



Grundlagen der Lichtbrechung

Grundlagen der Optik, Kapitel 16

- In diesem Kapitel werden wir das für die klinische Optik so wichtige „Strahlen“-Modell des Lichts näher erläutern
 - Insbesondere werden wir genauer untersuchen, warum Strahlen ihre Richtung ändern, wenn sie auf optisch aktive Substanzen treffen



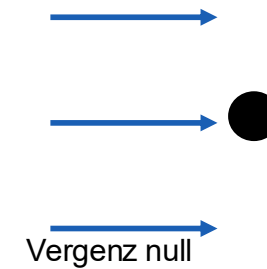
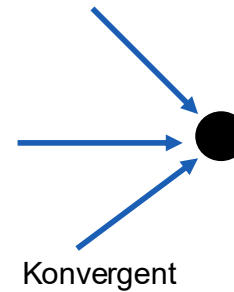
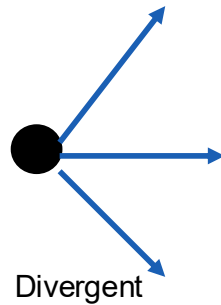
Lehre Augenheilkunde

U UNIVERSITÄTS
KLINIKUM
ulm

- In diesem Kapitel werden wir das für die klinische Optik so wichtige „Strahlen“-Modell des Lichts näher erläutern
 - Insbesondere werden wir genauer untersuchen, warum Strahlen ihre Richtung ändern, wenn sie auf optisch aktive Substanzen treffen
- In den folgenden Kapiteln werden wir die Regeln untersuchen, die den Durchgang von Strahlen durch Linsen bestimmen – Regeln, die Folgendes festlegen:
 - die **Lage** der Bilder
 - die **Ausrichtung** von Bildern
 - den **Status** (d. h. reell vs. virtuell) von Bildern (und Objekten!)
 - die **Vergrößerung** von Bildern

- In diesem Kapitel werden wir das für die klinische Optik so wichtige „Strahlen“-Modell des Lichts näher erläutern
 - Insbesondere werden wir genauer untersuchen, warum Strahlen ihre Richtung ändern, wenn sie auf optisch aktive Substanzen treffen
- In den folgenden Kapiteln werden wir die Regeln untersuchen, die den Durchgang von Strahlen durch Linsen bestimmen – Regeln, die Folgendes festlegen:
 - die **Lage** der Bilder
 - die **Ausrichtung** von Bildern
 - den **Status** (d. h. reell vs. virtuell) von Bildern (und Objekten!)
 - die **Vergrößerung** von Bildern
- ***Doch zunächst ein ganz kurzer Rückblick...***

- Der Begriff „*Vergenz*“ beschreibt, wie sich Lichtstrahlen zueinander verhalten
- In Bezug auf einen bestimmten Punkt können Lichtstrahlen:
 - auseinanderlaufen (**divergieren**)
 - zusammenlaufen (**konvergieren**)
 - parallel verlaufen (**Vergenz = Null**)





- Zwei grundlegende Arten von sphärischen Linsen



- Zwei grundlegende Arten von sphärischen Linsen

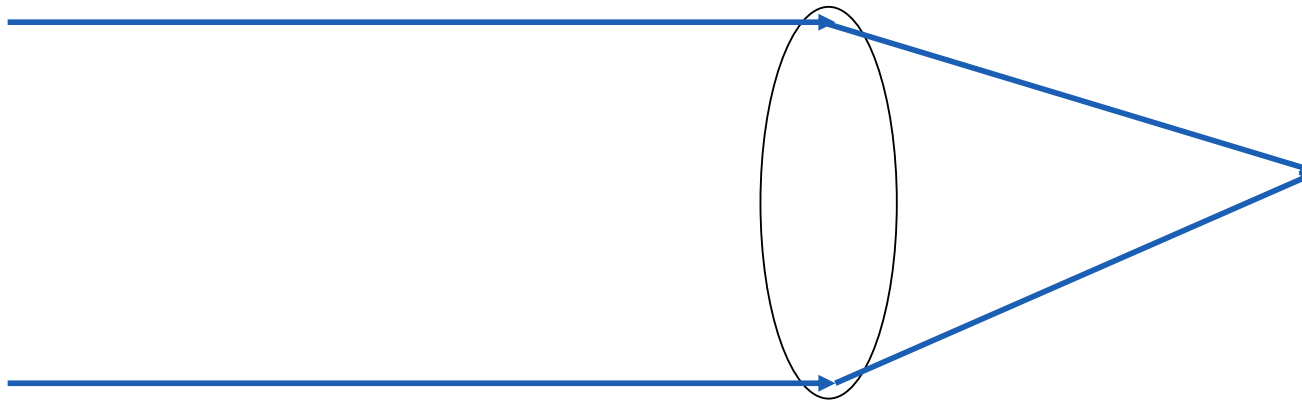
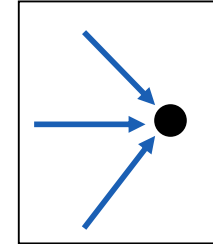
- Plus



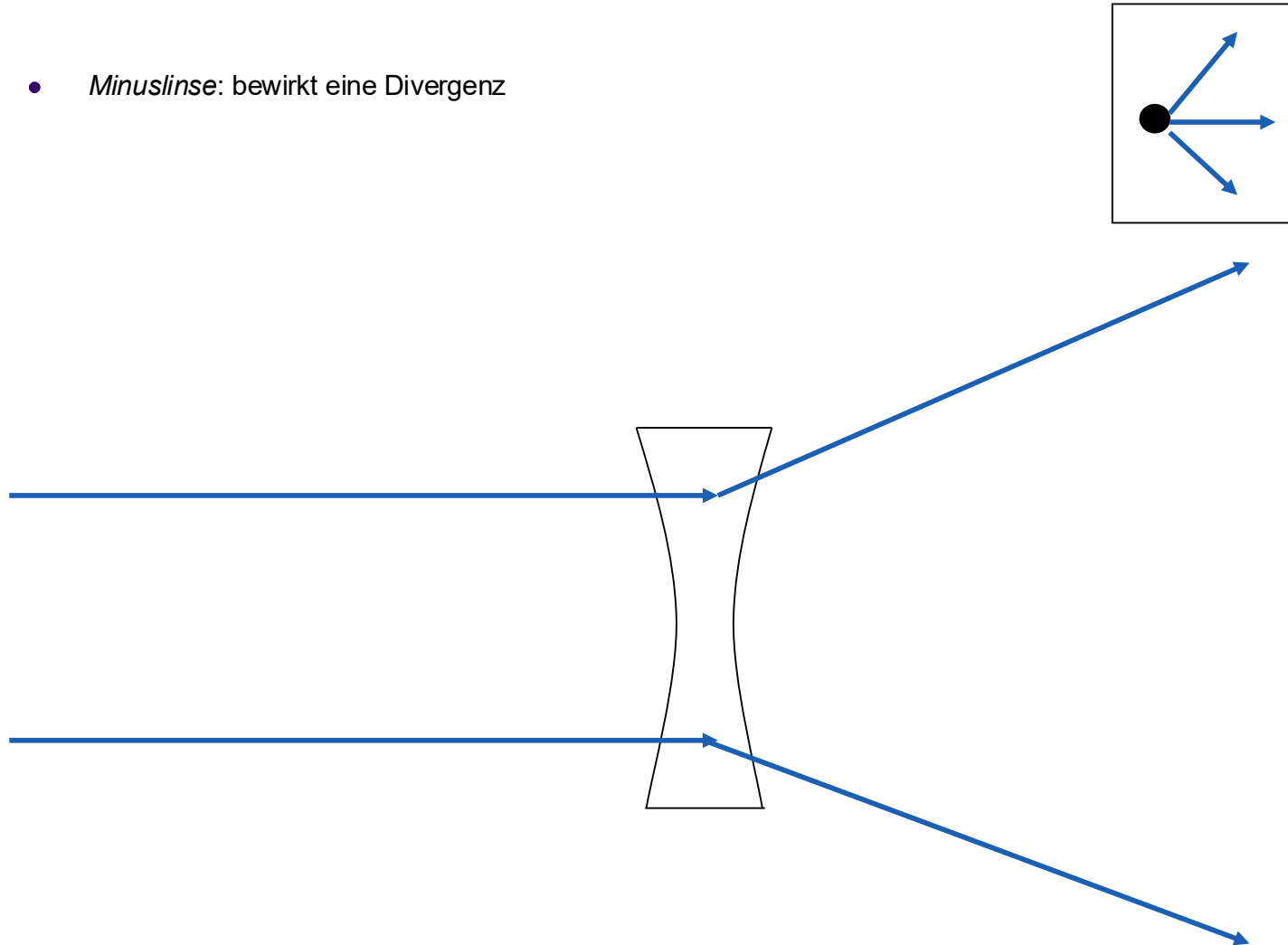
- Minus



- *Pluslinse*: bewirkt eine Konvergenz



- *Minuslinse*: bewirkt eine Divergenz





- *Warum ändert das Licht seine Richtung, wenn es durch eine Linse tritt?*

- *Warum ändert das Licht seine Richtung, wenn es durch eine Linse tritt?* Weil Licht langsamer wird, wenn es auf eine Substanz trifft, die optisch dichter ist



- *Warum ändert das Licht seine Richtung, wenn es durch eine Linse tritt?* Weil Licht langsamer wird, wenn es auf eine Substanz trifft, die optisch dichter ist
 - Genauso wie man sich in der Luft schneller fortbewegen kann als im Wasser, kann Licht manche Substanzen schneller durchdringen als andere
 - Wie stark sich das Licht verlangsamt, hängt davon ab, wie optisch dicht die Substanz ist



- Warum ändert das Licht seine Richtung, wenn es durch eine Linse tritt? Weil Licht langsamer wird, wenn es auf eine Substanz trifft, die optisch dichter ist
 - Genauso wie man sich in der Luft schneller fortbewegen kann als im Wasser, kann Licht manche Substanzen schneller durchdringen als andere
 - Wie stark sich das Licht verlangsamt, hängt davon ab, wie optisch dicht die Substanz ist

Das Gegenteil trifft ebenfalls zu – Licht **beschleunigt sich**, wenn es von einer optisch dichteren Substanz in eine optisch weniger dichte Substanz übergeht!



- Die Fähigkeit eines Materials, die Ausbreitung von Licht zu verlangsamen (d. h. seine optische Dichte), wird als Verhältnis ausgedrückt – der *Brechungsindex* (n)



$$\frac{\text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum}}{\text{Lichtgeschwindigkeit im Material}}$$



= Der *Brechungsindex* (n) des Materials



- Die Fähigkeit eines Materials, die Ausbreitung von Licht zu verlangsamen (d. h. seine optische Dichte), wird als Verhältnis ausgedrückt – der *Brechungsindex* (n)

Hinweis: Der Brechungsindex ist auch eine Funktion der *Wellenlänge* des Lichts. Dies ist die Ursache für das als *chromatische Aberration* bekannte Phänomen. Dies wird später wichtig sein, wenn wir den *Duochrom-Test* besprechen.



- Da die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum die höchstmögliche Geschwindigkeit ist, **kann n nicht** kleiner als 1,0 sein
 - Für praktische Zwecke gilt: $n(\text{Luft}) = 1,0$

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
Lichtgeschwindigkeit in einem Material = Der *Brechungsindex* (n) des Materials





- Einige wichtige *Zahlen*:
 - Wasser: 1,33
 - Kammerwasser/Glaskörper: 1,34
 - Brillenglas (Kronglas): 1,52
 - Kunststoffe *mit hohem Brechungsindex*: bis zu ~1,9
 - Hornhaut: 1,376

$$\frac{\text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum}}{\text{Lichtgeschwindigkeit im Material}}$$

= Der *Brechungsindex* (*n*) des Materials



- Einige bemerkenswerte *Zahlen*:
 - Wasser: 1,33
 - Kammerwasser/Glaskörper: 1,34
 - Brillenglas (Kronglas): 1,52
 - Kunststoffe *mit hohem Brechungsindex*: bis zu ~1,9
 - **Hornhaut: 1,376**

Wie bitte? Ich dachte, der Brechungsindex der Hornhaut betrage 1,3375?

$$\frac{\text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum}}{\text{Lichtgeschwindigkeit in einem Material}} = \text{Der Brechungsindex } (n) \text{ des Materials}$$



- Einige bemerkenswerte *Zahlen*:
 - Wasser: 1,33
 - Kammerwasser/Glaskörper: 1,34
 - Brillenglas (Kronglas): 1,52
 - Kunststoffe *mit hohem Brechungsindex*: bis zu ~1,9
 - **Hornhaut: 1,376**

Wie bitte? Ich dachte, der Brechungsindex der Hornhaut betrage 1,3375?
Ja und nein – mehr dazu in der Folienreihe mit dem Titel „*Hornhautoptik*“ im Abschnitt „**Refraktive Chirurgie**“

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

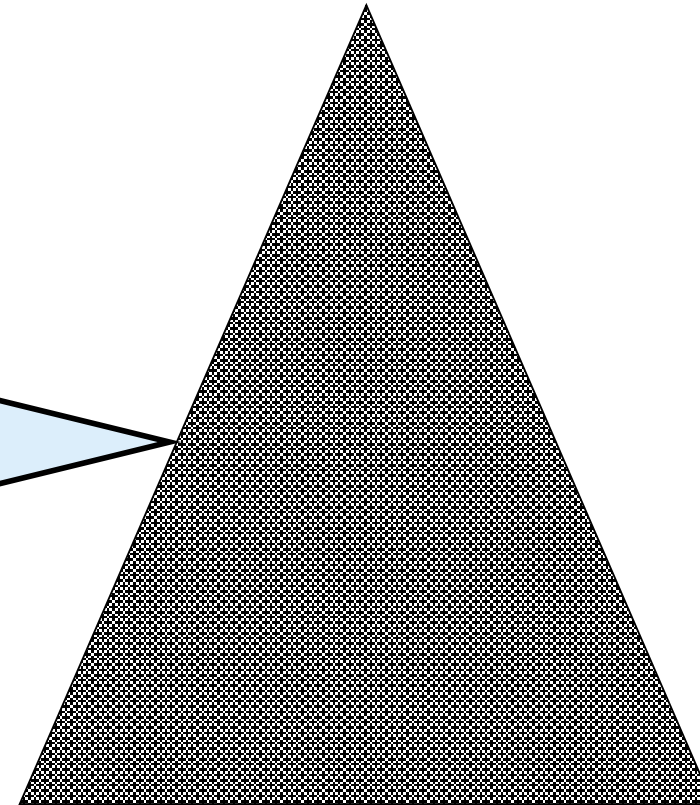
Lichtgeschwindigkeit in einem Material

= Der *Brechungsindex* (*n*) des Materials

OK, das Licht ändert also seine Geschwindigkeit, wenn es von einer Substanz mit einem n in eine Substanz mit einem anderen n übergeht.



Licht im Vakuum
($n = 1,0$)



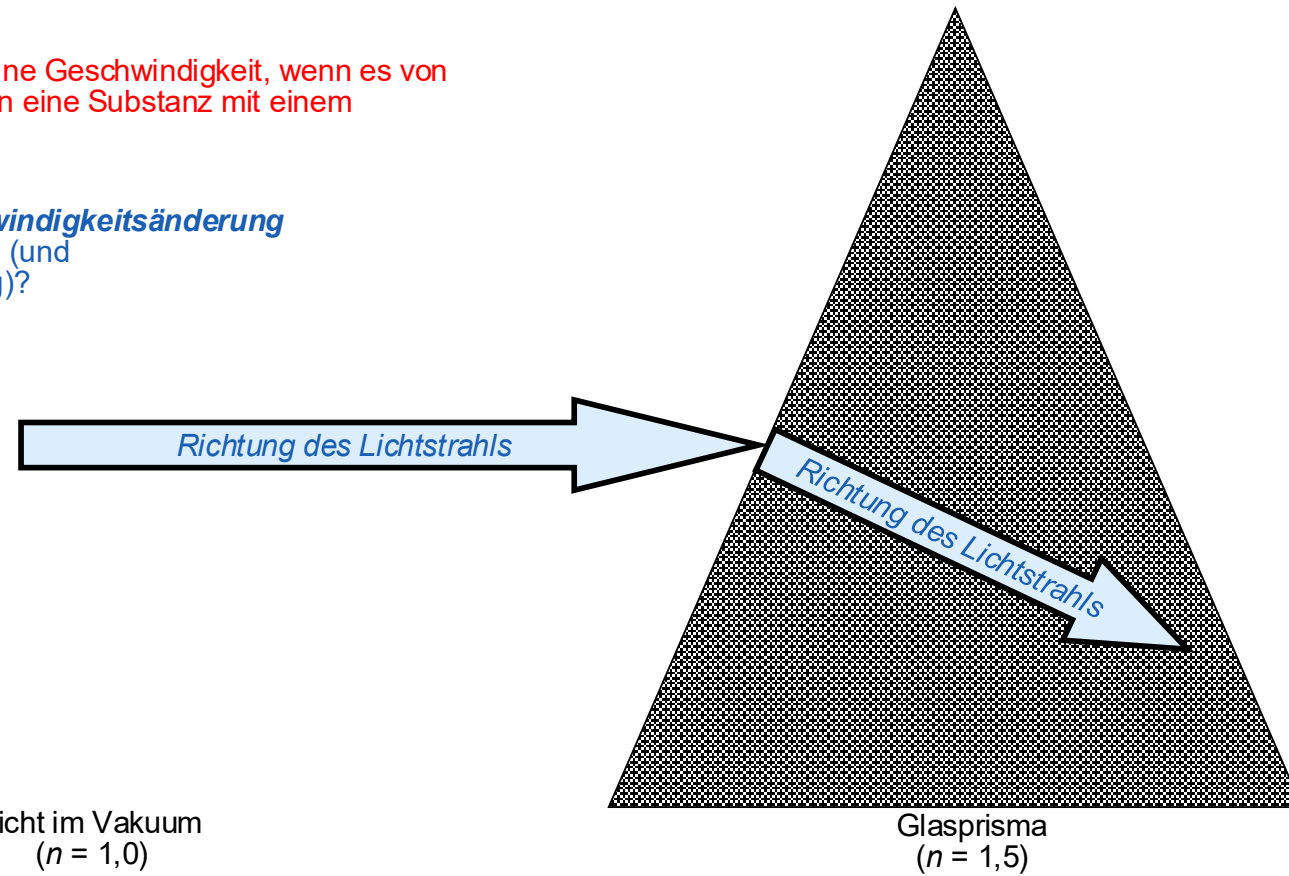
Glasprisma
($n = 1,5$)

Licht wird schneller!

Licht wird langsamer!

OK, das Licht ändert also seine Geschwindigkeit, wenn es von einer Substanz mit einem n in eine Substanz mit einem anderen n übergeht.

Aber wie führt diese **Geschwindigkeitsänderung** zu einer **Richtungsänderung** (und damit zu einer Lichtbrechung)?

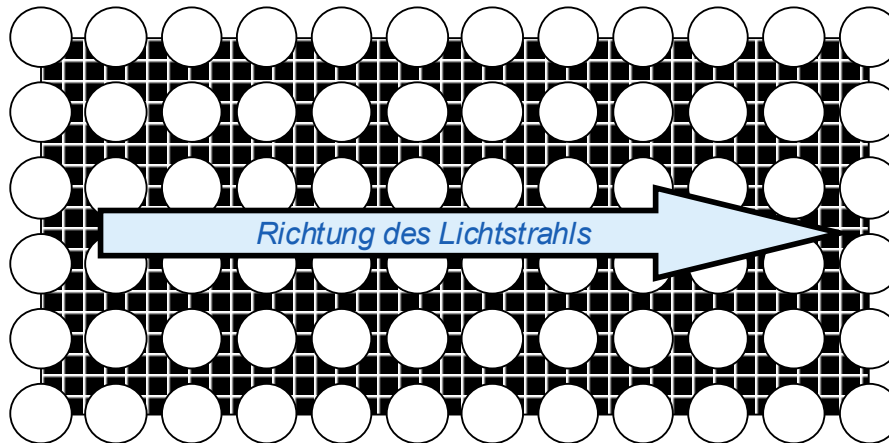


Licht wird schneller!

Licht wird langsamer!

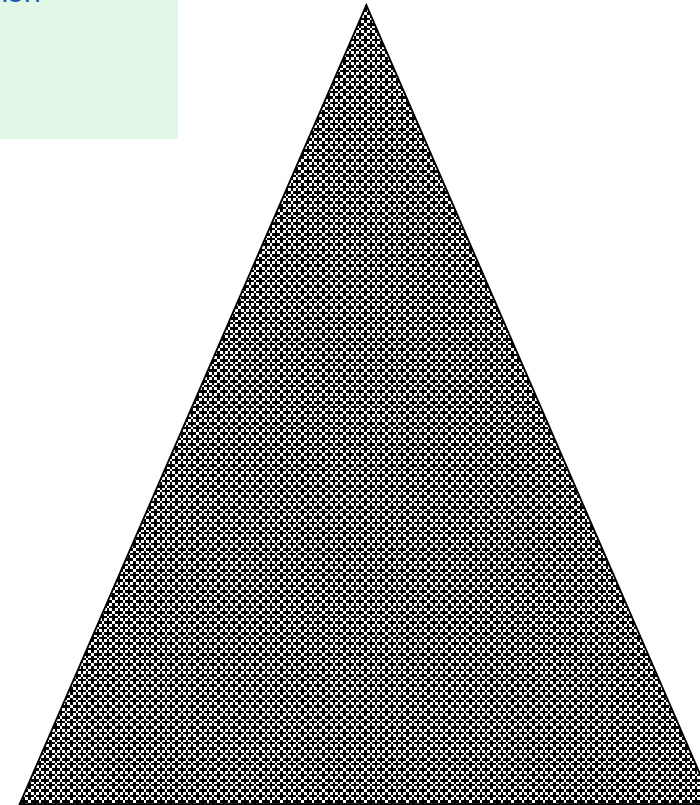
Wie führt eine Änderung der *Lichtgeschwindigkeit* zu einer Änderung seiner *Richtung*?

Stellen Sie sich einen Lichtstrahl so vor, als bestünde er aus einzelnen „Lichtteilchen“, die durch eine Art flexibles Netz miteinander verbunden sind.



Licht im Vakuum
($n = 1,0$)

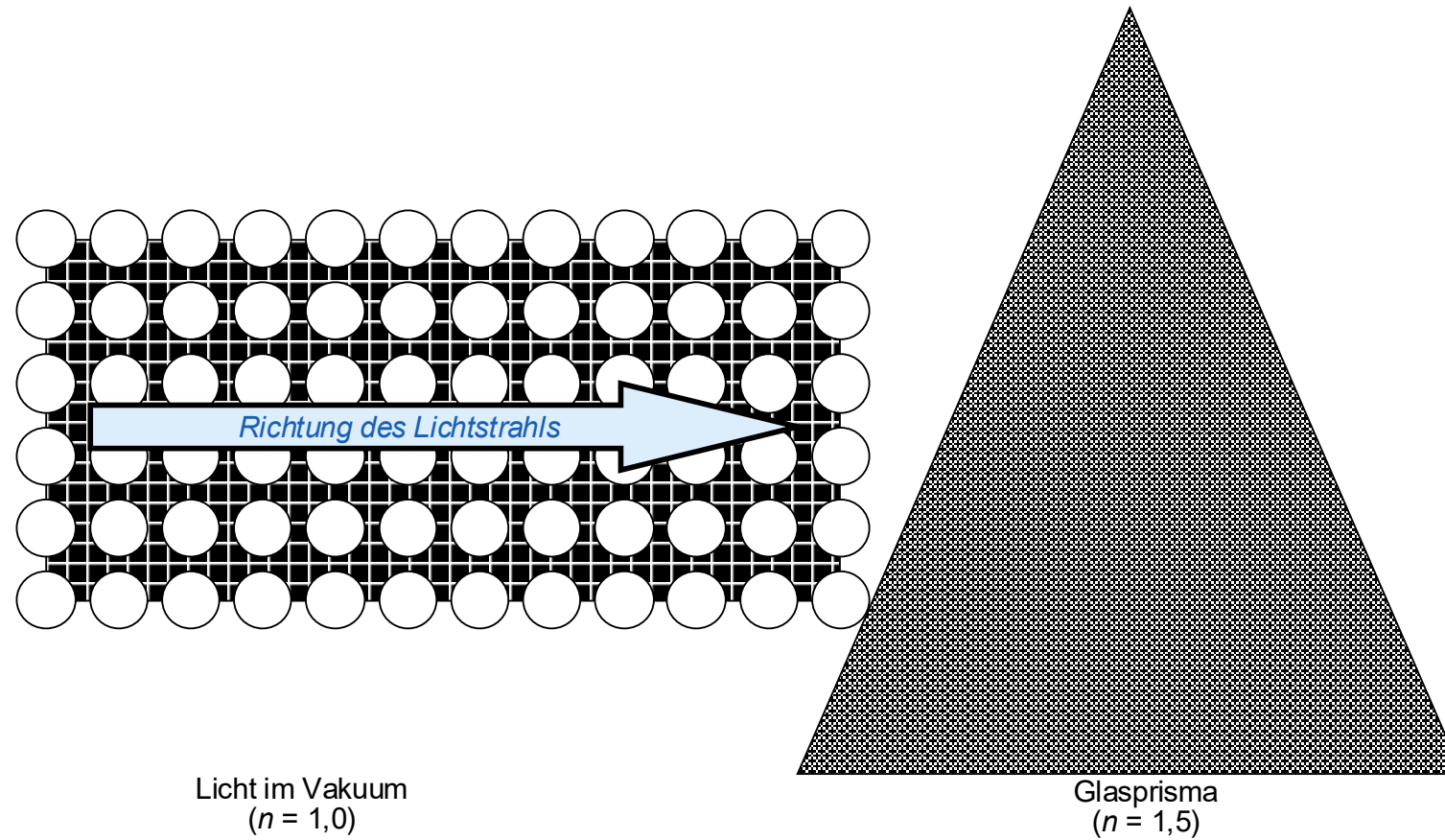
Licht wird schneller!



Glasprisma
($n = 1,5$)

Das Licht wird langsamer!

Wie führt eine Änderung der *Lichtgeschwindigkeit* zu einer Änderung seiner *Richtung*?



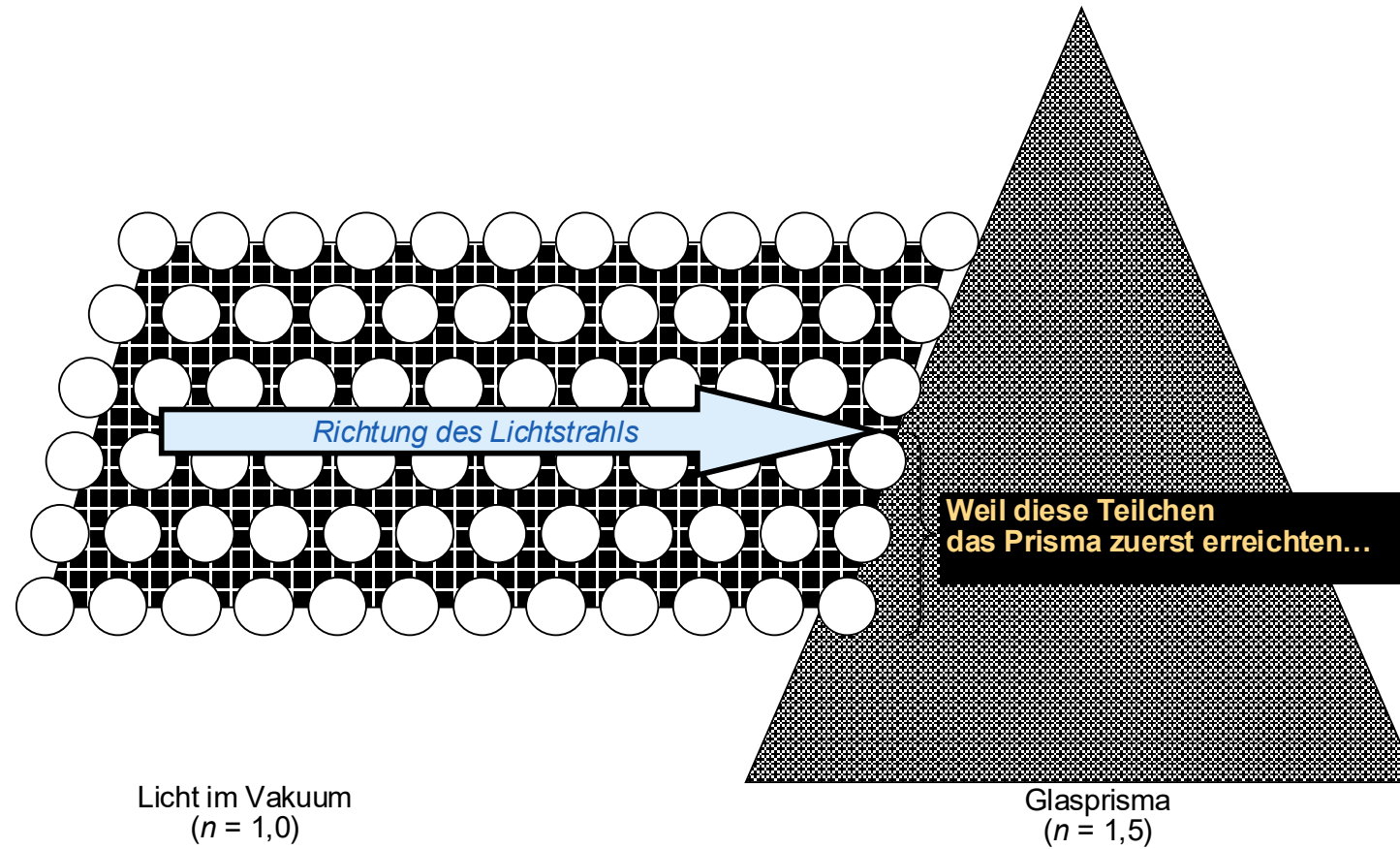
Licht im Vakuum
($n = 1,0$)

Glasprisma
($n = 1,5$)

Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

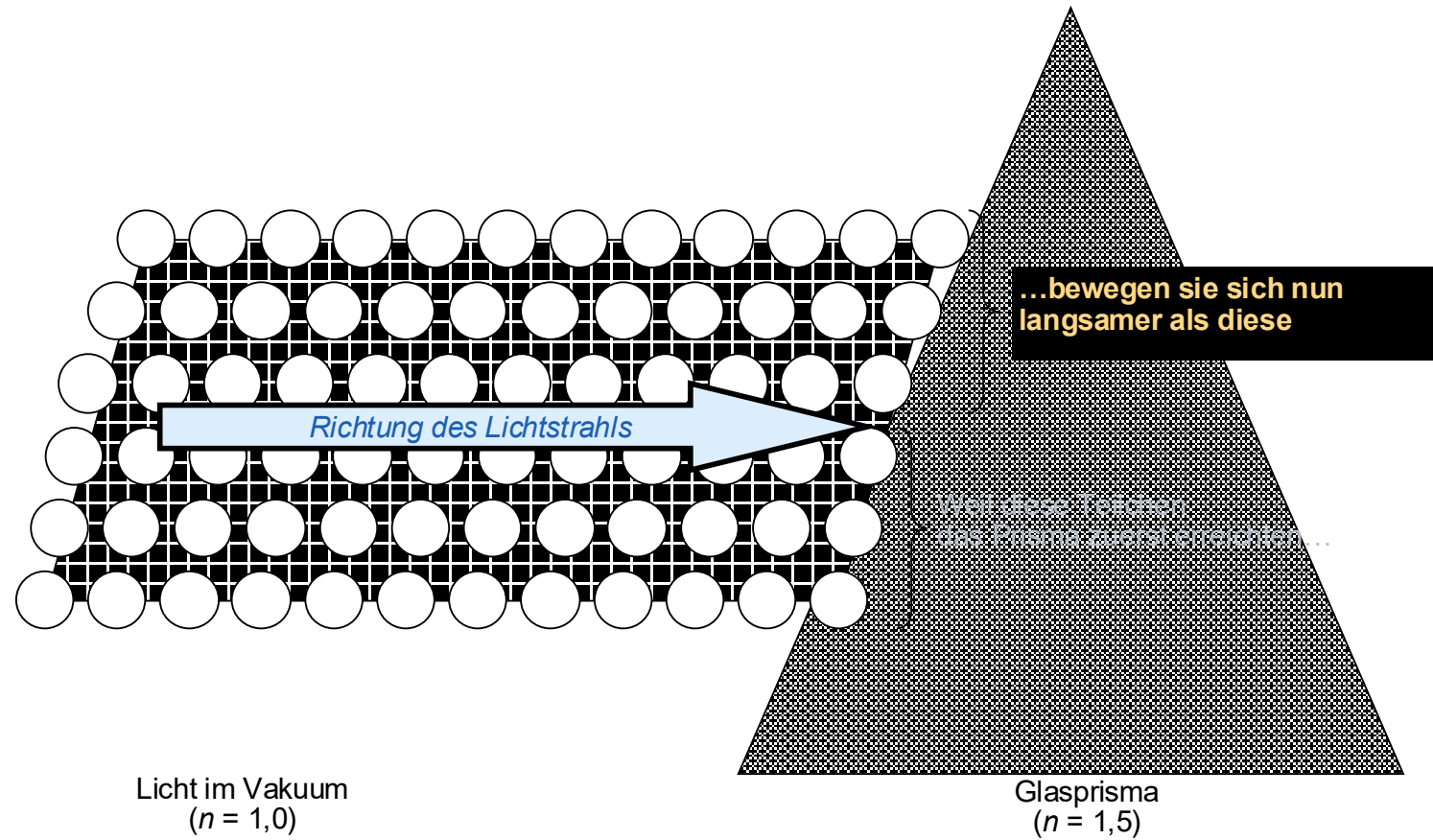
Wie führt eine Änderung der *Lichtgeschwindigkeit* zu einer Änderung seiner *Richtung*?



Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

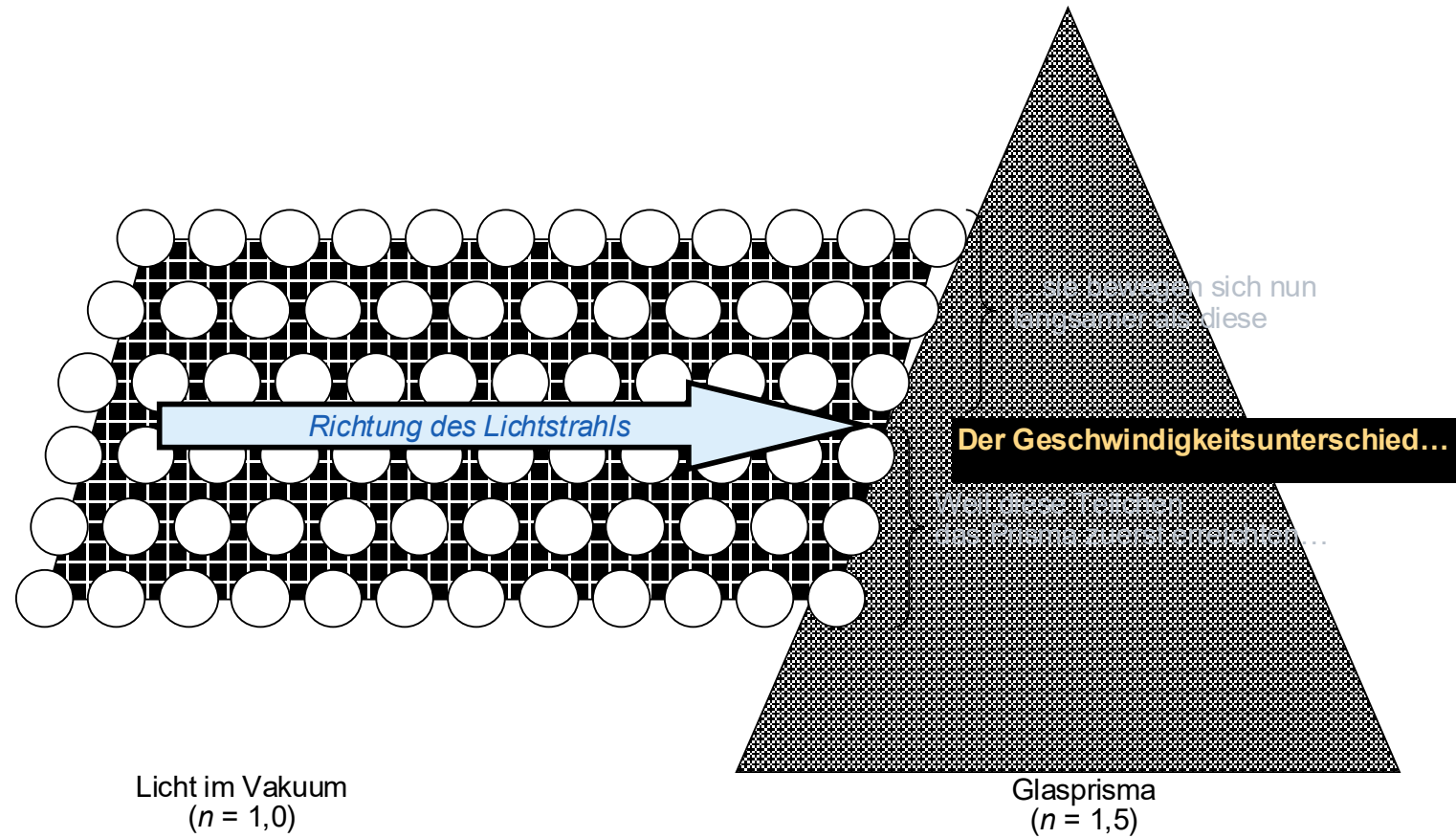
Wie führt eine Änderung der *Lichtgeschwindigkeit* zu einer Änderung seiner *Richtung*?



Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

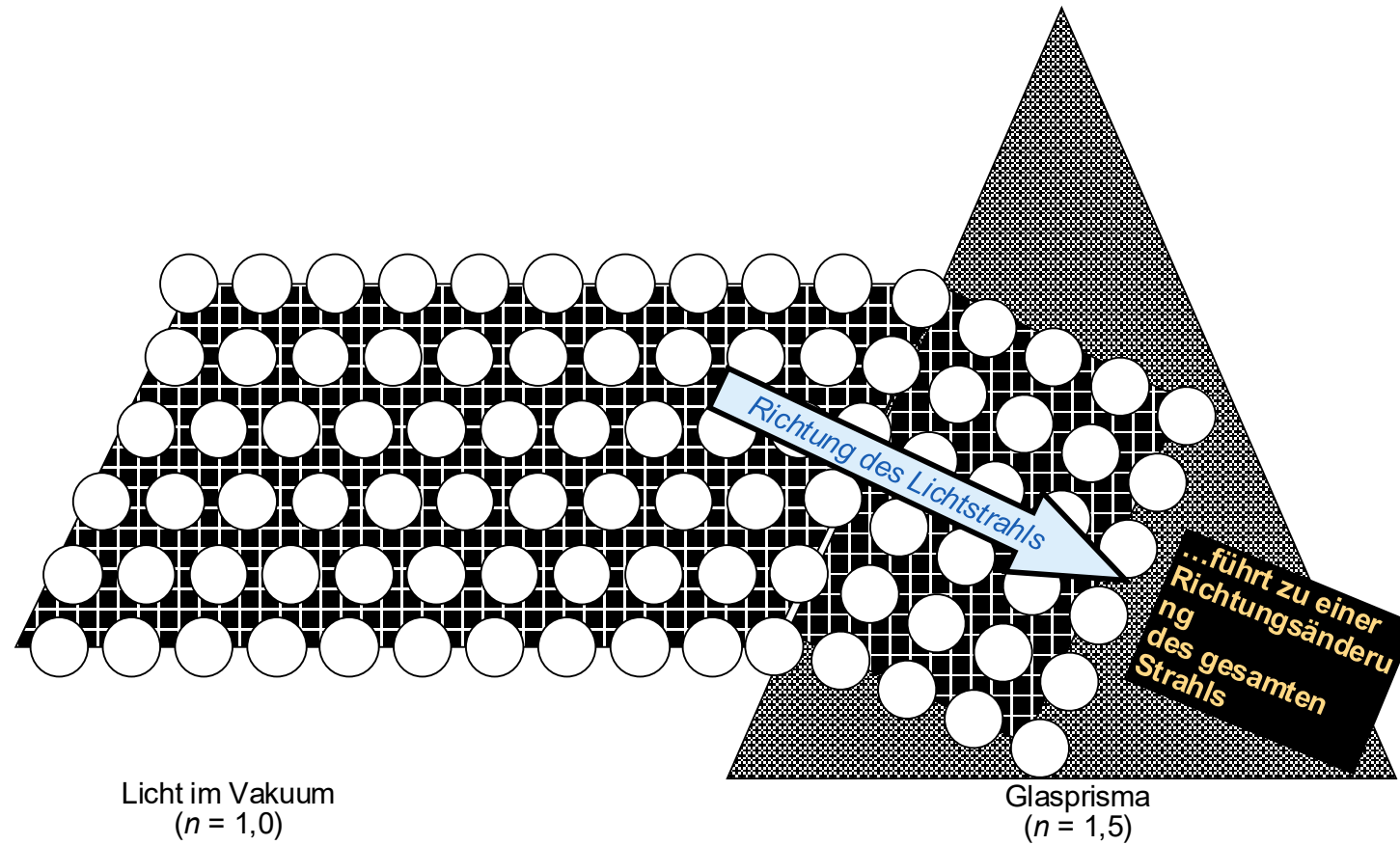
Wie führt eine Änderung der *Lichtgeschwindigkeit* zu einer Änderung seiner *Richtung*?



Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

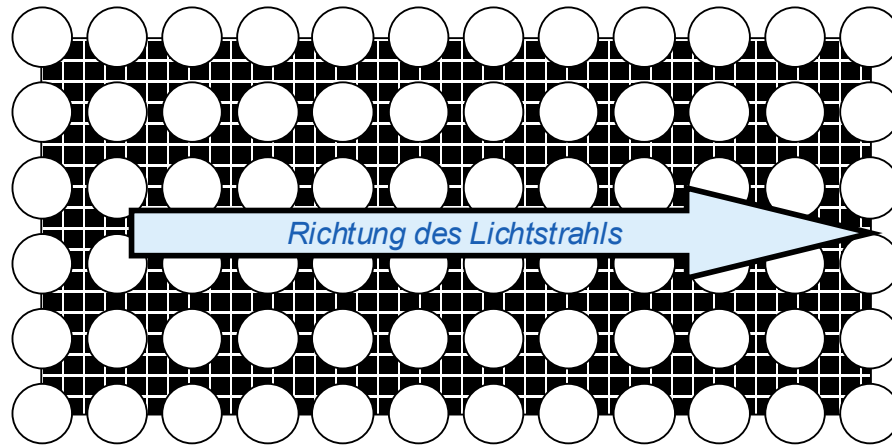
Wie führt eine Änderung der *Lichtgeschwindigkeit* zu einer Änderung seiner *Richtung*?



Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

Wie führt eine Änderung der *Lichtgeschwindigkeit* zu einer Änderung seiner *Richtung*?



Licht im Vakuum
($n = 1,0$)

Licht wird schneller!

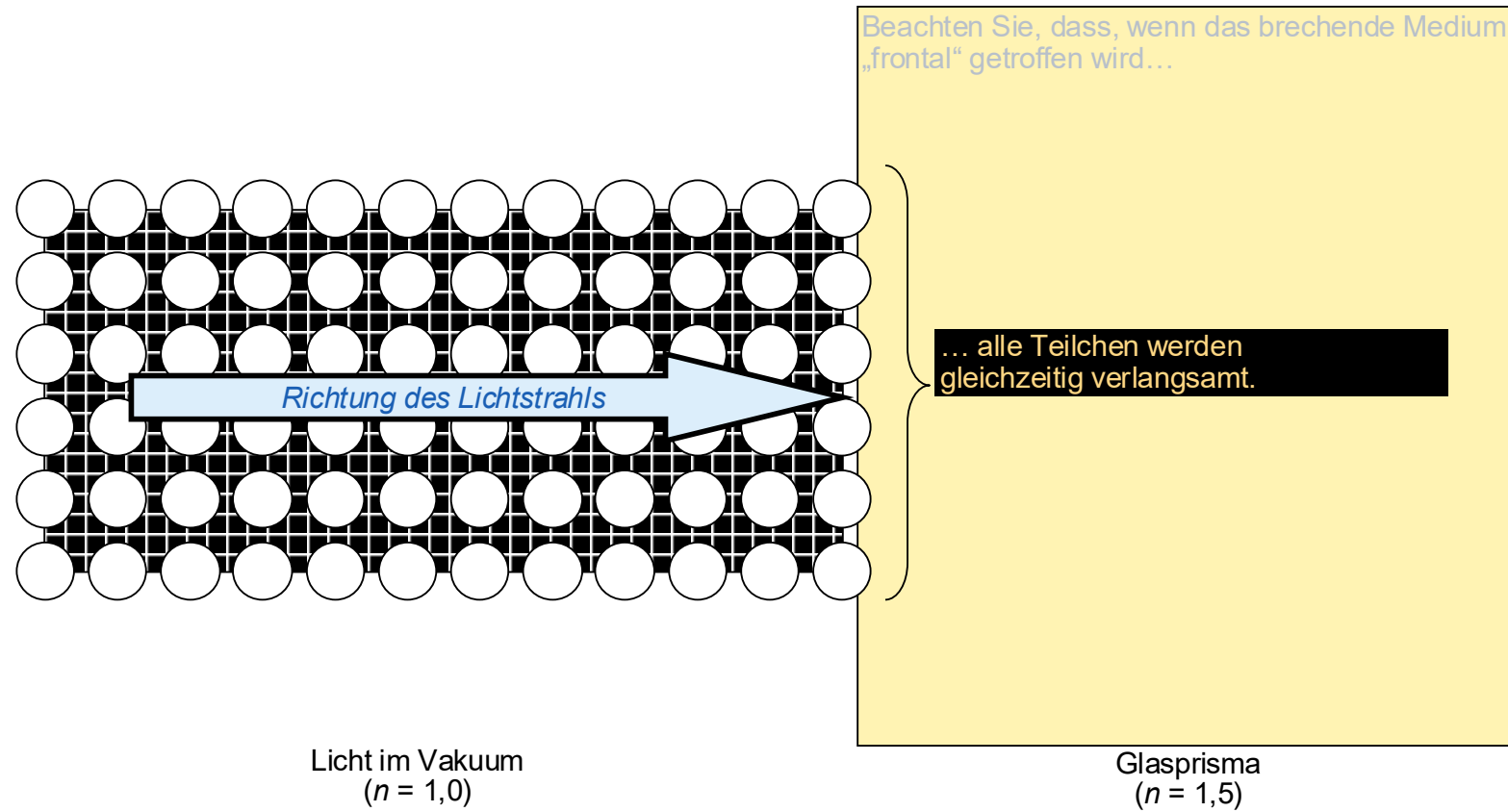
Beachten Sie, dass, wenn das brechende Medium „frontal“ getroffen wird...



Glasprisma
($n = 1,5$)

Das Licht wird langsamer!

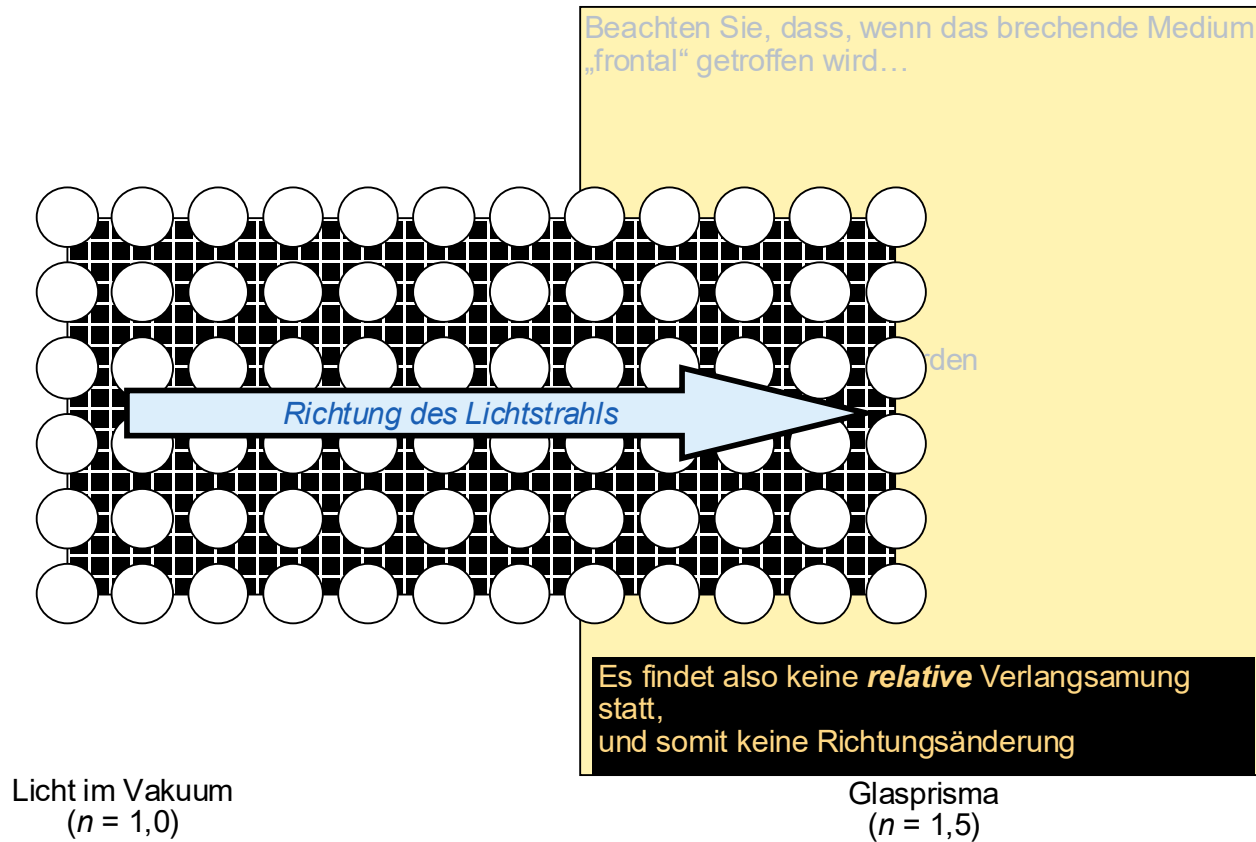
Wie führt eine Änderung der *Lichtgeschwindigkeit* zu einer Änderung seiner *Richtung*?



Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

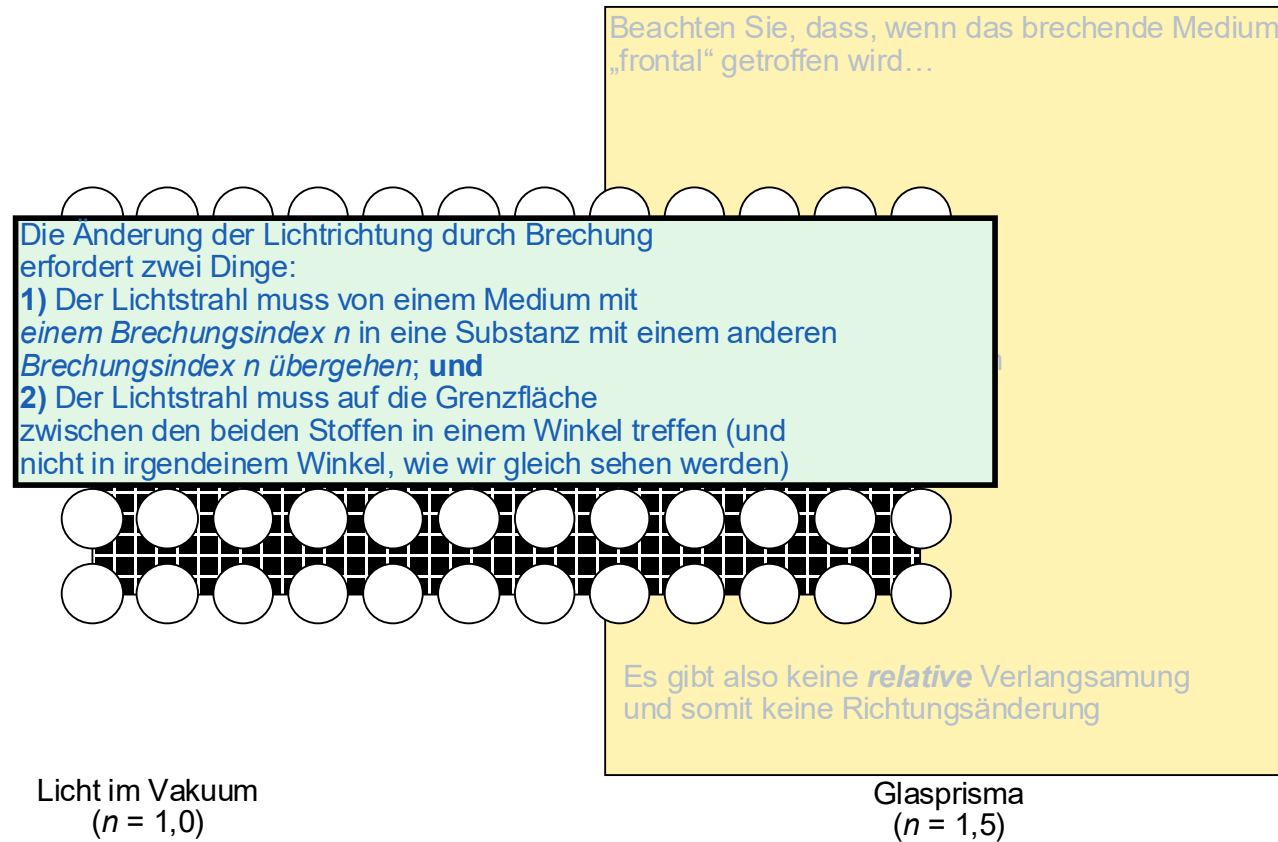
Wie führt eine Änderung der **Lichtgeschwindigkeit** zu einer Änderung seiner **Richtung**?



Licht wird schneller!

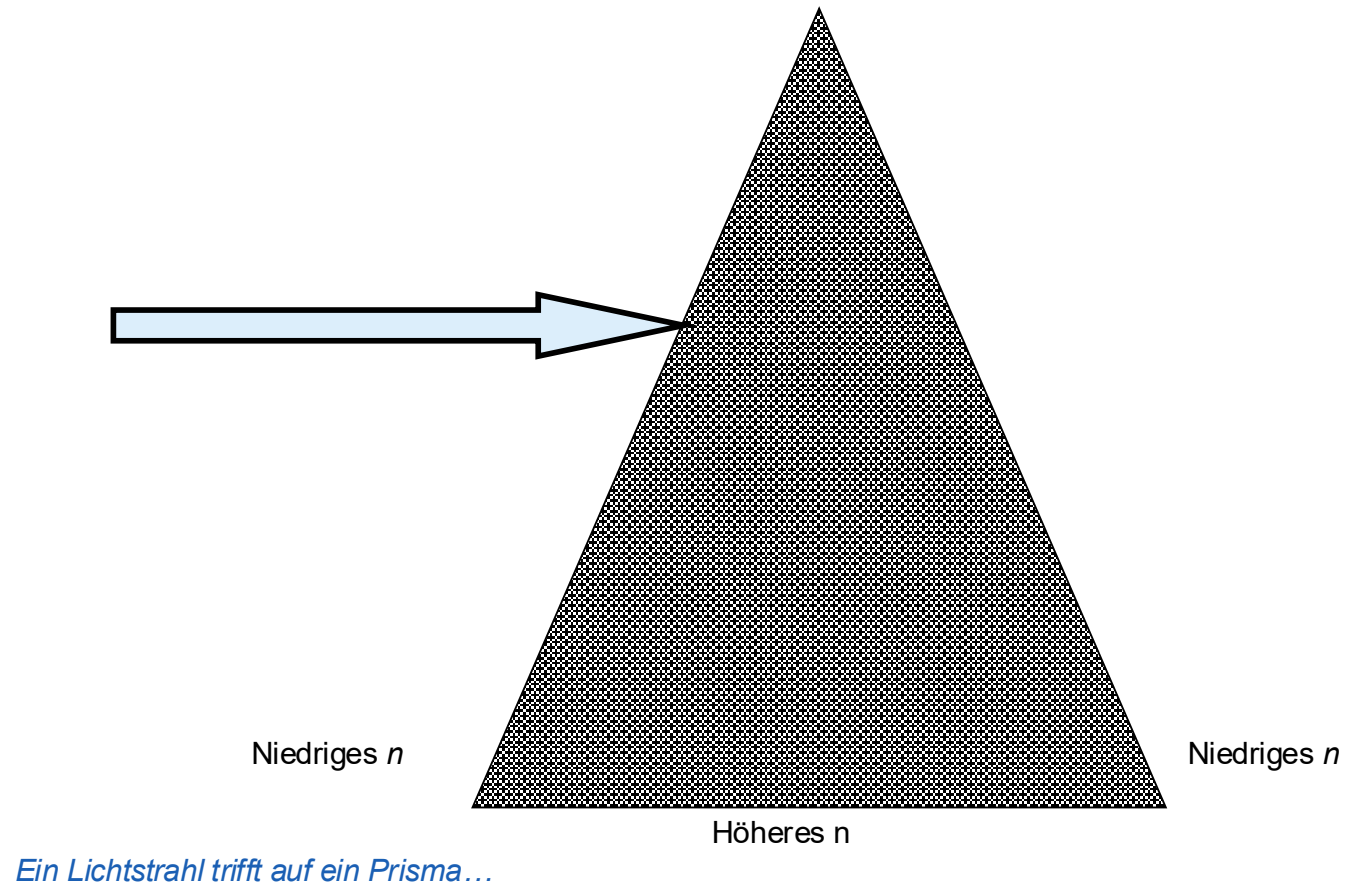
Das Licht wird langsamer!

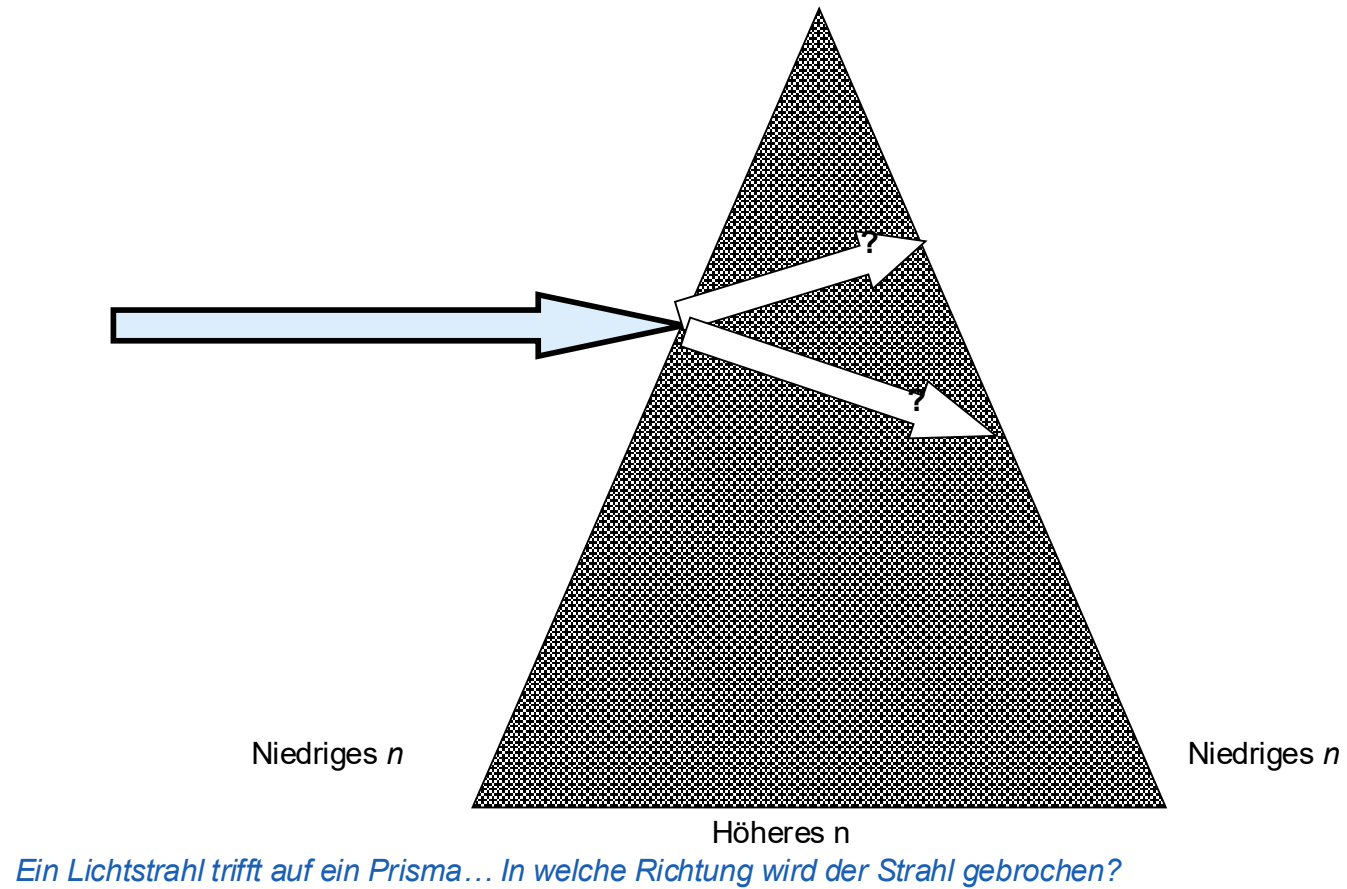
Wie führt eine Änderung der **Lichtgeschwindigkeit** zu einer Änderung seiner **Richtung**?

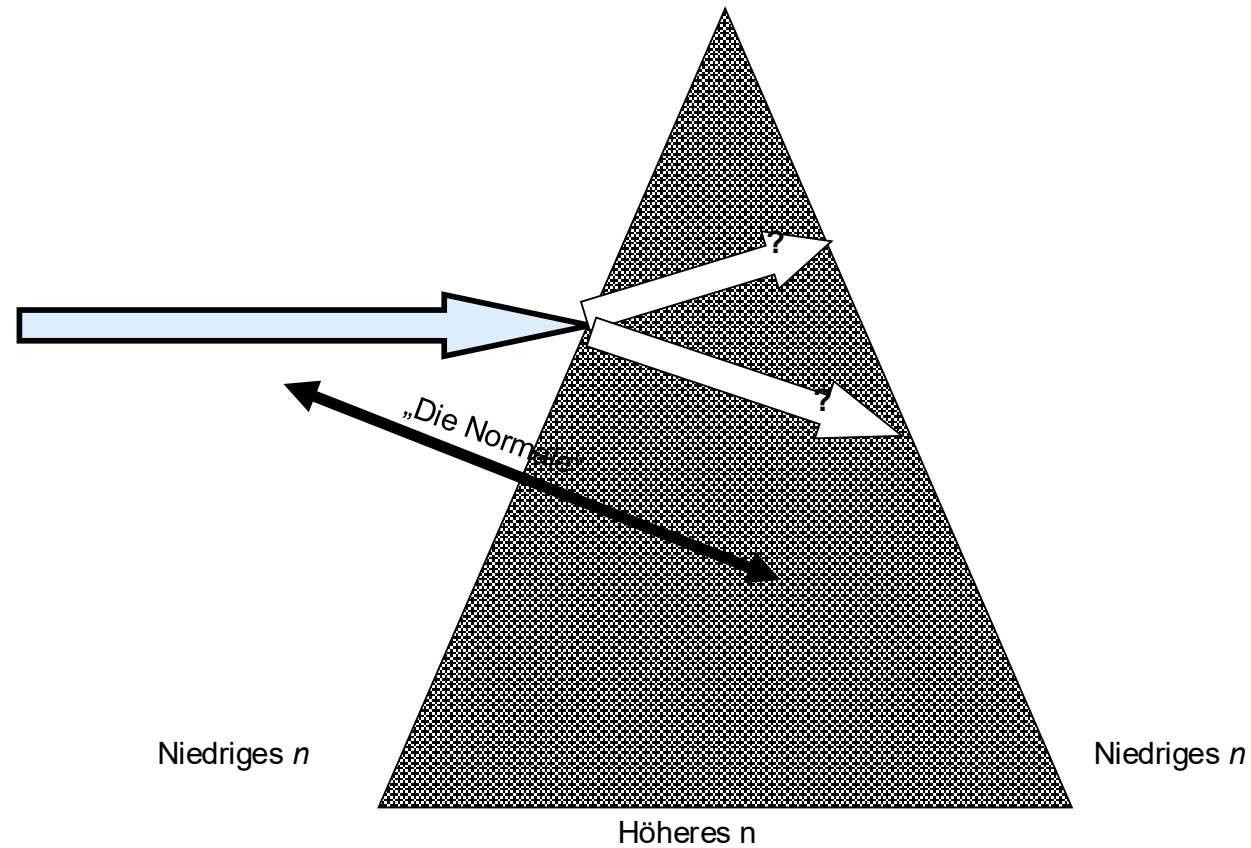


Licht wird schneller!

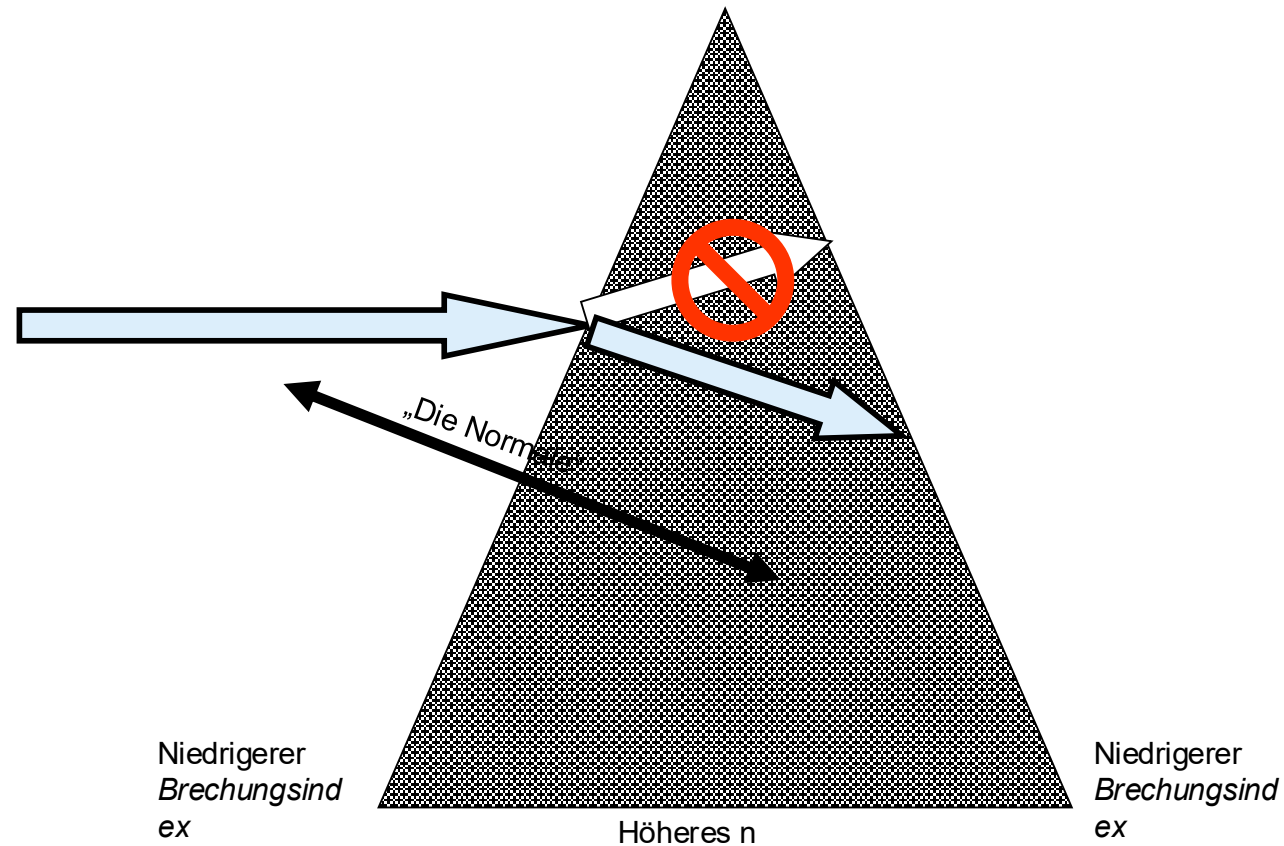
Das Licht wird langsamer!



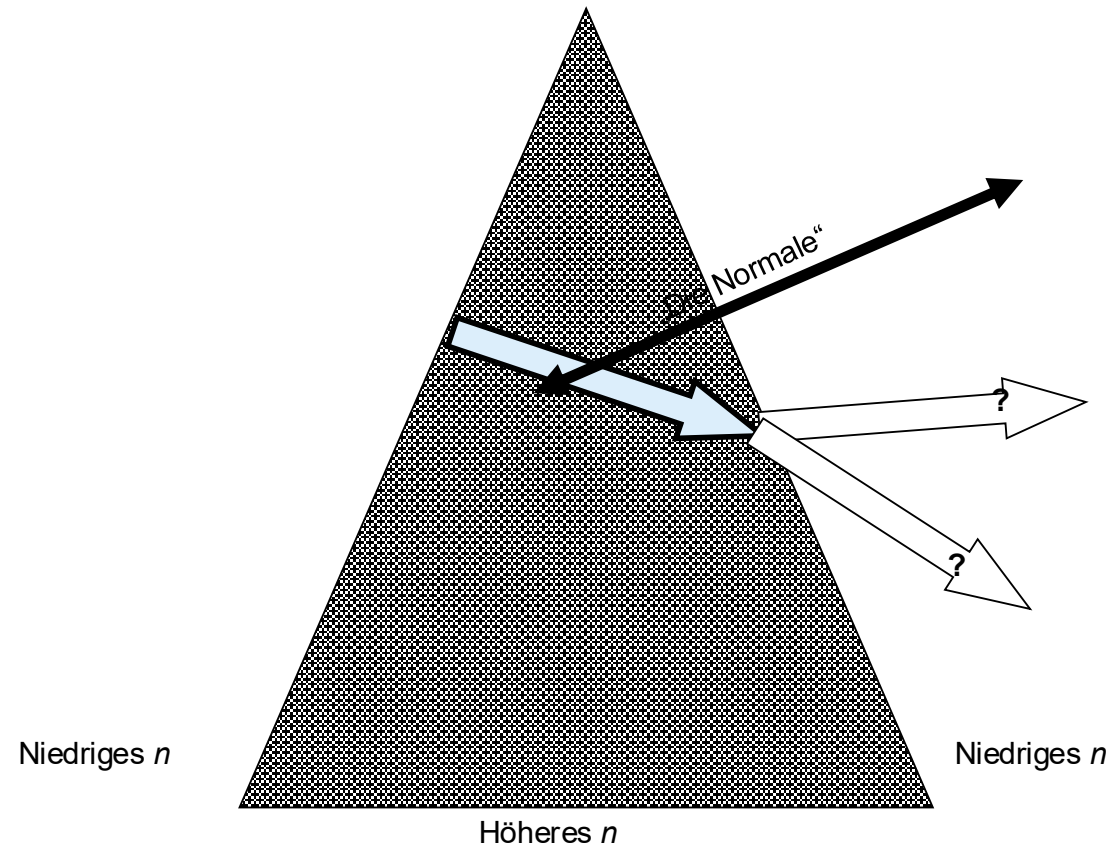




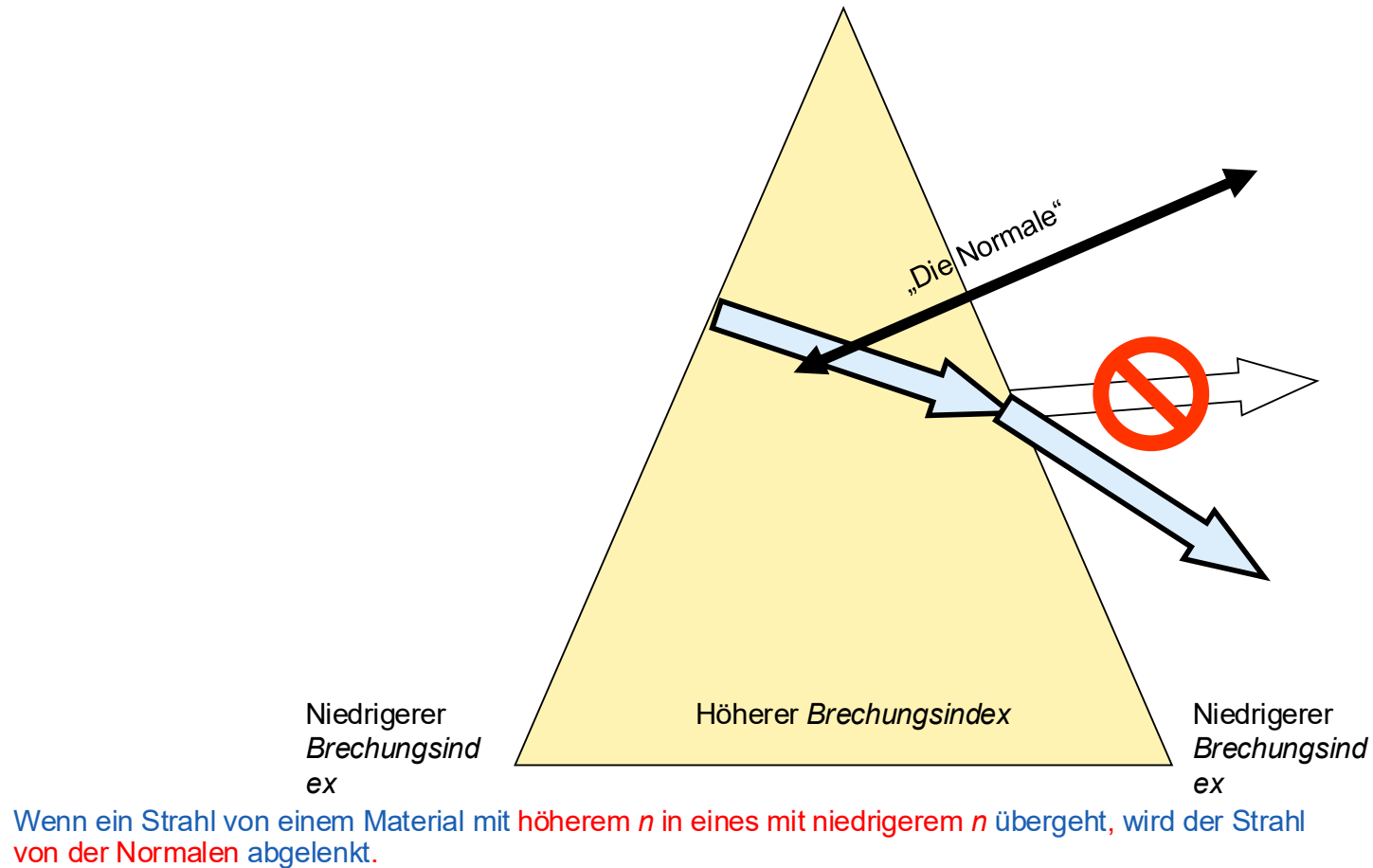
Ein Lichtstrahl trifft auf ein Prisma ... In welche Richtung wird der Strahl gebrochen?
Um dies zu beantworten, müssen wir einen Begriff mit einem eigenartigen Namen einführen: **die Normale**.
Die Normale ist einfach eine imaginäre Linie, die senkrecht zur Brechungsfläche steht.



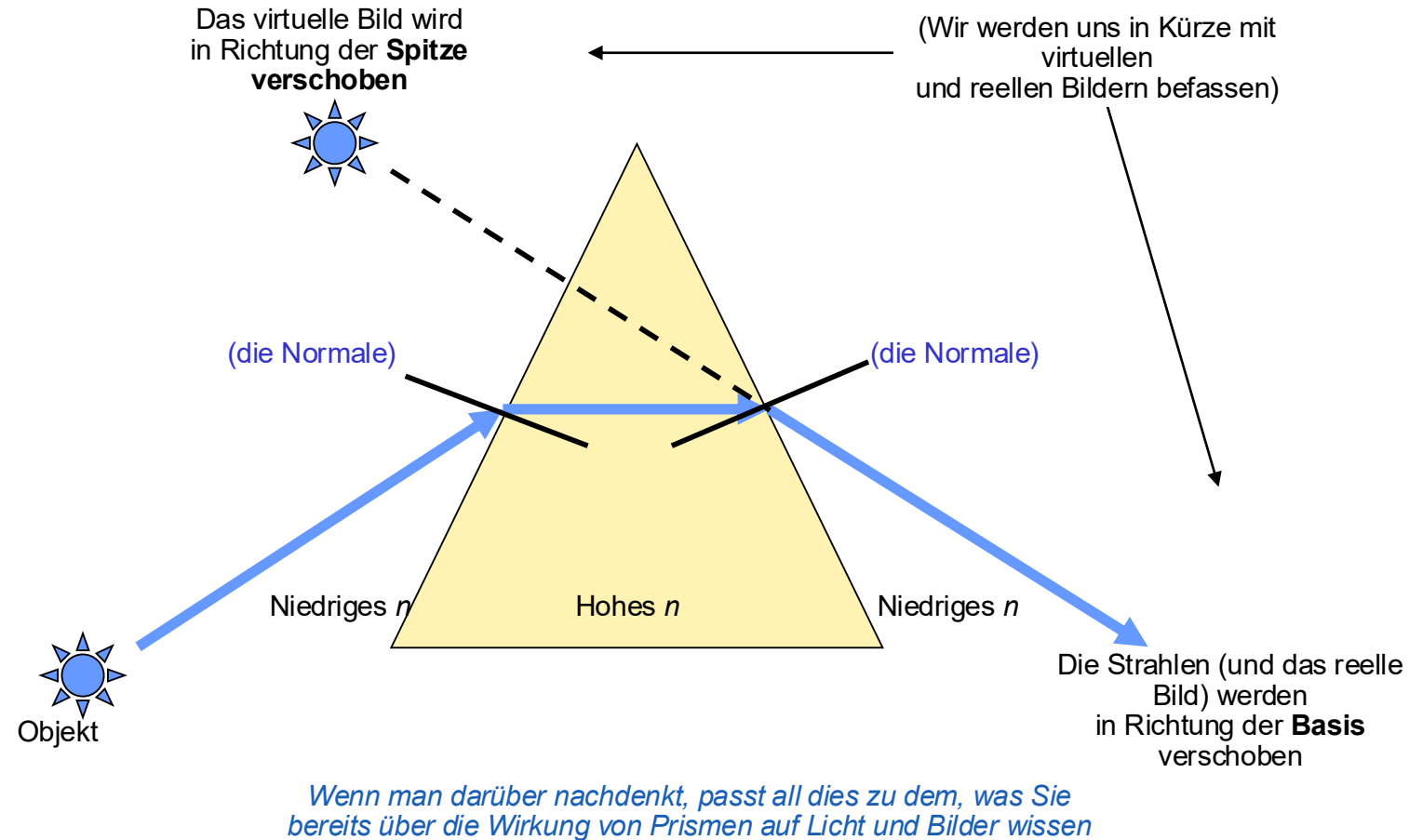
Wenn ein Strahl von einem Material mit **niedrigerem n** in eines mit **höherem n** übergeht, wird der Strahl **in Richtung der Normalen** abgelenkt (das **Ausmaß** der Ablenkung hängt vom Einfallswinkel und von den Brechungsindizes der Stoffe ab – dazu später mehr).

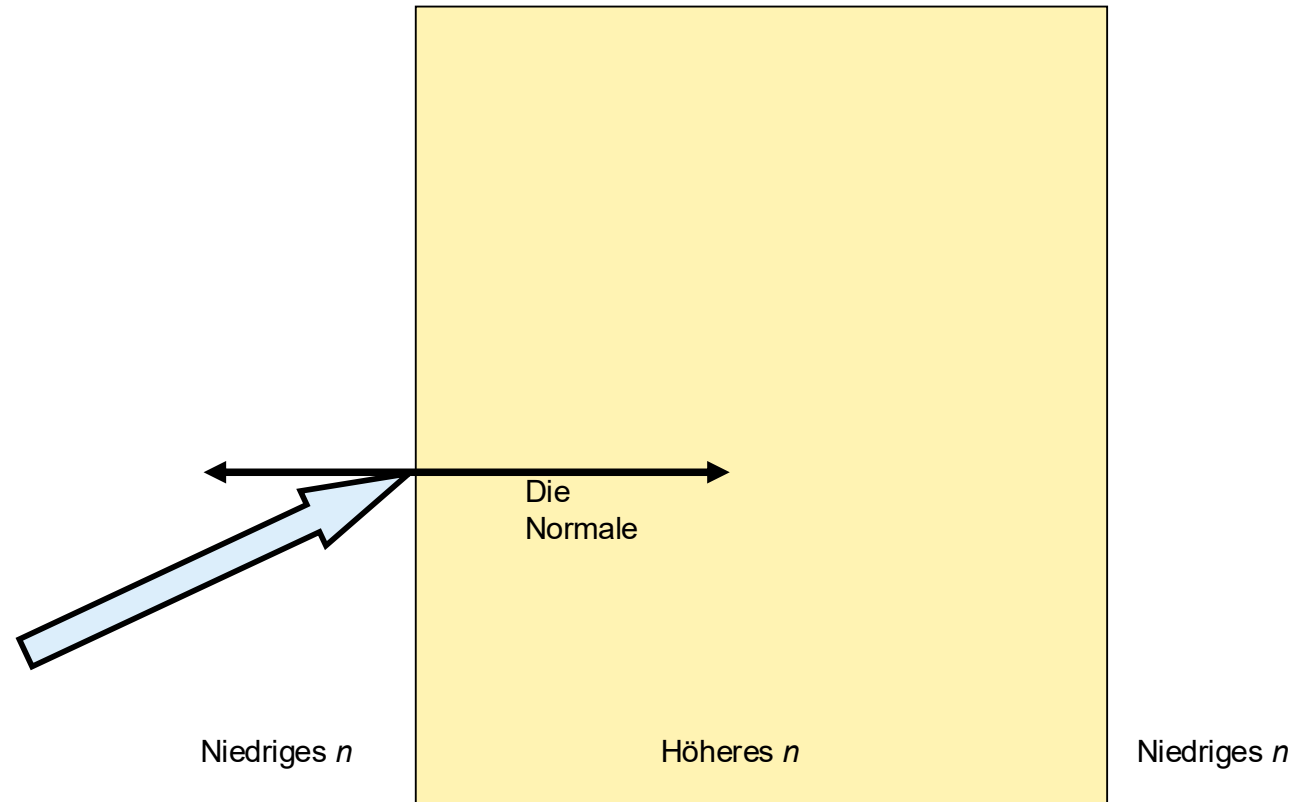


Was geschieht, wenn der Strahl von einem Medium mit höherem n in eines mit niedrigerem n übergeht?

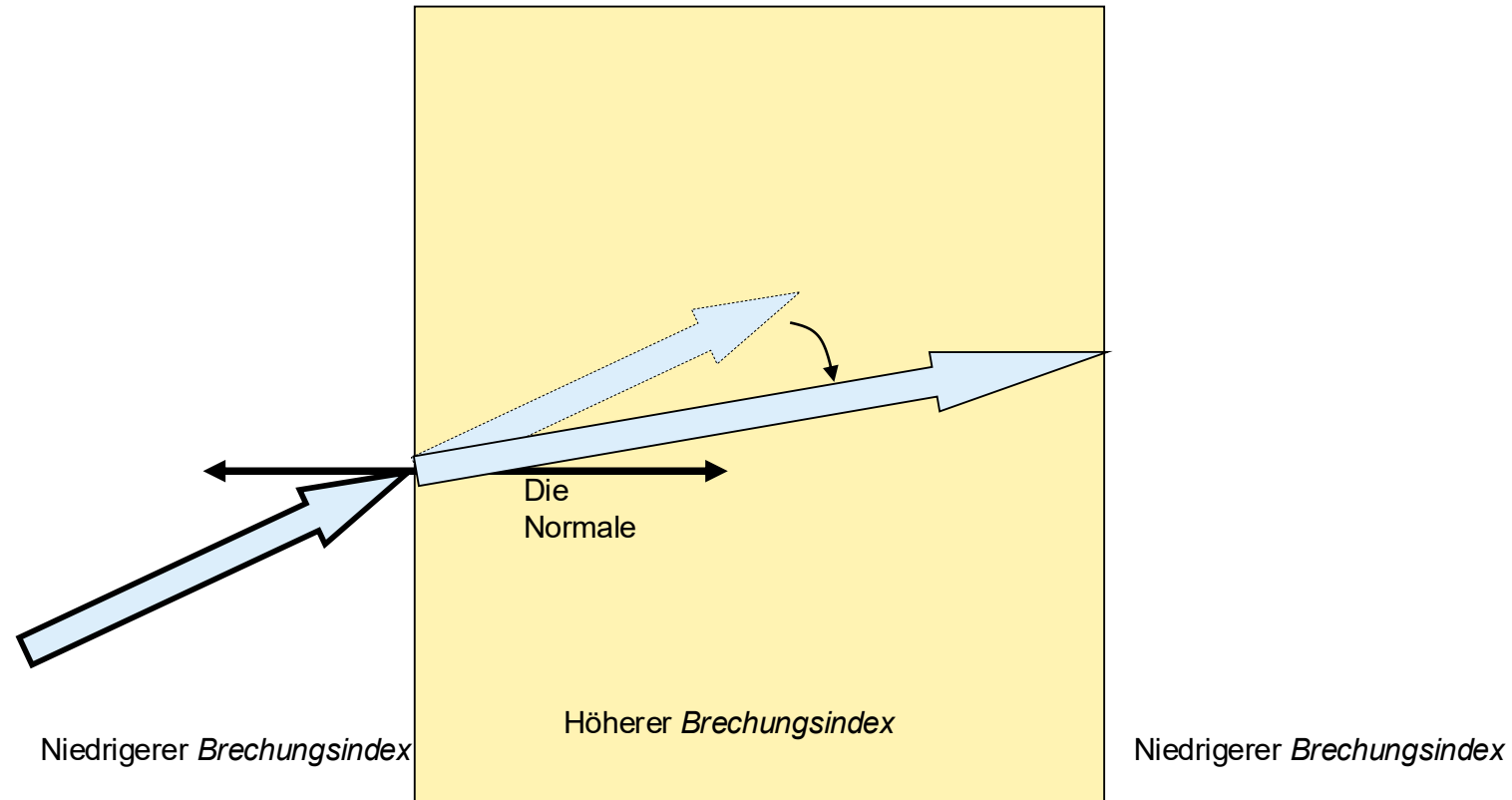


Wenn ein Strahl von einem Material mit höherem n in eines mit niedrigerem n übergeht, wird der Strahl von der Normalen abgelenkt.

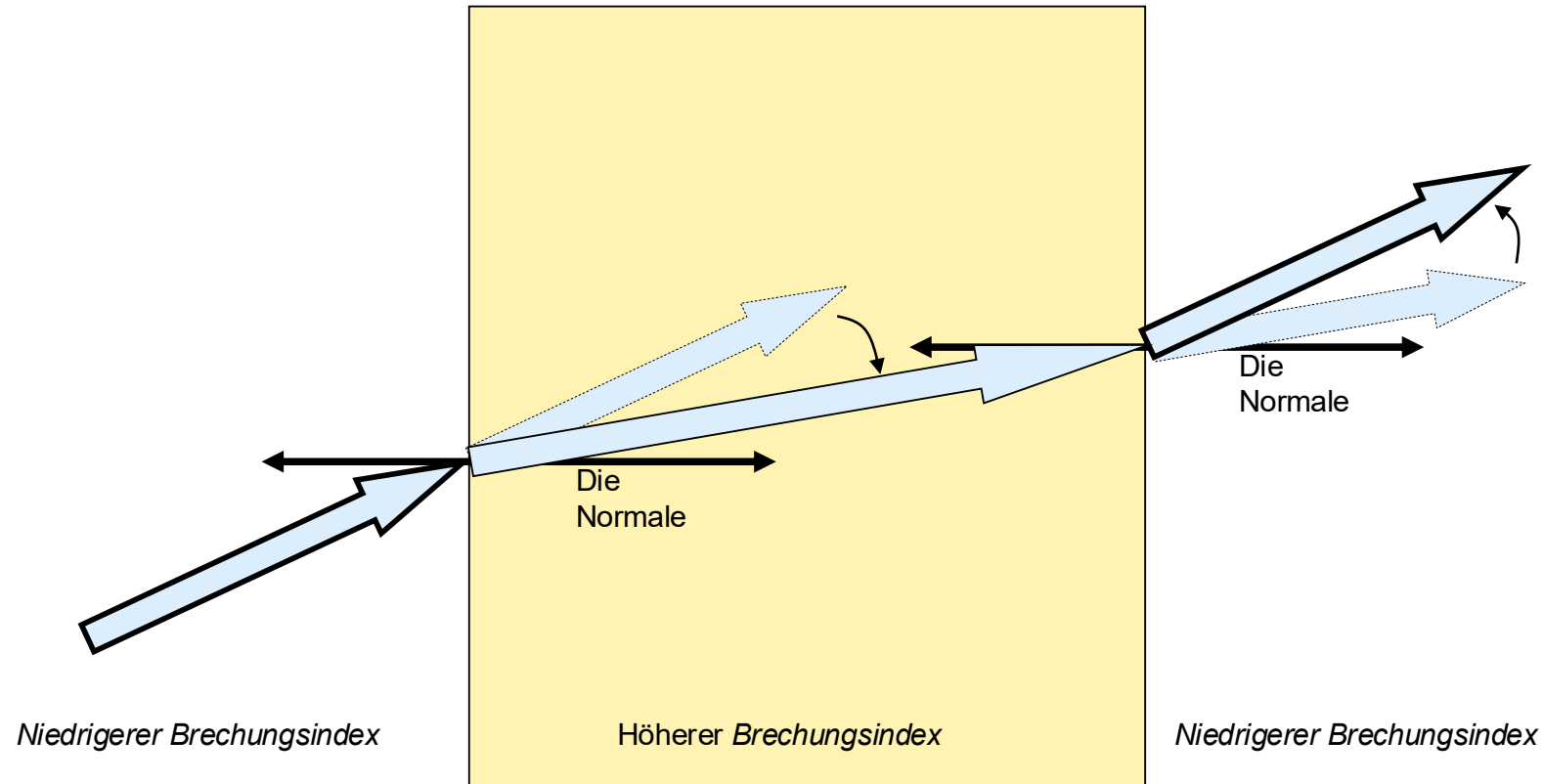




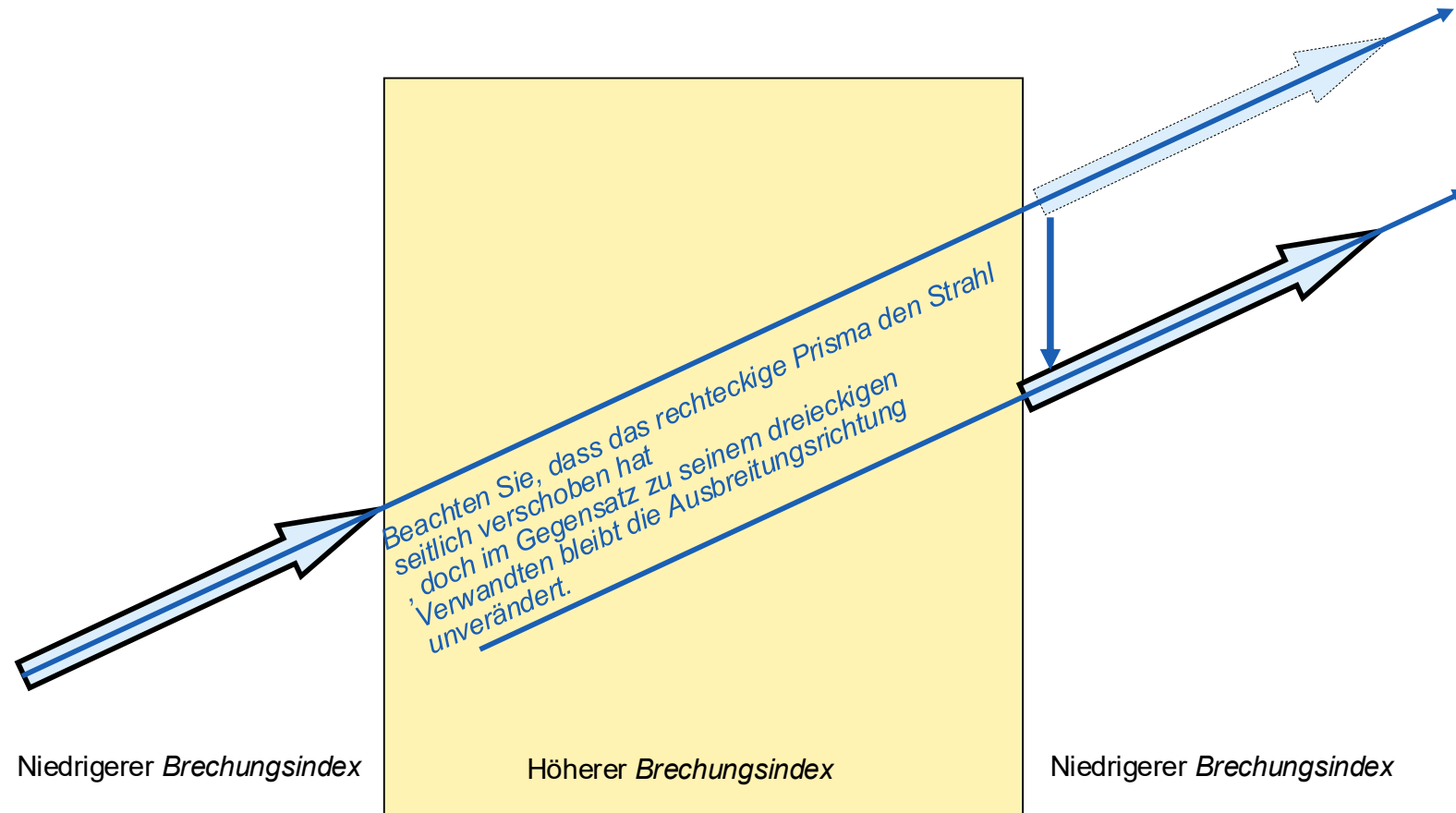
Was ist, wenn das Prisma eine *rechteckige* Form hat?



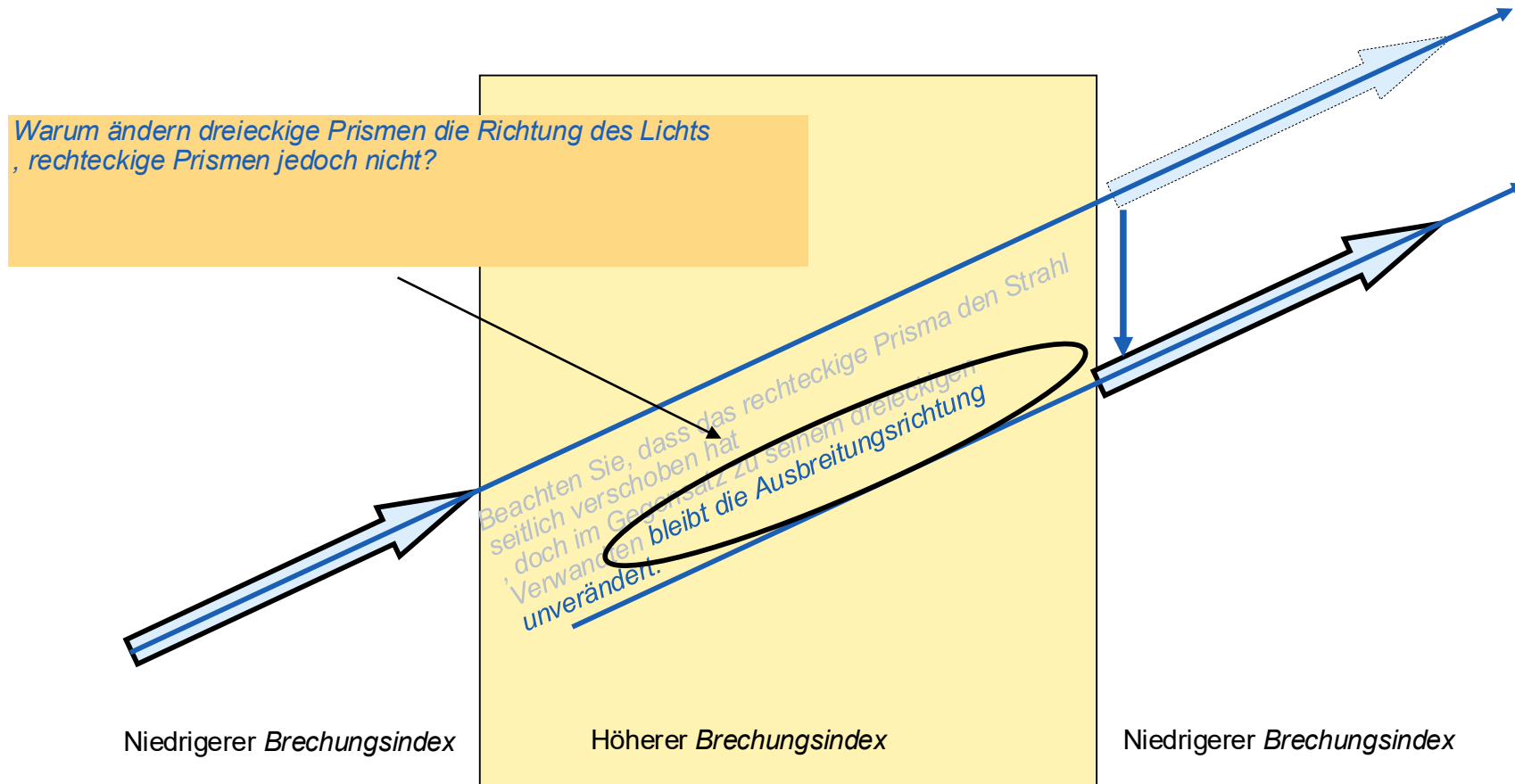
Was ist, wenn das Prisma eine rechteckige Form hat? Das Snellius-Gesetz gilt weiterhin: Wenn Licht von einem Medium mit niedrigerem n in eines mit höherem n übertritt, wird der Strahl zur Normalen hin abgelenkt.



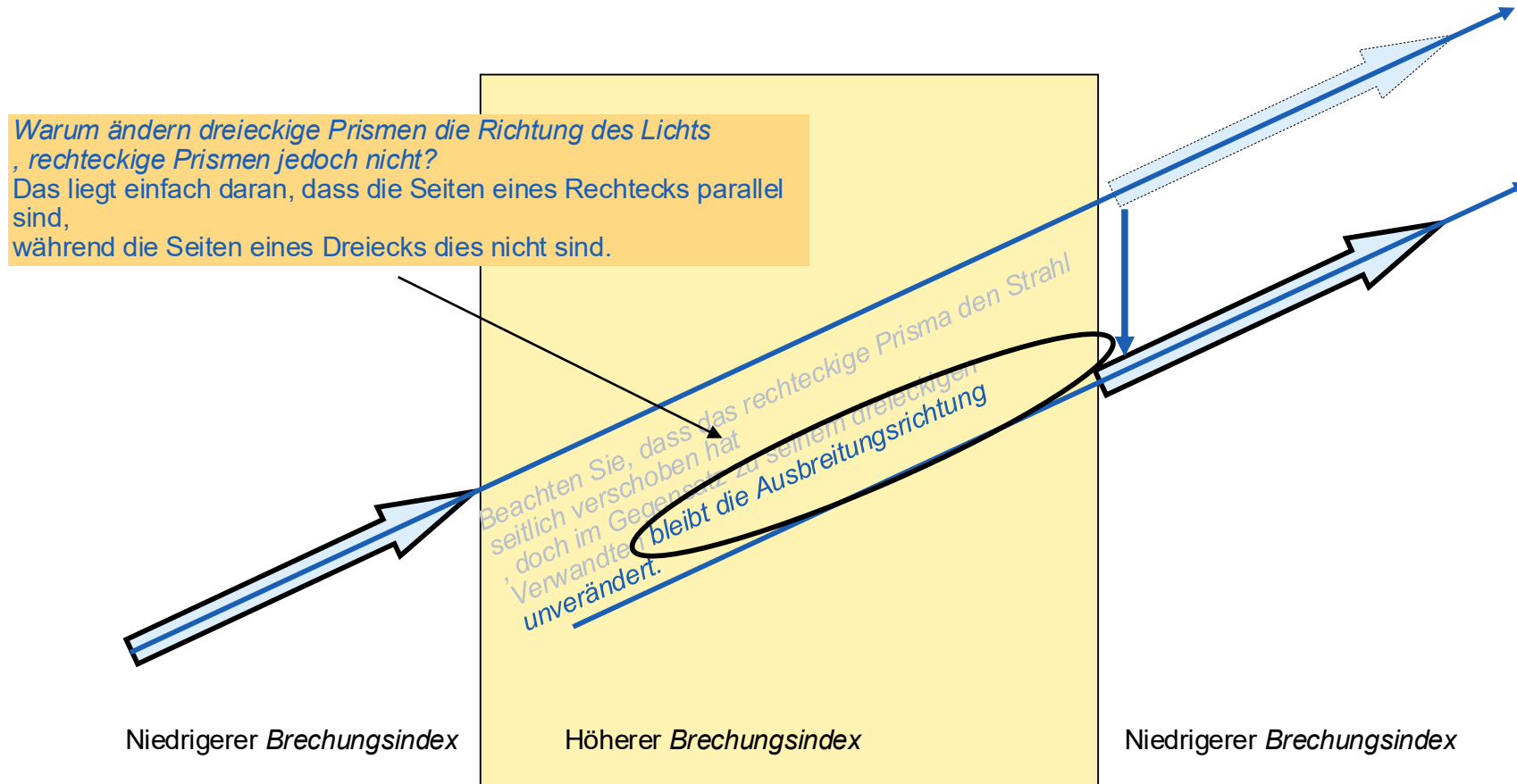
Was ist, wenn das Prisma eine rechteckige Form hat? Das Snellius-Gesetz gilt weiterhin: Wenn Licht von einem Medium mit niedrigerem n in eines mit höherem n übertritt, wird der Strahl zur Normalen hin abgelenkt. Ebenso wird der Strahl, wenn er von einem Medium mit höherem n in eines mit niedrigerem n eintritt, von der Normalen weg gebrochen.



Was ist, wenn das Prisma eine rechteckige Form hat? Das Snellius-Gesetz gilt weiterhin: Wenn Licht von einem Medium mit niedrigerem n in eines mit höherem n , wird der Strahl in Richtung der Normalen abgelenkt. Ebenso wird der Strahl, wenn er von einem Medium mit höherem n in eines mit niedrigerem n eintritt, von der Normalen weg gebrochen.



Was ist, wenn das Prisma eine rechteckige Form hat? Das Snellius-Gesetz gilt weiterhin: Wenn Licht von einem Medium mit niedrigerem n in eines mit höherem n , wird der Strahl in Richtung der Normalen abgelenkt. Ebenso wird der Strahl, wenn er von einem Medium mit höherem n in eines mit niedrigerem n eintritt, von der Normalen weg gebrochen.



Was ist, wenn das Prisma eine rechteckige Form hat? Das Snellius-Gesetz gilt weiterhin: Wenn Licht von einem Medium mit niedrigerem n in eines mit höherem n , wird der Strahl in Richtung der Normalen abgelenkt. Ebenso wird der Strahl, wenn er von einem Medium mit höherem n in eines mit niedrigerem n eintritt, von der Normalen weg gebrochen.



Originalfolien

Steven B. Flynn, MD, PhD

Deutsche Bearbeitung

Dr. med. A. Assaf · Universitätsklinikum Ulm

Fachliche Begutachtung (Optik)

Dr. med. L. Hartmann