

Parallele Lichtstrahlen, die schräg zur optischen Achse verlaufen, werden von der Sammellinse auch durch einen Punkt gelenkt, wie in Abbildung 1.15 zu sehen ist. Er liegt nicht mehr auf der optischen Achse, doch sein Abstand zur Mittelebene der Linse ist ebenfalls gleich der Brennweite f .

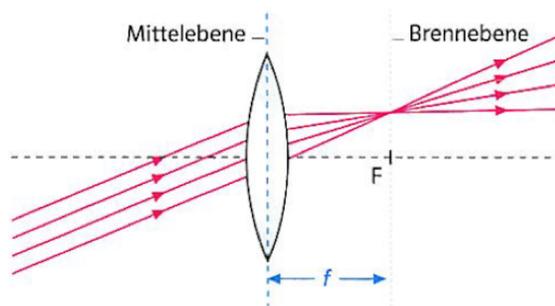
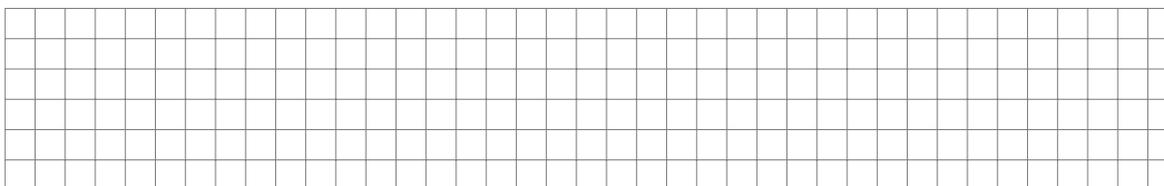


Abbildung 1.15: Parallele Lichtstrahlen schräg zur optischen Achse.

Man sagt, er befindet sich in der Brennebene der Linse. Auf Strahlen, die nahe der optischen Achse auf die Linse treffen, wirkt diese wie eine planparallele Platte. Je dünner die Linse ist, desto kleiner wird die seitliche Verschiebung der Lichtwege. Meist zeichnet man die Lichtwege solcher Strahlen ohne Richtungsänderung und ohne seitliche Versetzung.

Nun untersuchen wir, wie die Krümmung der Linsen in Abhängigkeit mit der Brennweite steht. Es gilt:

Krümmung vs. Brennweite:



Auch bei Linsen mit zwei unterschiedlich gekrümmten Oberflächen ändern die beiden Brechungen den Lichtweg stets so, dass es gleichgültig ist, welche Seite der Linse vom Licht zuerst getroffen wird. Daher ist die Brennweite auf beiden Seiten der Linse gleich. Wenn eine Linse im Verhältnis zum Durchmesser dünn ist, kann man beim Konstruieren des Lichtwegs die zweimalige Brechung durch eine Umlenkung in der Mittelebene der Linse ersetzen. Beim genaueren Betrachten des Experimentfotos, wie in Abbildung 1.16 zu sehen ist, erkennt man, dass die Lichtstrahlen, die parallel zur optischen Achse verlaufen, von der Linse nicht immer genau durch einen Punkt umgelenkt werden. Dies ist einer der Gründe, weshalb bei der Abbildung mit Linsen unscharfe Bilder entstehen können. Nur für dünne Linsen und achsennahen Strahlen erhält man fast einen Punkt, den Brennpunkt der Linse.

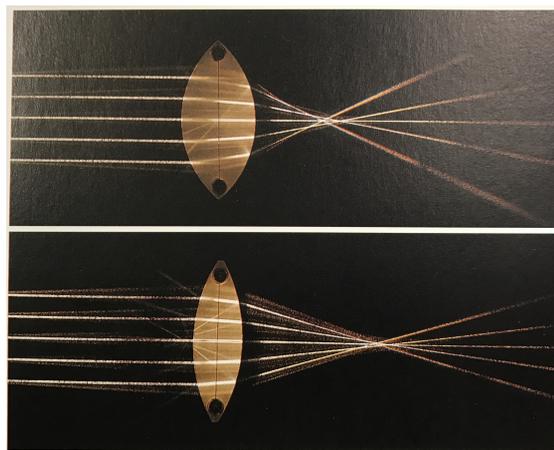


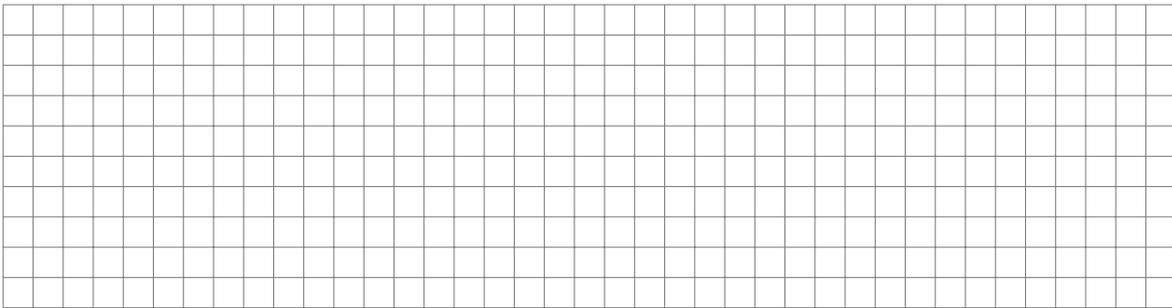
Abbildung 1.16: Unterschiede in der Brennweite von verschiedenen dicken Linsen. Betrachten Sie die Unschärfe der Brennpunkte.

1.4.2 Zerstreulinse

Es gibt Linsen, die anders als Sammellinsen, auseinander strebende Lichtstrahlen noch stärker auseinander laufen lassen. Solche Linsen heißen Zerstreulinsen. Sie sind in der Mitte stets dünner als am Rand.

Die Untersuchung der Lichtwege bei Zerstreulinsen zeigt, dass es wie bei den Sammellinsen auf jeder Seite der Linse einen ausgezeichneten Punkt F auf der optischen Achse gibt. Nur verlaufen hier nicht die Strahlen selbst durch F hindurch, sondern ihre rückwärtigen Verlängerungen vom Auftreffpunkt in der Mittelebene der Linse, siehe Abbildung 1.17(a). Es gilt:

Gesetz 4:



Auf der anderen Seite der Linse existiert ebenfalls ein Punkt F im gleichen Abstand von der Linsenmitte, auf den die Strahlen zulaufen müssen, damit sie anschliessend die Linse parallel zur optischen Achse verlassen, siehe Abbildung 1.17(b). Die Strahlen, die durch die Mitte einer Zerstreuungslinse gehen, ändern ihre Richtung nicht, siehe Abbildung 1.17(c). Bei Zerstreuungslinsen spricht man ebenfalls von Brennpunkten F , obwohl sie keine Brennwirkung haben. Die für das Zeichnen des Strahlengangs massgeblichen Brennpunkte sind gegenüber der Sammellinse vertauscht. Die Brennweite f erhält ein negatives Vorzeichen!!!

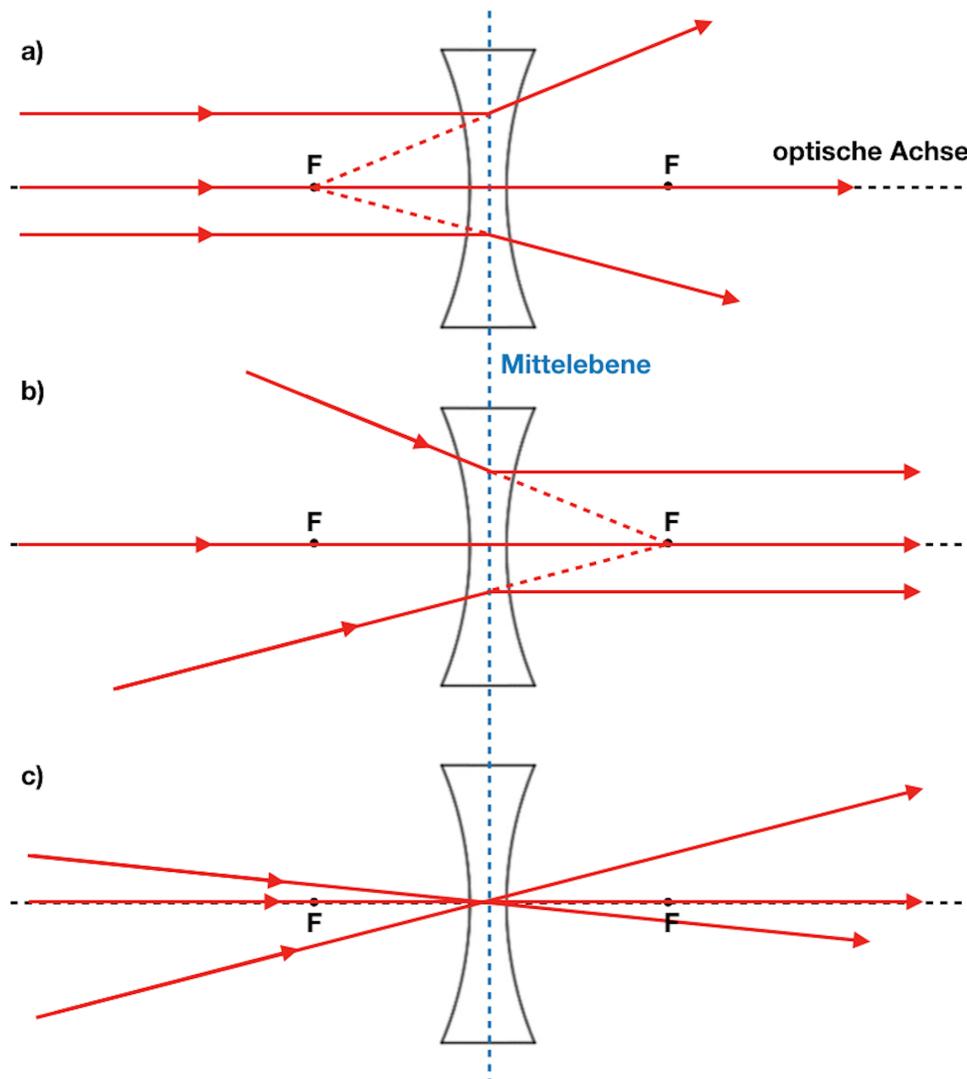


Abbildung 1.17: Lichtwege bei einer Zerstreuungslinse.

1.4.3 Bildentstehung bei einer Sammellinse

Bei der Abbildung eines Gegenstands durch eine Sammellinse hängen die Lage und die Grösse des Bilds von der Entfernung g des Gegenstands zur Linse und von deren Brennweite f ab. Nähert man einen Gegenstand aus grosser Entfernung einer Sammellinse, so entfernt sich auch das Bild von der Sammellinse. Die Sammellinsen erzeugen umgekehrte, seitenvertauschte Bilder von Gegenständen, wenn sich diese ausserhalb der Brennweite befinden, siehe Abbildung [1.18](#). Zur Konstruktion des Bilds genügen wiederum die von einem Gegenstandspunkt ausgehenden Brennpunkt- und Parallelstrahlen, die durch die Sammellinse wiederum auf Parallel- bzw. Brennpunktstrahlen abgebildet werden. Der Schnittpunkt der gebrochenen Strahlen entspricht der Lage des Bilds.

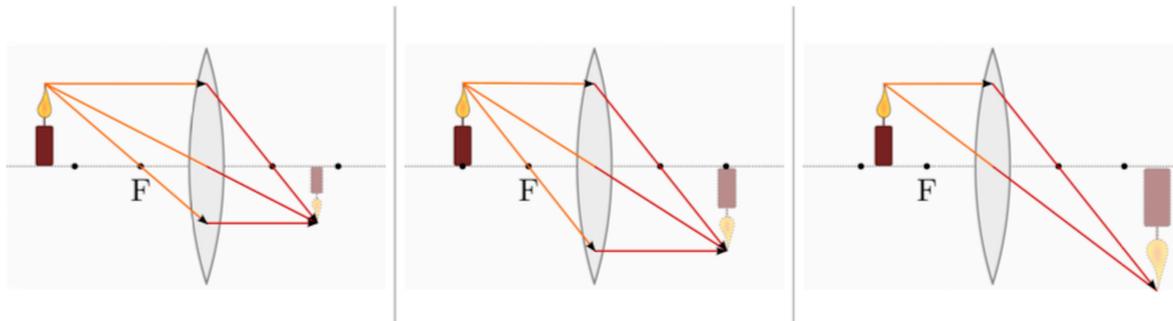


Abbildung 1.18: Bildentstehung an einer Sammellinse, wenn der Gegenstand ausserhalb der Brennweite liegt.

Nähert man einen Gegenstand vom Brennpunkt her einer Sammellinse, so nähert sich auch das Bild der Sammellinse. Die Sammellinsen erzeugen vergrösserte und aufrechte Bilder der Gegenstände, wenn sie sich innerhalb der Brennweite befinden (Lupeneffekt), siehe Abbildung [1.19](#). Zur Konstruktion des Bilds zeichnet man die von einem Gegenstandspunkt ausgehenden Bildstrahlen hinter der Sammellinse weiter. Dabei ist zu beachten, dass die Brennpunktstrahlen zu Parallelstrahlen werden und die Mittelpunktstrahlen stets senkrecht auf die Linse treffen und diese somit ohne Lichtbrechung durchlaufen. Die Lage des Bilds entspricht dem Schnittpunkt der so verlängerten Parallel- bzw. Mittelpunktstrahlen hinter dem Gegenstand.

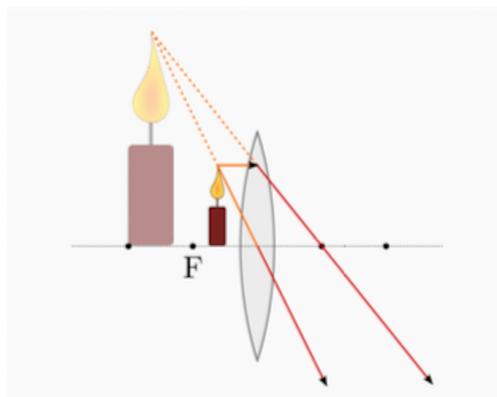


Abbildung 1.19: Bildentstehung an einer Sammellinse, wenn der Gegenstand innerhalb der Brennweite liegt.

Zusammengefasst können wir folgendes sagen, wie in Tabelle [1.3](#) dargestellt wurde:

Gegenstandsweite g	Bildweite b	Eigenschaften des Bilds
$g > 2f$	$f < b < 2f$	reell, umgekehrt, verkleinert
$g = 2f$	$b = 2f$	reell, umgekehrt, gleich gross
$f < g < 2f$	$b > 2f$	reell, umgekehrt, vergrössert
$g = f$	-	kein Bild auf dem Schirm
$g < f$	$b > g$	virtuell, aufrecht, vergrössert

Tabelle 1.3: Eigenschaften des Bilds bei unterschiedlichen Gegenstandsweite und Bildweite.

1.4.4 Bildentstehung bei einer Zerstreuungslinse

Untersucht man die Abbildungseigenschaften bei einer Zerstreuungslinse, so beobachtet man, dass mit ihr, gleichgültig in welcher Entfernung sich der Gegenstand zu ihr befindet, keine reellen Bilder auf dem Schirm zu erzeugen sind. Die Lichtstrahlen der Gegenstandspunkte schneiden sich nie in Bildpunkten hinter der Linse. Ein Betrachter sieht allerdings beim Blick durch die Linse virtuelle Bilder, die sich innerhalb der Brennweite auf der Seite des Gegenstands befinden. Sie entstehen beim Betrachten durch Verlängerung der Lichtstrahlen, die die Linse verlassen. Die Aufweitung der Lichtbündel durch die Zerstreuungslinse liefert stets verkleinerte Bilder des Gegenstands in gleicher Lage, wie in Abbildung [1.20](#) zu sehen ist. Zur Konstruktion des Bilds zeichnet man zu einem Gegenstandspunkt wiederum einen Parallel- und einen Brennpunktstrahl ein. Der Parallelstrahl wird durch die Zerstreuungslinse so gebrochen, dass die nach hinten gerichtete Verlängerung des Strahls durch den Brennpunkt verläuft. Das (stets verkleinerte) Bild befindet sich am Schnittpunkt des so verlängerten Parallelstrahls mit dem Mittelpunktstrahl zwischen dem Gegenstand und der Linse.

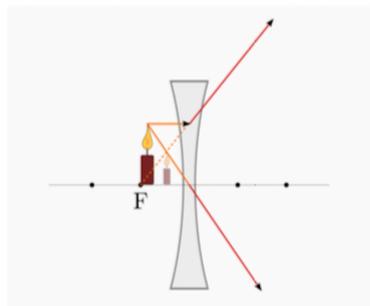


Abbildung 1.20: Bildentstehung an einer Zerstreuungslinse, wenn der Gegenstand innerhalb der Brennweite liegt.

1.4.5 Abbildungsmaßstab

Wie wir bis jetzt gesehen haben, mithilfe einer Sammellinse kann eine Abbildung eines hellen Gegenstands auf einem weissen Karton (Schirm) erzeugt werden. Das Gleiche geschieht auch beim Fotoapparat (Abbildung auf dem Sensor), beim Beamer oder Hellraumprojektor (Abbildung auf der Leinwand) oder beim Auge (Abbildung auf der Netzhaut). Das vergrößerte beziehungsweise verkleinerte Bild, das sich bei einer Abbildung durch eine optische Linse ergibt, kann nicht nur durch geometrische Konstruktion sondern auch rechnerisch bestimmt werden. Dazu betrachten wir die Abbildung [1.21](#).

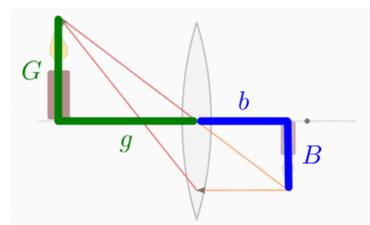
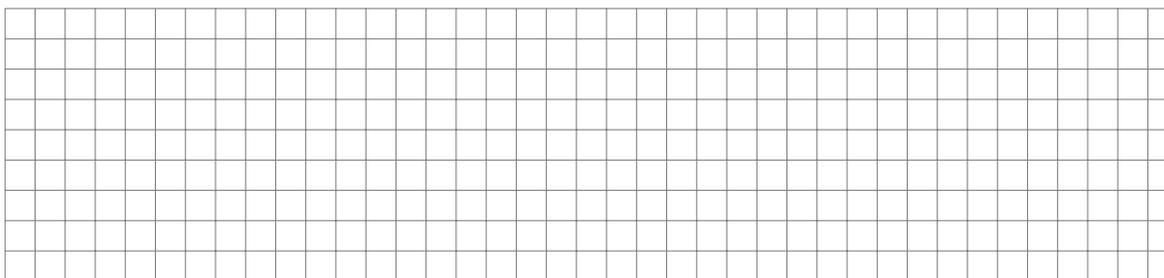


Abbildung 1.21: Herleitung der Abbildungsgleichung.

Wendet man den 2. Strahlensatz auf die obige Abbildung an, so erkennt man, dass die Grösse G des Gegenstands im gleichen Verhältnis zur Entfernung g des Gegenstands von der Linse steht wie die Grösse des Bilds B zu seiner Entfernung b von der Linse:

Abbildungsgesetz:



Das Verhältnis B/G zwischen der Grösse des reellen Bilds und derjenigen des Gegenstands bezeichnen wir als den *Abbildungsmaßstab*. Der Abbildungsmaßstab hat keine Einheit, sondern ist ein reines Zahlenverhältnis. Sein Wert ist kleiner als Eins im Fall einer Verkleinerung und grösser als Eins im Fall einer Vergrößerung.

1.4.6 Linsengleichung

Häufig lassen sich im praktischen Anwendungsfall die Gegenstandsgrösse G sowie die Gegenstandsweite g durch eine gewöhnliche Längenmessung ermitteln. Um damit jedoch mit dem Abbildungsgesetz auf die Bildgrösse B und die Bildweite b schliessen zu können, ist eine zusätzliche Gleichung nötig. Nun werden wir die Linsengleichung herleiten.

Linsengleichung:

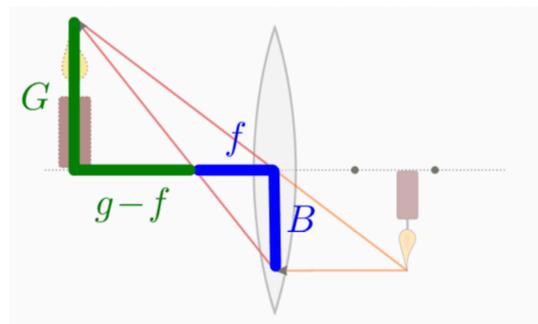
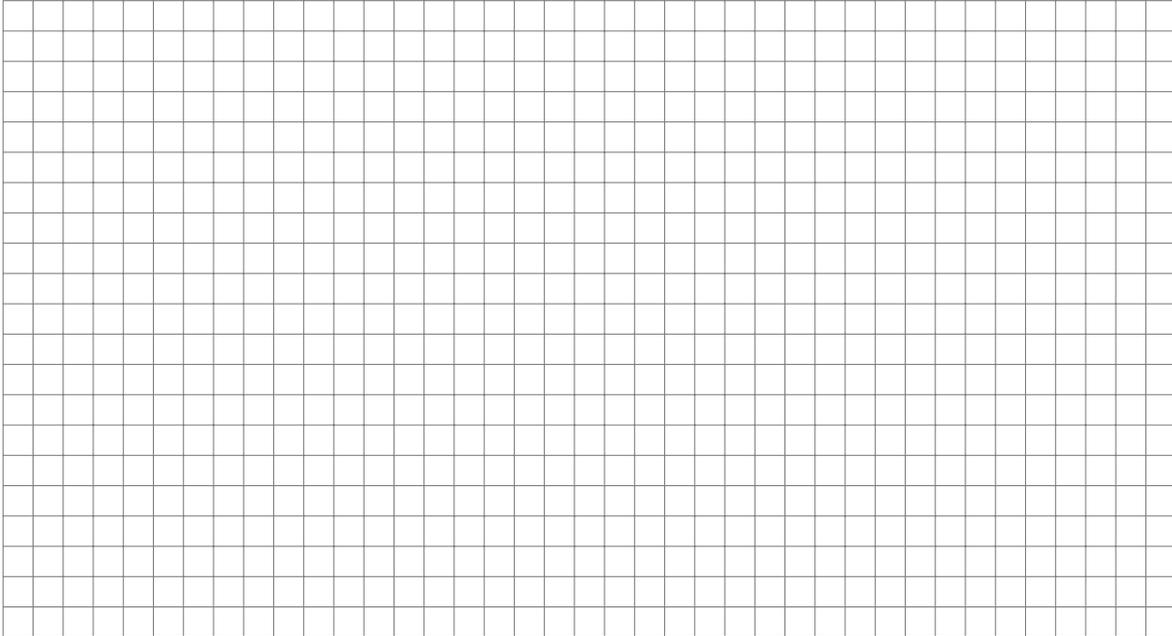


Abbildung 1.22: Herleitung der Linsengleichung.

Die Linsengleichung sowie das Abbildungsgesetz können auch für die Berechnung der Bildweite b und der Bildgrösse B von virtuellen Bildern verwendet werden. Die Bildweite und die Bildgrösse werden dann *negativ*.

Beispiel 9: Gegeben: $f = 6 \text{ cm}$, $g = 2.5 \text{ cm}$, $G = 1.5 \text{ cm}$. Gesucht: b , B

