



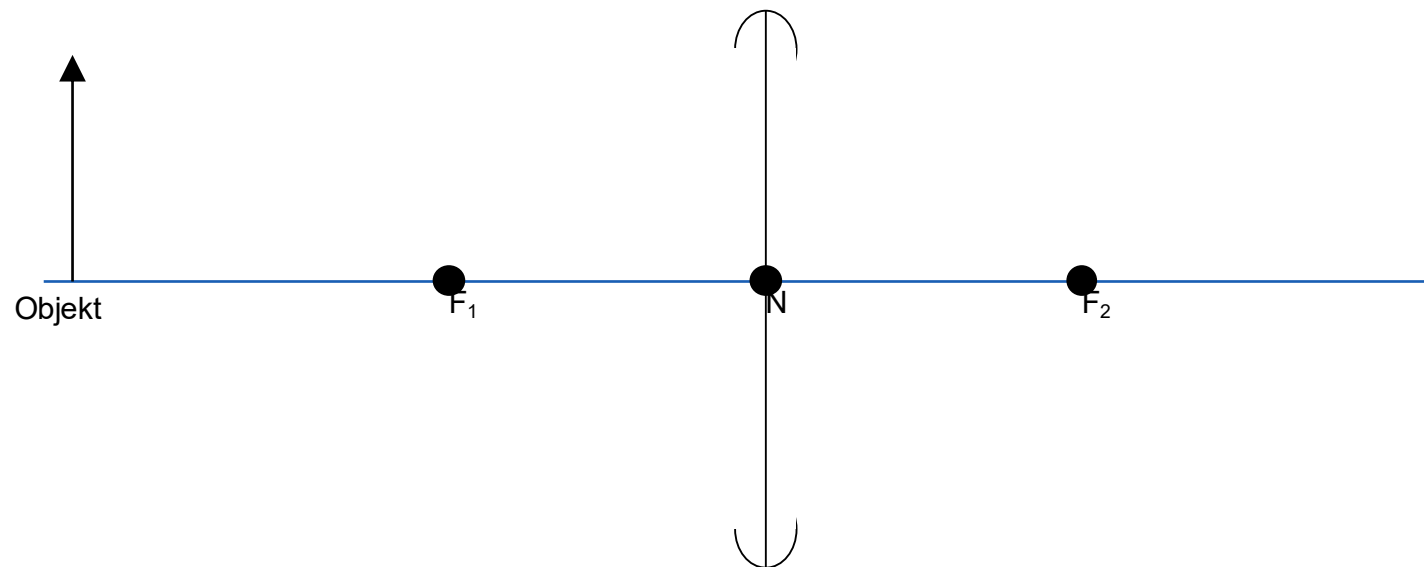
Raytracing

Grundlagen der Optik, Kapitel 19

- In dieser Vorlesung werden wir **das Raytracing** näher betrachten
 - Raytracing ist eine nützliche Fähigkeit, da es Ihnen ermöglicht, wichtige Eigenschaften eines optischen Systems zu bestimmen (und entsprechende Fragen im OKAP zu beantworten)

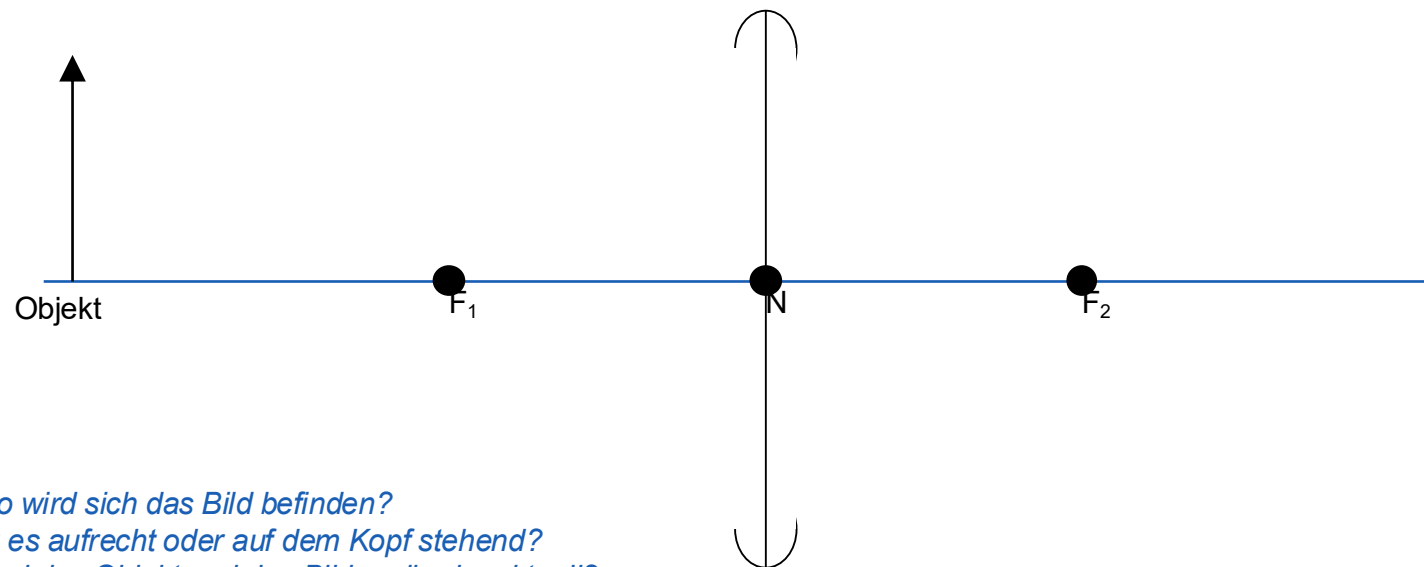
- In dieser Vorlesung werden wir **das Raytracing** näher betrachten
 - Raytracing ist eine nützliche Fähigkeit, da es Ihnen ermöglicht, wichtige Eigenschaften eines optischen Systems zu bestimmen (und entsprechende Fragen im OKAP zu beantworten)
 - Insbesondere werden wir uns die Regeln genauer ansehen, die den Durchgang von Strahlen durch Linsen bestimmen – Regeln, die Folgendes festlegen:
 - die **Lage** eines Bildes
 - ob ein Bild **aufrecht** oder **auf dem Kopf stehend** ist
 - den **reellen** oder **virtuellen** Status von Objekten und Bildern
 - die **Vergrößerung** eines Bildes

Dünne *Pluslinse*



In Bezug auf dieses Objekt und dessen Beziehung zu diesem optischen System...

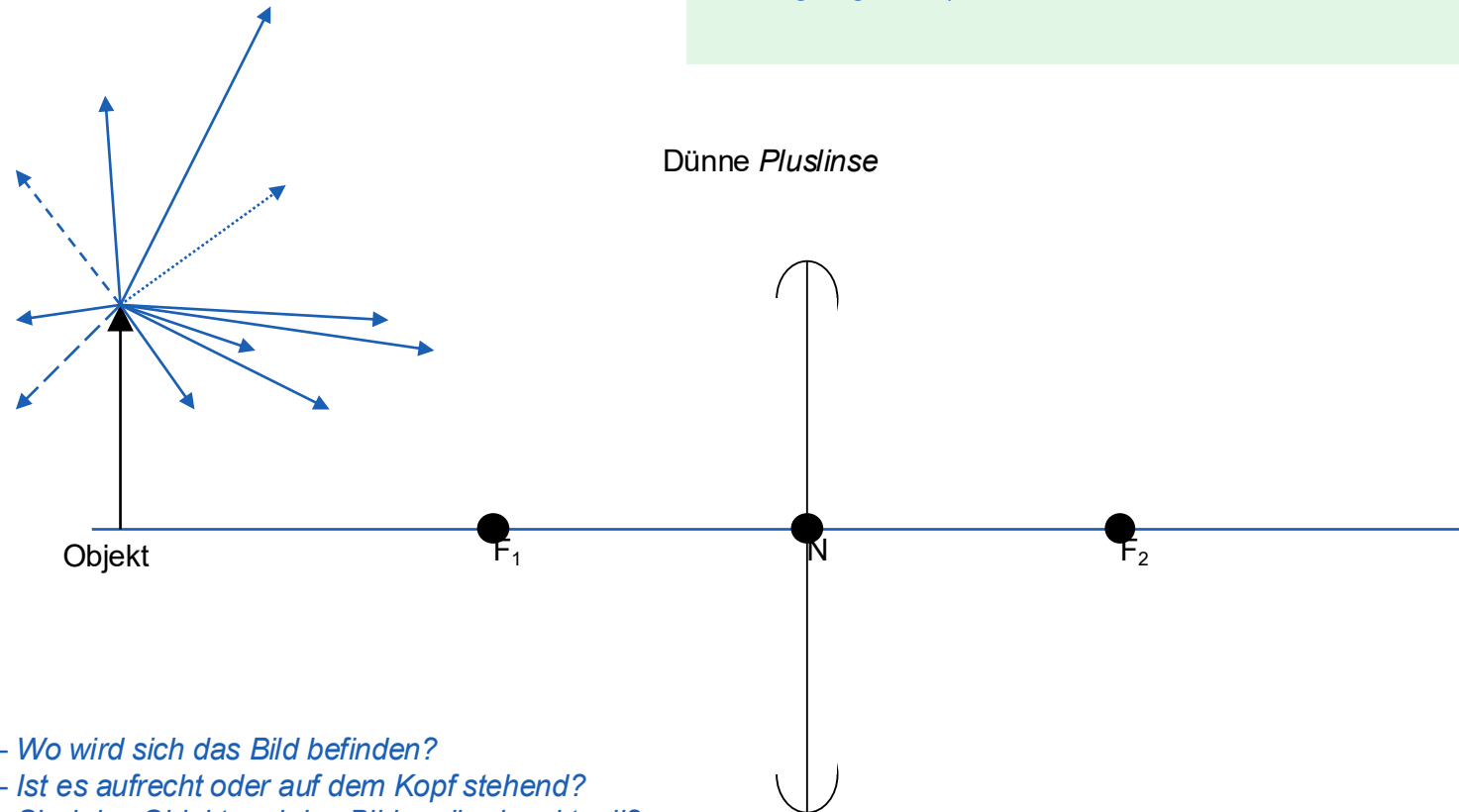
Dünne Pluslinse



- Wo wird sich das Bild befinden?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind das Objekt und das Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

In Bezug auf dieses Objekt und dessen Beziehung zu diesem optischen System...

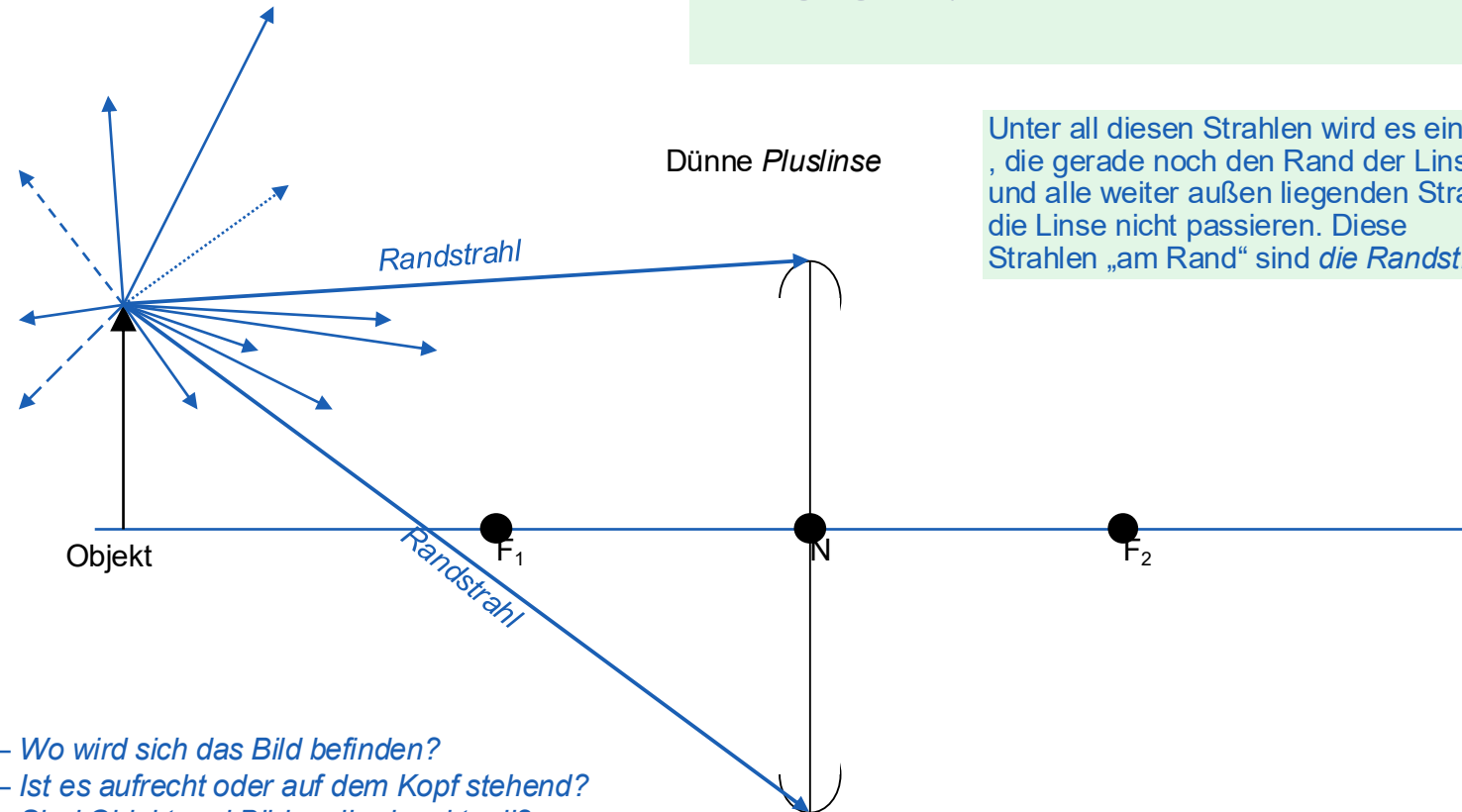
Betrachten Sie die Spitze des Objekts: Sie hat unendlich viele Lichtstrahlen, die von ihr reflektiert werden und in alle Richtungen gehen (auch in den Bildschirm hinein und aus ihm heraus).



- Wo wird sich das Bild befinden?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind das Objekt und das Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

In Bezug auf dieses Objekt und dessen Beziehung zu diesem optischen System...

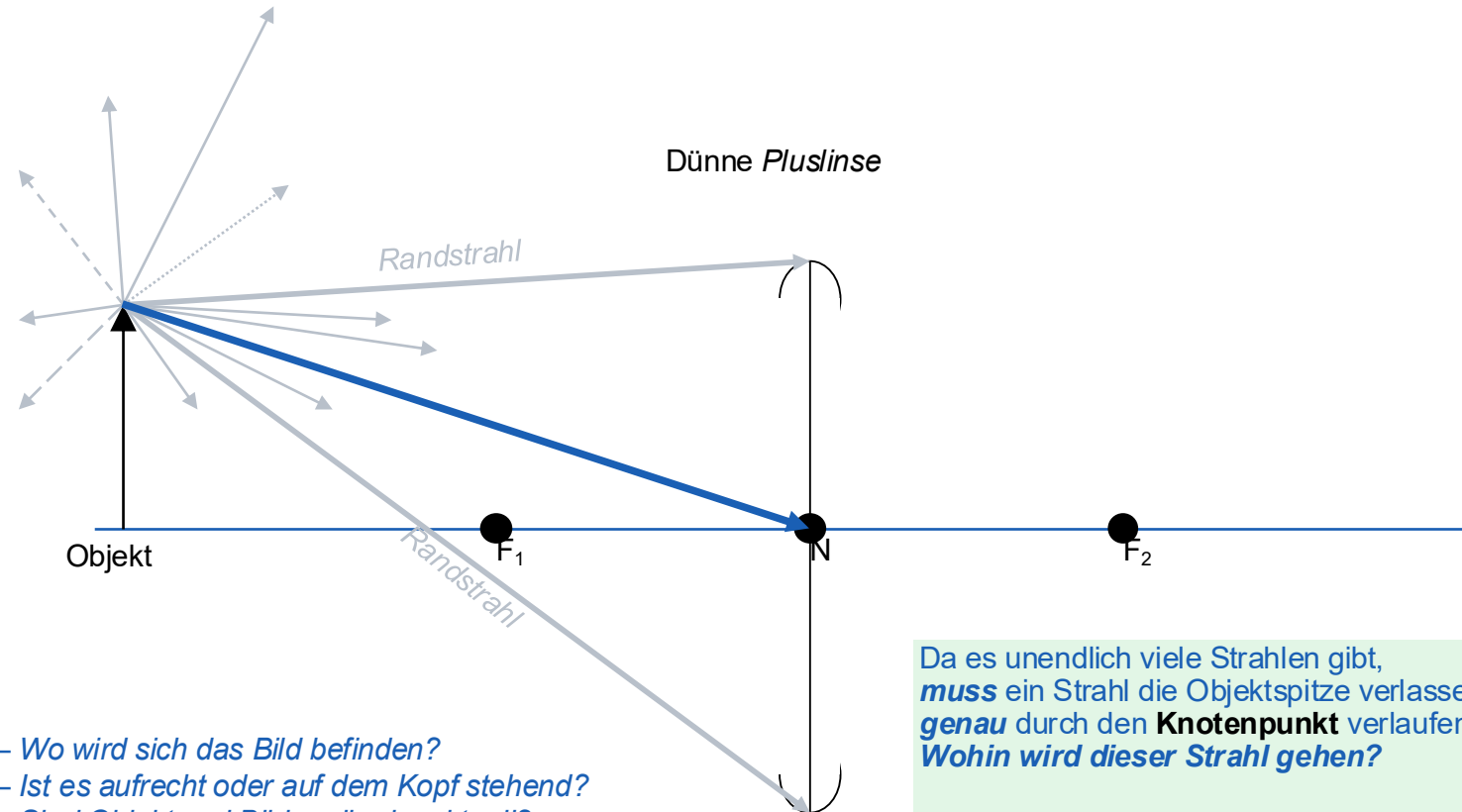
Betrachten Sie die Spitze des Objekts: Von ihr gehen unendlich viele Lichtstrahlen, die von ihr reflektiert werden und in alle Richtungen gehen (auch in den Bildschirm hinein und aus ihm heraus).



Unter all diesen Strahlen wird es einige geben, die gerade noch den Rand der Linse treffen, und alle weiter außen liegenden Strahlen werden die Linse nicht passieren. Diese Strahlen „am Rand“ sind die *Randstrahlen*.

- Wo wird sich das Bild befinden?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

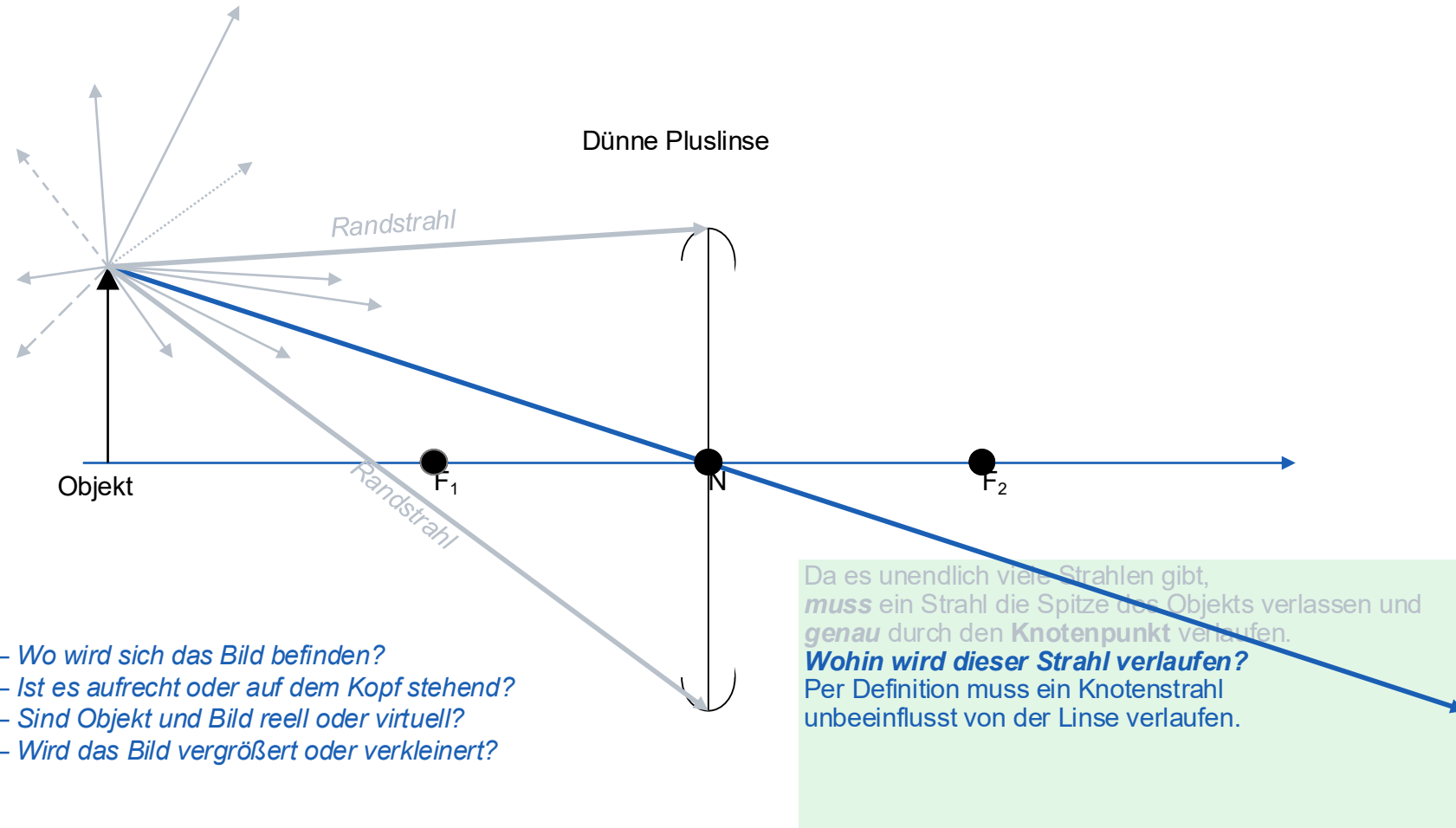
In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...



- Wo wird sich das Bild befinden?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Da es unendlich viele Strahlen gibt, **muss** ein Strahl die Objektspitze verlassen und **genau** durch den **Knotenpunkt** verlaufen. **Wohin wird dieser Strahl gehen?**

In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...



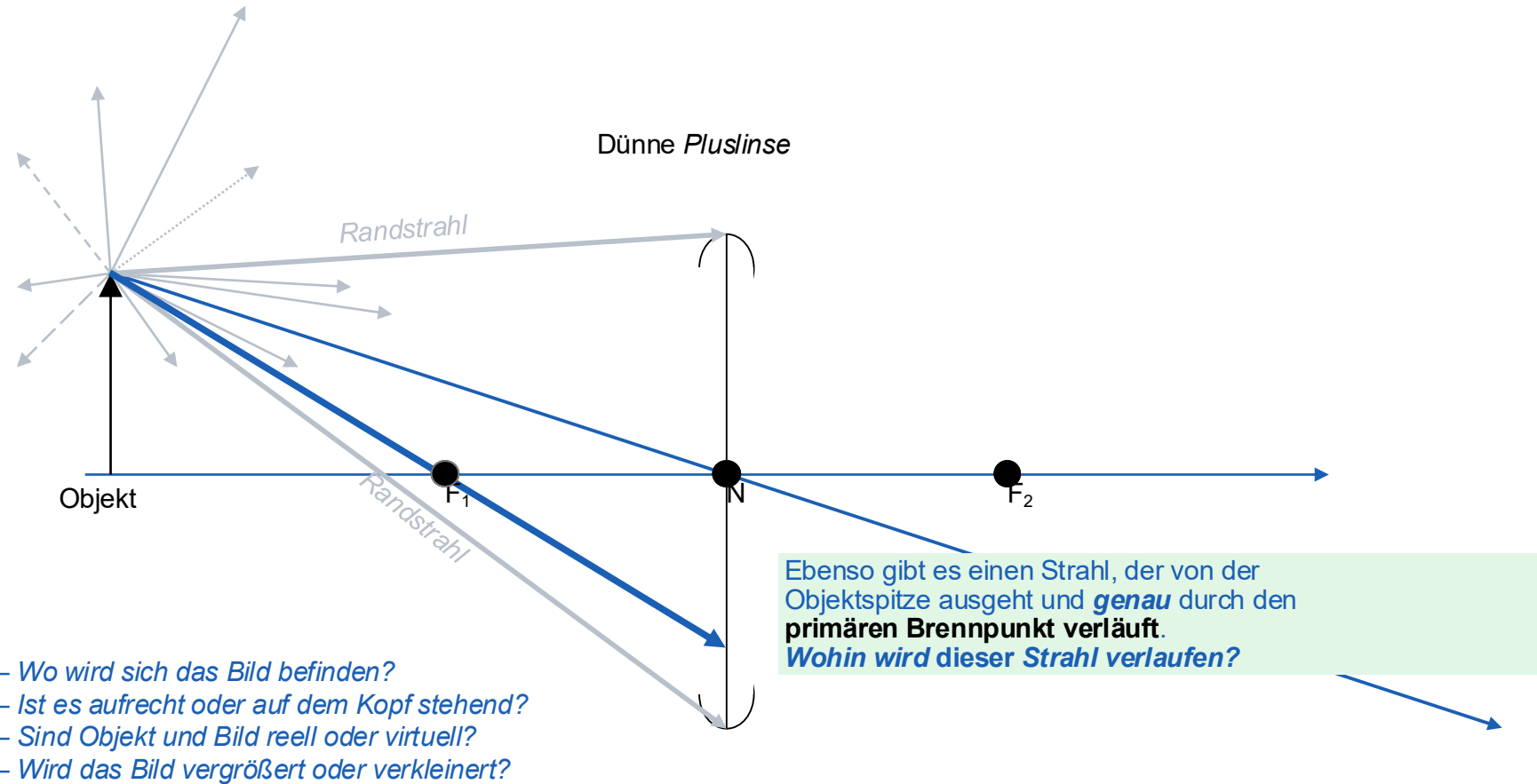
- Wo wird sich das Bild befinden?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Da es unendlich viele Strahlen gibt, **muss** ein Strahl die Spitze des Objekts verlassen und **genau** durch den **Knotenpunkt** verlaufen.

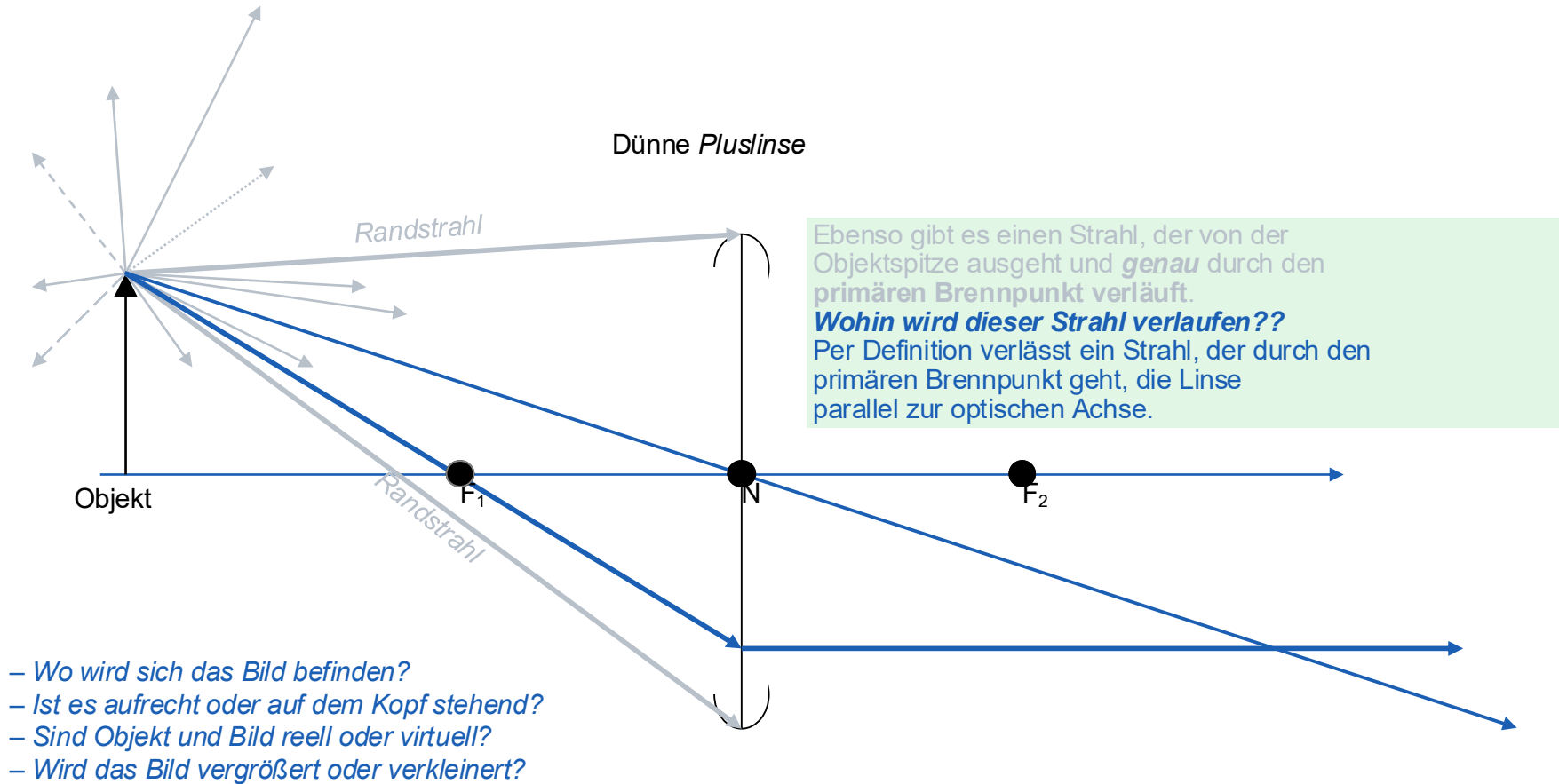
Wohin wird dieser Strahl verlaufen?

Per Definition muss ein Knotenstrahl unbeeinflusst von der Linse verlaufen.

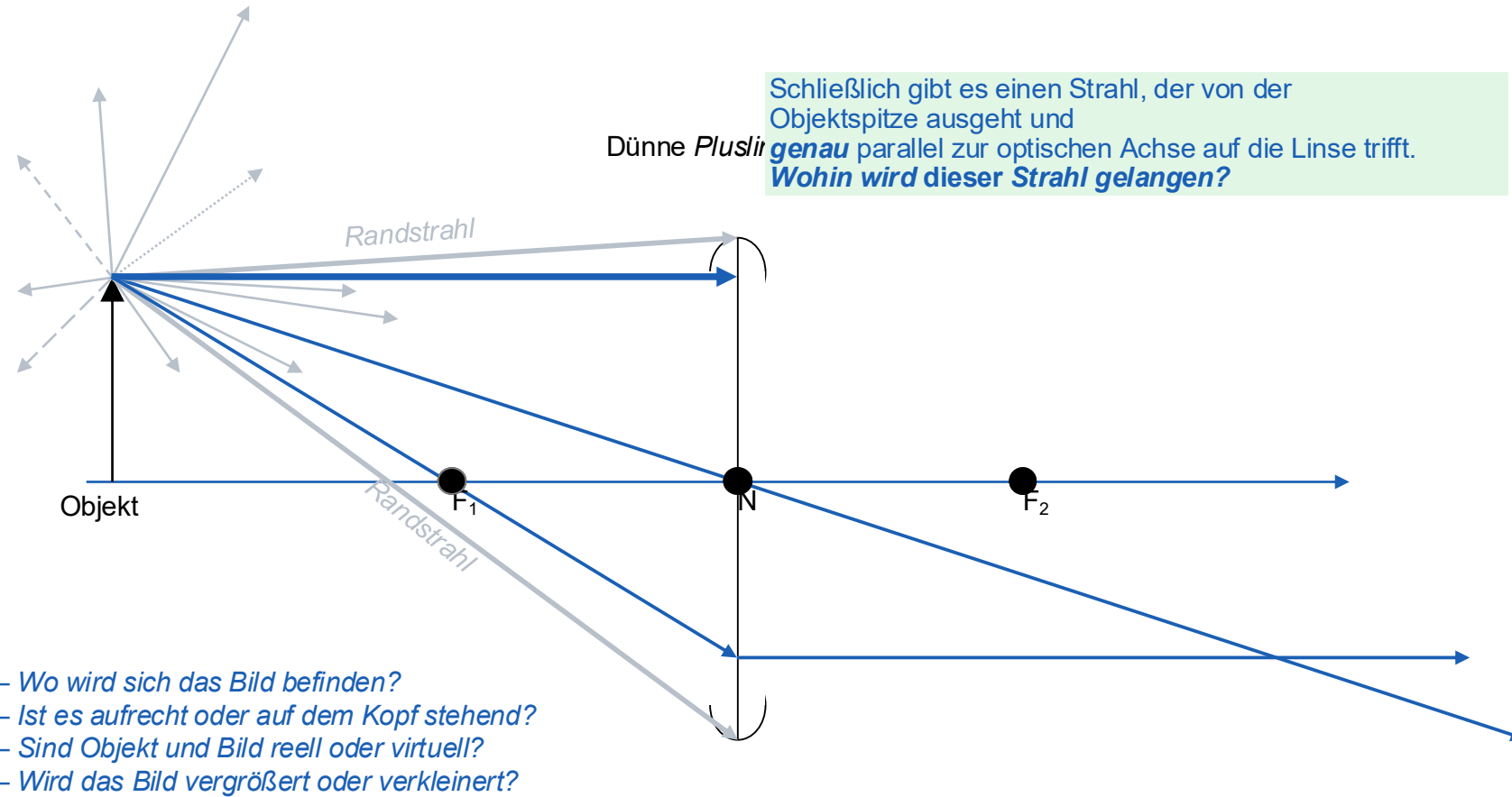
In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...



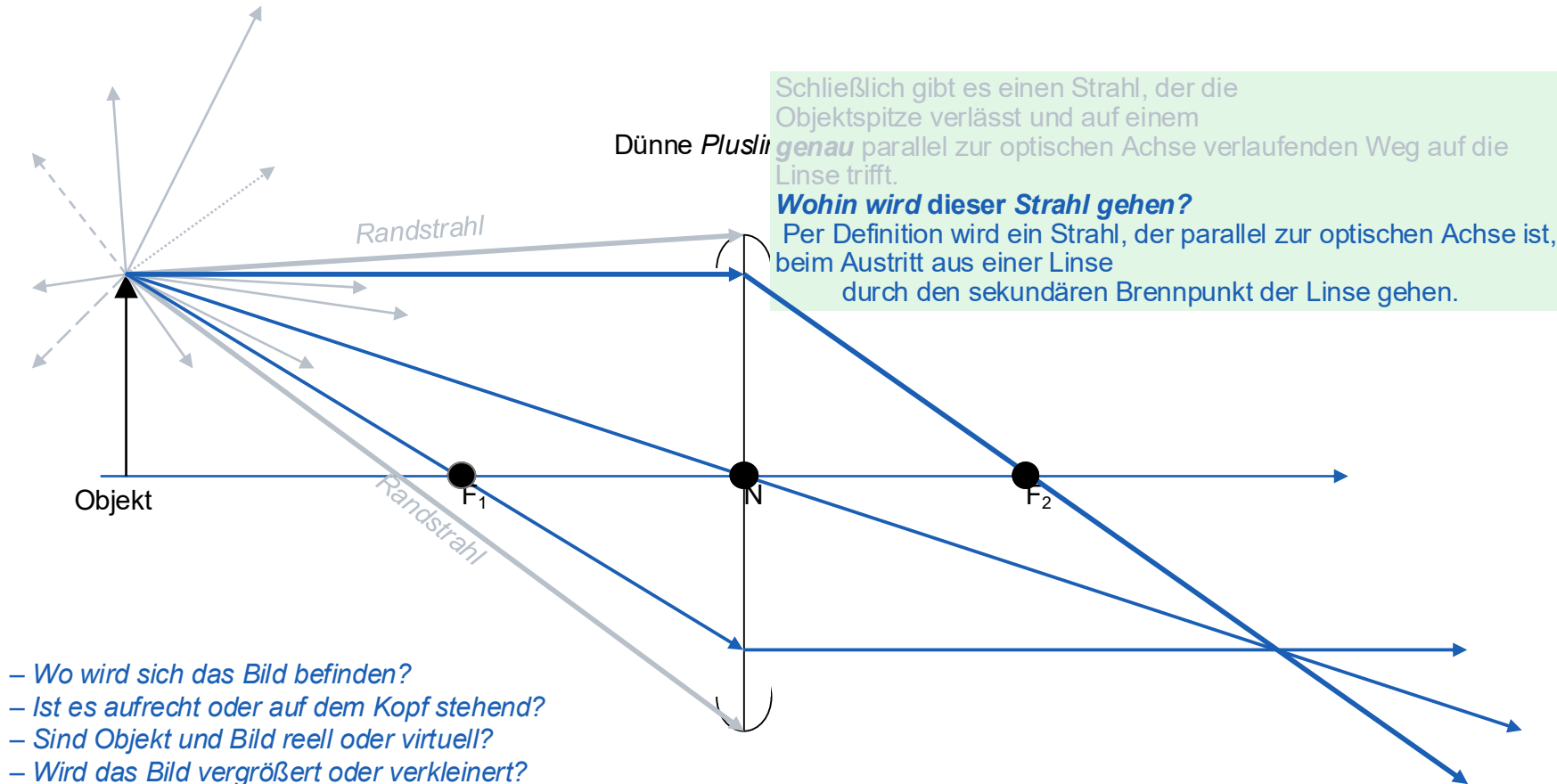
In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...



In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

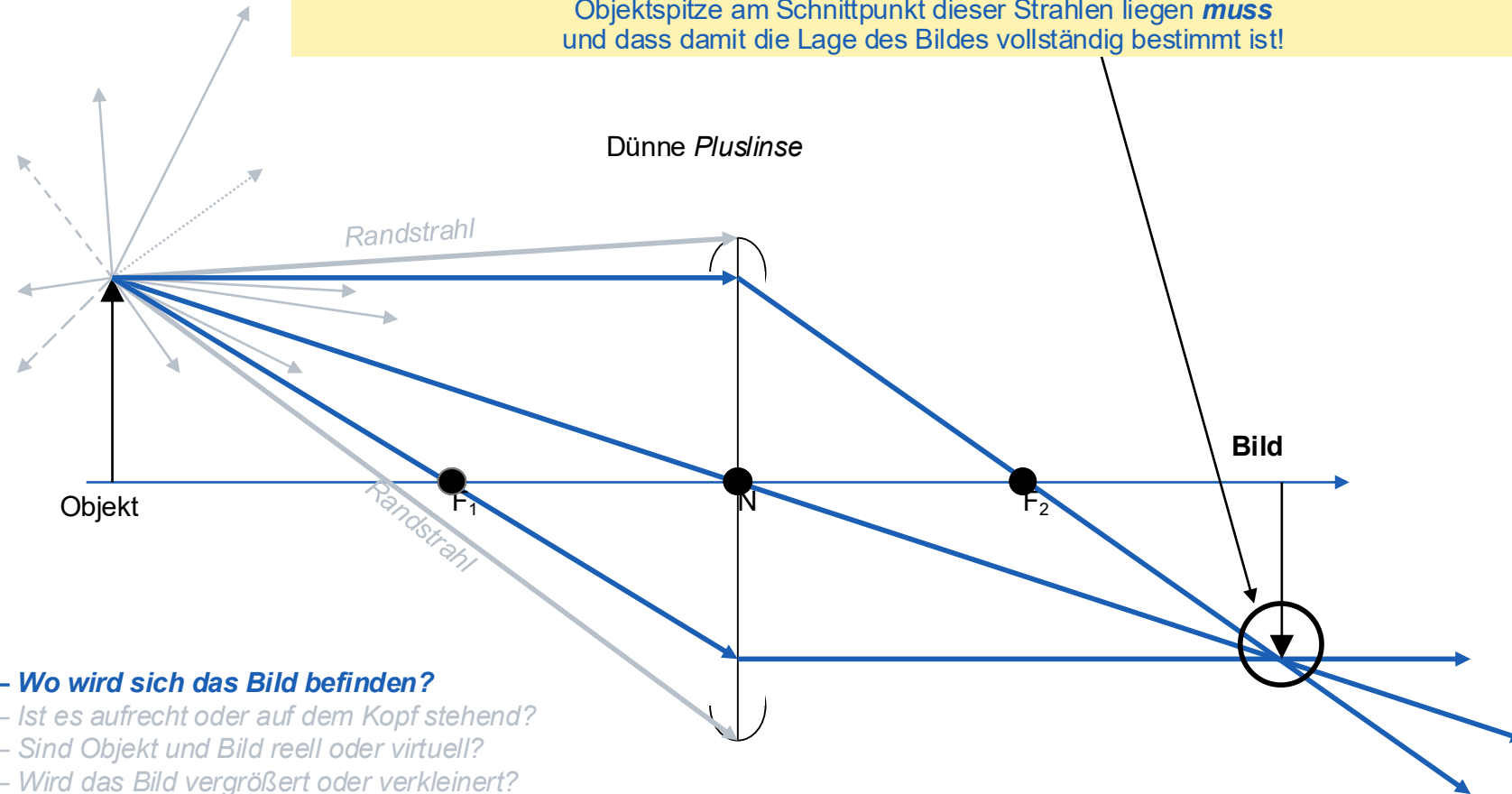


In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...



In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

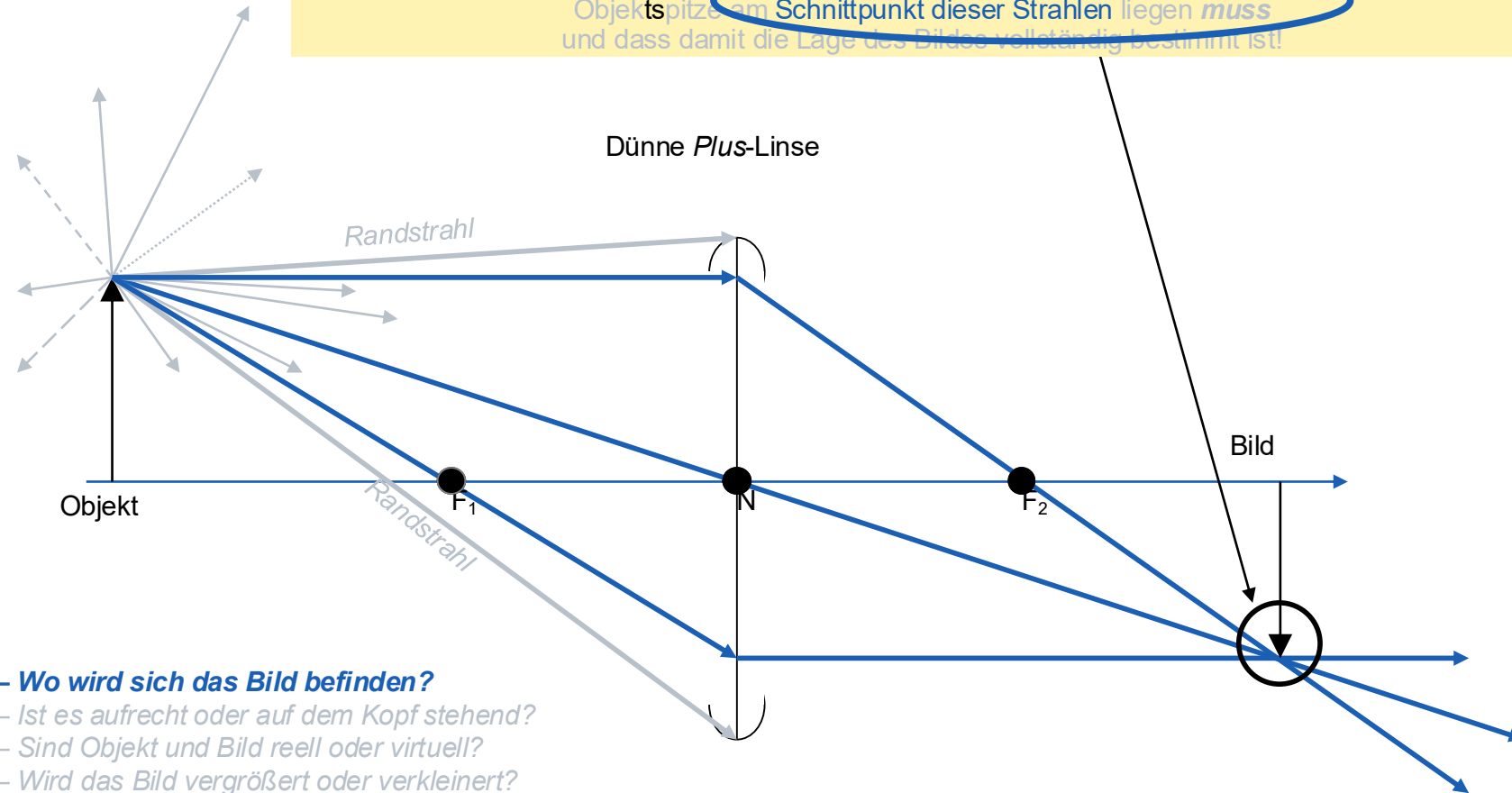
Fasst man alles zusammen, so lässt sich erkennen, dass das Bild der Objektspitze am Schnittpunkt dieser Strahlen liegen **muss** und dass damit die Lage des Bildes vollständig bestimmt ist!



In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

Tatsächlich würden bereits zwei beliebige dieser Strahlen ausreichen, um die Position zu bestimmen

Fasst man alles zusammen, so lässt sich erkennen, dass das Bild der Objektspitze am Schnittpunkt dieser Strahlen liegen *muss* und dass damit die Lage des Bildes vollständig bestimmt ist!



– Wo wird sich das Bild befinden?

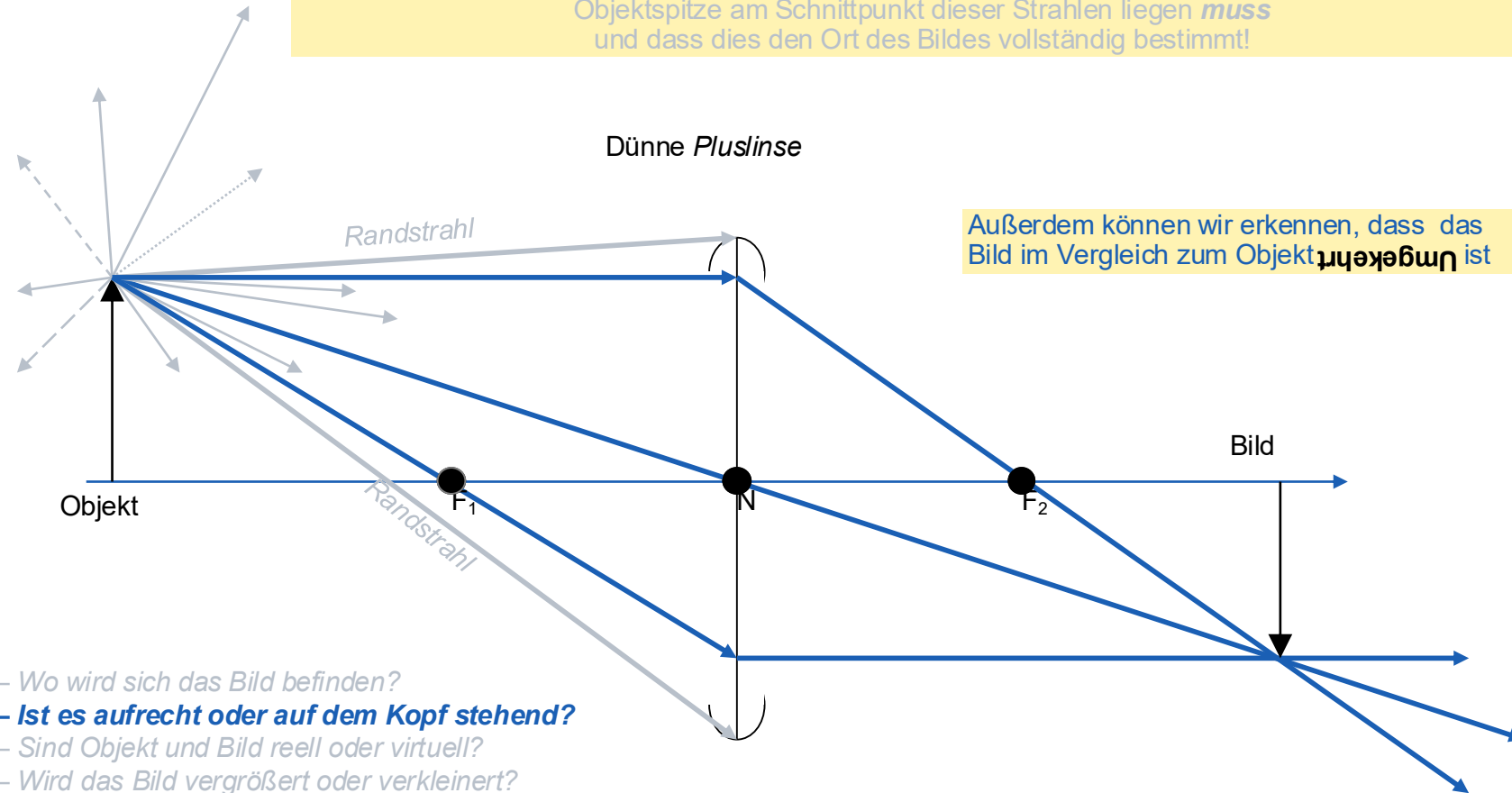
– Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?

– Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?

– Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

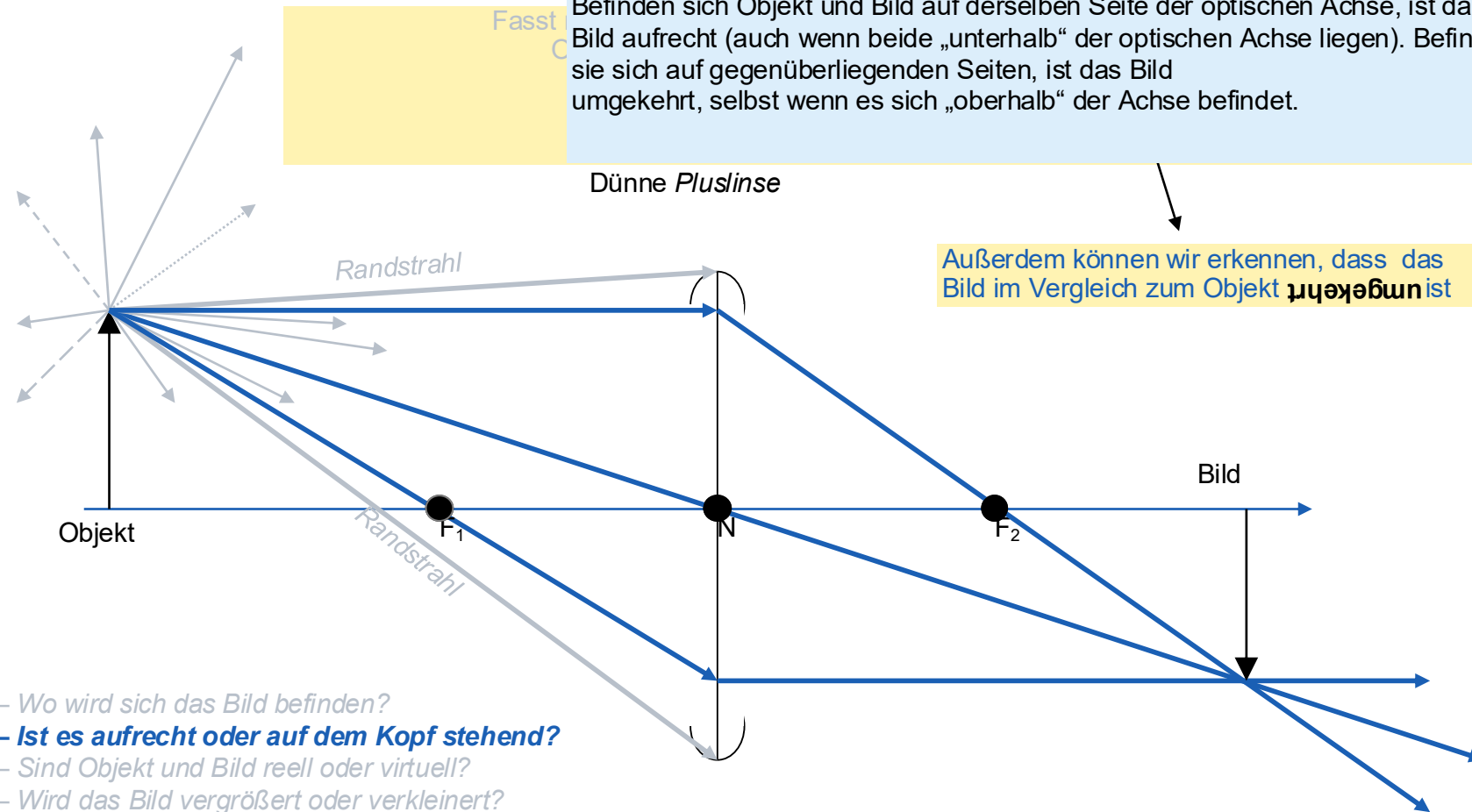
Fasst man alles zusammen, so lässt sich erkennen, dass das Bild der Objektspitze am Schnittpunkt dieser Strahlen liegen **muss** und dass dies den Ort des Bildes vollständig bestimmt!



In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

Ein kurzes Wort zu aufrechten und umgekehrten Bildern:

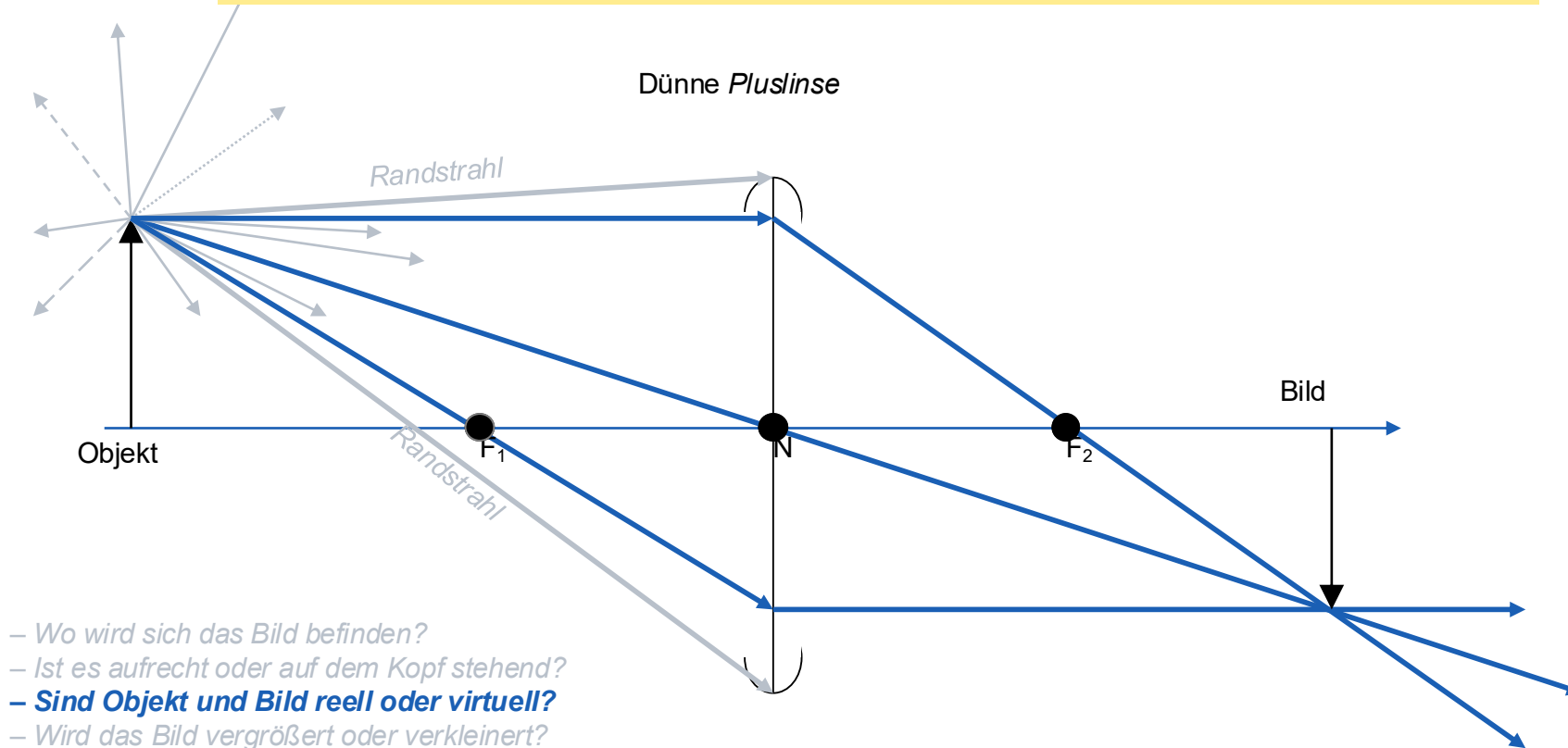
Ausschlaggebend ist die relative, nicht die absolute Position von Objekt und Bild. Befinden sich Objekt und Bild auf derselben Seite der optischen Achse, ist das Bild aufrecht (auch wenn beide „unterhalb“ der optischen Achse liegen). Befinden sie sich auf gegenüberliegenden Seiten, ist das Bild umgekehrt, selbst wenn es sich „oberhalb“ der Achse befindet.



- Wo wird sich das Bild befinden?
- **Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?**
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

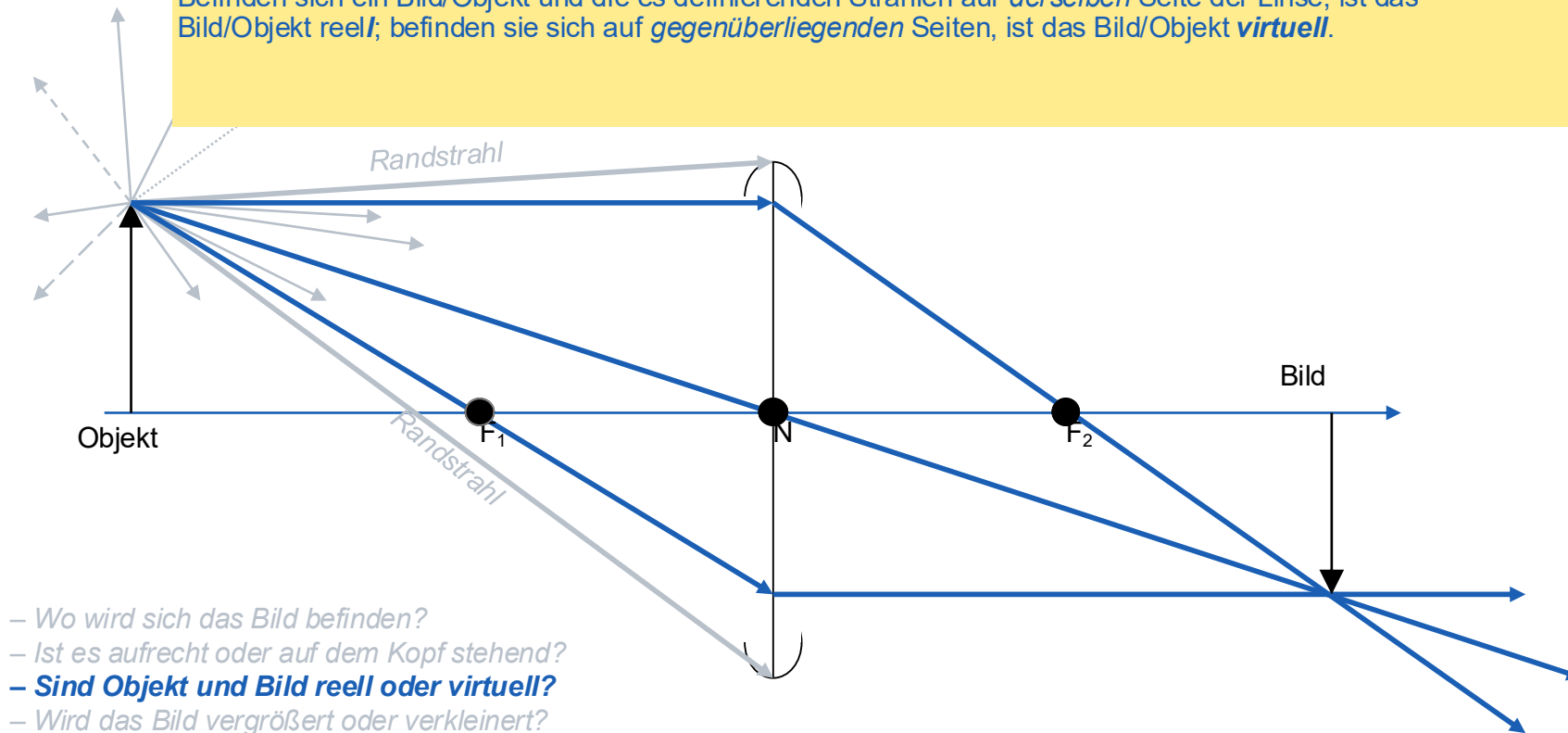
Was die Frage betrifft, ob das Bild und das Objekt reell oder virtuell sind...



In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

Was den **reellen bzw. virtuellen** Status eines Objekts und eines Bildes bestimmt, ist die *Beziehung zwischen dem Bild/Objekt und den Strahlen, die es definieren*:

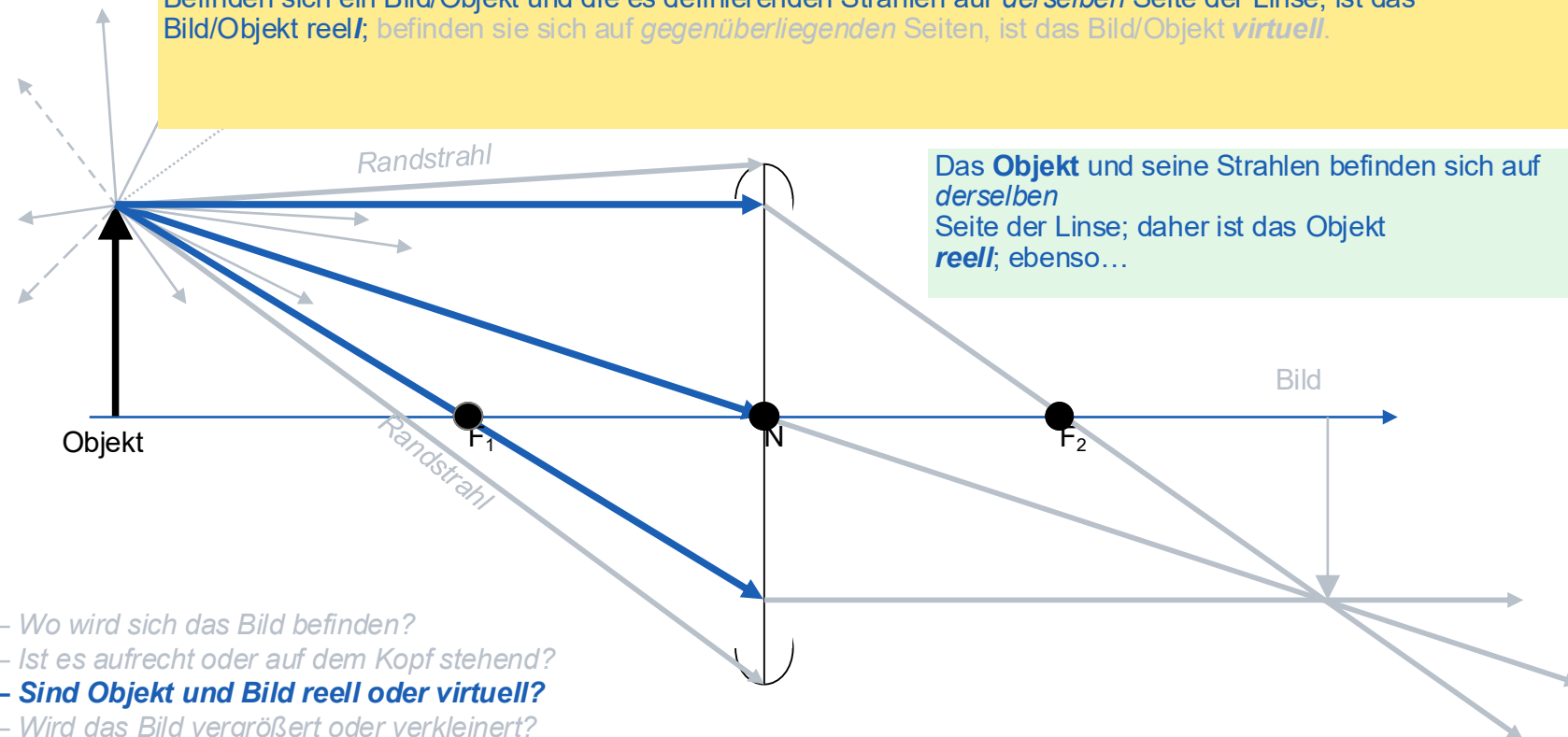
Befinden sich ein Bild/Objekt und die es definierenden Strahlen auf *derselben* Seite der Linse, ist das Bild/Objekt **reell**; befinden sie sich auf *gegenüberliegenden* Seiten, ist das Bild/Objekt **virtuell**.



In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

Was den **reellen** bzw. **virtuellen** Status eines Objekts und eines Bildes bestimmt, ist die *Beziehung zwischen dem Bild/Objekt und den Strahlen, die es definieren*:

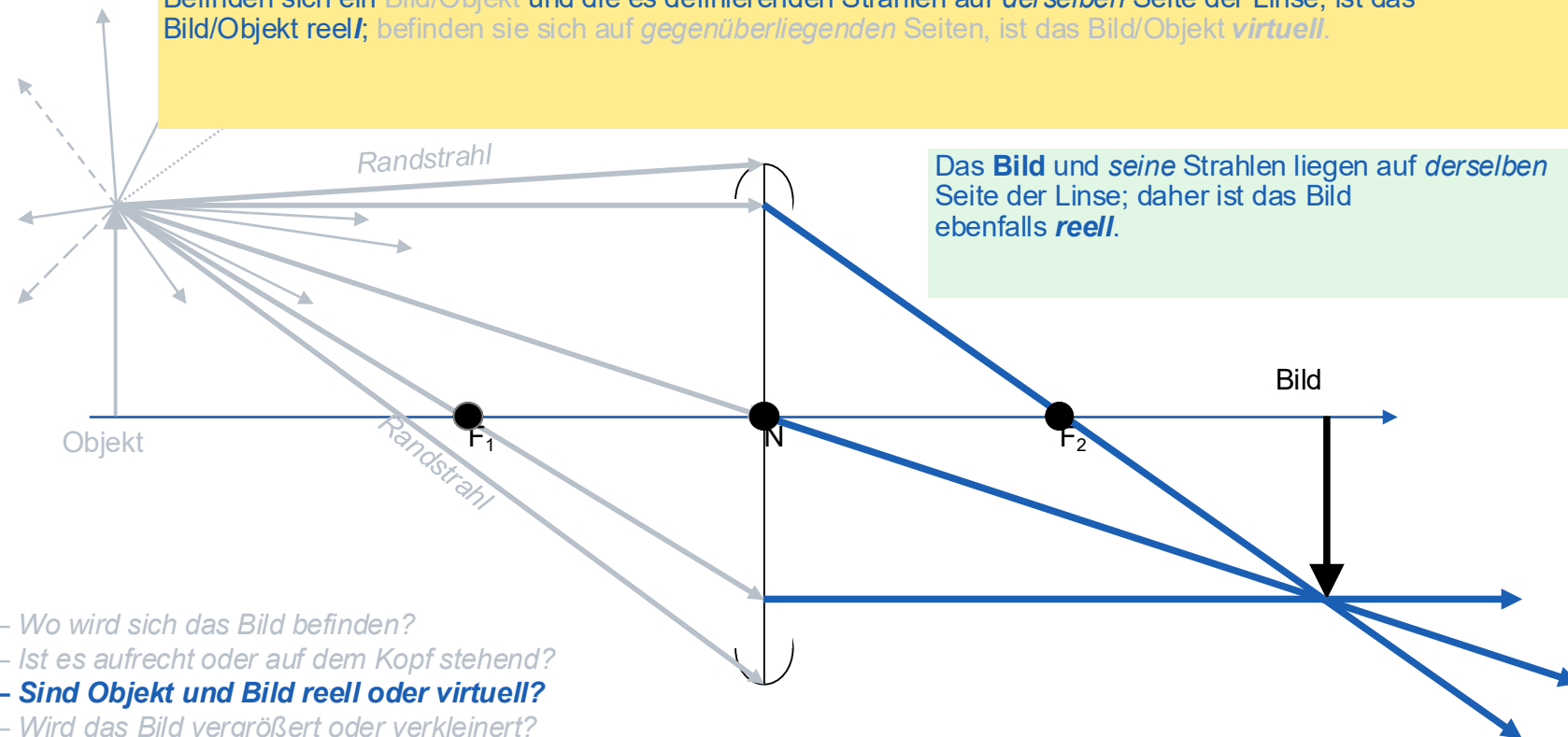
Befinden sich ein Bild/Objekt und die es definierenden Strahlen auf *derselben* Seite der Linse, ist das Bild/Objekt **reell**; befinden sie sich auf *gegenüberliegenden* Seiten, ist das Bild/Objekt **virtuell**.



In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

Was den *reellen oder virtuellen* Status eines Objekts und eines Bildes bestimmt, ist die *Beziehung zwischen dem Bild/Objekt und den Strahlen, die es definieren*:

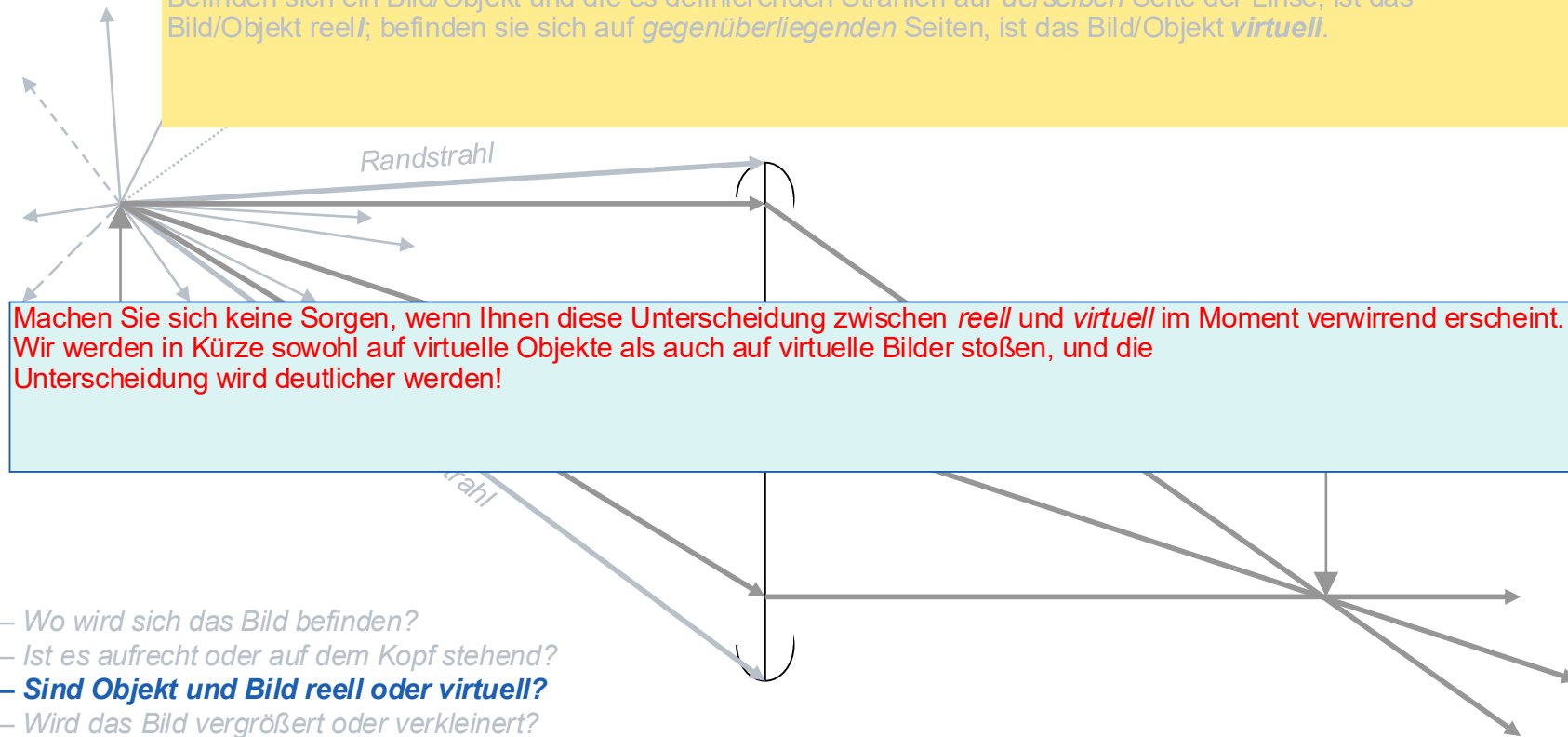
Befinden sich ein Bild/Objekt und die es definierenden Strahlen auf *derselben* Seite der Linse, ist das Bild/Objekt *reell*; befinden sie sich auf *gegenüberliegenden* Seiten, ist das Bild/Objekt *virtuell*.



In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

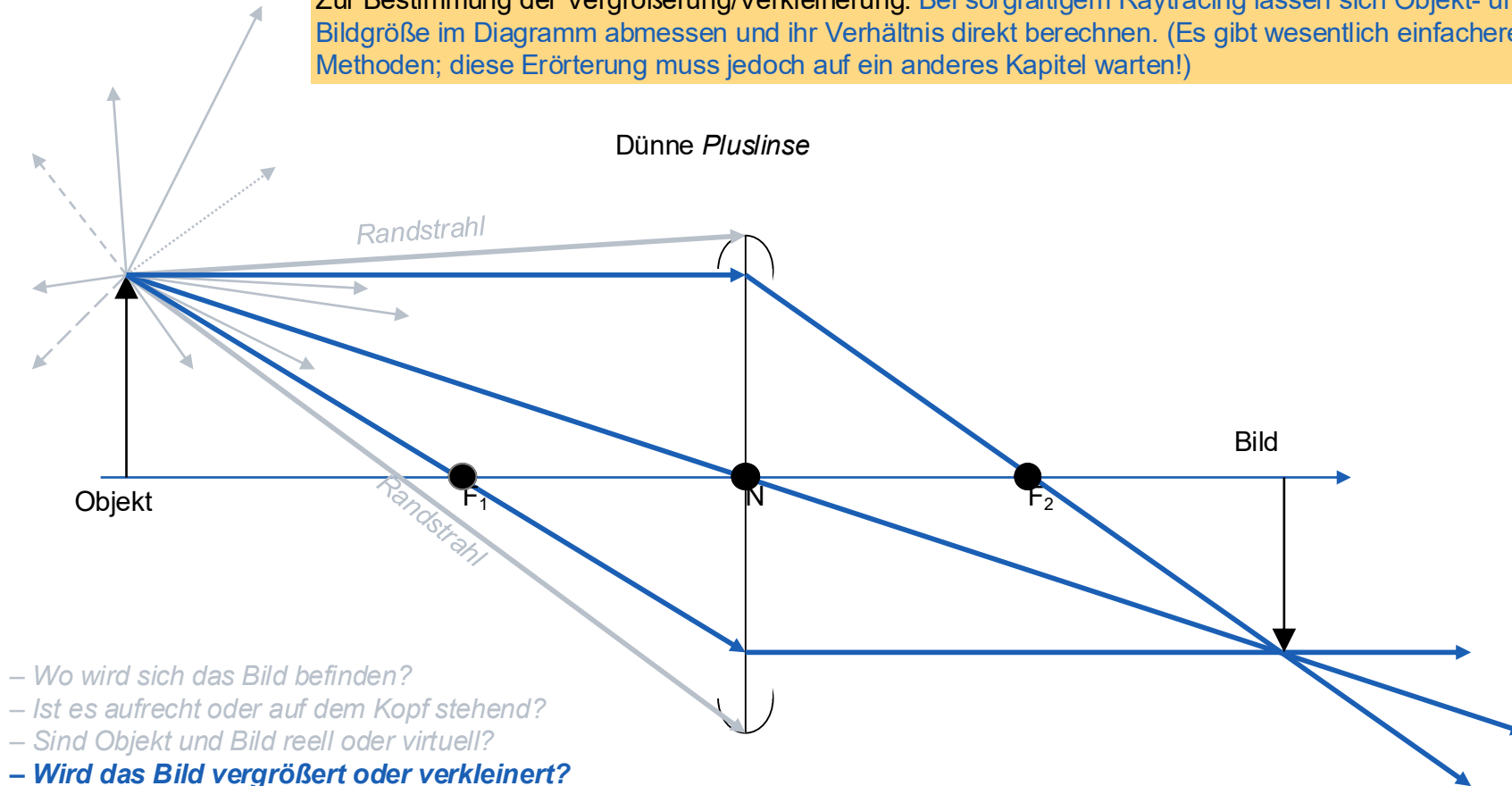
Was den *reellen* bzw. *virtuellen* Status eines Objekts und eines Bildes bestimmt, ist die *Beziehung zwischen dem Bild/Objekt und den Strahlen, die es definieren*:

Befinden sich ein Bild/Objekt und die es definierenden Strahlen auf *derselben* Seite der Linse, ist das Bild/Objekt *reell*; befinden sie sich auf *gegenüberliegenden* Seiten, ist das Bild/Objekt *virtuell*.



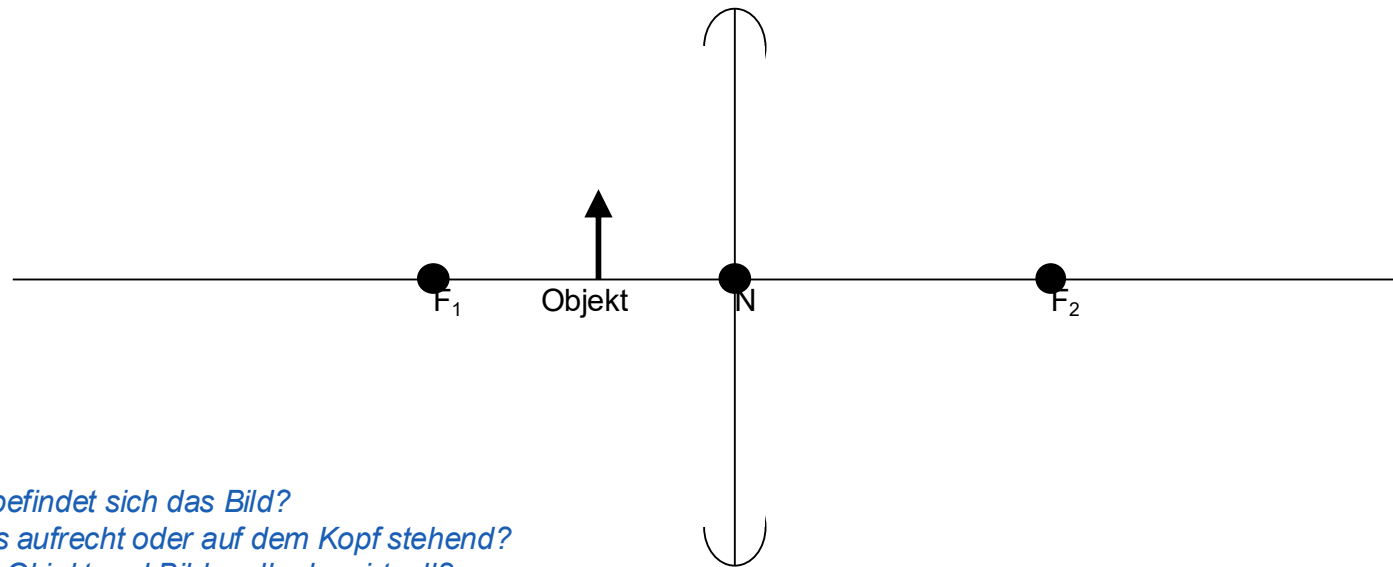
In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

Zur Bestimmung der Vergrößerung/Verkleinerung: Bei sorgfältigem Raytracing lassen sich Objekt- und Bildgröße im Diagramm abmessen und ihr Verhältnis direkt berechnen. (Es gibt wesentlich einfachere Methoden; diese Erörterung muss jedoch auf ein anderes Kapitel warten!)



In Bezug auf dieses Objekt und seine Beziehung zu diesem optischen System...

Dünne Pluslinse

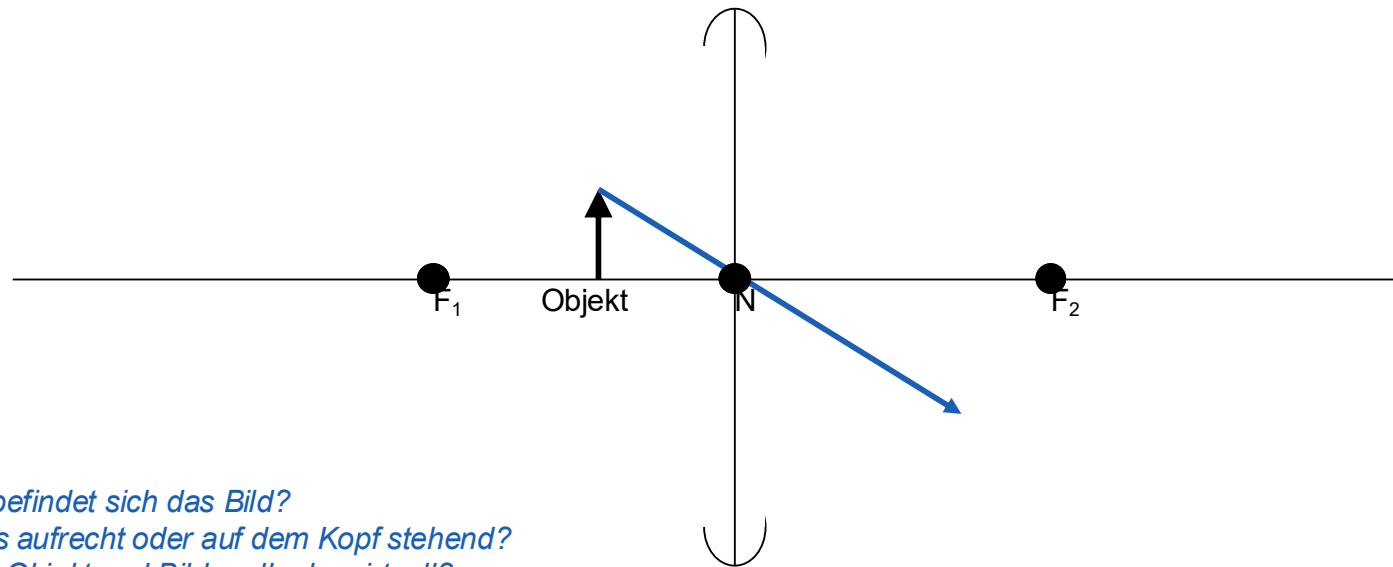


- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Zeichnen Sie ein:
Knotenstrahl

Dünne Pluslinse

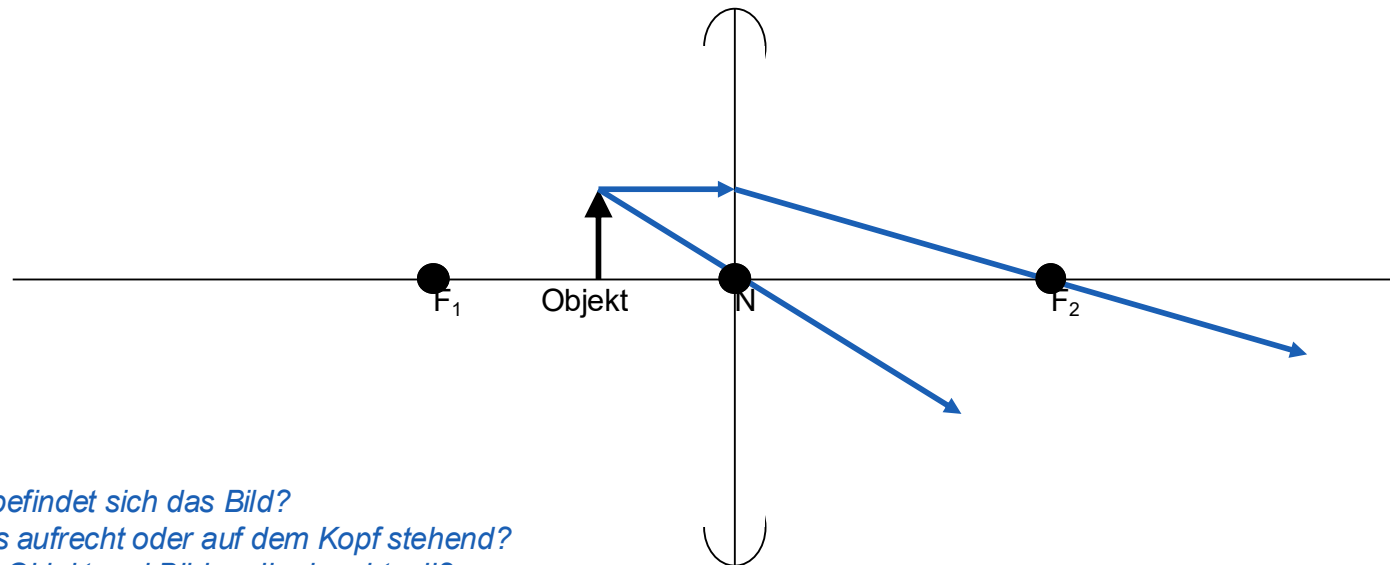


- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Zeichnen Sie ein:
Knotenstrahl
Strahl durch den sekundären
Brennpunkt

Dünne Pluslinse



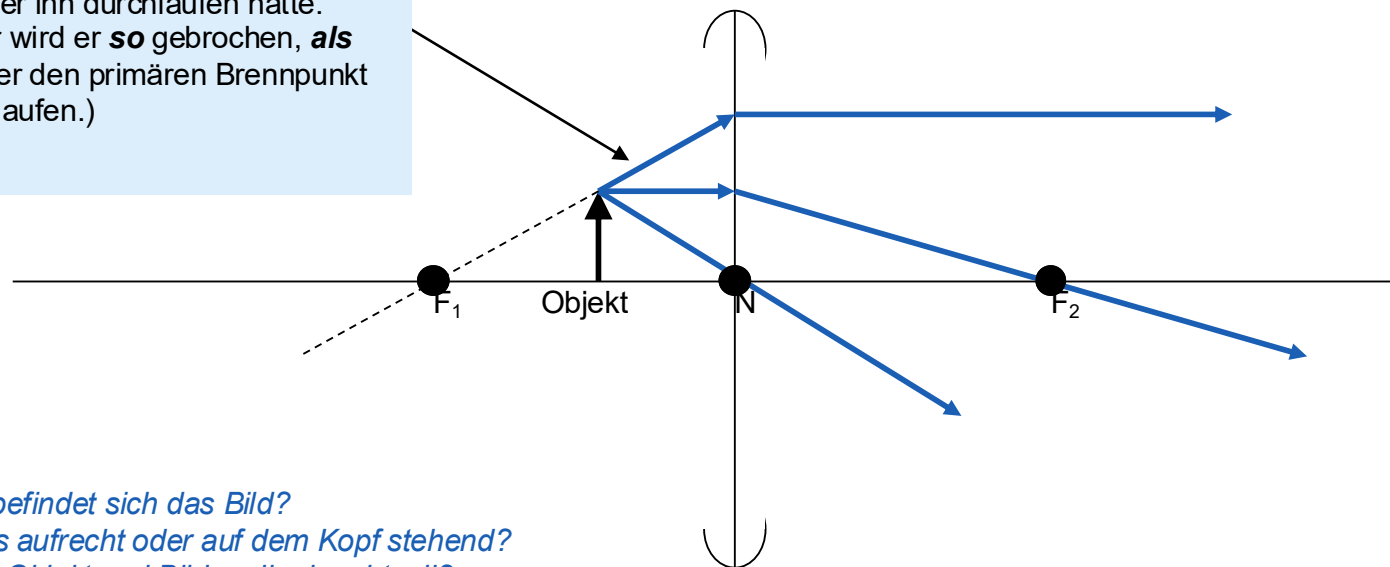
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

(Zwar durchlief dieser Strahl den primären Brennpunkt nicht. Seine Bahn zur Linse entspricht jedoch genau der, die er genommen hätte, wenn er ihn durchlaufen hätte. Daher wird er **so** gebrochen, **als** hätte er den primären Brennpunkt durchlaufen.)

Dünne Pluslinse

Zeichnen Sie ein:
Knotenstrahl
Strahl durch den sekundären Brennpunkt
Strahl durch den Primären Brennpunkt



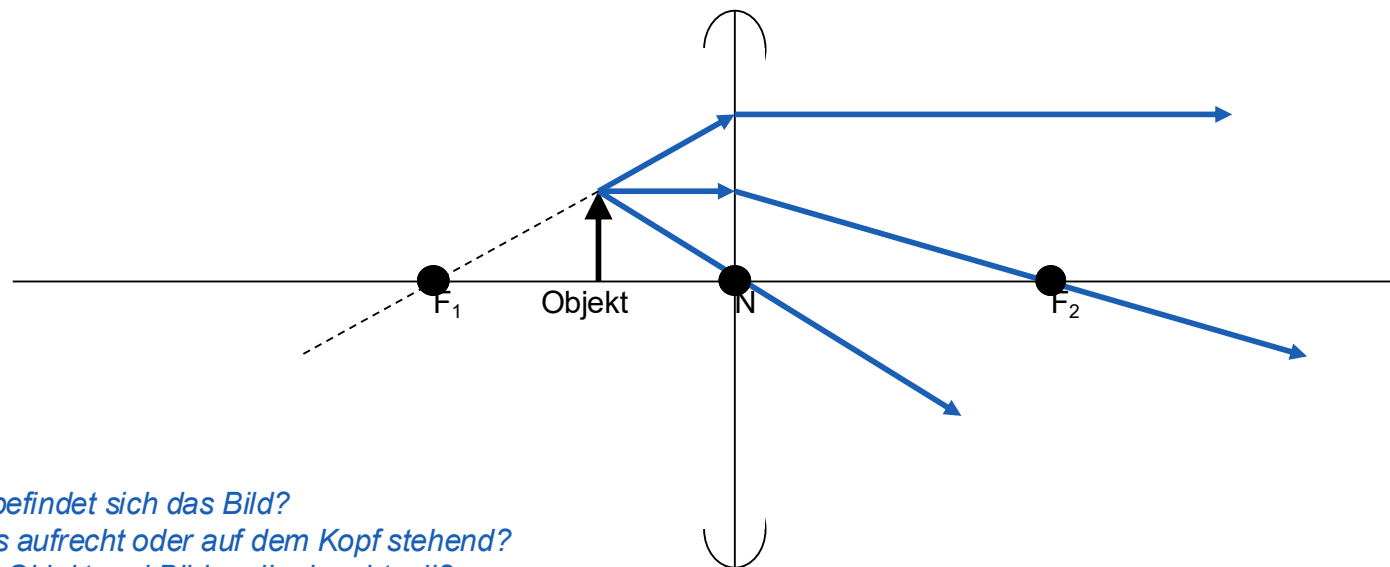
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Aber diese Strahlen schneiden sich nicht –
wo ist das Bild?

Dünne *Pluslinse*

Zeichnen Sie ein:
Knotenstrahl
Strahl durch den sekundären
Brennpunkt
Strahl durch den primären Brennpunkt

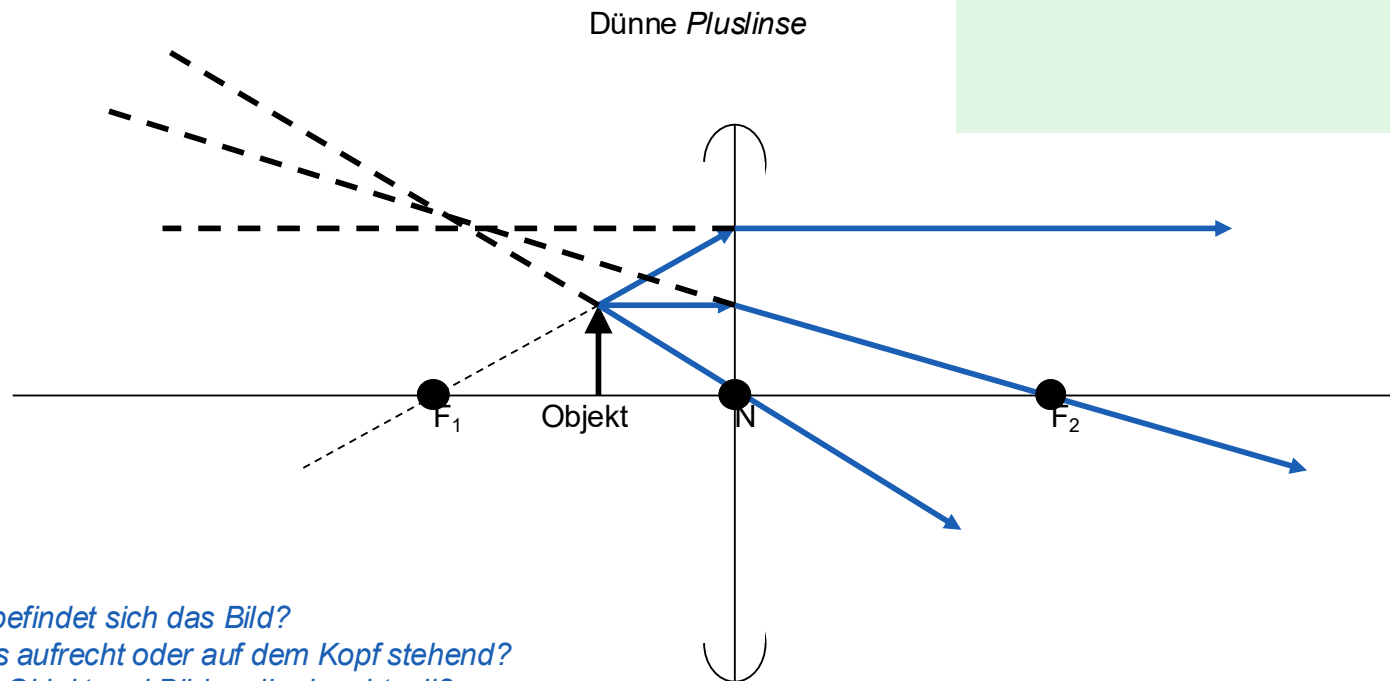


- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Aber diese Strahlen schneiden sich nicht –
Wo befindet sich das Bild?

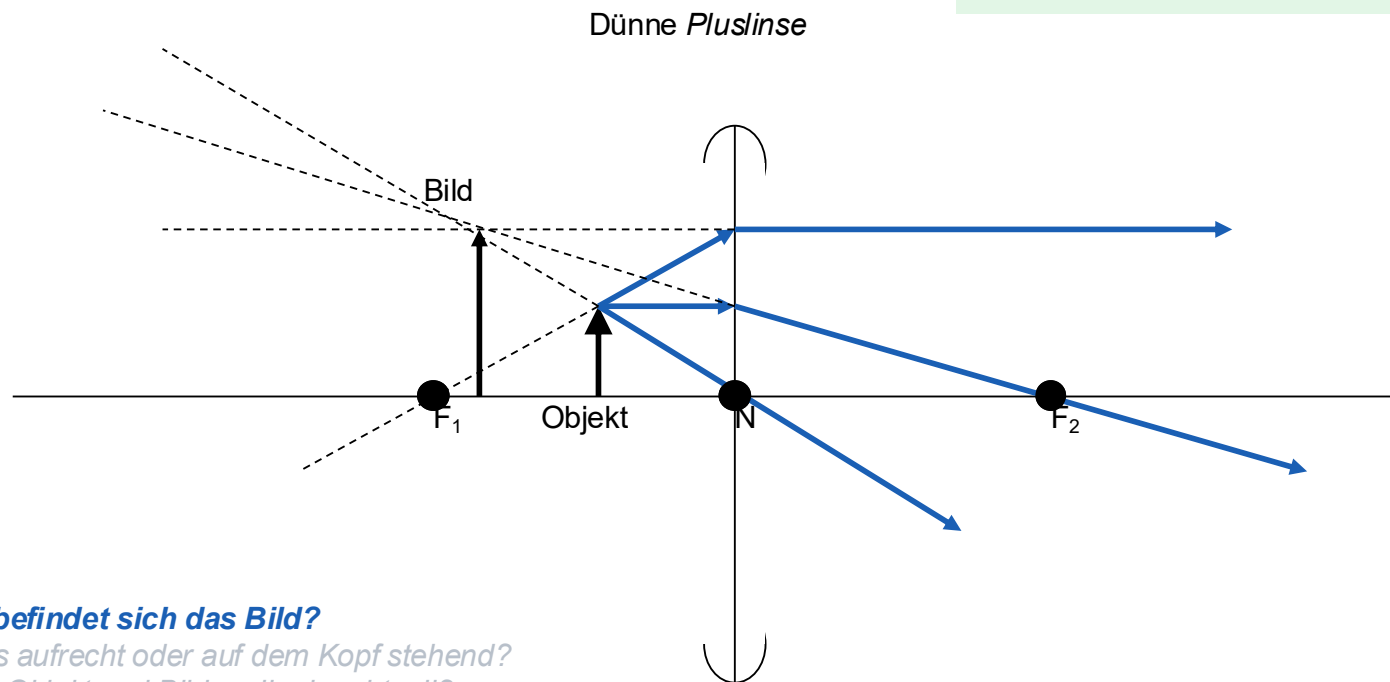
Verlängern Sie die Strahlen, um
den Schnittpunkt zu finden...



- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Verlängern Sie die Strahlen, um
den Schnittpunkt zu finden...
Hier befindet sich der *Bildpunkt*

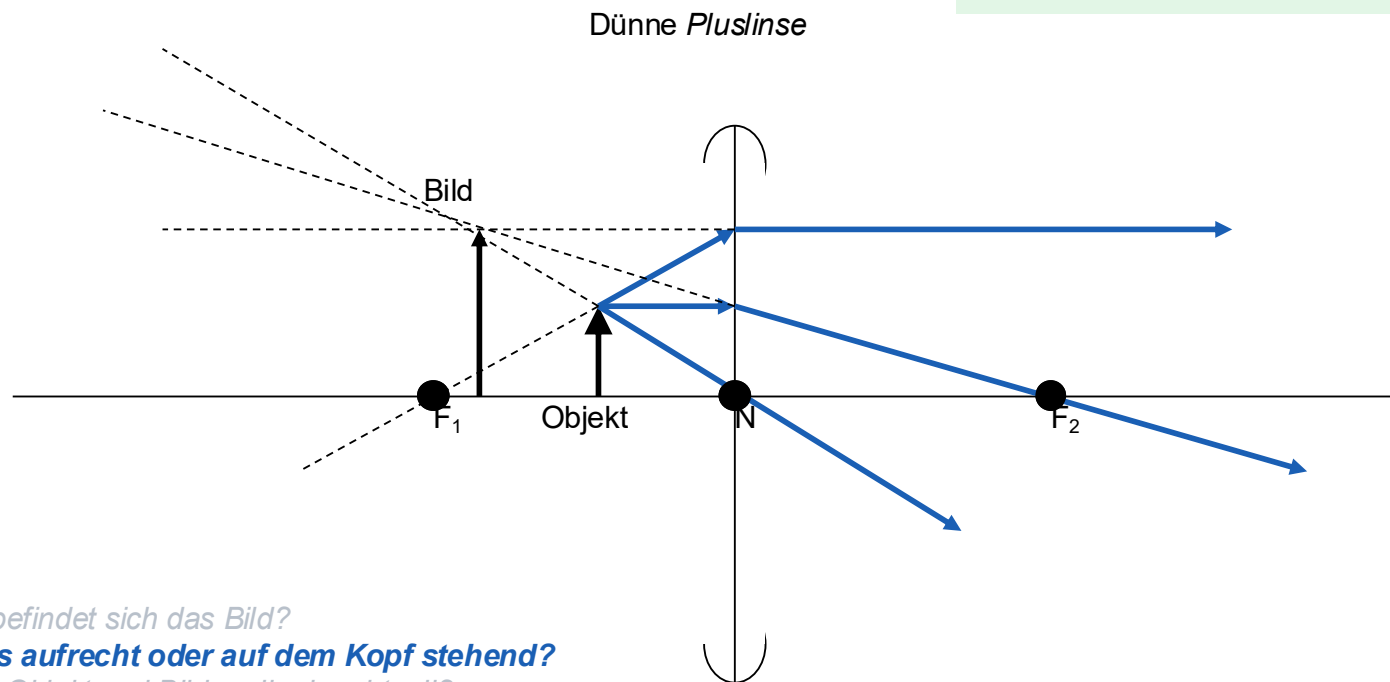


– **Wo befindet sich das Bild?**

- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

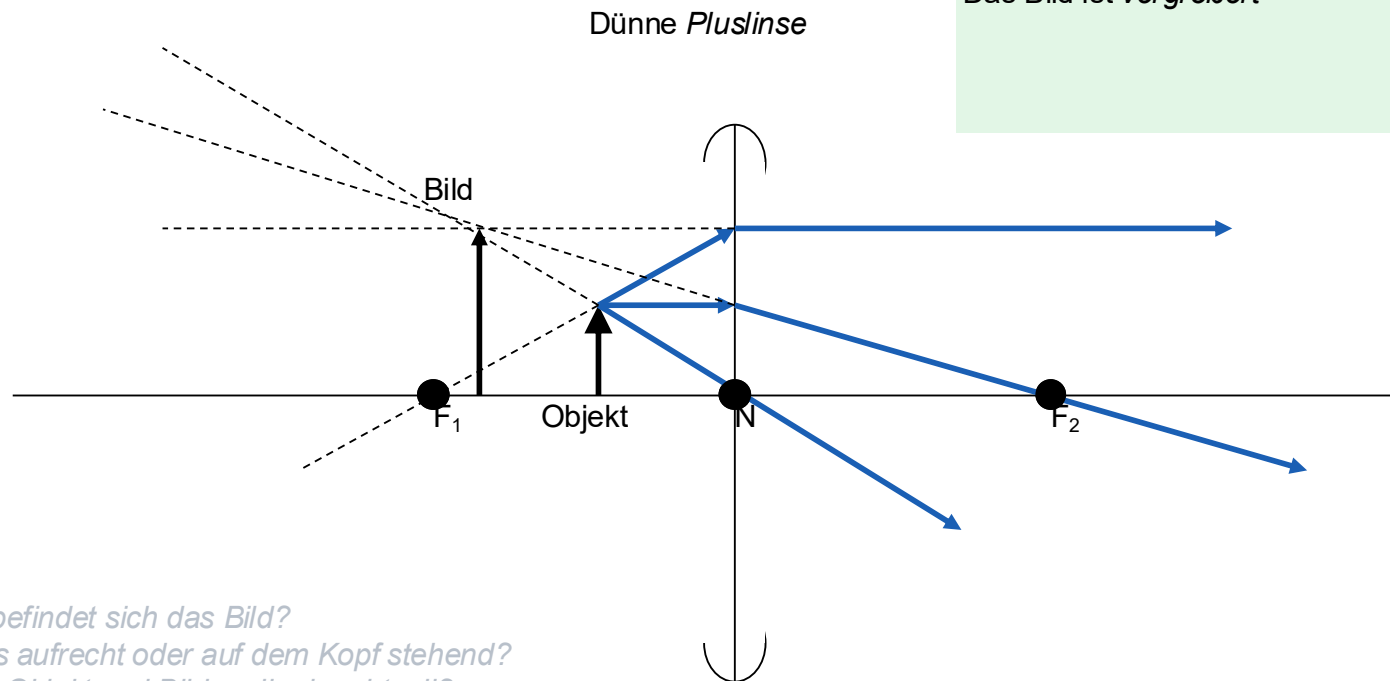
Verlängern Sie die Strahlen, um
den Schnittpunkt zu finden...
Hier befindet sich der *Bildpunkt*
Das Bild steht *aufrecht*



- Wo befindet sich das Bild?
- **Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?**
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

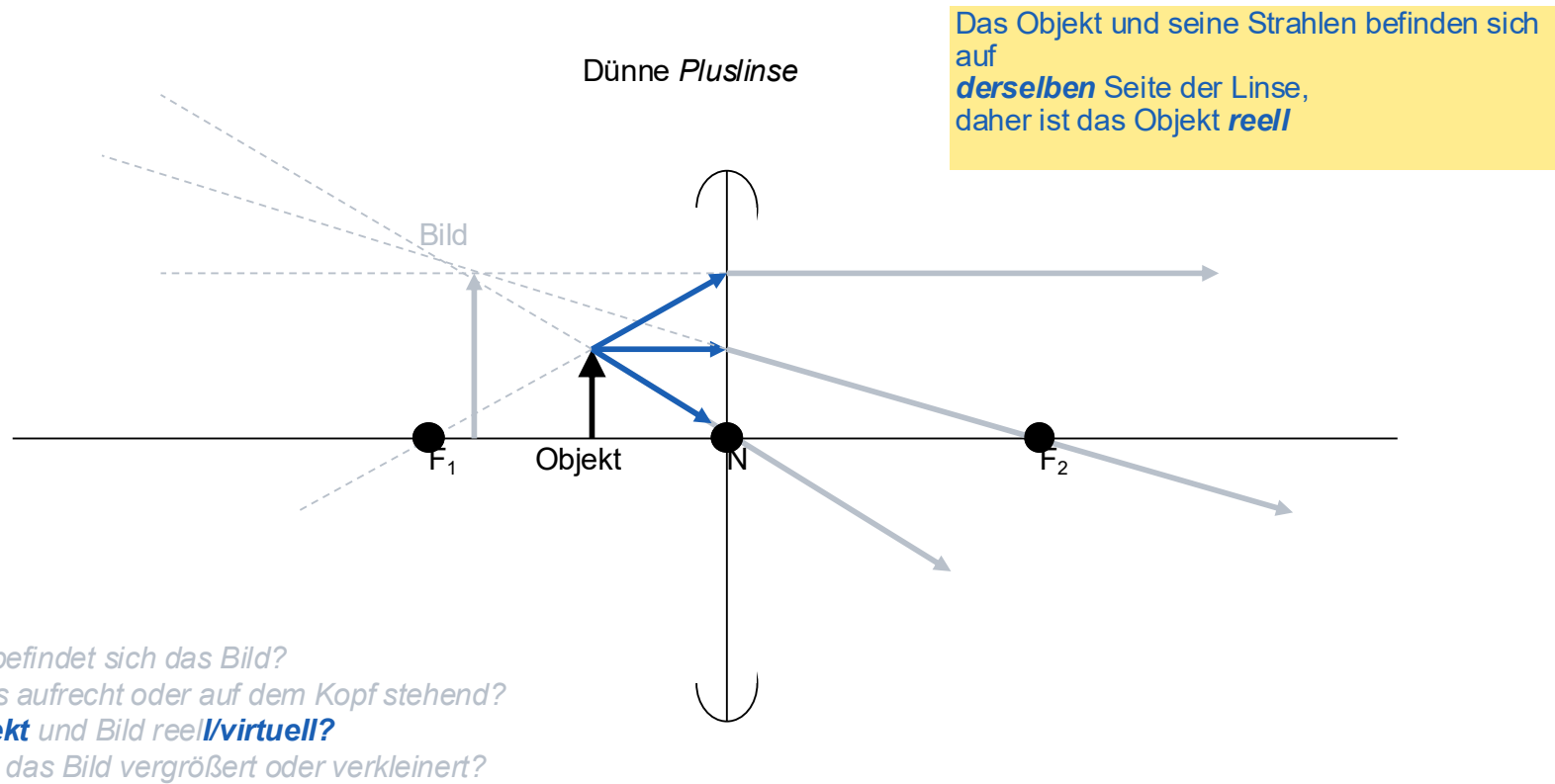
Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Verlängern Sie die Strahlen, um
den Schnittpunkt...
Hier befindet sich der *Bildpunkt*
Das Bild steht *aufrecht*
Das Bild ist *vergrößert*

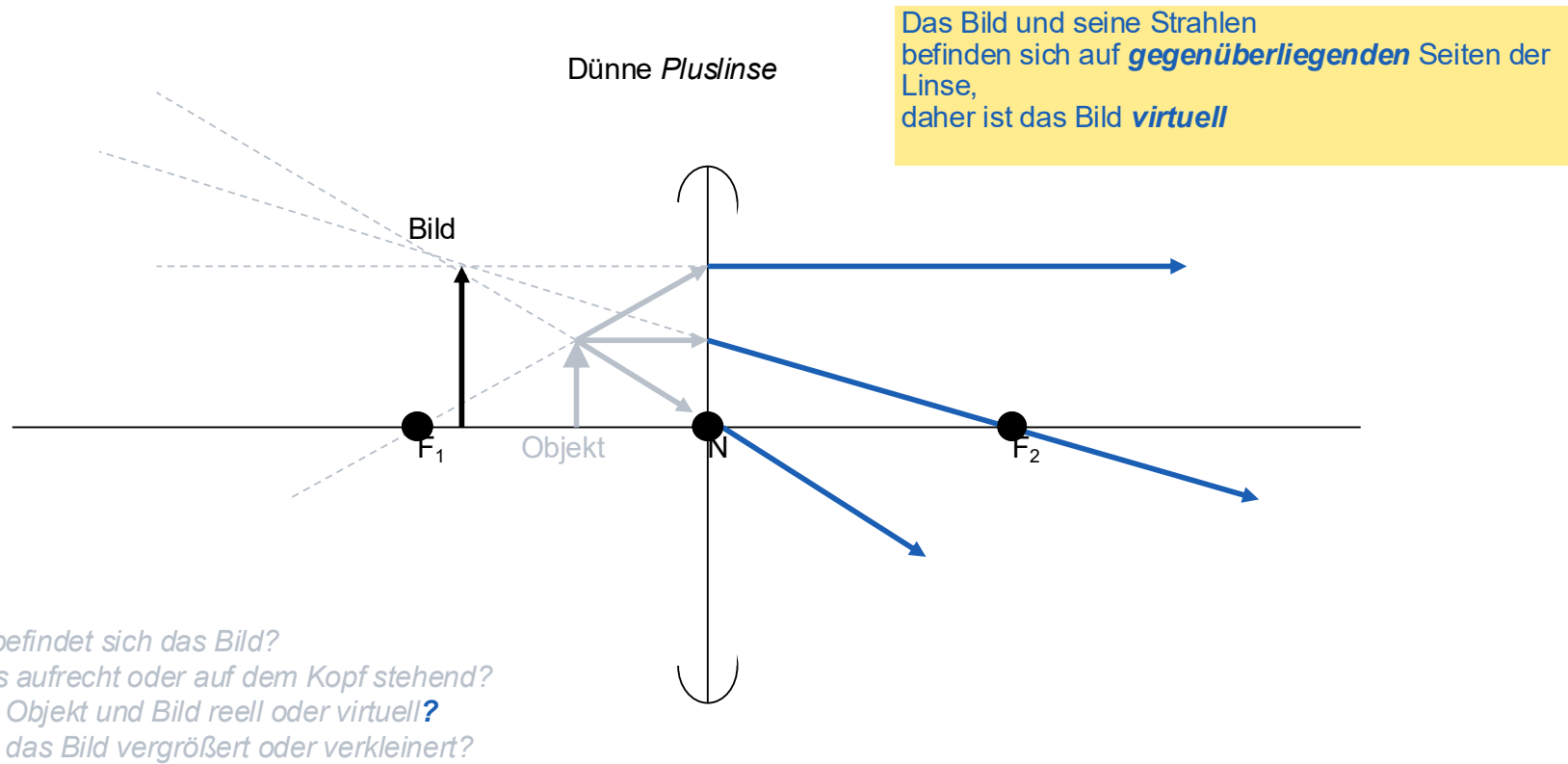


- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- **Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?**

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?



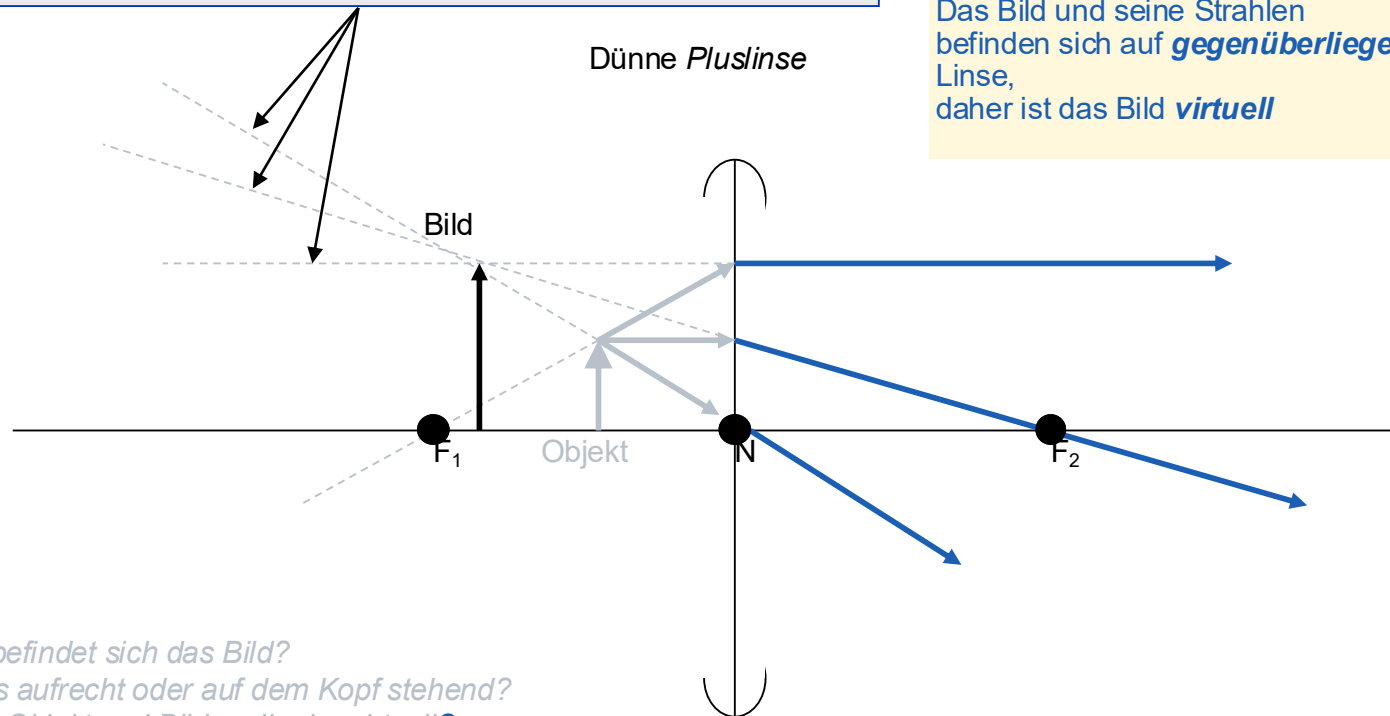
Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?



Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Faustregel: Wenn Sie gestrichelte Linien verwenden müssen, um ein Objekt oder Bild zu definieren, ist es wahrscheinlich **virtuell**

Das Bild und seine Strahlen befinden sich auf **gegenüberliegenden** Seiten der Linse, daher ist das Bild **virtuell**



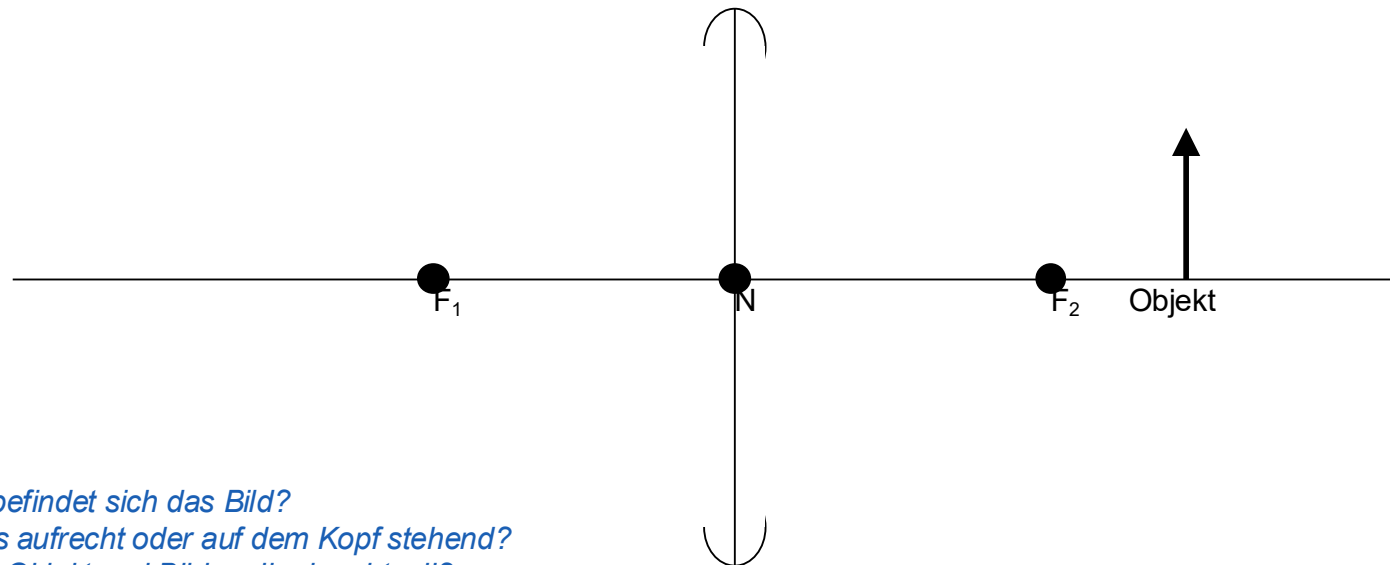
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Versuchen Sie es nun mit diesem
Beispiel...

Denken Sie daran: Bei optischen Aufgaben verläuft das Licht immer in diese Richtung!

Dünne Pluslinse



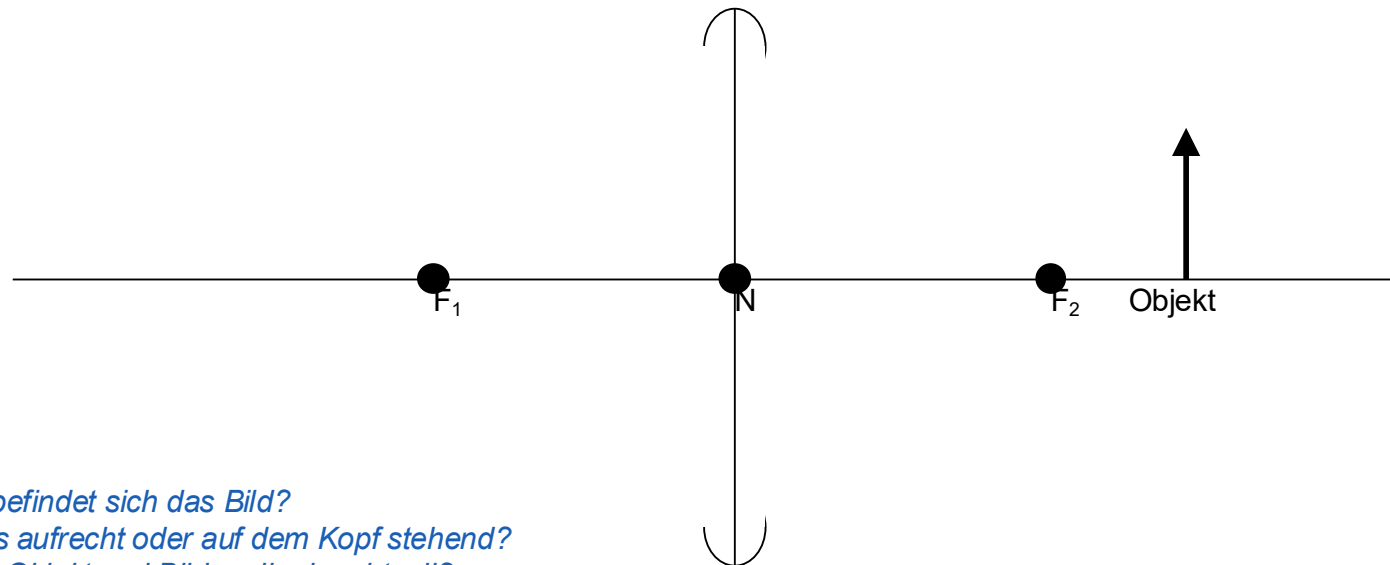
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Versuchen Sie es nun mit diesem
Beispiel...

Zeichnen Sie ein:

Dünne Pluslinse



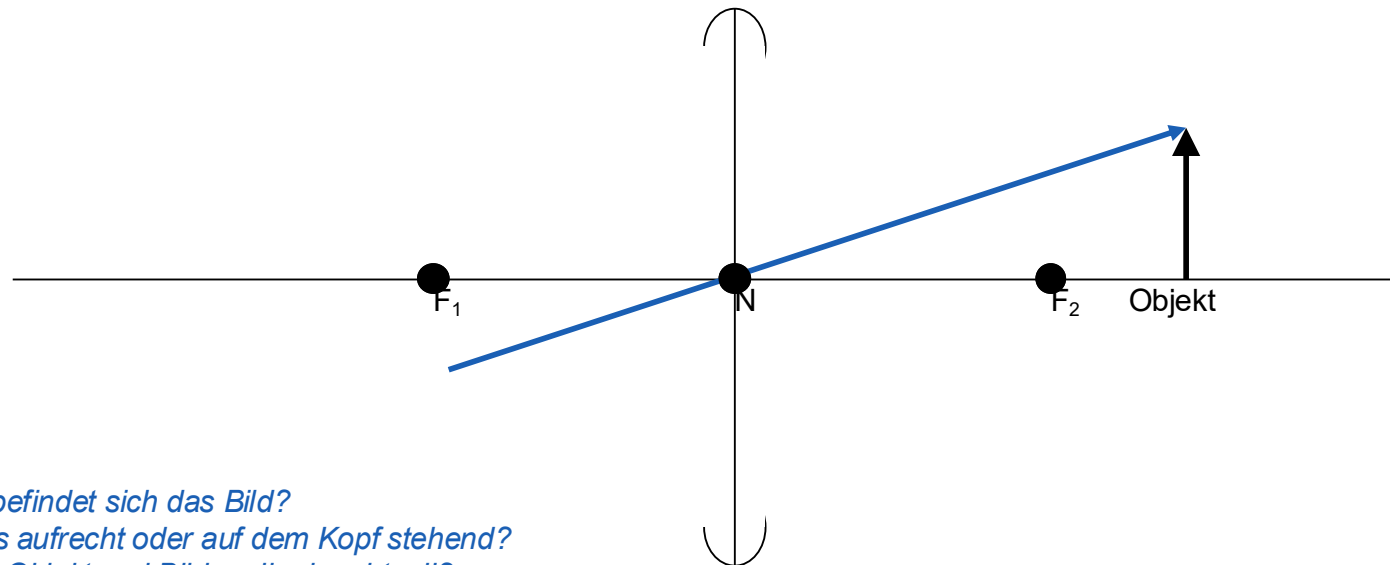
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Versuchen Sie es nun mit diesem
Beispiel...

Zeichnen Sie ein:
Knotenstrahl

Dünne Pluslinse



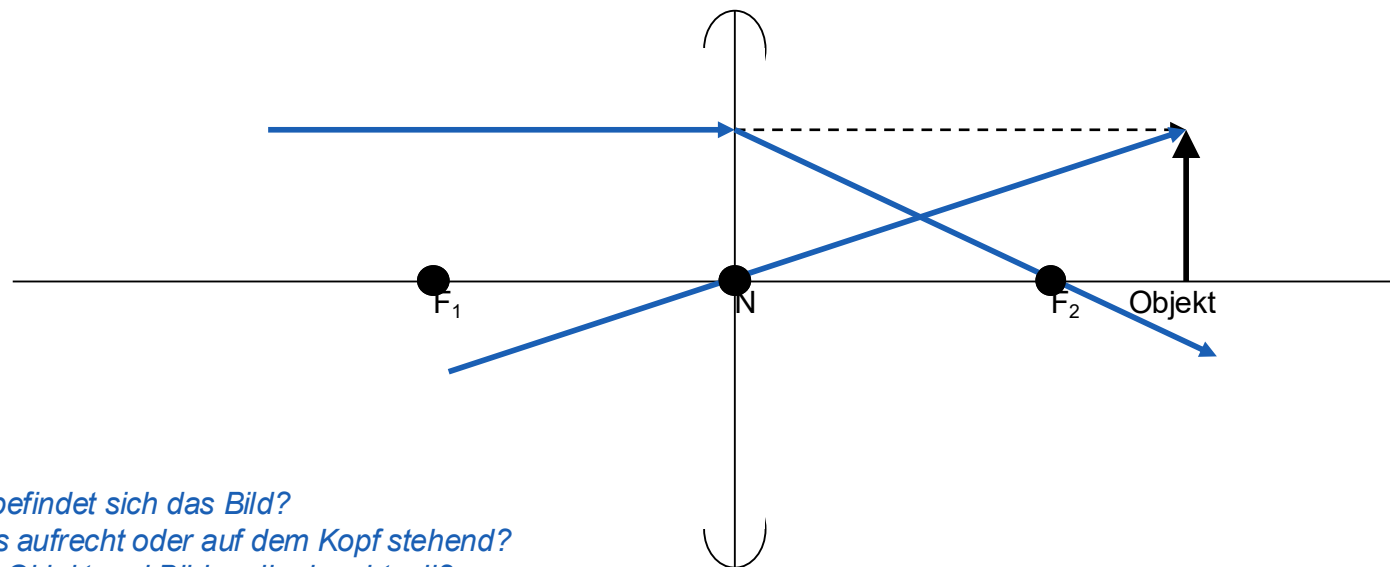
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Versuchen Sie es nun mit diesem
Beispiel...

Zeichnen Sie ein:
Knotenstrahl
Strahl durch den sekundären
Brennpunkt

Dünne Pluslinse



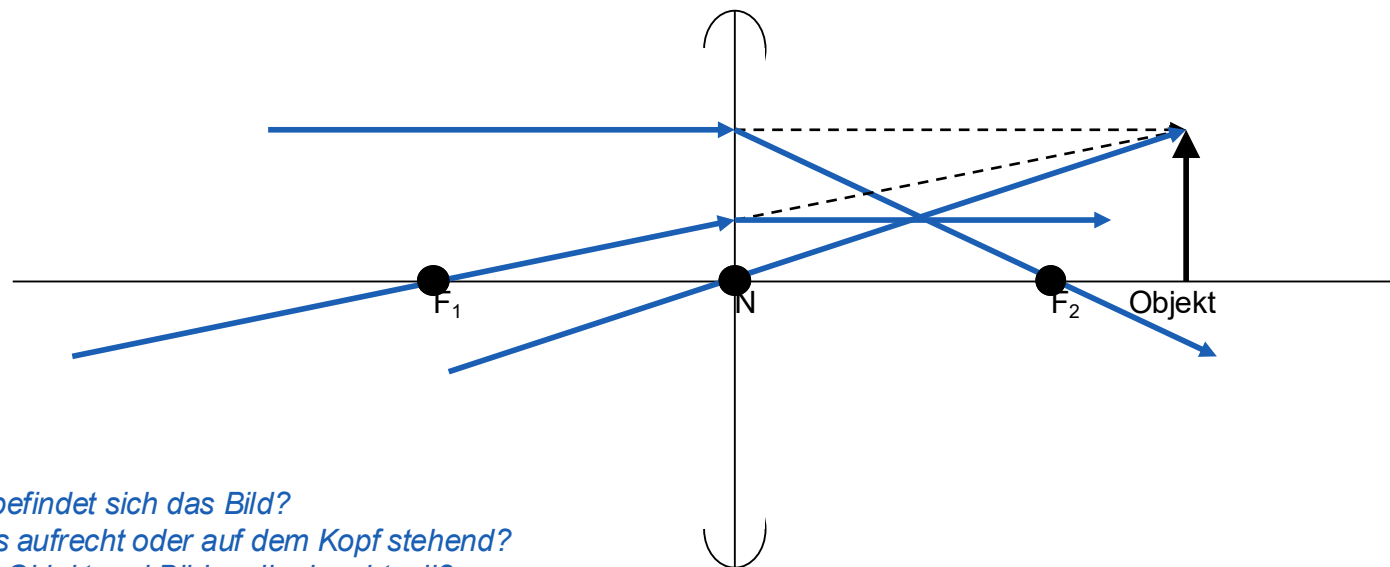
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Versuchen Sie es nun mit diesem
Beispiel...

Zeichnen Sie ein:
Knotenstrahl
Strahl durch den sekundären
Brennpunkt
Strahl durch den primären Brennpunkt

Dünne Pluslinse



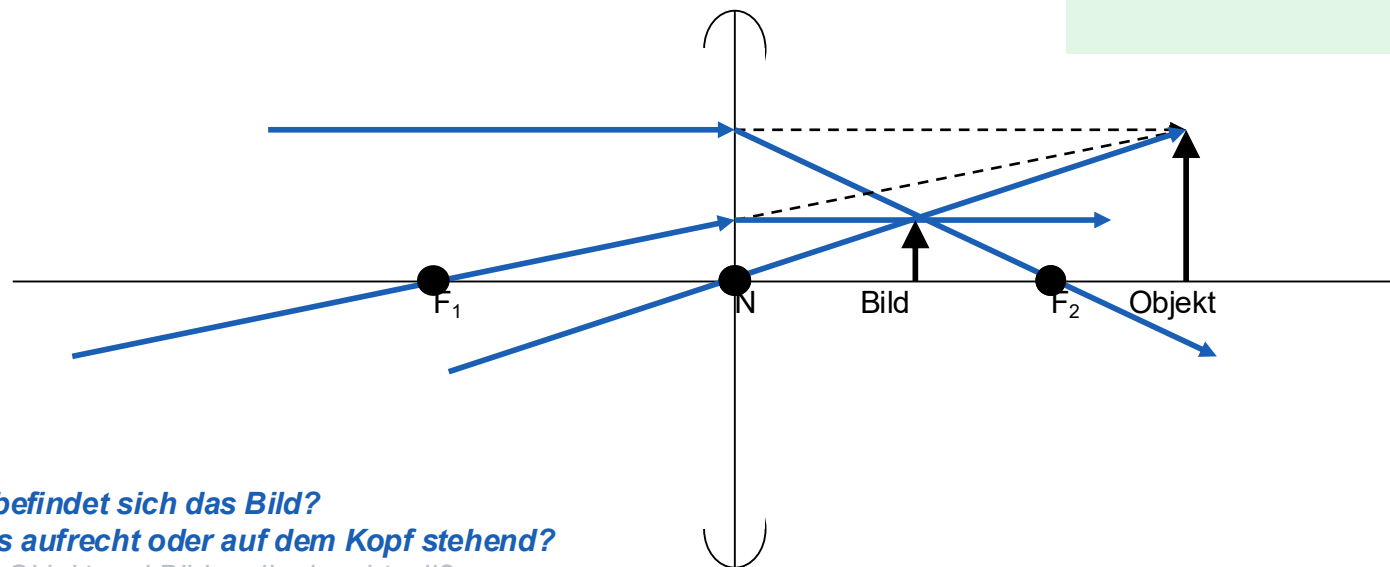
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Versuchen Sie es nun mit diesem
Beispiel...

Hier ist...
Die Lage des Bildes
Das Bild ist *aufrecht*
Das Bild ist *verkleinert*

Dünne Pluslinse



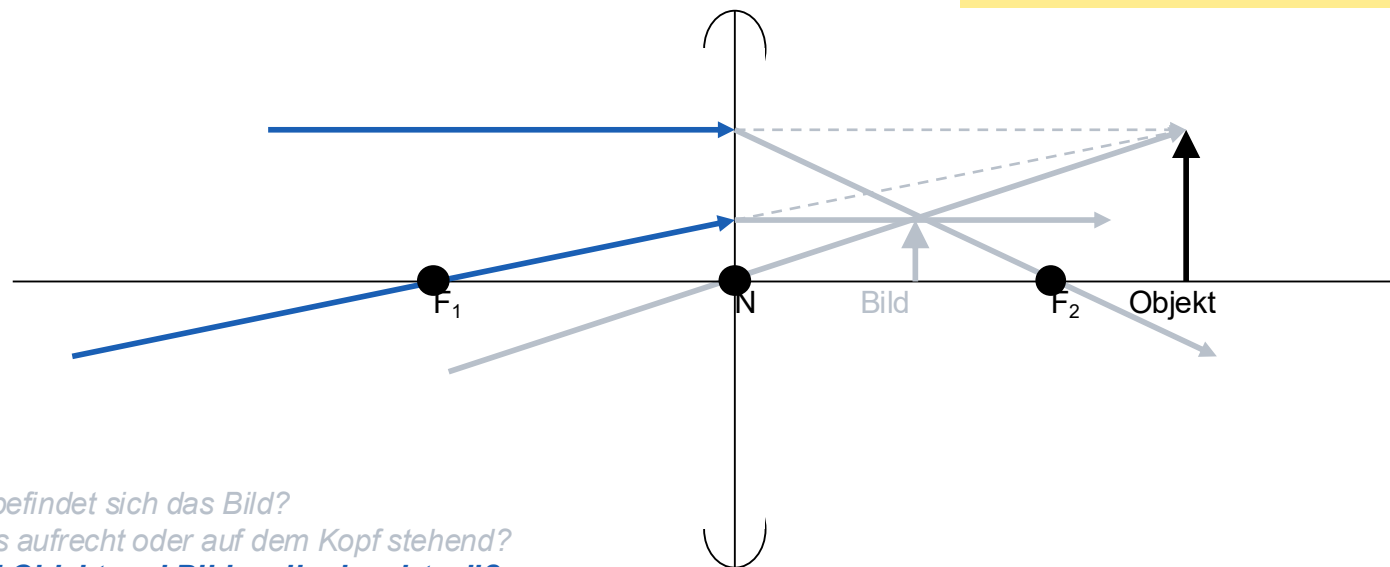
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Versuchen Sie es nun mit diesem
Beispiel...

Das Objekt und seine Strahlen befinden sich
auf
gegenüberliegenden Seiten der Linse,
daher ist das Objekt **virtuell**

Dünne Pluslinse



- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- **Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?**
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

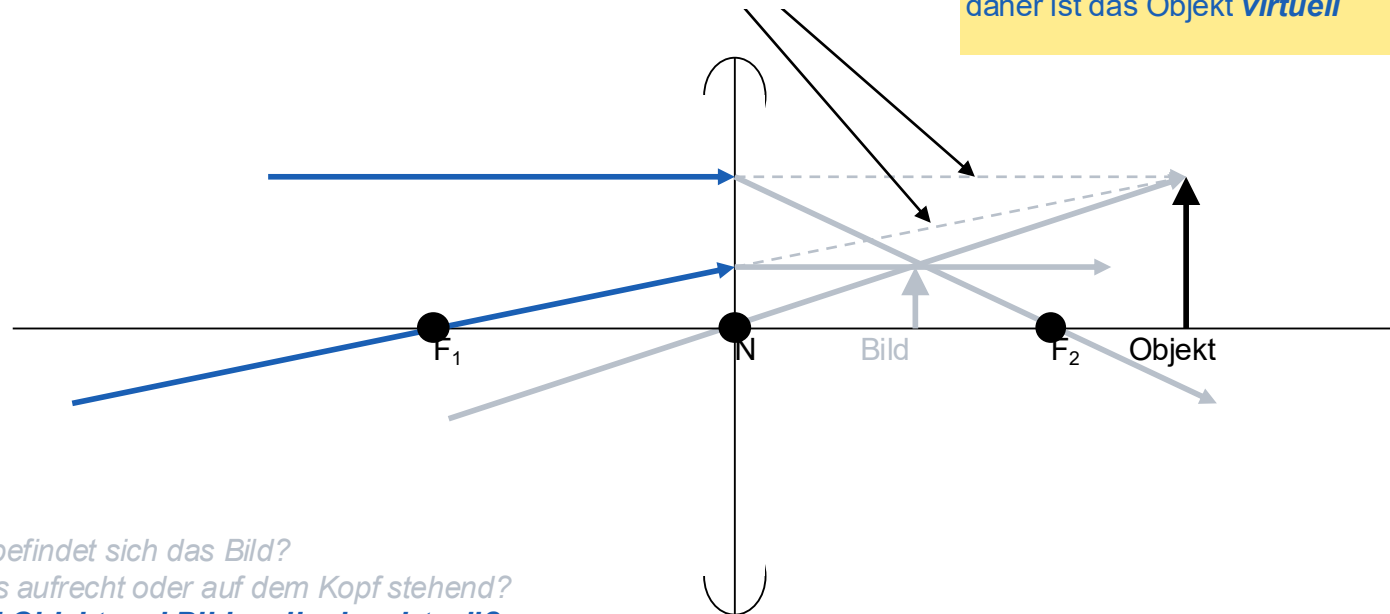
Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Versuchen Sie es nun mit diesem
Beispiel...

Da sind wieder diese gestrichelten Linien...

Dünne Pluslinse

Das Objekt und seine Strahlen befinden sich
auf
gegenüberliegenden Seiten der Linse,
daher ist das Objekt **virtuell**



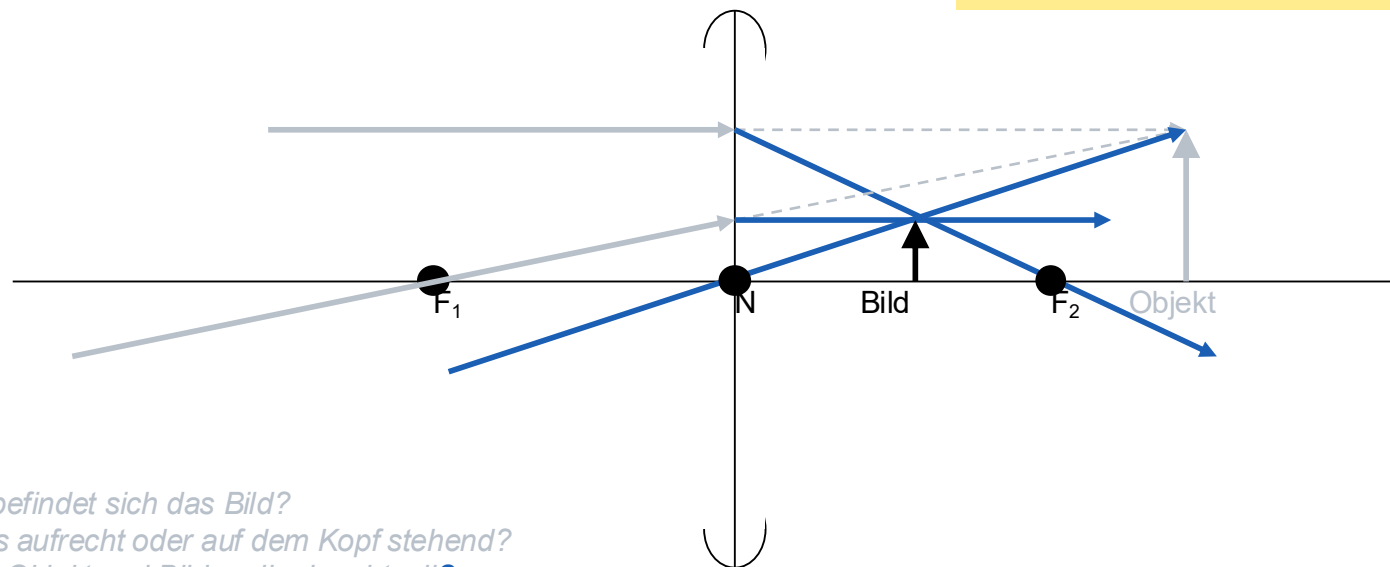
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- **Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?**
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Versuchen Sie es nun mit diesem
Beispiel...

Das Bild und seine Strahlen
befinden sich auf **derselben** Seite der Linse,
daher ist das Bild **reell**

Dünne Pluslinse

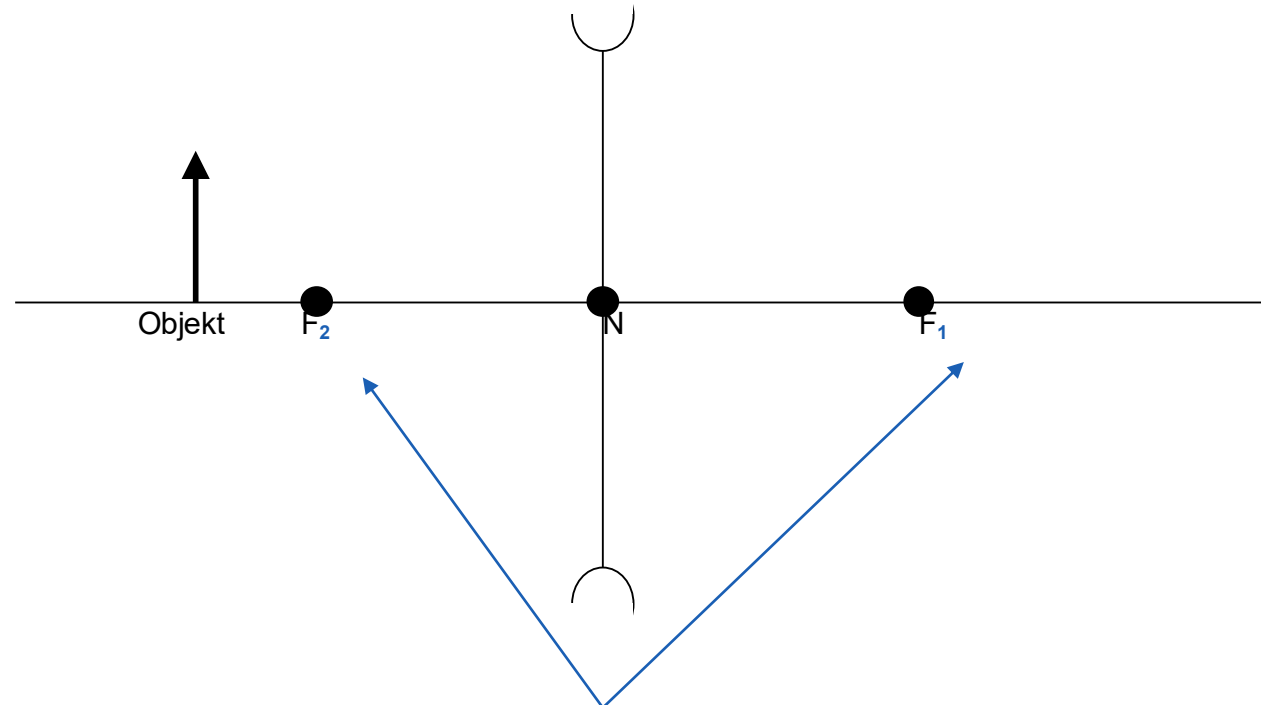


- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Wie verhält es sich mit diesem Objekt und seinem Bild?

Hinweis: Minuslinse!

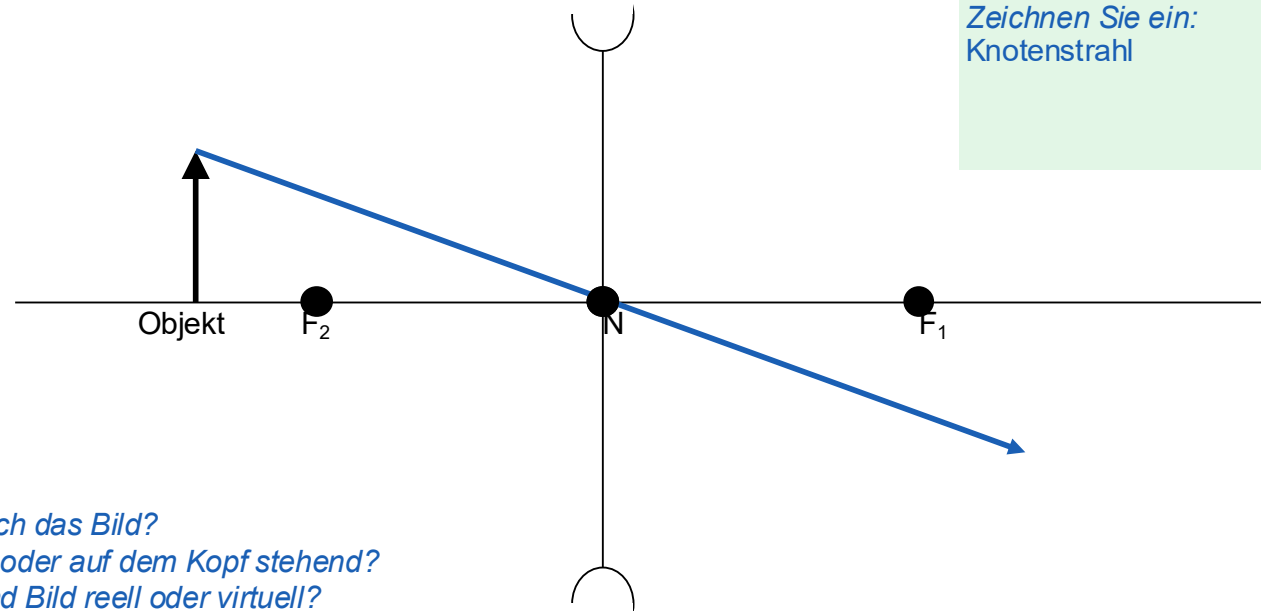
Dünne *Minuslinse*



*Da es sich um eine Minuslinse handelt, haben die Brennpunkte **die Seite gewechselt***



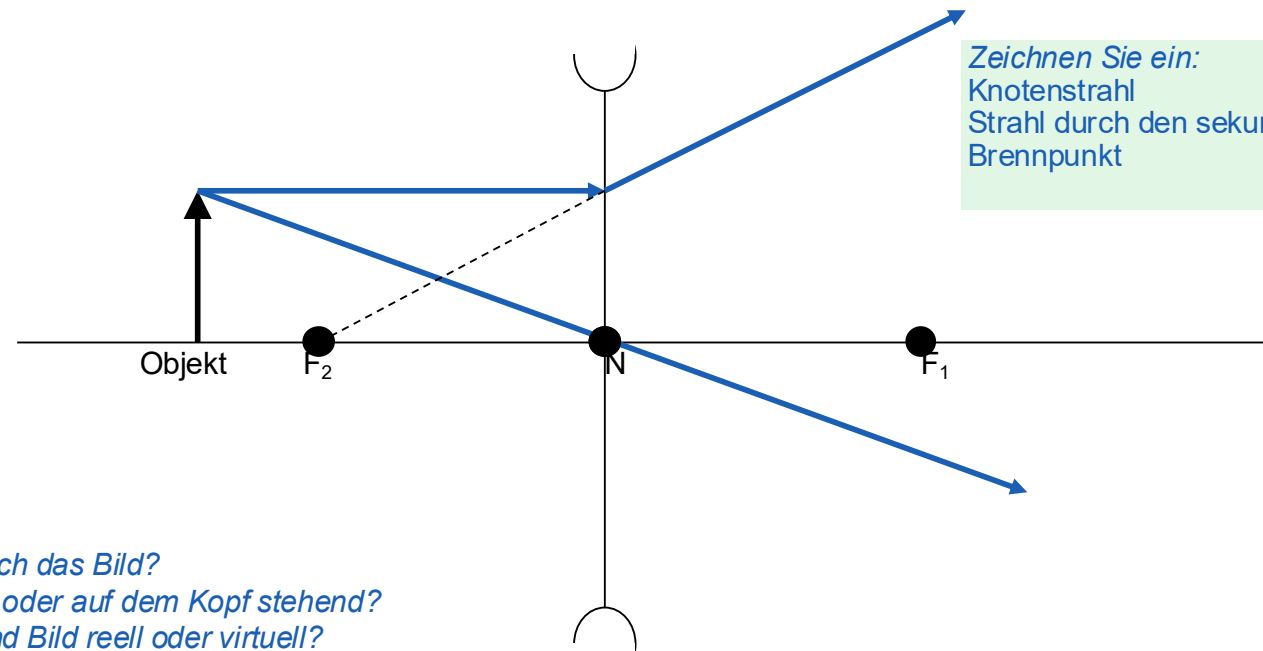
Dünne *Minus*-Linse



Zeichnen Sie ein:
Knotenstrahl

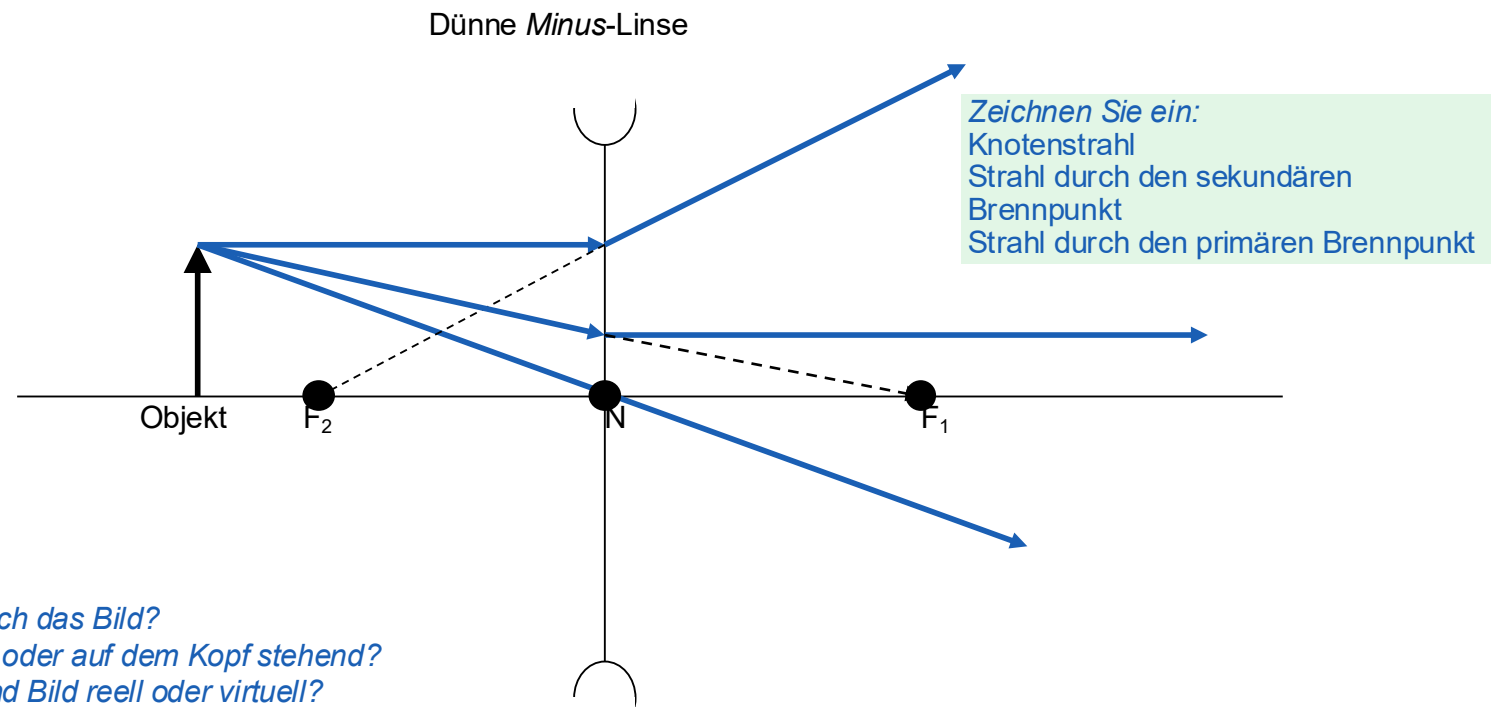
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Dünne *Minus*-Linse



Zeichnen Sie ein:
Knotenstrahl
Strahl durch den sekundären
Brennpunkt

- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

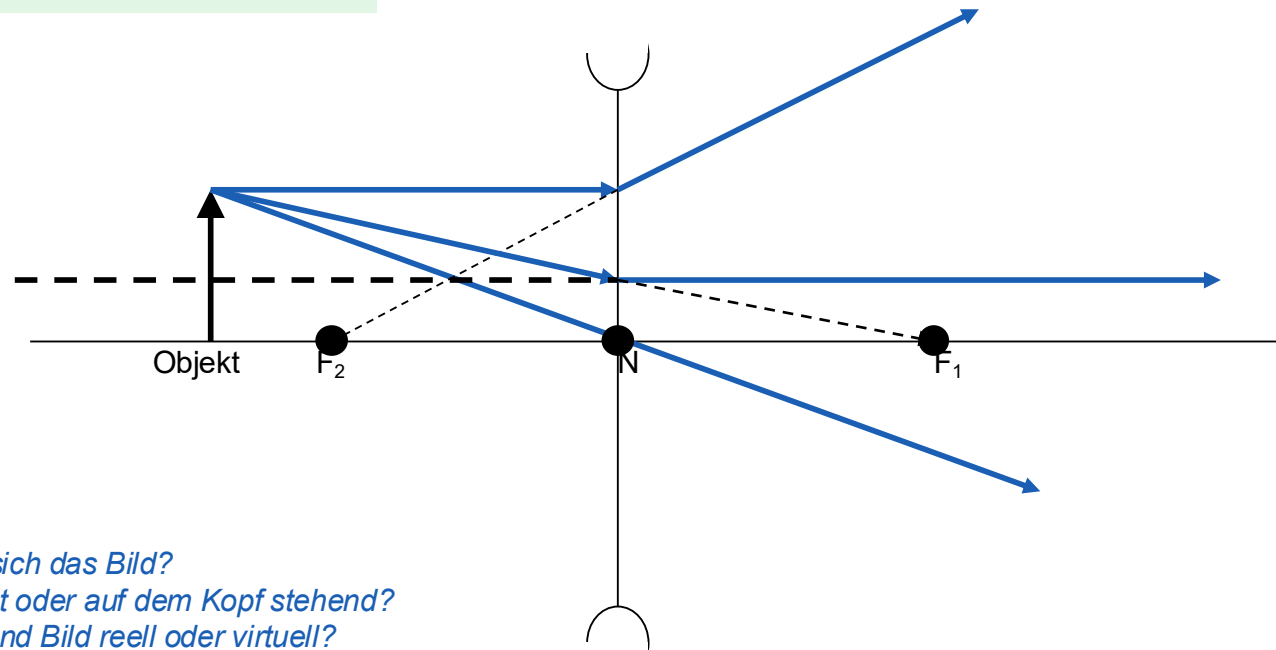


- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Verlängern Sie die Strahlen, um den Schnittpunkt zu finden...

Nicht unbedingt notwendig; wir hätten das Bild mit den beiden anderen Strahlen identifizieren können

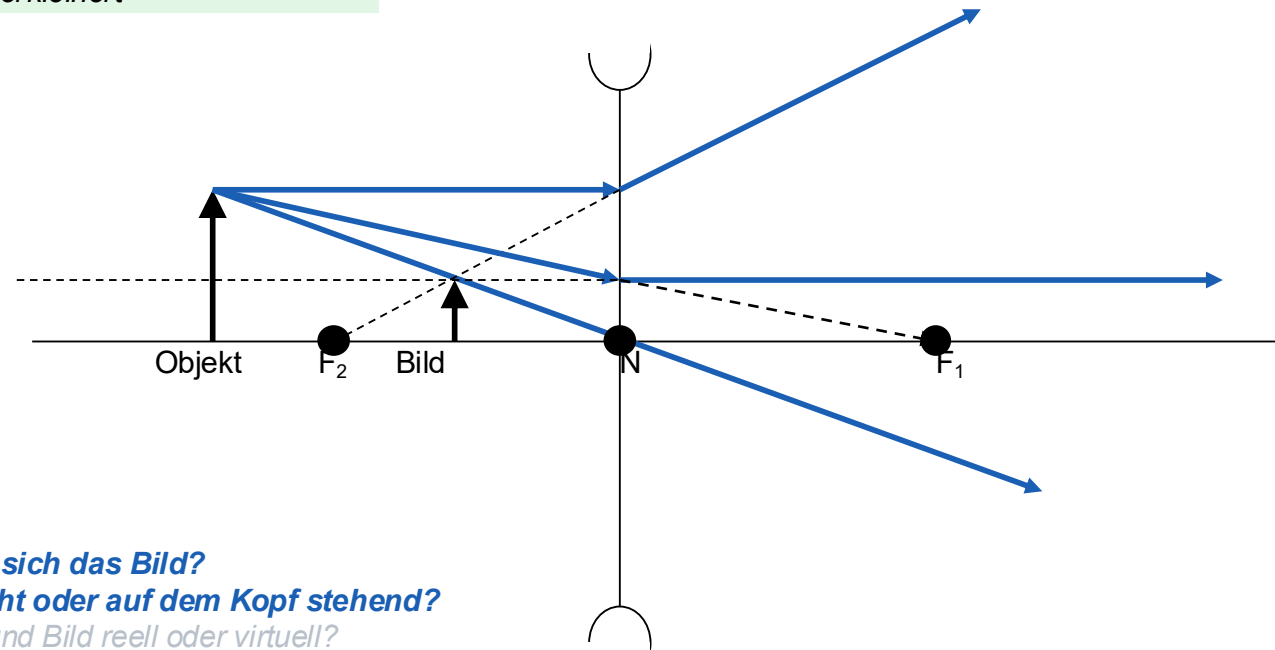
Dünne *Minus*-Linse



- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Verlängern Sie die Strahlen, um
den Schnittpunkt zu finden...
Hier befindet sich das Bild
Das Bild steht *aufrecht*
Das Bild ist *verkleinert*

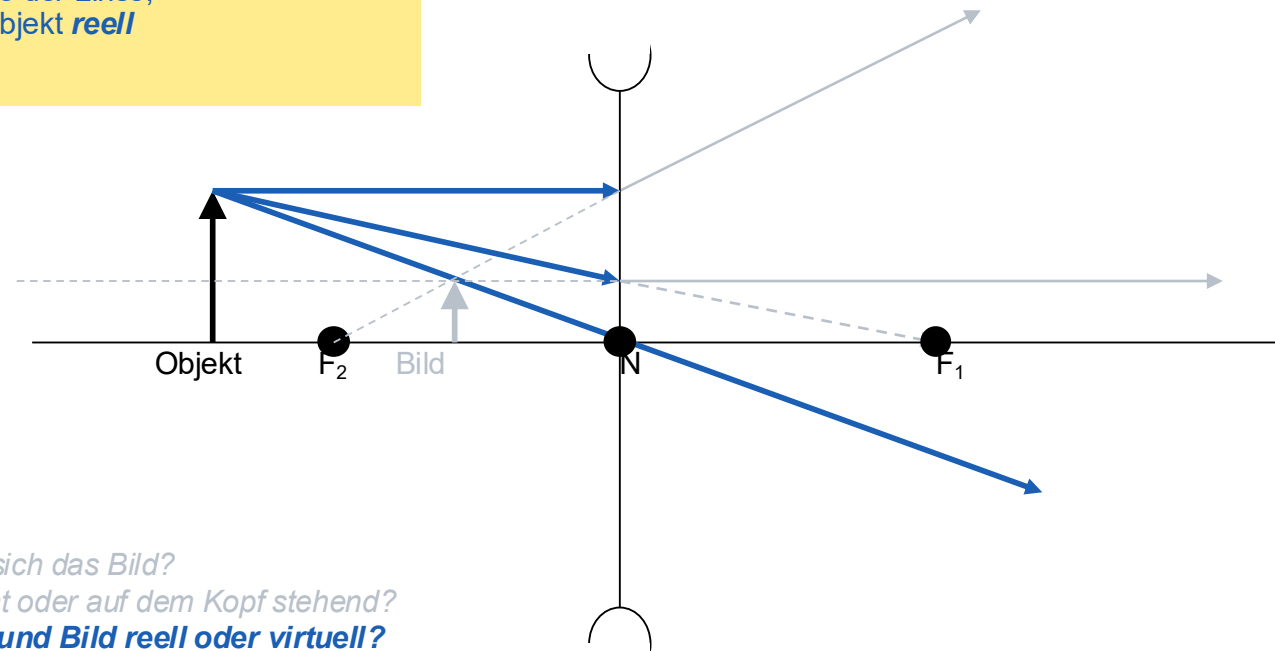
Dünne *Minus*-Linse



- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Das Objekt und seine Strahlen liegen auf **derselben** Seite der Linse, daher ist das Objekt **reell**

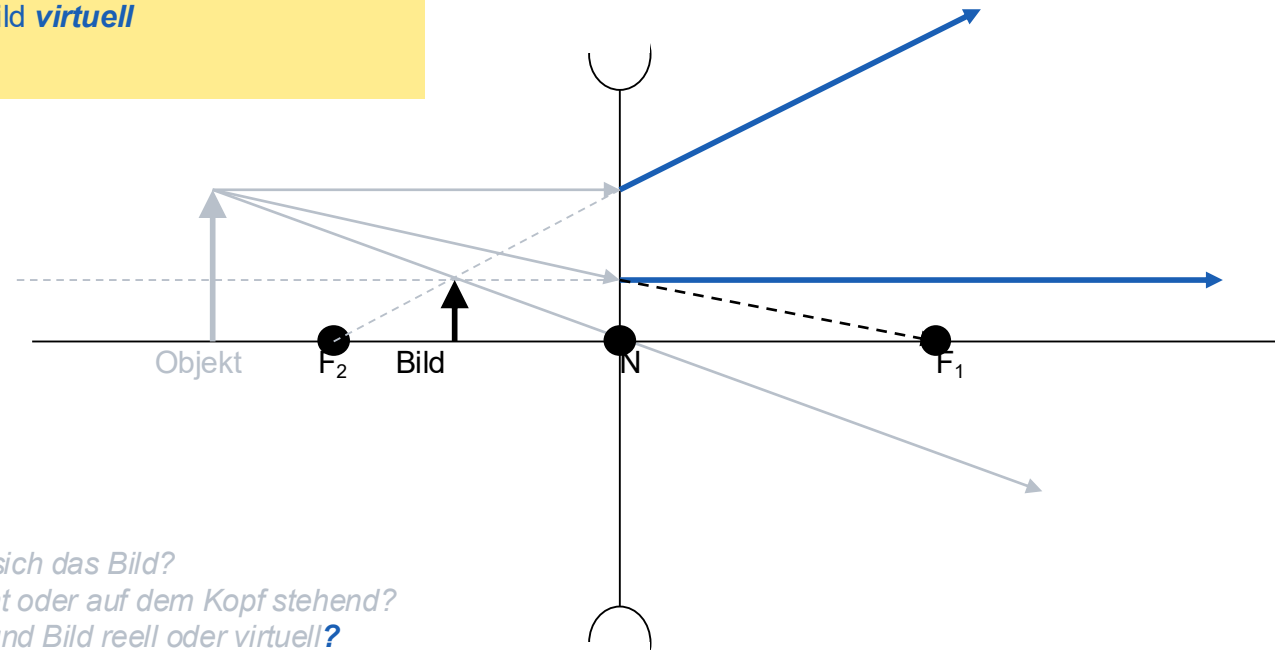
Dünne *Minus*-Linse



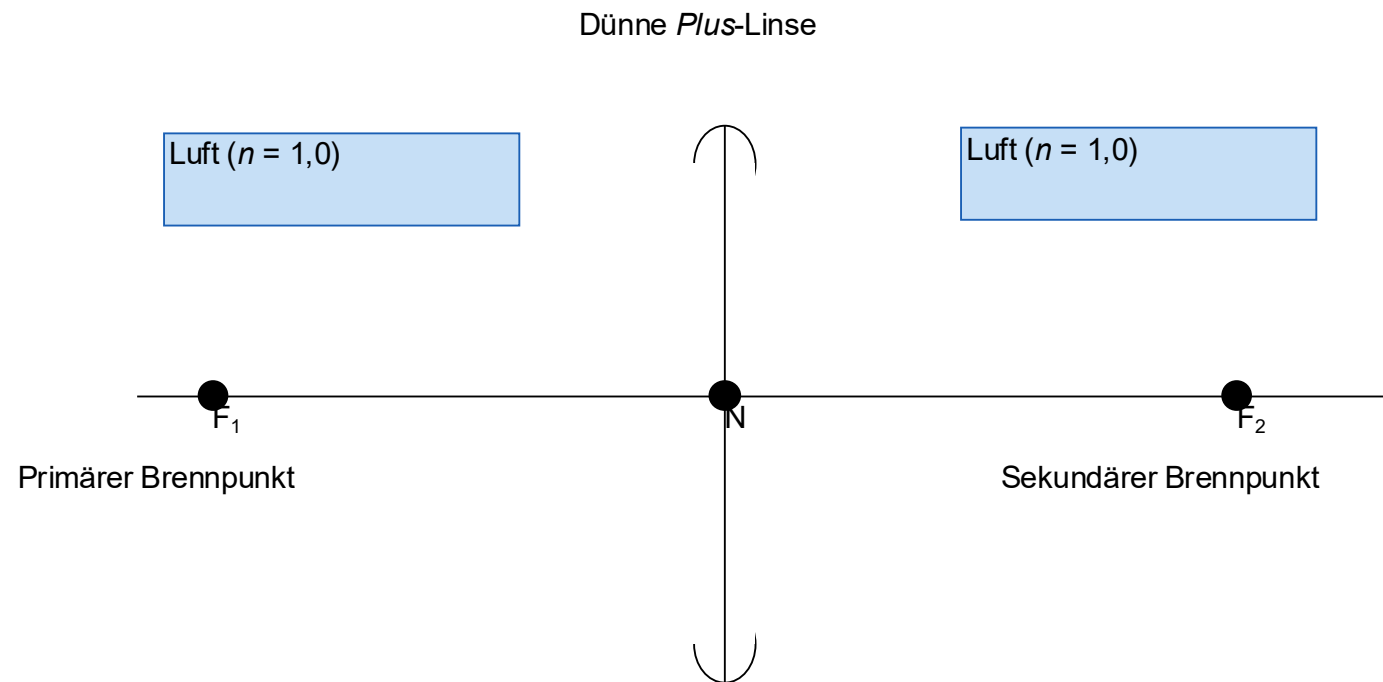
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- **Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?**
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?

Das Bild und seine Strahlen liegen auf **gegenüberliegenden** Seiten der Linse, daher ist das Bild **virtuell**

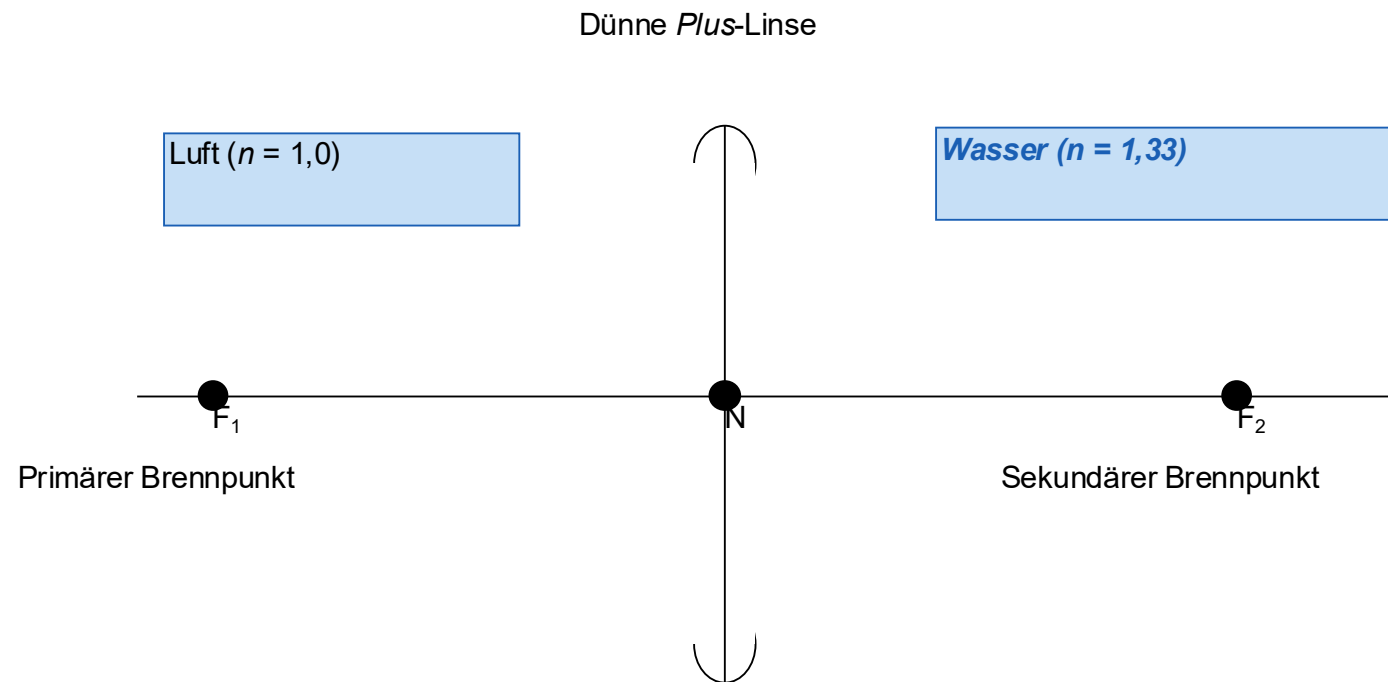
Dünne *Minuslinse*



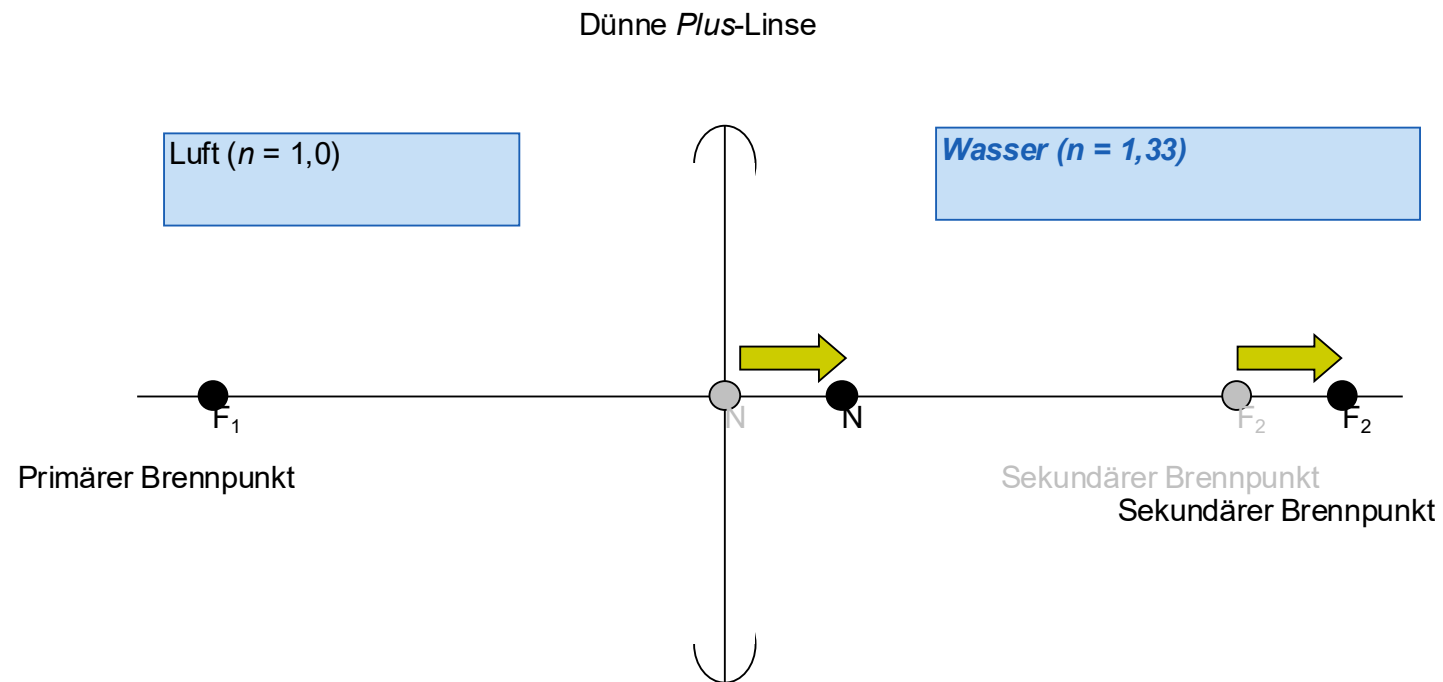
- Wo befindet sich das Bild?
- Ist es aufrecht oder auf dem Kopf stehend?
- Sind Objekt und Bild reell oder virtuell?
- Wird das Bild vergrößert oder verkleinert?



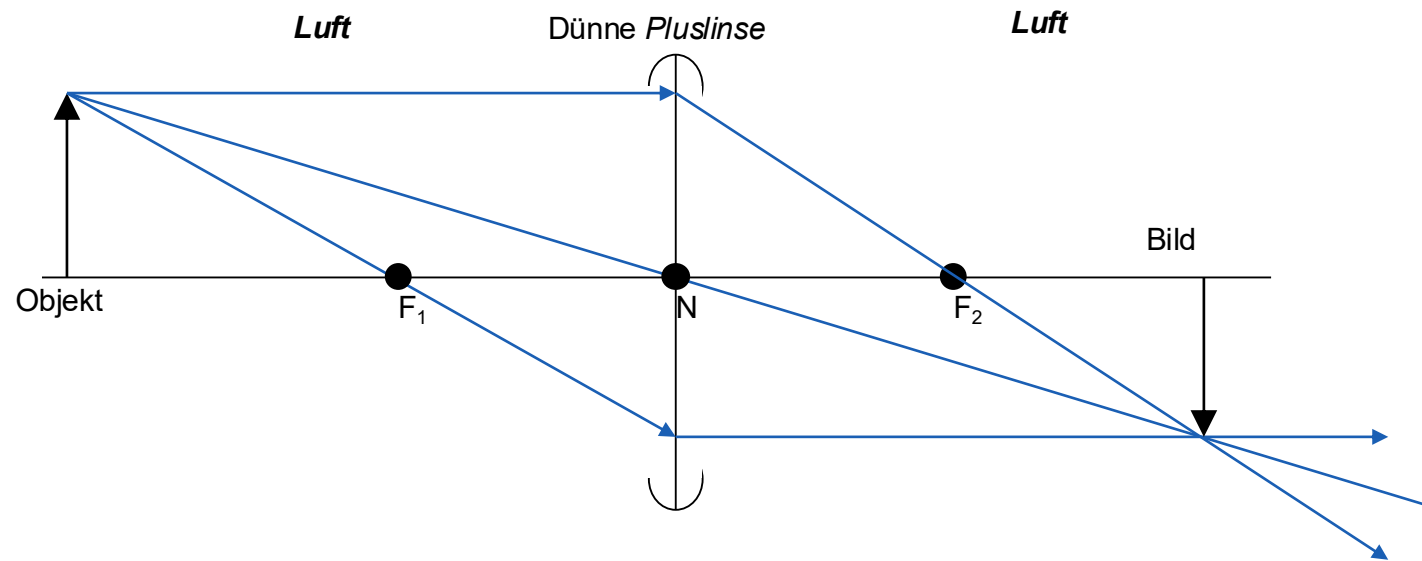
Anmerkung: In der bisherigen Erörterung sind wir davon ausgegangen, dass der Brechungsindex auf beiden Seiten der Linse gleich ist.



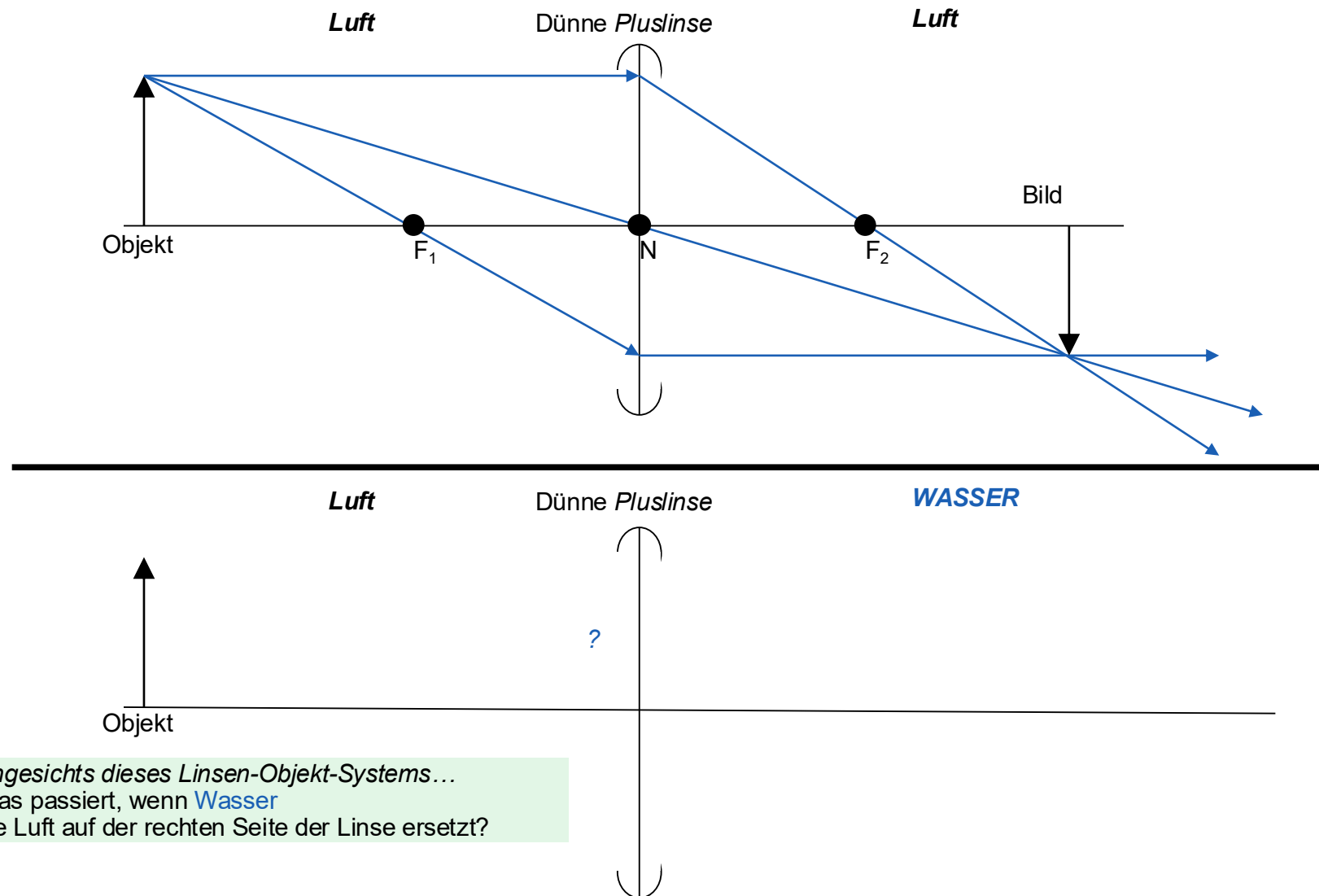
Anmerkung: In der bisherigen Erörterung sind wir davon ausgegangen, dass der Brechungsindex auf beiden Seiten der Linse gleich ist. **Was wäre, wenn dies nicht der Fall wäre?**



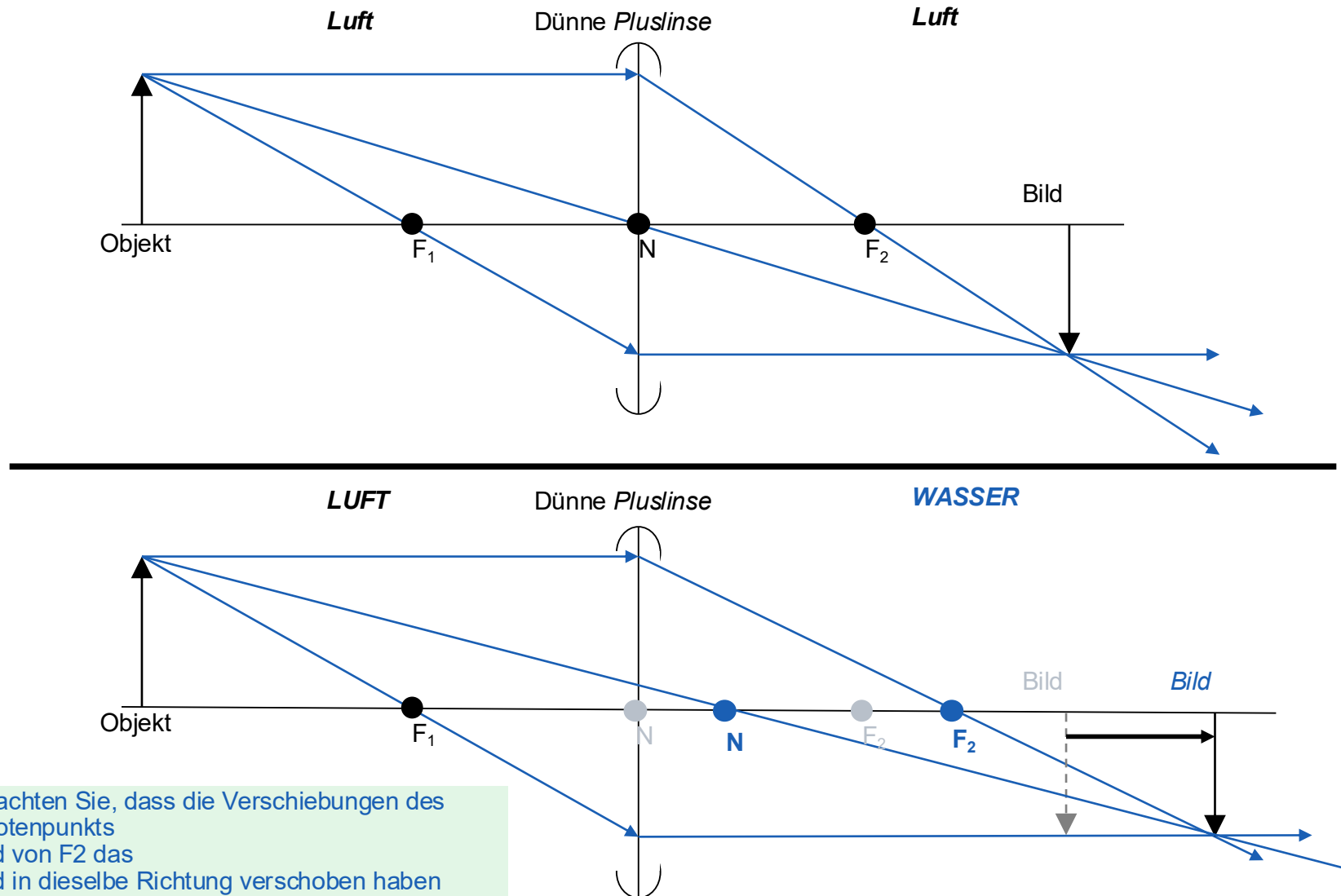
Wenn n auf beiden Seiten der Linse nicht gleich ist, wird der Knotenpunkt auf die Seite mit dem höheren n gezogen, und die Brennweite auf dieser Seite wird *länger*



Angesichts dieses Linsen-Objekt-Systems...



Angeichts dieses Linsen-Objekt-Systems...
Was passiert, wenn Wasser
die Luft auf der rechten Seite der Linse ersetzt?





An dieser Stelle sollten Sie Ihr Wissen über Optik anhand von Quiz 4 (Foliensatz BO30) überprüfen. [Setzen Sie das Tutorial anschließend mit dem Foliensatz BO20 fort.](#)



Originalfolien

Steven B. Flynn, MD, PhD

Deutsche Bearbeitung

Dr. med. A. Assaf · Universitätsklinikum Ulm

Fachliche Begutachtung (Optik)

Dr. med. L. Hartmann