



Brechung: Punkte und Ebenen

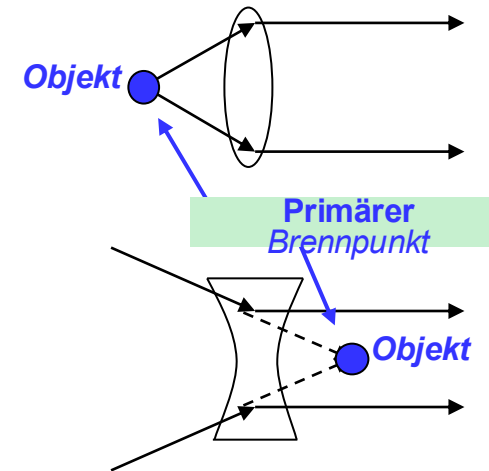
Grundlagen der Optik, Kapitel 18

- Wie wir in Kapitel 4 gelernt haben, hat jede Linse zwei Brennpunkte:
 - den *primären Brennpunkt*
 - den *sekundären Brennpunkt*



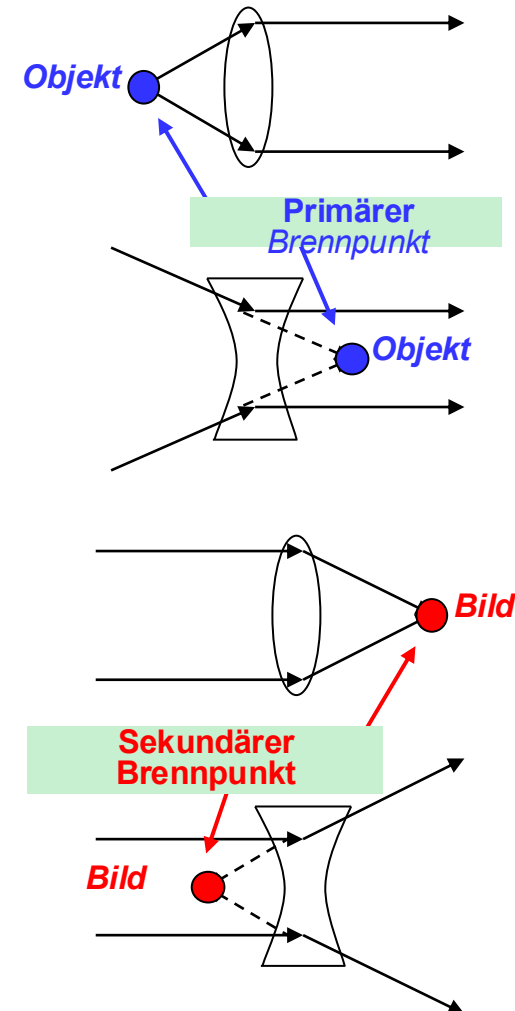
- Wie wir in Kapitel 4 gelernt haben, hat jede Linse zwei Brennpunkte:
 - den **primären Brennpunkt**
 - den *sekundären Brennpunkt*

- **Primärer Brennpunkt:** Ort, an dem ein **Objekt** platziert werden könnte, sodass die mit dem Objekt verbundenen Lichtstrahlen die Linse mit einer Vergenz null (d. h. parallel) verlassen würden



- Wie wir in Kapitel 4 gelernt haben, hat jede Linse zwei Brennpunkte:
 - den *primären Brennpunkt*
 - den **sekundären Brennpunkt**

- **Primärer Brennpunkt:** Ort, an dem ein **Objekt** platziert werden könnte, sodass die mit dem Objekt verbundenen Lichtstrahlen die Linse mit einer Vergenz null (d. h. parallel) verlassen würden
- **Sekundärer Brennpunkt:** Ort, an dem das **Bild** entsteht, wenn Lichtstrahlen mit einer Vergenz null (d. h. parallel) auf eine bestimmte Linse treffen





- Wie wir in Kapitel 4 gelernt haben, hat jede Linse zwei Brennpunkte:
 - den *primären Brennpunkt*
 - den *sekundären Brennpunkt*
- Und wie wir gleich sehen werden, sind diese Punkte lediglich besondere Stellen auf zwei wichtigen Ebenen:
 - die *primäre Brennebene*
 - die *sekundäre Brennebene*



- Wie wir in Kapitel 4 gelernt haben, hat jede Linse zwei Brennpunkte:
 - den *primären Brennpunkt*
 - den *sekundären Brennpunkt*
- Und wie wir gleich sehen werden, sind diese Punkte lediglich besondere Stellen auf zwei wichtigen Ebenen:
 - die *primäre Brennebene*
 - die *sekundäre Brennebene*
- Zunächst werden wir jedoch einige weitere wichtige Elemente des Strahlenmodells kennenlernen:
 - den *Knotenpunkt bzw. die Knotenpunkte*
 - die *Linsenachse*

← Den Grund für diese vorsichtige Formulierung erklären wir gleich



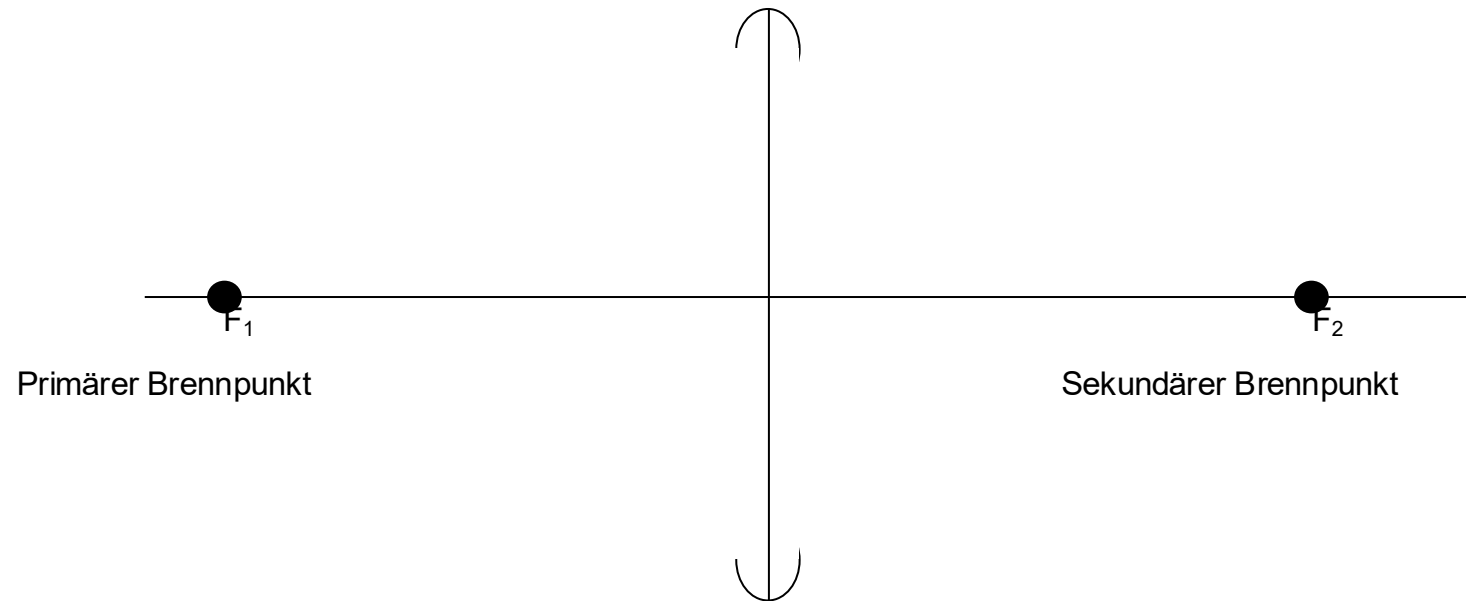
- Wie wir in Kapitel 4 gelernt haben, hat jede Linse zwei Brennpunkte:
 - den **primären Brennpunkt**
 - den **sekundären Brennpunkt**
- Und wie wir gleich sehen werden, sind diese Punkte lediglich besondere Stellen auf zwei wichtigen Ebenen:
 - die **primäre Brennebene**
 - die **sekundäre Brennebene**
- Zunächst werden wir jedoch einige weitere wichtige Elemente des Strahlenmodells kennenlernen:
 - **den Knotenpunkt bzw. die Knotenpunkte**
 - die **Linsenachse**

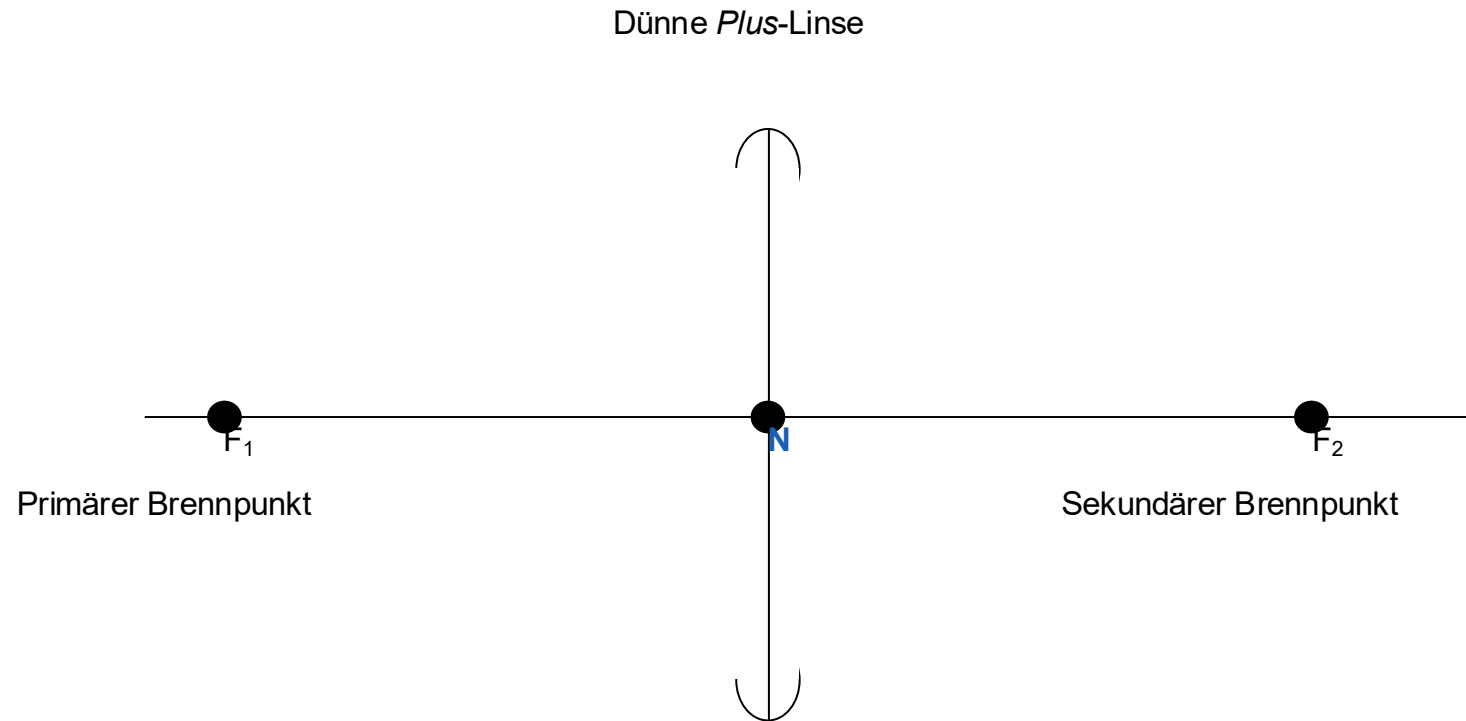
Die primären Brennpunkte, die Knotenpunkte und zwei weitere *Punkte*, die als *Hauptpunkte* bezeichnet werden (auf die wir, wie Sie erfreut feststellen werden, nicht näher eingehen werden), bilden die sogenannten **Kardinalpunkte** eines Linsensystems. Zusammengefasst erfassen und beschreiben die Kardinalpunkte die entscheidenden optischen Eigenschaften jedes Linsensystems. (Und das ist alles, was Sie meiner Meinung nach über Kardinalpunkte *an sich* wissen müssen.)



Anmerkung: Der Begriff „dünn“ bedeutet hier **unendlich dünn**. Natürlich sind echte Linsen nicht unendlich dünn! Eine dünne Linse ist ein *theoretisches Konstrukt*, das wir verwenden, da es die Optik vereinfacht und somit das Verständnis erleichtert.

Dünne Plus-Linse

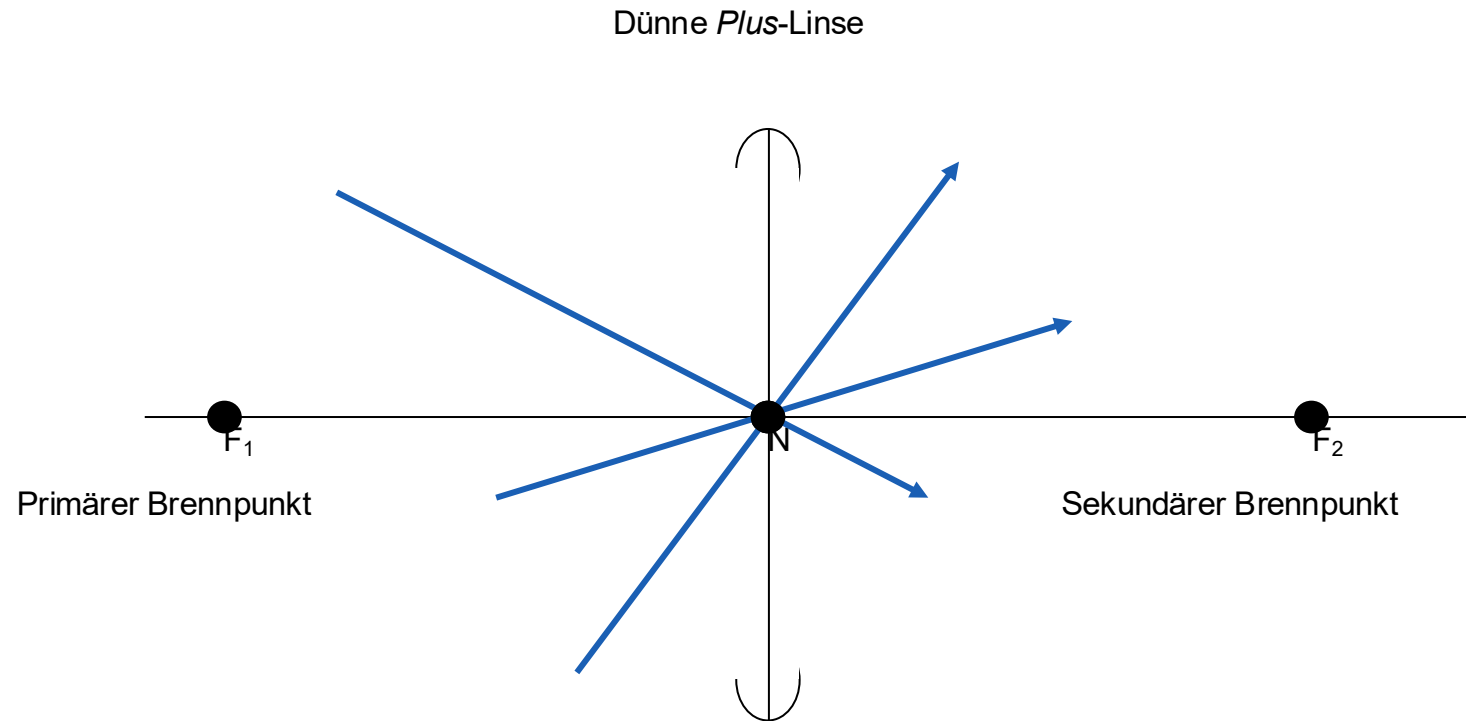




Knotenpunkt (N): Punkt, durch den jeder Strahl aus jedem Winkel **ungebrochen** hindurchgeht

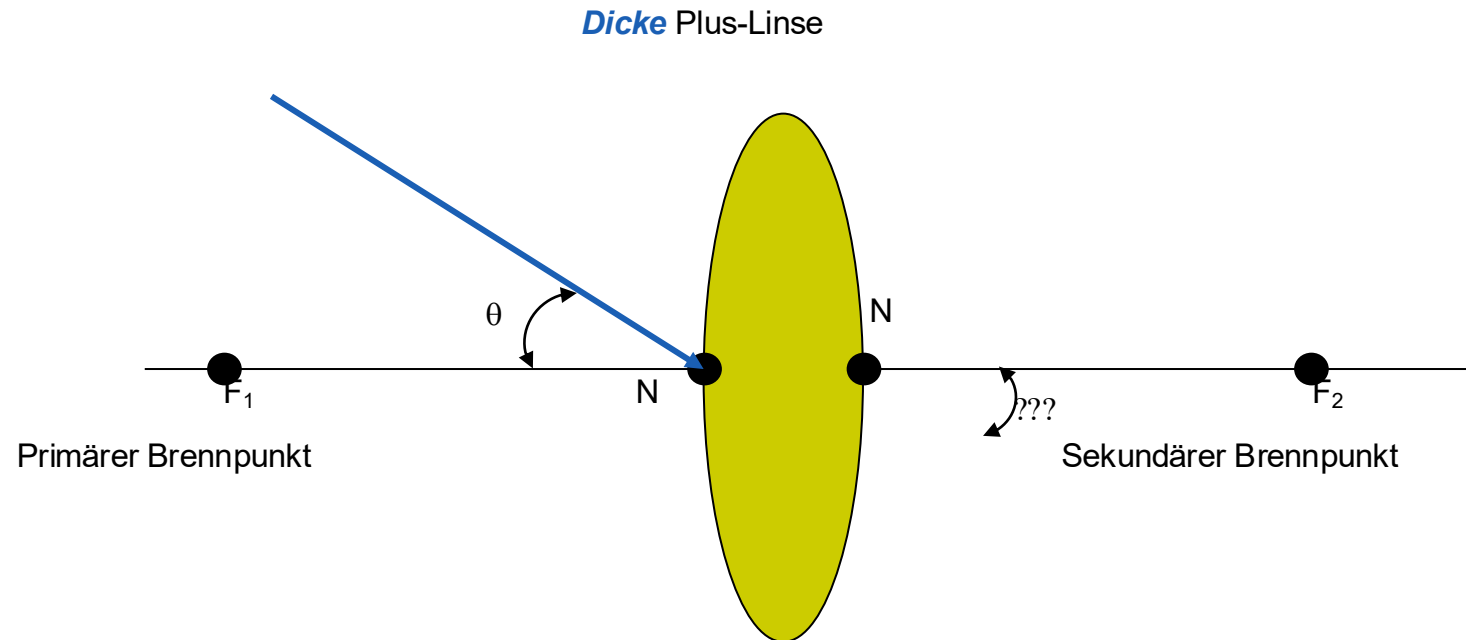


Wenn ein Strahl durch den Knotenpunkt verläuft, wird er nicht gebrochen – das heißt, *er verlässt die Linse im gleichen Winkel, in dem er eingetreten ist*



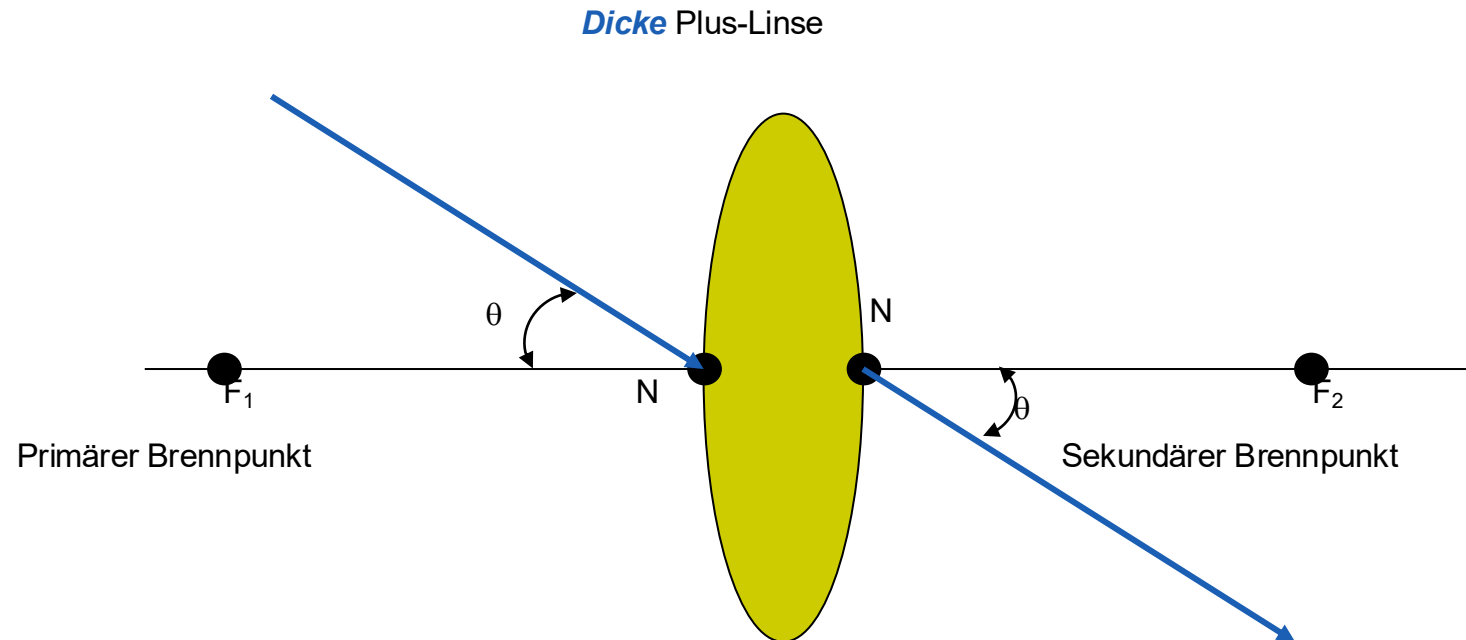
Knotenpunkt (N): Punkt, durch den jeder Strahl aus jedem Winkel **ungebrochen** hindurchgeht

Eine wichtige Anmerkung...

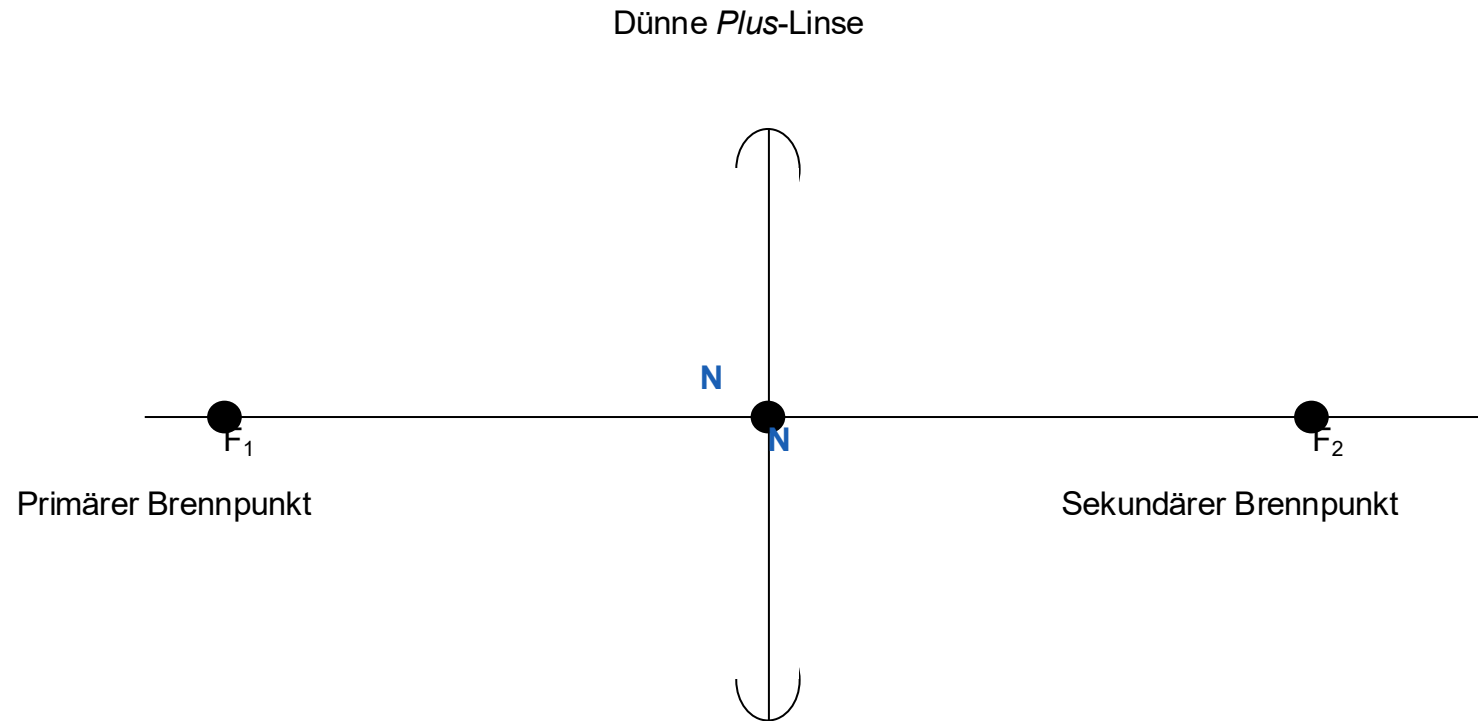


In einer dicken (d. h. echten) Linse gibt es **zwei** Knotenpunkte. Allerdings

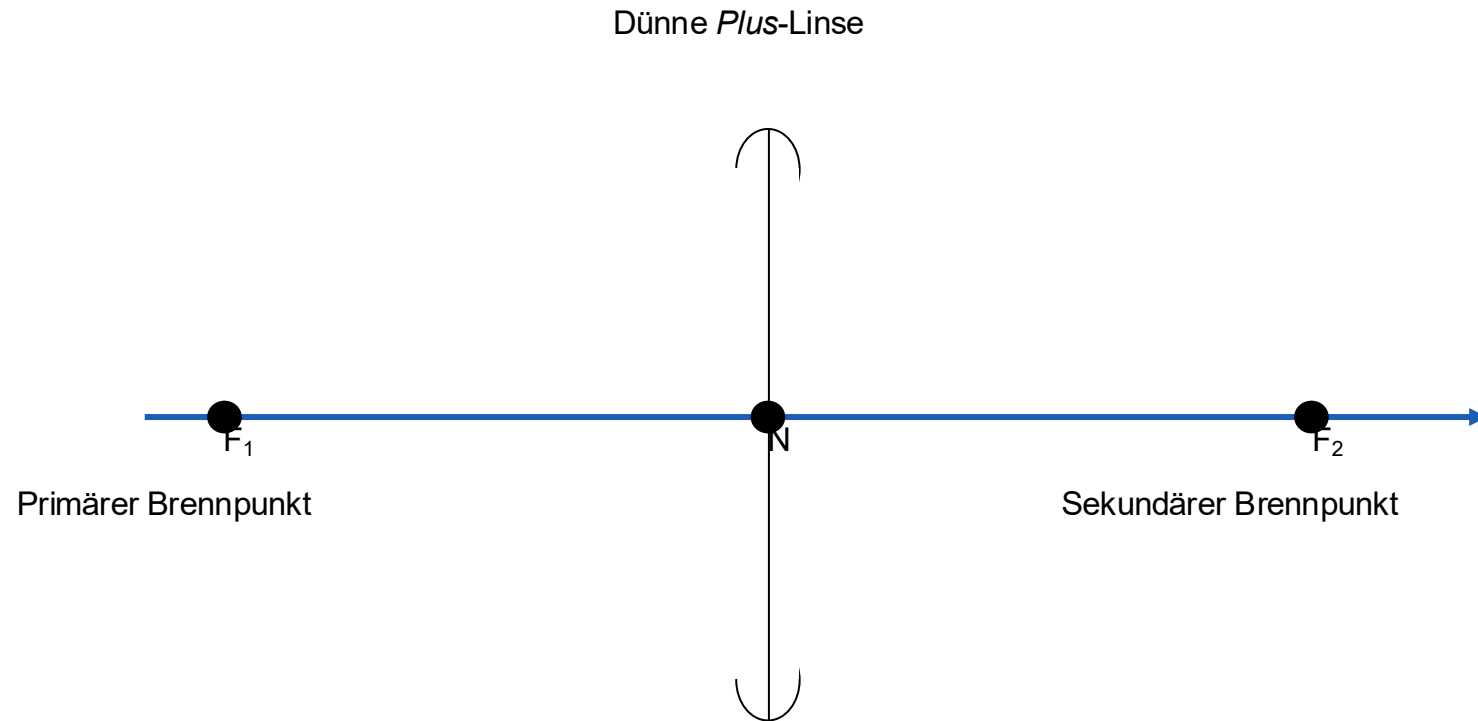
Eine wichtige Anmerkung...



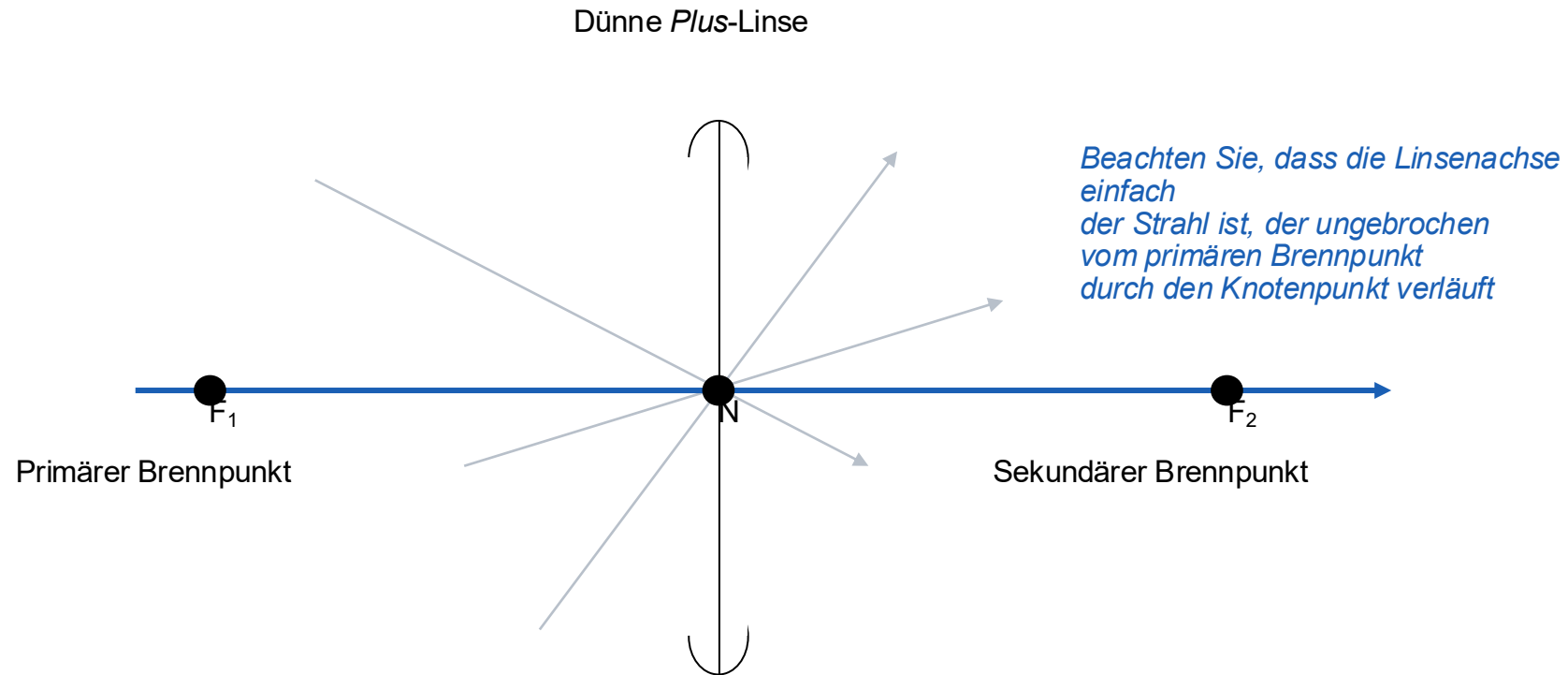
In einer dicken (d. h. realen) Linse gibt es **zwei** Knotenpunkte. Allerdings ... gilt dieselbe Regel: Ein Strahl, der in einen Knotenpunkt eintritt, scheint zum anderen zu „springen“ und tritt im gleichen Winkel (d. h. ungebrochen) wieder aus



(Technisch gesehen hat eine dünne Linse ebenfalls zwei Knotenpunkte – nur befinden sich beide am selben Punkt im optischen Raum.)



Linsenachse: Der Strahl, der durch beide Brennpunkte und den Knotenpunkt verläuft

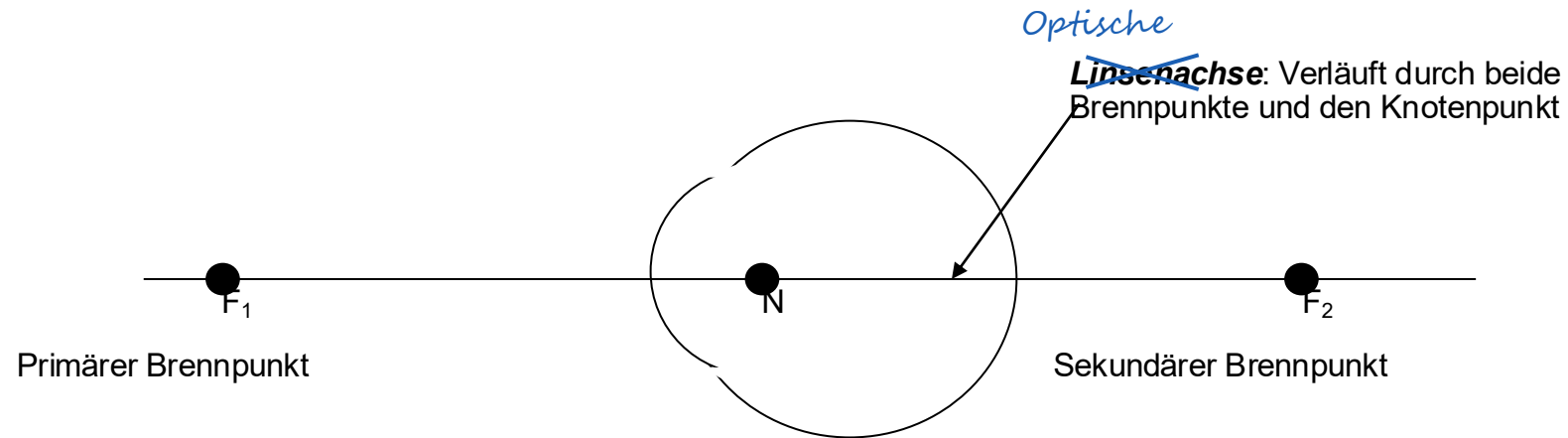


Linsenachse: Der Strahl, der durch beide Brennpunkte und den Knotenpunkt verläuft



Der Begriff „**optische Achse**“ ist allgemeiner und kann sowohl auf Augen als auch auf Linsen angewendet werden. (Erinnern Sie sich aus Kapitel 4 daran, dass Augen Brennpunkte haben; glauben Sie mir, dass Augen auch Knotenpunkte haben .)

Dünne Plus-Linse

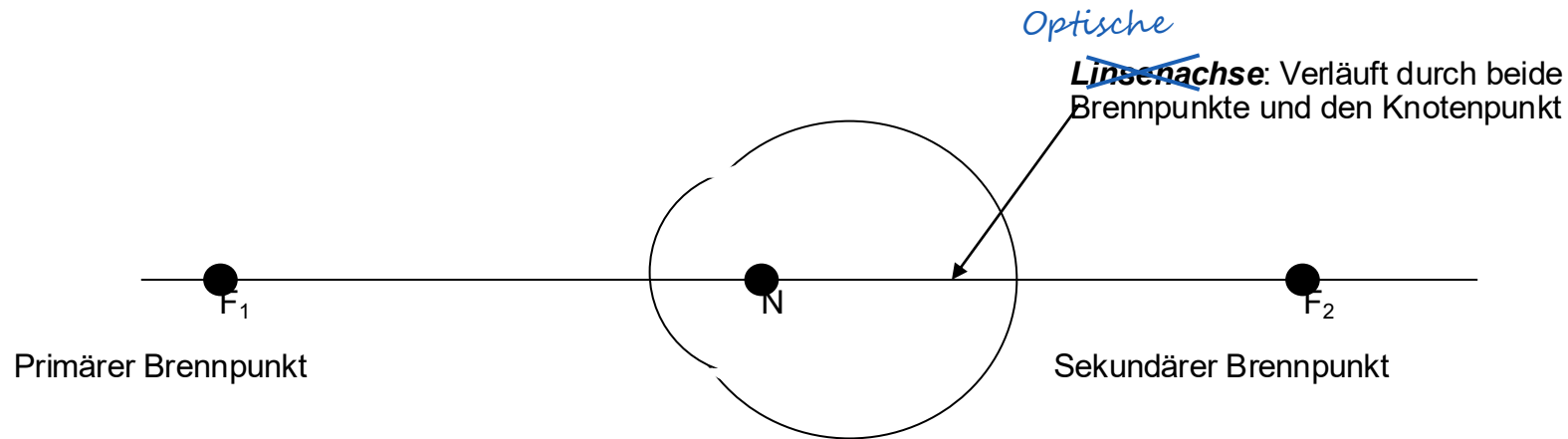




Der Begriff „**optische Achse**“ ist allgemeiner und kann sowohl auf Augen als auch auf Linsen angewendet werden. (Erinnern Sie sich aus Kapitel 4 daran, dass Augen Brennpunkte haben; glauben Sie mir, dass Augen auch Knotenpunkte haben.)

Bonusfrage: Handelt es sich, wie abgebildet, um ein *emmetropes*, *hyperopes* oder *myopes* Auge?

Dünne Plus-Linse

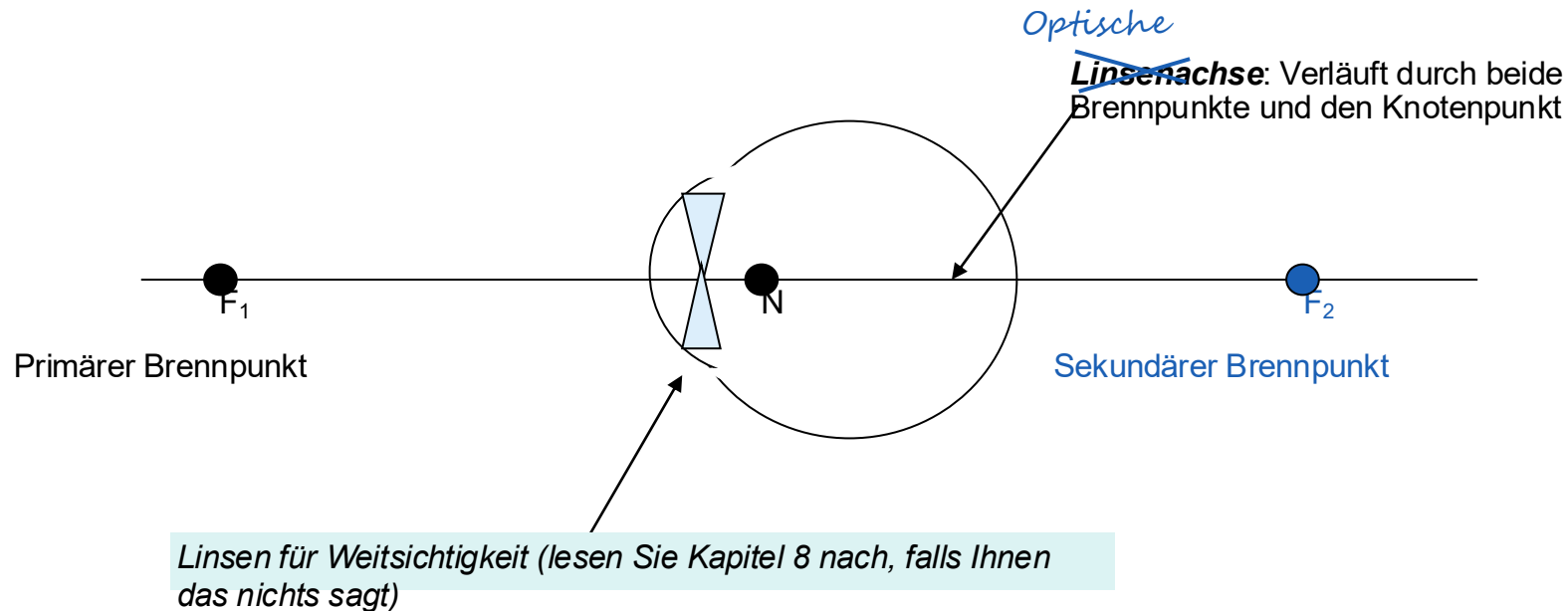




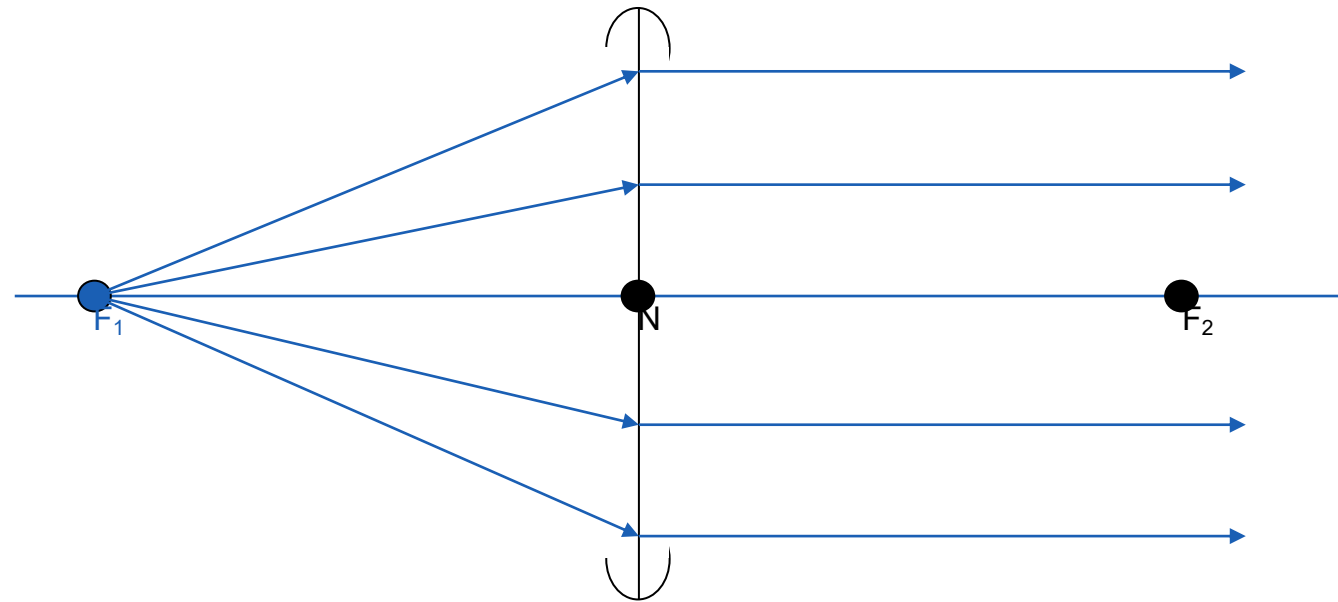
Der Begriff „**optische Achse**“ ist allgemeiner und kann sowohl auf Augen als auch auf Linsen angewendet werden. (Erinnern Sie sich an Kapitel 4, dass Augen Brennpunkte haben; glauben Sie mir, dass Augen auch Knotenpunkte .)

Bonusfrage: Handelt es sich, wie abgebildet, um ein *emmetropes*, *hyperopes* oder *myopes* Auge?

Hyperop. (Hinweis: Der sekundäre Brennpunkt liegt *hinter* dem Auge.)



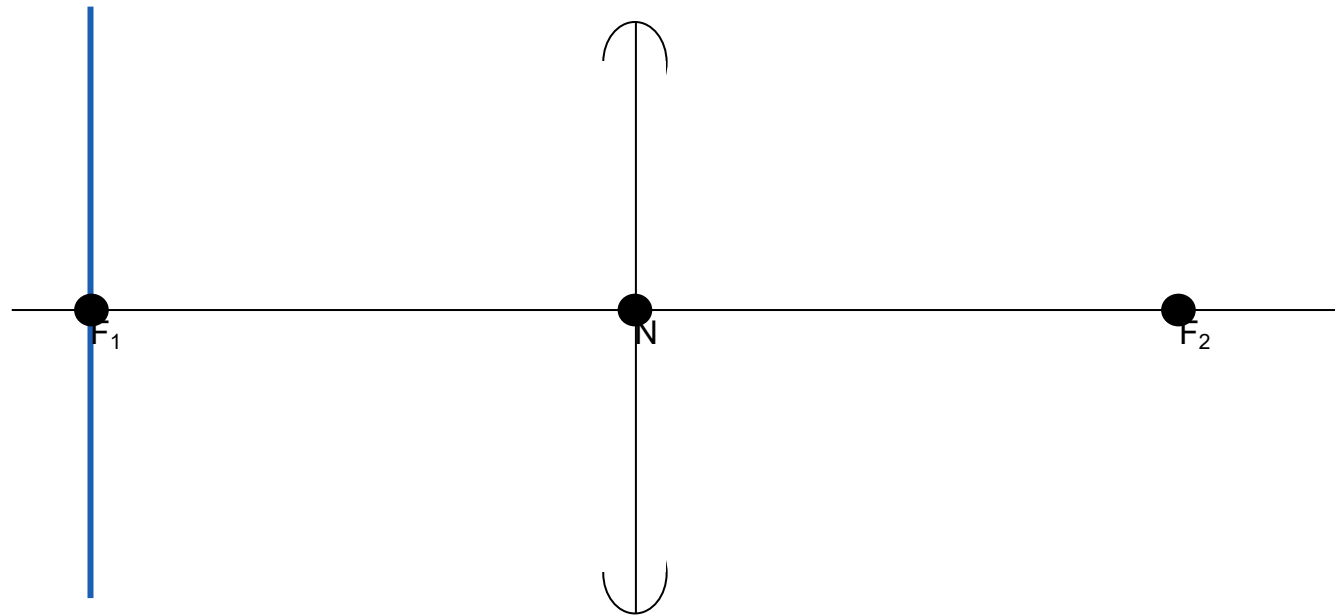
Dünne Pluslinse



Primärer Brennpunkt: Der Punkt, von dem aus die auf eine Linse treffenden Strahlen diese Linse mit Vergenz null verlassen werden (d. h. parallel zur Linsenachse). Dies kennen Sie aus Kapitel 4.



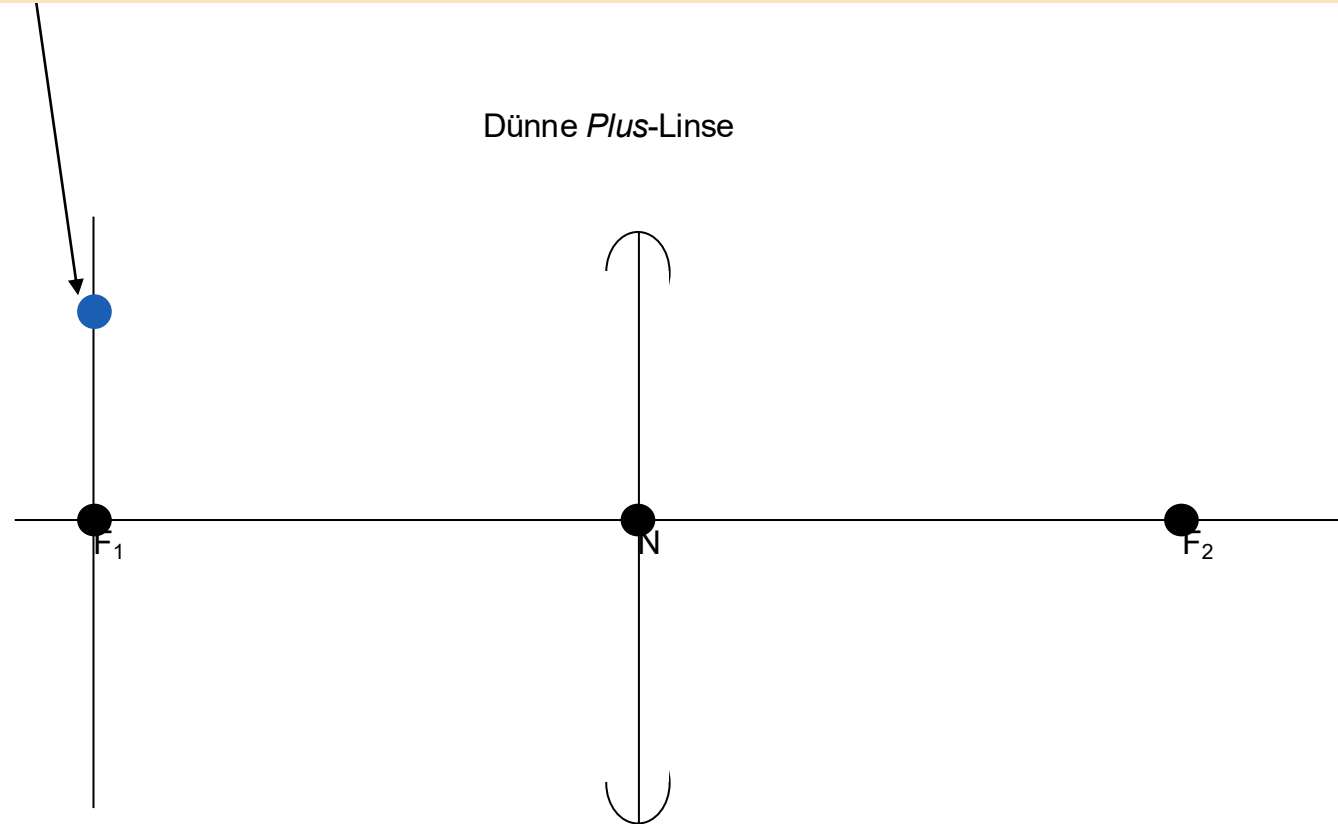
Dünne *Plus*-Linse



Primäre **Brennebene**: Strahlen, die von einem **beliebigen** Punkt auf dieser Ebene ausgehen, verlassen die Linse parallel zueinander (aber **nicht** unbedingt parallel zur Linsenachse)



Betrachten Sie diesen Punkt auf der primären Brennebene. Strahlen, die von hier aus durch die Linse gehen, verlassen die Linse parallel zueinander. Doch wie können wir wissen, in welche Richtung das sein wird?

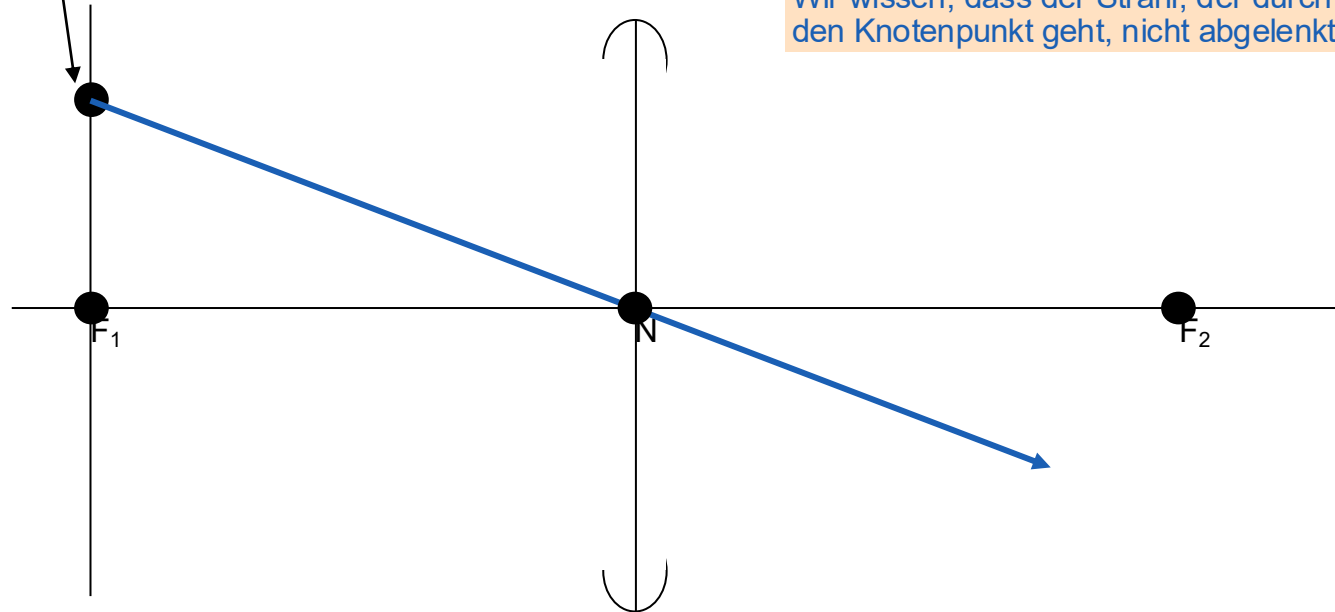


Primäre **Brennebene**: Strahlen, die von einem **beliebigen** Punkt auf dieser Ebene ausgehen, verlassen die Linse parallel zueinander (aber **nicht** unbedingt parallel zur Linsenachse)

Betrachten Sie diesen Punkt auf der primären Brennebene. Strahlen, die von hier aus durch die Linse gehen, verlassen die Linse parallel zueinander. Doch wie können wir wissen, in welche Richtung das sein wird?

Dünne Plus-Linse

Wir wissen, dass der Strahl, der durch den Knotenpunkt geht, nicht abgelenkt wird...

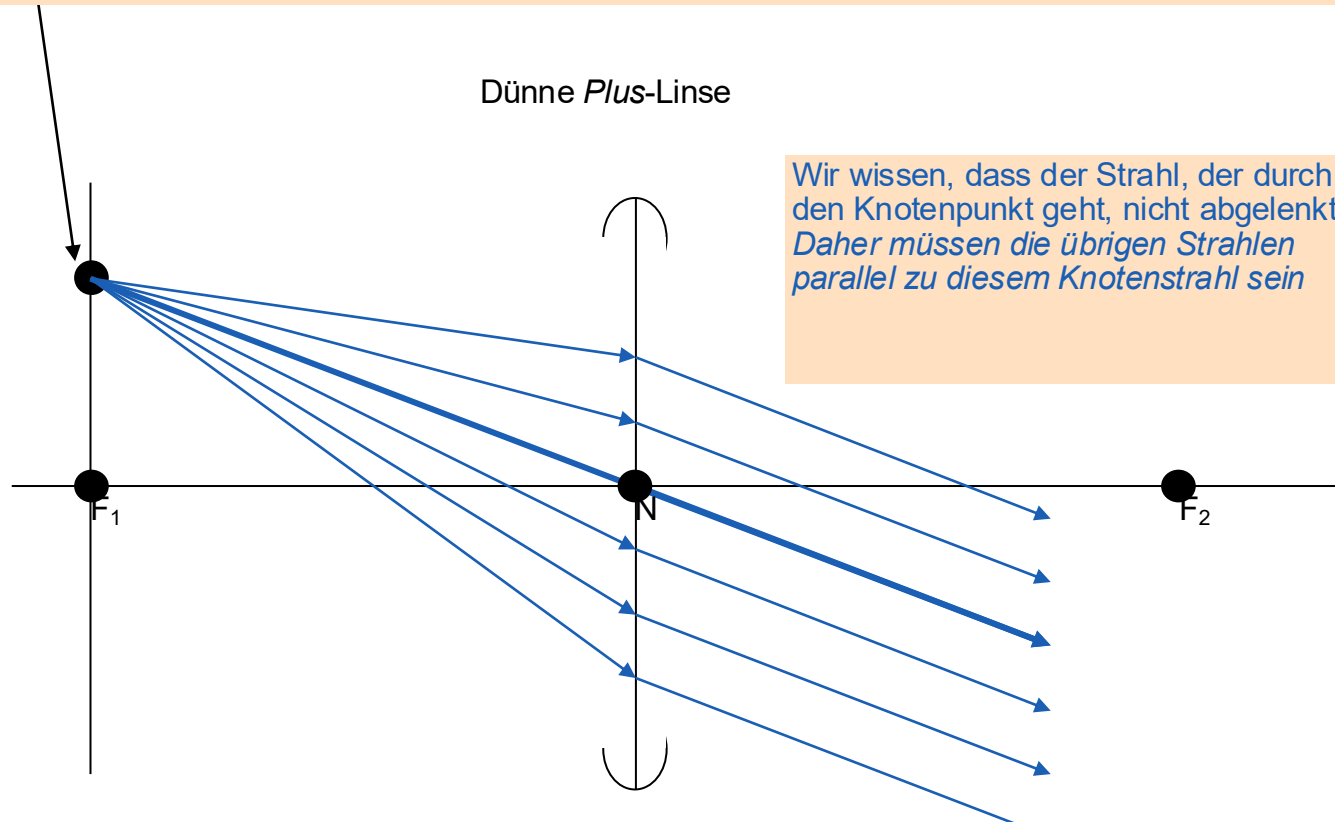


Primäre **Brennebene**: Strahlen, die von einem **beliebigen** Punkt auf dieser Ebene ausgehen, verlassen die Linse parallel zueinander (aber **nicht** unbedingt parallel zur Linsenachse)
)

Betrachten Sie diesen Punkt auf der primären Brennebene. Strahlen, die von hier aus durch die Linse gehen, verlassen die Linse parallel zueinander. Doch wie können wir wissen, in welche Richtung das sein wird?

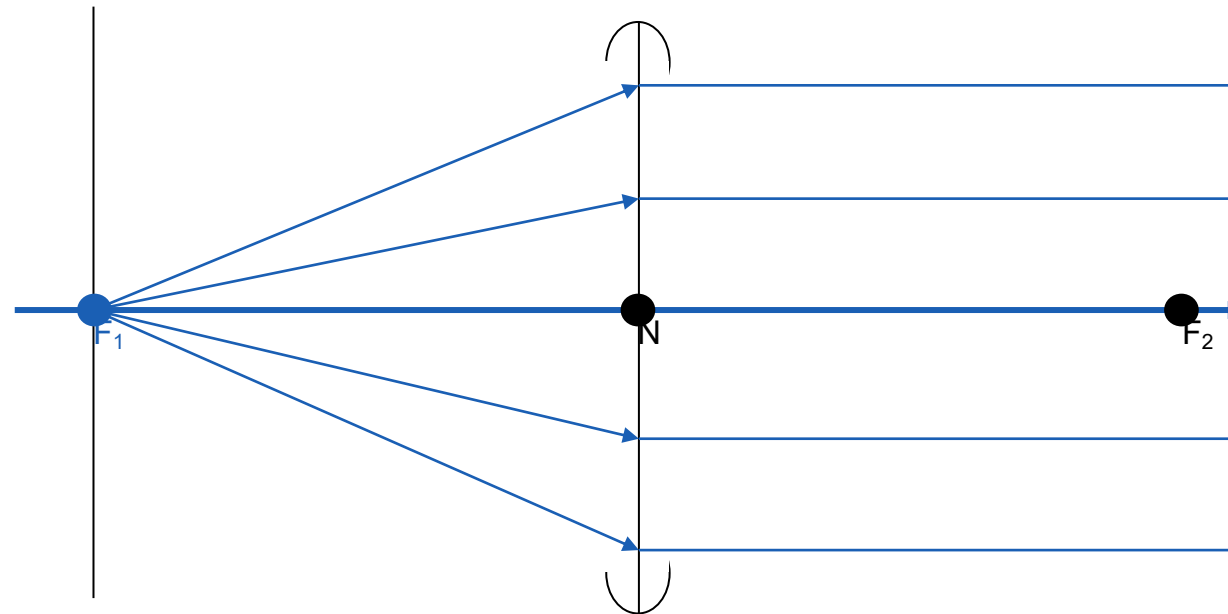
Dünne Plus-Linse

Wir wissen, dass der Strahl, der durch den Knotenpunkt geht, nicht abgelenkt wird...
Daher müssen die übrigen Strahlen parallel zu diesem Knotenstrahl sein



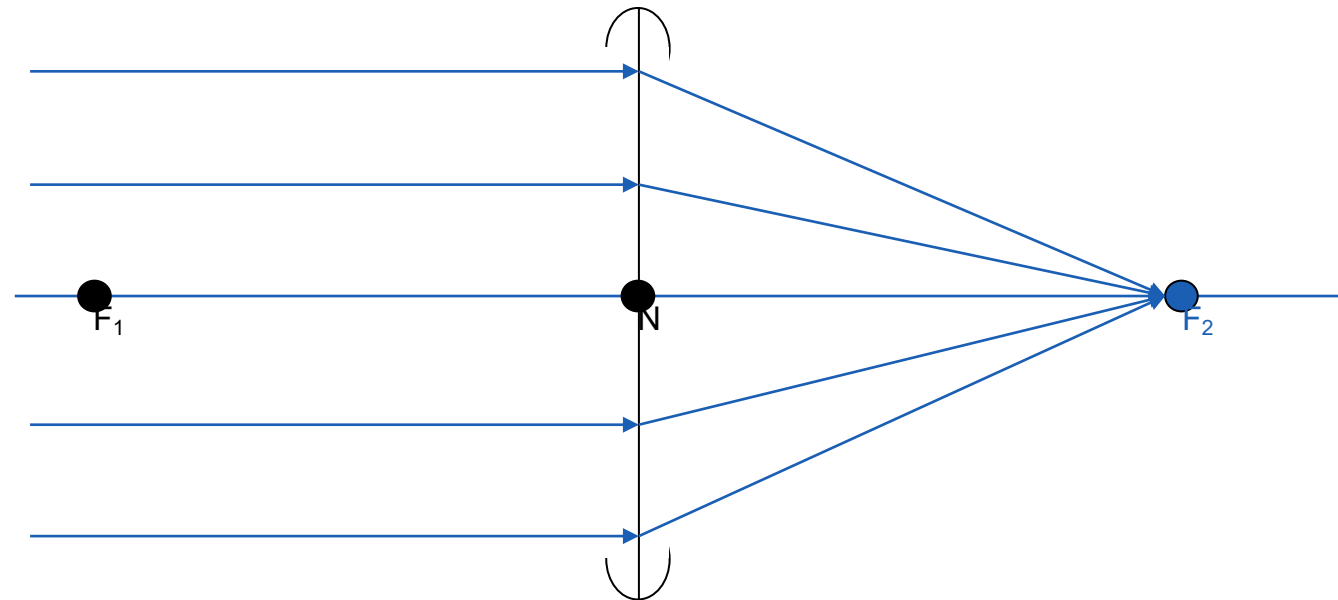
Primäre **Brennebene**: Strahlen, die von einem **beliebigen** Punkt auf dieser Ebene ausgehen, verlassen die Linse parallel zueinander (aber **nicht** unbedingt parallel zur Linsenachse)

Dünne *Plus*-Linse



Hier sehen Sie erneut die Folie, die den primären Brennpunkt im Zusammenhang mit der primären Brennebene darstellt. Sie können nun erkennen, dass der Knotenstrahl des primären Brennpunkts die (optische) Achse der Linse ist.

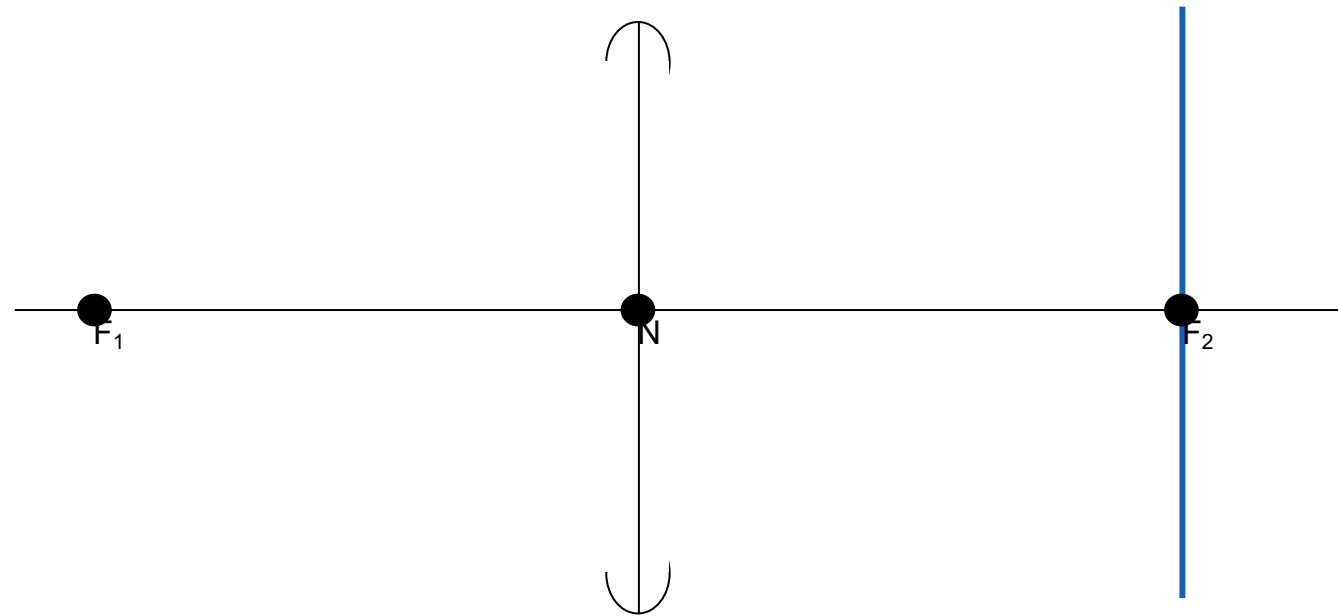
Dünne *Plus*-Linse



Sekundärer Brennpunkt: Der Ort, an dem Strahlen, die parallel zur Linsenachse verlaufen (d. h. mit der Vergenz null) gebündelt werden. (Ebenfalls aus Kapitel 4.)



Dünne *Plus*-Linse

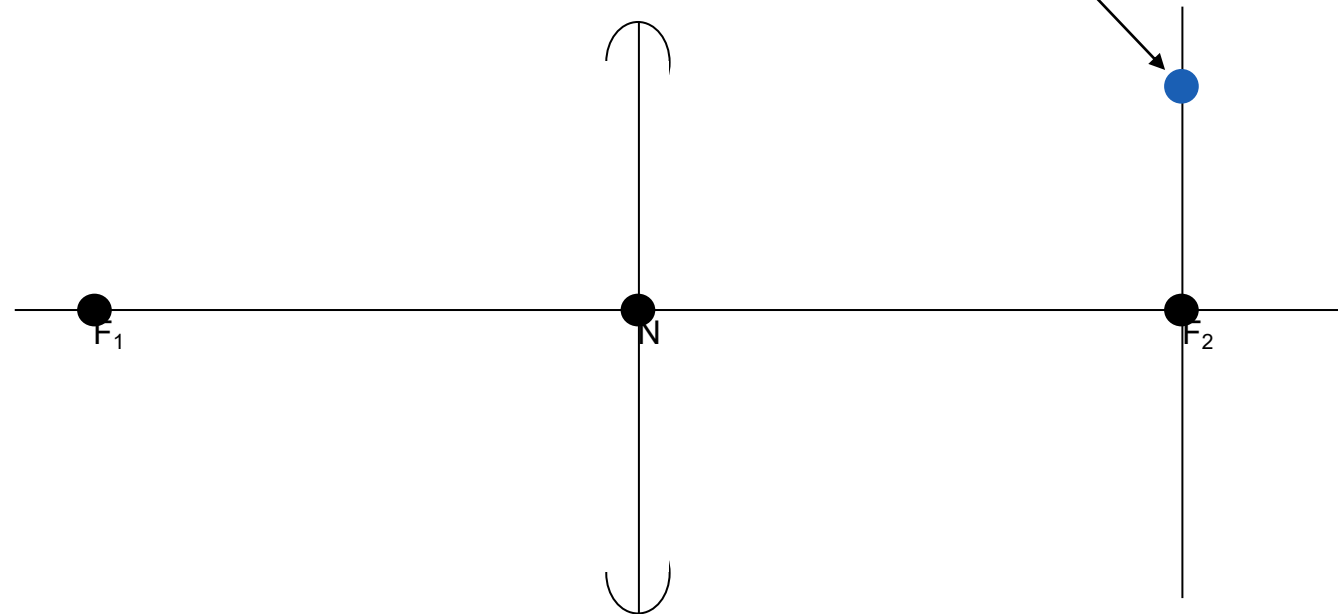


Sekundäre **Brennebene**: Der „Heimatort“ aller
Bilder, die durch auf die Linse treffende parallele Strahlen entstehen



Betrachten Sie diesen Punkt auf der sekundären Brennebene.
Aus welcher Richtung treffen die bildenden Strahlen ein?

Dünne Plus-Linse

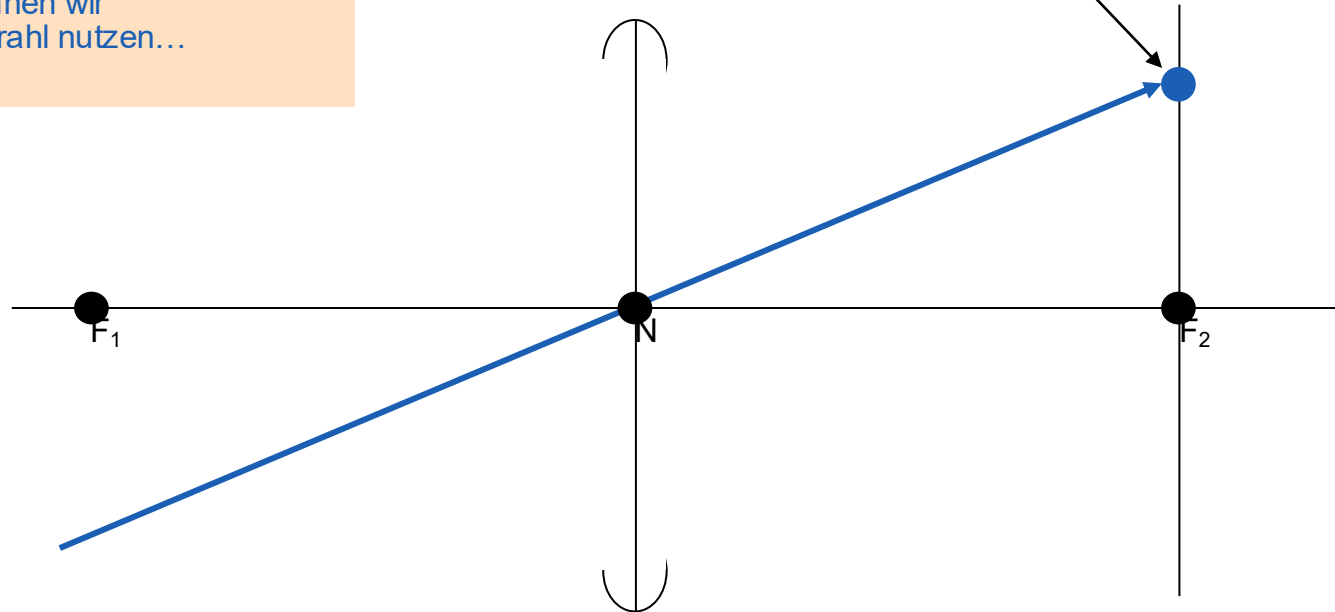


Sekundäre **Brennebene**: Der „Heimatort“ aller
Bilder, die durch auf die Linse treffende parallele Strahlen entstehen

Betrachten Sie diesen Punkt auf der sekundären Brennebene.
Aus welcher Richtung treffen die bildenden Strahlen ein?

Auch hier können wir
den Knotenstrahl nutzen...

Dünne Plus-Linse

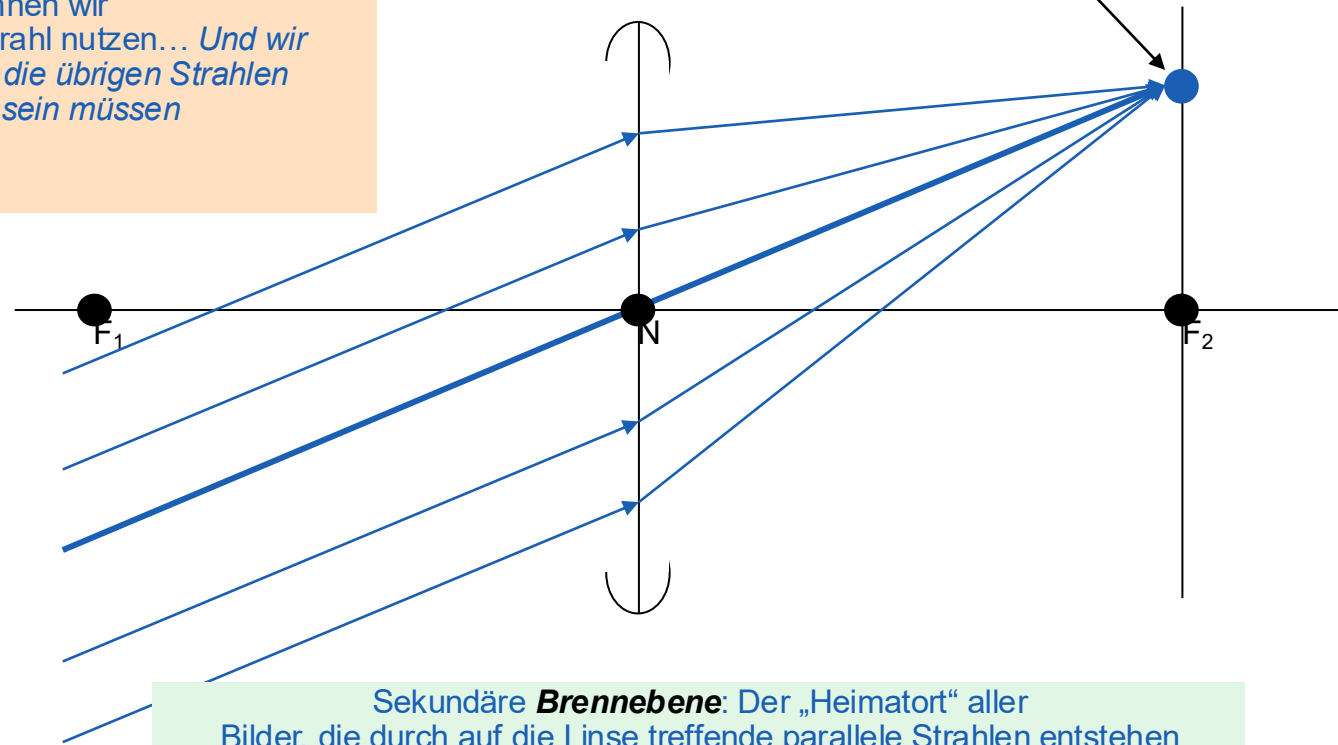


Sekundäre Brennebene: Der „Heimatort“ aller
Bilder, die durch auf die Linse treffende parallele Strahlen entstehen

Betrachten Sie diesen Punkt auf der sekundären Brennebene.
Aus welcher Richtung treffen die bildenden Strahlen ein?

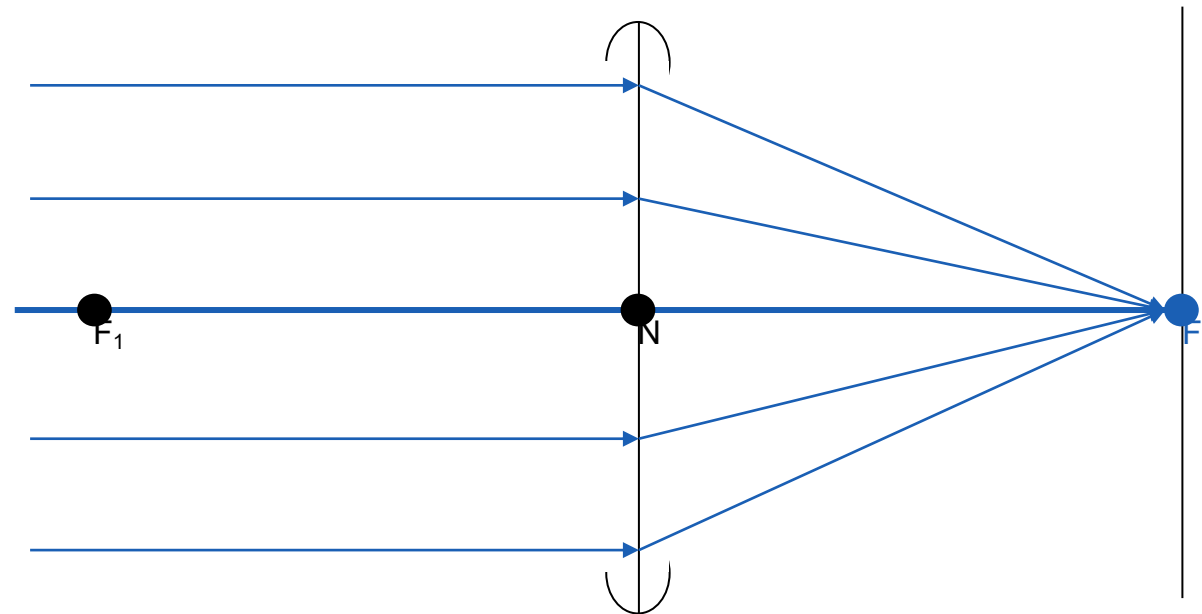
Dünne Plus-Linse

Auch hier können wir
den Knotenstrahl nutzen... Und wir
wissen, dass die übrigen Strahlen
parallel dazu sein müssen



Sekundäre **Brennebene**: Der „Heimatort“ aller
Bilder, die durch auf die Linse treffende parallele Strahlen entstehen

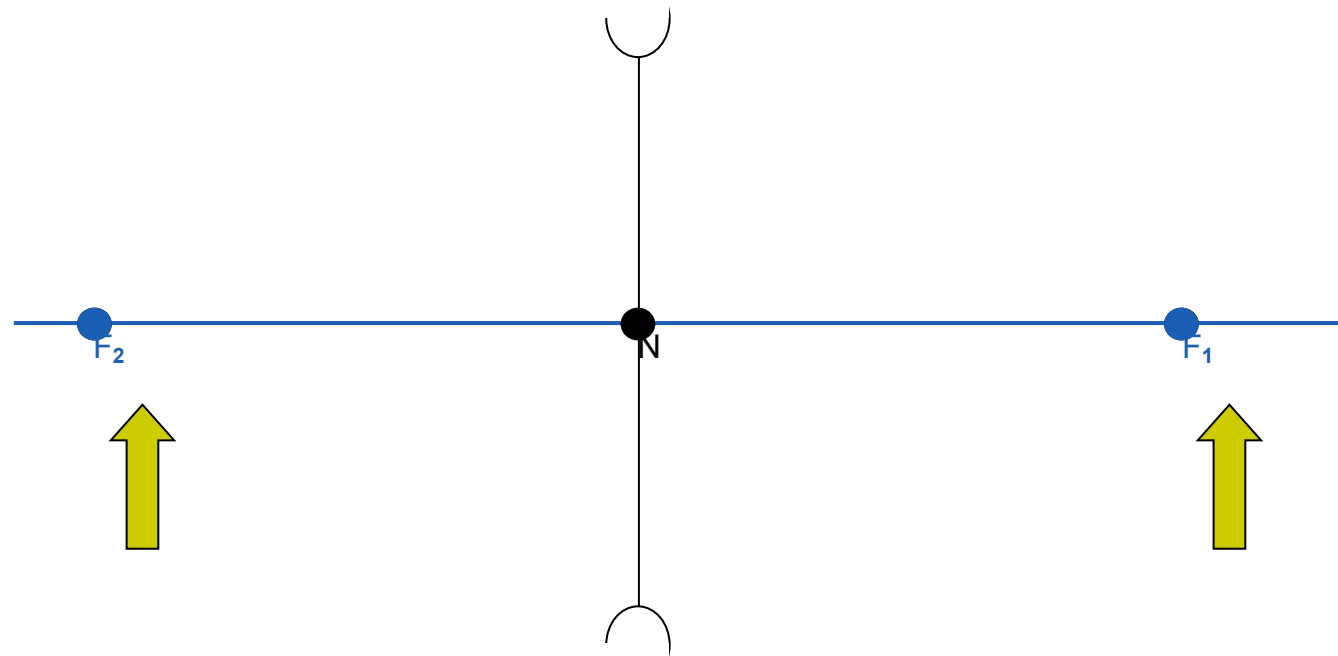
Dünne *Plus*-Linse



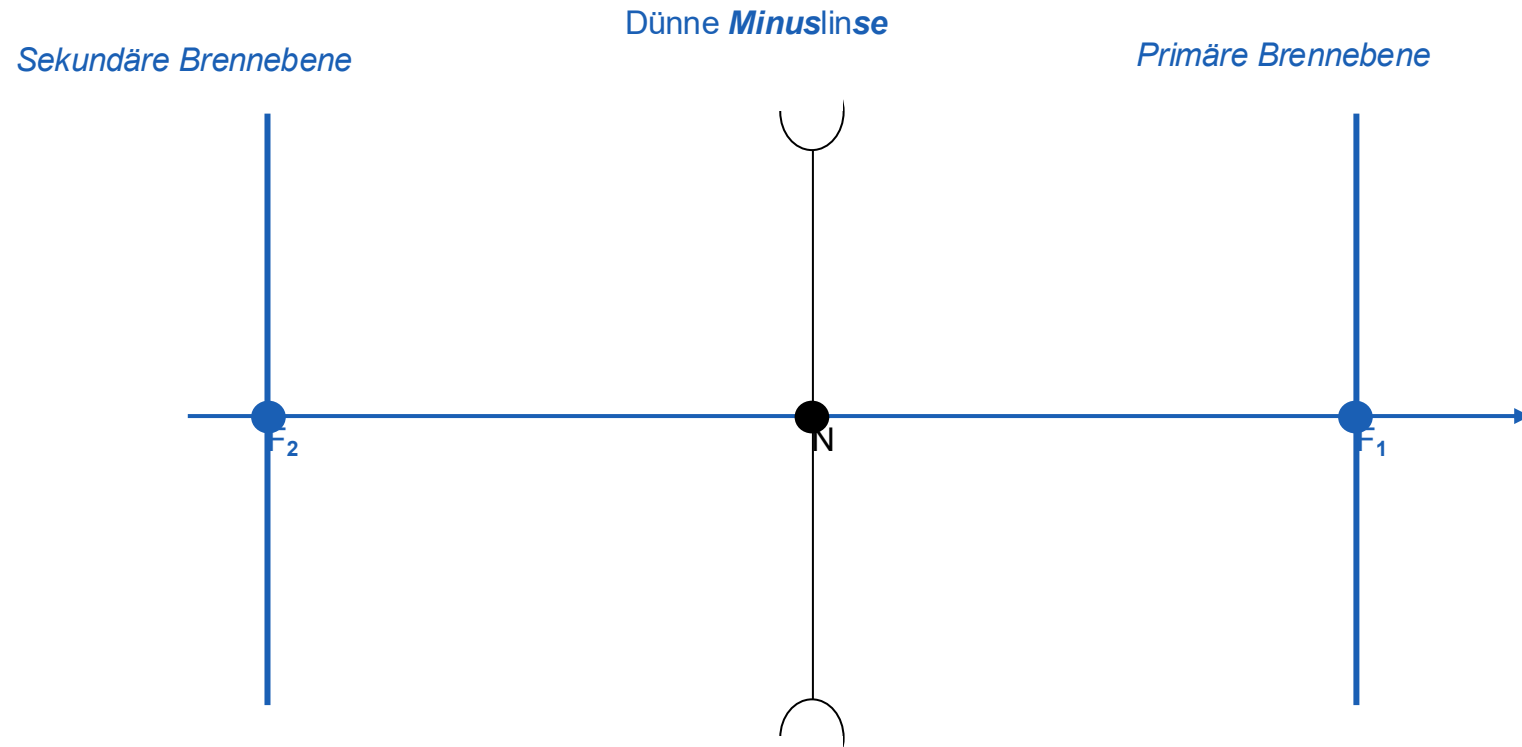
Hier sehen Sie erneut die Folie, die den sekundären Brennpunkt im Zusammenhang mit der sekundären Brennebene darstellt. Sie können nun erkennen, dass der Knotenstrahl des sekundären Brennpunkts die (optische) Achse der Linse ist.



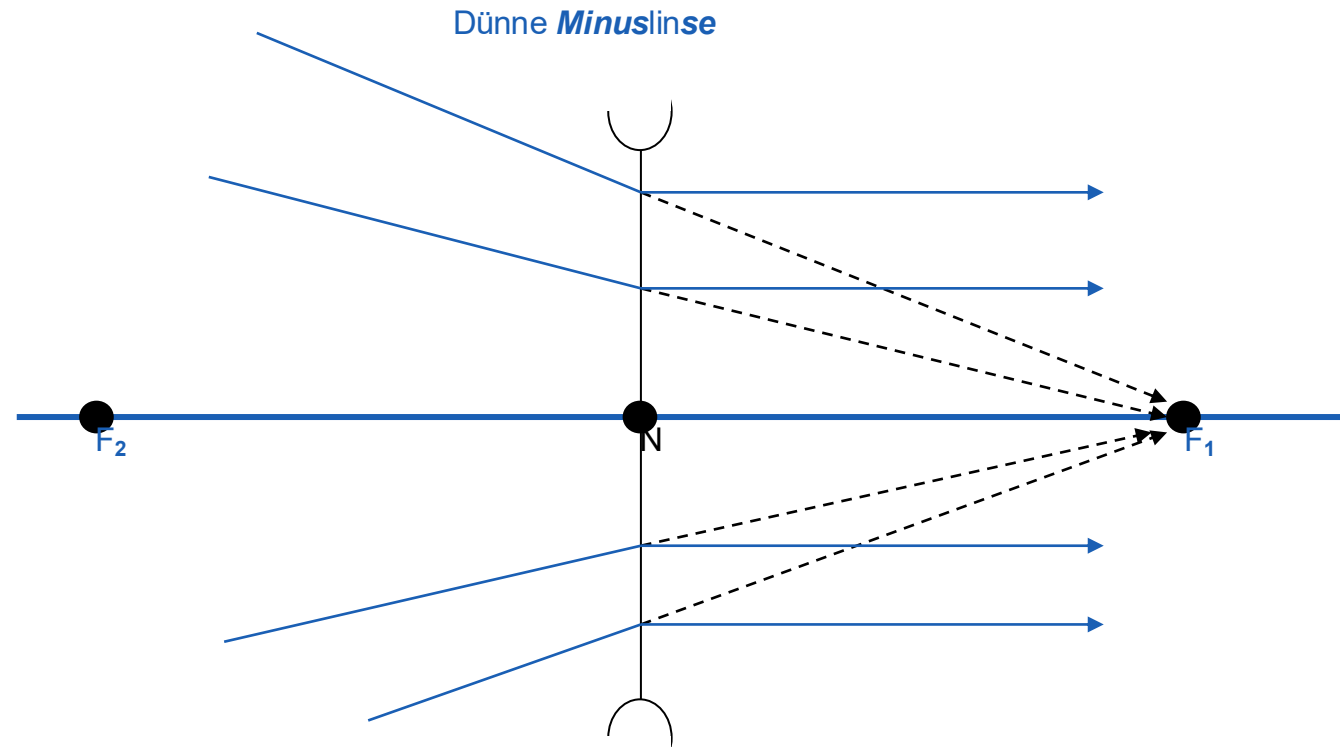
Dünne *Minuslinse*



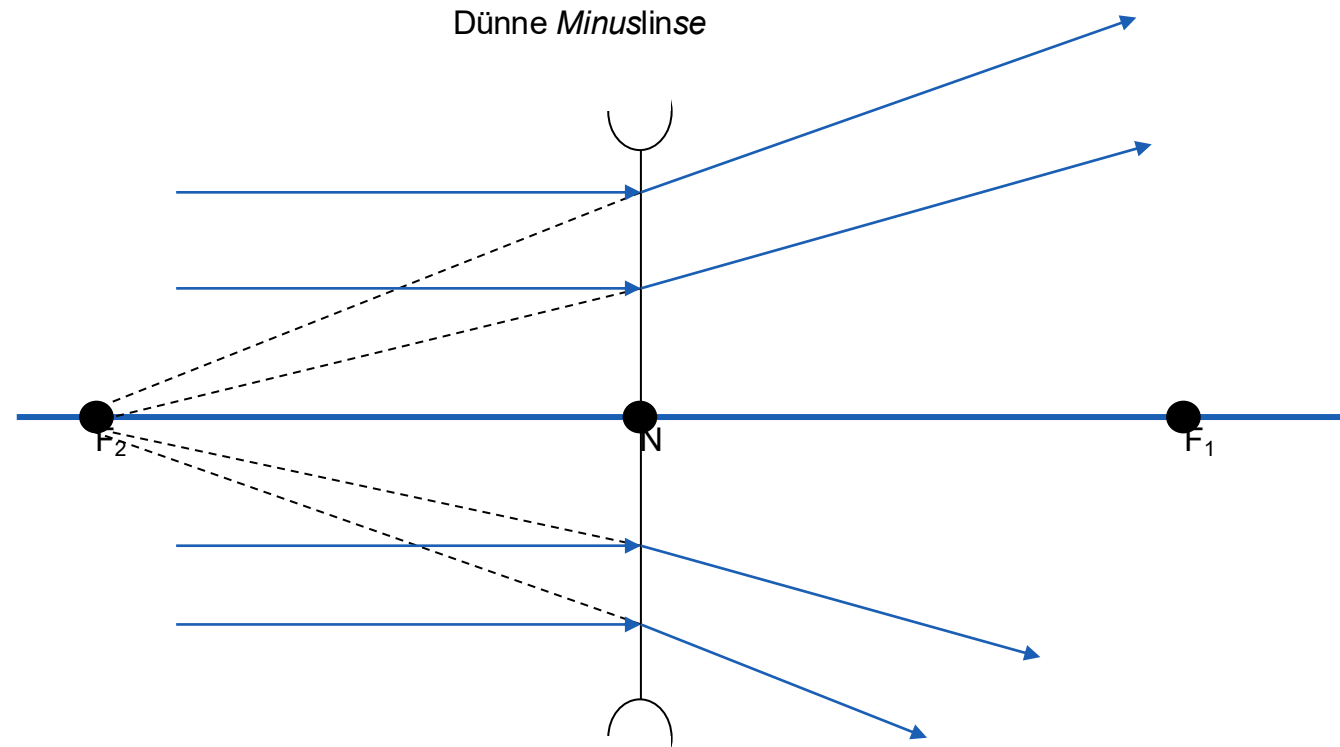
Hier sehen Sie eine dünne Minuslinse. Erinnern Sie sich daran, dass die Positionen des primären und sekundären Brennpunkts im Vergleich zu einer Pluslinse vertauscht sind.



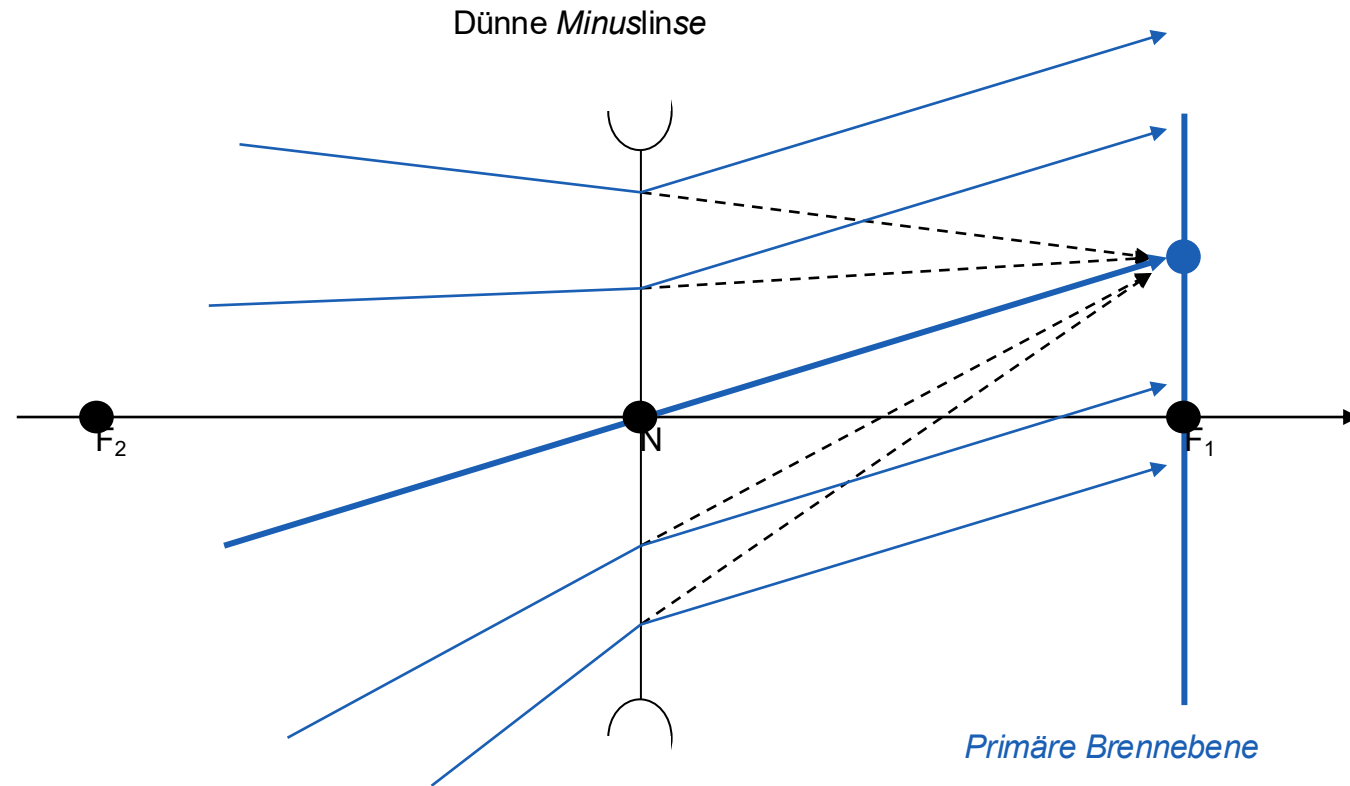
Hier sehen Sie eine dünne Minuslinse. Erinnern Sie sich daran, dass die Positionen des primären und sekundären Brennpunkts im Vergleich zu einer Pluslinse vertauscht sind.
Das Gleiche muss natürlich auch für die primäre und sekundäre **Brennebene** gelten.



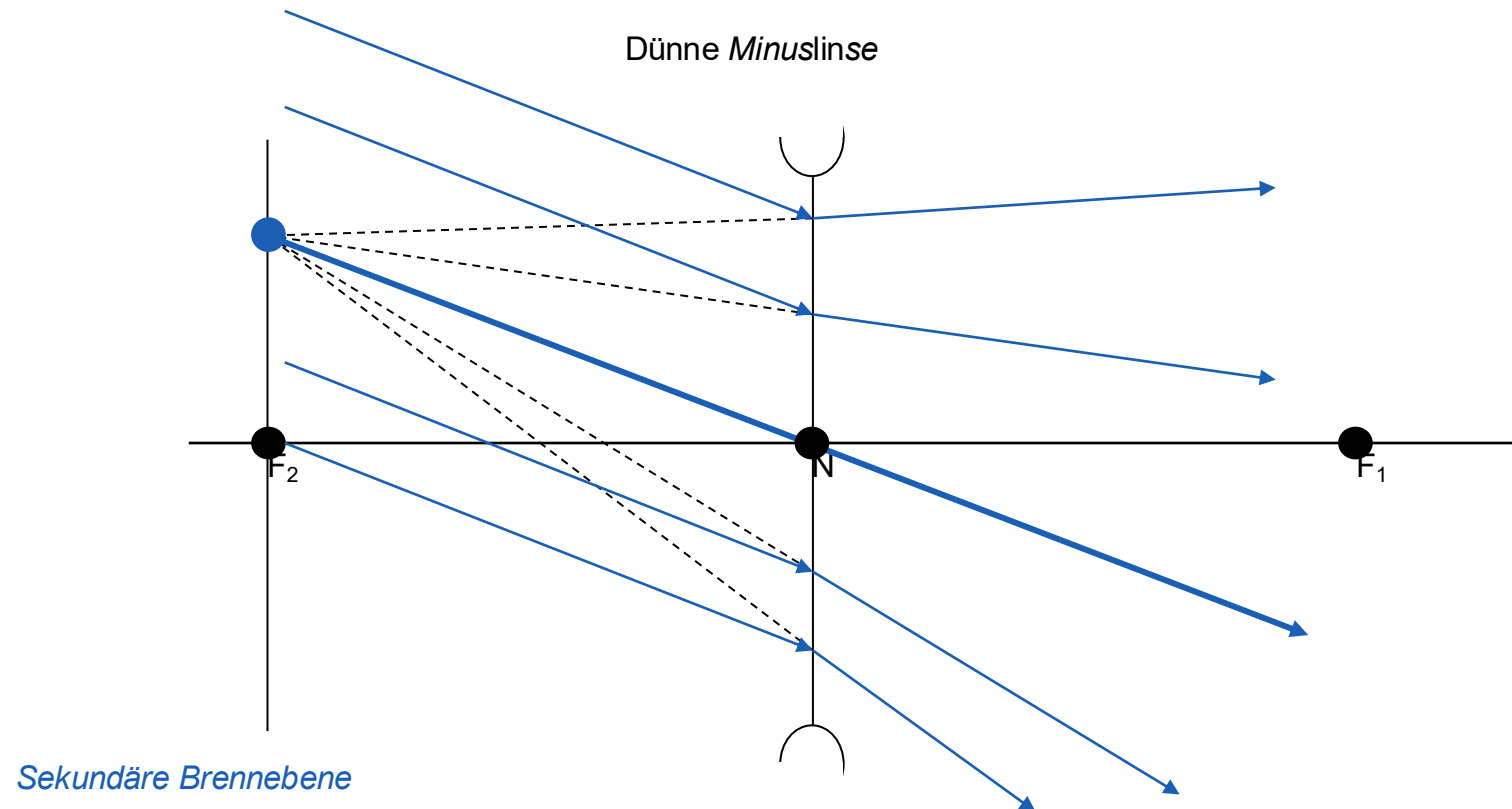
Die Strahlen, die mit dem *primären Brennpunkt* verbunden sind, treten aus der Linse parallel zur Linsenachse aus...



...und die Strahlen, die mit dem *sekundären Brennpunkt* verbunden sind, sind diejenigen, die mit einer Vergenz null in die Linse eintreten (d. h. parallel zur Linsenachse).



Primäre **Brennebene**: Strahlen, die zu einem Punkt auf dieser Ebene gehören, treten aus der Linse parallel zueinander aus (aber **nicht** unbedingt parallel zur Linsenachse)



Sekundäre **Brennebene**: Der „Ausgangspunkt“ aller Bilder, die durch auf die Linse treffende parallele Strahlen entstehen



Originalfolien

Steven B. Flynn, MD, PhD

Deutsche Bearbeitung

Dr. med. A. Assaf · Universitätsklinikum Ulm

Fachliche Begutachtung (Optik)

Dr. med. L. Hartmann