

# Teil 9: Radiosity

## Simulation globaler Lichtverteilung

# Radiosity

Lösen globaler diffuser Beleuchtung  
in abgeschlossenem System

Gut geeignet für Innenraumsimulationen

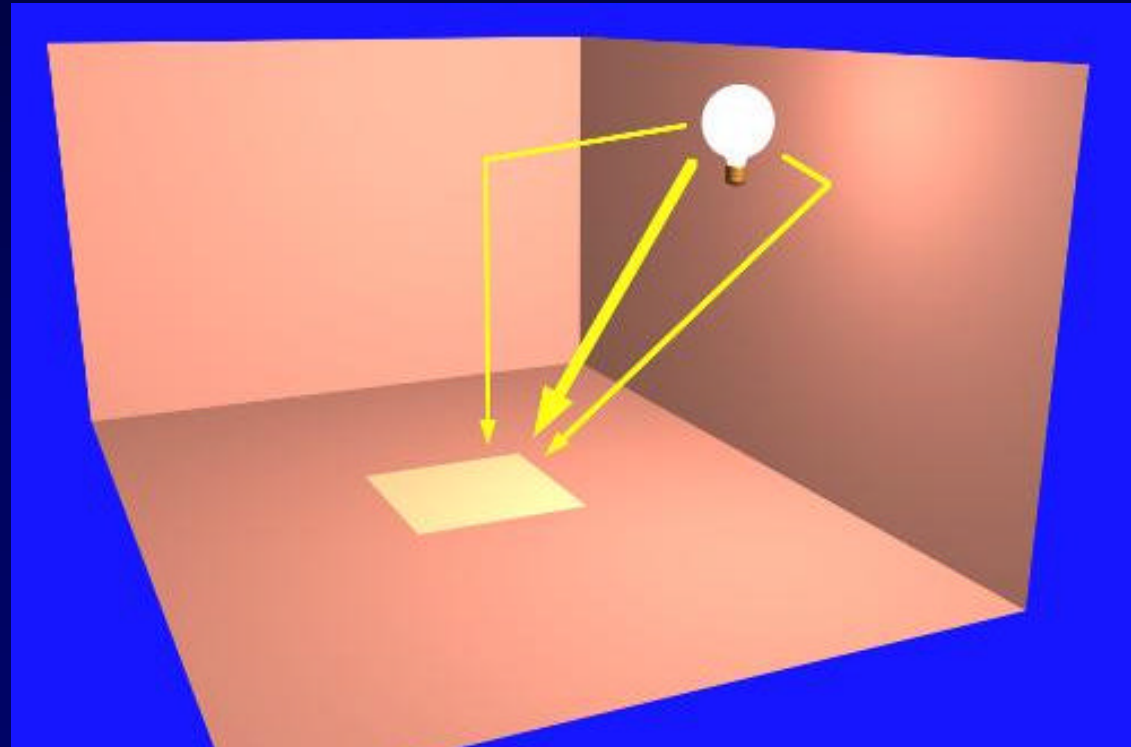
Algorithmik und Ergebnisbilder  
doch sehr verschieden zu Ray Tracing

# Prinzip

Lichtquellen & Objektoberflächen werden als flächenhafte Strahler betrachtet, die

- ◆ reflektierte
- ◆ emittierte

Energie in die Umgebung abstrahlen.



# Scanline / RT / Radiosity

Scanline,  
Ray Tracing,  
Radiosity

keine Schatten



keine indirekte  
Beleuchtung



The middle image was rendered with no ambient light calculations. The lower-left image was rendered with several levels of diffuse re-reflection to give a better approximation of the ambient light in this scene.

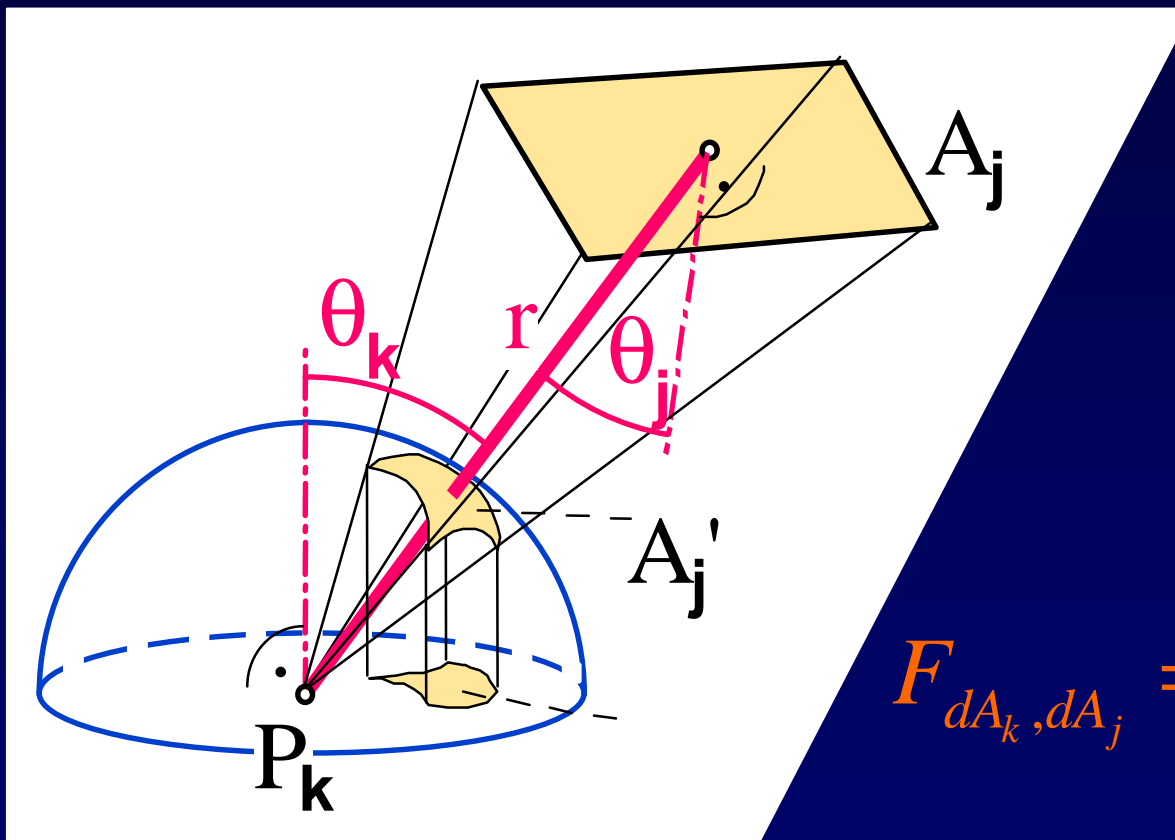
# Radiosity Beleuchtungsmodell (1)

$$B_k = E_k + \rho_k \sum_{j \neq k} F_{kj} B_j$$

$B_k$	Radiosity von patch k
$E_k$	Eigenemmission von patch k
$\sum F_{kj} B_j$	Beitrag von den anderen patches
$F_{kj}$	Form-Faktor, Beitrag v. $B_j$ zu $B_k$
$\rho_k$	Reflexionsfaktor von patch k

# Radiosity Beleuchtungsmodell (2)

Form-Faktor  $F_{kj}$ : Beitrag von patch j zu patch k

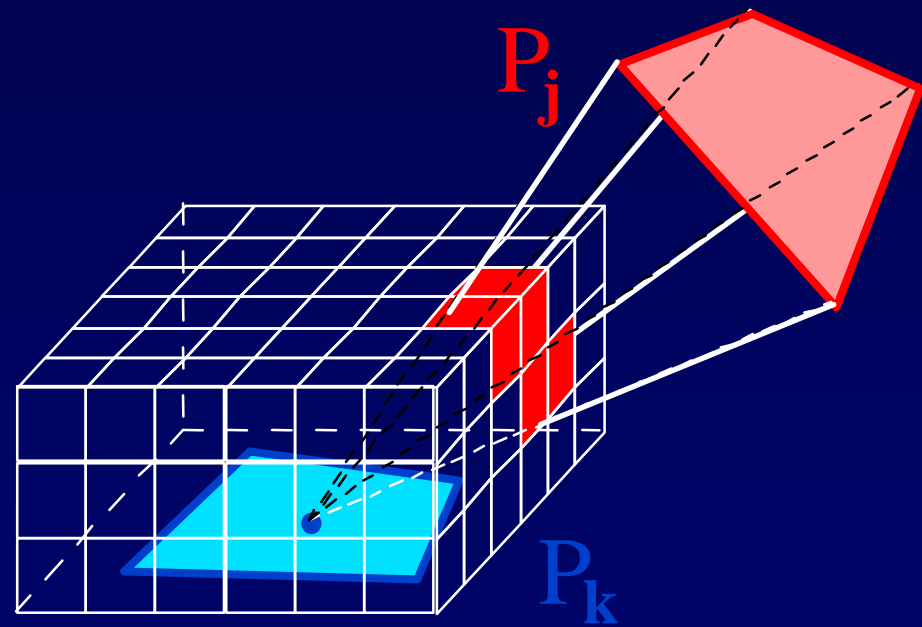


$$F_{dA_k, dA_j} = \frac{\cos\phi_j \cos\phi_k dA_j}{\pi r^2}$$

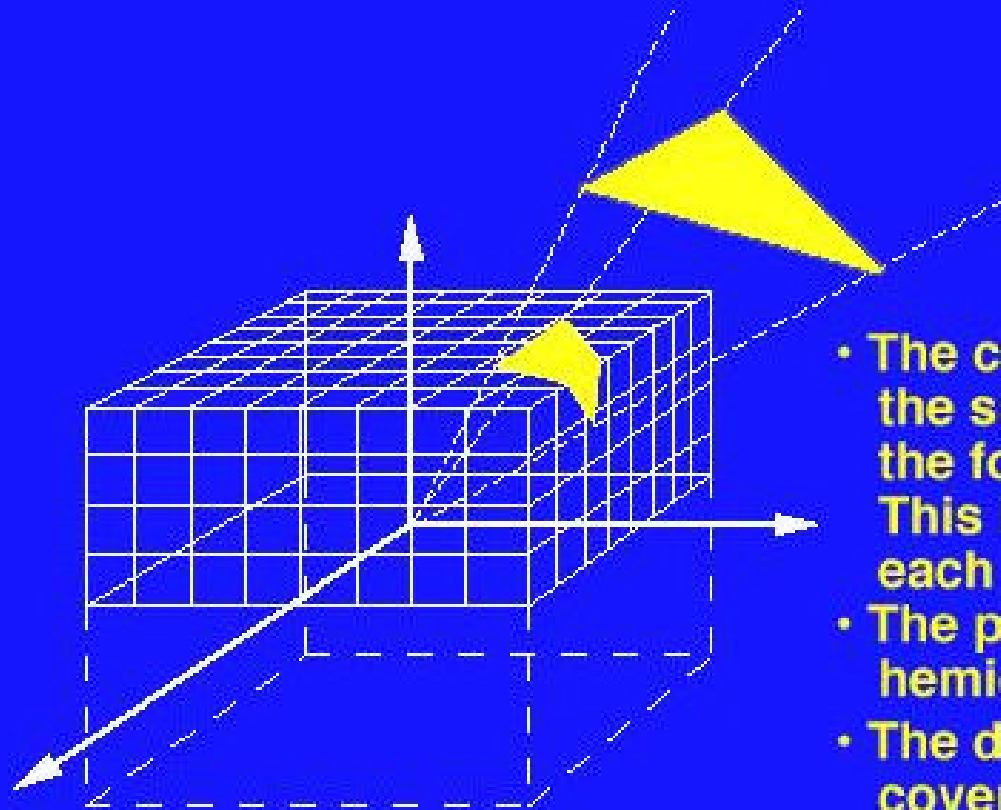
# Radiosity Beleuchtungsmodell (3)

## Form-Faktor Berechnung

- ◆ teuerster Schritt bei Radiosity
- ◆ numerisch (Monte Carlo Methode)
- ◆ hemicube Ansatz



# Form-Faktor – Hemicube Ansatz



- The contribution of each cell on the surface of the hemicube to the form factor value is computed. This is the delta form factor for each cell.
- The polygon is projected onto the hemicube.
- The delta form factors for the covered cells are summed to get the approximation to the true form factor.



# Radiosity Beleuchtungsmodell (4)

## Form-Faktor Eigenschaften

◆ Gesamtenergie = konstant

$$\sum_{j=1}^n F_{kj} = 1$$

◆ gleichförmige Reflexion

$$A_k F_{kj} = A_j F_{jk}$$

◆ keine Selbstbeleuchtung

$$F_{kk} = 0$$

# Radiosity Beleuchtungsmodell (5)

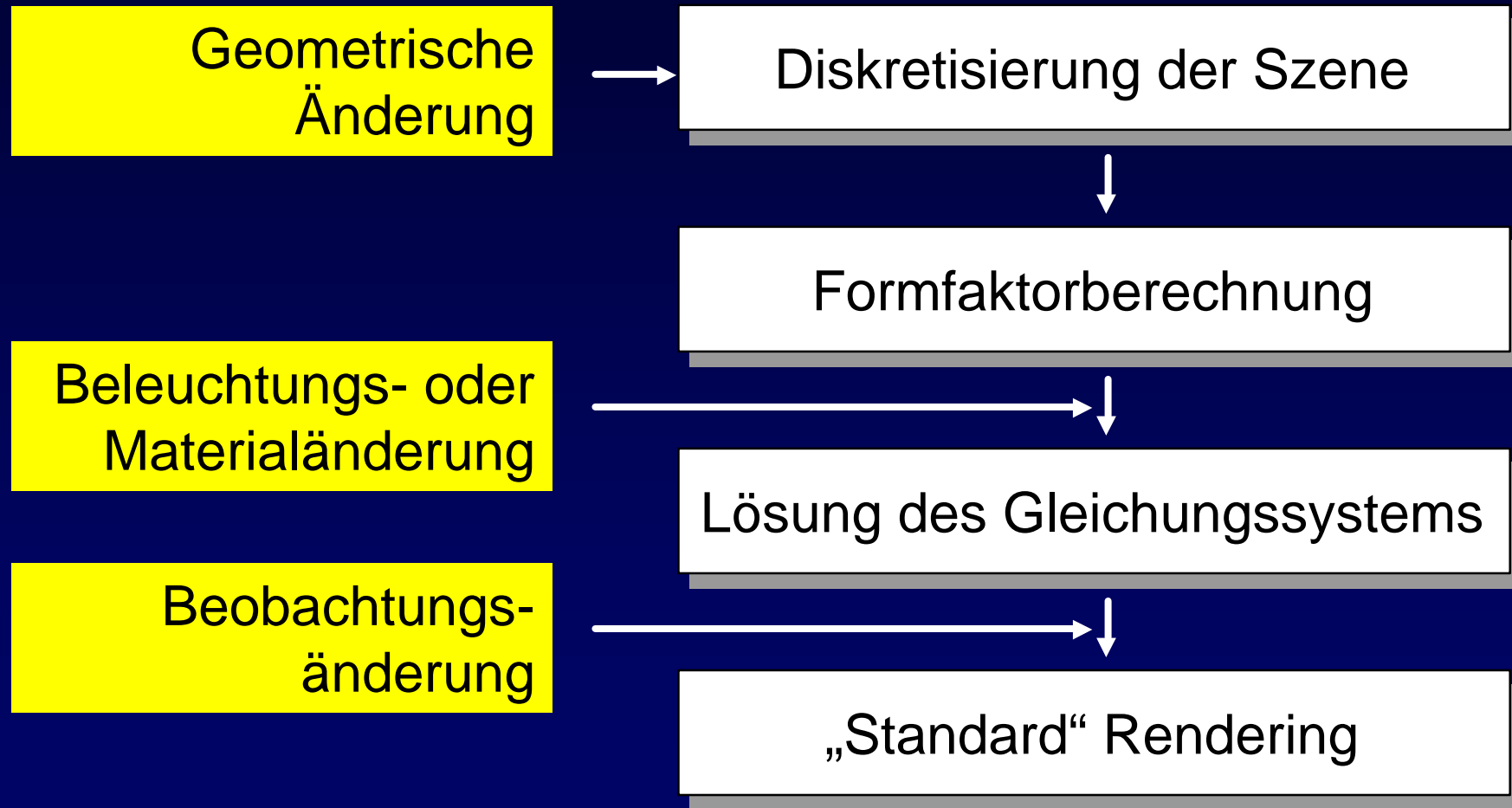
## Radiosity Gleichung

$$B_k = E_k + \rho_k \sum_{j \neq k} F_{kj} B_j$$

$$B_k - \rho_k \sum_{j \neq k} F_{kj} B_j = E_k$$

$$\begin{bmatrix} 1 - R_1 F_{11} & -R_1 F_{12} & \dots & -R_1 F_{1n} \\ -R_2 F_{21} & 1 - R_2 F_{22} & \dots & -R_2 F_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -R_n F_{n1} & -R_n F_{n2} & \dots & 1 - R_n F_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix}$$

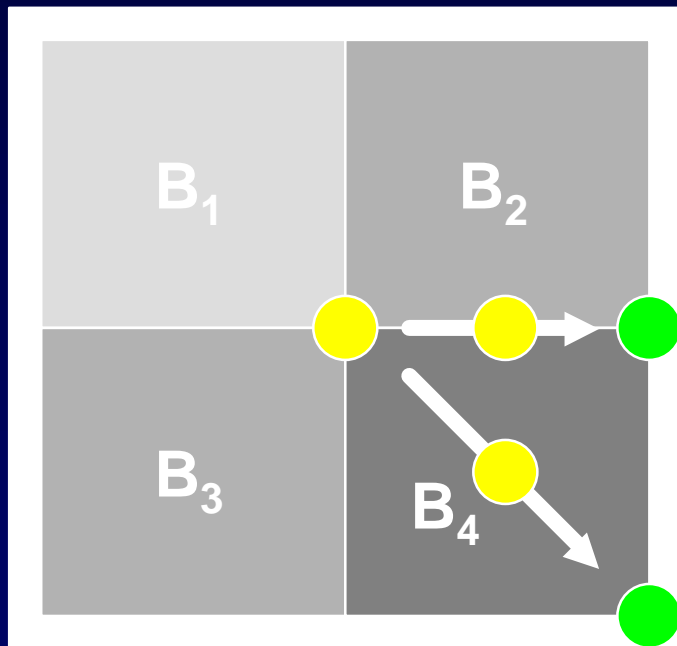
# Algorithmus (Radiosity)



# Darstellung

$B_i$ 's legen die Darstellungsfarbe fest

Schattierung durch Gouraud-Shading  
und spezieller  
Behandlung an den  
Kanten.



- interpoliert
- extrapoliert

# Radiosity Beleuchtungsmodell (6)

## Lösung der Radiosity Gleichung

- ◆ Gauss-Elimination
- ◆ LU Faktorisierung

$$\begin{bmatrix} 1 - R_1 F_{11} & -R_1 F_{12} & \dots & -R_1 F_{1n} \\ -R_2 F_{21} & 1 - R_2 F_{22} & \dots & -R_2 F_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -R_n F_{n1} & -R_n F_{n2} & \dots & 1 - R_n F_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix}$$

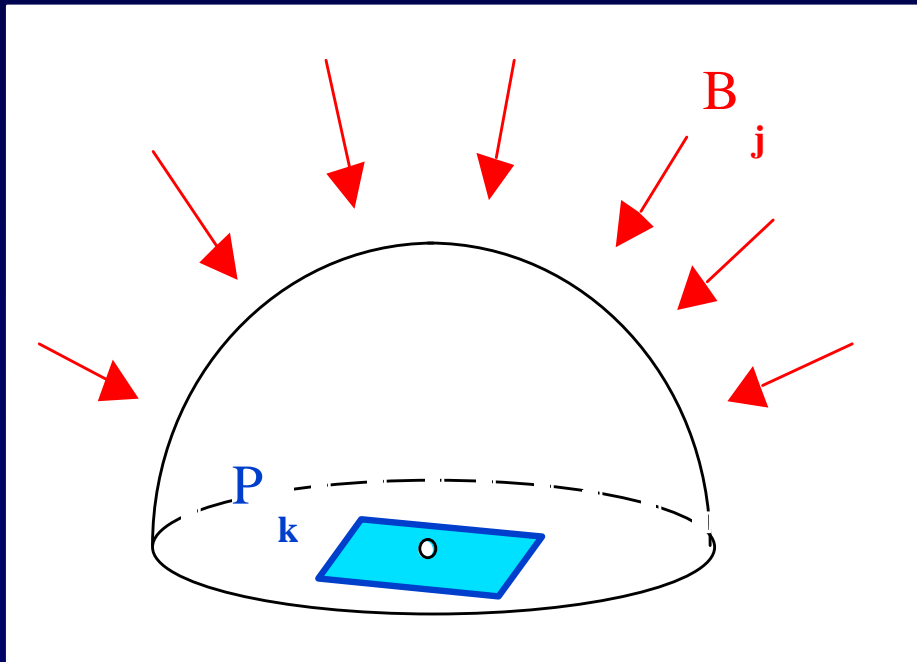
Zeit- und Platz-aufwendig

# Radiosity Beleuchtungsmodell (7)

## Lösen der Radiosity Gleichung

### ◆ Gauss-Seidel Iteration

$$B_k^{i+1} = E_k + \rho_k \sum_{j \neq k} F_{kj} B_j^i$$



Gathering

# Progressive Refinement

## Generelle Methode:

- ◆ Zuerst eine Näherungslösung bestimmen
- ◆ Näherungslösung sukzessive verfeinern

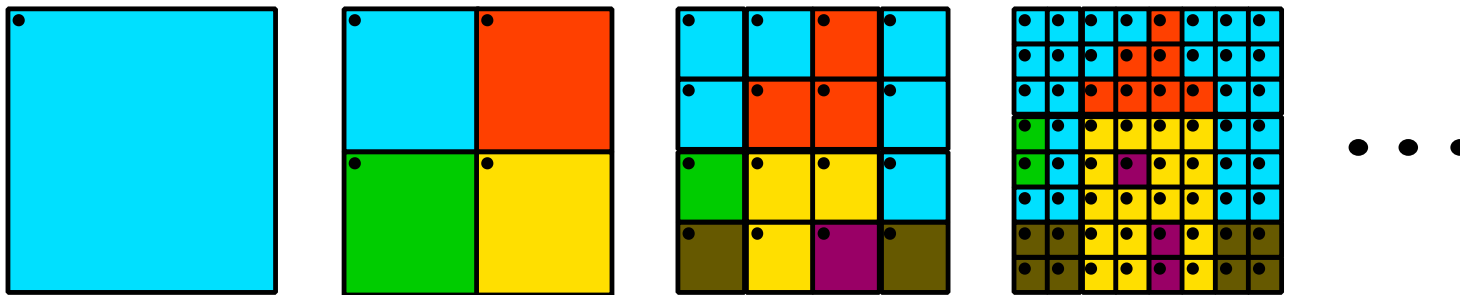
## Ansätze:

- ◆ Ray Tracing: Verfeinerung der räumlichen Auflösung
- ◆ Radiosity: Verfeinerung der radiometrischen Auflösung

# Progressive Refinement

(Ray Tracing)

Example Image



time



# Progressive Gathering



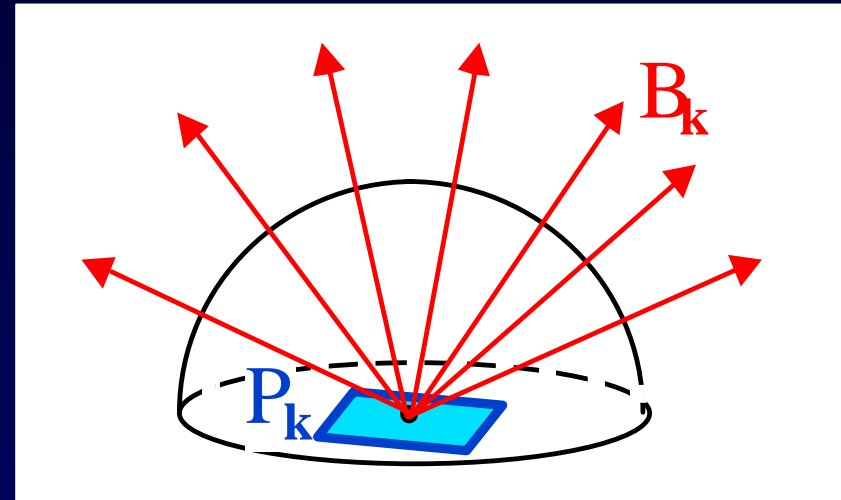
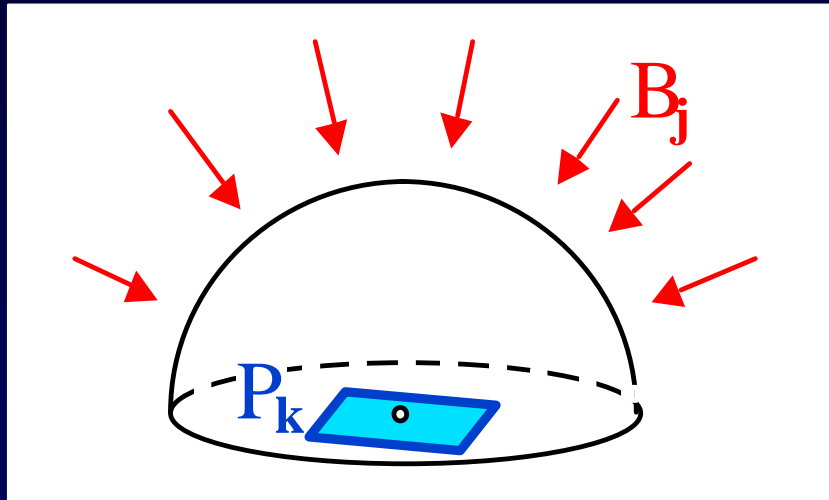
## PROGRESSIVE SOLUTION

The above images show increasing levels of global diffuse illumination. From left to right: 0 bounces, 1 bounce, 3 bounces.

# Radiosity Beleuchtungsmodell (8)

Gathering vs. Shooting

$$B_k^{i+1} = E_k + \rho_k \sum_{j \neq k} F_{kj} B_j^i$$



$$\begin{pmatrix} x \\ x \\ x \\ x \\ x \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ x \\ x \\ x \\ x \\ x \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x & x & x & x & x \\ x & x & x & x & x \\ x & x & x & x & x \\ x & x & x & x & x \\ x & x & x & x & x \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ x \\ x \\ x \\ x \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x \\ x \\ x \\ x \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ x \\ x \\ x \\ x \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x & & & & \\ & x & & & \\ & & x & & \\ & & & x & \\ & & & & x \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ x \\ x \\ x \\ x \end{pmatrix}$$

# Shooting – Algorithmus

1. Patch mit größter Energie auswählen
2. Eine Formfaktor-Spalte berechnen
3. Radiosity der umgebenden Patches aktualisieren
4. Solange bis Konvergenz

# Progressive Refinement Radiosity (1)

## Shooting

- ◆ select brightest patch  $k$  and distribute it's radiosity  $B_k$

$$B_k = E_k + \rho_k \sum_{j \neq k} F_{kj} B_j \Rightarrow \begin{aligned} B_{k \text{ due to } B_j} &= \rho_k F_{kj} B_j \\ B_{j \text{ due to } B_k} &= \rho_j F_{jk} B_k \end{aligned}$$

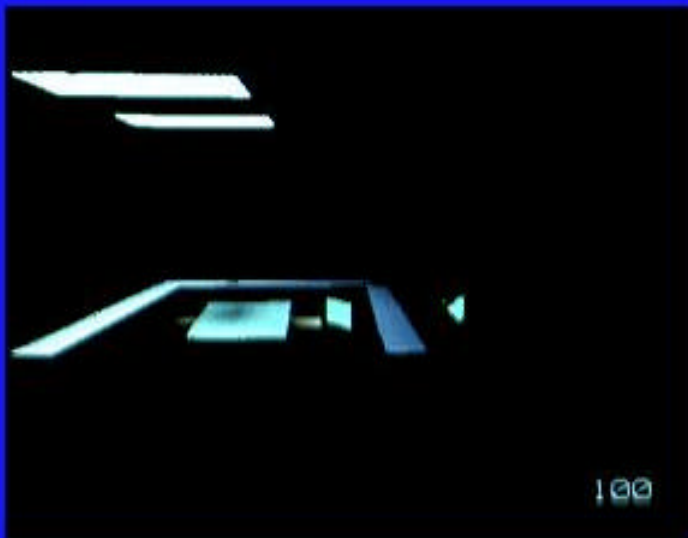


$$B_{j \text{ due to } B_k} = \rho_j F_{kj} \frac{A_k}{A_j} B_k \Leftarrow A_k F_{kj} = A_j F_{jk}$$

# Progressive Refinement Radiosity (2)

```
init  $B_j := 0$ , init  $\Delta B_j := \text{emissions}$ 
for each patch  $k$  {
  do hemicube, calc. form factors  $F_{kj}$ 
  for each patch  $j$  {
     $\Delta \text{rad} := \rho_j * F_{kj} * \Delta B_k * A_k / A_j$ 
     $\Delta B_j := \Delta B_j + \Delta \text{rad}$ 
     $B_j := B_j + \Delta \text{rad}$ 
  }
   $\Delta B_k := 0$ 
}
```

# Progressive Shooting



# Gathering vs. Shooting

## Gathering:

- ◆ Gleichungssystem lösen (Gauss-Seidel)
- ◆ Start:  $B_i$ 's = 0, außer Lichtquellen
- ◆ Änderung einer Fläche pro Iteration

## Shooting:

- ◆ Hellste Fläche selektieren
- ◆ Energie auf alle Flächen aufteilen
- ◆ Änderung aller Flächen pro Iteration

# Radiosity - Eigenschaften

- + Beliebige Flächenlichtquellen
- + Globale diffuse Beleuchtung
- + Schatten und Halbschatteneffekte
- + Unabhängig vom Betrachterstandpunkt
- Keine Spiegelreflexion und Transparenz
- Szene muß aus Polygonen bestehen



# Radiosity – Beispiele



# Radiosity – Beispiele



# Radiosity – Beispiele



# Radiosity – Beispiele



# Radiosity – Beispiele



# Radiosity – Beispiele



# Ray Tracing vs. Radiosity

# Ray Tracing vs. Radiosity

<u>Ray Tracing</u>	<u>Kriterium</u>	<u>Radiosity</u>
<i>abhängig</i>	<i>Beobachtungs- richtung</i>	<i>unabhängig</i>
<i>spiegelnd</i>	<i>geeignet für Refle- xionsart</i>	<i>diffus</i>
<i>beliebig</i>	<i>Szenenbeschrei- bung</i>	<i>B-Rep</i>
<i>jedes Bild</i>	<i>hoher Berech- nungsaufwand</i>	<i>jede Szene</i>

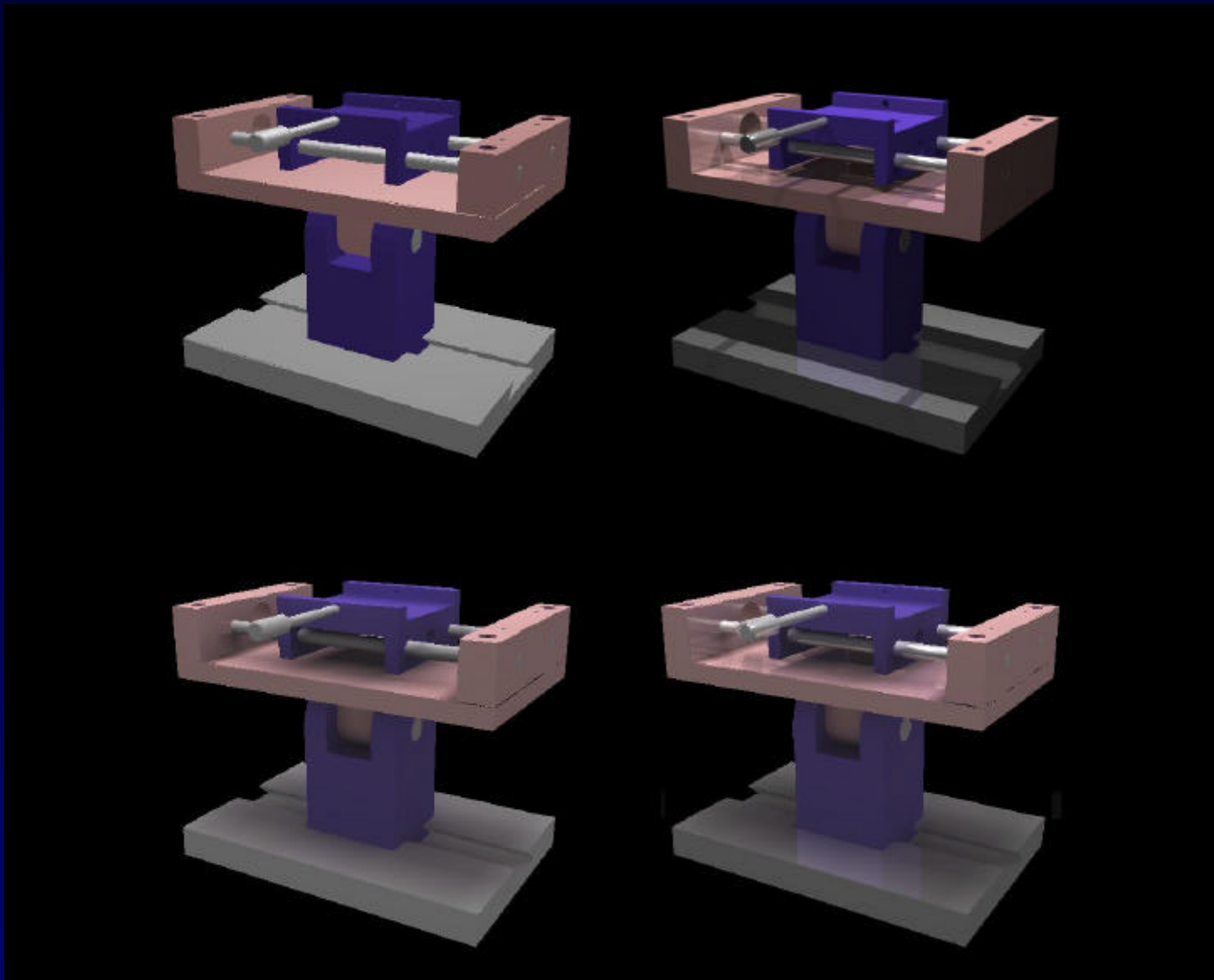


# Ray Tracing / Radiosity

RT

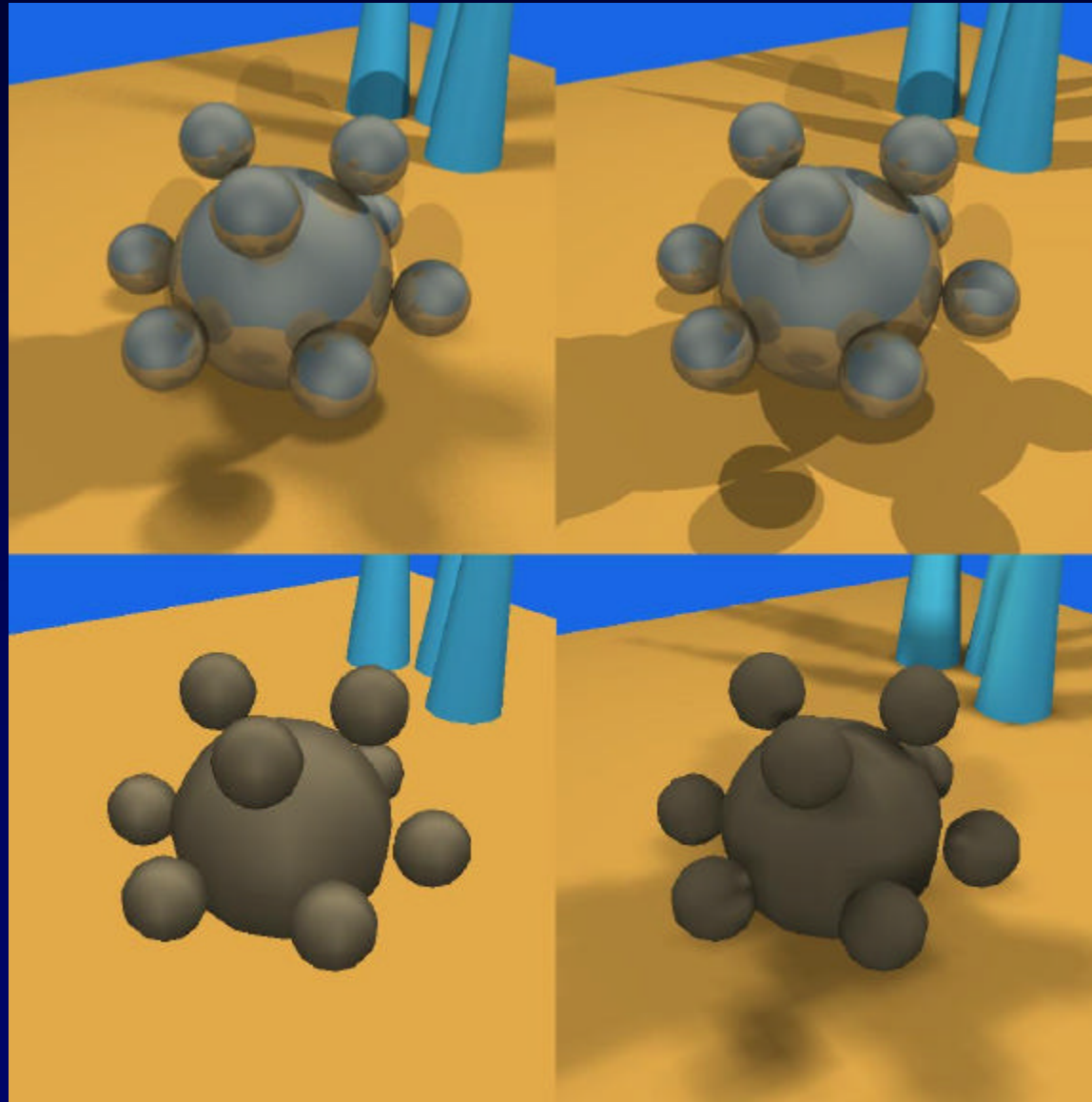
$\Sigma$

Rad



# Ray Tracing / Radiosity

dRT



RT

Rad

# Radiosity Images



# Radiosity Images



# Radiosity Images



# Radiosity Images



# Radiosity Images



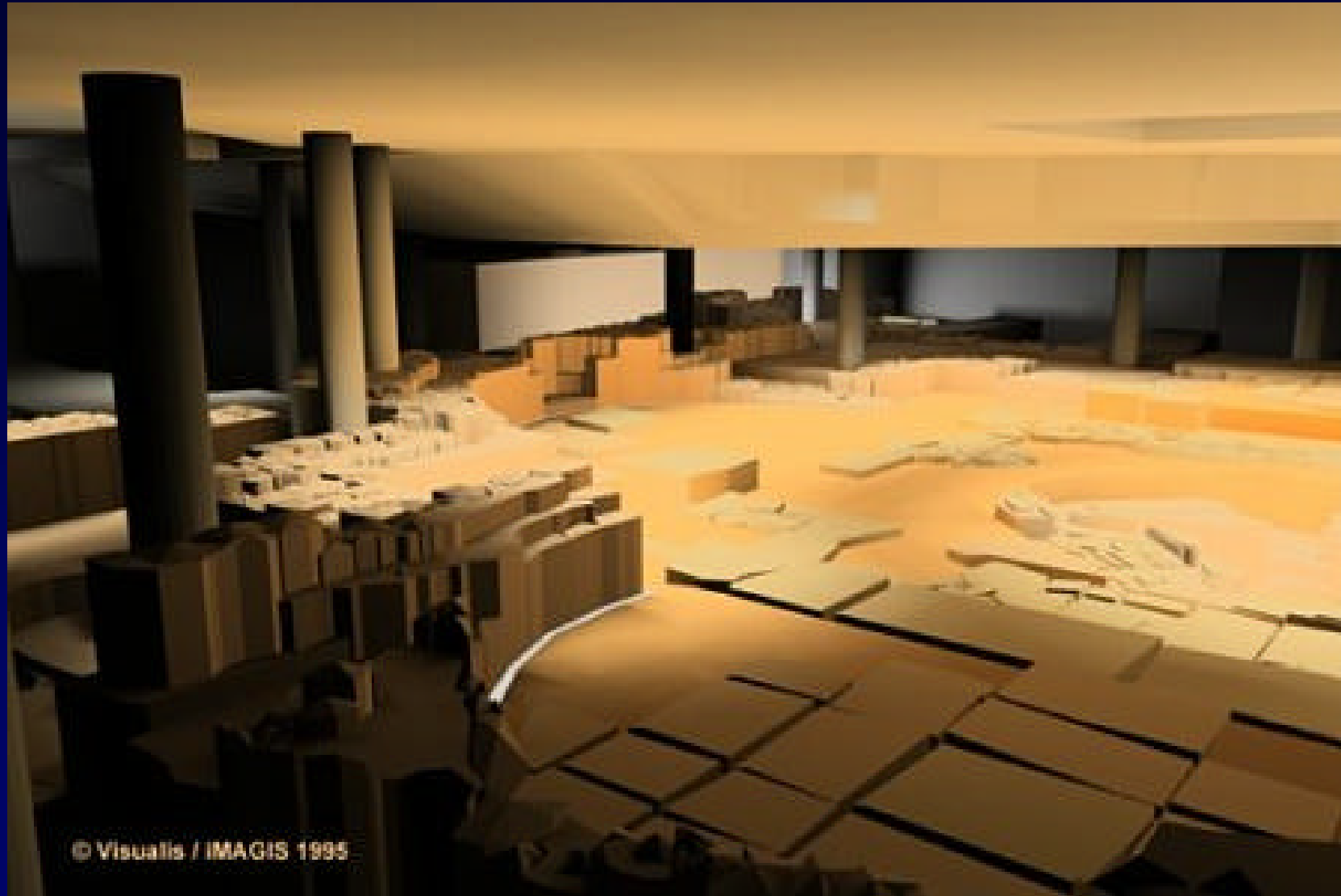
Helwig Hauser



Teil 9: Radiosity



# Radiosity Images



© Visualls / IMAGIS 1995