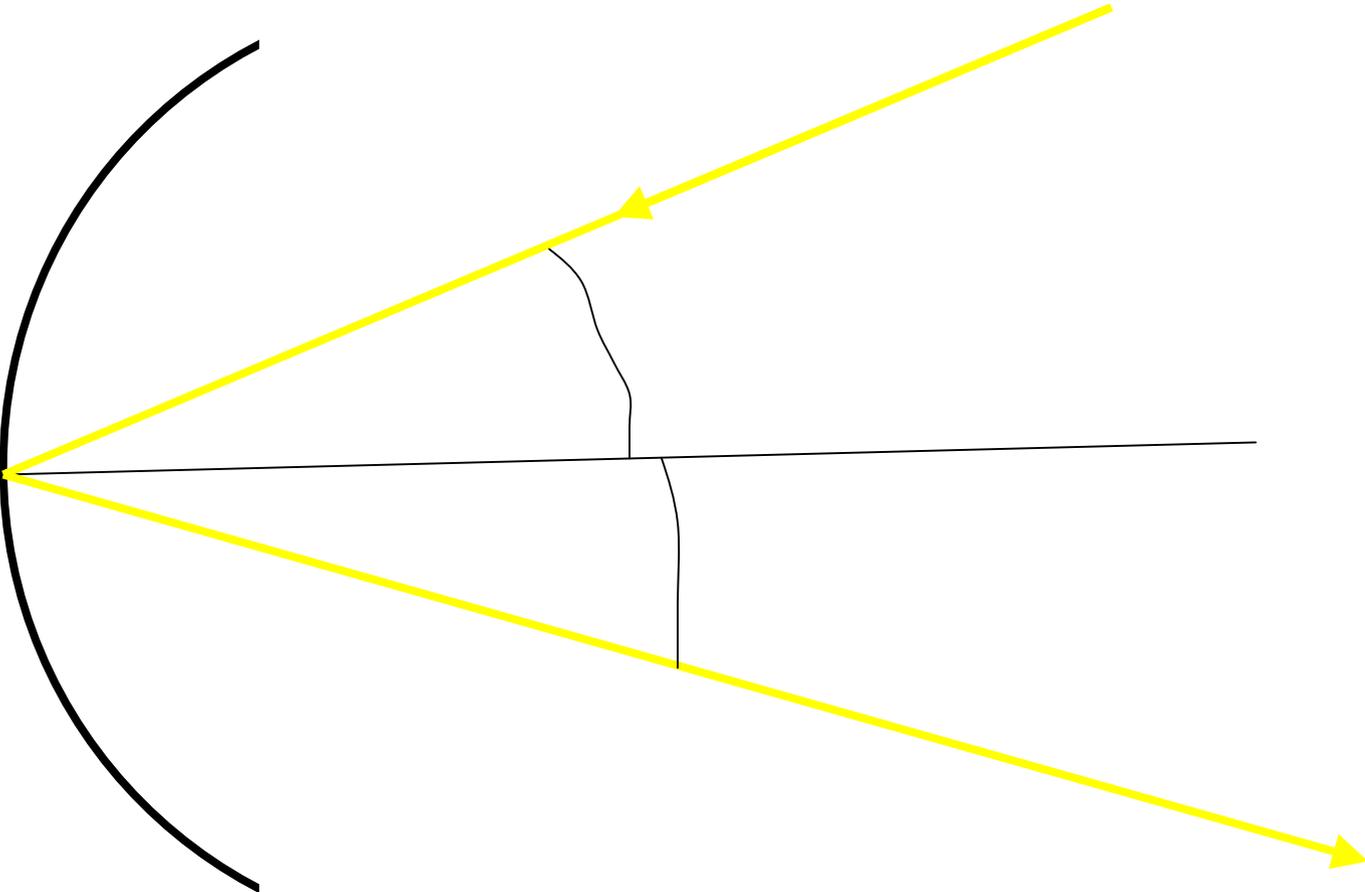
HAUPTSTRAHLEN: Brennstrahl wird Parallelstrahl

Parallelstrahl wird Brennstrahl

Mittelpunktsstrahl wird in sich reflektiert



Strahl der im Fußpunkt der optischen Achse auftrifft, wird unter demselben Winkel reflektiert



BILDKONSTRUKTION: Siehe Schule oder falls vergessen BUCH



Abb. 10.11 Biologische Physik

Konstruktion mittels Hauptstrahlen

Parallelstrahl wird zu Brennstrahl

Brennstrahl wird zu Parallelstrahl

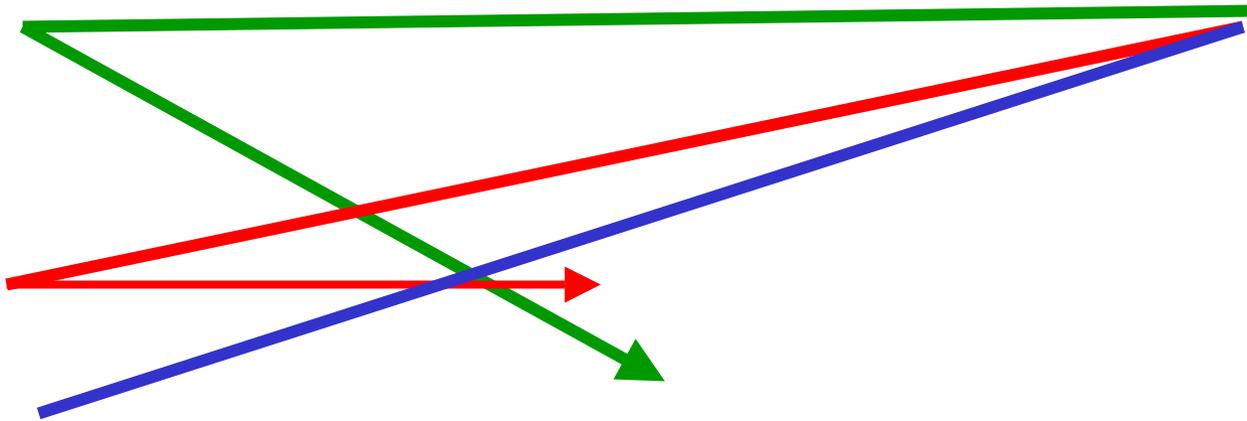


Abb. 10.11 Biologische Physik

Mittelpunktstrahl wird in sich reflektiert

Falls $g < f \rightarrow b < 0$

Bild hinter dem Spiegel virtuell

Abb. 10.12 Biologische Physik

KONVEXSPIEGEL: Bilder immer virtuell

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = -\frac{1}{f}, \quad f = \frac{r}{2}$$

Strahl zu Zerstreungspunkt wird Parallelstrahl

Strahl parallel zur Achse wird zu Strahl aus Zerstreungspunkt

Mittelpunktstrahl bleibt Mittelpunktstrahl

Beispiel: Ein Beobachter steht 1 m vor einem Spiegel entfernt. Er erblickt einen 2m großen Gegenstand der sich in 5m Entfernung befindet. Wie groß ist der Blickwinkel in einem Planspiegel und einem Konvexspiegel mit $r = 20$ cm Krümmungsradius.

Falls GROSSER ÖFFNUNGSWINKEL:

Bilder nicht mehr eben

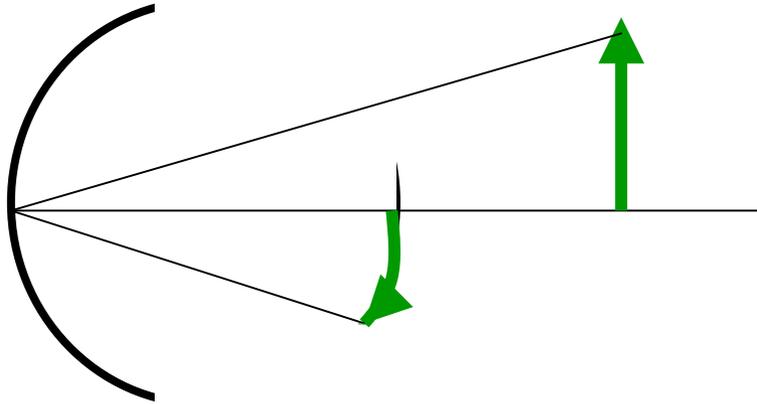


Abb 10.14 Biologische Physik

BRENNFLÄCHE (Katakaustik)



Abhilfe durch Korrekturplatte
(beim Schmidt
Cassegrain Teleskop)

Abb 10.14 Biologische Physik

Parabolspiegel

ANWENDUNG der Spiegel

Strahlumlenkung

Overheadprojektor

Teildurchlässiger z.B. Spiegel beim Mikroskop

Rückspiegel

Spiegelteleskop und Objektiv geringe Baulänge

Sonnenenergie

Spiegelskala

BIOLOGISCHE SPIEGEL

Bisher Spiegel aus Metall: Glas mit Metallschichte
Reflexionsvermögen ca 90%

Aber Reflexion an jeder Grenzschichte z.B. Glas Luft

$$R = \frac{(n_{12} - 1)^2}{(n_{12} + 1)^2}$$

Hohes Reflexionsvermögen, wenn n_{12} groß

Technisch: Magnesiumuorid $n=1,36$ und Zinksulfat $n=2,40$

Biologisch Cytoplasma $n=1.34$ Guaninkristalle $n=1.83$

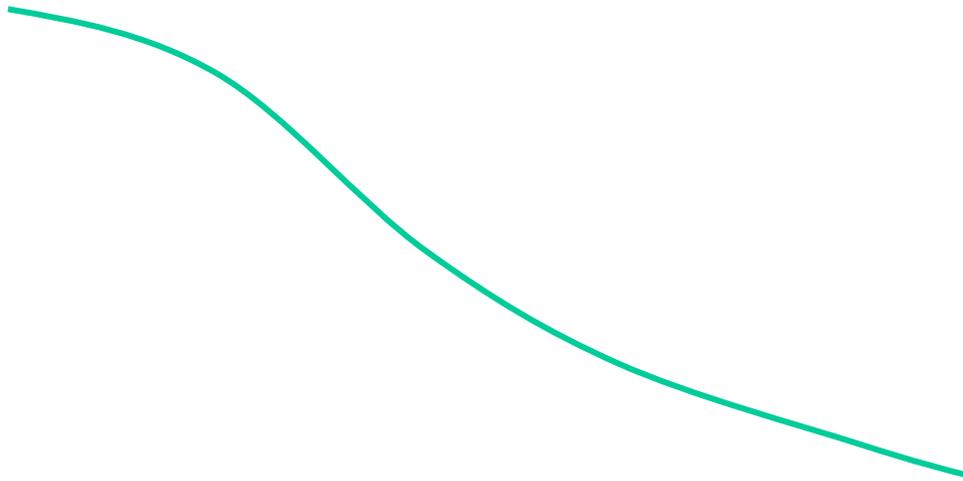
Mehrschichtspiegel

Abb 10.16 Biologische Physik

Auge der Pilgermuschel

Reflexion an einem innen verspiegelten Quader

Abb 10.16 Biologische Physik



Auge der Europäischen Languste

BRECHUNG tritt auf an der Grenze zweier Medien mit
verschiedener Phasengeschwindigkeit: $\sin \alpha / \sin \beta = c_1 / c_2$

Nur das VERHÄLTNIS der Geschwindigkeiten ist wichtig

$$n_{12} = \frac{c_1}{c_2} \quad \text{Relative Brechzahl}$$

Falls das Medium 1 Vakuum ist, dann wird der
Brechungsindex n verwendet (Brechzahl relativ zu
Vakuum) $n = c_{\text{Vakuum}} / c_{\text{Stoff}}$

Falls Medium 1 den Brechungsindex n_1 (relativ zu Vakuum)
und in Medium 2 den Brechungsindex n_2 (relativ zu Vakuum), dann

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2}$$

Beispiele für Brechungsindices:

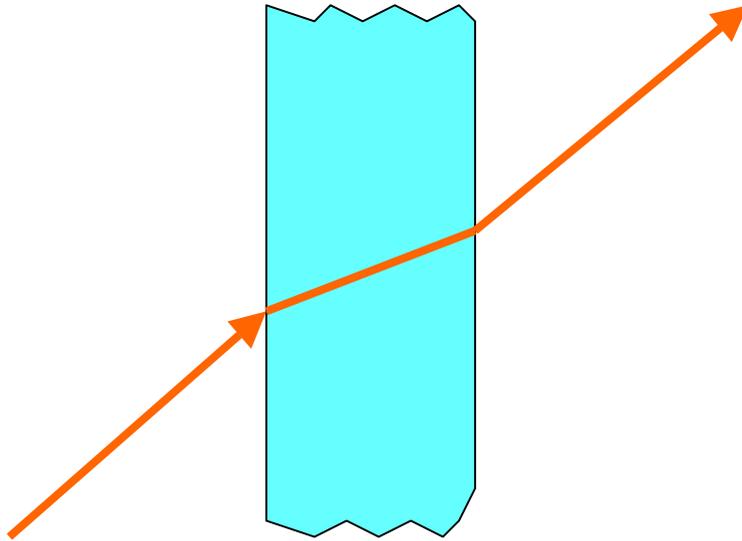
Luft	1,00027	Methanol	1,3294
Wasser	1,33	NaCl	1,5443
Diamant	2,4175	Glas	1,5 ... 1,9

Für alle Stoffe ist $n > 1$, Luft $n \cong 1$ fast wie Vakuum.

Wasser: $c = \text{????}$ $\lambda = \text{???$

$$n_{12} = \frac{c_1}{c_2} \quad n_{21} = \frac{c_2}{c_1} = \frac{1}{n_{12}}$$

PLANPARALLELE PLATTE



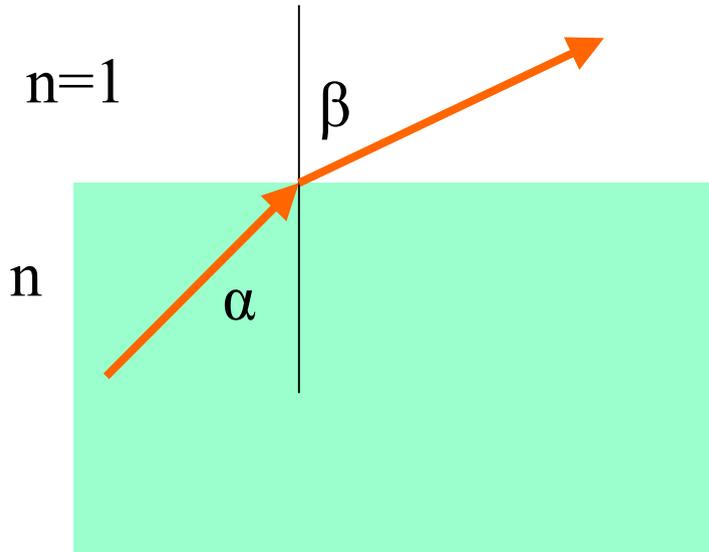
nur Parallelverschiebung
des Strahls, sie ist von
Dicke, Brechungsindex und
Winkel abhängig

Abb 10.17 Biologische Physik

Bilder beim Übertritt
in ein anderes
Medium:
Es treten immer
virtuelle Bilder an
anderer Stelle auf

Beispiel “Spuckfisch” (*Toxotes jaculator*) sieht eine Libelle
unter 65° Neigung zur Horizontalen
In welche Richtung muß er spucken

Toxotes jaculator



Übergang vom dichteren in ein dünneres Medium: Brechung vom Lot

Totalreflexion: Tritt auf, wenn Sinus des Austrittswinkel > 1

Grenze wenn Austrittswinkel $\beta = 90^\circ$

$$n_{12} = \frac{1}{n} \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta \quad (= 1)} = \frac{1}{n} \quad \implies \sin \alpha_g = \frac{1}{n}$$

falls $\alpha > \alpha_g$ findet Totalreflexion statt.

Stoff	Brechungsindex	Grenzwinkel
Wasser	1,33	48°
Glas	1,5	41.8°
Glas	1,8	33.7°
Diamant	2,4175	24,4°

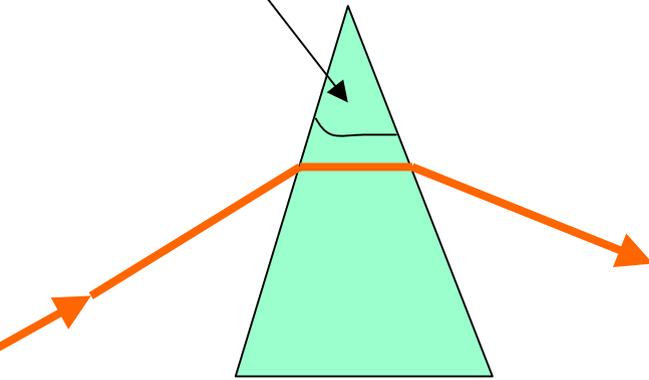
Abb 10.20 Biologische Physik

Anwendungen der Totalreflexion:
Umlenkprisma,
Umkehrprisma
Rückstrahler
Lichtleiter
Bildleiter



Abb 10.21 Biologische Physik

BRECHUNG am PRISMA: Ablenkung abhängig vom brechenden Winkel und Brechungsindex



Dispersion: Weißes Licht wird in die Spektralfarben zerlegt

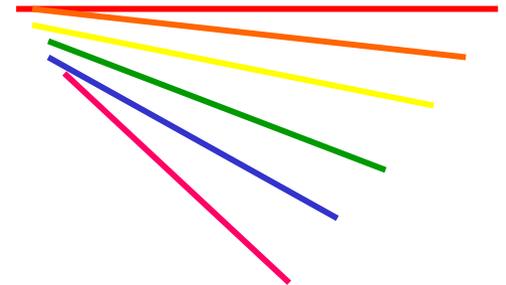


ABb 10.23

Biologische Physik

Die Spektralfarben sind:

IR, ROT, ORANGE, GELB, GRÜN, BLAU, VIOLETT, UV

diese sind nicht mehr weiter zerlegbar.

Stärkste Ablenkung für Blau.

Hier hat das Glas den größten Brechungsindex

Abb.10.24 Biologische Physik

LINSE:

Konvex (Sammel-)

konkav (Zerstreu-)

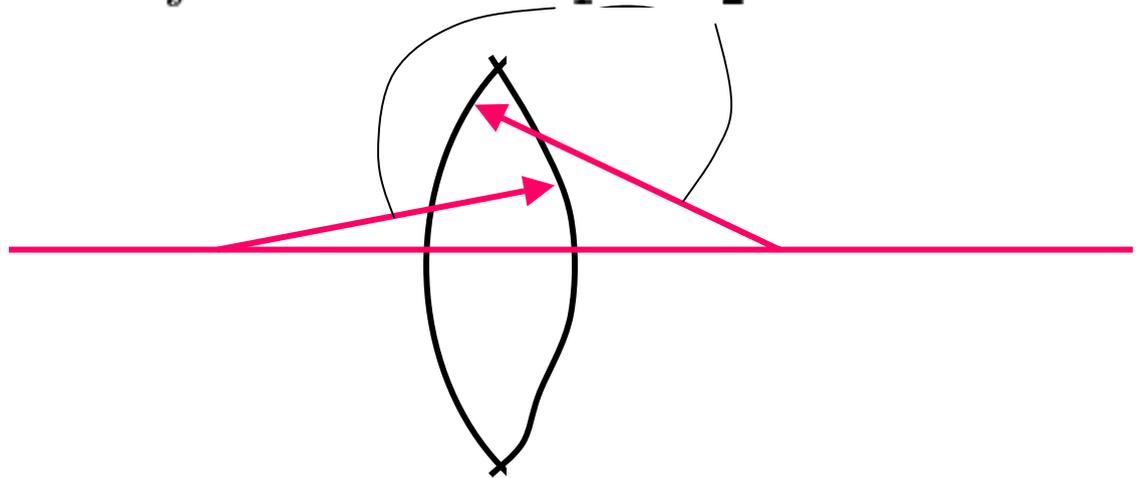
Aus Prismen zusammengesetzt denkbar

Stärkste Ablenkung des Strahls am Rand,

keine in der Mitt (Planparallele Platte)

Für dünne Linsen gilt

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f} \quad \text{wobei} \quad \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$



Es gibt einen rechten und linken Brennpunkt.

HAUPTSTRAHLEN:

Brennstrahl wird Parallelstrahl, d.h. Strahl durch den linken (rechten) Brennpunkt geht auf der rechten Seite parallel weiter.

Parallelstrahl wird Brennstrahl

Abb. 10.25 Biologische Physik

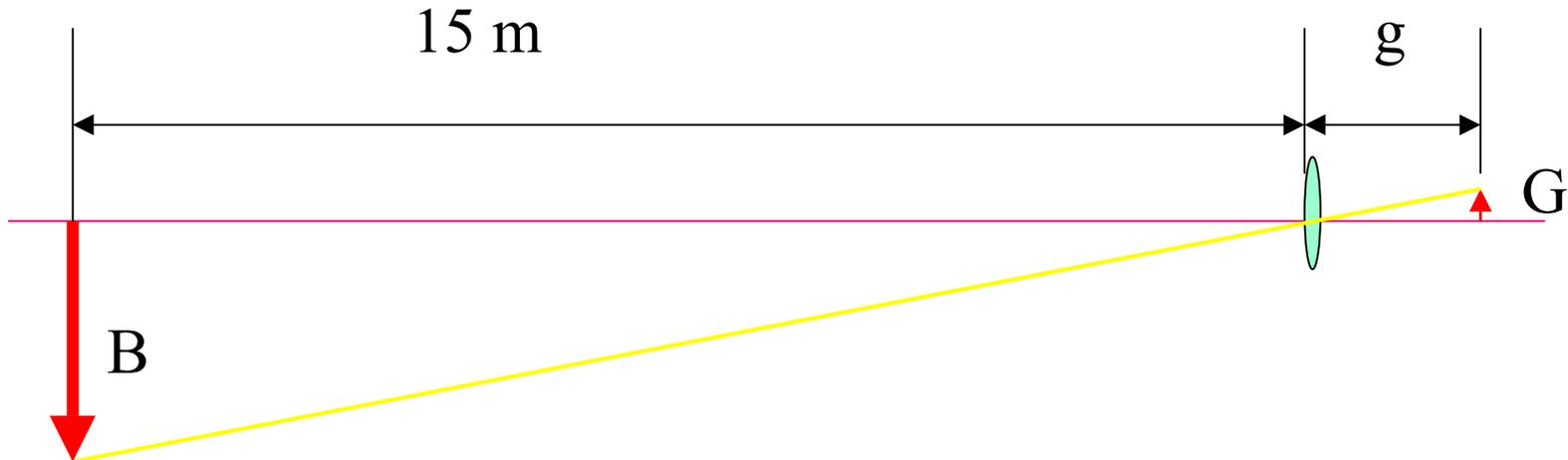
Mittelpunktsstrahl wird Mittelpunktstrahl

Abb. 10.25 Biologische Physik

BILDKONSTRUKTION:

Siehe Schule oder falls vergessen BUCH

Beispiel: Diaprojektor Film 24 x 36 mm $f = 100\text{mm}$
wie groß ist das Bild in 15 m Entfernung



Falls $g < f$ ist $b < 0$

Abb 10.28 Biologische Physik

Bild ist auf derselben
Seite und virtuell

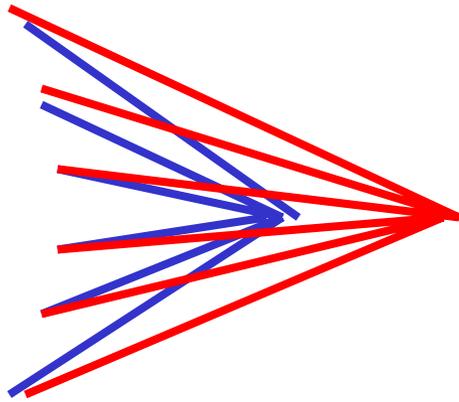
ZERSTREUUNGSLINSE (Konkavlinse)
liefert virtuelle Bilder

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = -\frac{1}{f}$$

Hauptstrahlen:

LINSENFEHLER: Linsen sind nicht dünn,
Brechungsindex ist nicht derselbe für alle Farben

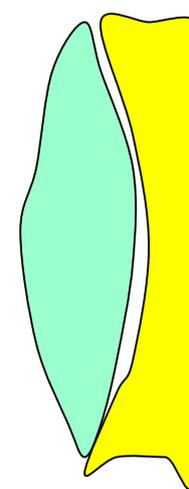
FARBFEHLER (chromatische Aberration) Linse als Prisma



Blau wird stärker gebrochen
als Rot. Bilder mit farbigen
Rändern

Abb.10.30 Biologische Physik

Abhilfe--> Achromat:
2 Linsen aus verschiedenen Gläsern



OFFNUNGSFEHLER (sphärische Aberration)

Randstrahlen stärker gebrochen als achsnahe Strahlen

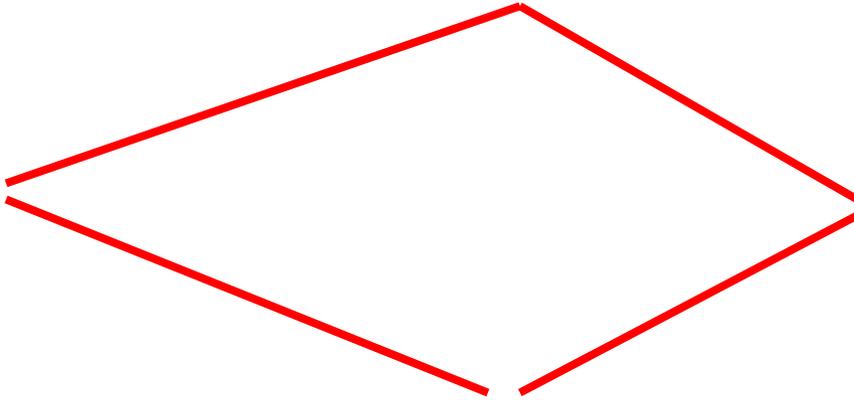


Abb.10.31 biologische Physik

BILDFELDWÖLBUNG

ASTIGMATISMUS:

Falls die Linse verschiedene Krümmungen hat, gibt es keinen Brennpunkt

Analog für schräg auftreffende Strahlen

ABHILFE Linsenkombinationen

Abb 10.32, biologische Physik

Tessar

Biotar

Nur für den Zweck geeignet, wofür sie berechnet wurden

KOMBINATION von ZWEI DÜNNEN LINSEN direkt HINTEREINANDER

Abb. 10.33 Biologische Physik

Gegenstandspunkt im Brennpunkt der ersten Linse ergibt Parallelstrahlen, diese werden von der zweiten Linse in ihrem Brennpunkt vereinigt

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f}$$

Gegenstandsweite

Bildweite

Brennweite der Linsenkombination

$\frac{1}{f}$... Brechkraft $[\frac{1}{f}] = m^{-1}$... Dioptrie

Gesamtbrechkraft ergibt sich durch Addition der Einzelbrechkräfte

Beispiel. Eine Linse hat eine Brechkraft von 10 Dioptrien und besteht aus Glas mit $n = 1.5$. Welche Brechkraft hat sie in Wasser