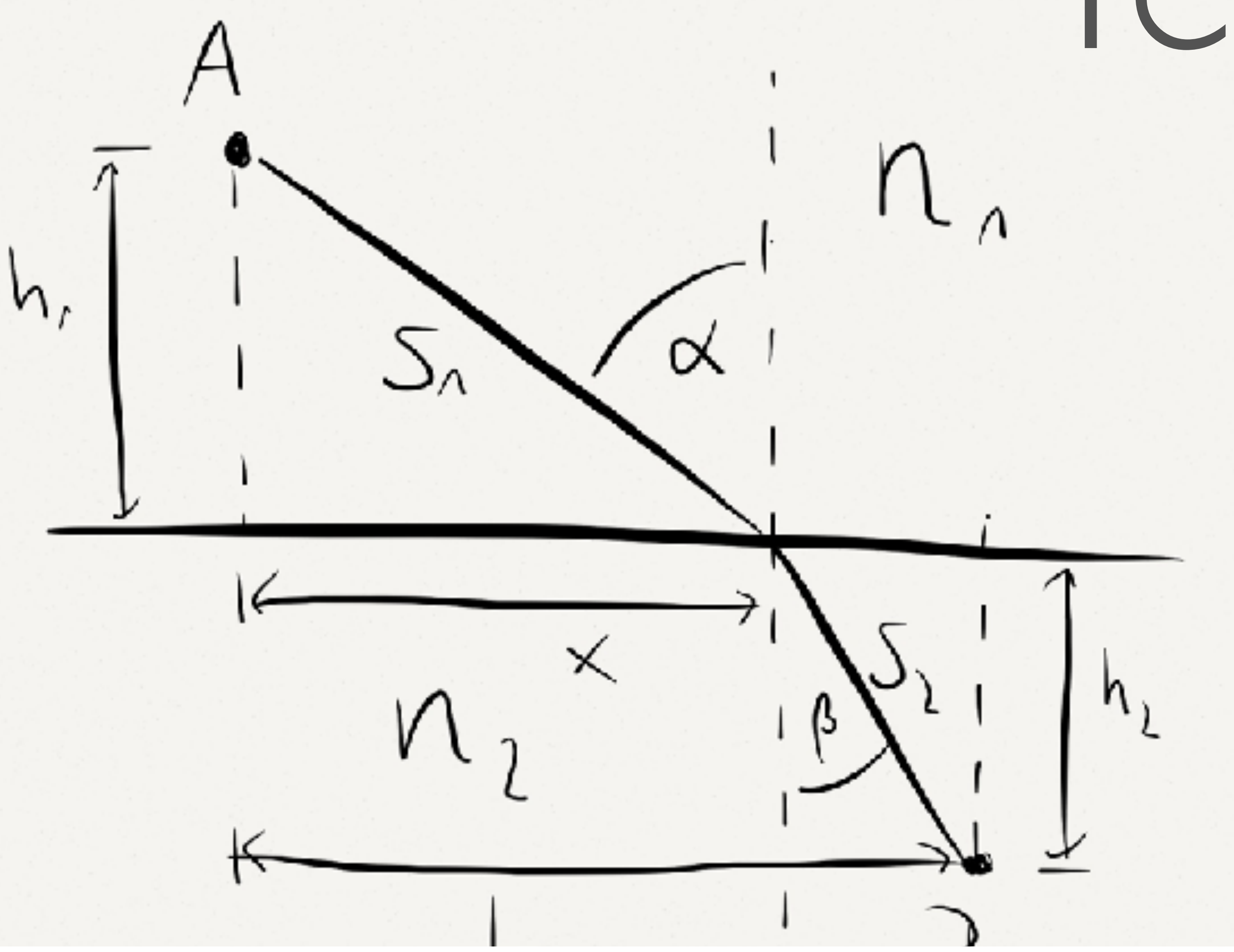
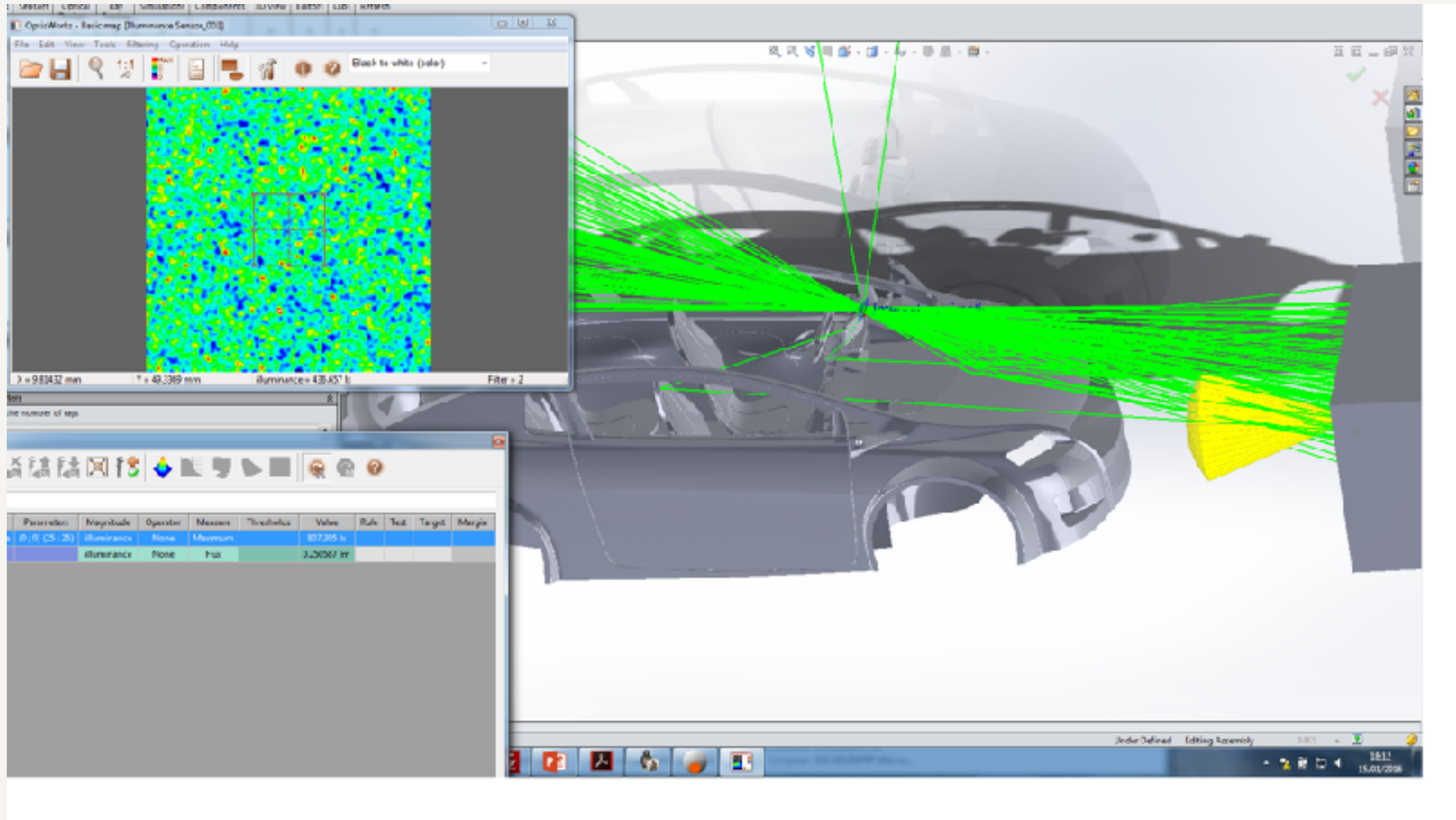
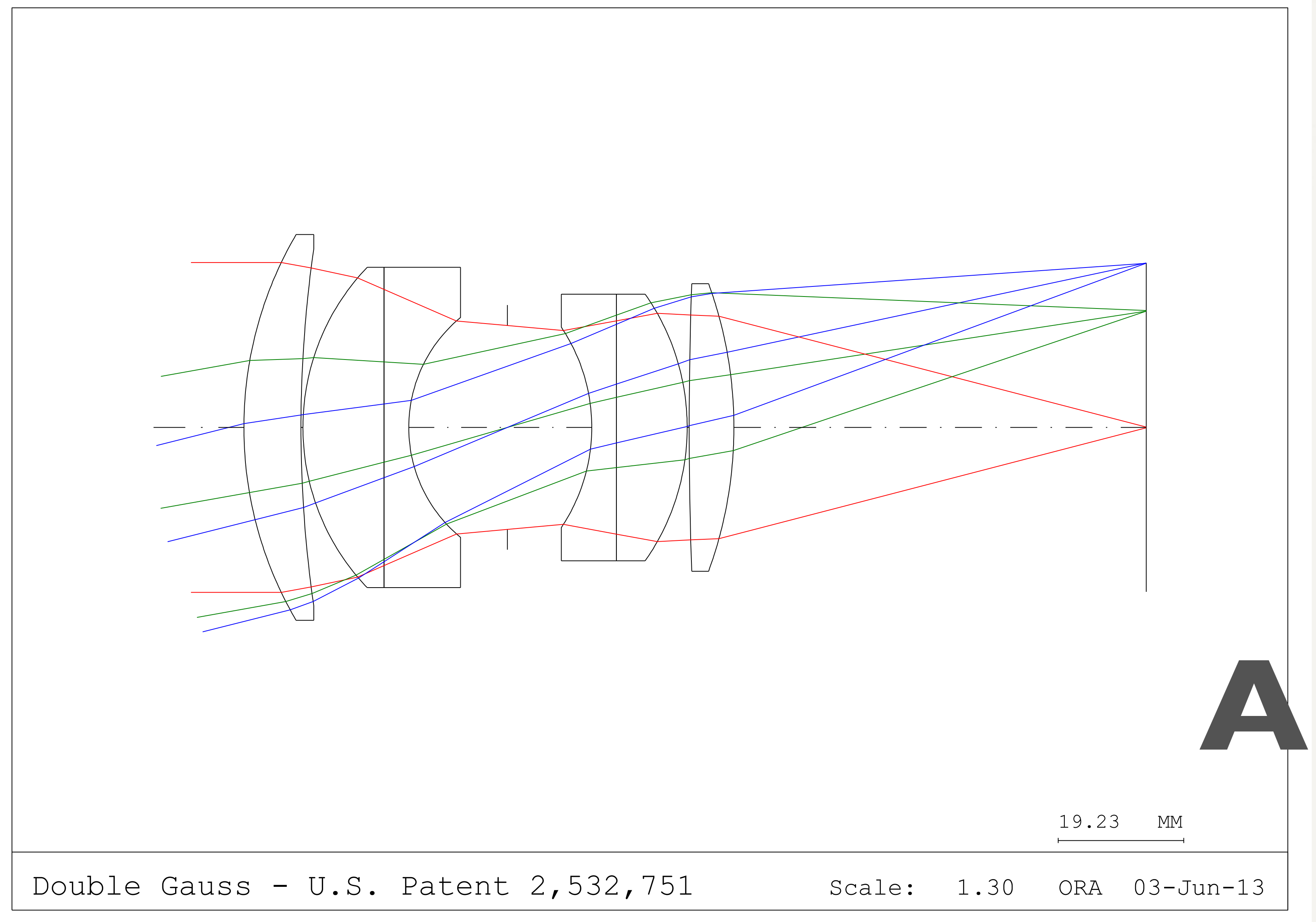
Technische Raytracer







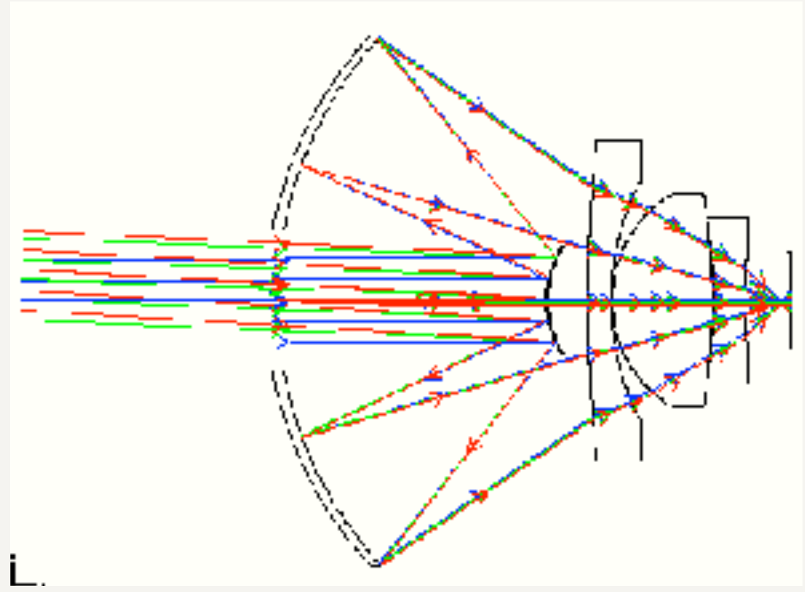
$$\mathbf{u}' = \frac{n_1}{n_2} \cdot \mathbf{u} - \mathbf{n}\left[\frac{n_1}{n_2}\mathbf{n} \cdot \mathbf{u} - \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 (1 - (\mathbf{n} \cdot \mathbf{u})^2)}\right]$$

Arten von Raytracer

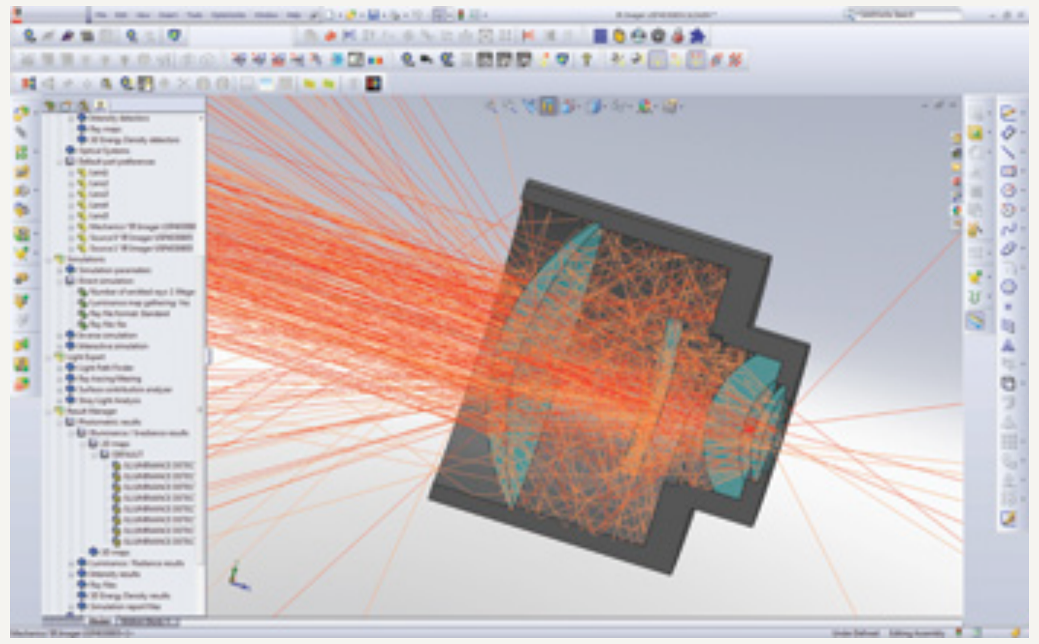
Einleitung

Raytracing

- „Lichtstrahlen-Verfolgung“ (*engl. ray tracing*): Berechnung von Lichtstrahlen nach geometrischer Optik.
- Drei große Bereiche:
  - **Graphisches Raytracing**: Berechnung, wie ein Bild aussieht.
  - **Sequentielles Raytracing**: Reihenfolge der brechenden Flächen vorgegeben. Für Optik-Design (Objektive, Mikroskope, Ferngläser, ...).
  - **Nicht-sequentielles Raytracing**: Reihenfolge der Flächen nicht vorgegeben. Für Aus- und Beleuchtung.



Quelle: radiantzemax.com



Quelle: Laserfocusworld

Raytracing

- „Lichtstrahlen-Verfolgung" (*engl. ray tracing*): Berechnung von Lichtstrahlen nach geometrischer Optik.
- Drei große Bereiche:
  - **Graphisches Raytracing**: Berechnung, wie ein Bild aussieht.
  - **Sequentielles Raytracing**: Reihenfolge der brechenden Flächen vorgegeben. Für Optik-Design (Objektive, Mikroskope, Ferngläser, ...).
  - **Nicht-sequentielles Raytracing**: Reihenfolge der Flächen nicht vorgegeben. Für Aus- und Beleuchtung.

Gutes Aussehen und schnelle Berechnung wichtiger als physikalische Konsistenz

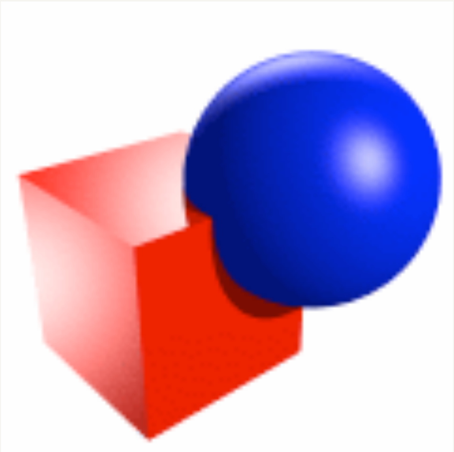
Wissenschaftliche und technische Anwendungen mit physikalisch korrekten Modellen

Objekte

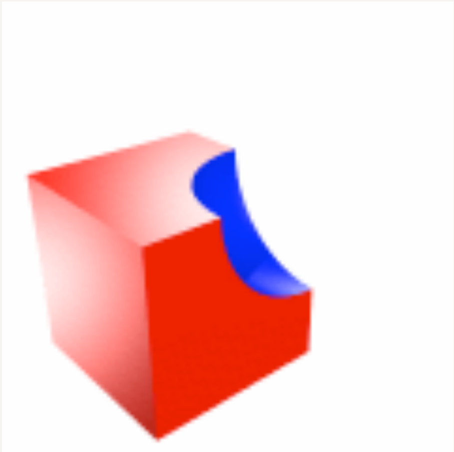
- Modellierung der Objekte im Raum.
- Aufgebaut aus sogenannten graphischen Primitiven: Kreise (Kugeln), Rechtecke (Würfel), Polygone, Dreiecke, Zylinder, Rotationskörper, ...
- Beispiel: **CSG - Constructive Solid Geometry**
- Szenenerstellung typischerweise mit einem **spezialisierten 3d-Modellierungswerkzeug** (in dieser Vorlesung *Solidworks*)
- Komplexe Objektive werden heutzutage aus Dreiecken zusammengesetzt.

Making of a Rose

Vereinigung



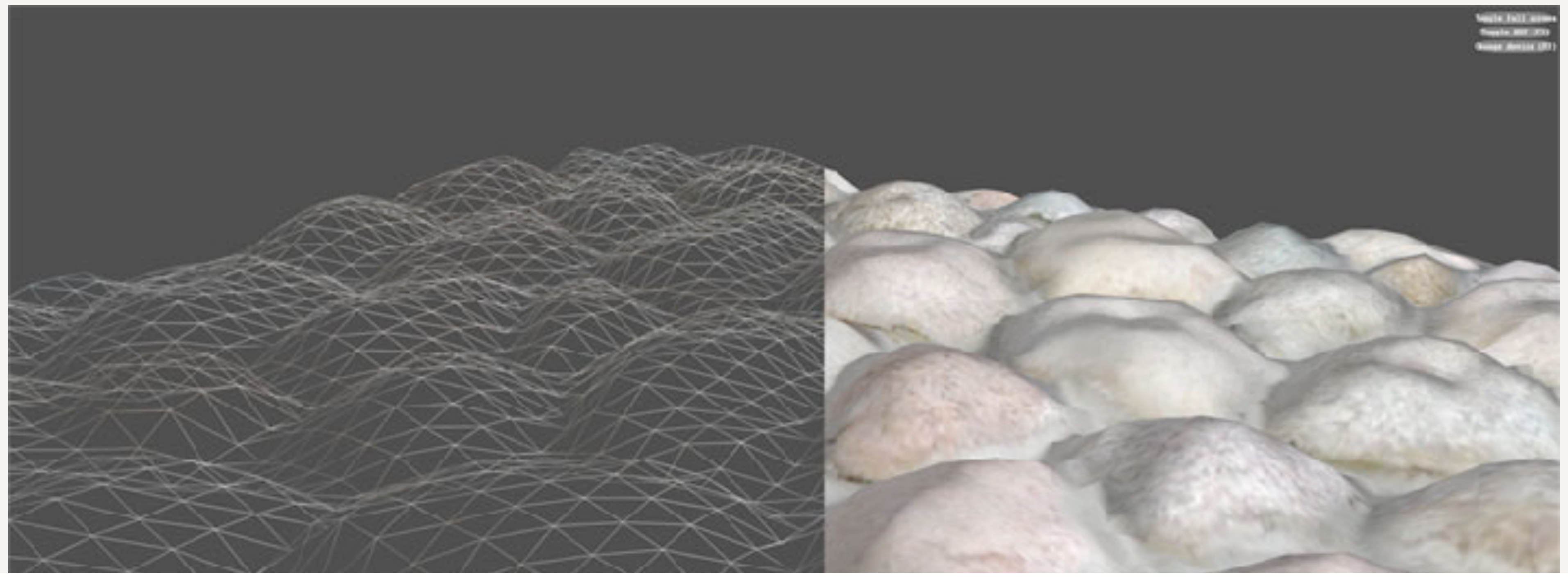
Differenz

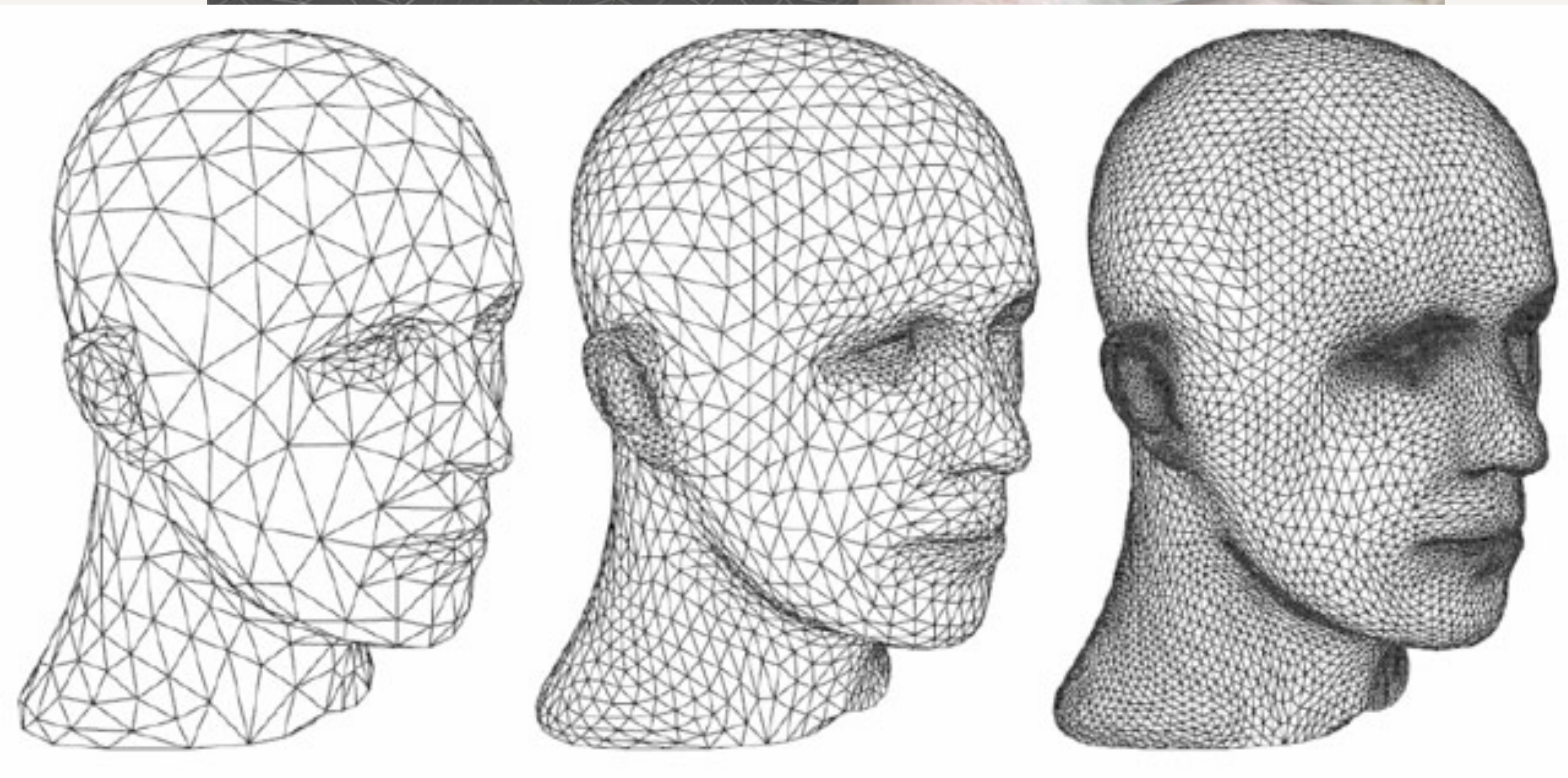


Schnitt

http://de.wikipedia.org/wiki/Constructive_Solid_Geometry

Tesselation





- Komplexe Geometrien werden in viele einzelne Dreiecke zerlegt.
- Dieser Prozess heisst **Tesselation** (deutsch: Kachelung)

http://www.guru3d.com/articles_pages/radeon_hd_5870_review_test,7.html

Schnittpunktberechnung

Schnittpunkt *Gerade* - *Gerade*

$$g_1 : \mathbf{p} + t \cdot \mathbf{u}$$ Parametrierte Form

$$g_2 : \mathbf{x} \cdot \mathbf{n} - d = 0$$ Hesse‘sche Normalform

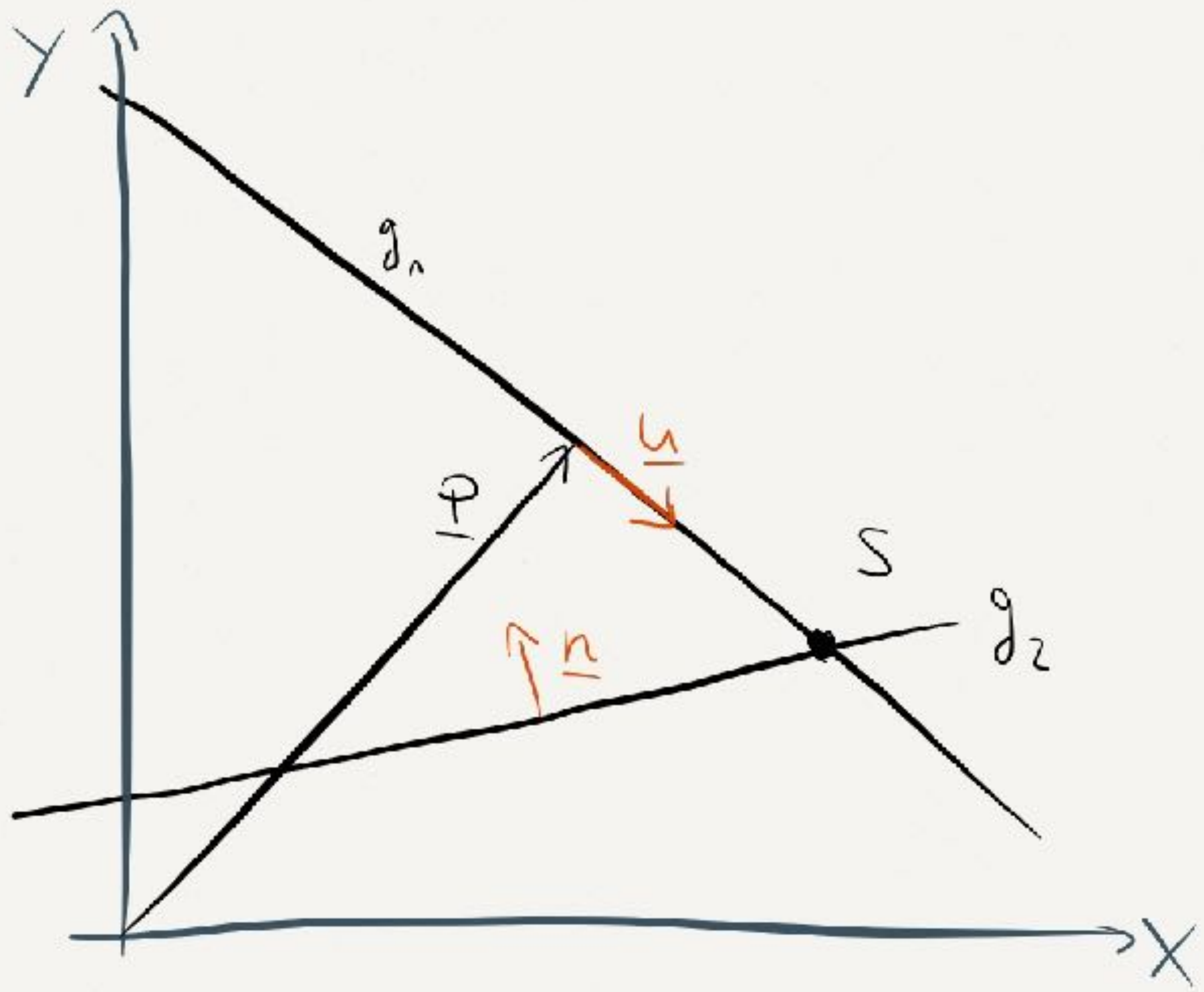
Einsetzen:

$$(\mathbf{p} + t \cdot \mathbf{u}) \cdot \mathbf{n} - d = 0$$

$$\Rightarrow t_s = \frac{d - \mathbf{p} \cdot \mathbf{n}}{\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}}$$

Lösung:

$$\mathbf{s} = \mathbf{p} + t_s \cdot \mathbf{u}$$



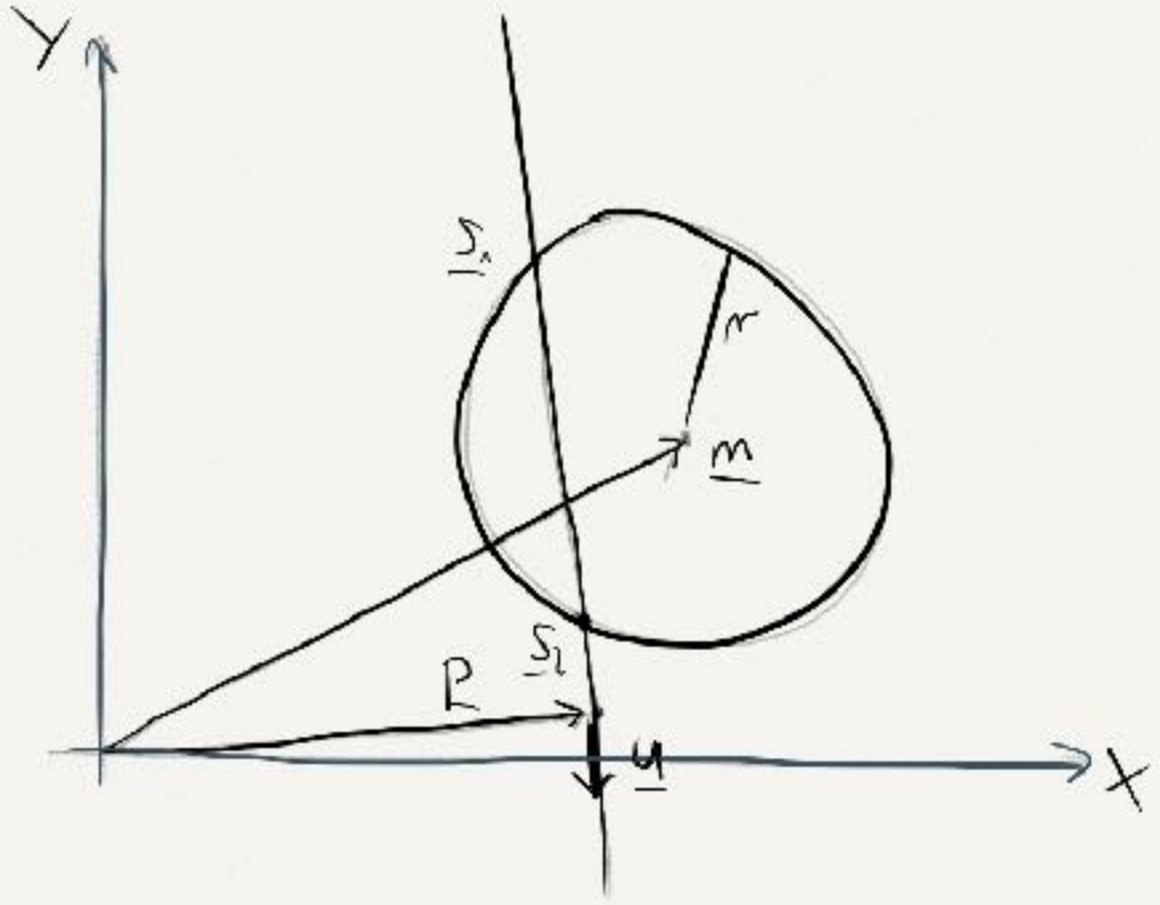
Schnittpunkt *Gerade - Kreis*

$$K : (\mathbf{x} - \mathbf{m})^2 = r^2$$
$$g : \mathbf{p} + t \cdot \mathbf{u}$$

Einsetzen:

$$r^2 = (\mathbf{p} + t \cdot \mathbf{u} - \mathbf{m})^2$$
$$0 = t^2 \cdot \mathbf{u}^2 + t \cdot (2\mathbf{u} \cdot \mathbf{p} - 2\mathbf{u} \cdot \mathbf{m}) - 2\mathbf{p} \cdot \mathbf{m} + \mathbf{p}^2 + \mathbf{m}^2 - r^2$$

Bei uns normiert, also = 1



Lösung:

$$t_{1,2} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{m} - \mathbf{u} \cdot \mathbf{p} \pm \sqrt{(\mathbf{u} \cdot \mathbf{p} - \mathbf{u} \cdot \mathbf{m})^2 + 2\mathbf{p} \cdot \mathbf{m} + r^2 - \mathbf{p}^2 - \mathbf{m}^2}$$

Radikant > 0?

$$\mathbf{s}_{1,2} = \mathbf{p} + t_{1,2} \cdot \mathbf{u}$$

Komplexitätsklassen

- Schnittpunktberechnungen werden in Komplexitätsklassen eingeteilt, wie *teuer* die Berechnung ist (wie rechenintensiv).
- Meist wird gegen Ebene ($\mathrm{O}(N)$) oder Kreis ($\mathrm{O}(N^2)$) getestet, jedoch kostet „drin oder draußen?“ dann viel Zeit.
- Beispiel: Schnittpunkt mit Dreieck.

Linear: $t_s = \dfrac{d - \mathbf{p} \cdot \mathbf{n}}{\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}}$

Quadratisch:

$$0 = t^2 \cdot \mathbf{u}^2 + t \cdot (2\mathbf{u} \cdot \mathbf{p} - 2\mathbf{u} \cdot \mathbf{m}) - 2\mathbf{p} \cdot \mathbf{m} + \mathbf{p}^2 + \mathbf{m}^2 - r^2$$

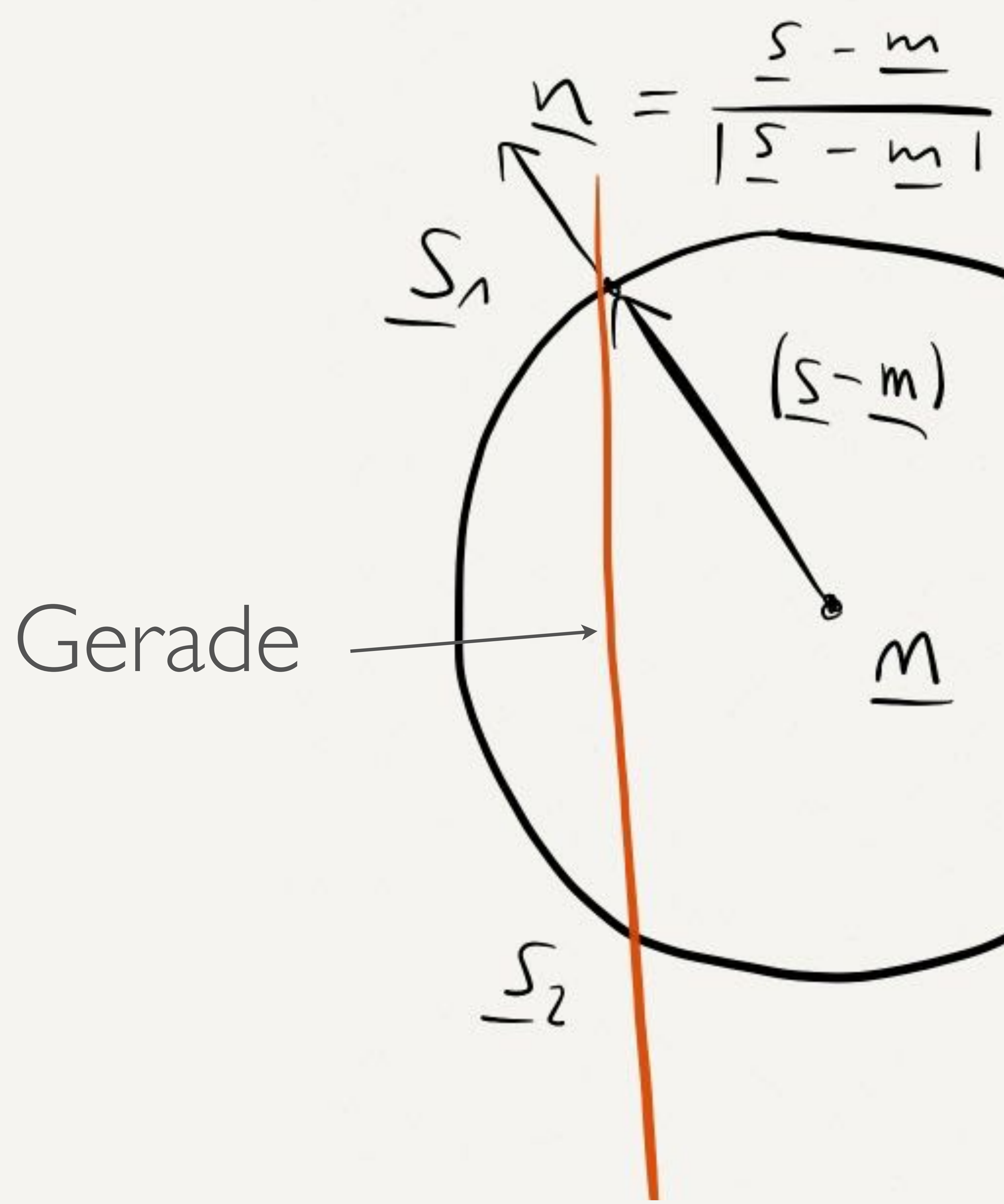
Paraxiales Raytracing

- Paraxial: nahe der Achse, d.h. kleine Winkel
- Der Sinus wird durch sein Argument genähert.
- Ist wesentlich schneller zu rechnen, und reicht häufig für einen Überblick.
- Typischerweise nicht genau genug für Produktentwicklung.

Brechungsgesetz vektoriell

Brechung am Kreis

Berechnung der Normalen



Snellius'sches Brechungsgesetz

in vektorieller Form

$$\mathbf{u}' = \frac{n_1}{n_2} \cdot \mathbf{u} - \mathbf{n} \left[\frac{n_1}{n_2} \mathbf{n} \cdot \mathbf{u} - \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \left(1 - (\mathbf{n} \cdot \mathbf{u})^2\right)} \right]$$

$\mathbf{u}$	Richtungsvektor vorher
$\mathbf{u}'$	Richtungsvektor nachher
$\mathbf{n}$	Normalenvektor der Grenzfläche
n_1	Brechungsindex vorher
n_2	Brechungsindex nachher