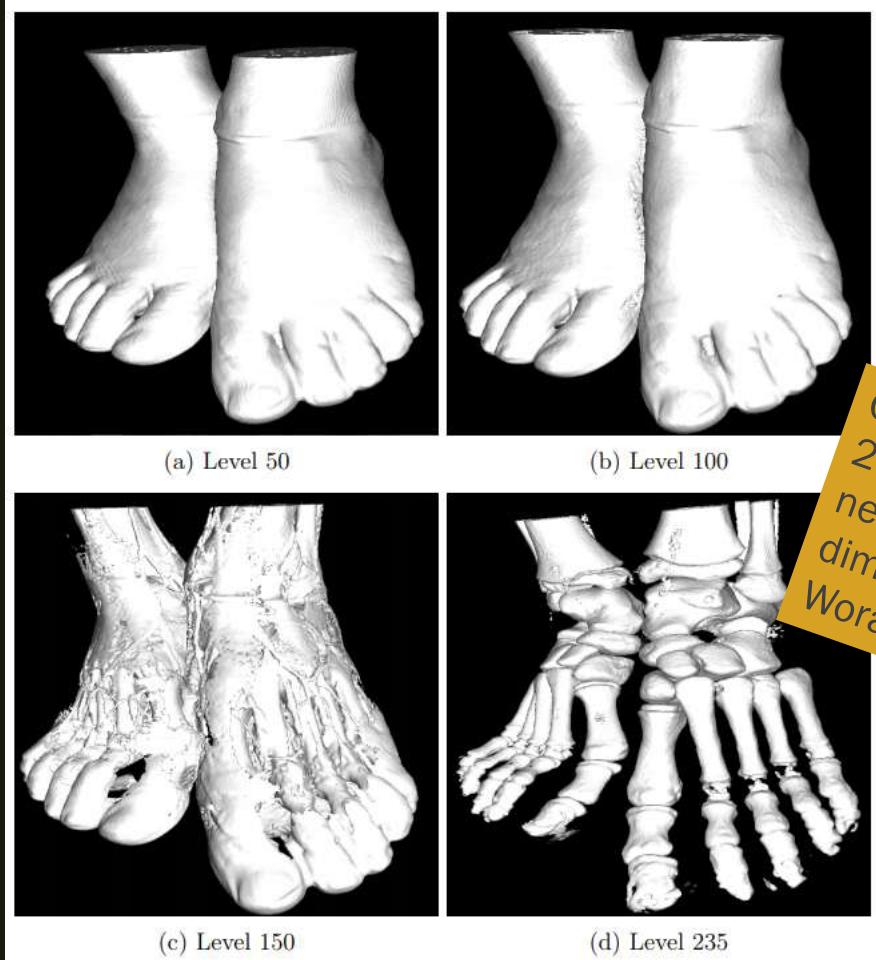


# FORMENWAHRNEHMUNG UND REFLEXION

Prof. Dr. Elke Hergenröther

Wichtig! Inhalte der Veranstaltung sind urheberrechtlich geschützt. Weder die Folien noch das Vorlesungsvideo dürfen an unbeteiligte Dritte weitergegeben werden.

# 3D-Isoflächen



- Extraktion unterschiedlicher Dichte-Werte

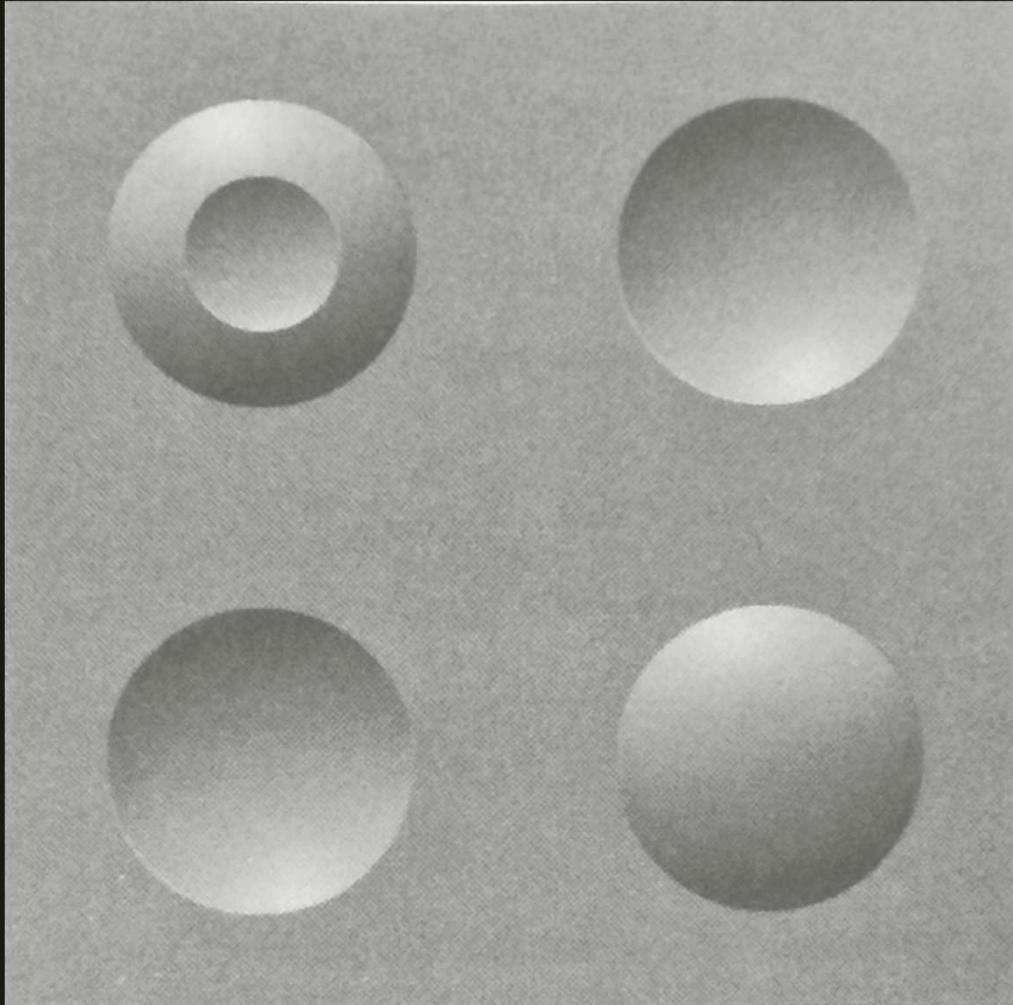
*Obwohl die Geometrien auf eine 2D-Ebenen projiziert wurden, nehmen wir die Formen dreidimensional wahr.  
Woran liegt das?*

Bild aus: Bachelorarbeit „Oberflächenextraktion mittels des Marching Cubes Algorithmus“ Georg Seibt, [https://www.fim.uni-passau.de/fileadmin/dokumente/fakultaeten/fim/lehrstuhl/sauer/geyer/BA\\_MA\\_Arbeiten/BA-SeibtGeorg-201410.pdf](https://www.fim.uni-passau.de/fileadmin/dokumente/fakultaeten/fim/lehrstuhl/sauer/geyer/BA_MA_Arbeiten/BA-SeibtGeorg-201410.pdf)

# Überblick

## 3. Teil: Formenwahrnehmung und Reflexion

- Durch welche Tiefenhinweise erkennen wir dreidimensionale Formen in einem zweidimensionalen Bild?
- Welche Informationen benötigt man, um Schattierungen und spiegelnde Reflexionen zu berechnen?
- Wie berechnet man diffuse und spiegelnde die Reflexionen?



## Wie unser Gehirn Schattierungen auswertet:

Wir gehen immer davon aus,  
dass die Lichtquelle von oben  
auf die Geometrie scheint.

Daher erscheinen uns die  
Formen rechts oben und unten  
links eingedrückt.

Die Formen links oben und  
rechts unten erscheinen uns  
nach außen gewölbt.

Bild aus: „Information  
Visualization“ von Colin Ware

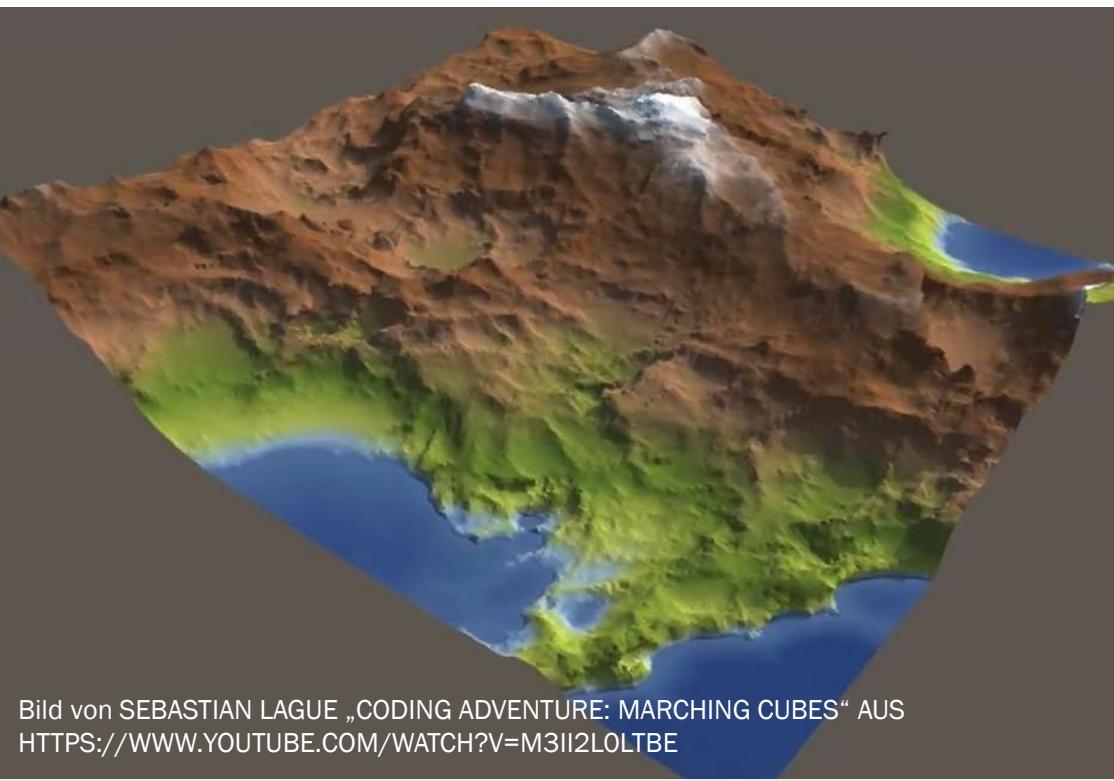


Bild von SEBASTIAN LAGUE „CODING ADVENTURE: MARCHING CUBES“ AUS  
[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=M3II2LOLTBE](https://www.youtube.com/watch?v=M3II2LOLTBE)

DEN SCHATTIERUNGS-EFFEKT KÖNNEN SIE AUCH AN DER MIT MARCHING CUBE  
ERZEUGTEN GELÄNDEFÄLCE WAHRNEHMEN

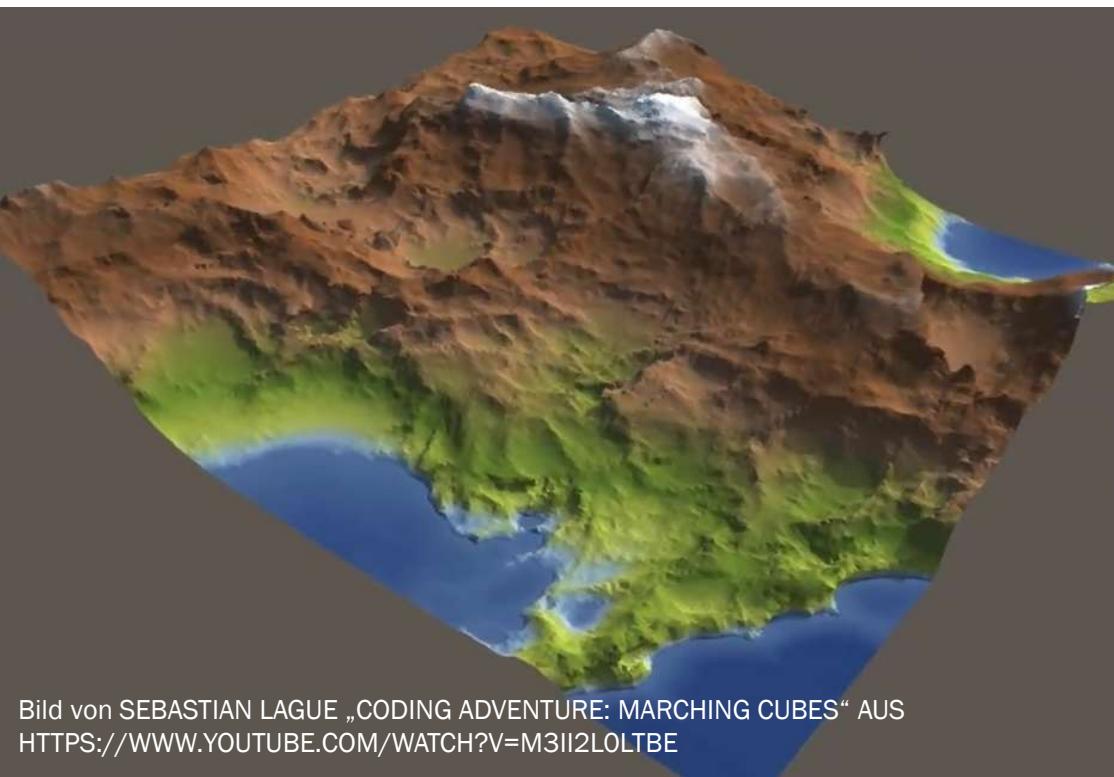


Bild von SEBASTIAN LAGUE „CODING ADVENTURE: MARCHING CUBES“ AUS  
[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=M3II2LOLTBE](https://www.youtube.com/watch?v=M3II2LOLTBE)

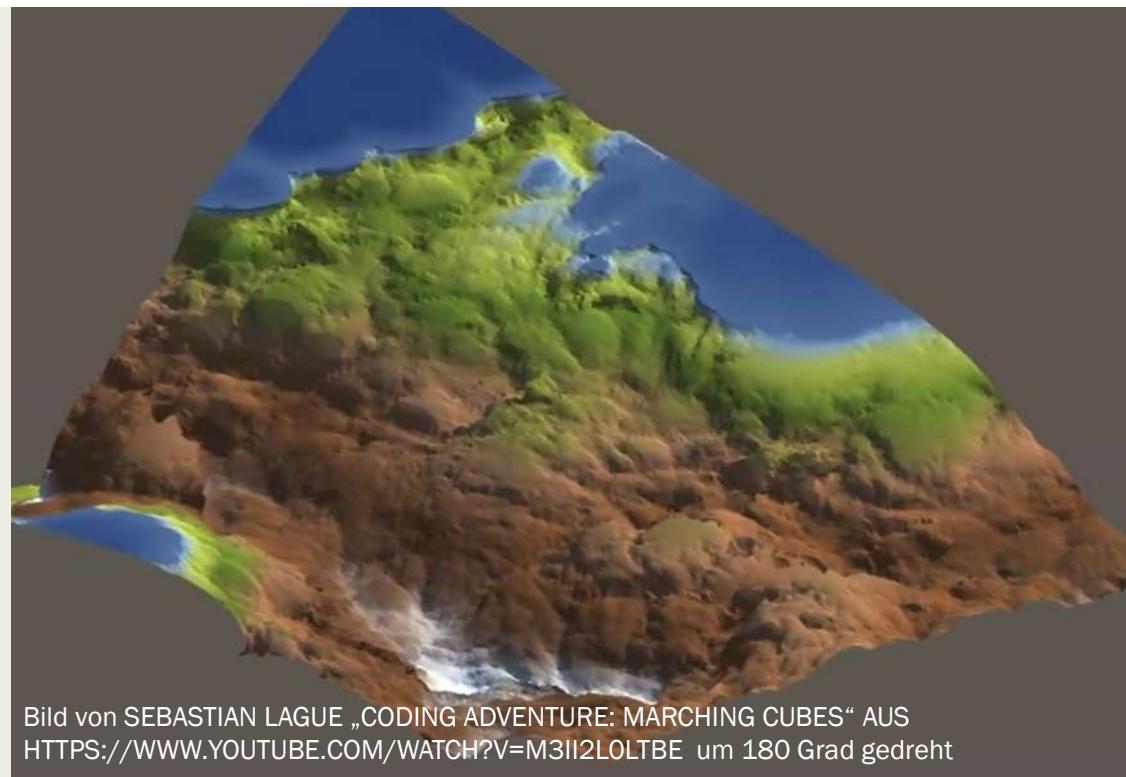


Bild von SEBASTIAN LAGUE „CODING ADVENTURE: MARCHING CUBES“ AUS  
[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=M3II2LOLTBE](https://www.youtube.com/watch?v=M3II2LOLTBE) um 180 Grad gedreht

DEN SCHATTIERUNGS-EFFEKT KÖNNEN SIE AUCH AN DER MIT MARCHING CUBE  
ERZEUGTEN GELÄNDEFÄLÄCHE WAHRNEHMEN



# Kippbild als Photographie

Orginalfoto von Yutori aus <https://www.fotocommunity.de/photo/kippbild-fussabdruecke-im-sand-yutori/15082238>



# Kippbild als Photographie

## Fazit:

- Wir unterscheiden bei der Wahrnehmung von Schattierungen nicht, ob die Bilder künstlich oder real erzeugt wurden.
- Die Wahrnehmung bzw. „das Sehen“ bedeutet immer auch Interpretation des visuellen Eindrucks durch das Gehirn.
- Die Auswertung durch das Gehirn kann nicht ausgetrickst werden, auch wenn wir wissen, dass es eigentlich anders ist - Beispiel Bewegungstäuschung

Oben das Orginalfoto von Yutori und unten das um 180 Grad gedrehte. Fotos aus <https://www.fotocommunity.de/photo/kippbild-fussabdruecke-im-sand-yutori/15082238>



## Optische Täuschung: Bewegungsillusion

Die optisch vorgetäuschte Bewegung kann man nicht ausblenden, auch wenn man weiß das dies ein Bild und keine Animation ist.

Bild aus:  
<https://www.blickcheck.de/auge/funktion/optische-taeuschungen/>

# Monokulare Tiefenhinweise zur Formenwahrnehmung in 2D-Bildern

## ■ Schatten und Schattierung

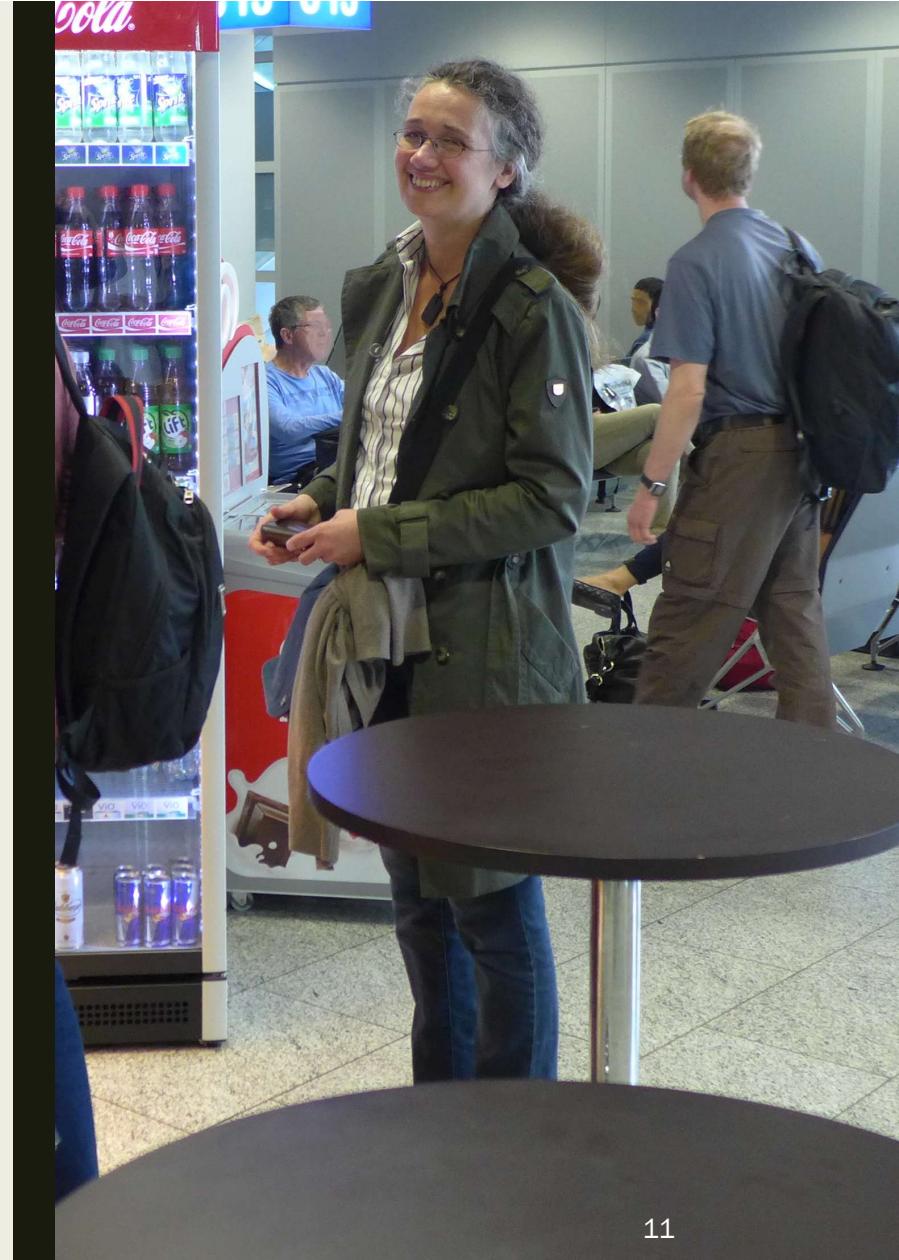
- Verdeckung und Überlappung
- Vertraute Größen
- Relative Höhe und Lage zum Horizont
- Relative Helligkeit und perspektivische Unschärfe
- Texturdichte-Gradient

Aus: [https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/wct/w/w8\\_konstanz/w840\\_helligkeitskonstanz.htm](https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/wct/w/w8_konstanz/w840_helligkeitskonstanz.htm)

Monokulare Tiefenhinweise

# Verdeckung und Überlappung

- Ein Indiz für räumliche Tiefe, also Entfernung, ist die Verdeckung und die Überlappung,
- Das Objekt, das näher zum Betrachter ist verdeckt das dahinterliegende.
- Bei gleicher Größe wirkt das näher am Betrachter liegende größer.
- Fehlende Objektteile, wie meine Füße oder das Tischbein, ergänzt unser Gehirn automatisch.



Monokulare Tiefenhinweise:

# Vertraute Größen

Wenn der Betrachter weiß, dass beide Objekte gleich groß sind, muss das kleinere das Entferntere sein.

Ein weiterer Hinweis sind bekannte Größen. Würde eine der Palmen direkt neben einem Sonnenschirm stehen, könnten wir abschätzen, wie groß die Palmen sind, weil wir die Größe der Sonnenschirme kennen.



Monokulare Tiefenhinweise

# Vertraute Größen

Die Größe unbekannter Geometrien, wie hier der Boxen, kann man sich vertraut machen:

- ... durch die perspektivische Verzerrung
- ... durch die Nähe zu den Torbögen
- ... durch das sich perspektivisch verzerrende Muster auf dem Boden, welches einen Größenvergleich zulässt.

Bild aus: [https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/wct/w/w6\\_raum/w620\\_monokulare\\_tk.htm](https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/wct/w/w6_raum/w620_monokulare_tk.htm)

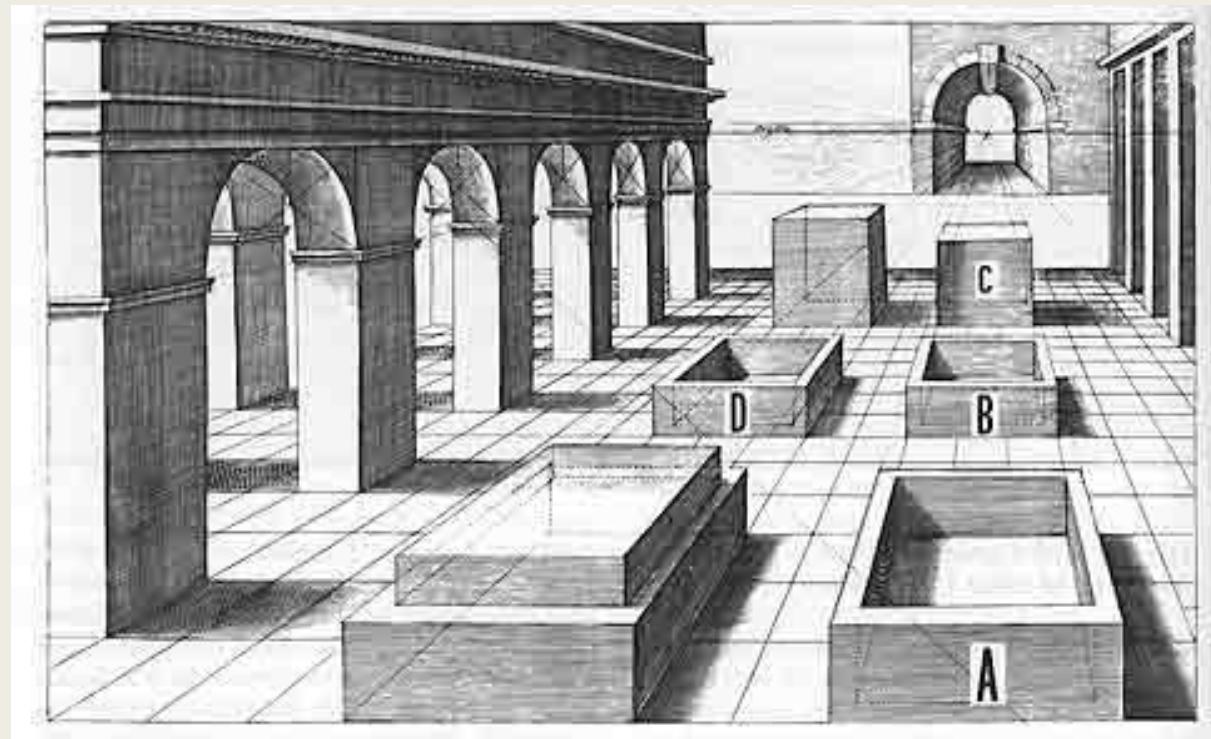




Bild aus: [https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/wct/w/w6\\_raum/w620\\_monokulare\\_tk.htm](https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/wct/w/w6_raum/w620_monokulare_tk.htm)

## Monokulare Tiefenhinweise Vertraute Größen

Das Vertrauen in bekannte Größen kann für eine optische Täuschung ausgenutzt werden.

Scheinbar vertraute Größen, wie das Zwillingspärchen und das Fenster führen zu unvereinbaren visuellen Informationen.

Da es keine Riesen und keine Zwerge gibt, fragt man sich:

Wie ist diese optische Täuschung entstanden?

Monokulare Tiefenhinweise

# Vertraute Größen

## Auflösung der optischen Täuschung:

Der Raum indem sich die beiden Mädchen befinden, ist nicht rechtwinklig. Die Decke ist unterschiedlich hoch. Rechts ist sie sehr niedrig und links hoch (Abb. unten).

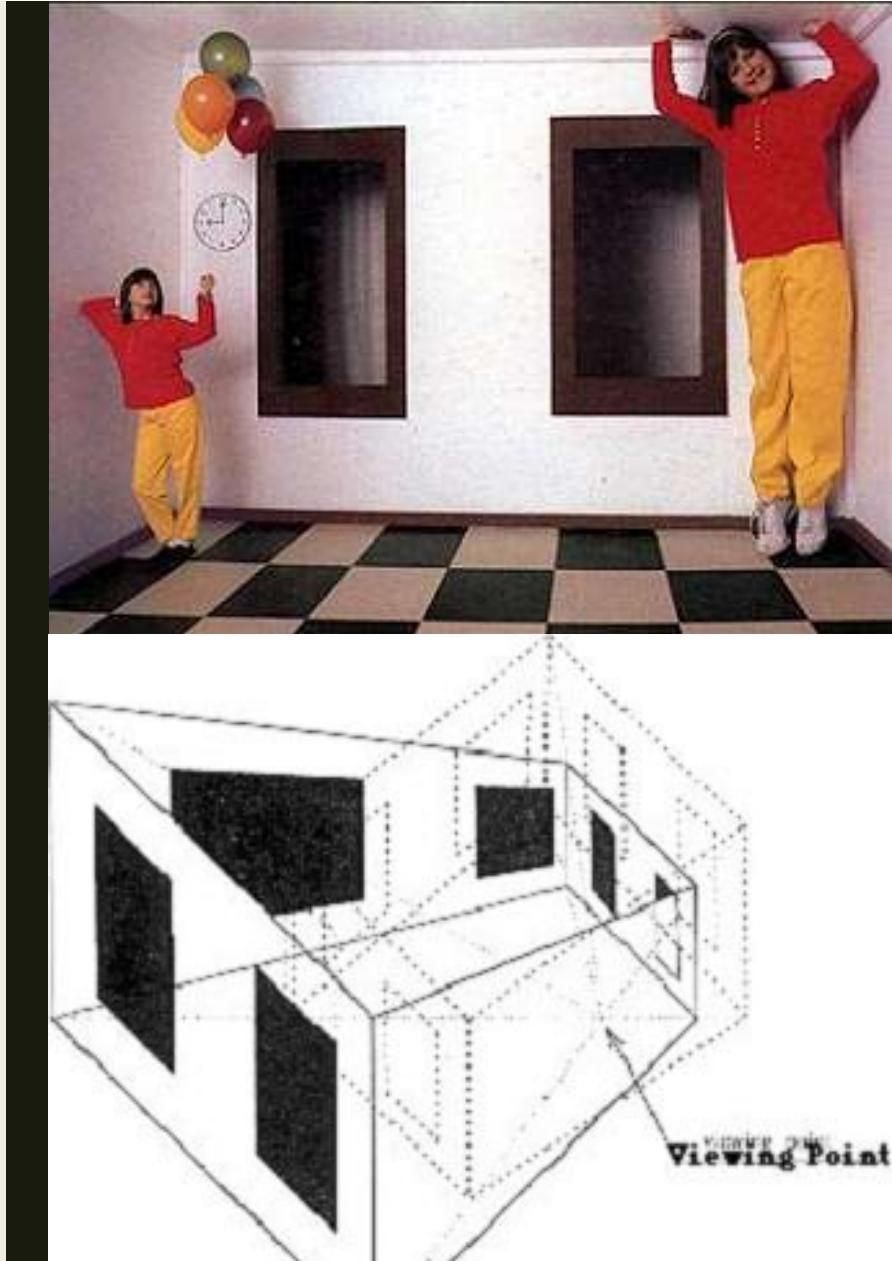
Ames Raum: Basierend auf Überlegungen von [Hermann von Helmholtz](#) wurde der Ames-Raum 1946 von dem US-amerikanischen Augenarzt und Psychologen [Adelbert Ames](#) (1880–1955) entwickelt.

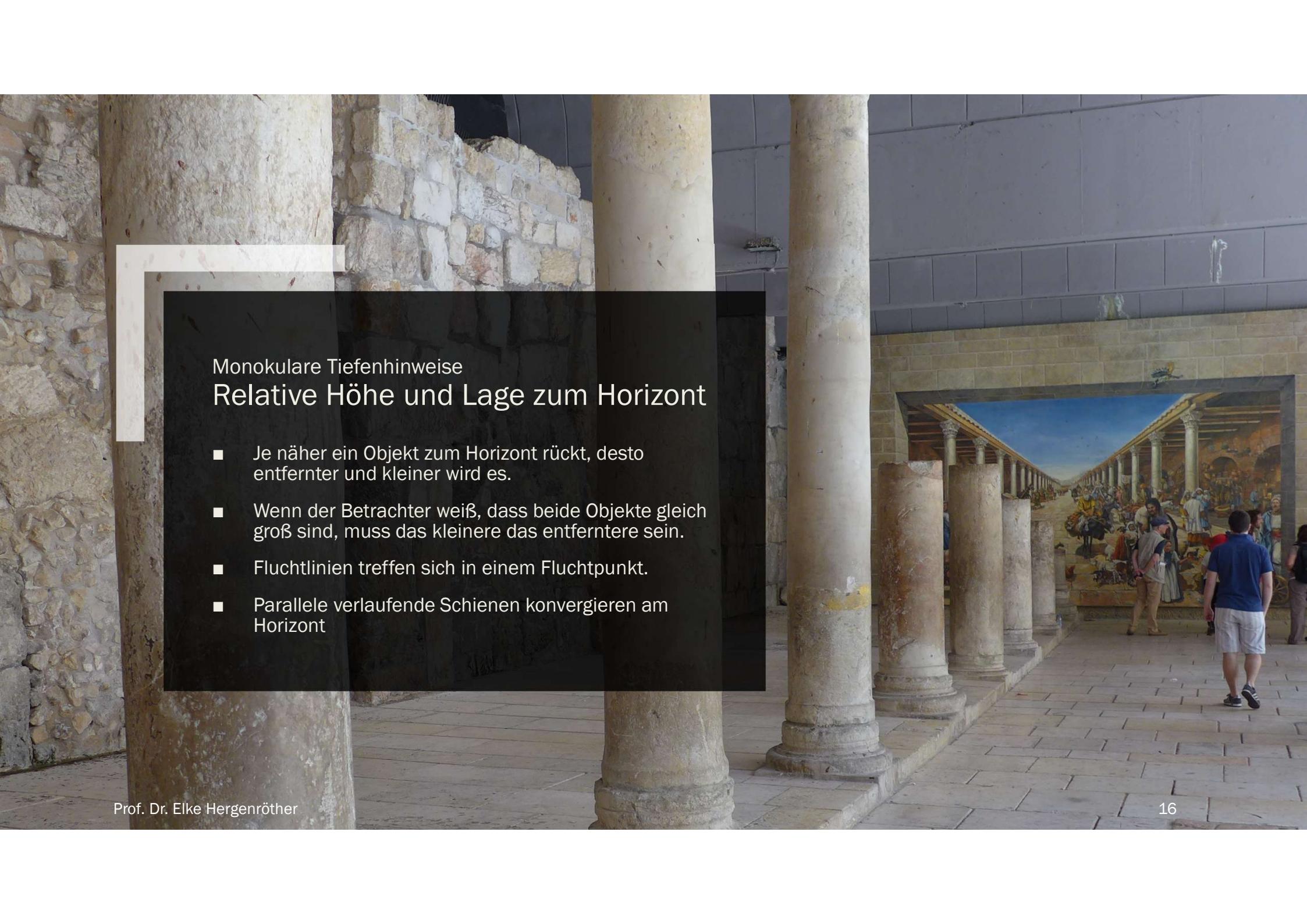
Siehe auch:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/transcoded/1/11/Ames\\_room.ogv/Ames\\_room.ogv.480p.vp9.webm](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/transcoded/1/11/Ames_room.ogv/Ames_room.ogv.480p.vp9.webm)

Bilder aus: [https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/wct/w/w6\\_raum/w620\\_monokulare\\_tk.htm](https://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/wct/w/w6_raum/w620_monokulare_tk.htm)

Prof. Dr. Elke Hergenröther

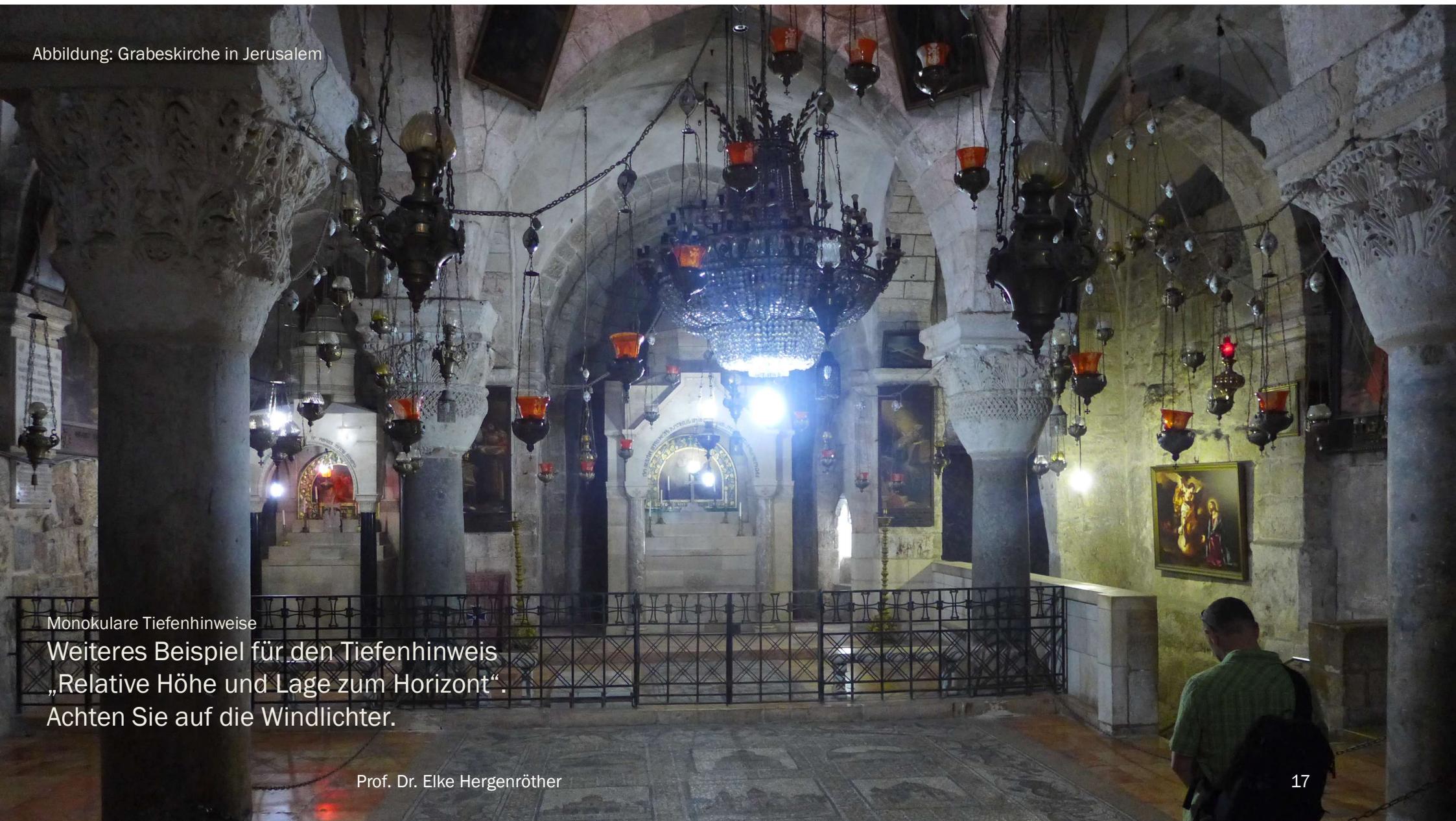




## Monokulare Tiefenhinweise Relative Höhe und Lage zum Horizont

- Je näher ein Objekt zum Horizont rückt, desto entfernter und kleiner wird es.
- Wenn der Betrachter weiß, dass beide Objekte gleich groß sind, muss das kleinere das entferntere sein.
- Fluchtlinien treffen sich in einem Fluchtpunkt.
- Parallel verlaufende Schienen konvergieren am Horizont

Abbildung: Grabeskirche in Jerusalem



Monokulare Tiefenhinweise

Weiteres Beispiel für den Tiefenhinweis  
„Relative Höhe und Lage zum Horizont“.

Achten Sie auf die Windlichter.

Prof. Dr. Elke Hergenröther

17

Monokulare Tiefenhinweise

## Relative Helligkeit und perspektivische Unschärfe

- die Staubpartikel der Luft sorgen dafür, dass entferntere Objekte weniger scharf wirken als nähere (siehe rechts).
- Bei Wetterlagen mit besonders klarer Luft in den Alpen wirken die Berge sehr nahe.

Prof. Dr. Elke Hergenröther

Abbildung: Felsendom in Jerusalem





Abbildung: Souk in Jerusalem

## Monokulare Tiefen Hinweise Texturdichte-Gradient

- Objekte, die in gleichem Abstand zueinander stehen, wirken in der Ferne dichter gepackt.
- Die Steinplatten in einiger Entfernung wirken viel schmäler und kürzer als die, in der Nähe.

Schatten und Schattierungen liefern Informationen zur geometrischen Form und Lage des Objektes im Raum. Nachfolgend wollen wir weitere Informationen untersuchen, die über die Größe und Entfernung des Objektes zum Betrachter informieren.

## Welche Information liefert keinen Tiefenhinweis?

- a. Verdeckung oder Überlappung eines Objekts
- b. die Größe eines unbekannten Objekts
- c. die relative Höhe und Lage eines unbekannten Objekts zum Horizont
- d. Helligkeitsänderungen im Bild und nachlassend Bildschärfe
- e. der Verlauf der Oberflächentexturierung eines unbekannten Objekts

# Die Größe eines unbekannten Objekts ist kein Tiefenhinweis.

Zur Verdeutlichung ziehen wir das Modell der Lochkamera heran:

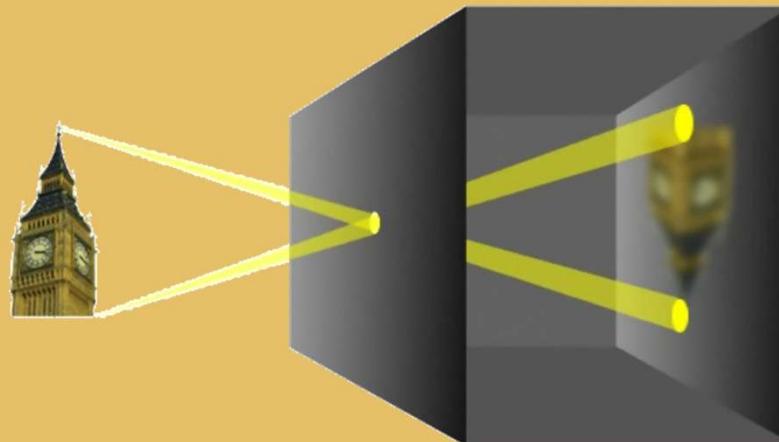
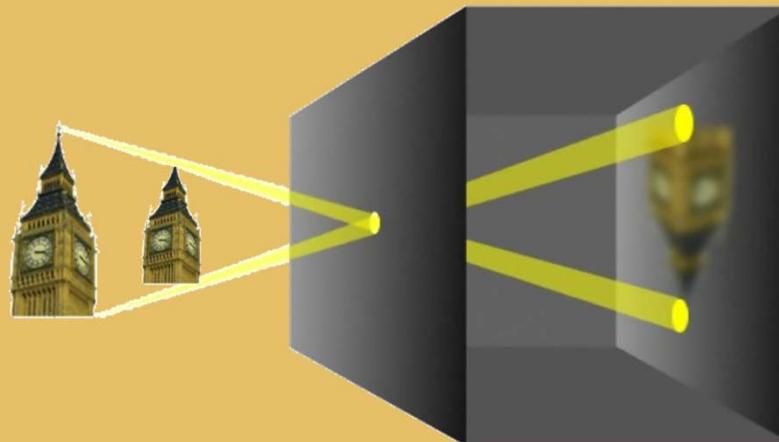


Bild aus Wikipedia „Lochkamera“: Von Der ursprünglich hochladende Benutzer war Anton in der Wikipedia auf Deutsch - Übertragen aus de.wikipedia nach Commons., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12075884>

# Die Größe eines unbekannten Objekts ist kein Tiefenhinweis.

Zur Verdeutlichung ziehen wir das Modell der Lochkamera heran:



Wenn Sie nicht wissen, wie groß das Objekt, hier beispielsweise die Turmspitze ist, dann können Sie die Entfernung nicht abschätzen.

Bei einem normalen Stuhl wüssten Sie wie weit er entfernt steht.

Bild aus Wikipedia „Lochkamera“: Von Der ursprünglich hochladende Benutzer war Anton in der Wikipedia auf Deutsch - Übertragen aus de.wikipedia nach Commons., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12075884>

# Fazit:

Wichtige Techniken zur Darstellung von computergrafisch generierter Geometrie sind:

- Schatten und Schattierungen
- perspektivische Projektion der Geometrien, der Texturen - der Szene insgesamt
- Verdeckungen
- und bei großen Szenen auch Dunst in der Entfernung

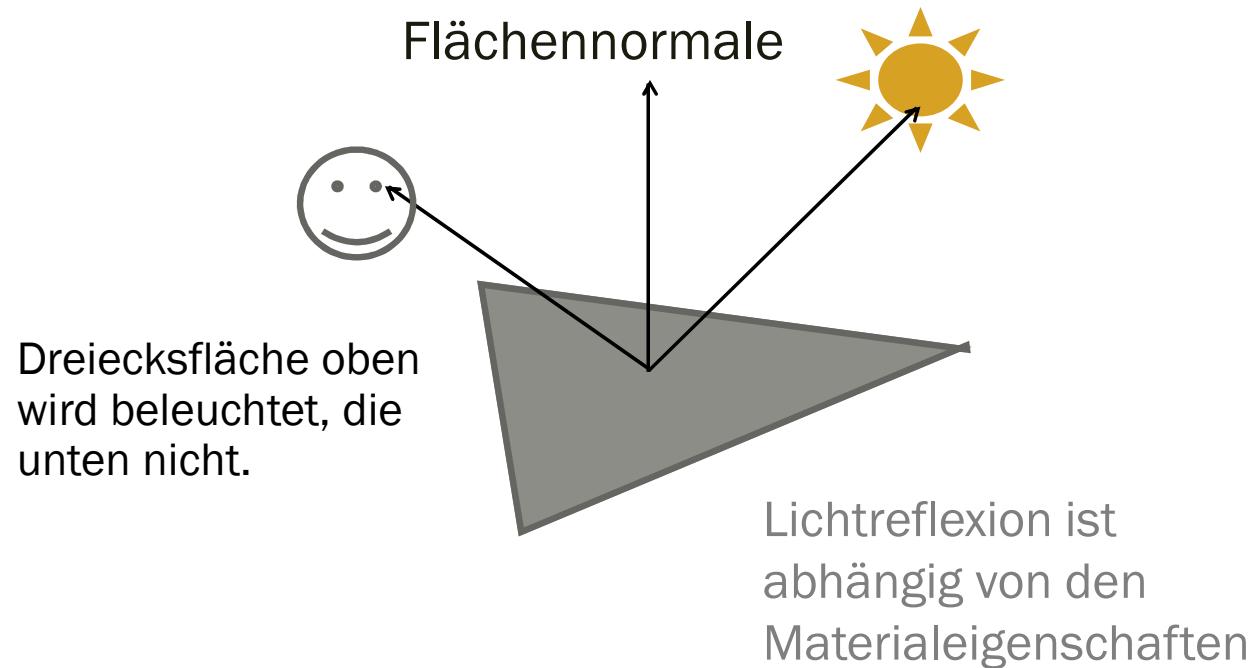
Bild aus: <https://www.volume-gfx.com/wp-content/uploads/2013/02/mcTerrain.png>

# Überblick

## 3. Teil: Formenwahrnehmung und Reflexion

- Durch welche Tiefenhinweise erkennen wir dreidimensionale Formen in einem zweidimensionalen Bild?
- Welche Informationen benötigt man, um Schattierungen und spiegelnde Reflexionen zu berechnen?
- Wie berechnet man diffuse und spiegelnde die Reflexionen?

# Bestandteile zur Reflexionsberechnung



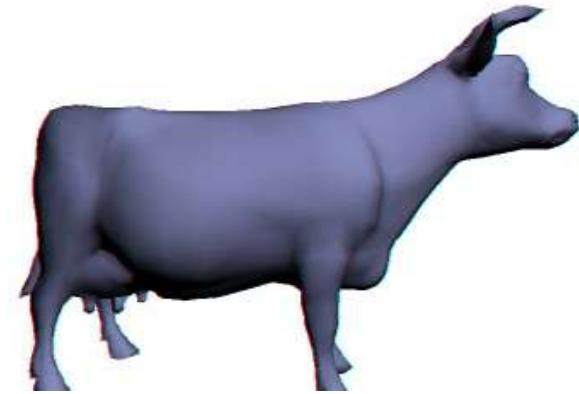
# Für welchen Punkt des Dreiecks wird die Reflexion im Allgemeinen berechnet?

- a. ... für den Dreieckspunkt bzw. den Pixel, dem die Normale zugewiesen wurde.
- b. ... immer für einen Eckpunkt. Welcher Eckpunkt dies ist muss festgelegt werden.
- c. ... beim Flatshading wird immer der Mittelpunkt des Dreiecks genommen, beim Gouaud-Shading wird an allen Eckpunkten die Reflexion berechnet.
- d. ... ich bin hier raus!



Spiegelndes Material

Diffuses Material

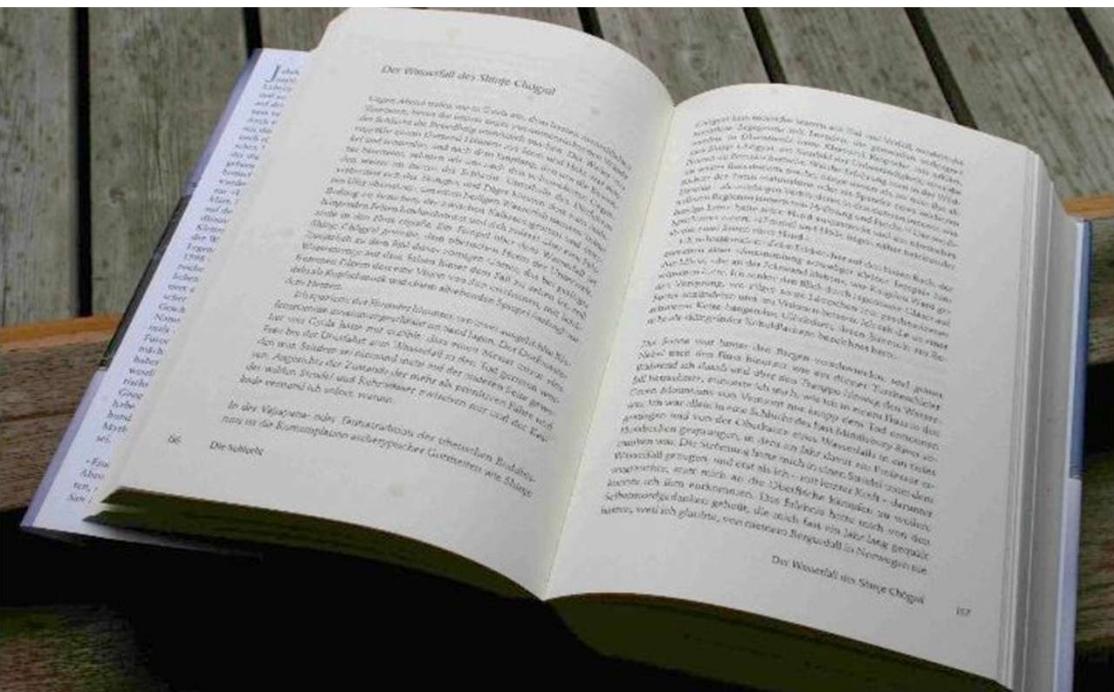


Spiegelndes Material, aber die  
Blickrichtung des Betrachters  
hat sich geändert

## Welche Materialeigenschaften gibt es?

In der Computergrafik unterscheidet man im wesentlichen zwischen zwei Materialien:

- spiegelnde Materialien
- diffuse Materialien



# Beispiele für diffuses Material

Prof. Dr. Elke Hergenröther

- Papier und gepuderte Flächen sind perfekte diffuse Reflektoren
- Auch Blütenblätter mit feiner Haarstruktur zerstreuen das einfallende Licht optimal und erzeugen damit kräftige Farbreflexionen



# Spiegelnde Reflexion & Spiegelungen

- Spiegelungen (Spiegelbilder) findet man auf ideal spiegelnden Materialien, wie beispielsweise Wasser, Glas oder bestimmten polierten Metallen.
- Spiegelnde Reflexionen entstehen auf ideal und auf nicht ideal spiegelnden Materialien.
- Die spiegelnde Reflexion erscheint bei ideal spiegelnden Materialien als Glanzpunkt (highlight) oder bei nicht ideal spiegelnden Materialien als Flächen, die ähnlich wie der Bloom-Effekt, überstrahlen.
- Eine Spiegelbild ist eine Zusammensetzung von vielen, sehr kleinen, lokal begrenzten Glanzpunkten, die durch sekundäre Lichtquellen (= spiegelnd reflektiertes Licht) erzeugt werden.
- **Erklären Sie:** Warum sind Spiegelbilder farbig? Glanzpunkte sind ja immer nur sehr hell, also weiß, oder?

# Exkurs: Bloom Effekt

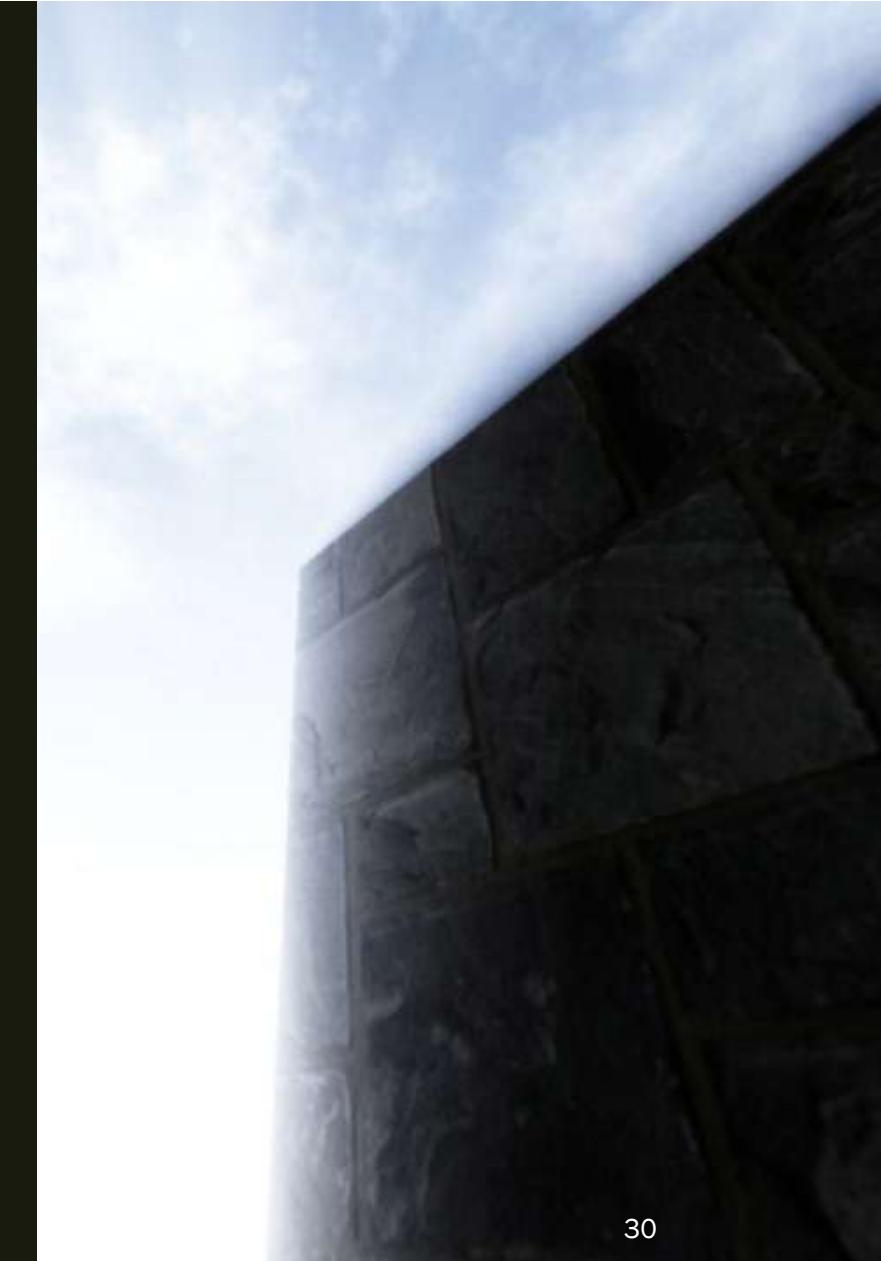
Als Bloom bezeichnet man den Effekt, der entsteht, wenn zwei benachbarte Punkte einen sehr großen Helligkeitsunterschied haben. Das helle Licht überstrahlt die Kante, so dass diese leicht verschwimmt.

Dieser Effekt tritt zum Beispiel bei dunklen Räumen mit Fenstern auf, durch die helles Licht, wie etwa Sonnenschein, fällt. Die Fensterkanten verschwimmen dann scheinbar, da das Licht im Gegensatz zur Helligkeit im Raum sehr hell ist und das Auge diesen Helligkeitsunterschied schwer verarbeiten kann.

In der Rastergrafik wird der Bloom als Posteffekt eingesetzt, um unsere Wahrnehmung zu simulieren.

Bild und Text aus:

<http://media2mult.uos.de/pmwiki/index.php?n=BST.Bloomeffekt>





## Glanzlichter – spiegelnde Reflexionen

- die Ausdehnung des Highlights/Glanzlichts ist unterschiedlich
- die Größe des Glanzlichts ist vom Material abhängig
- je matter das Material, desto ausgedehnter das Glanzlicht
- nur der perfekte Spiegel erzeugt ein perfektes Highlight

Die Reflexion von transparente und semitransparenten Materialen ist schwieriger zu berechnen

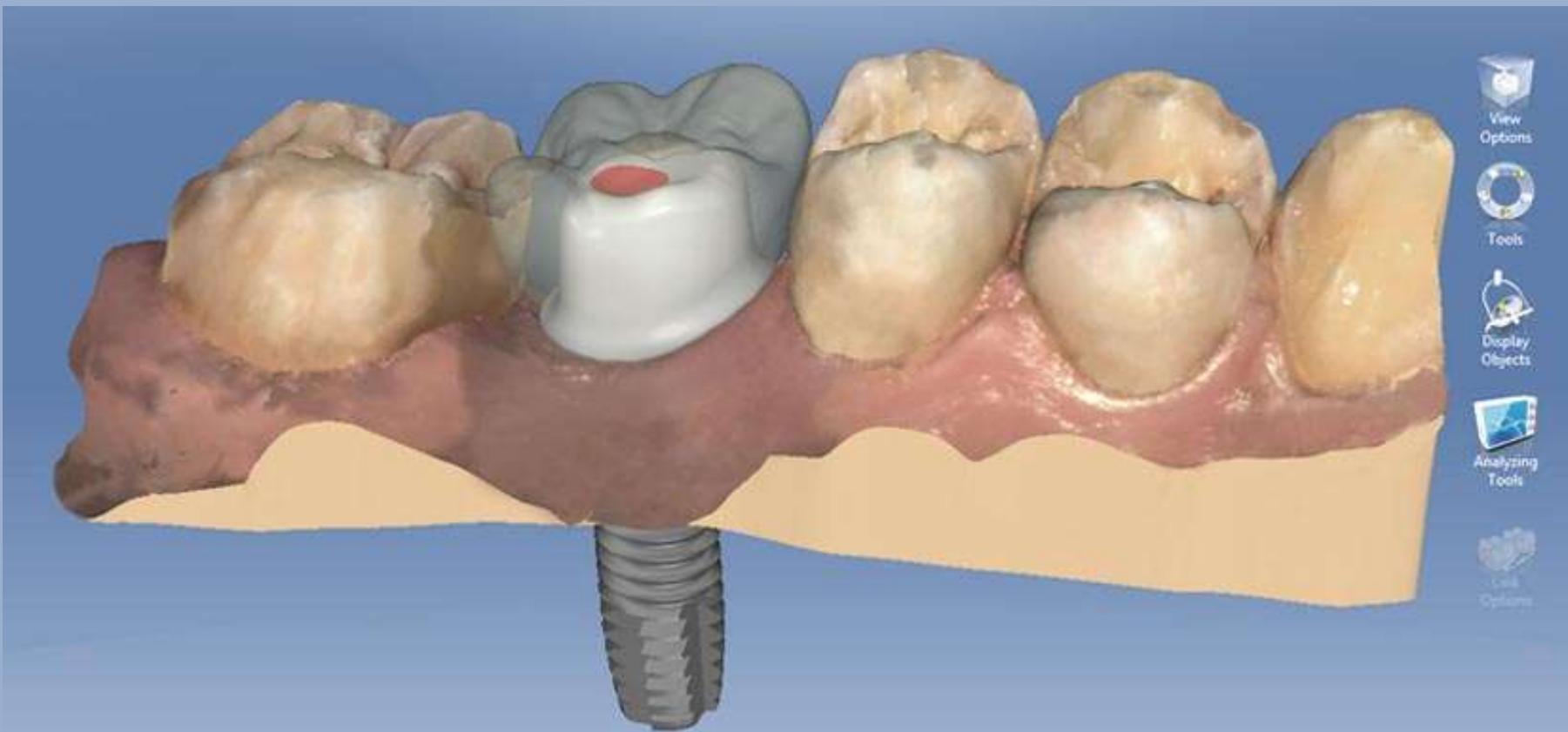


Bild aus: <https://www.dentics.de/blog/technik-cad-cam/zahnarzt-trend-cadcum/>



# Materialeigenschaft: transparent & spiegelnd

- Um transparente Objekte darstellen zu können, braucht man die Information, wie die gesamte Szene geometrisch aus Sicht des Betrachters (virtuelle Kamera) aufgebaut ist.
- Man muss wissen, welche Objekte vor welche anderen Objekte sind. Bspw. der Whisky ist hinter dem Glas und hinter dem Whisky sind die Eiswürfel.
- Da alle Objekte aus Dreiecken bestehen, muss man letztendlich bei transparenten Objekten wissen, welche Dreiecke von welchen anderen Dreiecken verdeckt werden. Diese Reihenfolge ist von der Position und der Blickrichtung des Betrachters abhängig.
- Zudem muss noch die Lichtbrechung berechnet werden.

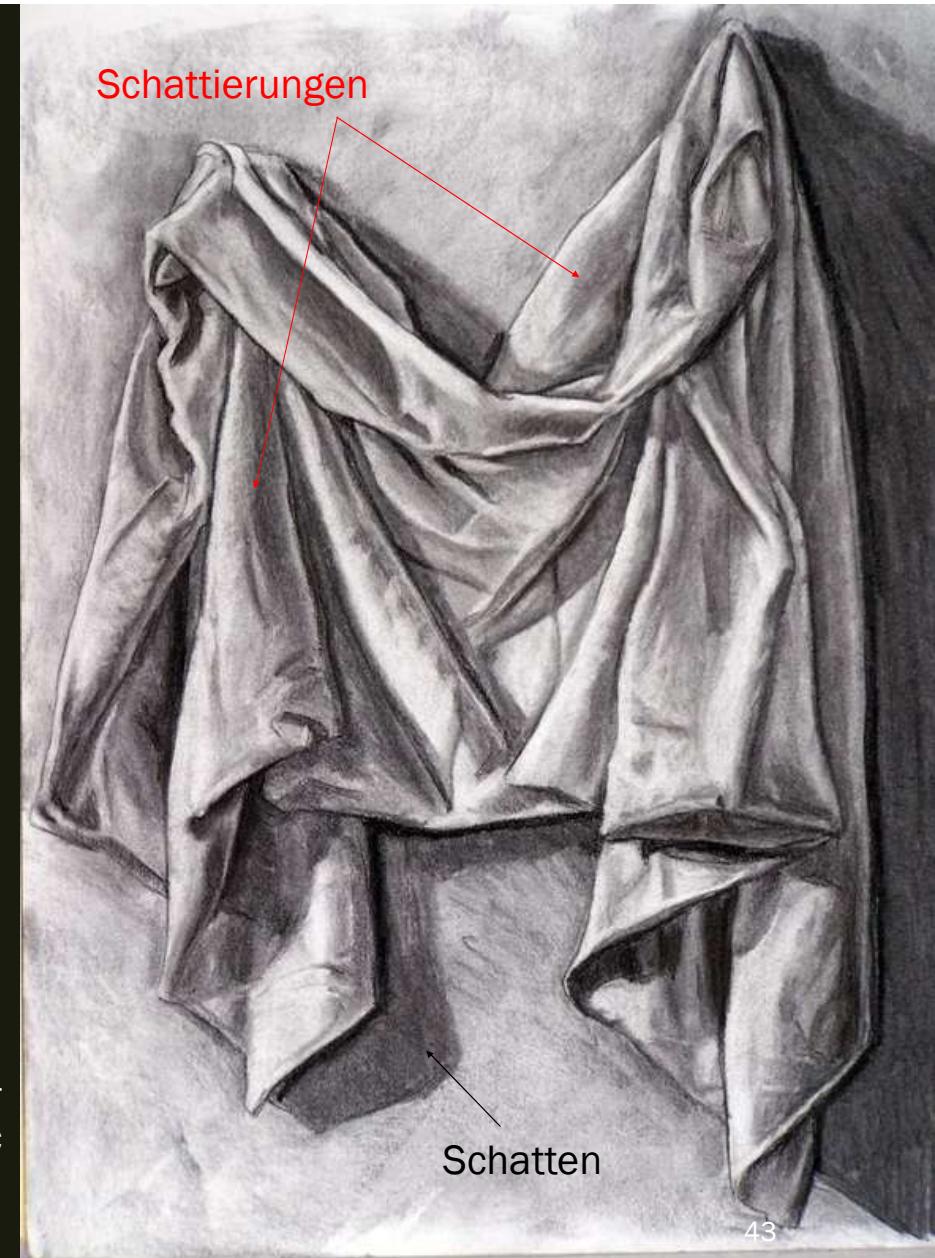
# Ist Schatten und Schattierung eigentlich das Gleiche?

- a. Ja
- b. Nein

ES GIBT EINEN UNTERSCHIED ZWISCHEN  
**SCHATTIERUNG**  
UND  
**SCHATTEN**

Bild aus: <https://www.mschangart.com/drawing-and-painting/charcoal-drawings-of-fabric>

Prof. Dr. Elke Hergenröther



# Überblick

## 3. Teil: Formenwahrnehmung und Reflexion

- Durch welche Tiefenhinweise erkennen wir dreidimensionale Formen in einem zweidimensionalen Bild?
- Welche Informationen benötigt man, um Schattierungen und spiegelnde Reflexionen zu berechnen?
- Wie berechnet man diffuse und spiegelnde die Reflexionen?

# Reflexionsgesetz

- Für ebene Spiegel gilt das Reflexionsgesetz: Jeder auftreffende Lichtstrahl verlässt den Spiegel im gleichen Winkel, wie er aufgetroffen ist.
- Der Einfallswinkel  $\alpha$  und der Reflexionswinkel  $\alpha'$  werden dabei ausgehend von der Senkrechten des Spiegels angegeben. Mathematisch lässt sich das Reflexionsgesetz damit wie folgt formulieren:  $\alpha = \alpha'$
- Vertauscht man in der Abbildung den Ort des Auges mit dem Ort der Lichtquelle, so ändert sich das Ergebnis nicht.
- Allgemein gilt in der Optik: Jeder Lichtstrahl kann seinen Weg stets auch in umgekehrter Richtung durchlaufen.

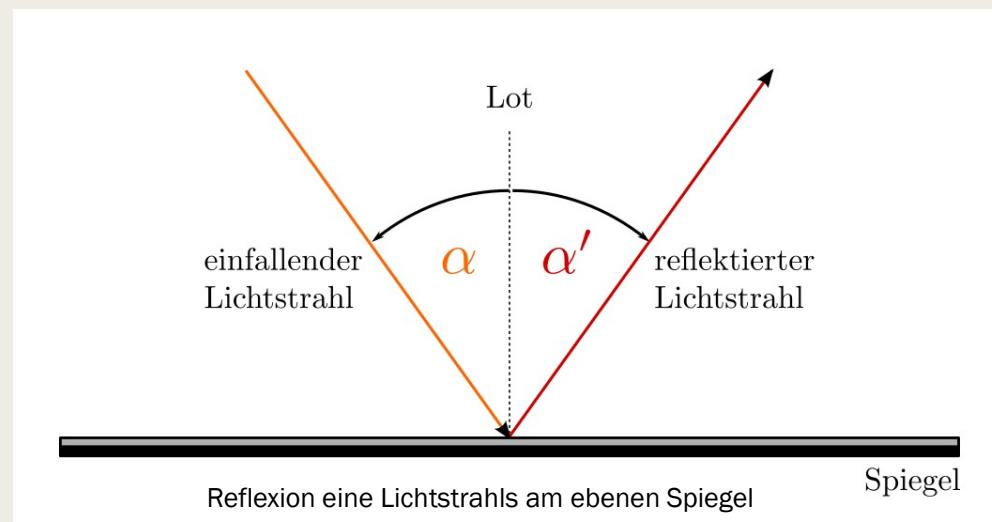
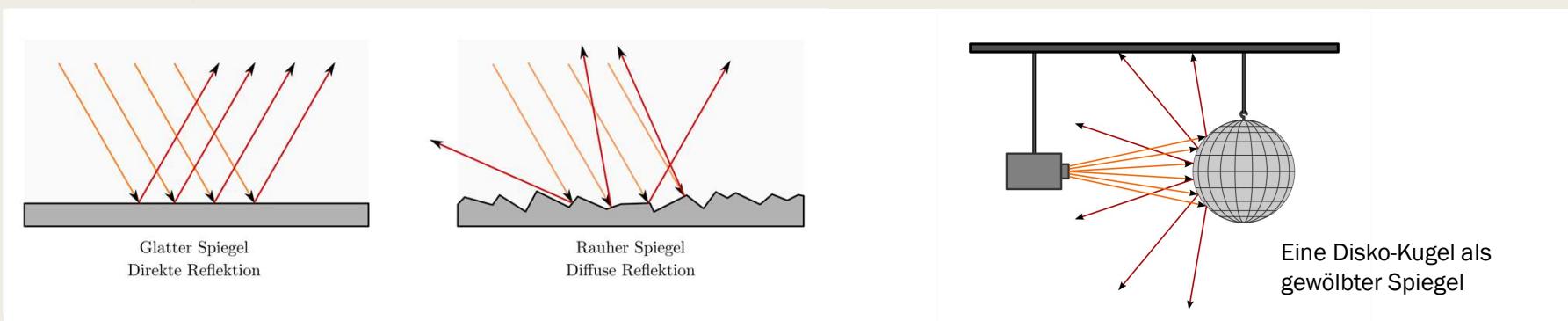


Bild aus: [https://www.grund-wissen.de/physik/\\_images/reflexionsgesetz.png](https://www.grund-wissen.de/physik/_images/reflexionsgesetz.png)

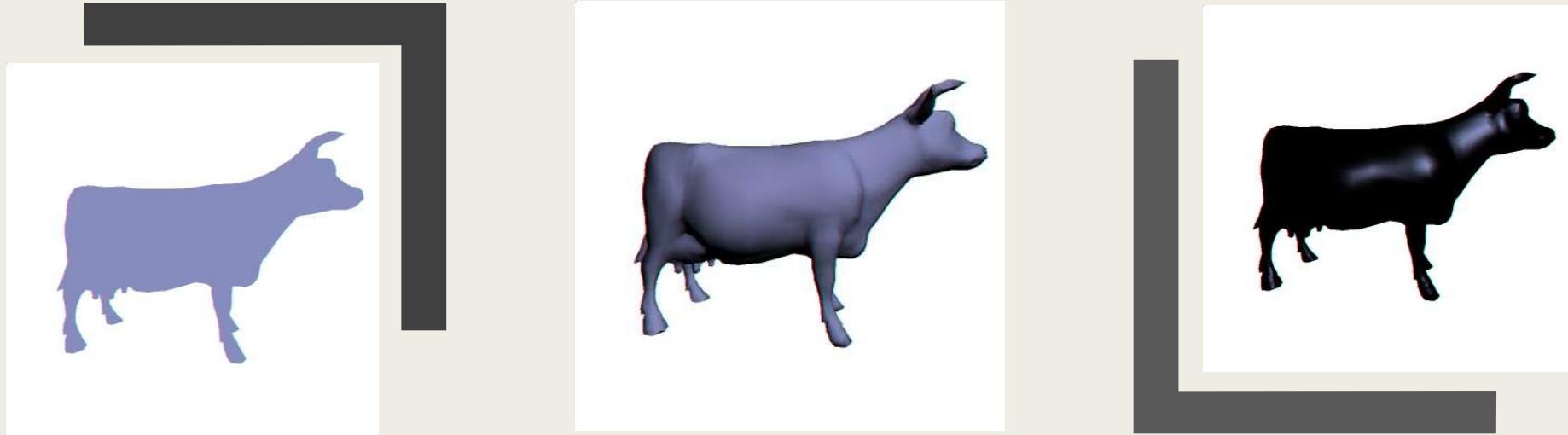
Text weitestgehend übernommen aus:  
<https://www.grund-wissen.de/physik/optik/lichtreflexion.html>

# Spiegelnde und diffuse Reflexion in der Physik

In der Physik spricht man von der direkte Reflexion, wenn man eine spiegelnde Reflexion meint: „Die Reflexion von Lichtstrahlen an einem ebenen, glatten Spiegel wird direkte Reflexion genannt. Treffen Lichtstrahlen allerdings auf einen ebenen Spiegel mit einer rauen Oberfläche, so spricht man von einer diffusen Reflexion: Das Licht wird, wie in der Abbildung unten Direkte und diffuse Reflexion (Bild in der Mitte) nach dem Reflexionsgesetz in verschiedene Richtungen zurückgeworfen („gestreut“). (aus grundwissen.de)“



Bilder aus: <https://www.grund-wissen.de/physik/optik/lichtreflexion.html>

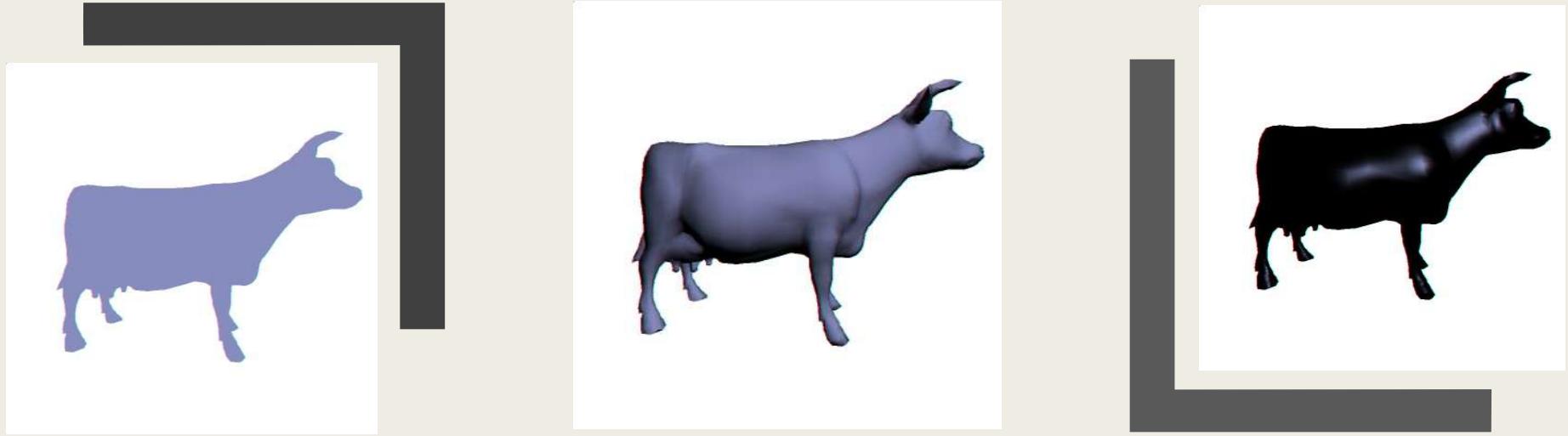


Das Phong'sches Reflexionsmodell beruht auf der Annahme, das jedes Material nur drei Reflexionseigenschaften zu unterschiedlichen Anteilen besitzt:

- Ambiente Reflexion (links), die die indirekte Beleuchtung annähert
- Diffuse Reflexion (in der Mitte)
- Spiegelnde Reflexion (rechts)

Reflexion eines Materials  $I = I_a \cdot k_a$  (ambient) +  $I_e \cdot k_d$  (diffus) +  $I_e \cdot k_s$  (spiegelnd)

Mit:  $k_d + k_s = 1$  sowie  $k_a$  als unabhängiger Parameter



Das Phong'sches Reflexionsmodell beruht auf der Annahme, das jedes Material nur drei Reflexionseigenschaften zu unterschiedlichen Anteilen besitzt:

- Ambiente Reflexion (links), die die indirekte Beleuchtung annähert
- Diffuse Reflexion (in der Mitte)
- Spiegelnde Reflexion (rechts)

Reflexion eines Materials  $I = I_a \cdot k_a$  (ambient) +  $I_e \cdot k_d$  (diffus) +  $I_e \cdot k_s$  (spiegelnd)

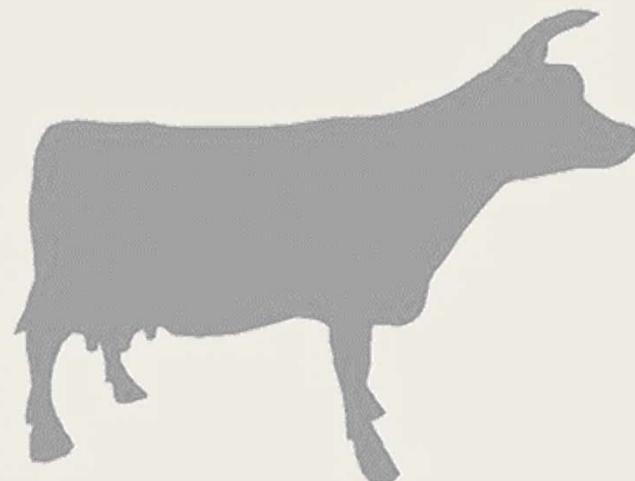
Mit:  $k_d + k_s = 1$  sowie  $k_a$  als unabhängiger Parameter

# Ambiente Reflexion im Reflexionsmodell von Phong

## Ersatz für indirekte Beleuchtung der Objekte

$I_a$  Strahlungsstärke

$k_a$  Beschreibt die Menge des ambient reflektierten Lichts  
(liegt zwischen 0 und 1)



$$I = I_a \cdot k_a$$

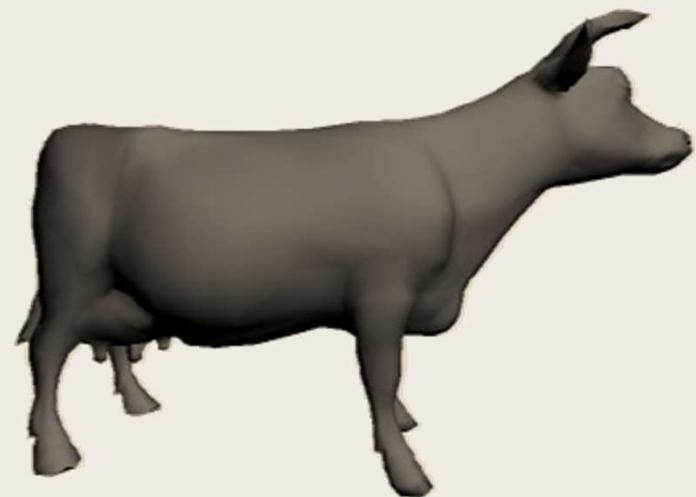
# Diffuse Reflexion im Reflexionsmodell von Phong

Merkmal der Reflexion: Diffus reflektierende Oberflächen erscheinen aus jeder Blickrichtung gleich hell.

Helligkeit der Reflexion ist vom Winkel  $\theta$  abhängig in dem der Lichtstrahl auf die Objektoberfläche trifft

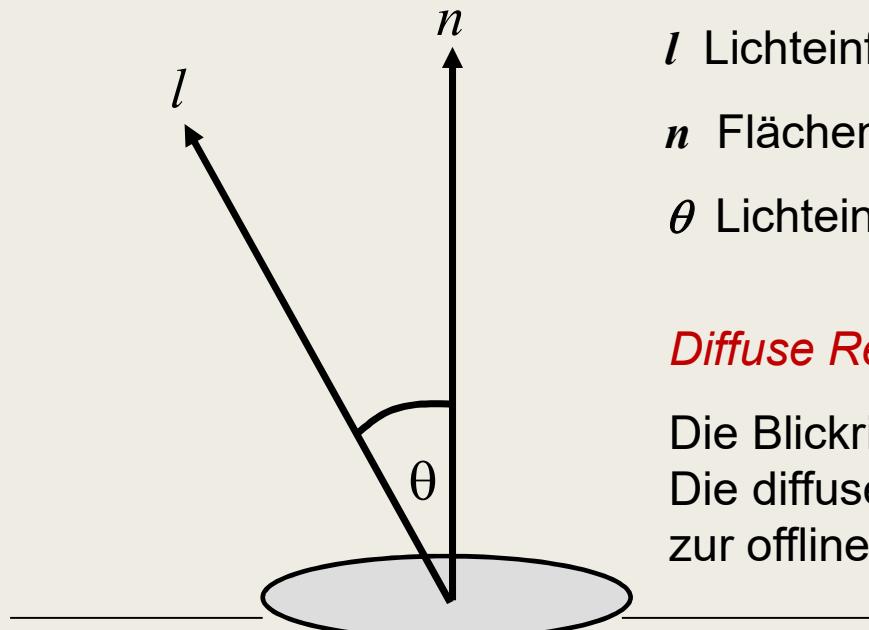
$I_p$  Strahlungsstärke der Punktlichtquelle

$I_e$  von der Oberfläche reflektierte diffuse Strahlung



$$I_e = I_p \cdot \cos \theta$$

# Berechnung der diffuse Reflexion



$l$  Lichteinfallsvektor

$n$  Flächennormale

$\theta$  Lichteinfallswinkel

*Diffuse Reflexion ist alleine von  $\theta$  (Theta) abhängig!*

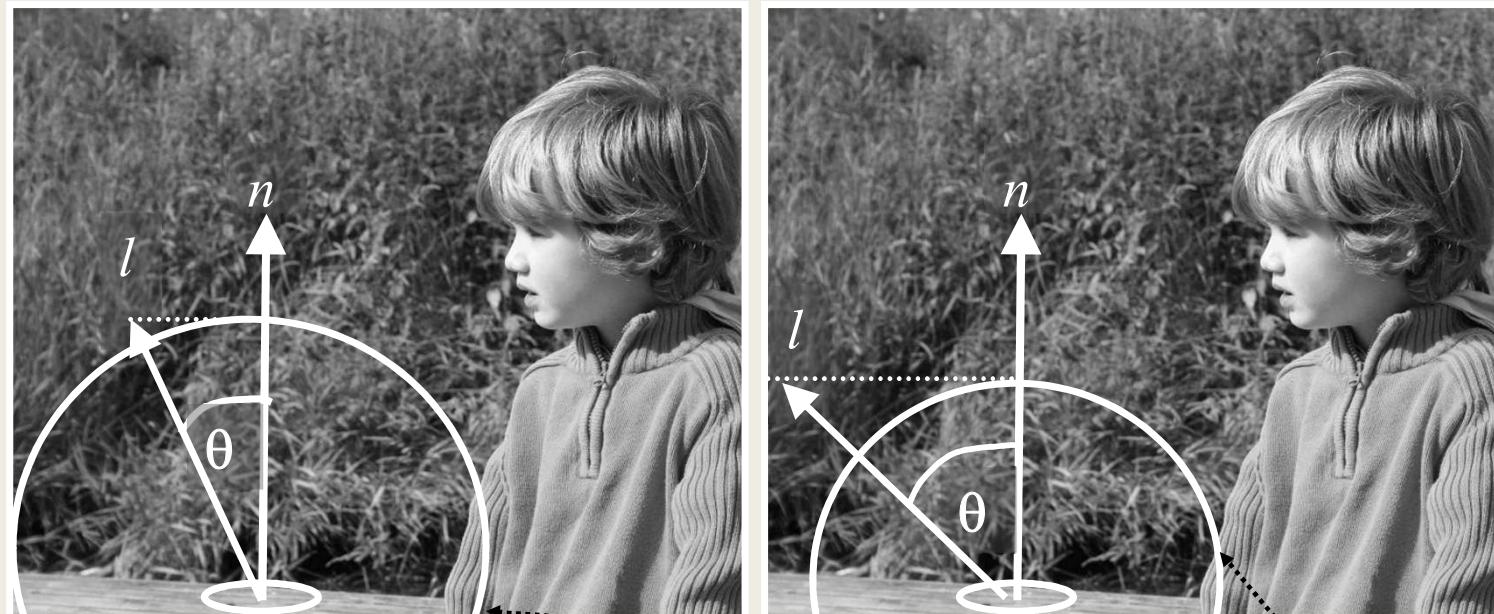
Die Blickrichtung des Betrachters spielt keine Rolle.  
Die diffuse Reflexion eignet sich daher besonders gut  
zur offline-Berechnung.

$$I_e = I_p \cdot \cos \theta$$

# Welche Aussage ist falsch?

- a. Die ambiente Beleuchtung ist eine Vereinfachung der indirekten Reflexion. Als indirekte Reflexion bezeichnet man die Lichtstrahlen, die von diffus-reflektierenden Oberflächen gestreut werden und den Raum aufhellen.
- b. Die Strahlungsintensität der diffusen Reflexion ist höher, je kleiner der Winkel zwischen Lichteinfallsvektor und Flächennormalen ist.
- c. Zur Berechnung der diffusen Reflexion muss man die Position des Betrachters kennen.
- d. Ein diffuser Reflektor ist physikalisch gesehen nichts anderes als ein rauer Spiegel

# Wirkungsweise der diffusen Reflexion



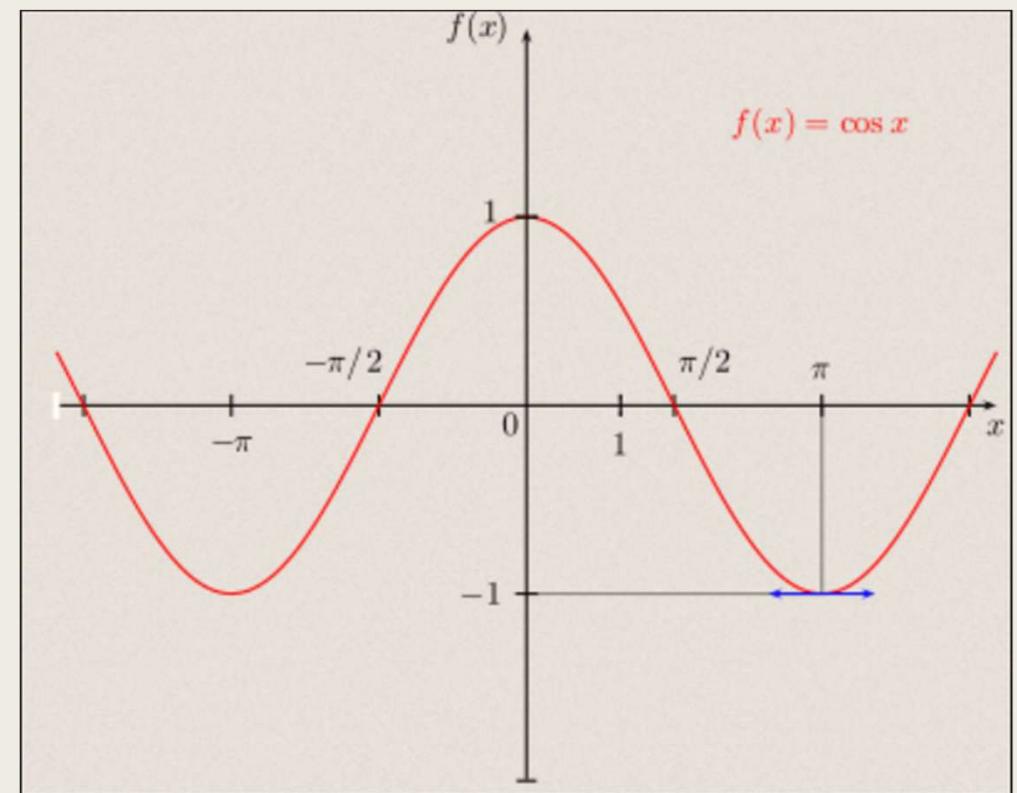
$$I_r = I \cos \theta$$

Die Reflexion  $I_r$  der bestrahlten Fläche ist abhängig von der Einfallsrichtung der Strahlung aber unabhängig von der Blickrichtung des Betrachters.

Kugel gibt die Stärke der Reflexion an

Warum wird der Cosinus  
zur Berechnung der  
diffuse Reflexionen  
verwendet?

- Bei 0 Grad ist  
die Reflexion  $1 = 100\%$
- Bei 90 Grad ist  
die Reflexion  $0 = 0\%$



# Berechnung der diffusen Reflexion ohne trigonometrische Funktionen

$I_p$  Strahlungsstärke der Punktlichtquelle

$I_e$  Strahlungsstärke, die von einem Punkt einer diffus reflektierenden Oberfläche reflektiert wird

$k_d$  liegt zwischen 0 und 1 und gibt den Grad an diffuser Reflexion des Oberflächenmaterials an

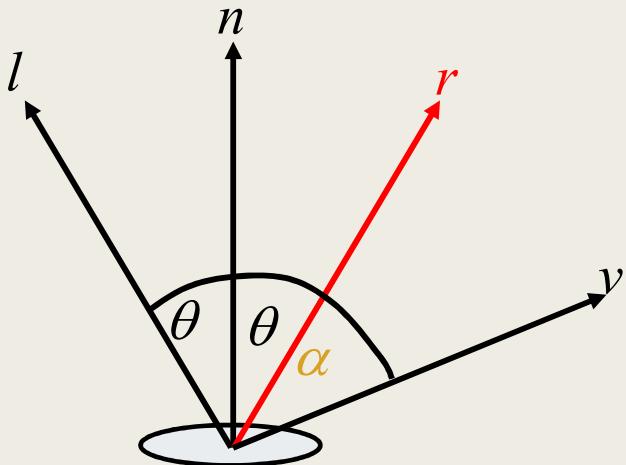
$\theta$  liegt zwischen 0 und 90 Grad

$$I_e = I_p \cdot k_d \cdot \cos \theta = I_p \cdot k_d \cdot (n \cdot l)$$

Berechnung des Skalarprodukts :  $\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \alpha$

Wenn  $n$  und  $l$  normiert sind, gilt:  $\cos \theta = n \cdot l$

# Berechnung spiegelnder Reflexion

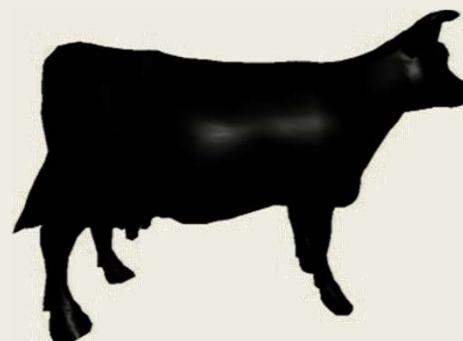


$l$  = in Lichtquellenrichtung

$n$  = Flächennormale

$v$  = in Betrachterrichtung

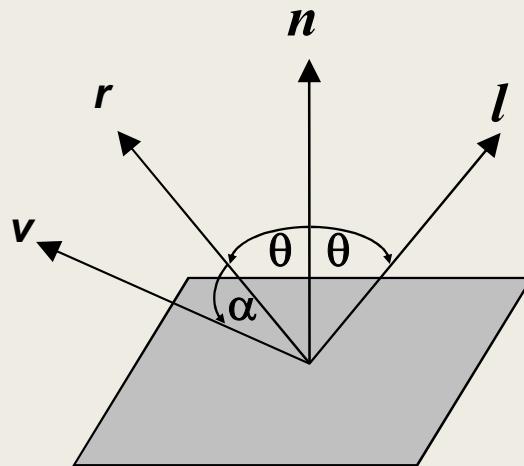
- $r$  ist der Reflexionsvektor.
- Ein perfektes Highlight ist nur dann sichtbar, wenn  $\alpha$  gleich Null ist.
- die Sichtbarkeit des Highlights wird durch  $\alpha$  bestimmt
- die Größe (Verlauf) des Highlights wird durch das Material bestimmt





Die Ausprägung der spiegelnden  
Reflexion ist vom Material  
abhängig.

# Berechnung der spiegelnden Reflexion



$n$  = Normale

$l$  = Richtungsvektor einfallendes Licht

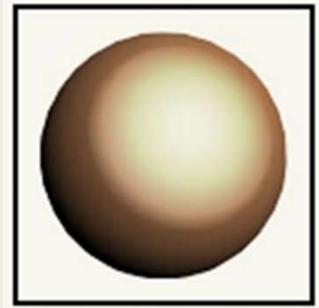
$r$  = Richtungsvektor reflektiertes Licht

$v$  = Richtungsvektor zum Betrachter

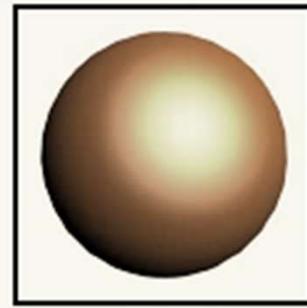
$I_{spec}$  = spiegelnd reflektierende Lichtintensität

$$I_{spec} = I_e \cdot \cos(\alpha) \text{ bzw.}$$

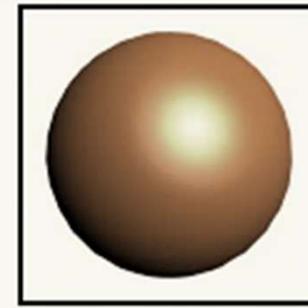
$$I_{spec} = I_e(r \cdot v)$$



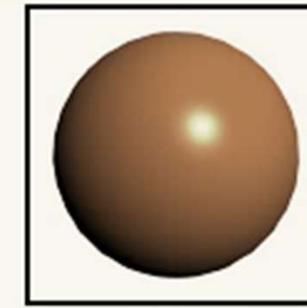
$n = 1$



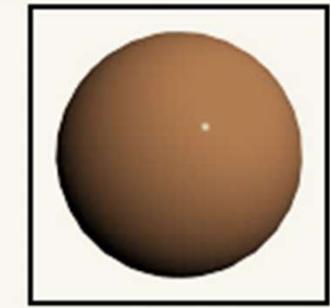
$n = 10$



$n = 25$



$n = 50$

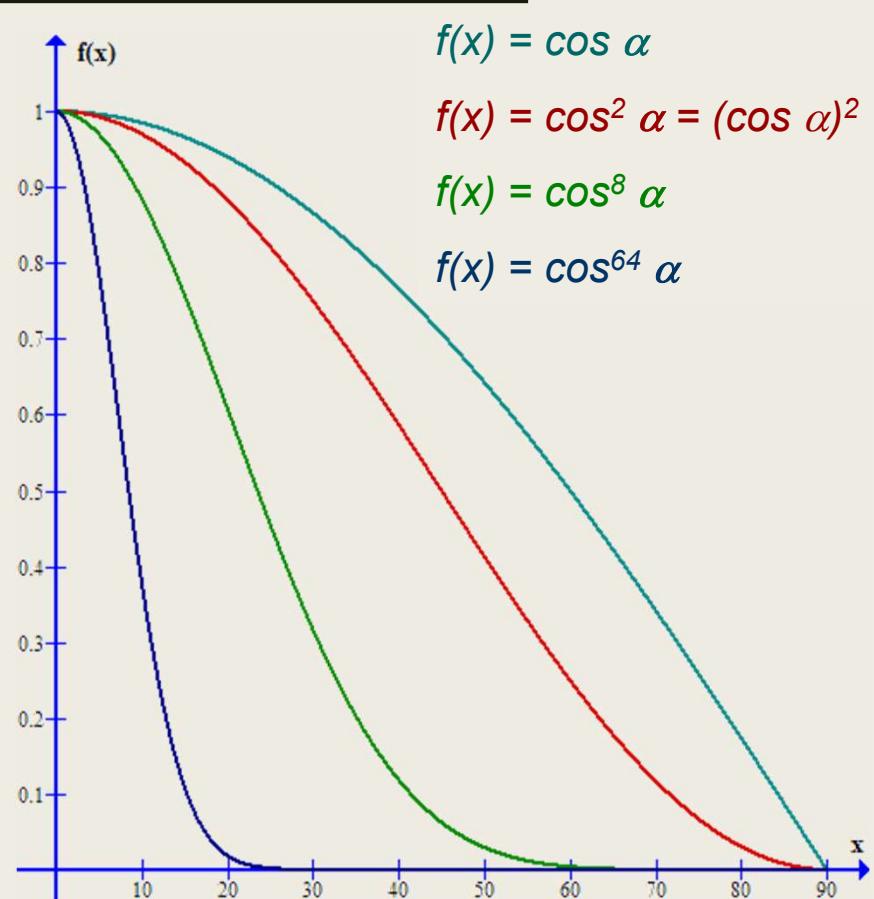


$n = 100$

Mit  $n$  kann man die Glanzpunkte (Highlights) unterschiedlich stark zu begrenzen

$$I_{\text{spec}} = I_e \cdot \cos(\alpha)^n$$

$$I_{\text{spec}} = I_e (r \cdot v)^n$$



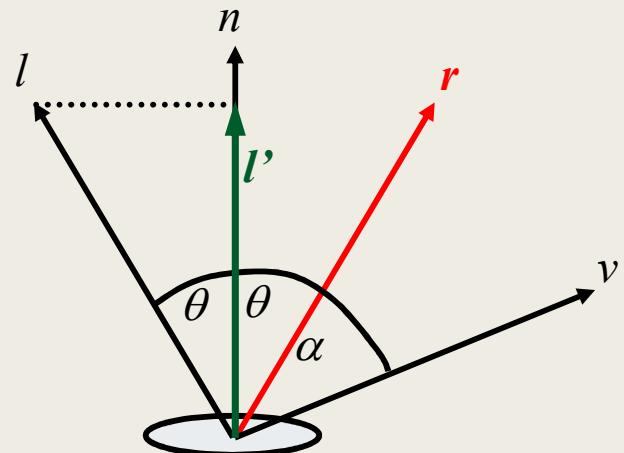
DIE AUSDEHNUNG DER SPIEGELNDEN REFLEXION (GLANZLICHT) ALS FUNKTION DARGESTELLT

$$I_{spec} = I_e \cdot \cos(\alpha)^n \text{ bzw.}$$

$$I_{spec} = I_e (r \cdot v)^n$$

# Berechnung des Reflexionsvektors $r$

1. Schritt: Berechnung von  $l'$



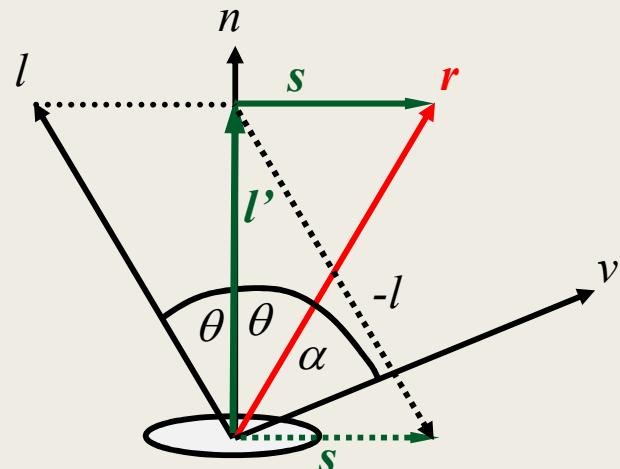
$$\text{Idee: } r = l' + s$$

$$l' = n * \cos(\theta) = n (n * l)$$

*Skalarprodukt kann nur verwendet werden,  
weil  $l$  und  $n$  normiert sind.*

# Berechnung des Reflexionsvektors $r$

2. Schritt: Berechnung von  $l'$



$$\text{Idee: } r = l' + s$$

$$r = n \cdot \cos \theta + s$$

$$\text{da } s = l' - l$$

$$\text{S & l eingesetzt: } r = l' + s = l' + l' - l$$

$$r = 2 \cdot (n \cdot \cos \theta) - l \quad \longleftrightarrow \quad r = 2n \cdot (n \cdot l) - l$$

# Zusammenfassung des Reflexionsmodells von Phong

$$I_{ges} = I_a \cdot k_a + I_e \cdot k_d \cdot (n \cdot l) + I_e \cdot k_s \cdot (r \cdot v)^n$$

# Ambiente Reflexion Diffuse Reflexion

# Spiegelnde inkl. brechender Reflexion

$$I_{ges} = I_a \cdot k_a + I_e \cdot k_d \cdot \cos(\theta) + I_e \cdot k_s \cdot \cos(\alpha)^n$$

## Ambiente Reflexion Diffuse Reflexion

Spiegelnde inkl.  
brechender  
Reflexion

# COMPUTER GRAPHIK

TEIL 3

## FORMENWAHRNEHMUNG UND REFLEXION

Zur Erinnerung! Inhalte der Veranstaltung sind urheberrechtlich geschützt. Weder die Folien noch das Vorlesungsvideo dürfen an unbeteiligte Dritte weitergegeben werden.

### Zusammenfassung:

- Tiefenhinweise
- Phong'sches Reflexionsmodell
- diffuse und spiegelnde Reflexionen berechnen

### Nächste Vorlesung:

- BRDF
- Licht
- Weiterführende Themen