

Radiosity

1. Vorbemerkungen
2. Radiosity-Gleichung
3. Prinzip des Algorithmus
4. Berechnung der Formfaktoren
 - 4.1 Berechnungsvorschrift
 - 4.2 Integralsatz von Stokes
 - 4.3 Formfaktor zwischen einer differentiellen und einer endlichen Fläche
 - 4.4 Hemi-Sphere-Methode (Analogon von Nusselt)
 - 4.5 Hemi-Cube-Methode
 - 4.6 Single-Plane-Methode
 - 4.7 Formfaktorberechnung mit Ray Tracing
5. Farben im Radiosity-Verfahren
6. Lösung des Radiosity-Gleichungssystems
 - 6.1 Gleichungssystem
 - 6.2 Jacobi-Iterationsverfahren
 - 6.3 Gauß-Seidel-Verfahren
 - 6.4 Southwell-Verfahren
 - 6.5 Progressive Refinement
7. Erweiterung des Radiosity-Ansatzes
8. Kombination von Ray Tracing und Radiosity

Radiosity

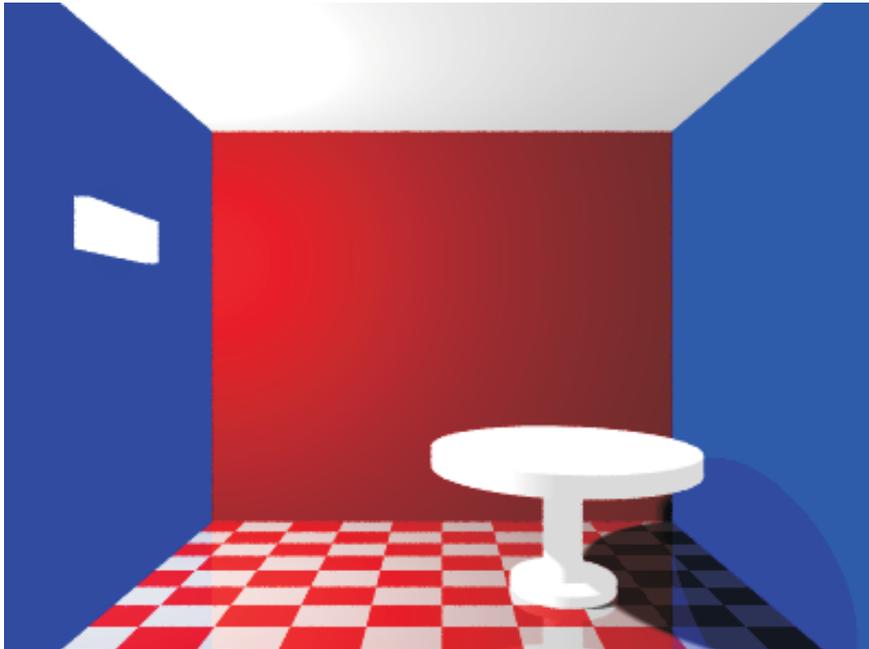
Charakteristik

1. Globales Beleuchtungsverfahren, basierend auf dem Energiegleichgewicht in der Szene
2. Optimal geeignet für die Darstellung ideal diffuser Umgebungen, nicht für spiegelnde Reflexion und Transmission
3. Lösung des Radiosity-Algorithmus ist unabhängig von der Beobachterposition. Änderung derselben deshalb schnell durchführbar.

Radiosity

Gegenüberstellung von Ray Tracing und Radiosity

Ray Tracing



Radiosity



Radiosity

Gegenüberstellung von Ray Tracing und Radiosity

Ray-Tracing-Verfahren	Radiosity-Verfahren
basieren auf <i>strahlenoptischen</i> Grundlagen.	basieren auf <i>strahlungsphysikalischen</i> Grundlagen.
berechnen die Beleuchtung <i>während</i> der Bildsynthese.	berechnen die Beleuchtung <i>vor</i> der Bildsynthese.
berechnen die Beleuchtung <i>punktweise</i> .	berechnen die Beleuchtung <i>flächenweise</i> .
benutzen Objektmodelle, für die ein Schnittpunkttest und eine Normalenberechnung formuliert werden kann (z.B. algebraische Oberflächen, Polygone, CSG-Modelle, ...).	benutzen als Objektmodell Polygone (meistens Dreiecke oder Rechtecke).
haben einen Aufwand an Rechenzeit, der abhängig von der Anzahl der Objekte der Szene und der Anzahl der Bildpunkte ist.	haben einen Aufwand an Rechenzeit, der quadratisch abhängig von der Anzahl der Flächenstücke ist. (Unter der Voraussetzung, dass ein iteratives Verfahren, wie z.B. das Gauß-Seidel-Verfahren, zur Lösung des Gleichungssystems benutzt wird. Bei direkten Lösungsverfahren (z.B. Matrixinversion) ist der Aufwand kubisch).
haben einen Verbrauch an Speicherplatz, der abhängig von der Anzahl der Objekte der Szene ist.	haben einen Verbrauch an Speicherplatz, der quadratisch von der Anzahl der Flächenstücke abhängt.
erfordern ein komplettes Neuberechnen des Bildes, wenn der Standort des Beobachters, die Beleuchtungssituation oder die Geometrie der Szene geändert wird.	erfordern nur eine Neudarstellung des Bildes, wenn der Standort des Beobachters verändert wird. Bei geänderter Beleuchtungssituation muß die Beleuchtung nur teilweise neu berechnet werden (erneutes Lösen des Gleichungssystems). Wenn die Geometrie der Szene geändert wird, muß die Berechnung komplett neu durchgeführt werden.

Radiosity

Grundlagen, Voraussetzungen

Grundlagen

1. Erster Hauptsatz der Thermodynamik (Robert Mayer, 1842):

"Die Energiesumme in einem abgeschlossenen System ist konstant".

2. Lichtstrahlung ist eine Energieform, damit erster Hauptsatz anwendbar (Radiosity-Verfahren = Strahlungsverfahren).

Voraussetzungen

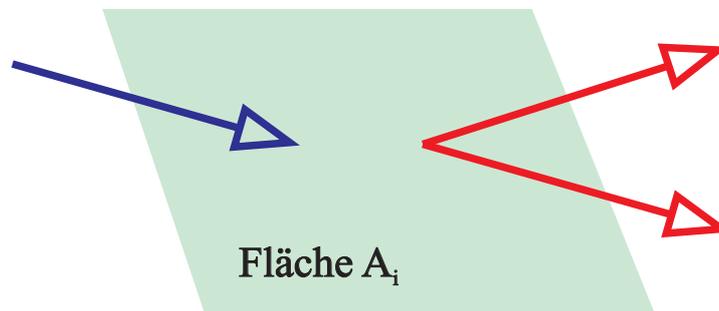
1. Alle Flächen der Szene reflektieren ideal diffus.
2. Alle Flächen sind bezüglich ihrer Eigenschaften homogen.
3. Die Szene ist abgeschlossen, Energie wird weder zu- noch abgeführt.

Radiosity

Energiebilanz

zugestrahlte
Energie

$$\sum_{j=1}^n F_{i,j} B_j$$



abgestrahlte
Energie

$$E_i$$

$$R_i \sum_{j=1}^n F_{i,j} B_j$$

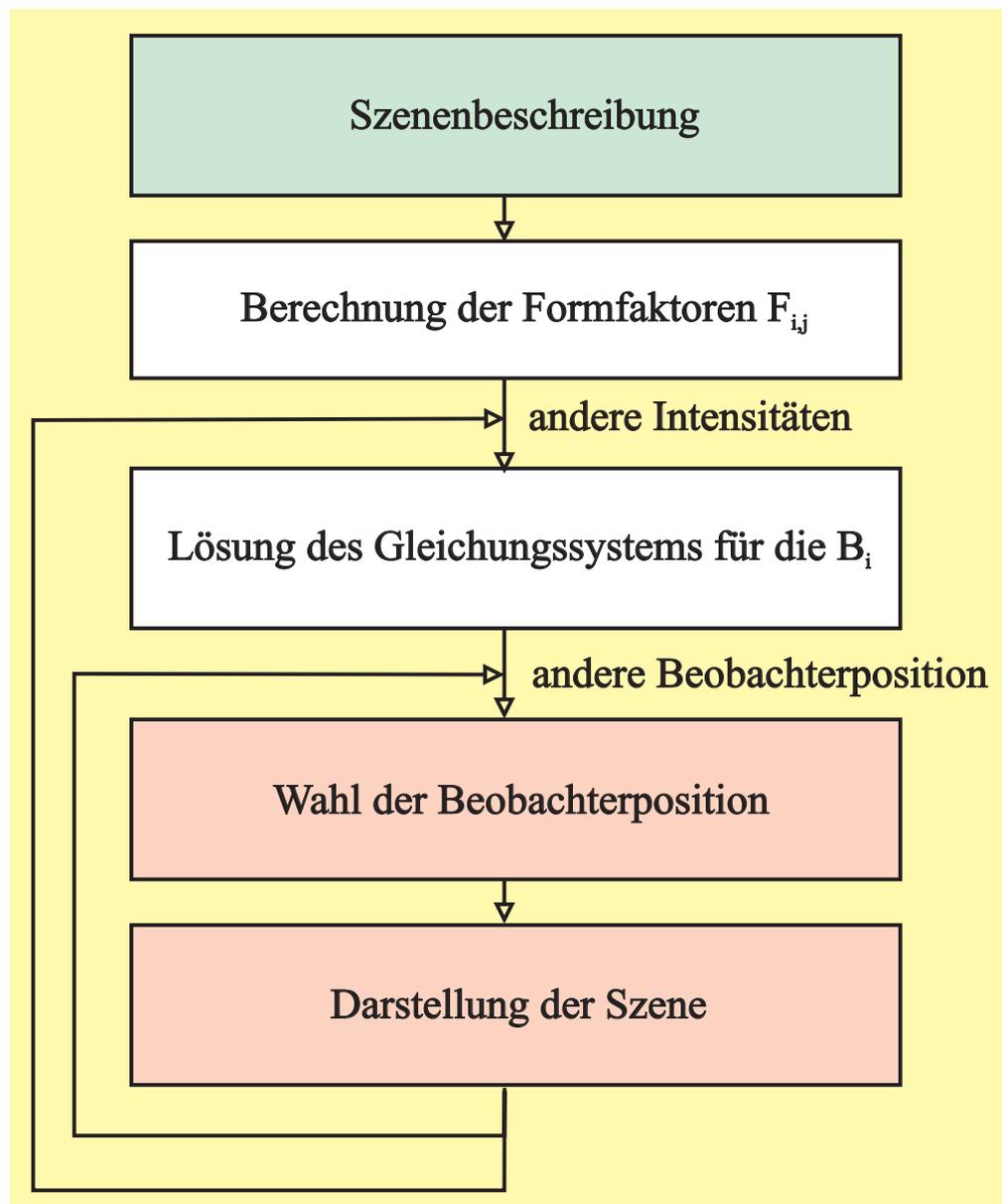
Fläche A_i

$$B_i = E_i + R_i \sum_{j=1}^n F_{i,j} B_j$$

B_i	Energiedichte (Radiosity) der Fläche A_i
E_i	Eigenenergie der Fläche A_i (Emission, Lichtquelle)
R_i	Reflektivität der Fläche A_i , Teil des wieder abgestrahlten Lichtes, Reflexionskoeffizient
F_{ij}	Formfaktor, gibt den Teil der Energie an, der von Fläche A_i direkt auf Fläche A_j übergeht
n	Anzahl der Flächen in der Szene

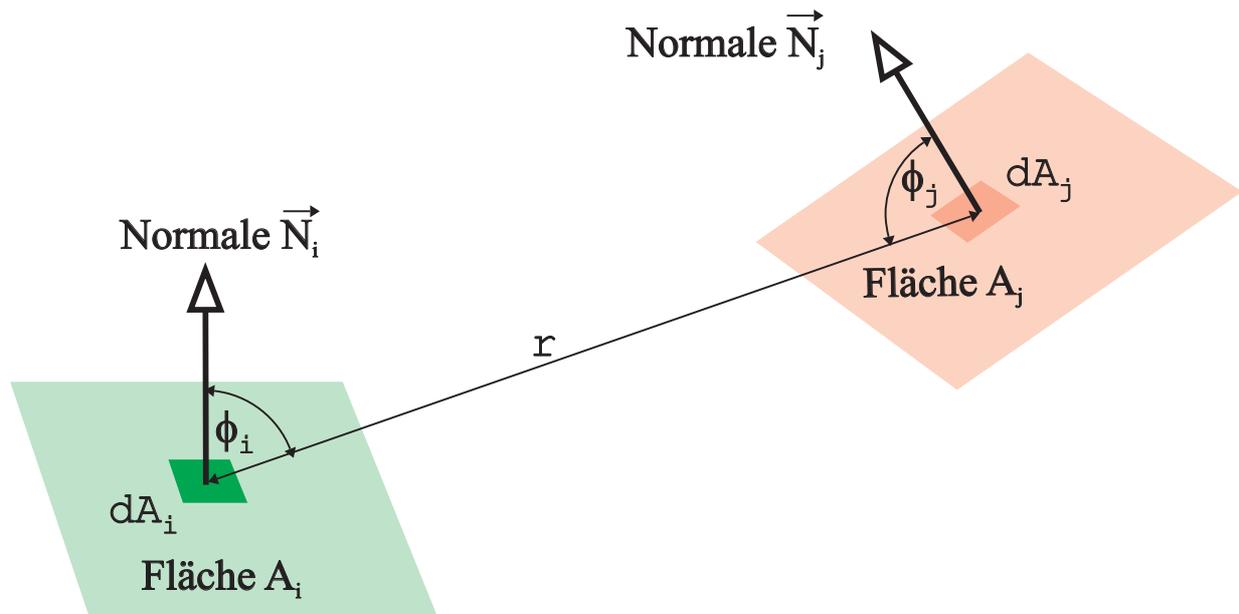
Radiosity

Prinzip des Algorithmus



Radiosity

Definition der Formfaktoren



Die Formfaktoren F_{ij} sind nur von der Geometrie der Szene abhängig.

$$F_{i,j} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos\phi_i \cos\phi_j}{\pi r^2} dA_j dA_i$$

Es gilt:

$F_{i,i}=0$ (Fläche i transportiert keine Energie auf direktem Weg zu sich selbst)

$\sum_{j=1}^n F_{ij}=1$ für alle $i=1..n$ (Energieerhaltungssatz)

Radiosity

Berechnung der Formfaktoren $F_{i,j}$ (1)

$$F_{i,j} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos\phi_i \cos\phi_j}{\pi r^2} b_{i,j} dA_j dA_i$$

b_{ij} (Blockierungsfunktion) gibt den Grad der Verdeckung beider Flächen A_i und A_j durch andere Objekte an.

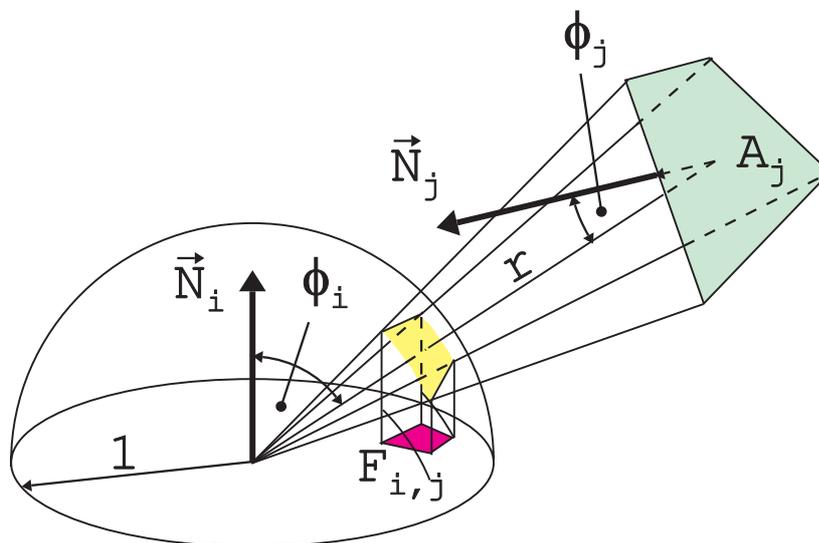
Analytische Lösung des Doppelintegrals nur selten möglich, deshalb Anwendung numerischer Näherungsverfahren:

1. Halbkugel-Methode (Hemisphere Method)
2. Halbwürfel-Methode (Hemicube Method)
3. Ebenen-Methode (Singleplane Method)

Radiosity

Berechnung der Formfaktoren $F_{i,j}$ (2)

1. Halbkugel-Methode (Hemisphere Method)



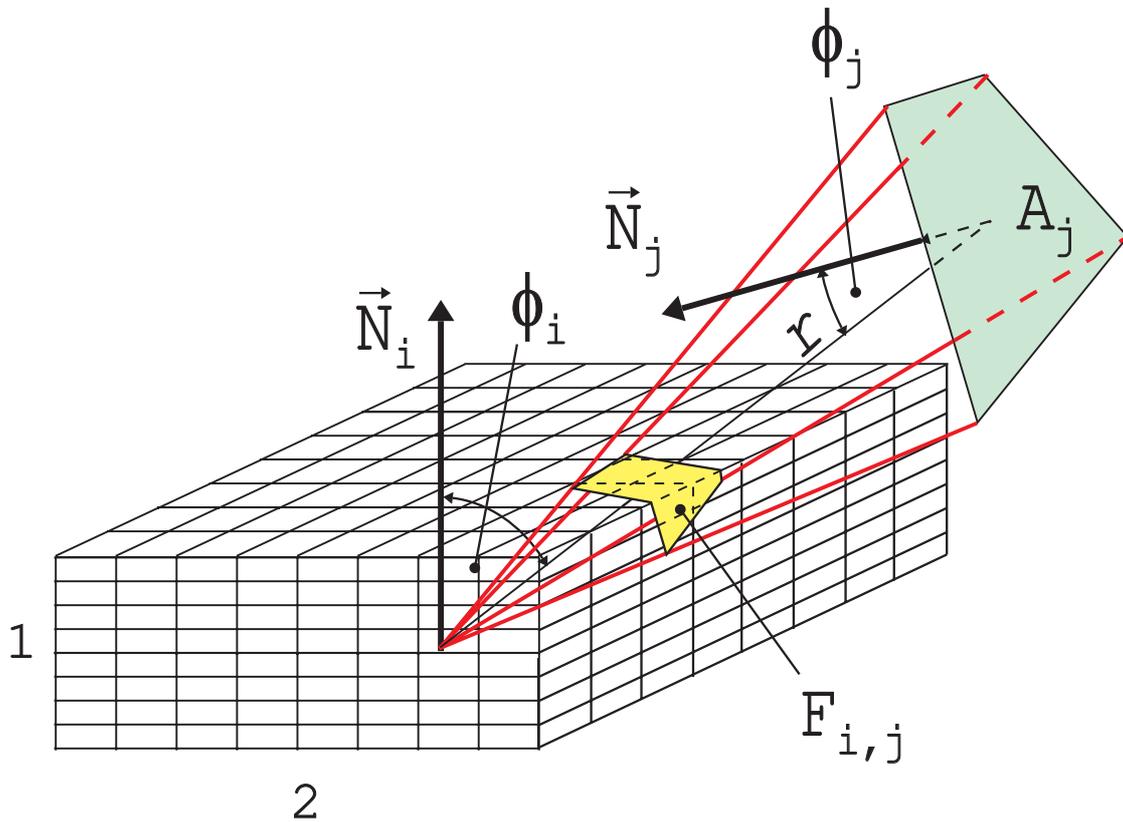
Algorithmus (Nusselt-Analogie)

1. Projektion der Fläche A_j auf die Oberfläche der Einheitshalbkugel.
2. Erneute orthogonale Projektion auf die Ebene der Fläche A_i .
Ergebnis ist der Formfaktor $F_{i,j}$.

Radiosity

Berechnung der Formfaktoren $F_{i,j}$ (3)

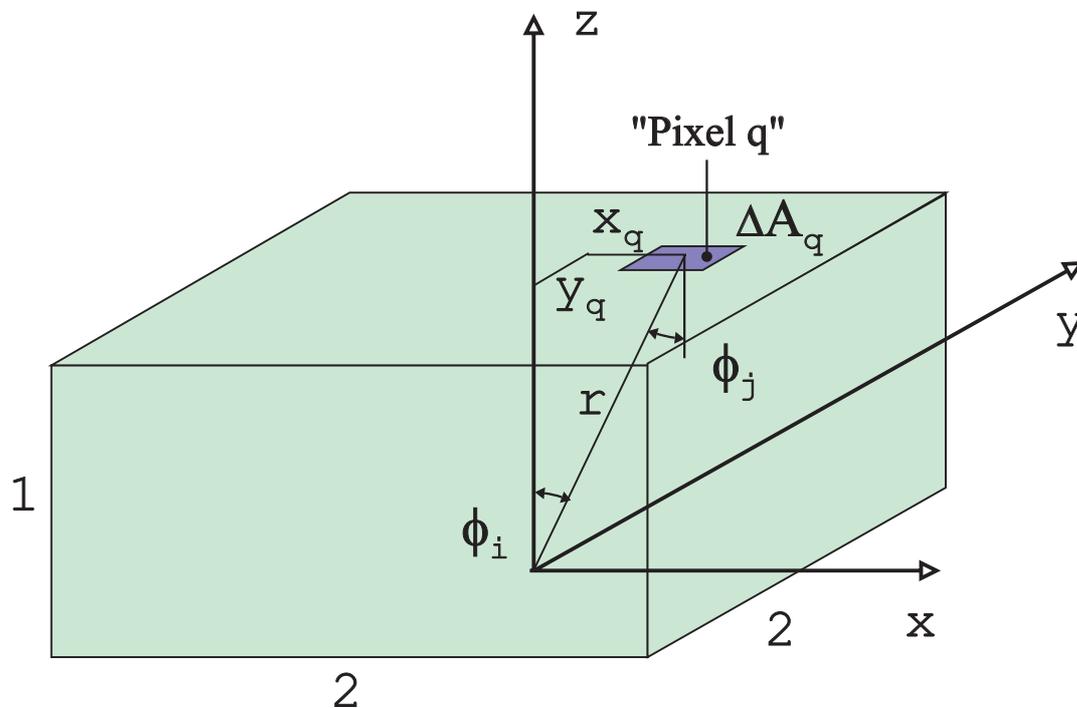
2. Halbwürfel-Methode (Hemicube Method)



Radiosity

Berechnung der Formfaktoren $F_{i,j}$ (4)

Delta-Formfaktor für die Halbwürfel-Methode (Prinzip)



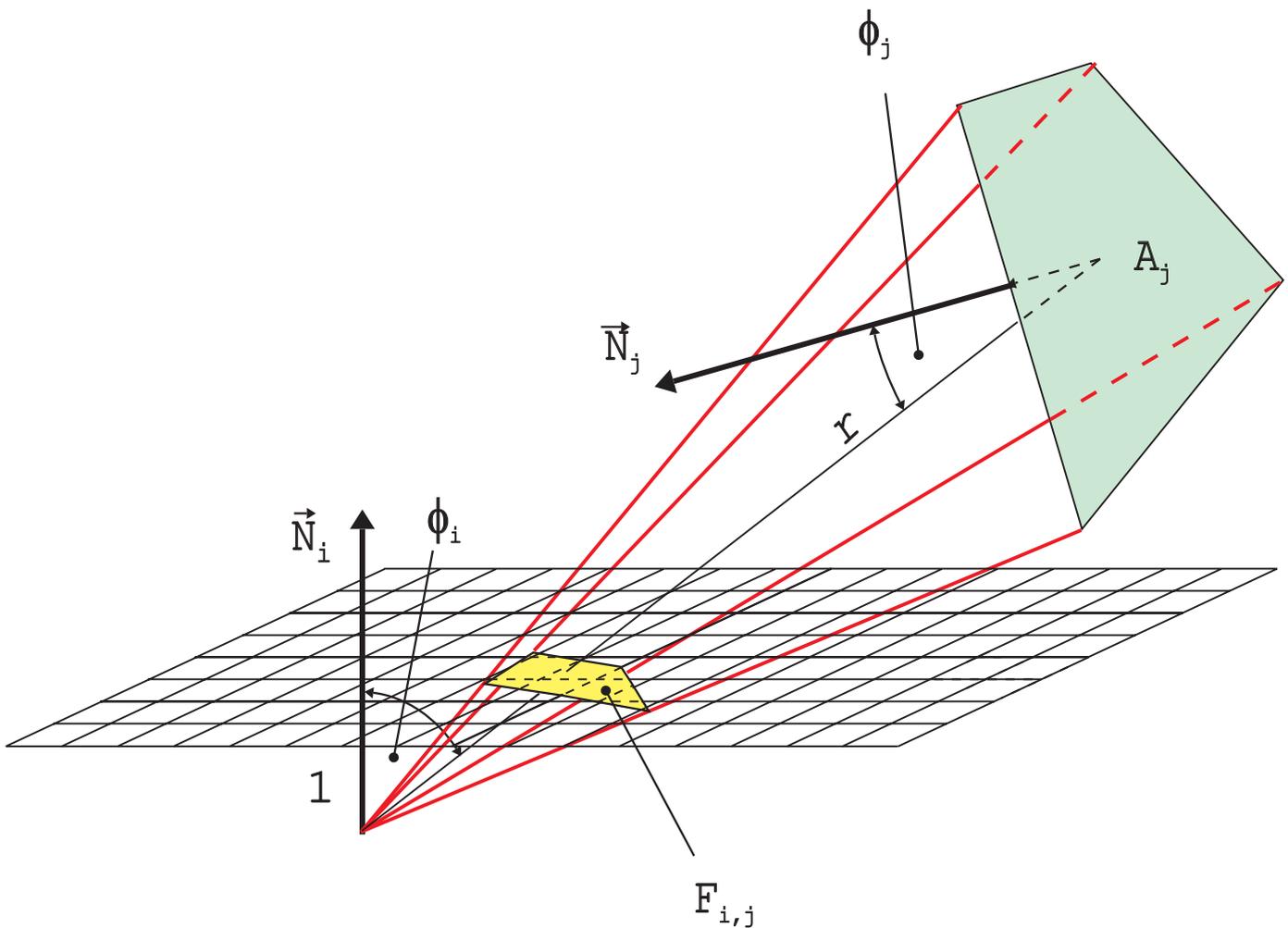
Delta-Formfaktor für die Kopffläche des Halbwürfels

$$\Delta F_q = \frac{\Delta A_q}{\pi (1 + x_p^2 + y_p^2)^2}$$

Radiosity

Berechnung der Formfaktoren $F_{i,j}$ (5)

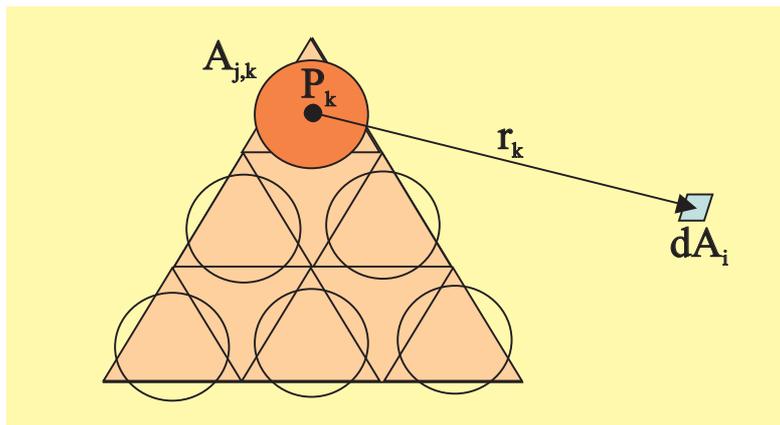
3. Ebenen-Methode (Singleplane Method)



Radiosity

Berechnung der Formfaktoren $F_{i,j}$ (6)

Formfaktorberechnung mit Ray Tracing



Approximation des Lichtquellenpolygons durch Kreisscheiben

Ray Tracing und Radiosity

Vergleich beider Verfahren

Ray Tracing

Unterscheidung zwischen lokaler und globaler Beleuchtung

Globale spekulare Reflexion und Transmission,
lokale diffuse Reflexion,

Punktlichtquellenmodelle

Beleuchtungsraum wird punktweise abgetastet

Berechnung abhängig von Beobachterposition

Radiosity

Keine Unterscheidung zwischen lokaler und globaler Beleuchtung

Globale diffuse Reflexion und Transmission

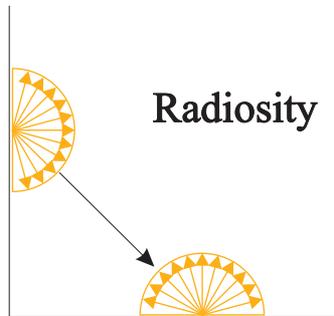
Flächenlichtquellenmodelle

Über Beleuchtungsraum wird integriert

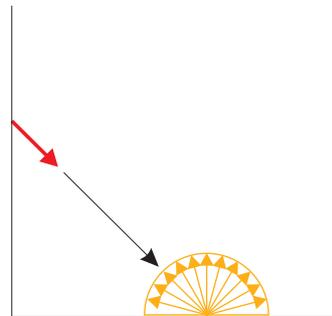
Berechnung unabhängig von Beobachterposition

Ray Tracing und Radiosity

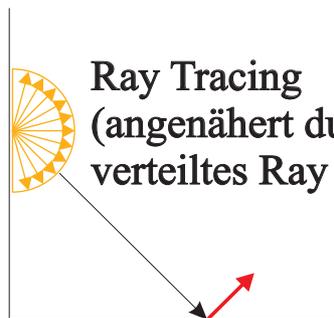
Transportmechanismen der Lichts



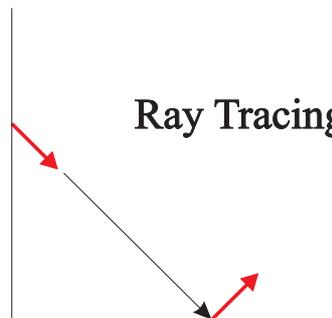
1. diffus zu diffus



2. spekulär zu diffus

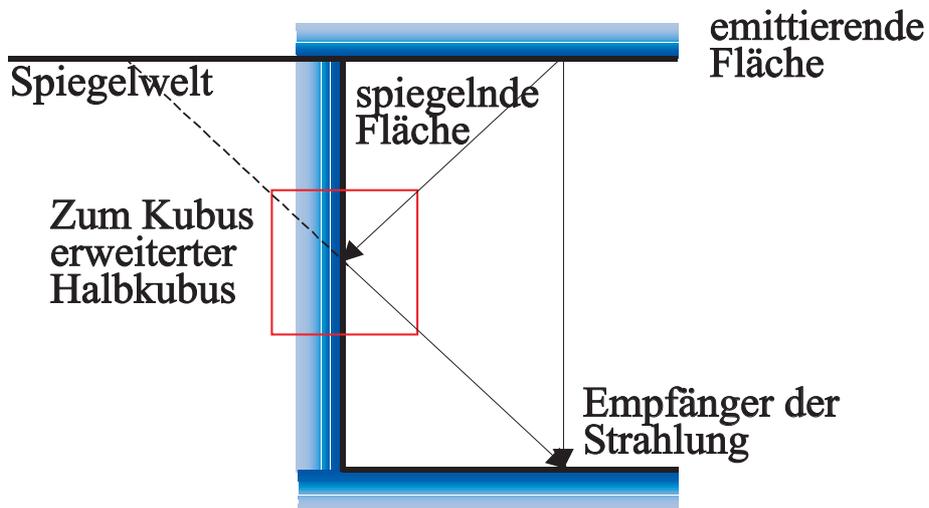


3. diffus zu spekulär

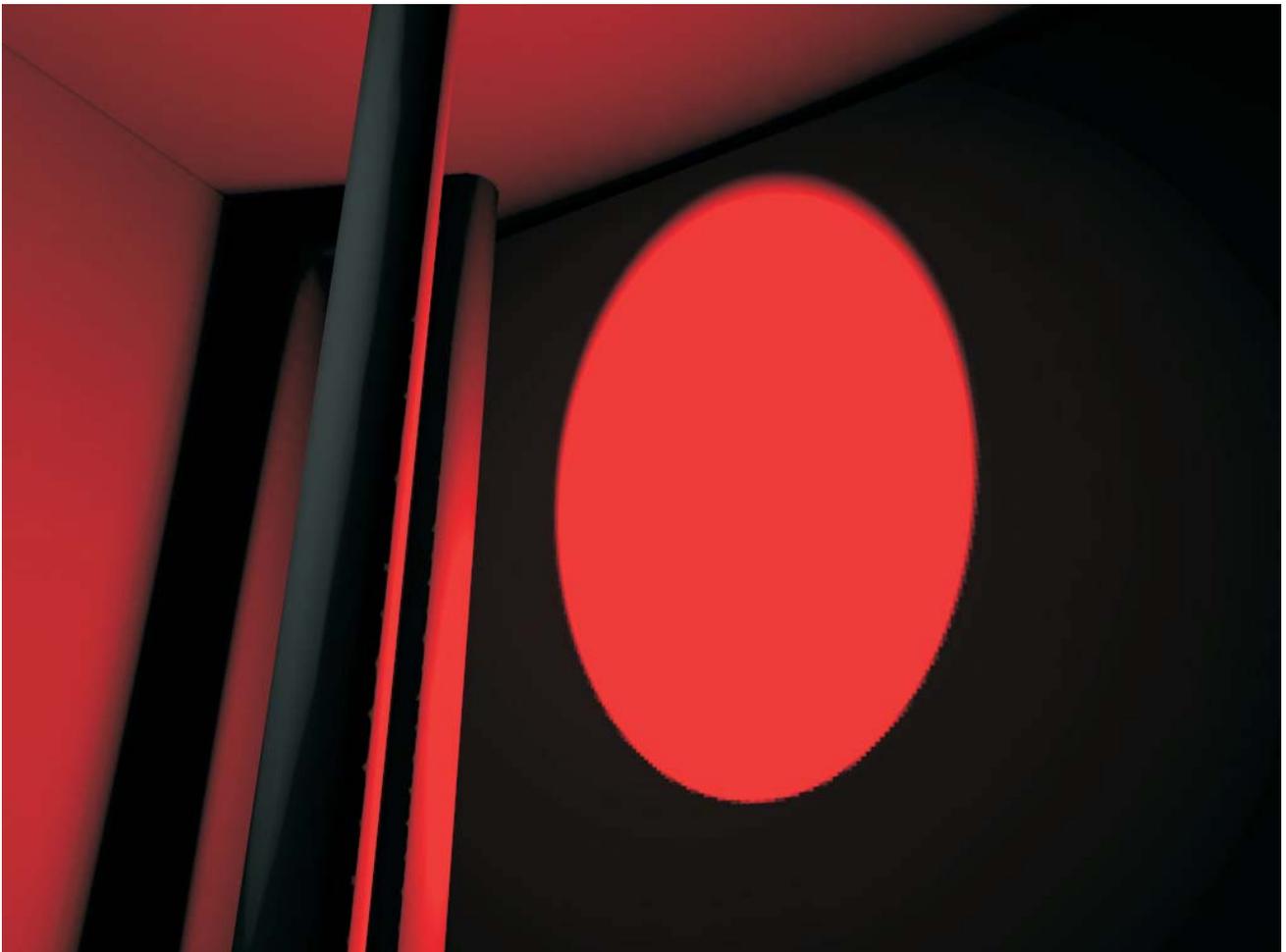


4. spekulär zu spekulär

Konstruktion einer Spiegelwelt zur Simulation der Emission über ideale Spiegel



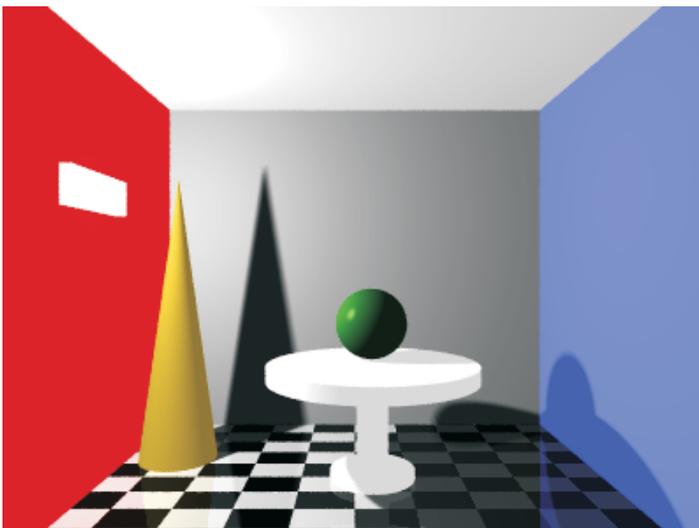
Radiosity



Diffuse Reflexion und Colour-bleeding mit Radiosity

Radiosity

Ray Tracing und Radiosity mit POY-Ray



Ray Tracing



Radiosity (niedrige Approximation)



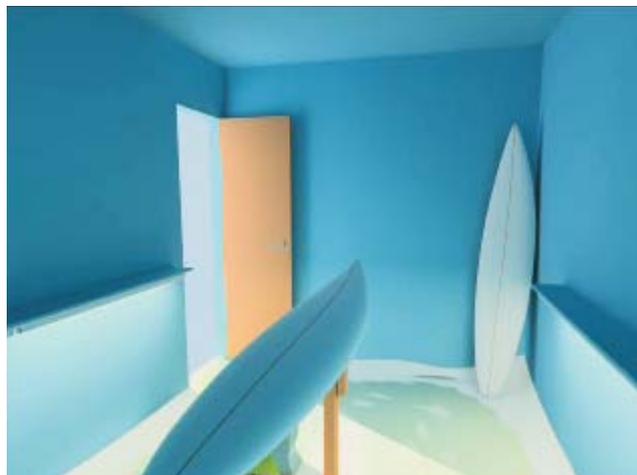
Radiosity (hohe Approximation)

Radiosity

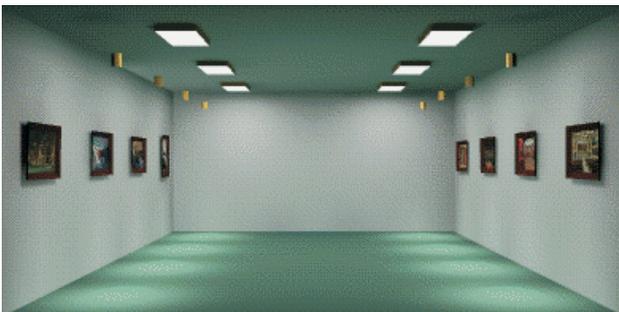
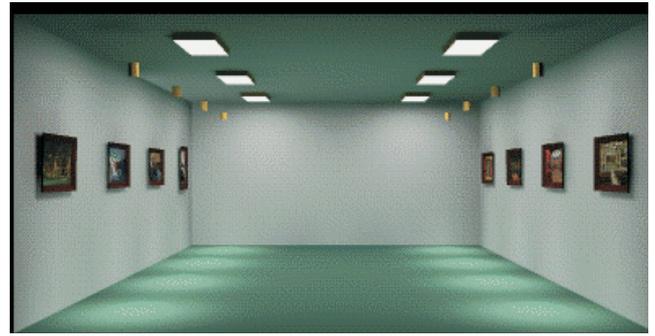
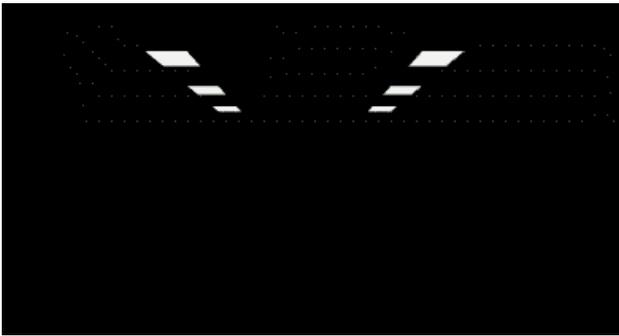
Radiosity mit POY-Ray

```
global_settings {  
  
  radiosity {  
  
    brightness          3.3 // Doesn't really matter. Not used in final  
                           output.  
    count                100 // Quick, but very blotchy  
  
    distance_maximum  0 // Scene-dependent! Leave 0 if unsure of  
                           proper value.  
    error_bound        0.4 // Match to value of the quality you're  
                           debugging  
    gray_threshold    0.5 // Emphasize color bleeding drastically  
  
    low_error_factor  0.8 // Match to value of the quality you're  
                           debugging  
    minimum_reuse     0.015 // Match to value of the quality you're  
                           debugging  
    nearest_count     6 // Will tend to cause boundaries to show  
  
    recursion_limit   1 // 1 is quickest  
  
  }  
  
}
```

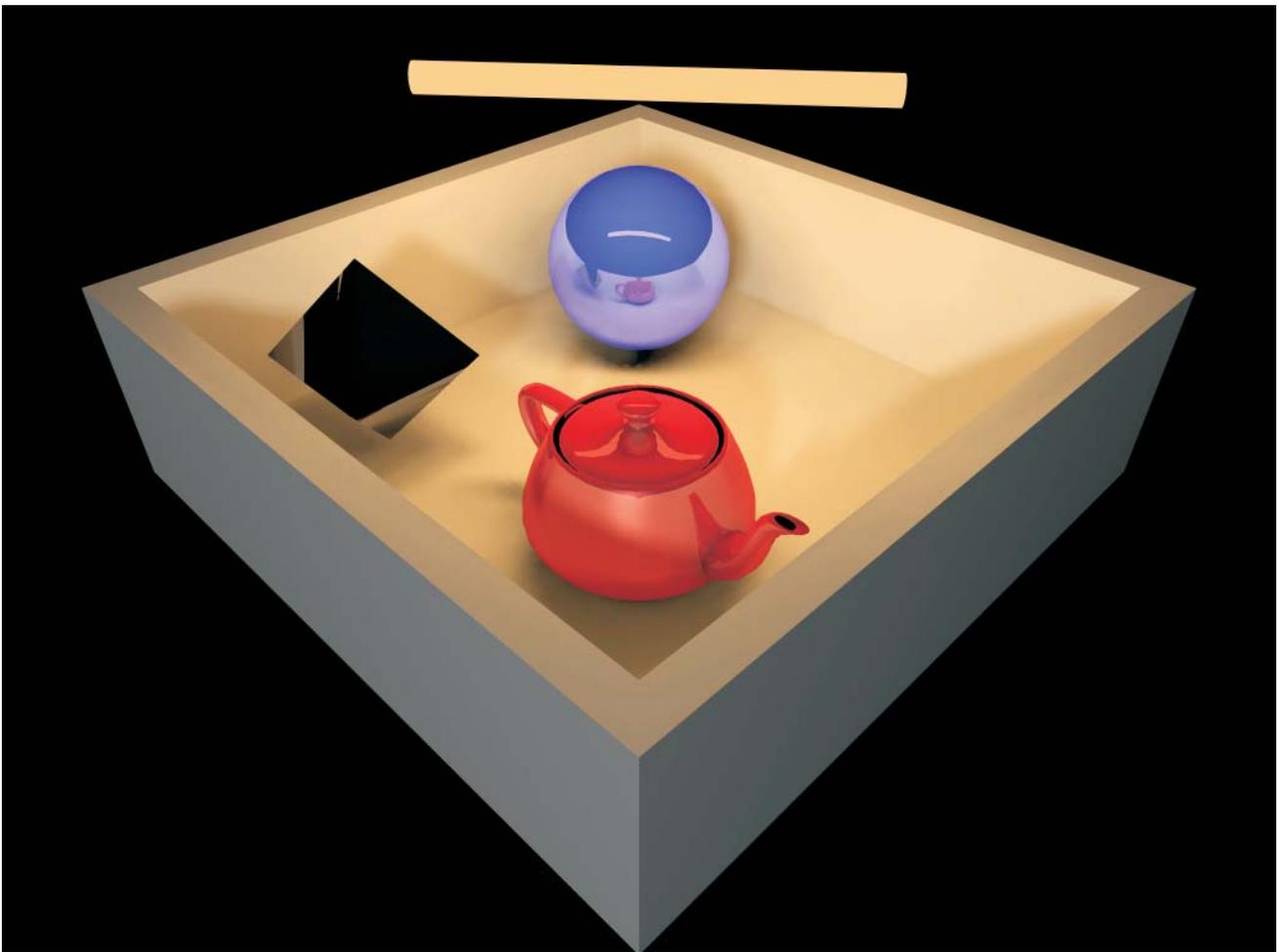
Radiosity Beispiel Türöffnung



Progressives Radiosity



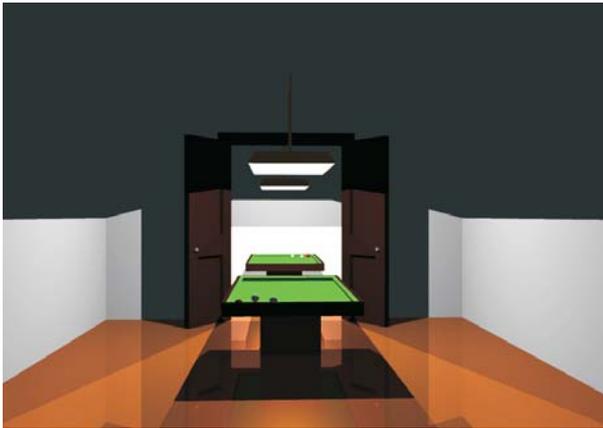
Ray Tracing und Radiosity



Kombination von Radiosity und Ray Tracing.

Lichtquelle: Zylindrische Flächenlichtquelle

Raytracing und Radiosity



Raytracing



Radiosity



Raytracing und Radiosity