

# Physically Based Rendering

*Seminarvortrag Fabian Meister WS20/21*

# Agenda

---

1. Motivation

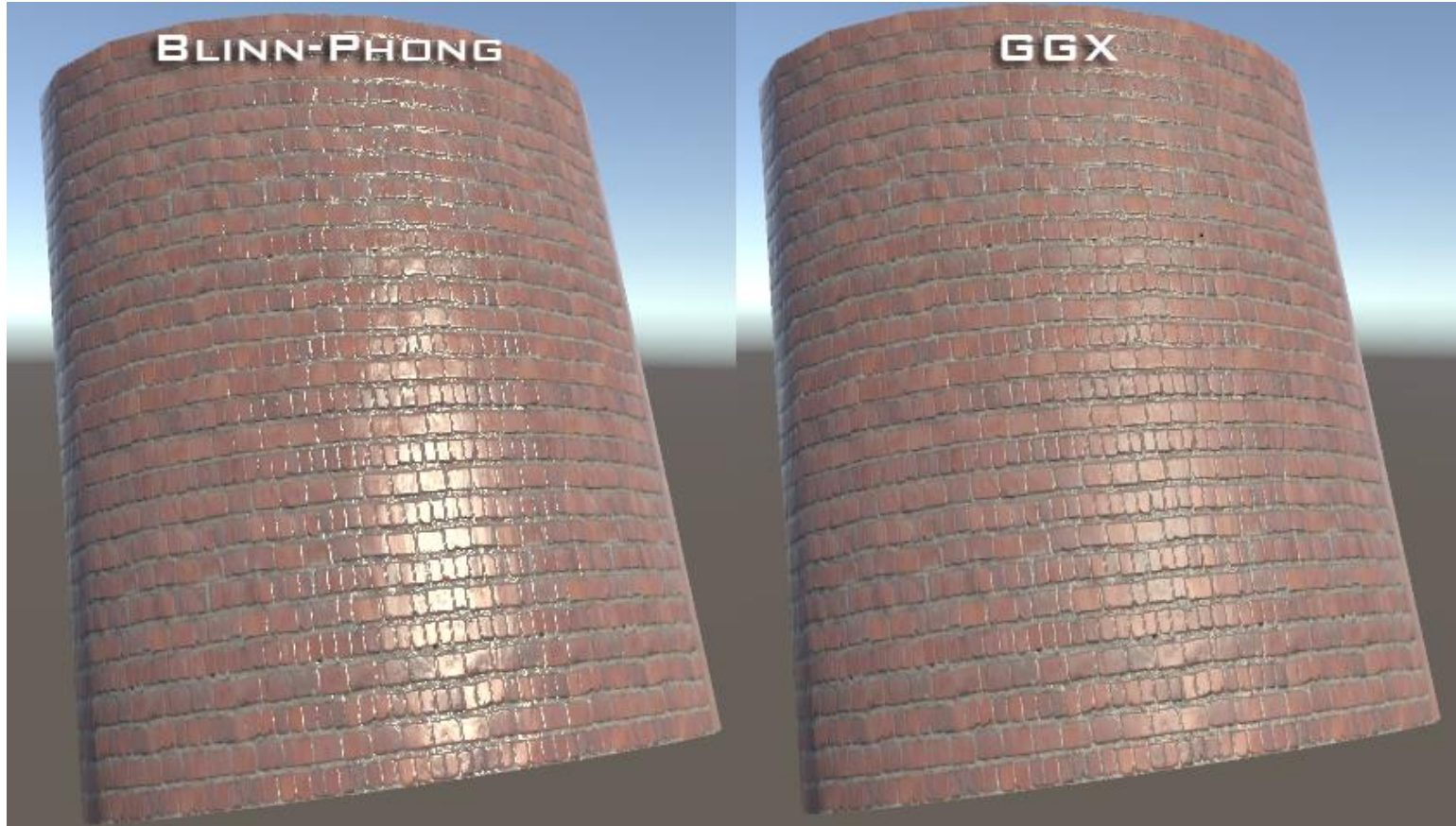
2. Reflectance Equation

3. Codebeispiel

4. Demo

# Motivation

## Vergleich Blinn Phong vs. Physically Based Rendering (PBR)



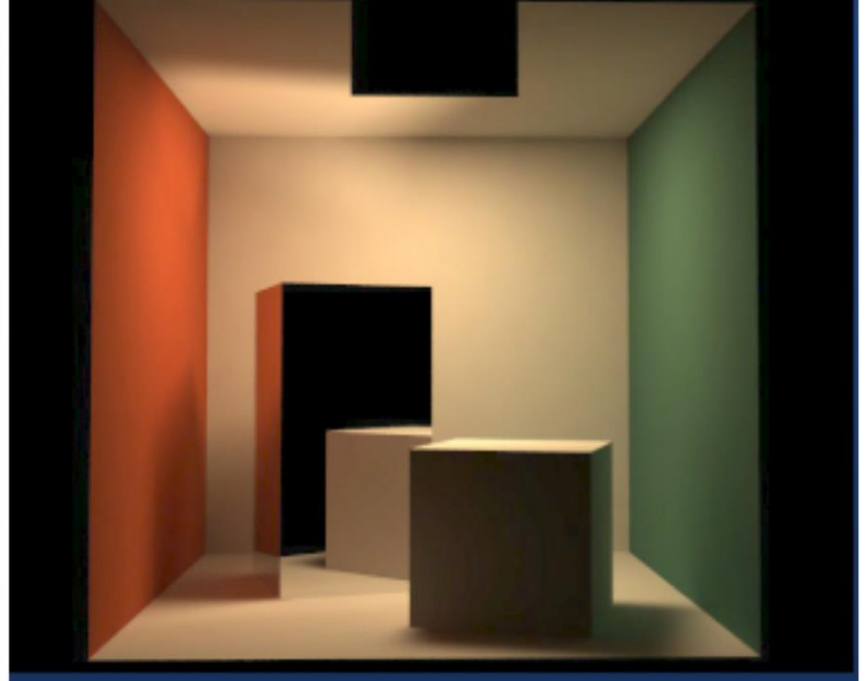
## Vorteile von PBR

---

- Berücksichtigt physikalische Gegebenheiten
- Parameter weniger nicht optimiert werden, um ein realistisches Bild zu erzeugen.
  - ➔ Erleichtert die Arbeit von Künstlern/Entwicklern
- Gleichmäßigeres Aussehen unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen

## Vergleich Camera vs. PBR

---



# Reflectance Equation

## Reflectance Equation

---

$$L_o(\underline{p}, \omega_o) = \int_{\Omega} \underline{f_r}(\underline{p}, \omega_i, \omega_o) * \underline{L_i}(\underline{p}, \omega_i) * \cos(\theta_i) d\omega_i$$

Die Reflectance equation beschreibt die **Gesamtmenge an Licht**, die von einem Punkt  $\underline{p}$  entlang einer bestimmten Blickrichtung ( $\omega_o$ ) reflektiert wird, wobei eine **Funktion für einfallendes Licht (Bestrahlungsstärke)** und eine **BRDF** gegeben ist. <sup>[1]</sup>

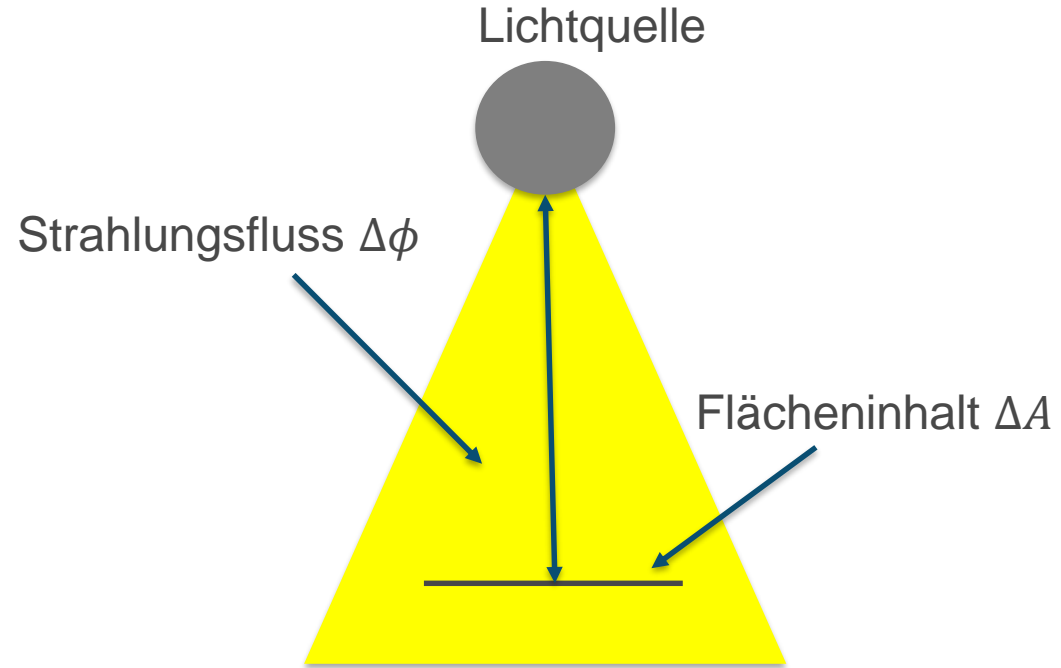


## Bestrahlungsstärke

Bestrahlungsstärke:  $E = \frac{\Delta\phi}{\Delta A}$

Abhängig von:

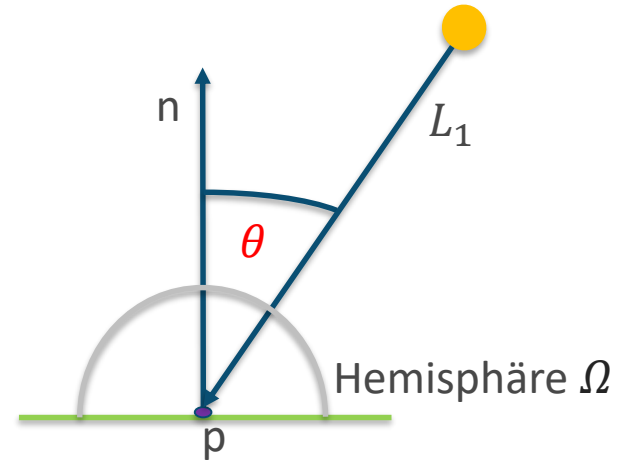
- Flächeninhalt
- Distanz zum Licht
- Orientierung
- Positionierung



## Bestrahlungsstärke

$$E = \int_{\Omega} L * \cos(\theta) d\omega_i$$

- $L$  = Strahldichte  
 $n$  = Normalenvektor  
 $\theta_i$  = Winkel zwischen Normalenvektor  
und Lichtstrahl  
 $\Omega$  = Hemisphäre über  $p$



## Bestrahlungsstärke

$$E = \int_{\Omega} L_i * \cos(\theta_i) d\omega_i$$

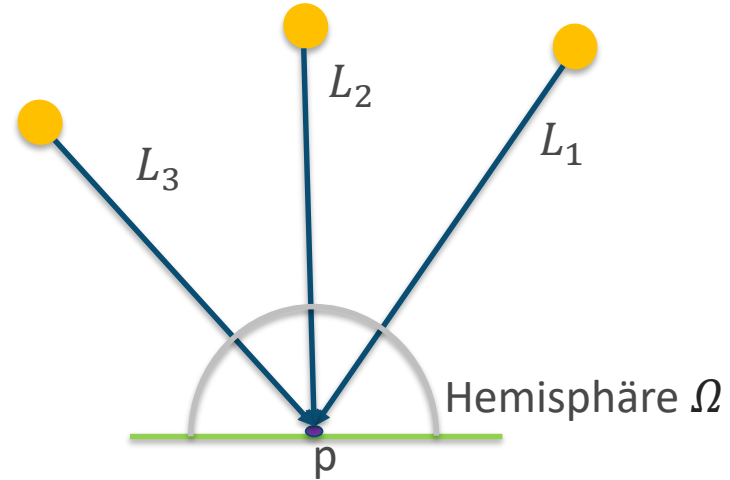
$$= \sum_{i=1}^n L_i * \cos(\theta_i)$$

$L_i$  = Strahldichte

$n$  = Normalenvektor

$\theta_i$  = Winkel zwischen Normalenvektor  
und Lichtstrahl

$\Omega$  = Hemisphäre über  $p$



## Reflectance Equation

---

$$L_o(\underline{p}, \omega_o) = \int_{\Omega} \underline{f_r}(\underline{p}, \omega_i, \omega_o) * \underline{L_i}(\underline{p}, \omega_i) * \cos(\theta_i) d\omega_i$$

Die Reflectance equation beschreibt die **Gesamtmenge an Licht**, die von einem Punkt  $\underline{p}$  entlang einer bestimmten Blickrichtung ( $\omega_o$ ) reflektiert wird, wobei eine **Funktion für einfallendes Licht (Bestrahlungsstärke)** und eine **BRDF** gegeben ist. <sup>[1]</sup>

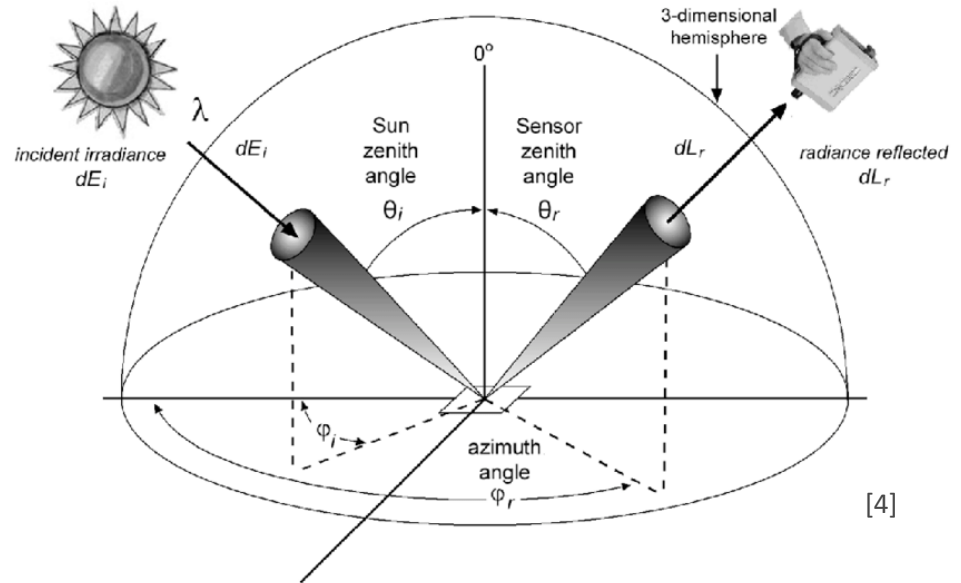
## BRDF

BRDF = Bidirectional Reflective Distribution Function

$$= f_r(p, \omega_i, \omega_o)$$

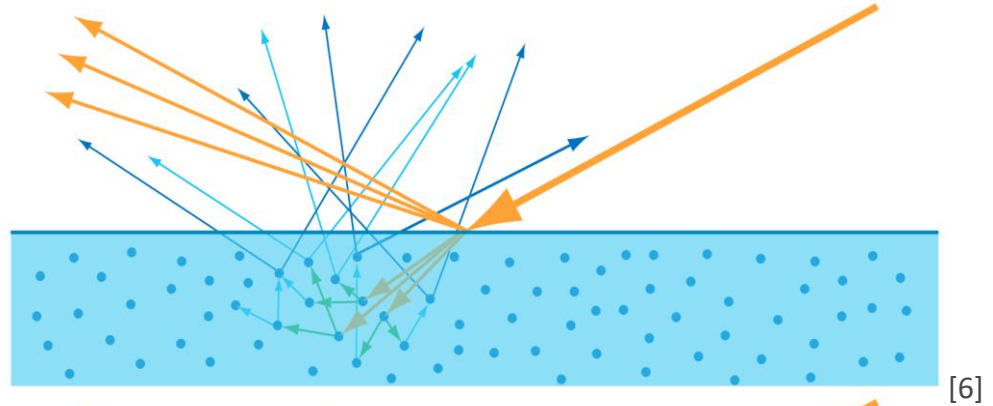
Eigenschaften:

- Helmholtz-Reziprozität
- Energieerhaltungssatz
- Superposition

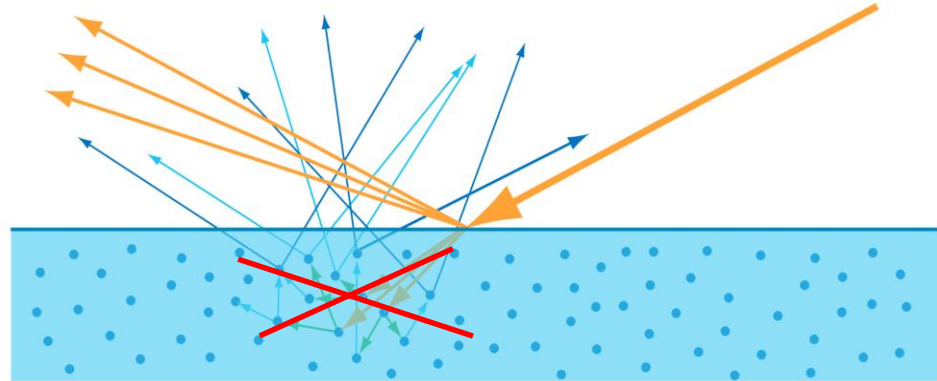


[4]

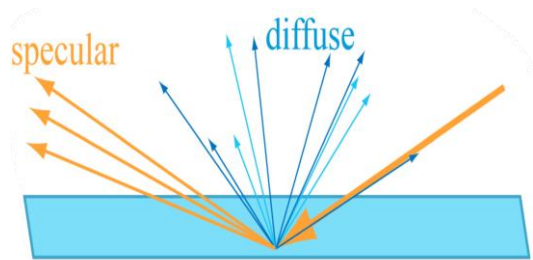
Nicht Metalle



Metalle

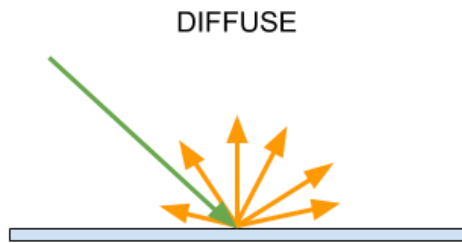


## Specular und Diffuse



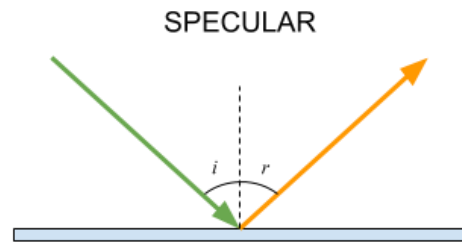
[6]

=



[5]

+



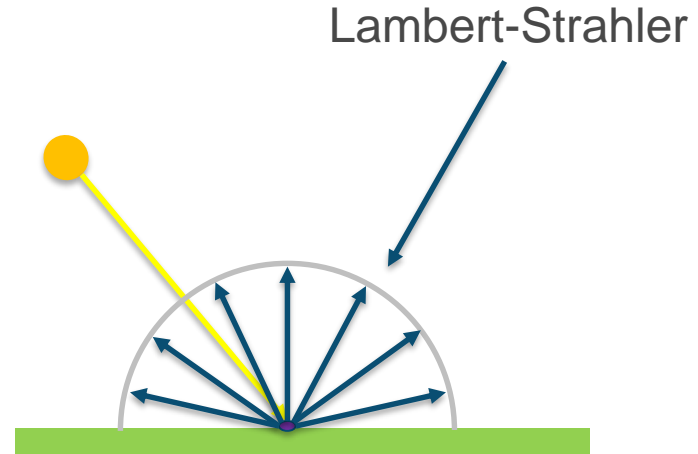
[5]

$$f_r(p, \omega_i, \omega_o) = f_{\text{lambert}} + f_{\text{CookTorrance}}$$

$$\leq 1$$

$$f_{\text{lambert}} = \frac{c}{\pi}$$

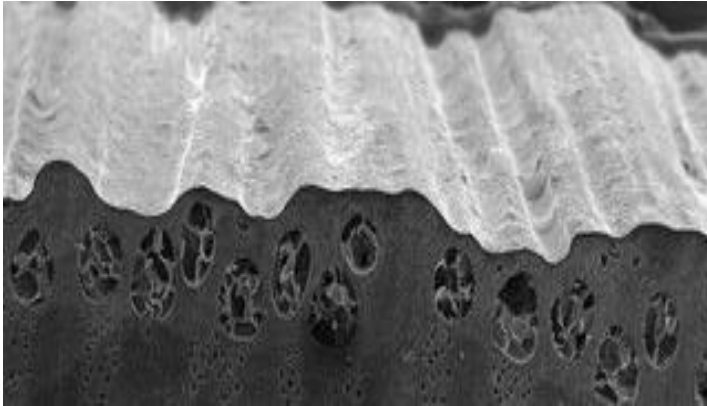
c = Oberflächenfarbe/Albedo





## Microfacet Surface Model

---



[8]



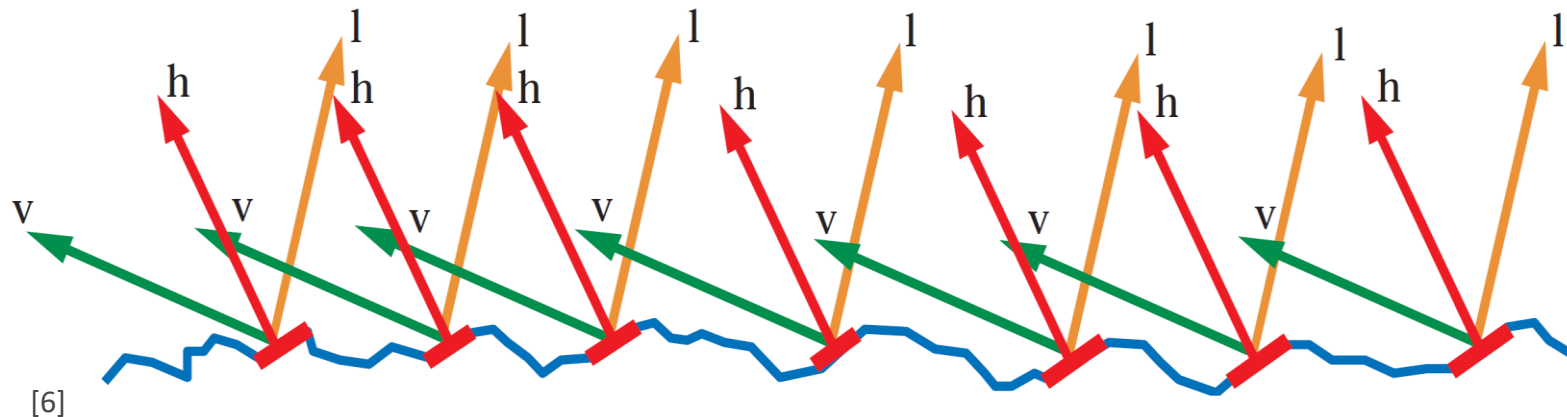
**SMOOTH SURFACE**



**ROUGH SURFACE**

[7]

## Normal Distribution Function (NDF)



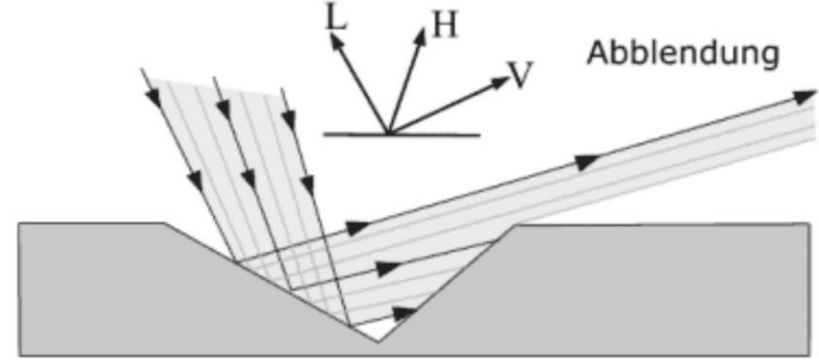
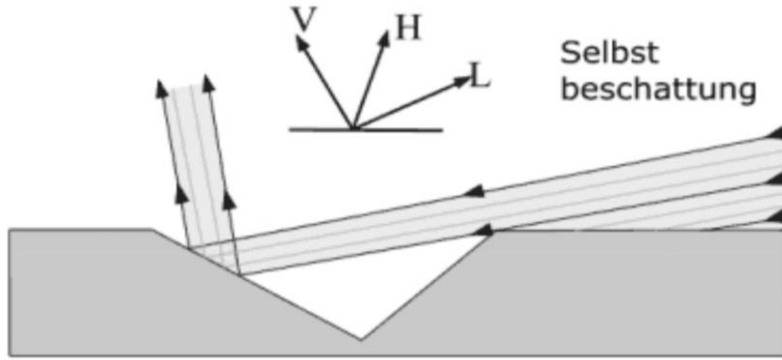
$\alpha$  = Rauheit

$n$  = Normalenvektor

$h$  = Halfway-Vektor

$$NDF_{GGXTR}(n, h, \alpha) = \frac{\alpha^2}{\pi((n \cdot h)^2 \cdot (\alpha^2 - 1) + 1)^2}$$

## Geometry Function



[9]

$\beta$  = Rauheit  
 $n$  = Normalenvektor  
 $x$  = Vektor zur  
 Lichtquelle/View

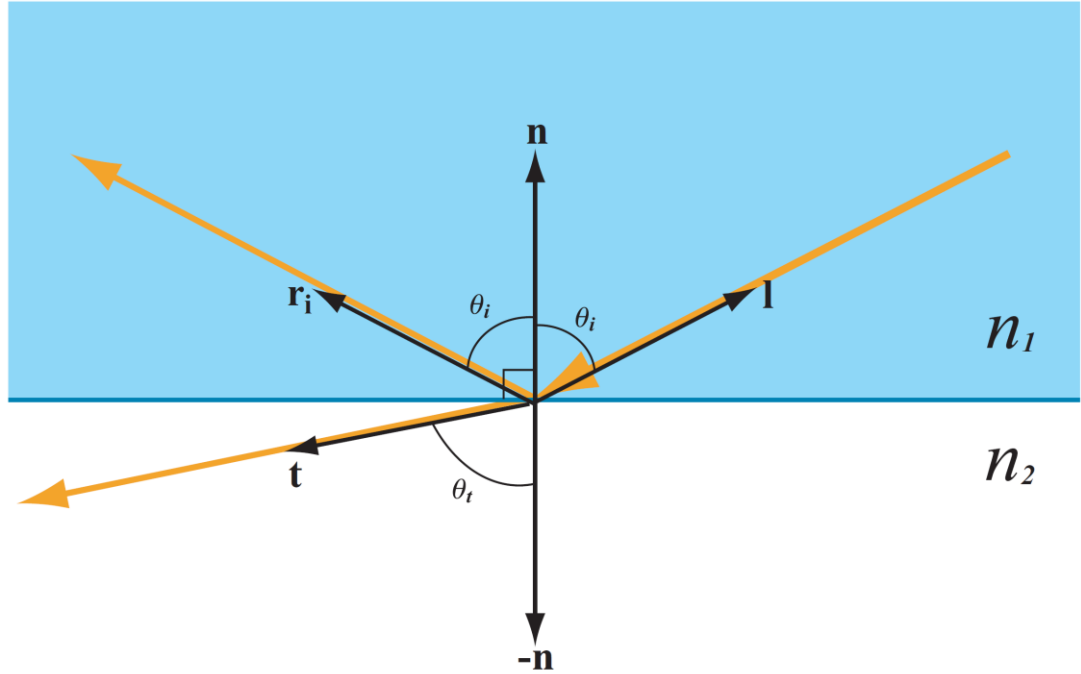
$$G_{SchlickGGX}(n, x, k) = \frac{n \cdot x}{(n \cdot x) \cdot (1 - k) + k}$$

$$k = \frac{(\beta + 1)^2}{8}$$

$$G(n, v, l, k)_{\text{Smith}} = G(n, v, k) * G(n, l, k)$$

## Fresnel Equation

- $n_x$  = Brechungsindex
- $n$  = Normalenvektor
- $l$  = Vektor zur Lichtquelle
- $\theta_x$  = Brechungswinkel
- $r_i$  = Vektor des reflektierten Lichtstrahls
- $t$  = Vektor des gebrochenen Lichtstrahls



[6]

## Fresnel Equation

---

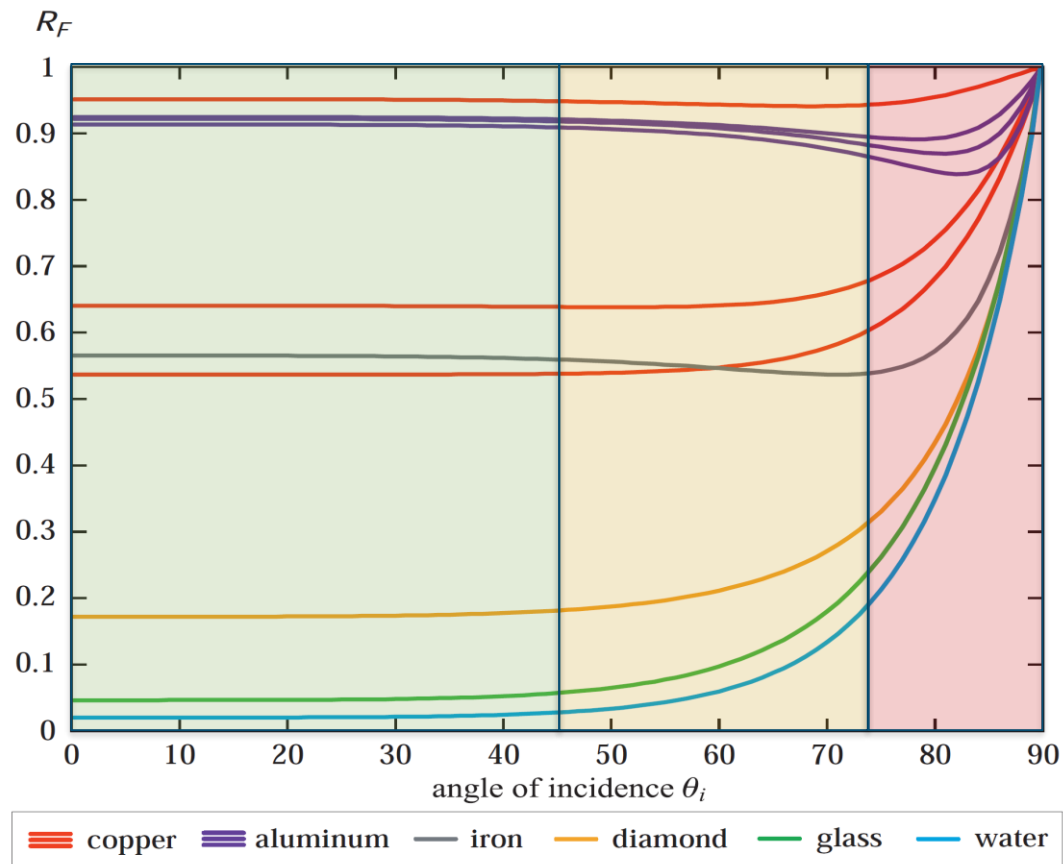


[10]



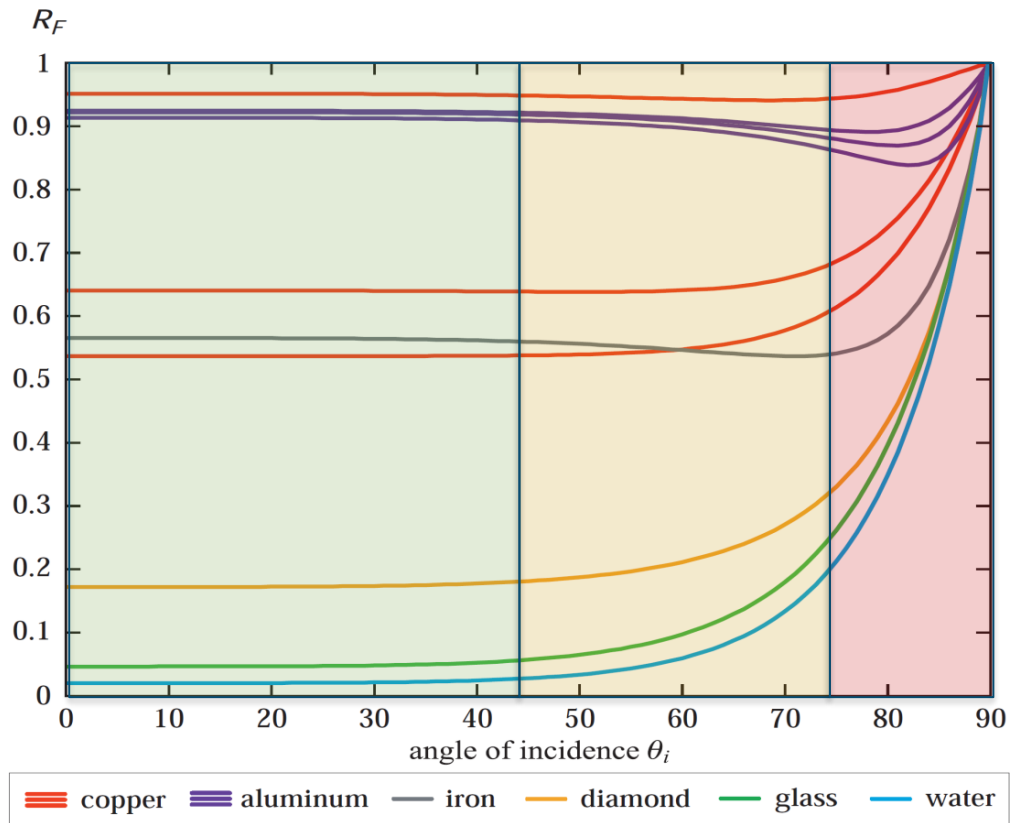
[11]

## Fresnel Equation



[7]

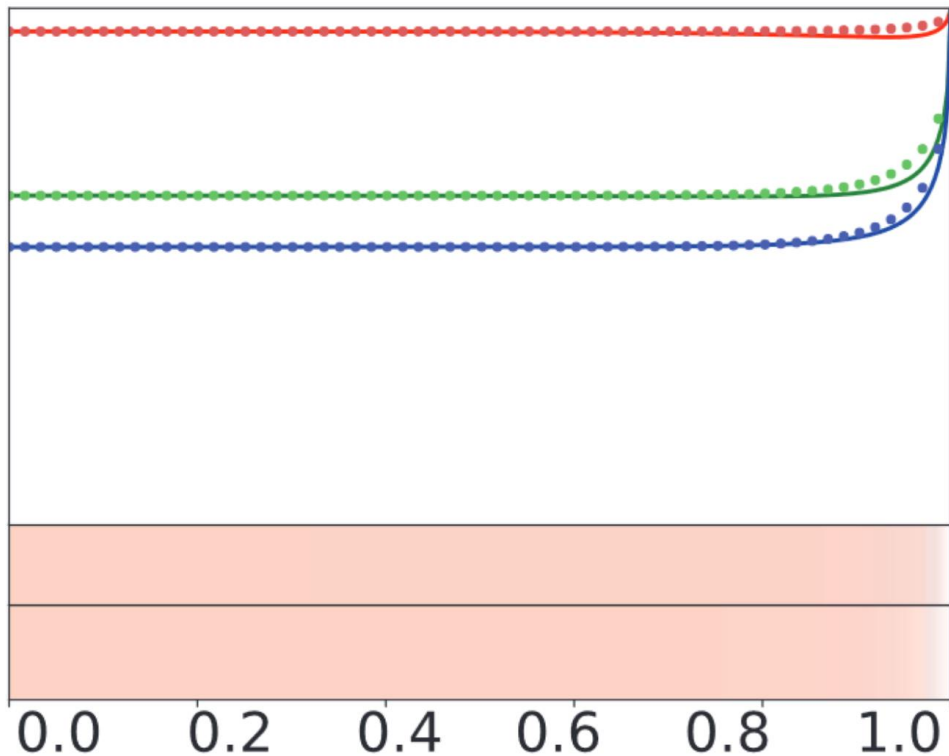
## Fresnel Equation



$$F(0) = F = \text{Specularcolor}$$

$$F(h, v, F_0) = F_0 + (1 + F_0)(1 - (h \cdot v))^5$$

## Fresnel Equation



$$F(0) = F = \text{Specularcolor}$$

$$F(h, v, F_0) = F_0 + (1 + F_0)(1 - (h \cdot v))^5$$

**Diffuse Anteil:**

$$k_d = 1 - F$$



## Cook-Torrance Specular

- p = punkt des auftreffenden Lichtes
- n = Normalenvektor
- $\omega_i$  = Vektor zur Lichtquelle
- $\omega_o$  = Vektor zur View
- kd = Diffuser Anteil
- c = Albedo
- D = Normal Distribution Function
- G = Geometry Function
- F = Fresnel Equation
- $\theta_i$  = Winkel zwischen Normalenvektor und Lichtstrahl

$$f_{CookTorrance} = \frac{D \cdot F \cdot G}{4(\omega_o \cdot n) \cdot (\omega_i \cdot n)}$$

### Cook-Torrance-Reflectance-Equation

$$L_o(p, \omega_o) = \int_{\Omega} \left( kd \cdot \frac{c}{\pi} + \frac{DFG}{4(\omega_o \cdot n) \cdot (\omega_i \cdot n)} \right) \cdot L_i(p, \omega_i) \cdot \cos(\theta_i) d\omega_i$$

# **Codebeispiel + Live Demo**

**THANK YOU**  
QUESTIONS?



# Quellen

---

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Rendering\\_equation](https://en.wikipedia.org/wiki/Rendering_equation) (14.11.2020)
2. <http://1.bp.blogspot.com/-D5djl6sSxRc/VUkFgTt5tI/AAAAAAAAAMY/hASrNNWypUU/s1600/comp.png> (14.11.2020)
3. <https://www.graphics.cornell.edu/online/box/compare.html> (14.11.2020)
4. Schill, Steve & Jensen, John & Raber, George & Porter, Dwayne. (2004). "Temporal Modeling of Bidirectional Reflection Distribution Function (BRDF) in Coastal Vegetation". GIScience & Remote Sensing
5. <https://astrobites.org/wp-content/uploads/2020/09/reflection.png> (14.11.2020)
6. Akenine-Mller, Tomas and Haines, Eric and Hoffman, Naty. (2018). "Real-Time Rendering, Fourth Edition". A. K. Peters, Ltd.
7. <https://learnopengl.com/PBR/Theory> (14.11.2020)
8. [https://www.farbeundlack.de/var/ezflow\\_site/storage/images/media/images/lodb\\_schraegquerschnittweakspotx40/26016478-1-ger-DE/LODB\\_schraegQuerschnittWeakSpotx40\\_articleimage.jpg](https://www.farbeundlack.de/var/ezflow_site/storage/images/media/images/lodb_schraegquerschnittweakspotx40/26016478-1-ger-DE/LODB_schraegQuerschnittWeakSpotx40_articleimage.jpg) (14.11.2020)
9. <http://www.irrlicht3d.org/papers/BrdfModelle.pdf> (14.11.2020)
10. [https://www.br.de/kinder/wasser-schwimmbad-licht-100~v-img\\_16\\_9\\_m\\_-4423061158a17f4152aef84861ed0243214ae6e7.jpg?version=709fd](https://www.br.de/kinder/wasser-schwimmbad-licht-100~v-img_16_9_m_-4423061158a17f4152aef84861ed0243214ae6e7.jpg?version=709fd) (14.11.2020)
11. [https://www.digitalphoto.de/media/digitalphoto/styles/tec\\_front\\_end\\_large/public/images/2017/12/image-330272--758561.jpeg?itok=N8RANKu1](https://www.digitalphoto.de/media/digitalphoto/styles/tec_front_end_large/public/images/2017/12/image-330272--758561.jpeg?itok=N8RANKu1) (14.11.2020)