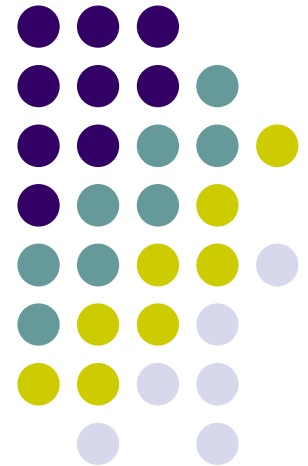


Grundlagen der Lichtbrechung

Grundlagen der Optik, Kapitel 16





Überblick

- 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



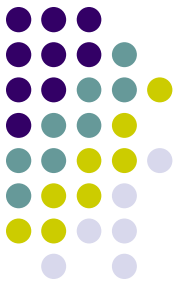
Überblick

- 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. real vs. virtuell) von Bildern (und Objekten!)
 - die **Vergrößerung** von Bildern



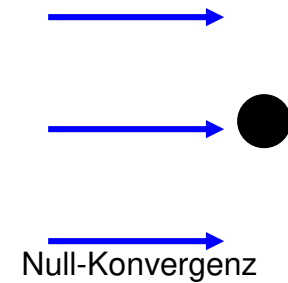
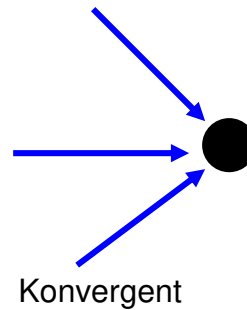
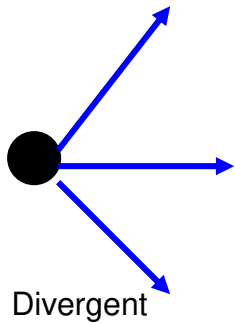
Überblick

- 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. real vs. virtuell) von Bildern (und Objekten!)
 - die **Vergrößerung** von Bildern
- ***Doch zunächst ein ganz kurzer Rückblick...***



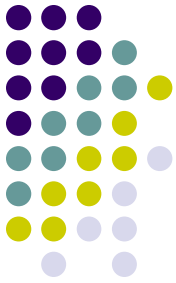
Wiederholung: *Konvergenz*

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



Wiederholung: *Konvergenz*

- Zwei grundlegende Arten von sphärischen Linsen



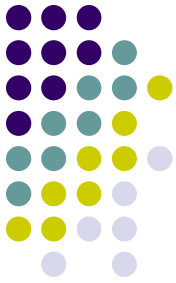
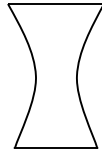
Wiederholung: *Konvergenz*

- Zwei grundlegende Arten von sphärischen Linsen

- Plus

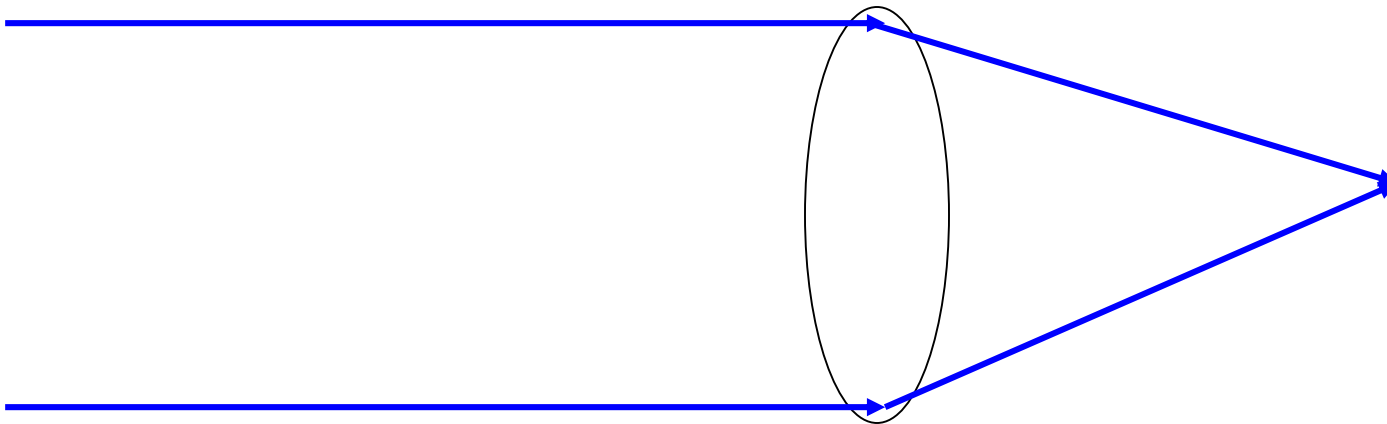
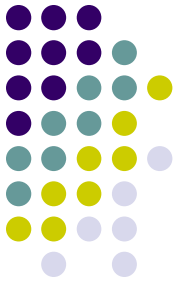
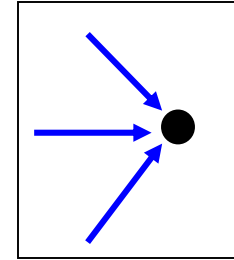


- Minus



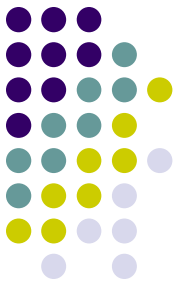
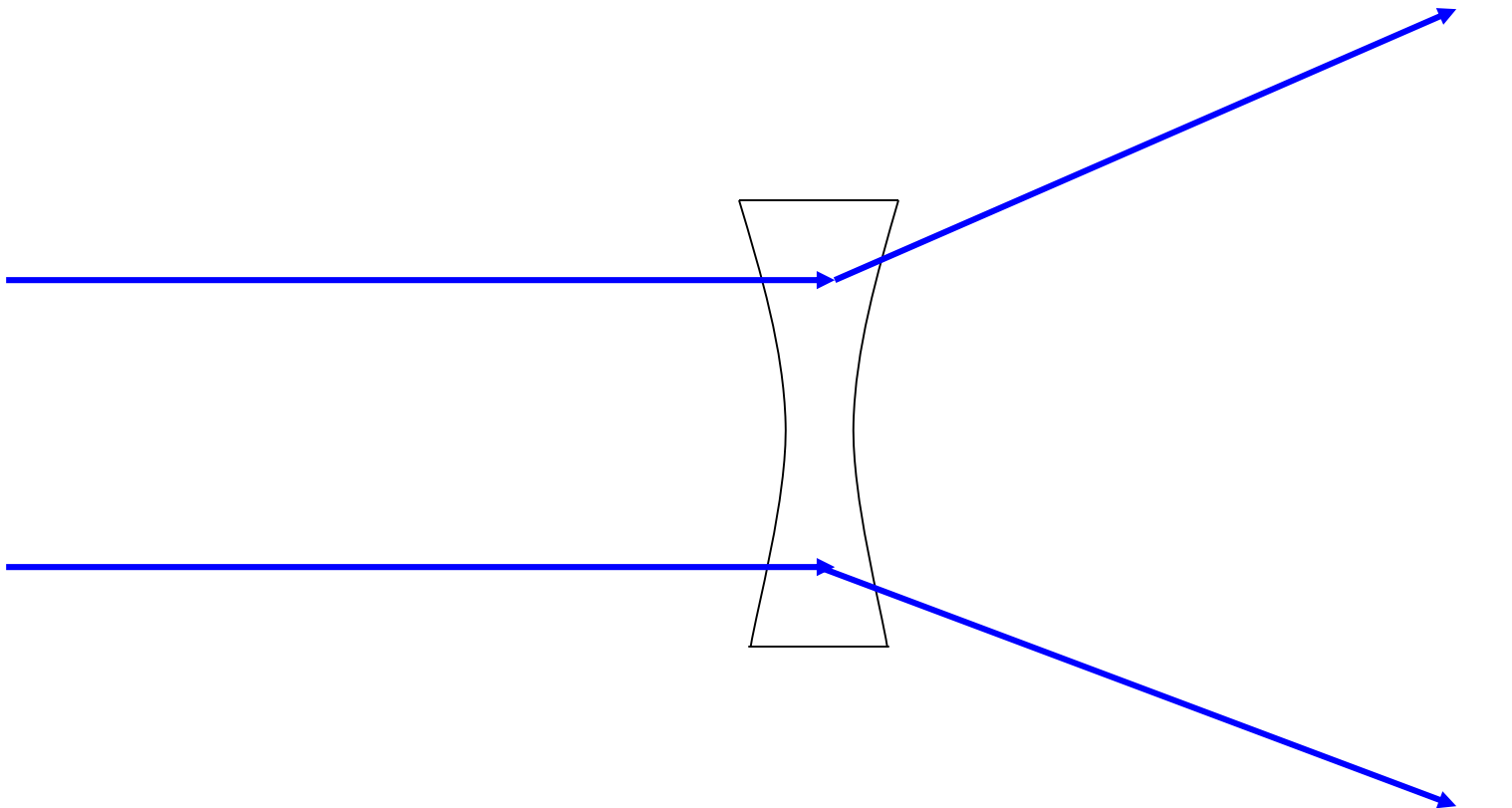
Wiederholung: *Vergenz*

- *Pluslinse*: bewirkt eine Konvergenz



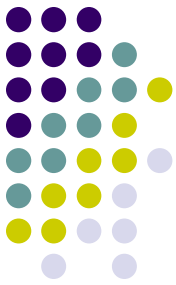
Wiederholung: *Vergenz*

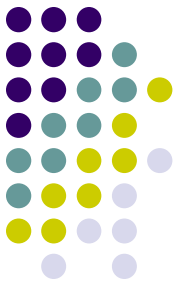
- *Minuslinse*: bewirkt eine Divergenz



Refraktion

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

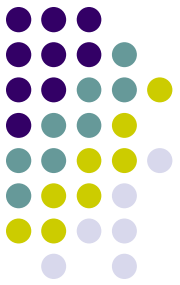




Refraktion

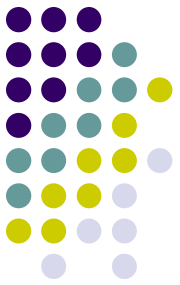
- Warum ändert das Licht seine Richtung, wenn es durch eine Linse wandert? Weil Licht langsamer wird, wenn es auf eine Substanz trifft, die optisch „zähflüssiger“ ist

(Anmerkung: *Viskos*, **nicht** „böartig“)



Refraktion

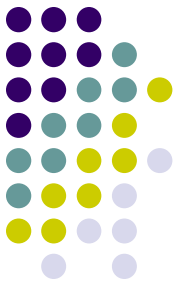
- Warum ändert das Licht seine Richtung, wenn es durch eine Linse wandert? Weil Licht langsamer wird, wenn es auf eine Substanz trifft, die optisch „zähflüssiger“ ist
 - Genauso wie man sich in der Luft schneller fortbewegen kann als im Wasser, kann Licht manche Substanzen schneller durchdringen als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



Refraktion

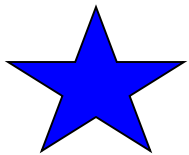
- Warum ändert das Licht seine Richtung, wenn es durch eine Linse wandert? Weil Licht langsamer wird, wenn es auf eine Substanz trifft, die optisch „zähflüssiger“ ist
 - Genauso wie man sich in der Luft schneller fortbewegen kann als im Wasser, kann Licht manche Substanzen schneller durchdringen als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

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

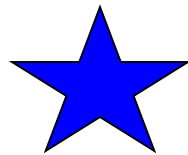


Refraktion

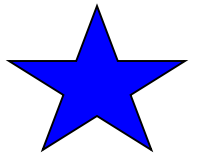
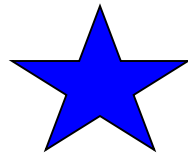
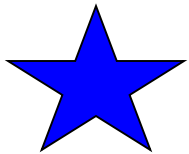
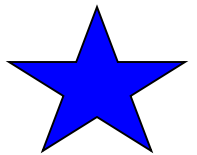
- Die Fähigkeit eines Materials, die Ausbreitung von Licht zu verlangsamen (d. h. seine optische Viskosität), wird als Verhältnis ausgedrückt – der *Brechungsindex* (n)

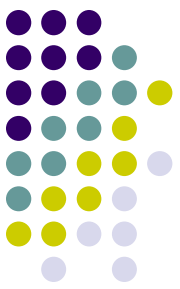


Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
Lichtgeschwindigkeit im Material



= Der *Brechungsindex* (n) des Materials

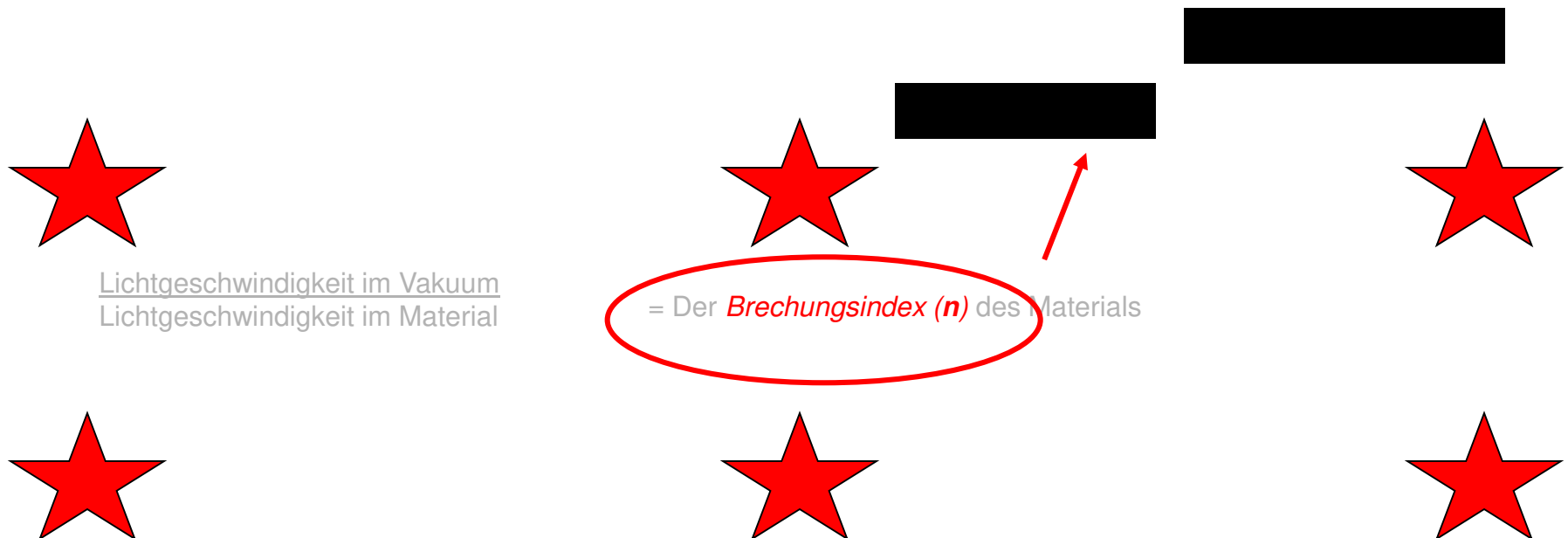


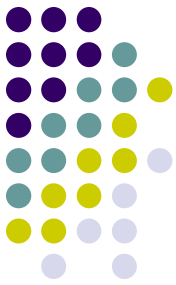


Refraktion

- Die Fähigkeit eines Materials, die Ausbreitung von Licht zu verlangsamen (d. h. seine optische Viskosität), 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* bekannten Phänomens. Dies wird später wichtig sein, wenn wir den *Duochrom-Test* *besprechen*.





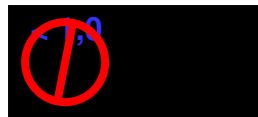
Refraktion

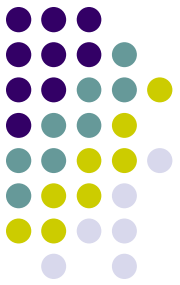
- Da die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum die höchstmögliche Geschwindigkeit ist, **kann n nicht** kleiner als 1,0 sein
 - Für praktische Zwecke gilt: $n_{\text{air}} = 1,0$

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

Lichtgeschwindigkeit in einem Material

= Der *Brechungsindex* (n) des Materials



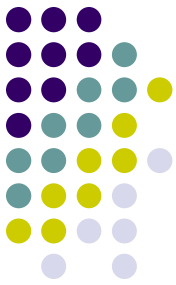


Refraktion

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

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
Lichtgeschwindigkeit im Material

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



Refraktion

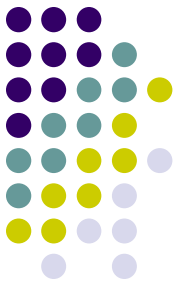
- Einige bemerkenswerte *Zahlen*:
 - Wasser: 1,33
 - Wasser/Glaskörper: 1,34
 - Brillenglas (Kronenglas): 1,52
 - Kunststoffe *mit hohem Brechungsindex*: bis zu ~1,9
 - **Hornhaut: 1,376**

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

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

Lichtgeschwindigkeit in einem Material

= Der *Brechungsindex* (n) des Materials



Refraktion

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

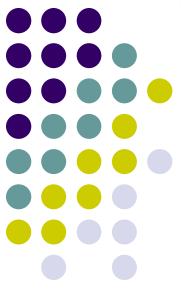
Wie bitte? Ich dachte, der Brechungsindex der Hornhaut betrage 1,3375?
Ja und nein – mehr dazu in der Folienreihe mit dem Titel „*Hornhautoptik*“ im Abschnitt „**Refraktive Chirurgie**“

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

Lichtgeschwindigkeit in einem Material

= Der *Brechungsindex* (n) des Materials

Refraktion



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



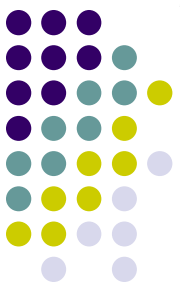
Licht im Vakuum
($n = 1,0$)

Glasprisma
($n = 1,5$)

Licht wird schneller!

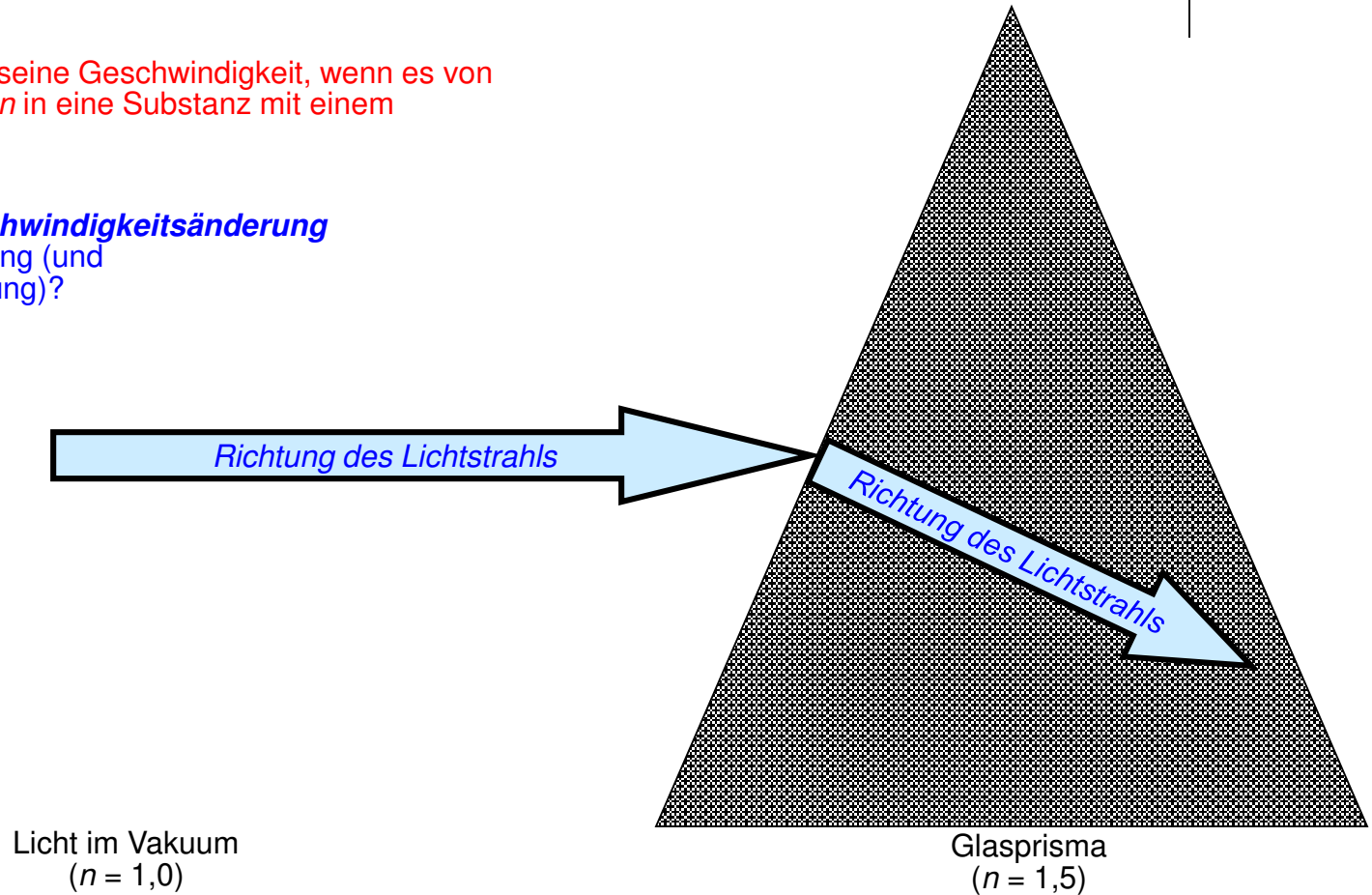
Licht wird langsamer!

Refraktion



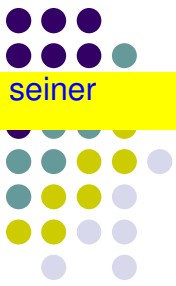
OK, das Licht ändert also seine Geschwindigkeit, wenn es von einer Substanz mit einem n in eine Substanz mit einem anderen n .

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



Licht wird schneller!

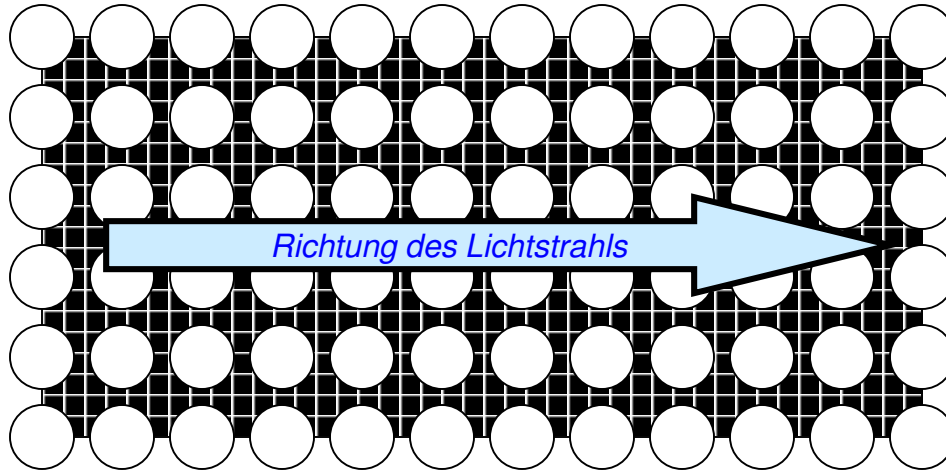
Licht wird langsamer!



Refraktion

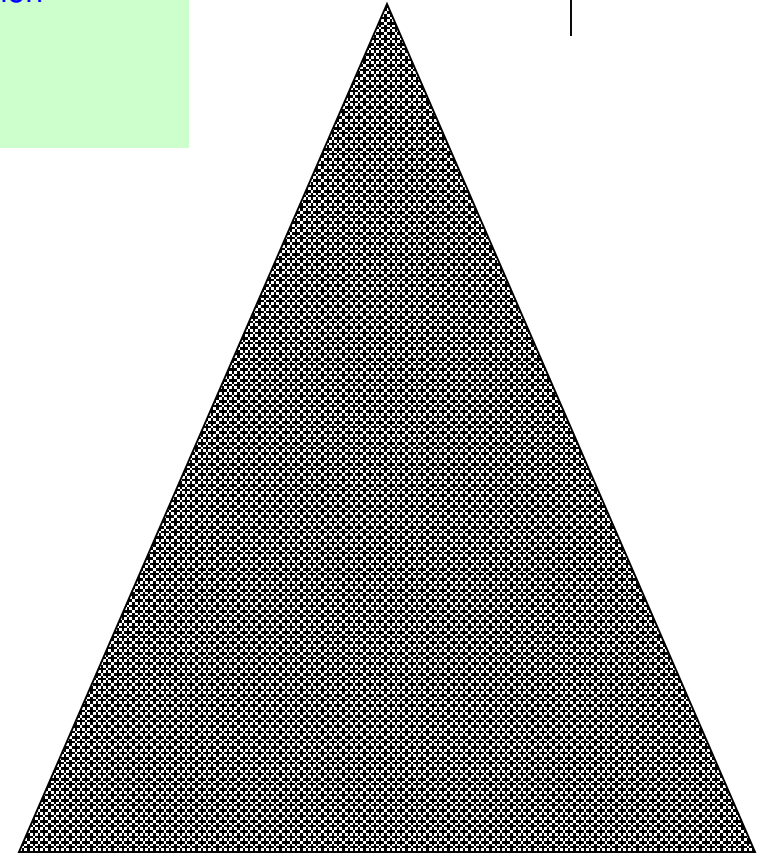
Wie führt eine Änderung der **Lichtgeschwindigkeit** zu einer Änderung seiner **Richtung**?

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!

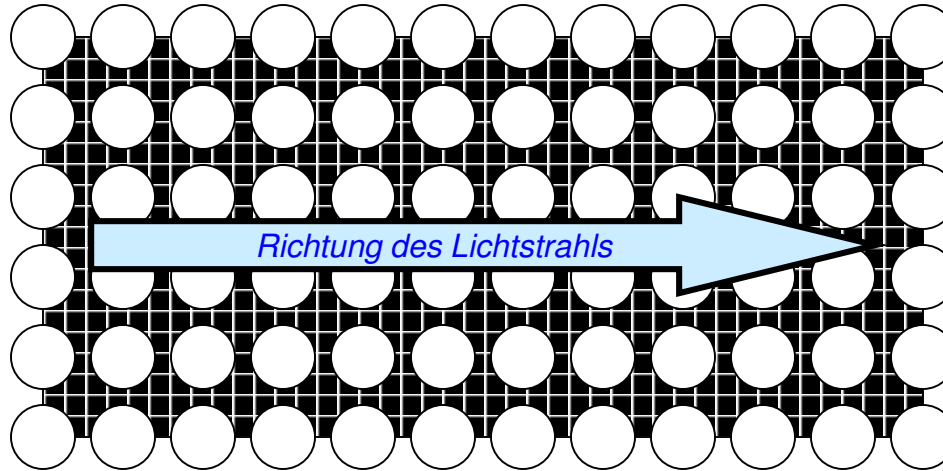
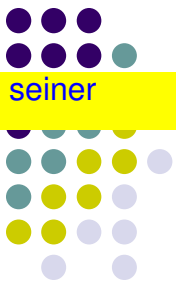


Glasprisma
($n = 1,5$)

Das Licht wird langsamer!

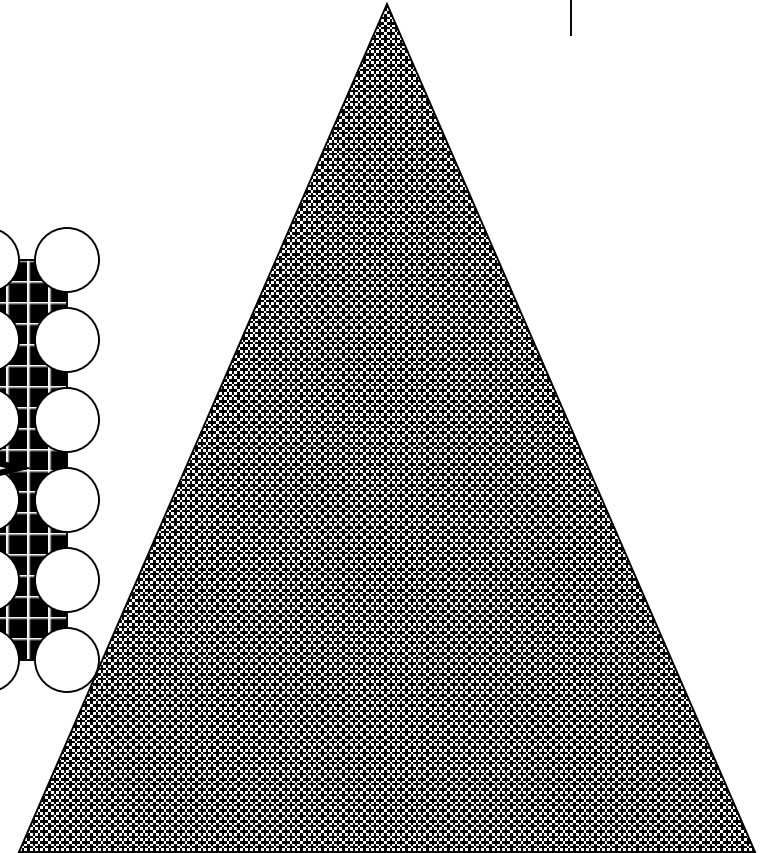
Refraktion

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



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

Licht wird schneller!

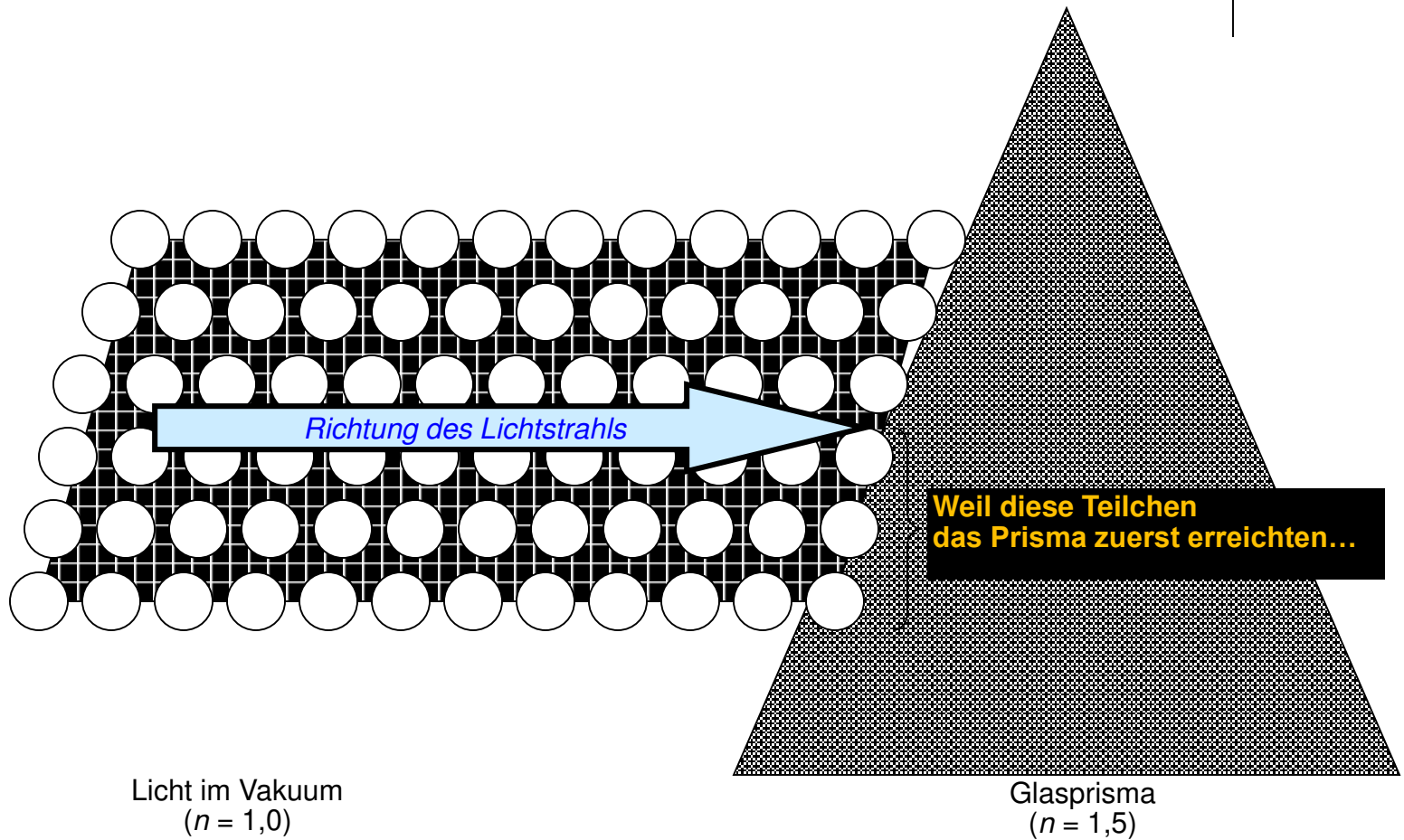


Glasprisma
($n = 1,5$)

Das Licht wird langsamer!

Refraktion

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

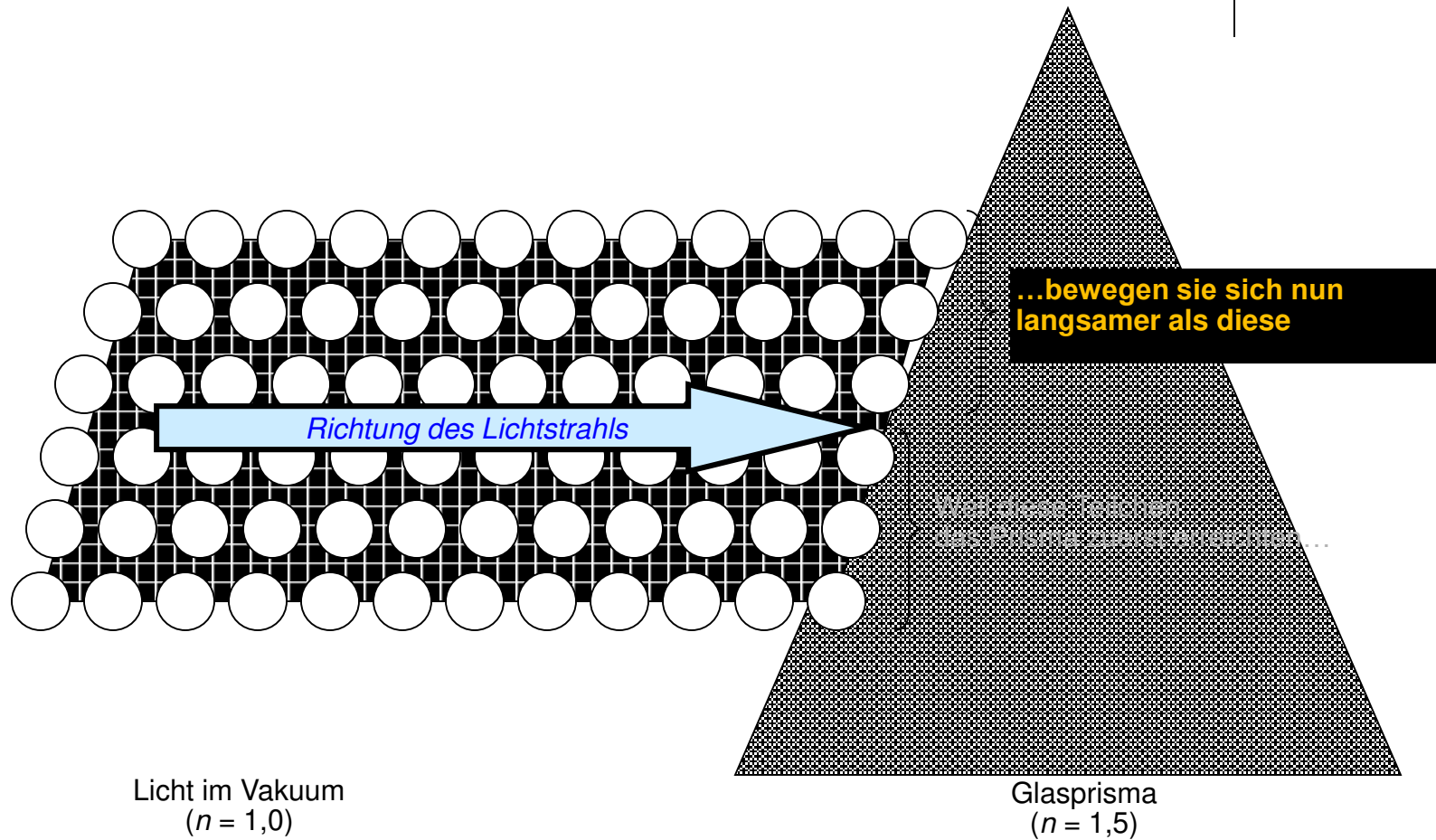


Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

Refraktion

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

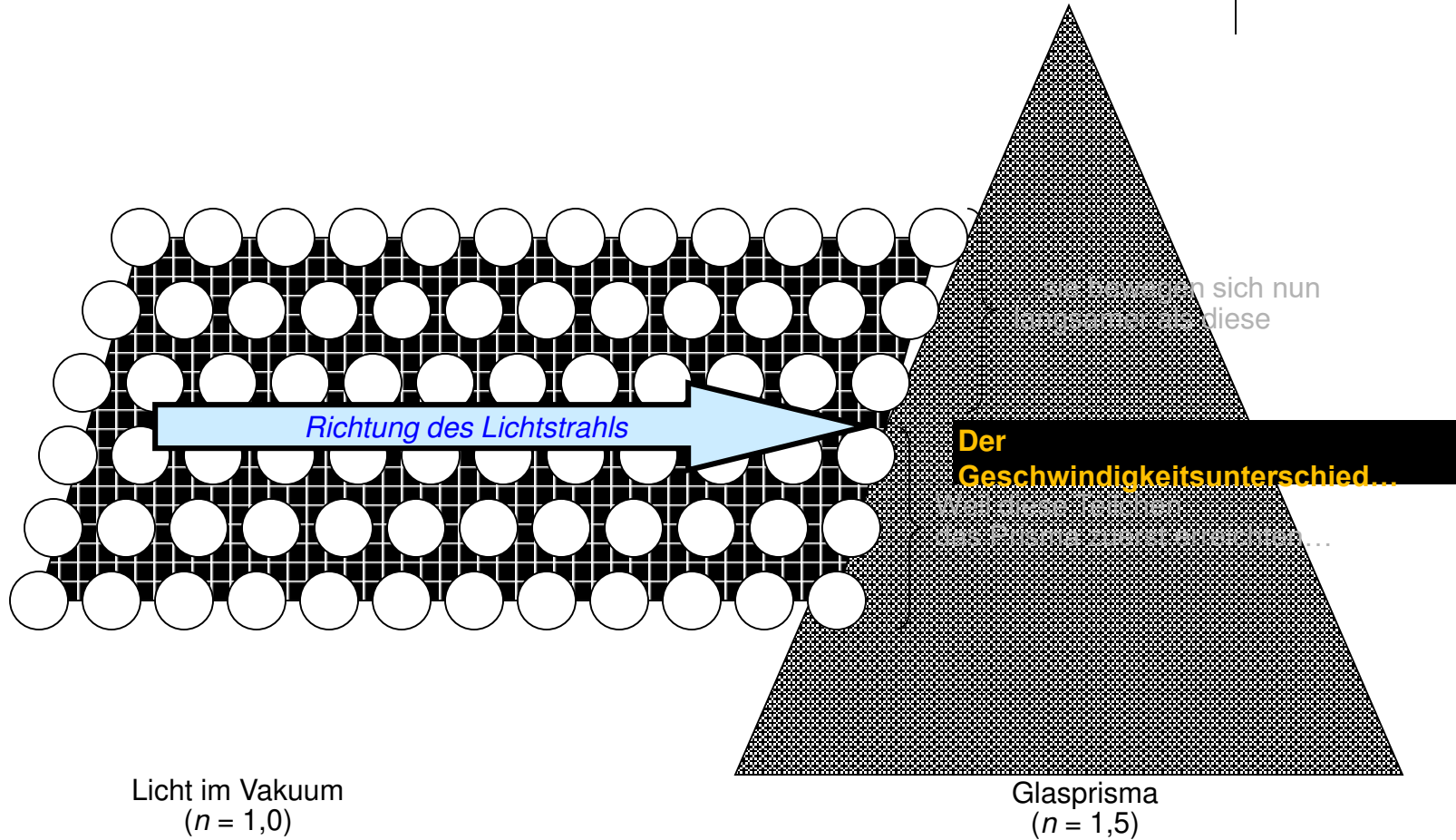
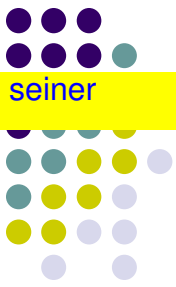


Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

Refraktion

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

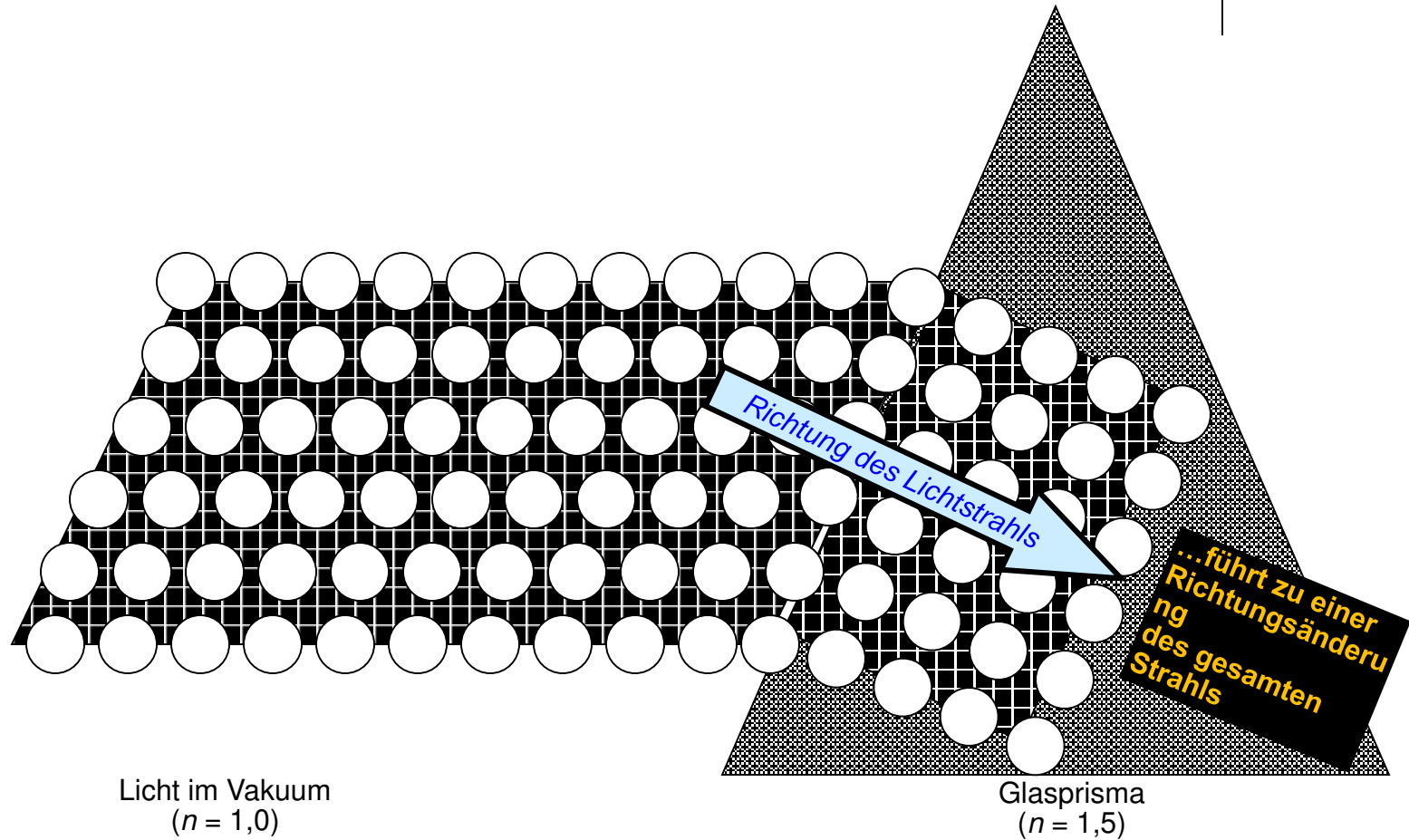


Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

Refraktion

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

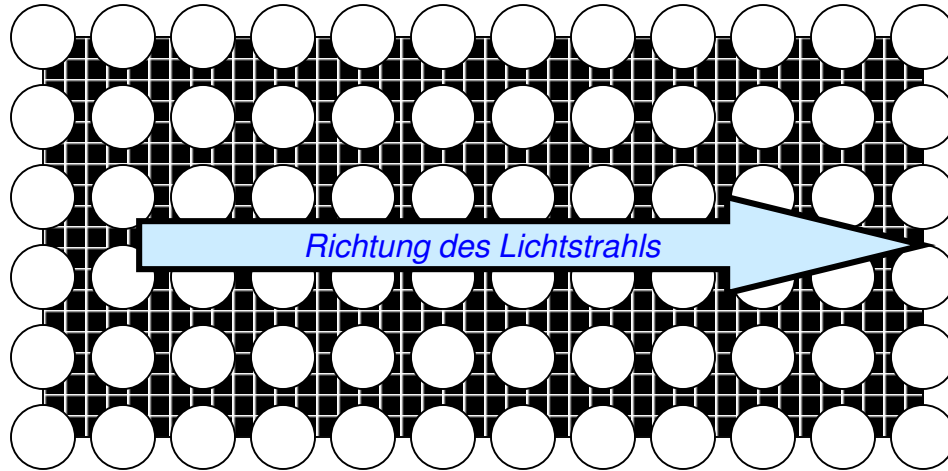
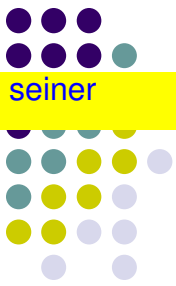


Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

Refraktion

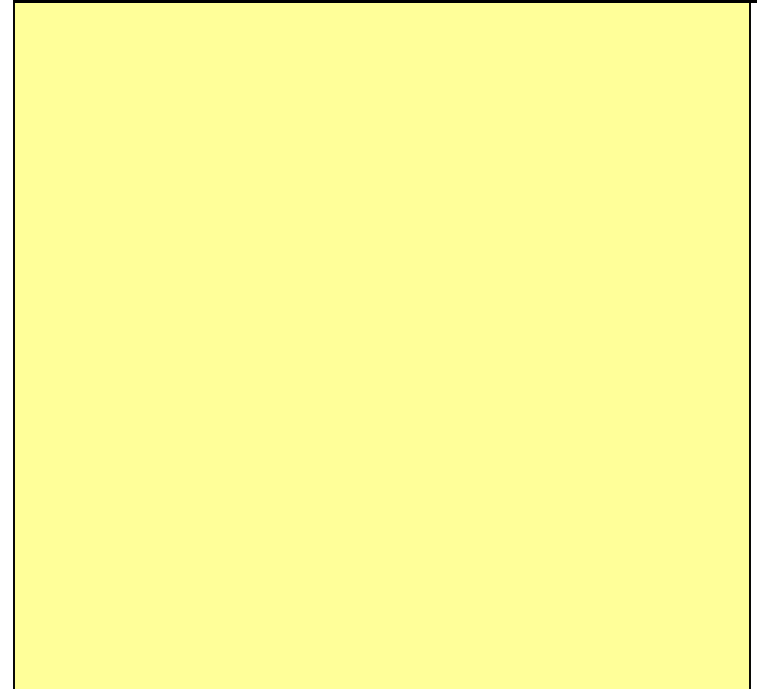
Wie führt eine Änderung der *Lichtgeschwindigkeit* zu einer Änderung seiner *Richtung*?



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

Licht wird schneller!

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

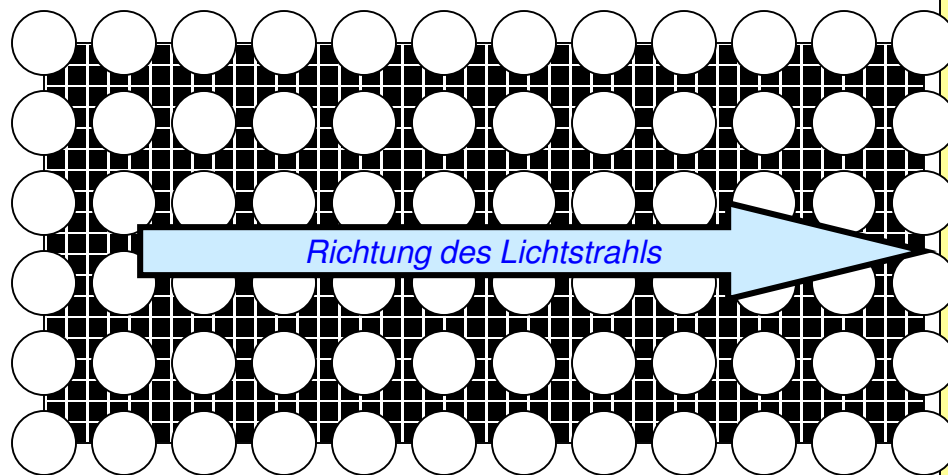


Glasprisma
($n = 1,5$)

Das Licht wird langsamer!

Refraktion

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...

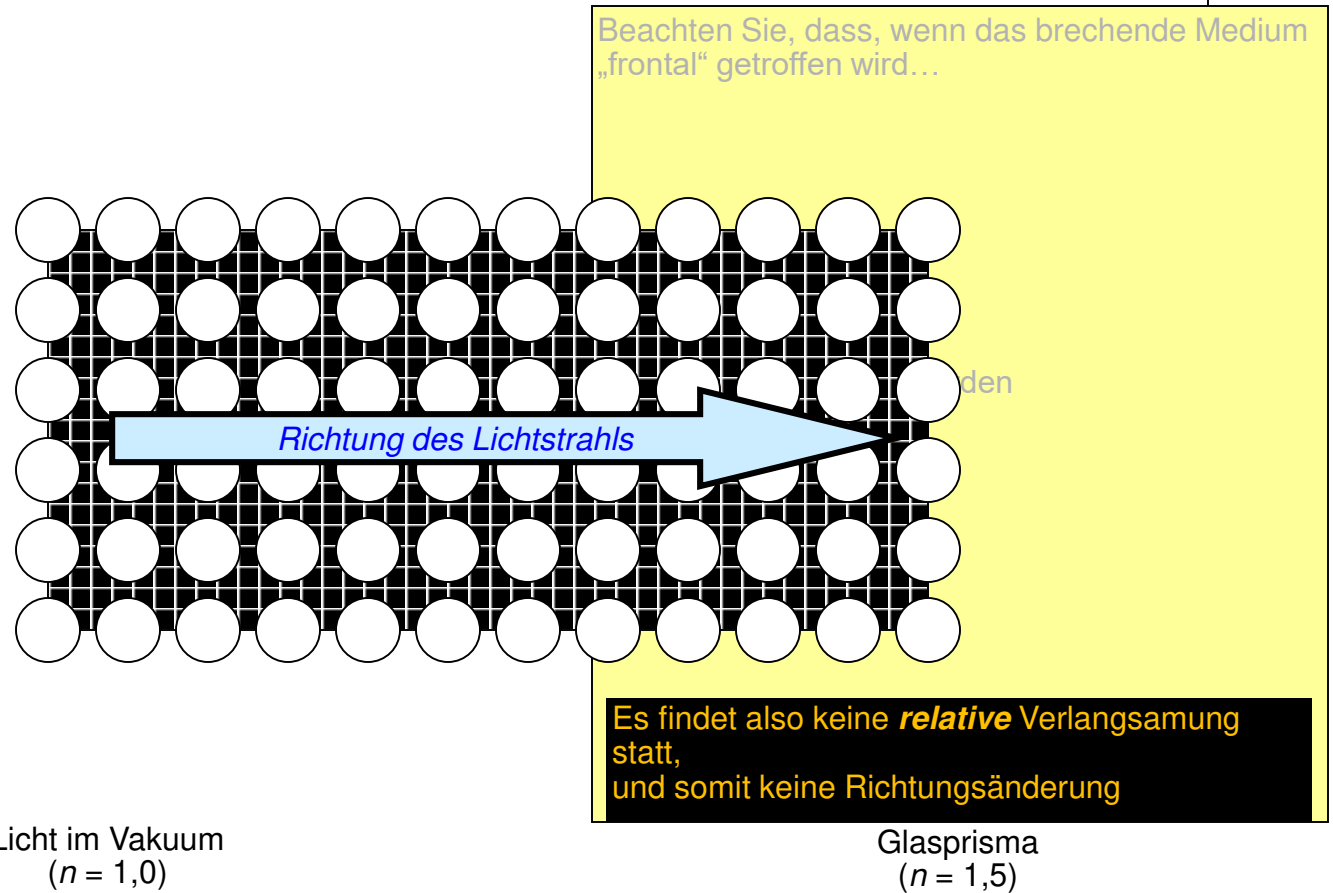
... alle Teilchen werden gleichzeitig verlangsamt.

Glasprisma
($n = 1,5$)

Das Licht wird langsamer!

Refraktion

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



Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

Refraktion

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

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

Die Änderung der Lichtrichtung durch Brechung erfordert zwei Dinge:

- 1) Der Lichtstrahl muss von einem Medium mit einem Brechungsindex n in eine Substanz mit einem anderen Brechungsindex n übergehen; **und**
- 2) Der Lichtstrahl muss auf die Grenzfläche zwischen den beiden Stoffen in einem Winkel treffen (und nicht in irgendeinem Winkel, wie wir gleich sehen werden)

Es gibt also keine **relative** Verlangsamung und somit keine Richtungsänderung

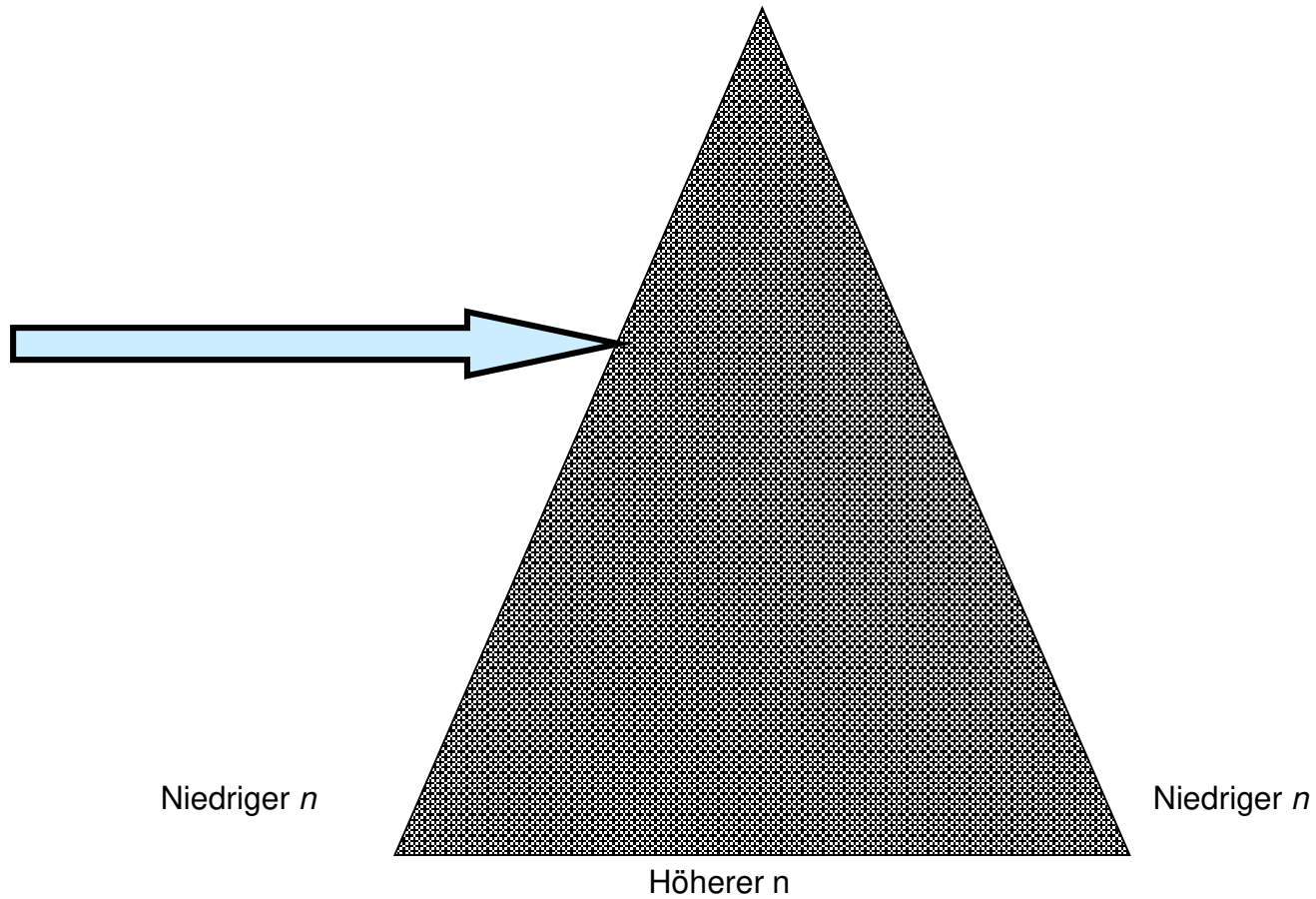
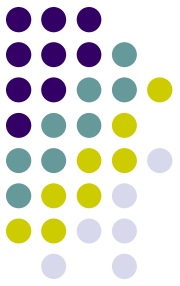
Licht im Vakuum
($n = 1,0$)

Glasprisma
($n = 1,5$)

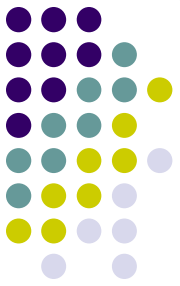
Licht wird schneller!

Das Licht wird langsamer!

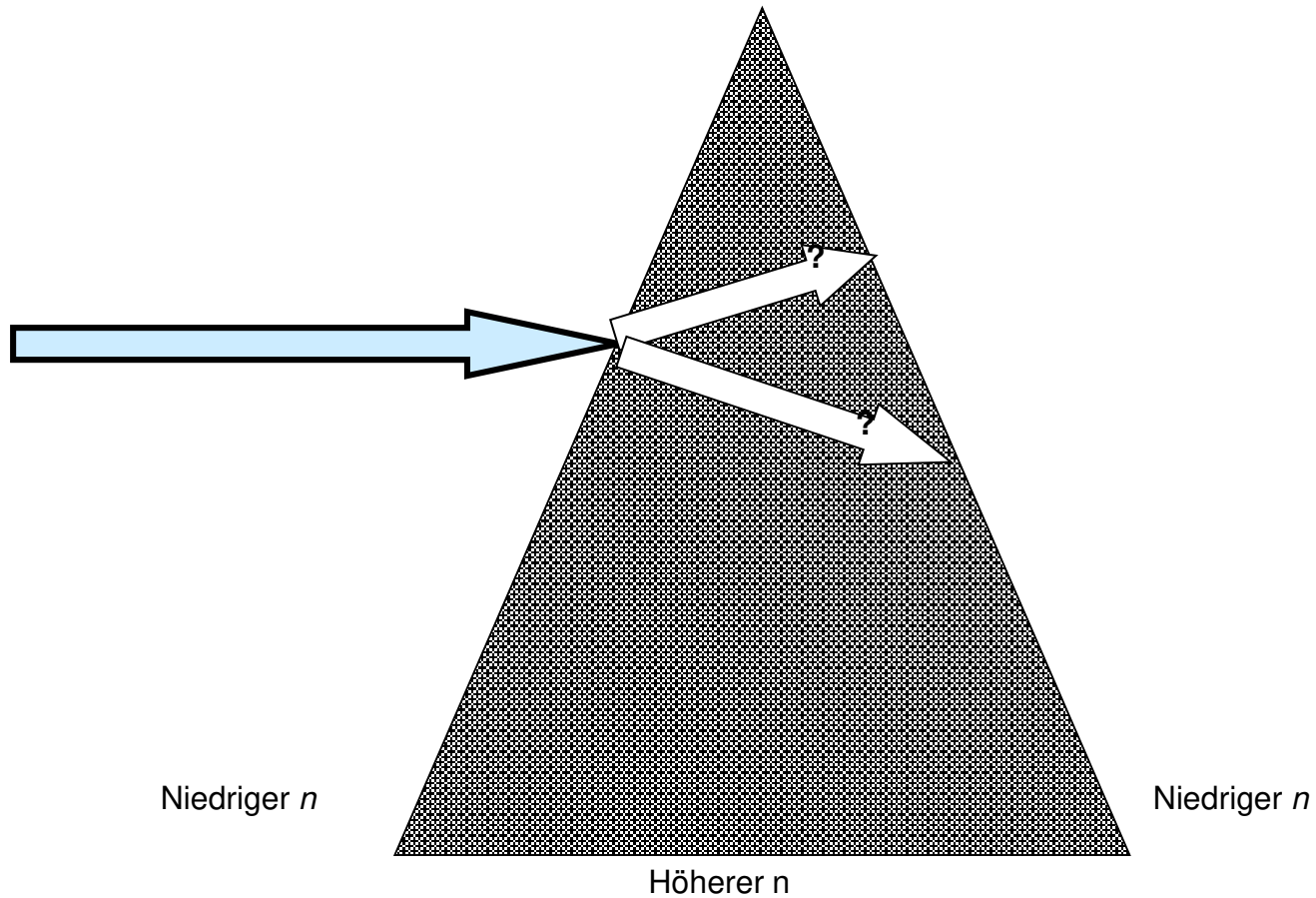
Refraktion



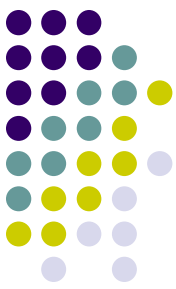
Ein Lichtstrahl trifft auf ein Prisma...



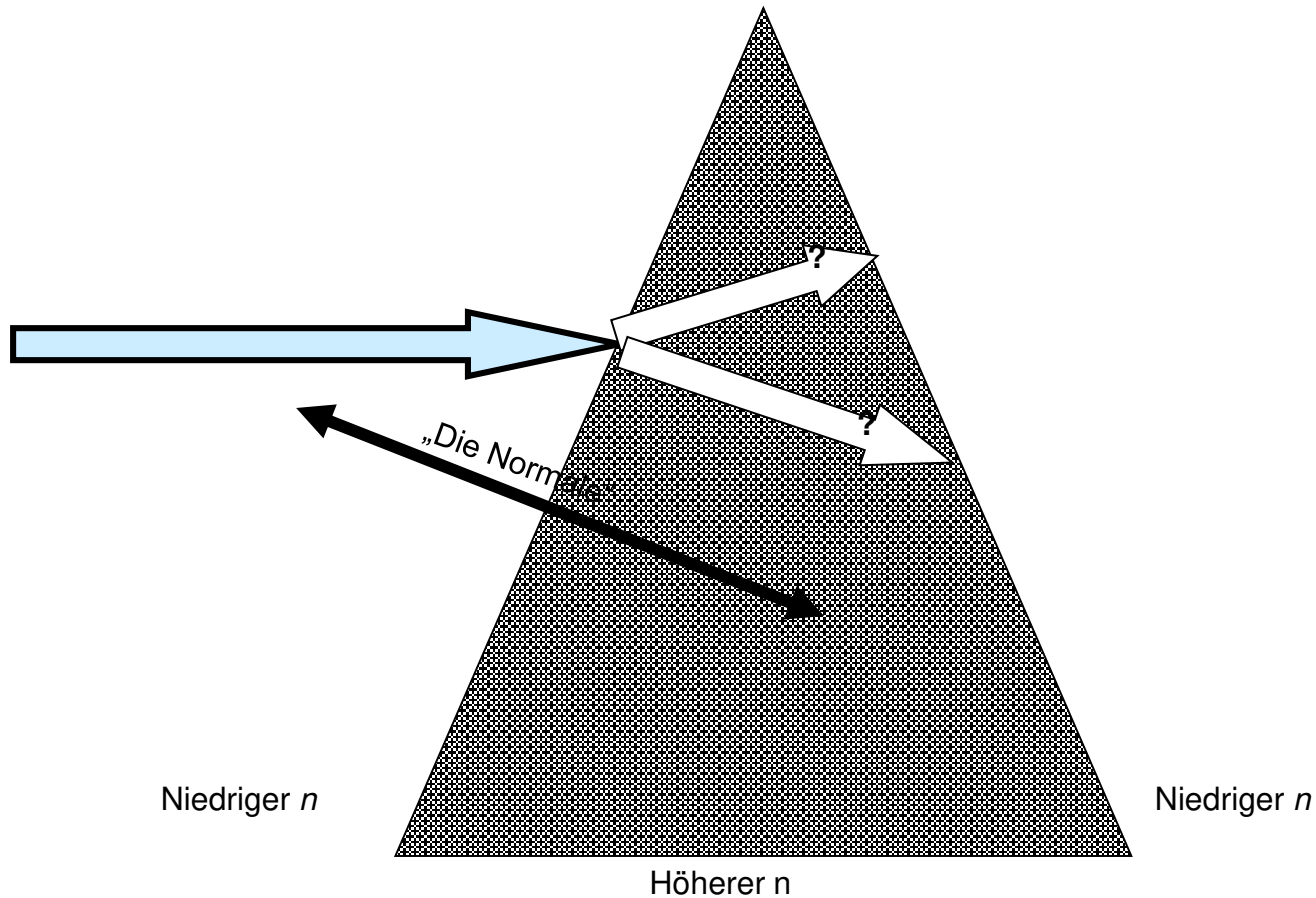
Refraktion



Ein Lichtstrahl trifft auf ein Prisma... In welche Richtung wird der Strahl gebrochen?

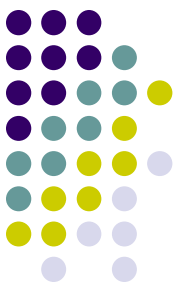


Refraktion

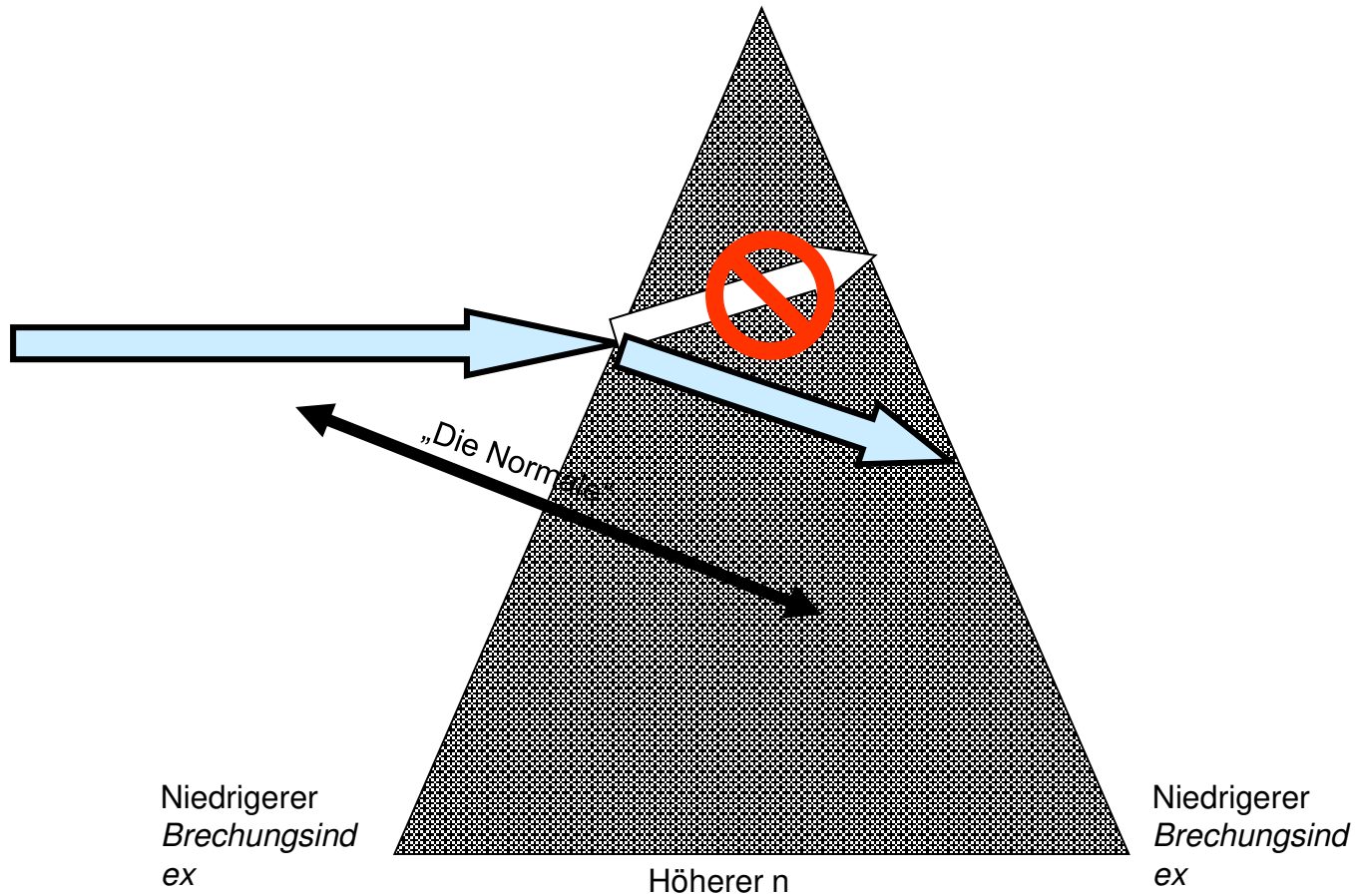


Ein Lichtstrahl trifft auf ein Prisma ... In welche Richtung wird der Strahl gebrochen?

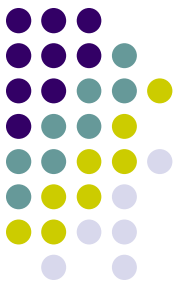
Um dies zu beantworten, müssen wir einen Begriff mit einem eigenartigen Namen einführen: **die Normale**. Die Normale ist einfach eine imaginäre Linie, die senkrecht zur Brechungsfläche steht.



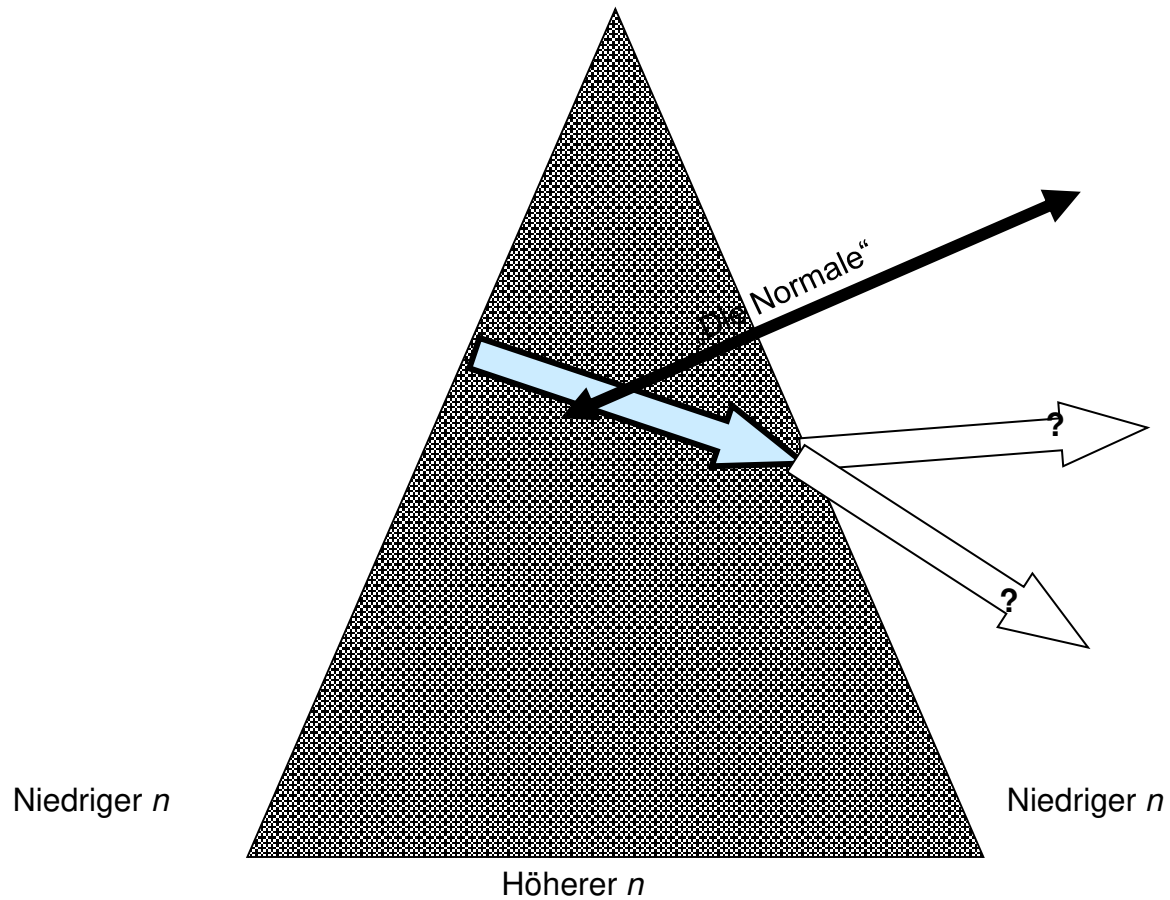
Refraktion



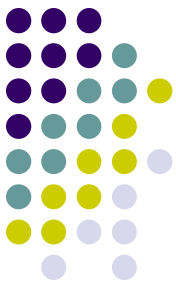
Wenn ein Strahl von einem Material mit **niedrigerem n** in eines mit **höherem n** übergeht, wird der Strahl **in Richtung der Normalen** abgelenkt (das *Ausmaß* der Ablenkung hängt vom Einfallswinkel und der Brechungsindizes der Stoffe ab – dazu später mehr).



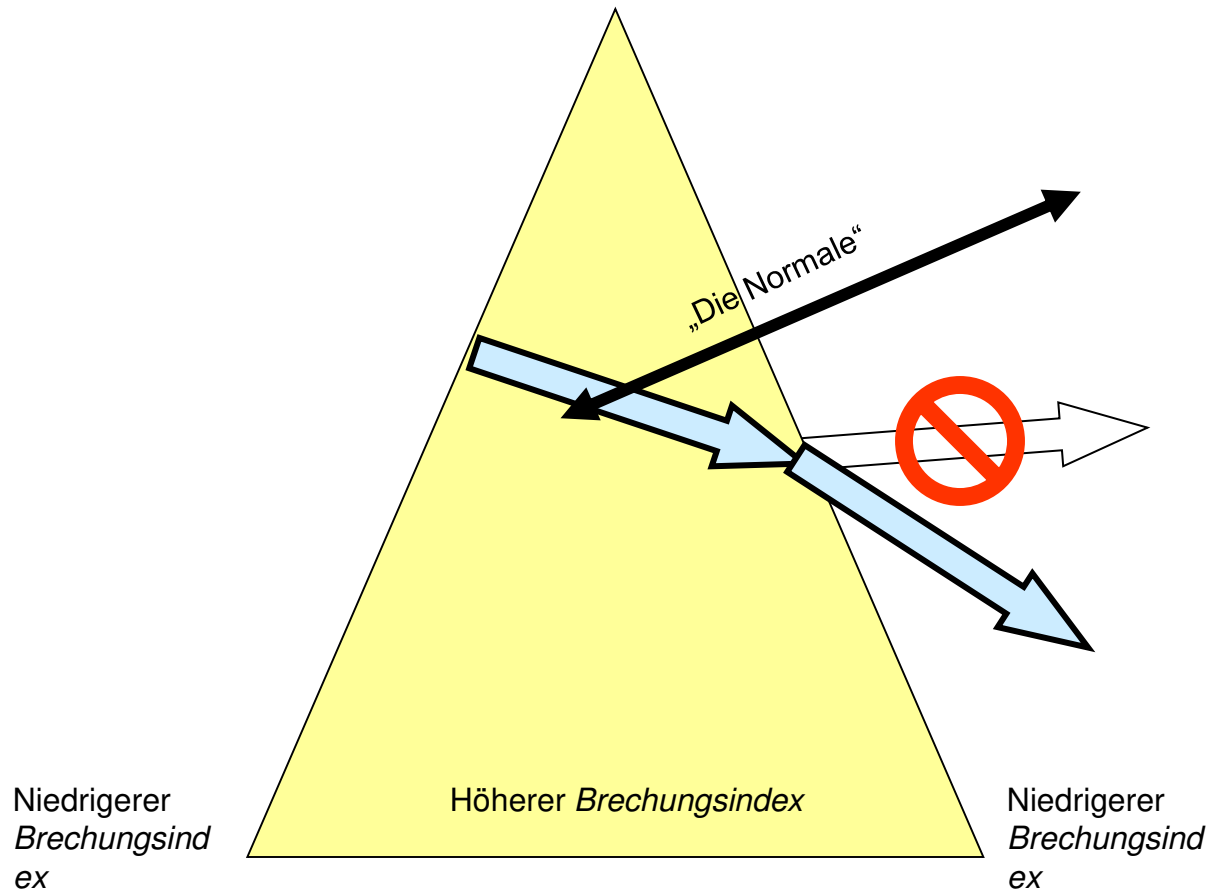
Refraktion



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

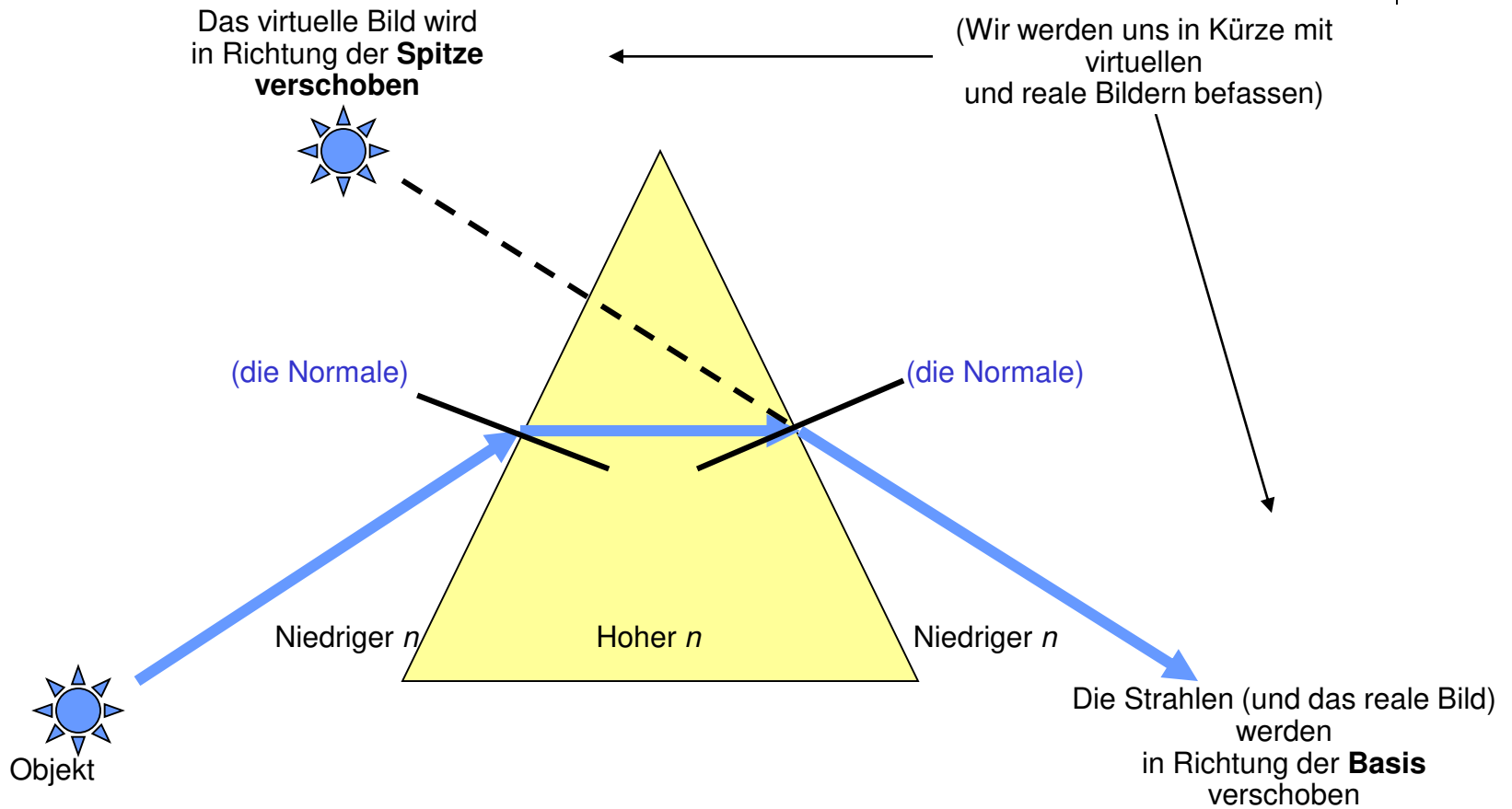
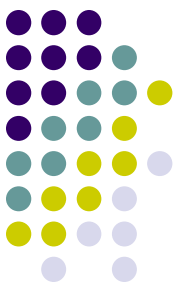


Refraktion



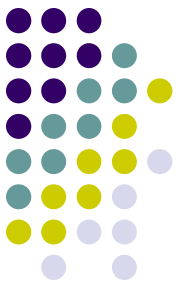
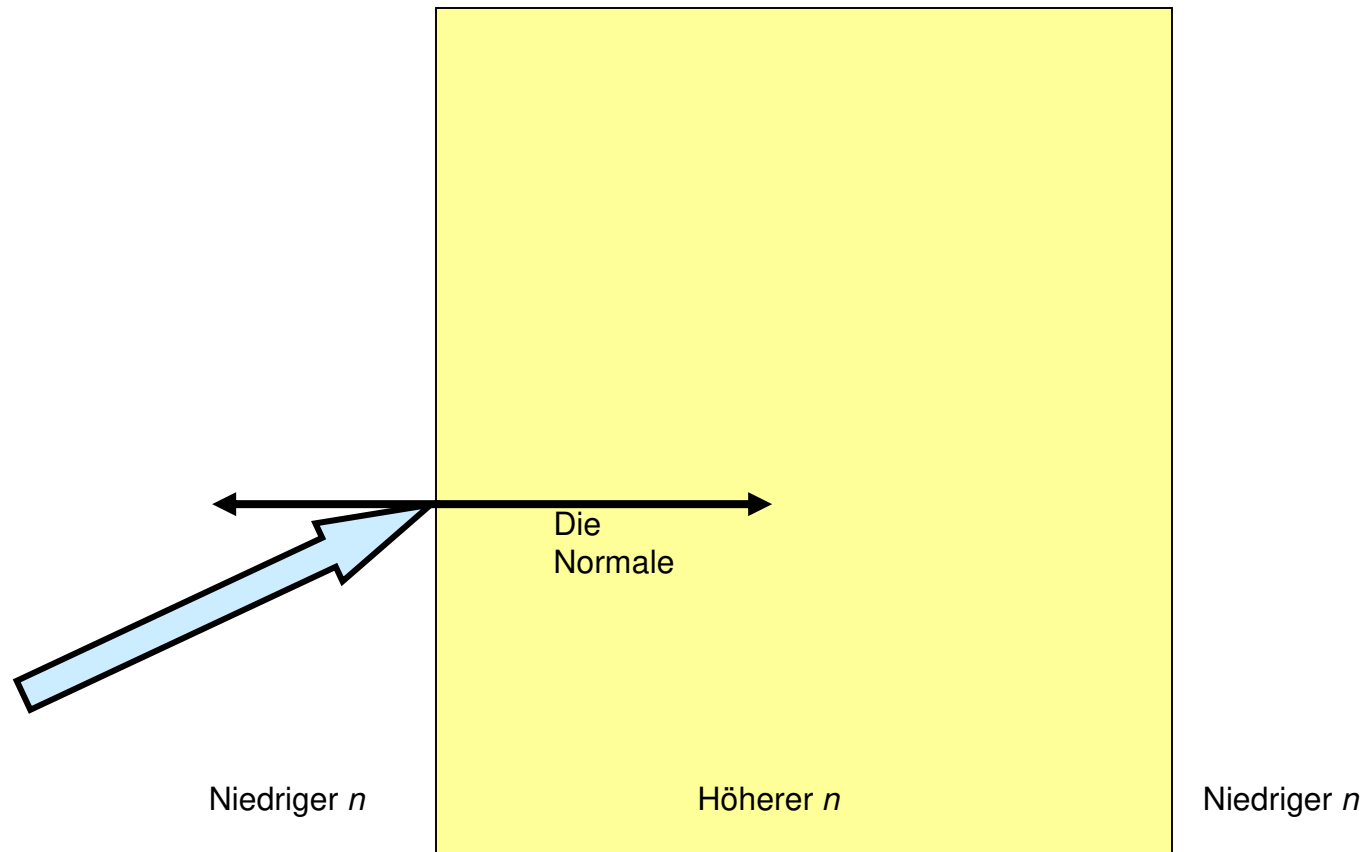
Wenn ein Strahl von einem Material mit höherem n in eines mit niedrigerem n übergeht, wird der Strahl von der Normalen abgelenkt.

Refraktion

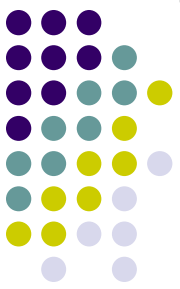


Wenn man darüber nachdenkt, passt all dies zu dem, was Sie bereits über die Wirkung von Prismen auf Licht und Bilder wissen

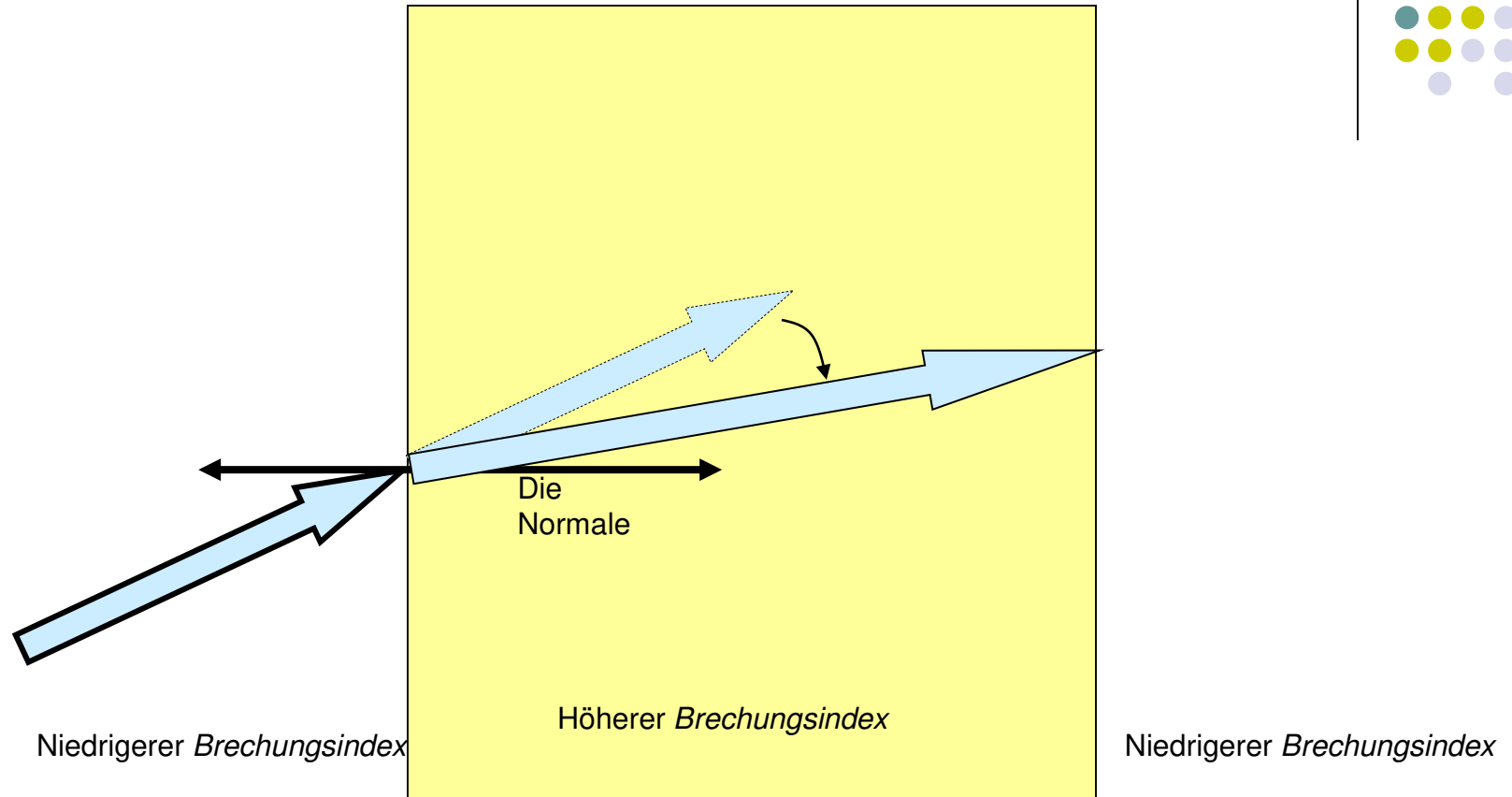
Refraktion



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

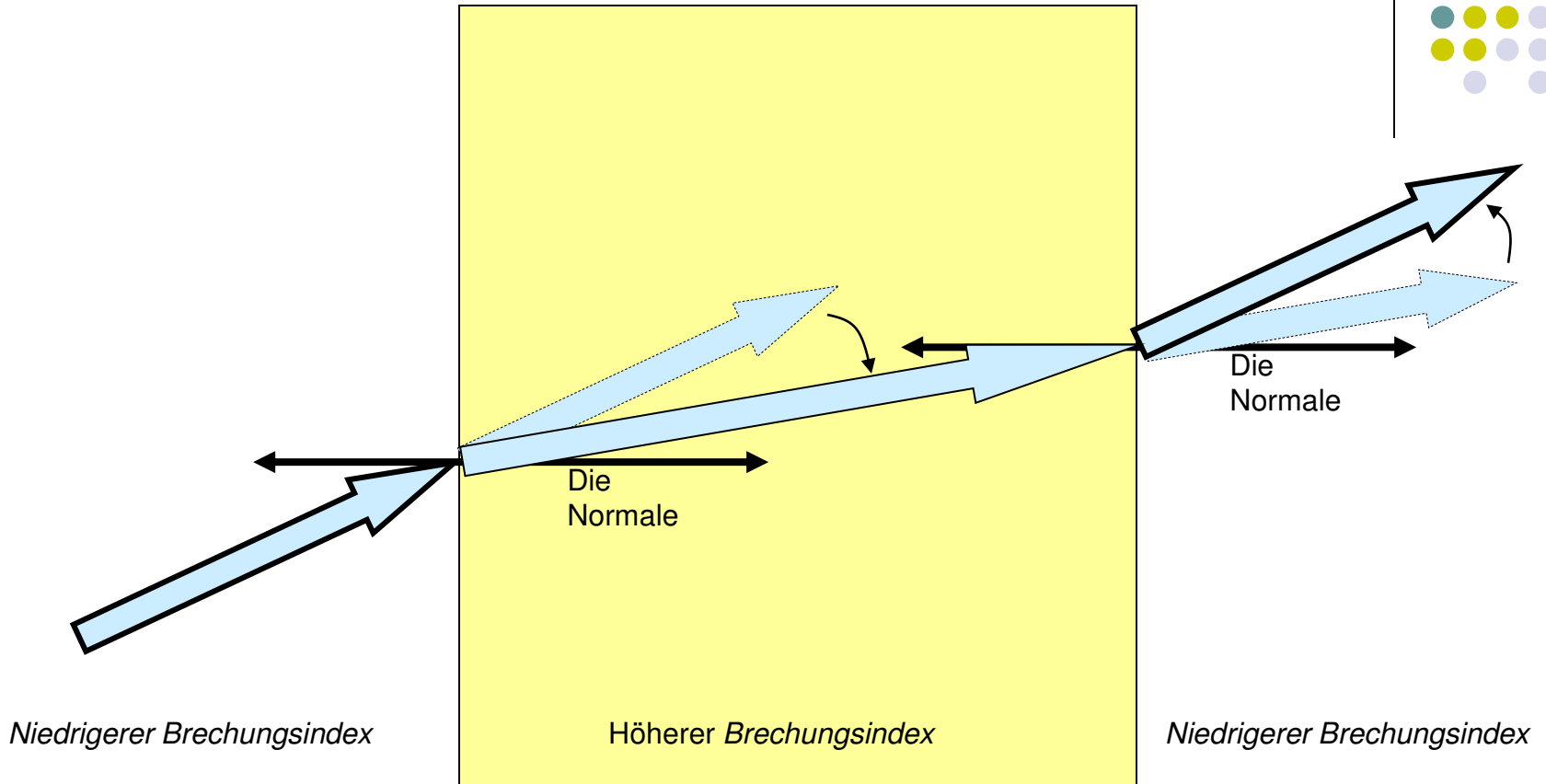


Brechung



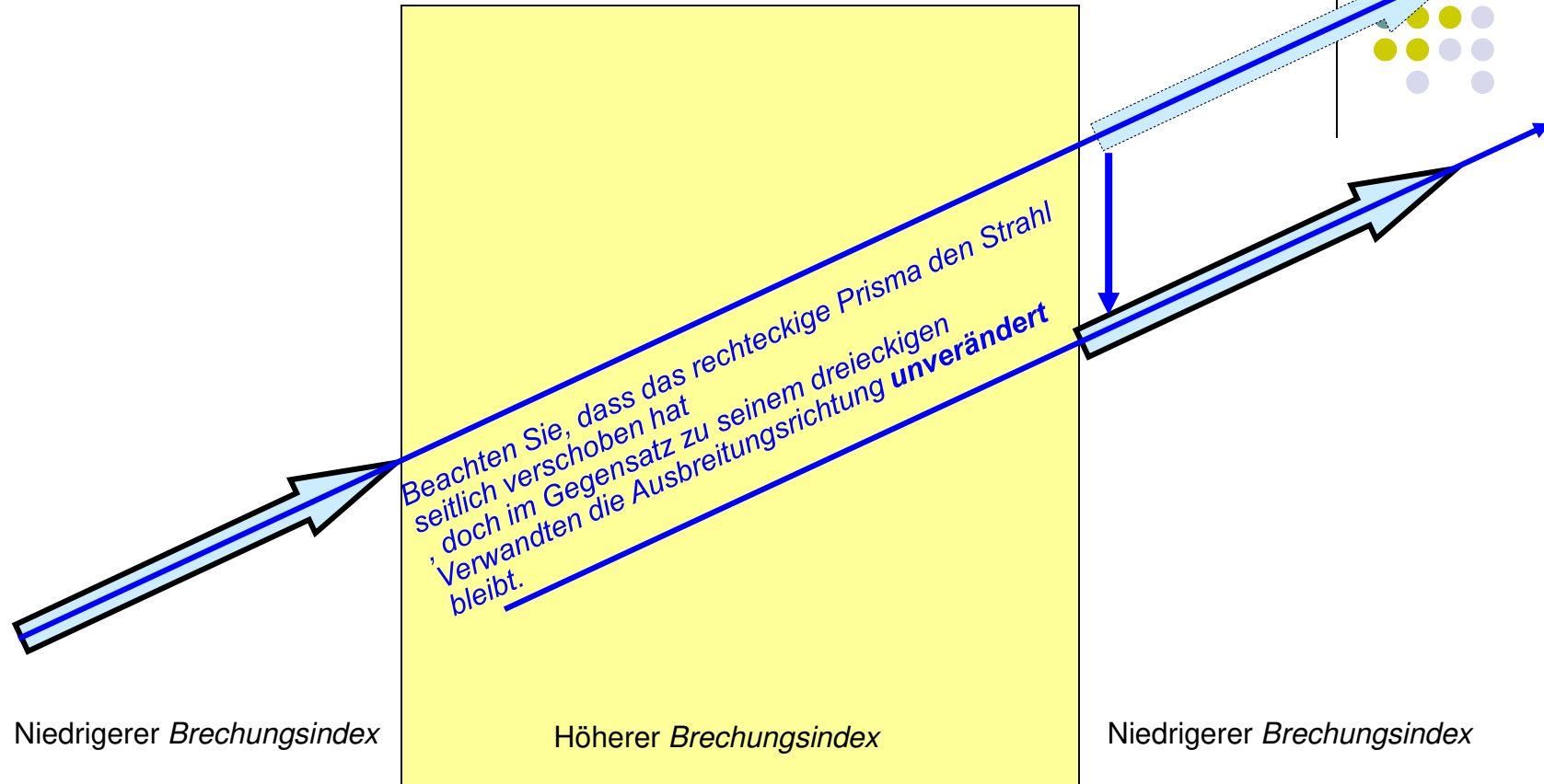
Was ist, wenn das Prisma eine rechteckige Form hat? Das Snellsche Gesetz gilt weiterhin: Wenn Licht von einem Medium mit niedrigerem n in eines mit höherem n übertritt, wird der Strahl zur Normalen hin abgelenkt.

Brechung



Was ist, wenn das Prisma eine rechteckige Form hat? Das Snellsche 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.

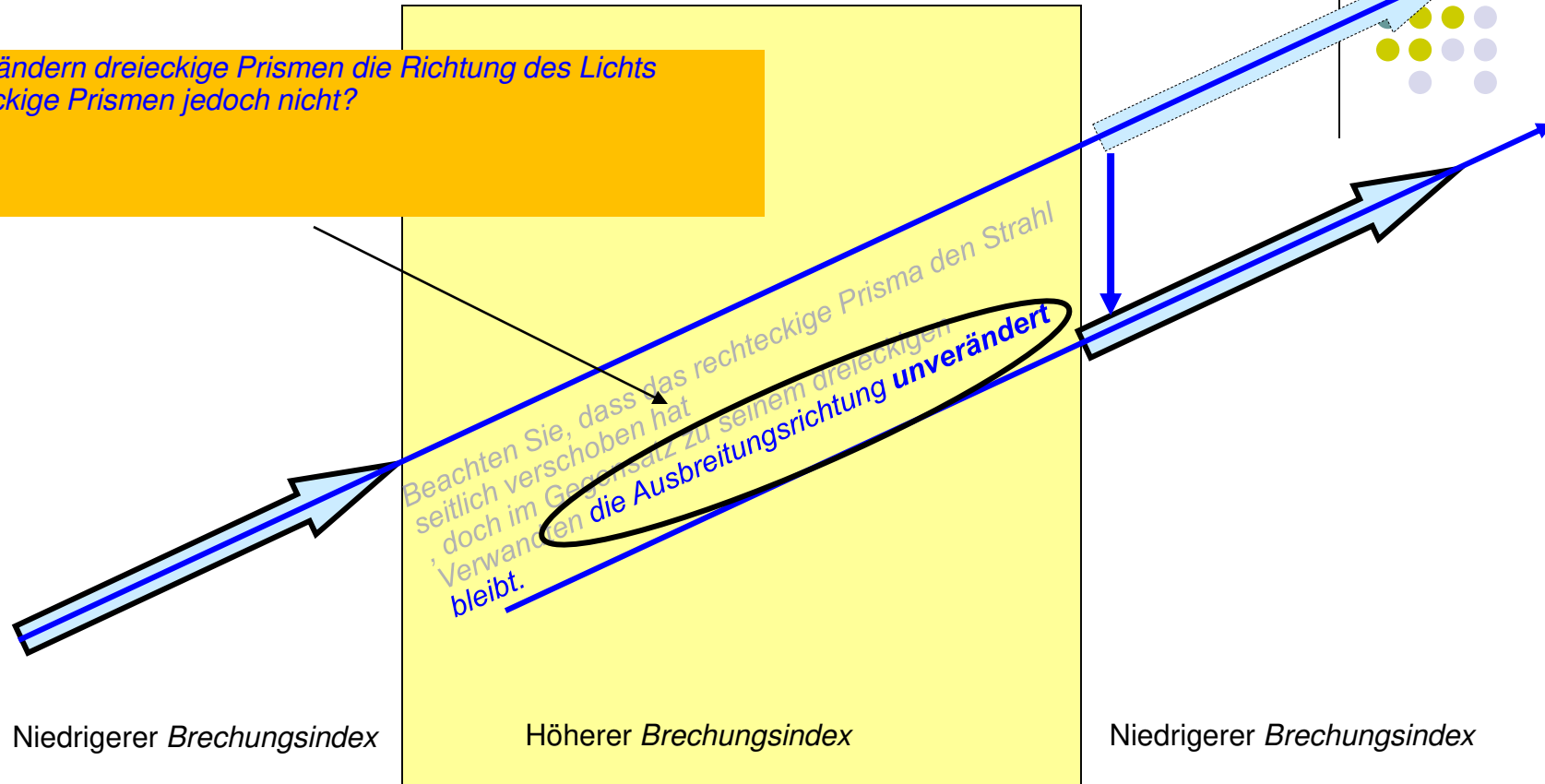
Brechung



Was ist, wenn das Prisma eine rechteckige Form hat? Das Snellsche 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.

Brechung

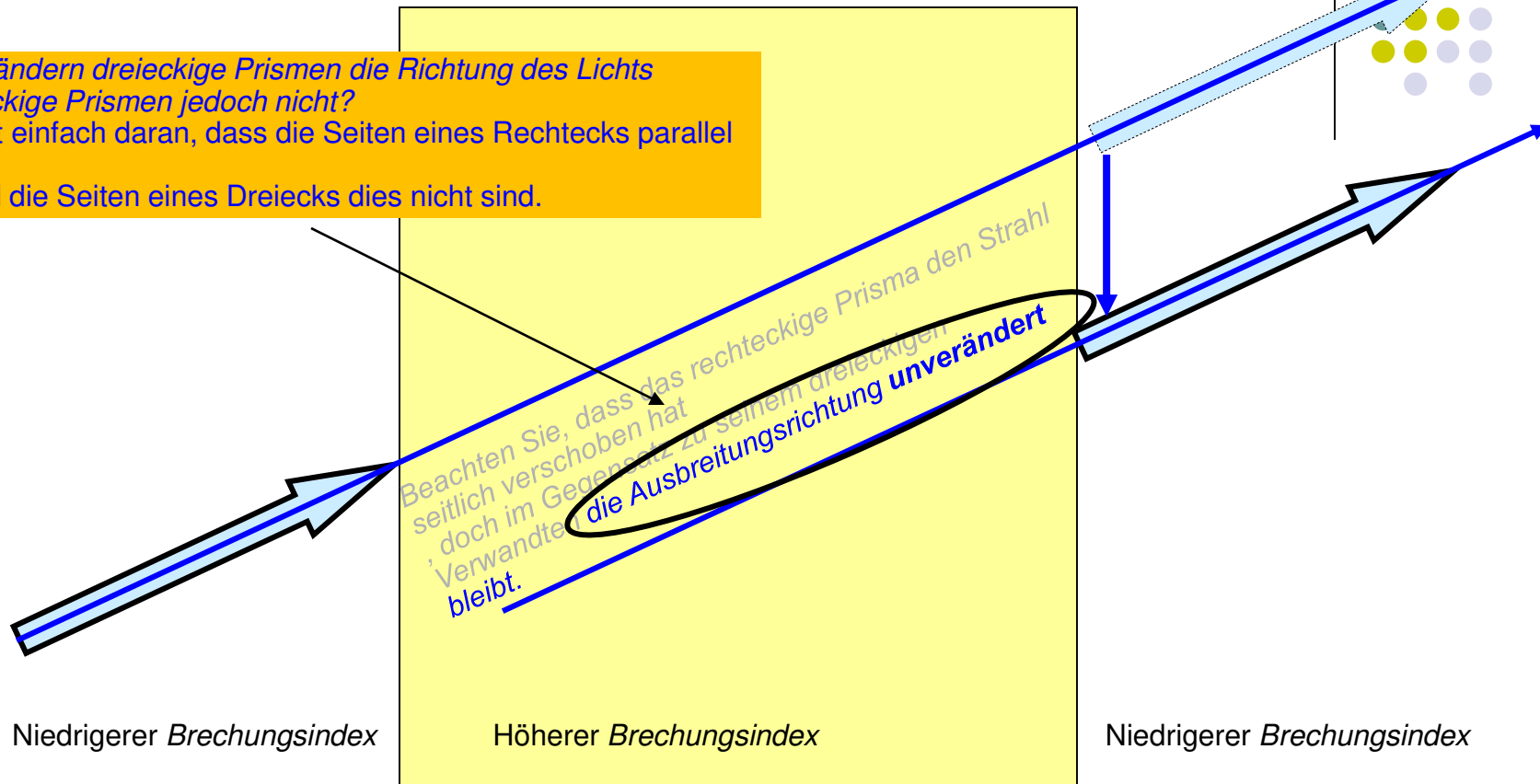
Warum ändern dreieckige Prismen die Richtung des Lichts, rechteckige Prismen jedoch nicht?



Was ist, wenn das Prisma eine rechteckige Form hat? Das Snellsche 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.

Brechung

Warum ändern dreieckige Prismen die Richtung des Lichts, rechteckige Prismen jedoch nicht?
Das liegt einfach daran, dass die Seiten eines Rechtecks parallel sind, während die Seiten eines Dreiecks dies nicht sind.



Was ist, wenn das Prisma eine rechteckige Form hat? Das Snellsche 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.