

## Technische Optik 01

1 von 25

Einführung

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel



Diese Power-Point-Präsentation ist die erste in einer Reihe. In ihnen befassen wir uns mit den Grundlagen des Fachs Technische Optik für den Studiengang „Mechatronik“ mit folgenden Themen:

1. Lichtstrahlen
2. Lichtwellen
3. Linsen
4. Lichtmessung
5. Lichttechnik

Je nach Zielsetzung können zur Technischen Optik noch andere Gebiete gehören. Stoff und Behandlung sind von mir so ausgewählt und sollen auf keinen Fall von der Lektüre guter Lehrbücher abhalten.

Die interessante „Nichtlineare Optik“ mit ihrer Bedeutung für die moderne Laserphysik sollte in einer vertiefenden Vorlesung behandelt werden.



## Technische Optik 01

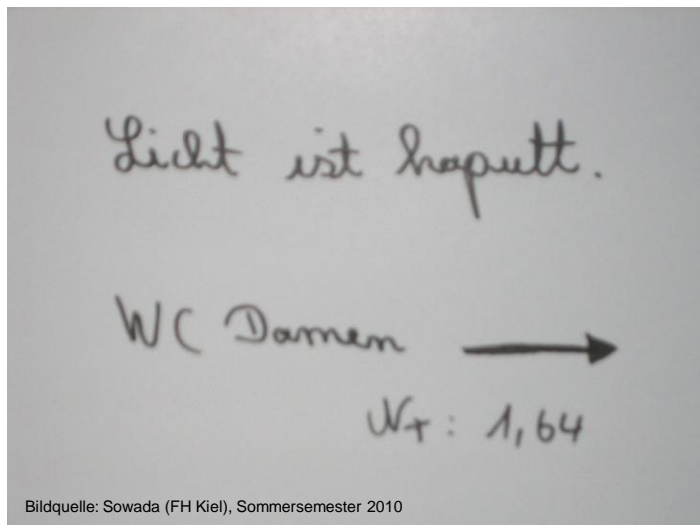
2 von 25

Einführung

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel



In der Laser-Materialbearbeitung spricht man oft davon, dass Licht ein unzerstörbares Werkzeug ist (im Gegensatz zu Bohrern oder Fräsern). Ein richtiger Wissenschaftler ist aber immer offen für neue Erkenntnisse ... (ich wüsste sehr gern, wie kaputtes Licht aussieht! Zerbrochene Strahlen?)



Bildquelle: Sowada (FH Kiel), Sommersemester 2010

## Technische Optik 01

3 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

Einführung

Das Ziel für das Fach „Technische Optik“ besteht darin, mit den wichtigsten optischen Technologien vertraut zu machen.

Worin bestehen diese optischen Technologien?  
Lassen wir uns über sechs Einzel-Technologien berichten:

*„Die Optischen Technologien umfassen die Gesamtheit physikalischer, chemischer und biologischer Naturgesetze und Technologien zur*

*Erzeugung,  
Verstärkung,  
Formung,  
Übertragung,  
Messung und  
Nutzbarmachung von Licht.“*

Quelle: „Deutsche Agenda Optische Technologien für das 21. Jahrhundert“, März 2000, ISBN 3-00-006083-9

Diese Stichpunkte eignen sich nicht als Gliederung dieser Vorlesung. Daher wähle ich eine andere.



## Technische Optik 01

4 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

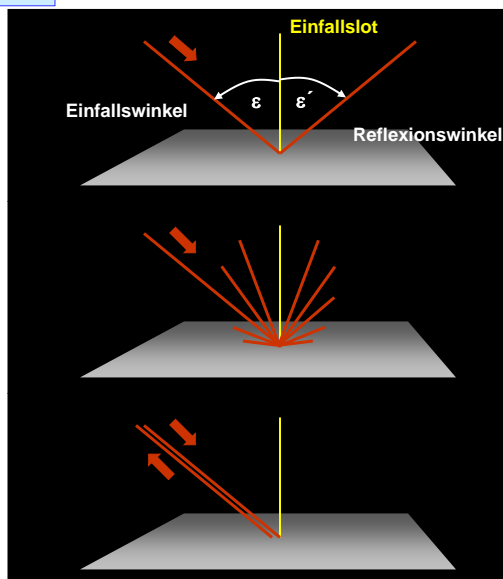
An polierten Metalloberflächen oder dünnen Schichten auf polierten Substraten (z. B. Glas) beobachtet man die gerichtete Reflexion:

$$\varepsilon = -\varepsilon'$$

Vorzeichenregelung: Ein Winkel zählt positiv, wenn die Bezugsgerade (Einfallslot, gelb) nach links gedreht werden muss.

Diffuse Reflexion (Streuung) findet man oft auf rauen Oberflächen (Papier). Die Richtungsverteilung der remittierten Lichtstrahlen hängt nicht von der Beleuchtungsrichtung ab.

Einige Oberflächen zeigen die Eigenschaft, Licht in die Richtung zu reflektieren, aus der sie angestrahlt wurden: das nennt man Retroreflexion.



## Technische Optik 01

5 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Diffuse Reflexion tritt bei weißem Papier auf; man kann die Schrift lesen, auch für eine beliebige Einstrahlrichtung, unter der beleuchtet wird. Die Wirkung der Retroreflexion kann auftreten, wenn gerichtete Reflexion an zwei oder mehr Ebenen erfolgt.

**Beispiel:** Untersuchen wir einmal den Ablenkwinkel für einen Strahl, der an zwei Oberflächen nach der gerichteten Reflexion reflektiert wird, die den Winkel  $\alpha$  miteinander bilden.

Der Ablenkwinkel  $\delta$  ist an jeder Oberfläche gleich 180 Grad, verringert um das Zweifache des Betrags vom Einfallswinkel:

$$\delta_1 = 180^\circ - 2 \cdot \varepsilon_1$$

$$\delta = 180^\circ - 2 \cdot |\varepsilon_1| + 180^\circ - 2 \cdot |\varepsilon_2|$$

Für die Einfallswinkel gilt:

$$|\varepsilon_1| = 90^\circ - \beta \quad |\varepsilon_2| = 90^\circ - \gamma$$

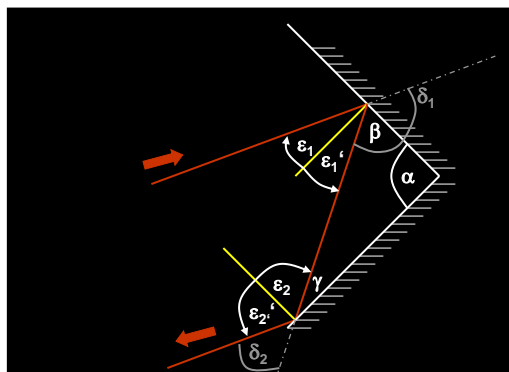
Nun benutzen wir noch die Winkelsumme im Dreieck:

$$\gamma = 180^\circ - \alpha - \beta$$

Dann bekommen wir:

$$\delta = -2 \cdot \alpha$$

Der Ablenkwinkel  $\delta$  ist also doppelt so groß wie der Winkel  $\alpha$ , unter dem die beiden Spiegel stehen.



## Technische Optik 01

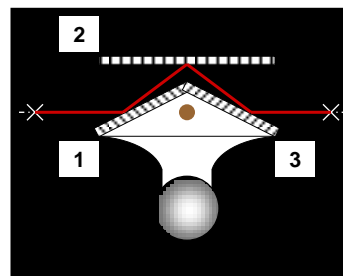
6 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

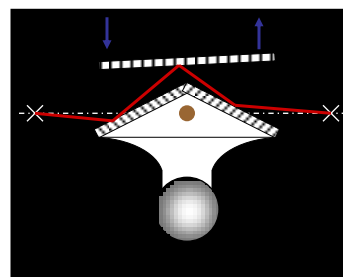
1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Schon mit so geringen Grundlagen kann eine interessante optische Komponente gebaut werden: Ein Bildstabilisator.

Der horizontal einfallende Strahl geht durch ein Beobachtungsgerät (z. B. Fernglas) gerade hindurch, solange es gerade gehalten wird. Er wird an den Spiegelflächen Nr. 1, 2 und 3 reflektiert. Der Winkel zwischen Nr. 1 und Nr. 2 beträgt  $22,5^\circ$ , ebenso zwischen Nr. 2 und Nr. 3.



Wenn das Gerät schräg gehalten wird, sorgt das Gewicht für eine andere Stellung der beiden unteren Spiegel relativ zu Spiegel Nr. 2. Ein Strahl aus dem durch das linke Kreuz gekennzeichneten Punkt geht auch durch den Punkt, der durch das rechte Kreuz angegeben ist. Dadurch wird die horizontale Blickrichtung stabilisiert. Es ist notwendig, eine Dämpfung ohne Stick-Slip (Wirbelstrombremse) einzubauen, damit das Pendel nicht beliebig lange schwingt und in der richtigen Lage stehen bleibt.



## Technische Optik 01

7 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Spiegel mit ebenen Oberflächen bieten schon viele Möglichkeiten. Aber für solche mit gekrümmten Oberflächen gibt es noch weiter gehende Anwendungen.

Am leichtesten lassen sich Spiegel mit sphärischen (= kugelförmigen) Oberflächen herstellen (Krümmungsmittelpunkt M). Man setzt sie als Vergrößerungsspiegel im Haushalt und als verkleinernde Spiegel in der Automobiltechnik ein.

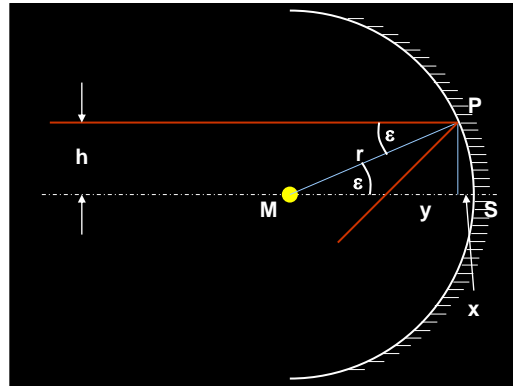
Ein Strahl fällt im Abstand h und parallel zur Achse auf eine sphärische Spiegelfläche ein.

Die optische Achse durchstößt die Spiegelfläche im Scheitelpunkt S.

Der einfallende Strahl trifft die Spiegelfläche im Punkt P.

Für die Größen von  $\varepsilon$ , x, y und s kann man hinschreiben:

$\varepsilon = \arcsin\left(\frac{h}{r}\right)$	$\frac{y}{r} = \frac{h/r}{\tan(2 \cdot \varepsilon)}$
$\frac{x}{r} = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{h}{r}\right)^2}$	$\frac{s}{r} = \frac{x}{r} + \frac{y}{r}$



## Technische Optik 01

8 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Mit diesen drei Gleichungen können wir für einen festen Spiegelradius r und für verschiedene Achsabstände h die Schnittweite s (= x + y) berechnen ( $\varepsilon$  in rad).

h/r	$\varepsilon$	x/r	y/r	s/r
0,025	0,025	0,000	0,500	0,500
0,050	0,050	0,001	0,498	0,499
0,075	0,075	0,003	0,496	0,499
0,100	0,100	0,005	0,492	0,497
0,125	0,125	0,008	0,488	0,496
0,150	0,151	0,011	0,483	0,494
0,175	0,176	0,015	0,477	0,492
0,200	0,201	0,020	0,469	0,490
0,225	0,227	0,026	0,461	0,487
0,250	0,253	0,032	0,452	0,484

**Ergebnis:** Die Schnittweite s ist für kleine Werte von h gleich dem halben Radius des Krümmungskreises. Mit zunehmendem Achsabstand nimmt sie ab. Dieser Abbildungsfehler wird als sphärische Aberration bezeichnet, denn er ist an die Kugelform der Oberfläche gebunden (er verschwindet für eine parabolische Form).

## Technische Optik 01

9 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

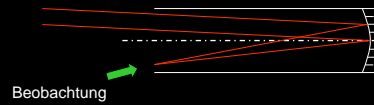
Mit Sammelspiegeln lassen sich vergrößernde optische Geräte bauen (Zucchi, Newton, Cassegrain).

Der „Schiefspiegler“ hat den Vorteil einer einzigen optischen Komponente. Mit einem Gerät wie diesem hat Niccolo Zucchi bereits 1616 die Streifen in der Jupiter-Atmosphäre entdeckt.

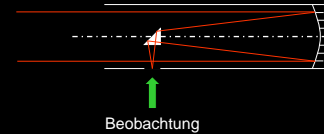
Newton baute 50 Jahre später ein Spiegel-Teleskop, bei dem der Kopf des Beobachters die einfallenden Strahlen nicht mehr behindert. Dieser Typ ist mit seinem seitlichen Okular auch heute noch oft als Gerät für Amateur-Astronomen anzutreffen.

Als das beste Design hat sich das Cassegrain-Teleskop herausgestellt. Bei ihm ist der Hauptspiegel durchbohrt. Das führt zu einem gefalteten Strahlweg und damit zu kurzer Bauform, wodurch die Probleme der mechanischen Stabilität leichter zu lösen sind.

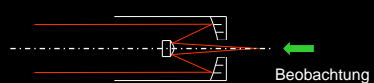
## Schiefspiegler



## Newton-Teleskop



## Cassegrain-Teleskop



## Technische Optik 01

10 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Das Bild zeigt die beiden Observatorien Keck I und II auf dem Mauna Kea (Hawaii), bei denen die großen Spiegel (10 m Durchmesser) zentral durchbohrt sind (Cassegrain-Teleskop).



## Technische Optik 01

11 von 25

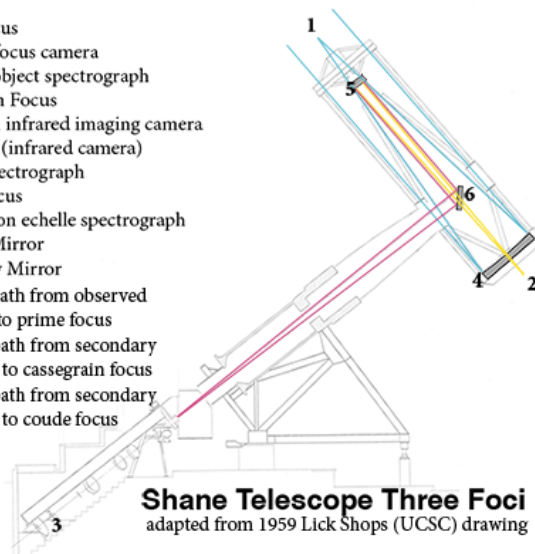
Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Das große Teleskop des Lick-Observatory bei San Francisco hat einen 120-inch-Spiegel (3 m Durchmesser. Die Verwendung von Spiegeln sorgt für die Gleichbehandlung aller Lichtanteile (Wellenlängen).

Während der Beobachtung dreht sich das Instrument um die polare Achse, um die Erdrotation auszugleichen. Beobachtungen werden entweder am Prime-Focus (1), dem Cassegrain-Focus (2) oder dem Coudé-Focus (3) gemacht.

- 1 Prime Focus
    - Prime focus camera
    - Multi-object spectrograph
  - 2 Cassegrain Focus
    - Gemini infrared imaging camera
    - IRCAL (infrared camera)
    - Kast spectrograph
  - 3 Coudé Focus
    - Hamilton echelle spectrograph
  - 4 Primary Mirror
  - 5 Secondary Mirror
- Light path from observed object to prime focus  
 — Light path from secondary mirror to cassegrain focus  
 — Light path from secondary mirror to coude focus



## Technische Optik 01

12 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

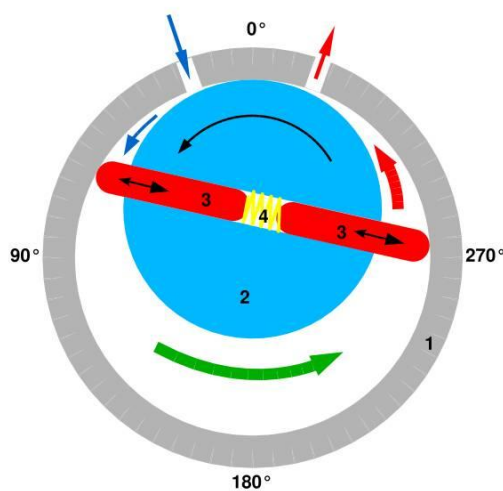
1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Für die Herstellung von Spiegelschichten wird Vakuumtechnik eingesetzt.

Ein bedeutender Typ von Vakuum-Pumpe ist die Drehschieberpumpe.

In einem zylindrischen Gehäuse (1) dreht sich eine exzentrische Achse (2) mit Dichtelementen (3), die mit Federkraft (4) an die Innenwand des Gehäuses gedrückt werden.

Dabei wird bei Drehung das Volumen der angesaugten Luft (blauer Pfeil) vergrößert und durch den „Auspuff“ ausgestoßen (roter Pfeil). Zwischen Drehschieber und Wand dichtet ein Ölfilm, der die Güte des Endvakuaums bestimmt.



## Technische Optik 01

13 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Während eine Drehschieberpumpe geeignet ist, bei Atmosphärendruck zu beginnen, aber nur ein Feinvakuum (Restdruck ca.  $10^{-2}$  mbar) erreicht, wird zur Verbesserung des Vakuums eine zweite Pumpe (zweistufige Anlage) verwendet, z. B. eine Turbo-Molekularpumpe.

Eine Anzahl von Turbinenschaufeln dreht sich mit etwa 20 000 bis 40 000 Umdrehungen pro Minute. Dadurch entsteht ein Druckgefälle zwischen Hochvakuum (oben) und Vorvakuum (links unten). Langsame Moleküle mit hohem Molekulargewicht (Öldämpfe) werden besser gefördert, schnelle Moleküle mit niedrigem Molekulargewicht (Wasserstoff) schlechter. Der Restdruck liegt bei  $10^{-10}$  mbar.

Rechts unten sieht man den Zugang zur Lagerschmierung.



## Technische Optik 01

14 von 25

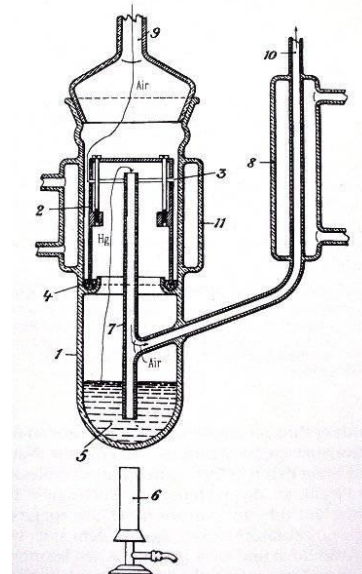
Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Ebenfalls für die Erzeugung eines Hochvakuums sind Quecksilber-Diffusionspumpe oder die Öl-Diffusionspumpe geeignet.

Die Abbildung stammt aus der Patentschrift von Wolfgang Gaede. Durch ein Temperaturgefälle wird ein Strom aus Quecksilber-Dampf in eine bestimmte Richtung gezwungen. Nach der Bernoulli-Gleichung entsteht ein Unterdruck, der zur Verringerung des Drucks an der Öffnung Nr. 10. Nr. 11 und Nr. 8 deuten Stellen an, wo durch fließendes Wasser gekühlt werden muss.

Im Gegensatz zur Turbomolekularpumpe erreicht eine Diffusionspumpe eine bessere Pumpleistung für leichte Moleküle.





## Technische Optik 01

15 von 25

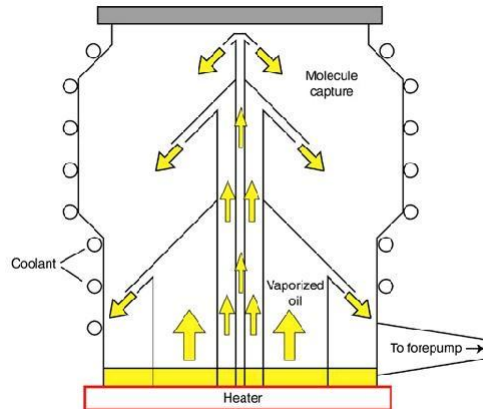
Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Aufbau und Betrieb der Öl-Diffusionspumpe ist ähnlich wie bei der Quecksilber-Diffusionspumpe.

Eine Heizplatte erwärmt das Öl, das im Vorvakuum (erzeugt durch Drehschieberpumpe) verdunstet. An der von Wasser gekühlten Außenwand kondensiert es und fließt nach unten.

Die Strömungsrichtung im gasförmigen Aggregatzustand (gelbe Pfeile) reißt andere Gasmoleküle mit sich. Als Ergebnis bekommt man am oberen Ende einen viel geringeren Druck als unten, wo durch die Vorpumpe ein konstant niedriger Druck aufrecht erhalten wird.



## Technische Optik 01

16 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Fast alle der heute verwendeten Vakuumpumpen wurden von Wolfgang Gaede (1878 - 1945) entwickelt. Er war Professor an der TH Karlsruhe.

Er wurde 1933/34 von zwei Assistenten bei der Gestapo denunziert, weil er das arische Prinzip als „nicht ernstzunehmend“ und die Nazis als „Kindsköpfe“ bezeichnet haben soll. Daraufhin wurde er in den Ruhestand versetzt.

Sein Ansehen ist dadurch eher gewachsen.

Neben der Pumpentechnik ist auch die Vakuum-Messtechnik sehr interessant. Wir wollen aber unser Ziel nicht aus den Augen verlieren, nämlich die Optik.



Wolfgang Gaede



## Technische Optik 01

17 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

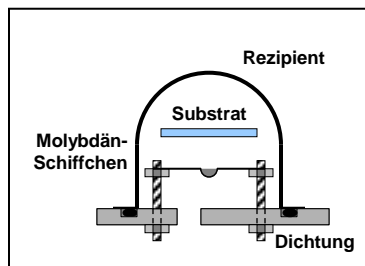
1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Zwei wesentlich verschiedene Verfahren werden zur Herstellung von Spiegeln benutzt:

### 1. PVD ("physical vapour deposition")

#### 1.1 Verdampfung

Das ist ein thermischer Prozess. Im Ultra-Hochvakuum (Restdruck  $< 10^{-7}$  mbar) wird ein Molybdän-Schiffchen ( $T_s = 2610$  °C) elektrisch auf Temperaturen  $> 1000$  °C geheizt. Verdampfende Atome breiten sich im Vakuum geradlinig aus und schlagen sich auf dem kälteren Substrat nieder. Die Schichten sind zwischen  $0,05$  und  $0,5$   $\mu\text{m}$  dünn. Als Schichtmaterialien werden Aluminium und Chrom verwendet.



#### 1.2 Sputtering

Das ist ein Plasma-unterstützter Prozess. Das Vakuum ist schlechter ( $10^{-2}$  bis  $10^{-3}$  mbar), und das Restgas besteht aus Argon. Eine elektrische Entladung sorgt für die Anwesenheit von Ionen, die im elektrischen Feld mit hoher Energie auf die Oberfläche des Beschichtungsmaterials geschossen werden. Dieses muss nicht verdampft werden. Dadurch kommen auch sehr schwer verdampfbare Materialien für eine Beschichtung in Frage, z. B.  $\text{Ti}_3\text{N}_4$ . Die Haftung ist besser, weil die haftenden Atome mit hoher Geschwindigkeit auf die Oberfläche prallen.

## Technische Optik 01

18 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

### 2. CVD ("chemical vapour deposition")

#### 2.1 Konventionell

Gasförmiges Nickel-Carbonyl ( $\text{NiCO}_4$ ) zersetzt sich an heißen Oberflächen in Ni und gasförmige Produkte, die abgepumpt werden können. Dadurch baut sich eine Nickelschicht mit bis zu  $2,5$  mm Dicke auf.

#### 2.2 Diamant

Wenn bei geeigneten Substraten während der Beschichtung die Substrat-Temperatur auf  $700$  °C gesteigert werden kann, kann aus geeigneten Gasmolekülen durch CVD eine diamantartige Schicht aufgebaut werden. Diese Schicht hat exzellente Verschleißigenschaften. Das Verfahren funktioniert nicht für die Beschichtung von Hartmetallen, weil sie ihre Härte durch die hohen Temperaturen wieder verlieren.

#### 2.3 Plasma-unterstützt

Man kann die chemische Abscheidereaktion durch Plasma unterstützen. Dann muss während der Beschichtung eine elektrische Entladung im reaktiven Gas brennen.

## Technische Optik 01

19 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

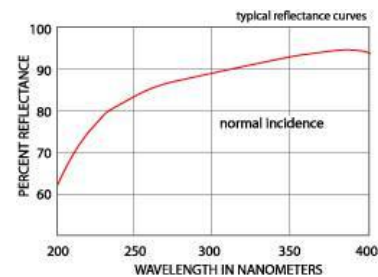
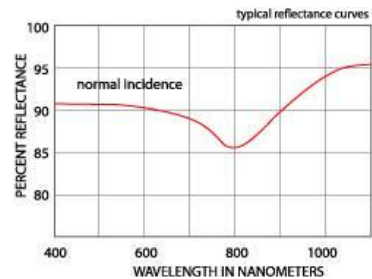
1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Als metallische Werkstoffe werden für Dünnschichtspiegel Aluminium, Silber und Gold verwendet ([www.mellesgriot.com](http://www.mellesgriot.com)).

## 1.) Aluminium

Der Reflexionsgrad liegt bei 85 - 90 % über den ganzen sichtbaren Spektralbereich. Die unvermeidbare Oxidschicht schützt die metallische Reflexionsschicht vor Korrosion.

Durch eine aufgedampfte Schutzschicht aus Magnesiumfluorid ( $MgF_2$ ) lässt sich die Qualität, besonders für ultraviolettes Licht steigern. Der Aluminiumspiegel, dessen Eigenschaft in dieser Grafik dargestellt ist, hat keine Oxidschicht, und die Reflektivität nimmt im UV-Bereich stark ab.



## Technische Optik 01

20 von 25

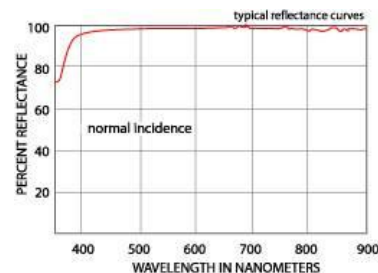
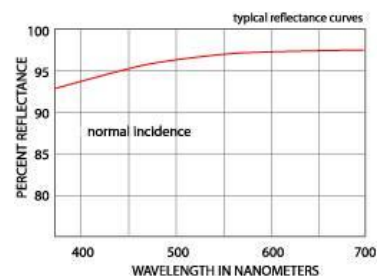
Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

## 2.) Silber

Für fast den ganzen sichtbaren Spektralbereich liegt der Reflexionsgrad über 95 %. Wegen des „Anlaufens“ von Silberspiegeln muss diese Schicht „versiegelt“ werden.

Durch eine Schutzschicht (firmeninternes Geheimrezept) erreicht die Qualität für einen Vorderflächenspiegel fast den theoretisch maximalen Wert (100 %), und das bis in den nahen Infrarotbereich.



## Technische Optik 01

21 von 25

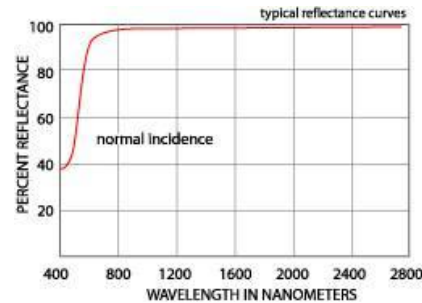
Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

## 3.) Gold

Gold hat eine niedrige Reflektivität für Wellenlängen unter 500 nm (blau). Daher bekommt dieses Metall seine Farbe (Komplementärfarbe zu den absorbierten Wellenlängen).

Die Reflektivität ist sehr hoch bis in den mittleren Infrarotbereich hinein.



Metallische Schichten sind wegen ihrer mehr oder weniger geringen Restabsorption nicht für Anwendungen im Zusammenhang mit Hochleistungs-Lasern geeignet. Die Zerstörschwellen für 20 ns lange Laserstrahlung liegen bei 1 J/cm<sup>2</sup>. Das wird mit einem Excimerlaser oder einem gütegeschalteten Nd:YAG-Laser leicht überschritten.

## Technische Optik 01

22 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Es gibt heute viele Auto-Außenspiegel mit einem asphärischen Außenteil, um den „toten Winkel“ zu eliminieren. Dafür wird das Substrat (Glasplatte) vor der Bedampfung mit Chrom (Rückseite) oder Titan-Dioxid (Vorderflächen-Spiegel) entsprechend geformt.

Für die Lasertechnik benötigt man Spiegel, deren Schicht keinerlei Absorption zeigt, denn eine dünne Schicht kann durch Absorption einer bestimmten Energiemenge auf sehr hohe Temperatur gebracht werden.

Wenn auf ein Glas-Substrat eine größere Anzahl von Schichten aus durchsichtigen Materialien mit verschiedenen Brechzahlen in genau abgestimmten Schichtdicken aufgedampft werden, erhält man eine Schicht ohne Absorption. Die Funktion dieser Spiegel ist nur im Rahmen der Wellennatur des Lichts zu verstehen; sie kann HR (hoch reflektierend) oder AR (anti-reflektierend) sein. Aber eine Hochvakuum-Aufdampfanlage ist dafür in jedem Fall notwendig.

## Technische Optik 01

23 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Dünne Schichten lassen sich durch strukturiertes Abdampfen mit Laser zum Markieren nutzen. Gezeigt ist eine strukturierte Anti-Reflex-Schicht im Brillenglas, um den Hersteller anzudeuten.



## Technische Optik 01

24 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel

1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

Beispiel:

Berechnen Sie die Größe der longitudinalen sphärischen Aberration (also in Achsrichtung) für die Reflexion an einem Kugelspiegel (Hohlspiegel) mit  $r = 500 \text{ mm}$  für einen Achsabstand von  $h = 100 \text{ mm}$ . Dafür wird dieser Strahl mit dem verglichen, der einen sehr kleinen Achsabstand hat.

Zur Beantwortung sehen wir uns die geometrischen Verhältnisse an (Pythagoras):

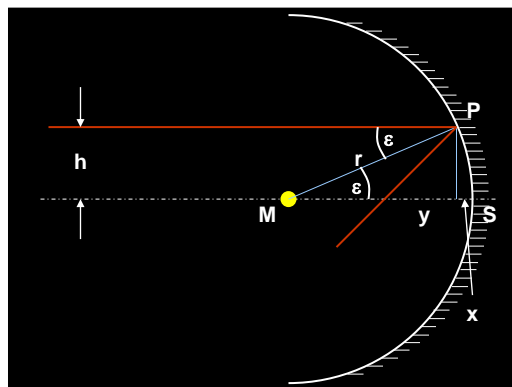
$$x = r - \sqrt{r^2 - h^2} = 10 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \arcsin\left(\frac{h}{r}\right) = 11,53^\circ$$

$$y = \frac{h}{\tan(2\varepsilon)} = 235 \text{ mm}$$

Wir erhalten:  $x + y = 245 \text{ mm}$

Die sphärische Aberration beträgt in axialer Richtung 5 mm; denn im Grenzfall für  $h$  gegen Null strebt die Schnittweite gegen  $r/2 = 250 \text{ mm}$ .



## Technische Optik 01

25 von 25

Prof. Dr. Ulrich Sowada  
Institut für Mechatronik  
Fachhochschule Kiel



1 Lichtstrahlen	2 Lichtwellen	3 Linsen	4 Lichtmessung	5 Lichttechnik
1.1 Reflexion	1.2 Brechung	1.3 Absorption	1.4 Streuung	

