



Linsen-Systeme in der Optik

Sebastian Rehlein, WS 13/14

Gliederung

1	Einzel-Linsen.....	1
1.1	Optische Eigenschaften.....	2
1.2	Sammel-Linse	2
1.3	Zerstreuungslinse	3
1.4	Meniskus-Linse	3
2	Brechungsindex.....	3
3	Linsen-Systeme.....	4
3.1	Funktionsweise.....	4
3.2	Chromatische Aberration.....	4

Einstieg: Für Kinder ist es immer eine große Freude Tiere zu beobachten. Die Verwendung eines Fernglases vergrößert diese Aufregung noch zusätzlich, da man die Tiere so aus nächster Nähe betrachten kann. Allerdings bemerkt man schnell Unterschiede zwischen einem professionellen Fernglas und Kinder-Ferngläsern aus dem Supermarkt, bei denen es vorkommen kann, dass Tiere ihre Farbe ändern, sobald man gegen das Licht schaut. Mit zunehmendem Alter und Interesse an der Tier-Beobachtung tritt der Bedarf nach einem geeignetem Fernglas und Zubehör auf. Jedoch stellten sich bei genauerer Recherche, trotz ähnlichem Aufbau, sehr schnell deutliche Preis-Unterschiede heraus.

Problem-Stellung: Aus welchen Gründen existieren zwischen sich äußerlich relativ ähnlichen Ferngläsern teilweise drastische Preis-Unterschiede und wie lassen sich die starken Farb-Verzerrungen erklären?

1 Einzel-Linsen

Linsen werden im Allgemeinen als transparente optische Bau-Elemente mit zwei lichtbrechenden Flächen definiert. Sie werden als Einzel-Linsen oder auch in Kombination zur optischen Abbildung genutzt. Es treten zwei verschiedene Herstellungsprozesse auf:

- **amorphe Herstellung:** Bei der amorphen Herstellung werden die Linsen aus optischen Gläsern (= Glas zur Fertigung von optischen Bauteilen) oder Kunststoffen (= Polycarbonate) produziert
- **kristalline Herstellung:** Der kristalline Herstellungsprozess basiert auf den Stoffen Calciumfluorid oder Saphir. Hierbei werden zuerst Rohlinge durch Heißpressen oder Gießen produziert und die optisch wirksamen Flächen abgeschliffen

1.1 Optische Eigenschaften

Sphärische Linsen können mit Hilfe der folgenden optischen Eigenschaften vollständig beschrieben werden. Die wesentliche Größe für den Abbildungsprozess stellt hierbei der Brechungsindex dar.

geometrische Größe	Material-Eigenschaften
Durchmesser	Brechungsindex
Linsen-Radius	Abbé-Zahl
Mitten-Dicke	Spannungsdoppelbrechung

Tab. 1: Eigenschaften von optischen Linsen

1.2 Sammel-Linse

Sammel-Linsen können entweder auf beiden Seiten eine konvexe Wölbung oder auf einer Seite eine konvexe und auf der anderen Seite eine ebene Fläche aufweisen.

Mit Hilfe einer Sammel-Linse kann ein parallel zur optischen Achse einfallendes Strahlen-Bündel in einem Punkt hinter der Linse gesammelt werden. Dieser Punkt wird auch Brennpunkt oder Fokus genannt. Der Strahlen-Gang für eine einzelne Sammel-Linse wird in Abb. 1 dargestellt.

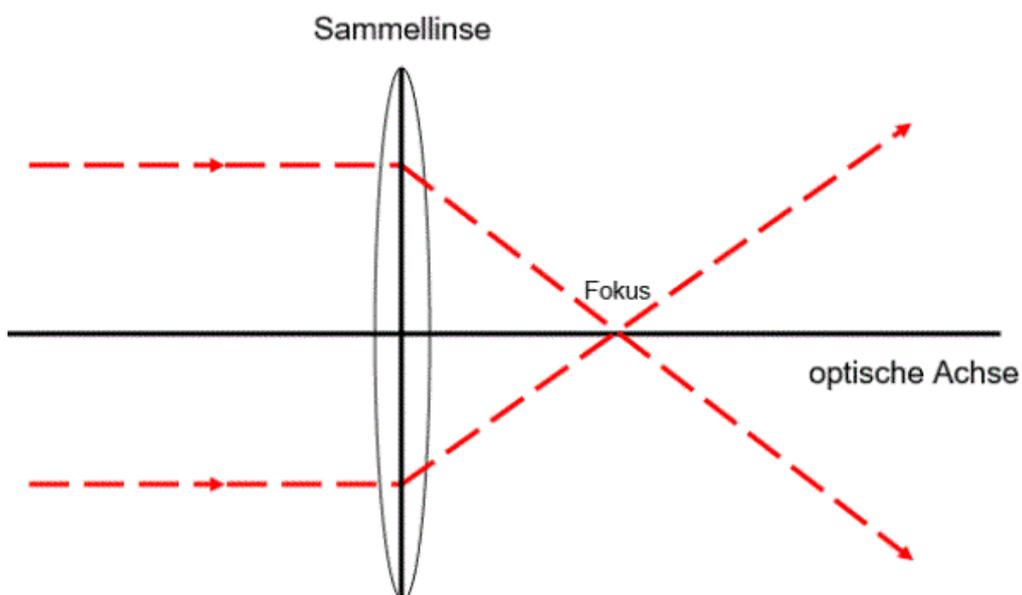


Abb. 1: Strahlen-Gang durch eine Sammel-Linse (konvex/konvex)

1.3 Zerstreulinse

Zerstreulinse können entweder auf beiden Seiten eine konkave Wölbung oder auf einer Seite eine konkave und auf der anderen Seite eine ebene Fläche aufweisen.

Bei diesem Linsen-Typ läuft ein Bündel von einfallenden Parallel-Strahlen hinter der Linse so auseinander, als ob sie von einem Punkt auf der Einfall-Seite des Lichts kämen. Der Strahlen-Gang für eine einzelne Zerstreulinse wird in Abb. 2 dargestellt.

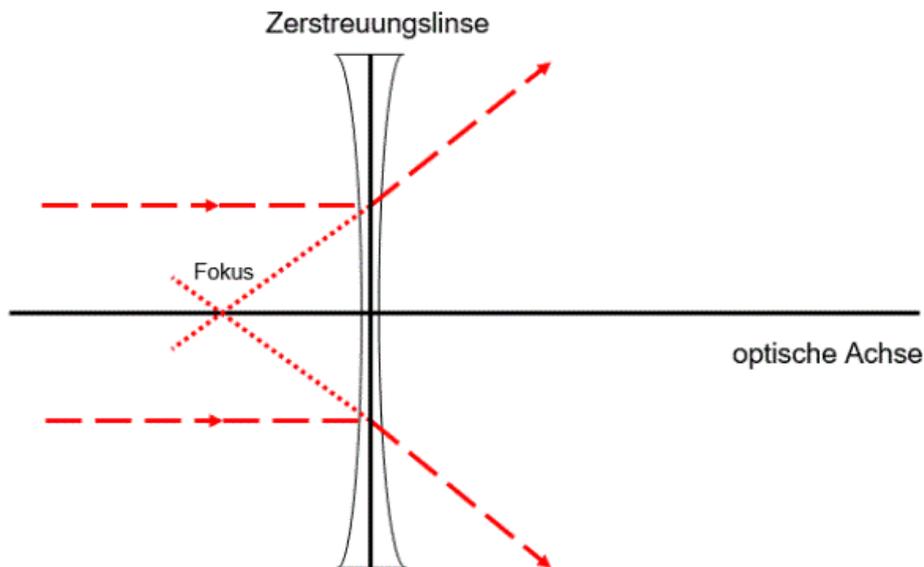


Abb. 2: Strahlen-Gang durch eine Zerstreulinse (konkav/konkav)

1.4 Meniskus-Linse

Meniskus-Linsen weisen auf einer Seite eine konkave und auf der gegenüberliegenden Seite eine konvexe Wölbung auf. In Linsen-Systemen werden Meniskus-Linsen sehr häufig genutzt, um Abbildungsfehler zu korrigieren.

2 Brechungsindex

Die vorgestellten Linsen-Typen haben alle gemeinsam, dass das Licht beim Auftreffen auf das Glas-Medium an gekrümmten oder ebenen Flächen gebrochen wird. Hierbei wird der Licht-Strahl bei einem Medien-Übergang einerseits an der Grenzfläche gebrochen, während andererseits gleichzeitig ein Teil des Strahls reflektiert wird (Abb. 3).

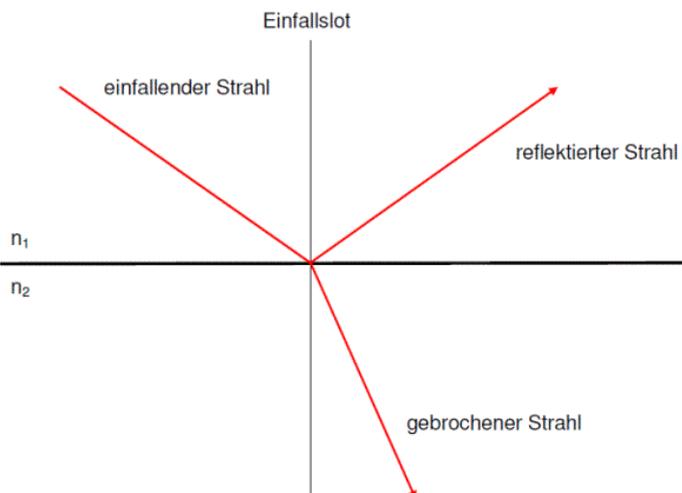


Abb. 3: Darstellung der Brechung eines Licht-Strahls beim Medien-Übergang inklusive des zum Teil reflektierten Anteils

Die Brechungszahl berechnet sich auf der folgenden Formel

$$n = \frac{c_0}{c}$$

c_0 = Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum

c = Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium

- Ein großer n -Wert beschreibt ein optisch dichtes Medium
- Ein geringer n -Wert beschreibt ein optisch dünnes Medium

Beispiele:

- Luft: $n = 1$
- Wasser: $n = 1,3$
- Glas: $n = 1,5$
- Diamant: $n = 2,4$

3 Linsen-Systeme

Bei der Verwendung von einzelnen sphärischen Linsen treten häufig Abbildungsfehler auf. Hierbei stimmt der Brennpunkt der Rand-Strahlen nicht mit dem Brennpunkt der weiter innen liegenden Strahlen überein. Um diese Abbildungsfehler zu reduzieren und zu kompensieren werden Einzel-Linsen zu Linsen-Systemen kombiniert.

Ein Linsen-System besteht aus mehreren in Reihe geschalteter Linsen von beliebigem Typ.

3.1 Funktionsweise

Im Folgenden wird ein Strahlen-Gang für ein Zwei-Linsen-System dargestellt (Abb. 4)

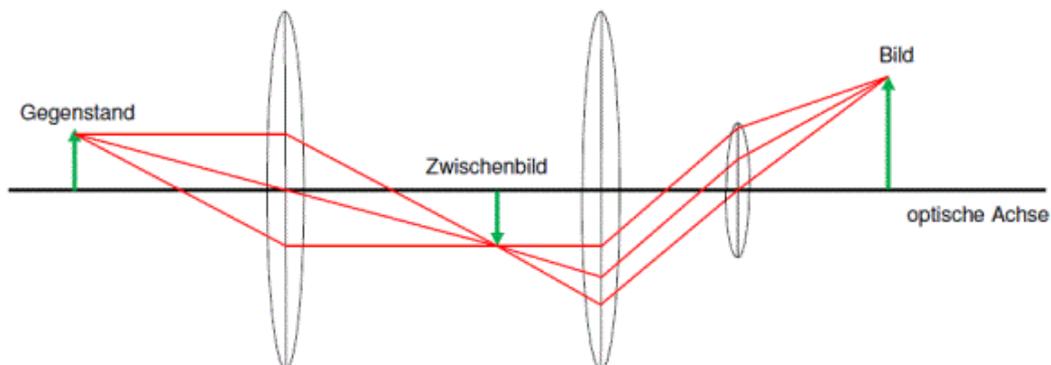


Abb. 4: Strahlen-Gang durch eine Linsen-System (z. B. Mikroskop)

Durch die Anordnung der einzelnen Linsen im System wird zuerst ein Zwischenbild projiziert, das aber nicht wahrgenommen wird. Die einzelnen Strahlen werden durch eine zweite Linse und die Linse des Auges erneut gebrochen und erstellen letztendlich ein vergrößertes Bild des ursprünglichen Objektes.

Die zugrundeliegende Methodik wird beispielsweise in Ferngläsern oder Mikroskopen für die Vergrößerungsstufen mit mehreren Objektiven ausgenutzt.

3.2 Chromatische Aberration

Der Begriff der chromatischen Aberration beschreibt einen Abbildungsfehler, der durch unterschiedlich starke Brechung des Lichts von unterschiedlicher Wellenlänge entsteht. Das kurzwellige, blaue Licht wird stark gebrochen, während das langwellige, rote Licht

nur einer schwachen Brechung unterliegt. Daraus resultiert letzten Endes die Zerlegung des Lichtstrahls in seine Spektral-Farben und der sogenannte Farbquerfehler (Abb. 5).

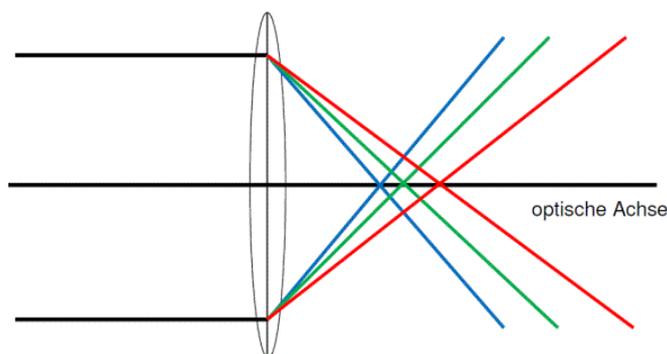


Abb. 5: schematische Darstellung des Farbquerfehlers

Um diesen Abbildungsfehler zu korrigieren, muss ein Linsen-System erstellt werden. Aus diesem Grund werden Linsen verschiedener Dispersion miteinander kombiniert. Durch diese Zusammenschaltung von einzelnen Linsen kann die Zerlegung des Lichtstrahls in seine Spektral-Farben und der damit verbundene Farbquerfehler zu großen Teilen verhindert werden, da der Brennpunkt der einzelnen gebrochenen Strahlen wieder näher zusammenrückt (Abb. 6).

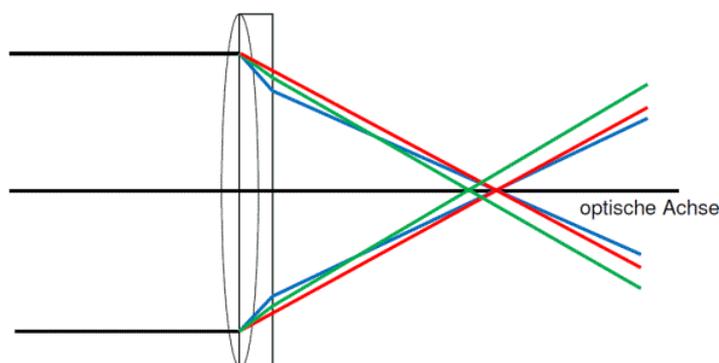


Abb. 6: schematische Darstellung der Korrektur des Farbquerfehlers durch Kombination zweier Linsen zu einem Linsen-System

Zusammenfassung. Linsen-Systeme nehmen in der Forschung und in der Wissenschaft eine zentrale, bedeutende Rolle ein. Durch die Entwicklung von beispielsweise dem Mikroskop konnte in der Vergangenheit und wird auch in der Zukunft viel Fortschritt in den Naturwissenschaften erreicht werden. Der hohe Preis von solchen Geräten ist auf die Kombination mehrerer Linsen zu einem Linsen-System zurückzuführen, da die Entwicklung und Fertigung solch komplizierter Anordnungen größere Kosten verursacht.

Die Farb-Verzerrung bei minderwertigen Ferngläsern lässt sich auf das Phänomen der chromatischen Aberration zurückführen. Durch Zuschalten einer entgegengesetzt wirkenden Linse kann der hervorgerufene Farbquerfehler korrigiert werden. Eine hochwertige Bild-Qualität von technischen Geräten ist somit von einer Vielzahl an hintereinandergeschalteten Linsen abhängig, da durch diese Zusammenstellung die auftauchenden Abbildungsfehler ausgemerzt werden können.

Abschluss: fehlt.

Quellen:

1. Zinth, Wolfgang; Zinth, Ursula: Optik: Lichtstrahlen - Wellen - Photonen. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2011.
2. Brdička, Rudolf: Grundlagen der physikalischen Chemie. Dt. Verlag der Wissenschaften, Berlin 1985.
3. Prof. Dr. Heuer, Dieter; Gößwein, Oliver; Schimmel, Nicole: ChemgaPedia - Geometrische Optik: http://www.chemgapedia.de/vsengine/topics/de/Physik/Optik/Geometrische_00032Optik/; (abgerufen am 09.03.2016)