



# Stochastische visibiliteit in rendering algoritmen a.d.h.v de occlusion map

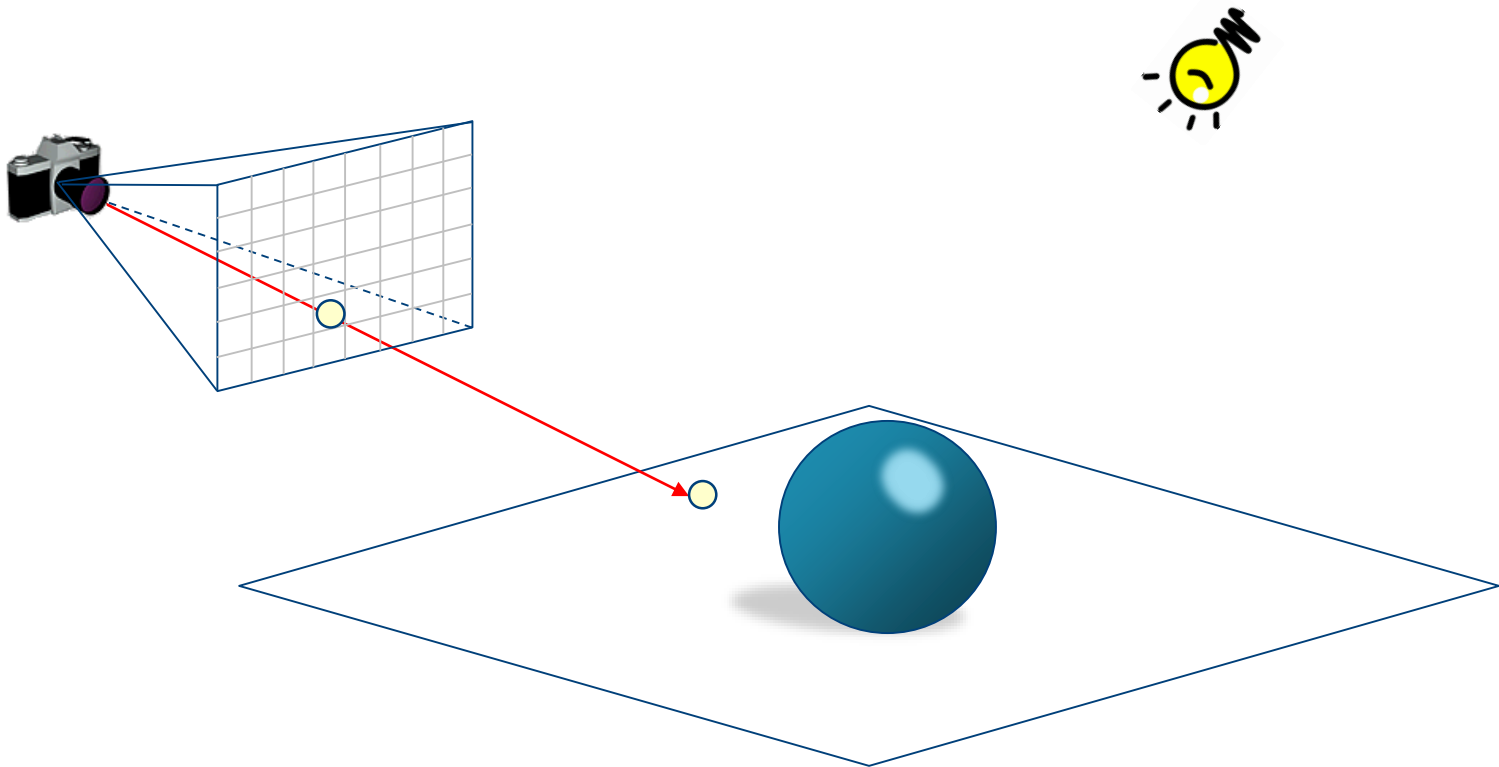
Niels Billen

Promotor: prof. dr. ir. Philip Dutré

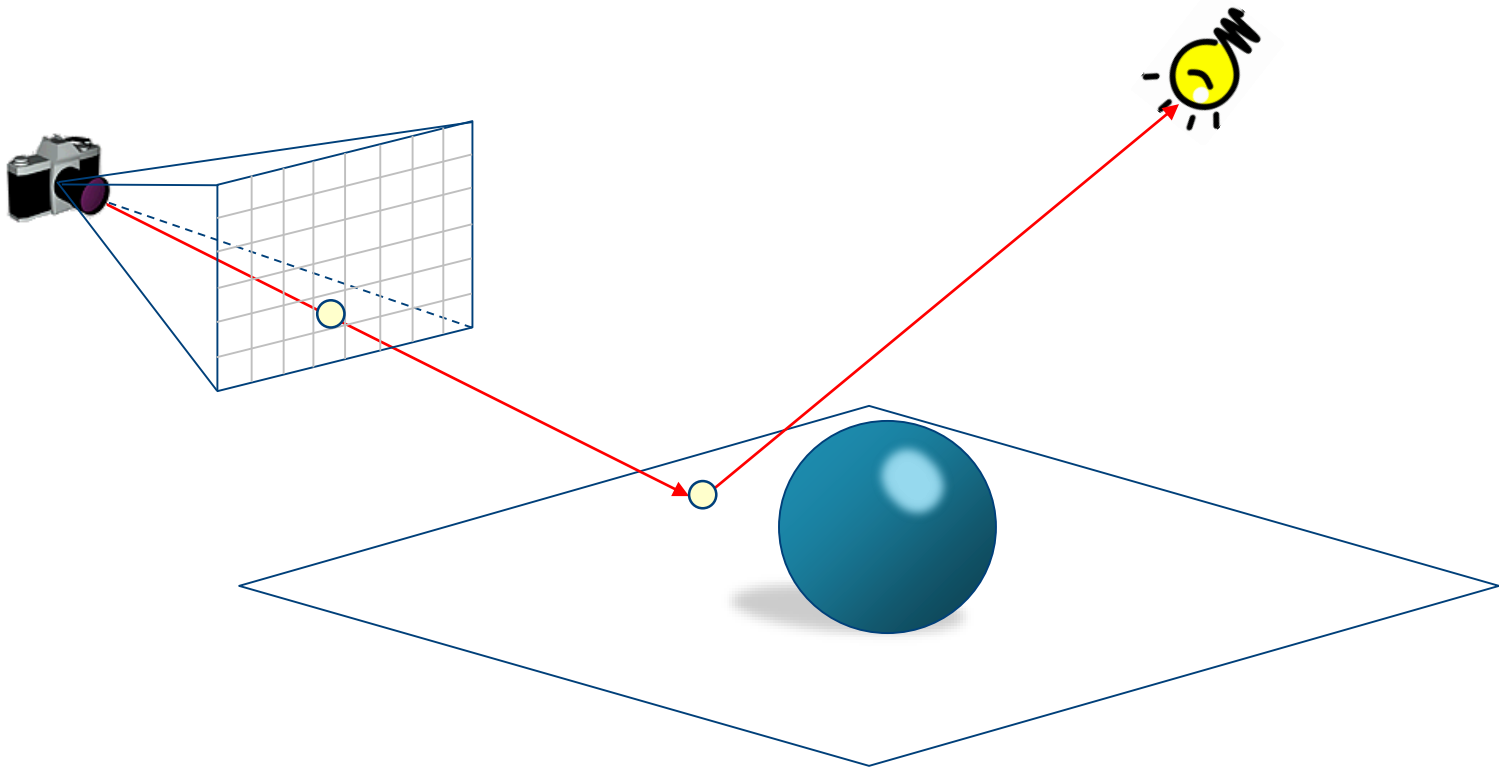
# Inhoud

- **Probleemstelling**
- Theorie
- Praktisch algoritme
- Besluit

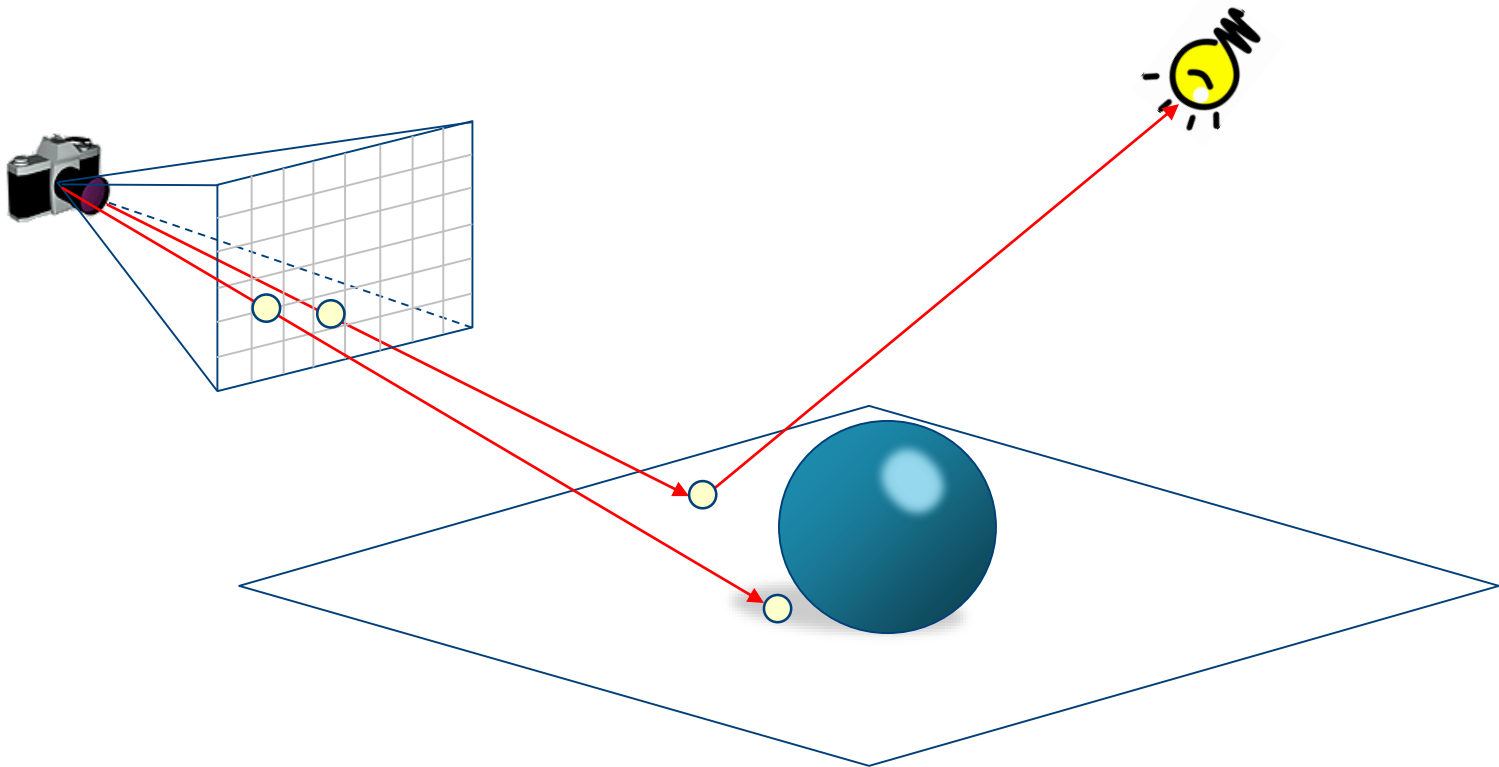
# Het ray tracing algoritme



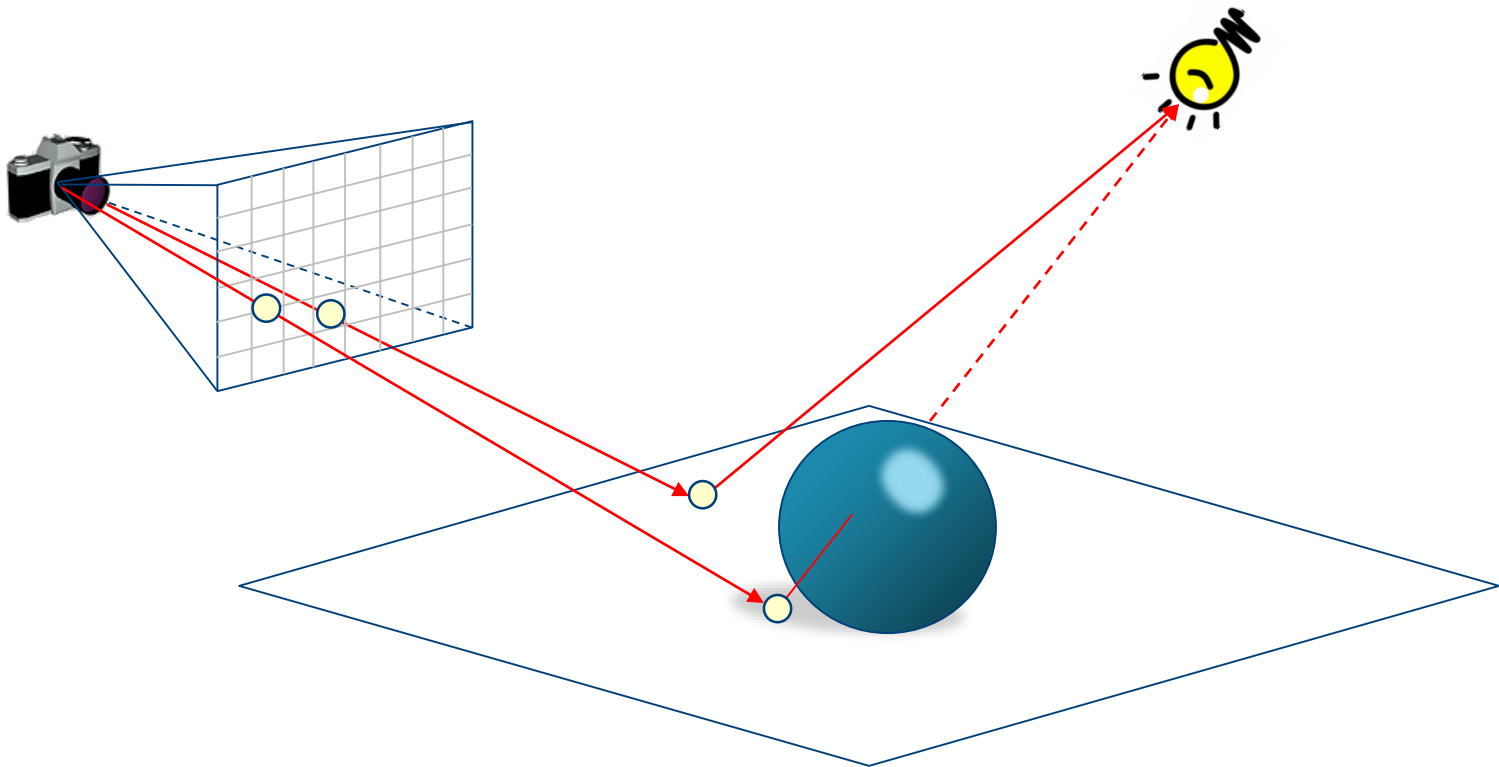
# Het ray tracing algoritme



# Het ray tracing algoritme

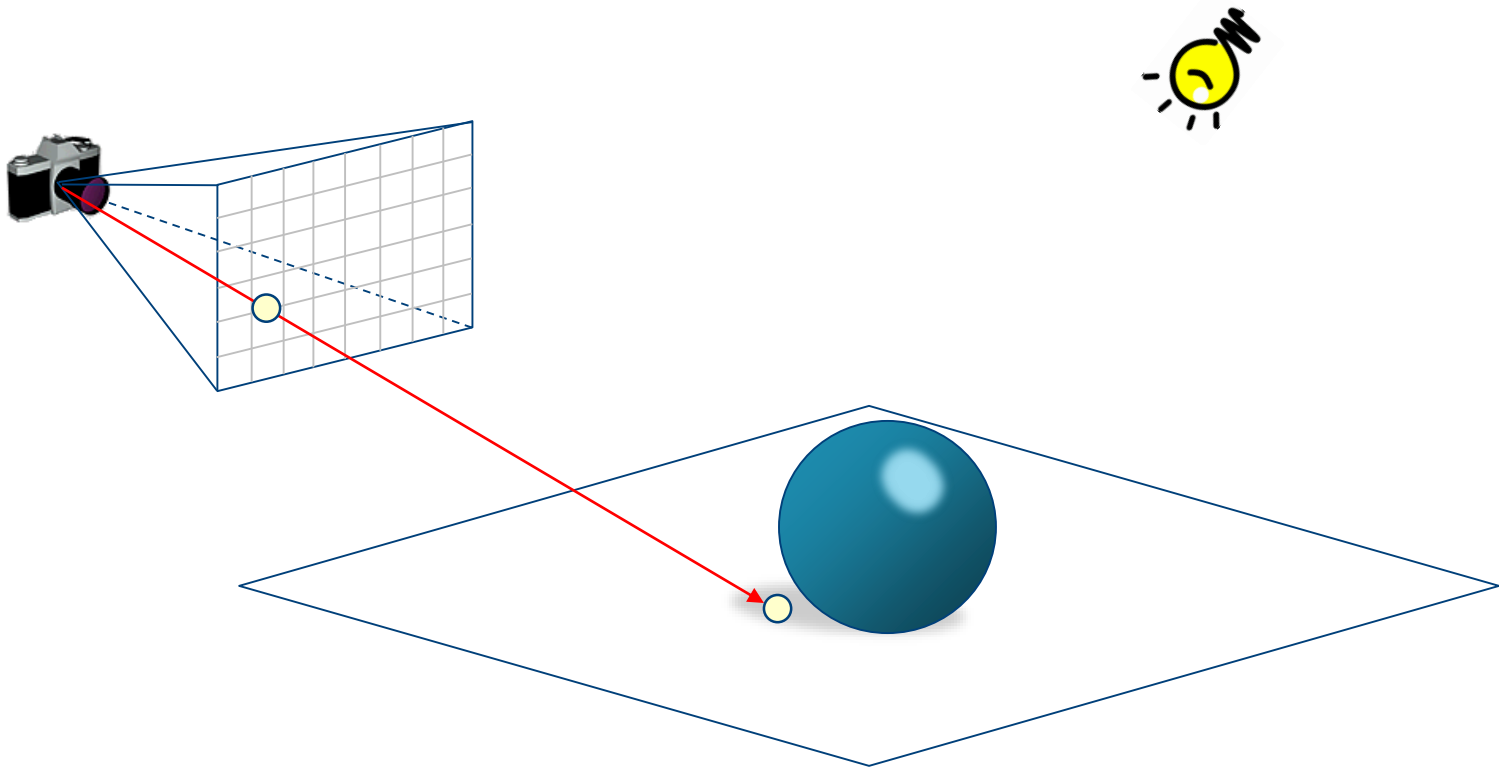


# Het ray tracing algoritme



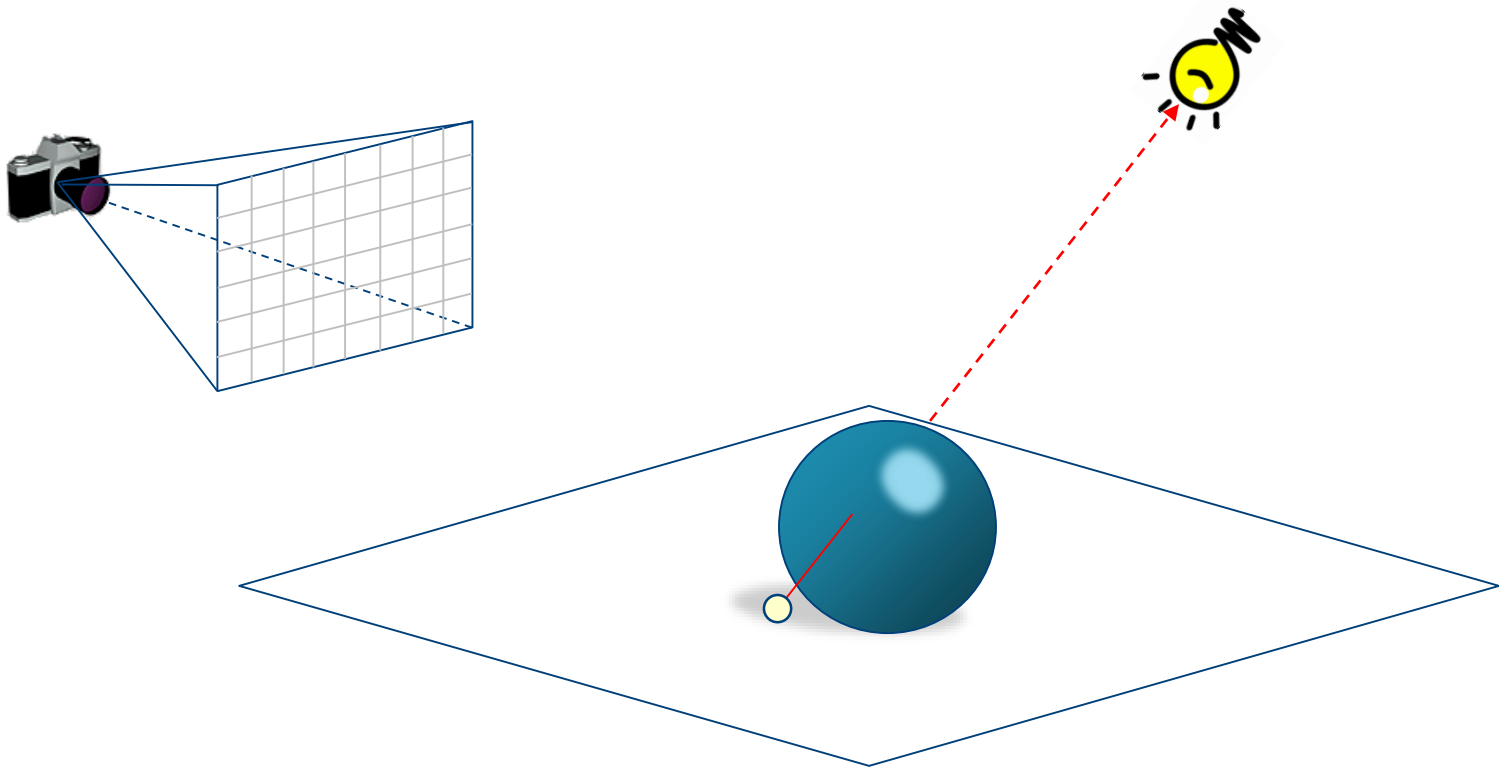
# Visibiliteitsoperaties in computer graphics

- Zoek het eerste intersectiepunt



# Visibiliteitsoperaties in computer graphics

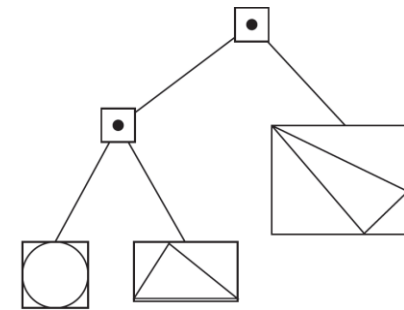
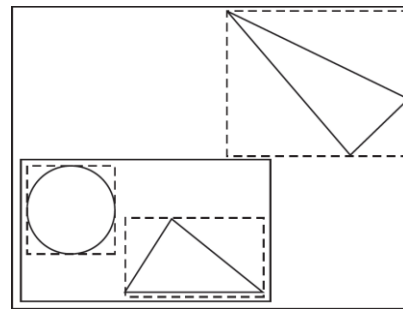
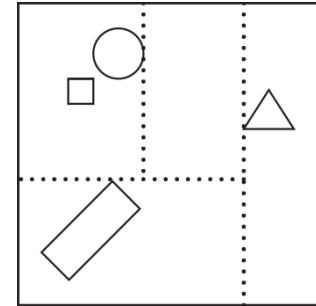
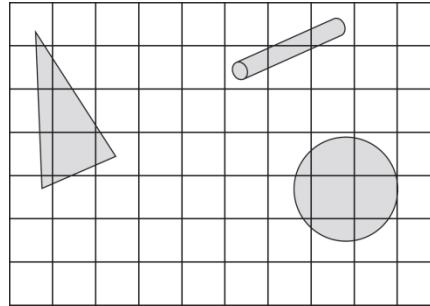
- Zijn twee punten onderling zichtbaar





# Versnelling van visibiliteitsoperaties

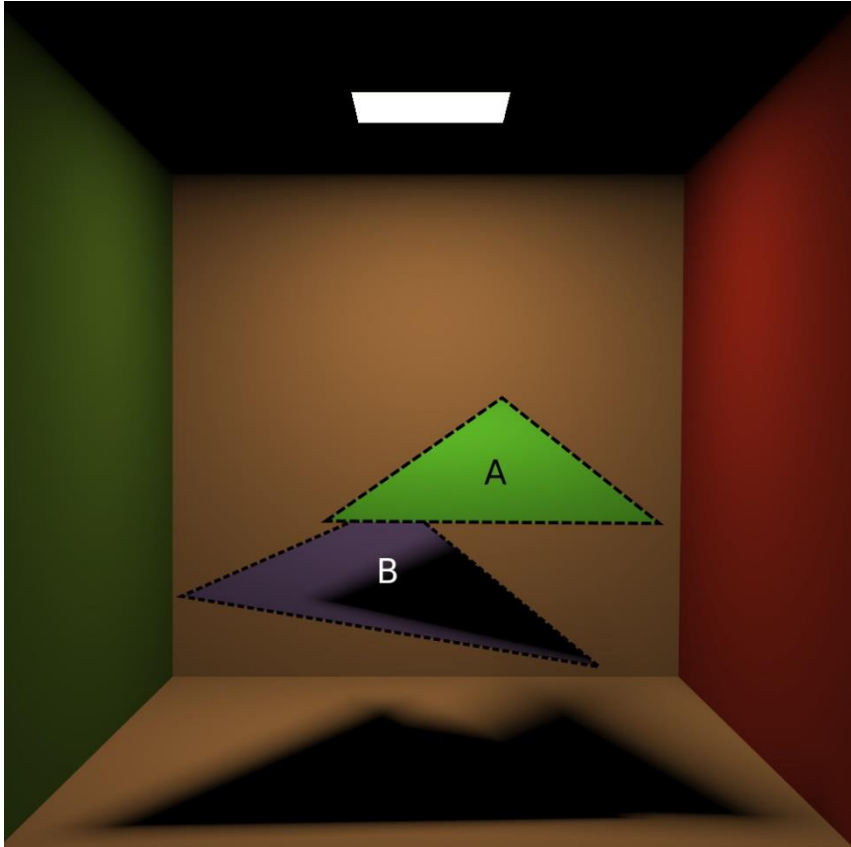
- Spatiale grids
- Bounding volume hierarchies
- kd-trees
- Light buffers
- Octrees
- ...



# Inhoud

- Probleemstelling
- **Theorie**
- Praktisch algoritme
- Besluit

# Stochastische visibiliteit: theorie



- Visibiliteitsproduct
$$V(x, y) = V_A(x, y) \cdot V_B(x, y)$$
- Omvormen tot een som
$$(1 - a)(1 - b) = 1 - a - b + ab$$
$$\Leftrightarrow$$
$$ab = a + b + \bar{a} \cdot \bar{b} - 1$$

$$V(x, y) = V_A(x, y) + V_B(x, y) + \overline{V_A(x, y)} \cdot \overline{V_B(x, y)} - 1$$

# Stochastische visibiliteit: theorie

- De som kan geschat worden met Monte Carlo

$$S = s_1 + s_2 + \cdots + s_n$$

- Neem een term  $s_i$  met kans  $p_i$

$$\tilde{S} = \frac{s_i}{p_i}$$

$$\tilde{S} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \frac{s_i}{p_i}$$

$$E[\tilde{S}] = S$$

# Stochastische visibiliteit: theorie

$$V(x, y) = V_A(x, y) + V_B(x, y) + \overline{V_A(x, y)} \cdot \overline{V_B(x, y)} - 1$$

$$\tilde{V}(x, y) = \begin{cases} \frac{V_A(x, y)}{p_1} & \text{met kans } p_1 \\ \frac{V_B(x, y)}{p_2} & \text{met kans } p_2 \\ \frac{\overline{V_A(x, y)} \cdot \overline{V_B(x, y)} - 1}{p_3} & \text{met kans } p_3 \end{cases}$$

# Stochastische visibiliteit: theorie

$$V(x, y) = \mathbf{V}_A(\mathbf{x}, \mathbf{y}) + V_B(x, y) + \overline{V_A(x, y)} \cdot \overline{V_B(x, y)} - 1$$

$$\tilde{V}(x, y) = \begin{cases} \frac{\mathbf{V}_A(\mathbf{x}, \mathbf{y})}{p_1} & \text{met kans } p_1 \\ \frac{V_B(x, y)}{p_2} & \text{met kans } p_2 \\ \frac{\overline{V_A(x, y)} \cdot \overline{V_B(x, y)} - 1}{p_3} & \text{met kans } p_3 \end{cases}$$

# Stochastische visibiliteit: theorie

$$V(x, y) = V_A(x, y) + \mathbf{V_B(x, y)} + \overline{V_A(x, y)} \cdot \overline{V_B(x, y)} - 1$$

$$\tilde{V}(x, y) = \begin{cases} \frac{V_A(x, y)}{p_1} & \text{met kans } p_1 \\ \frac{\mathbf{V_B(x, y)}}{\mathbf{p_2}} & \mathbf{met kans } \mathbf{p_2} \\ \frac{\overline{V_A(x, y)} \cdot \overline{V_B(x, y)} - 1}{p_3} & \text{met kans } p_3 \end{cases}$$

# Stochastische visibiliteit: theorie

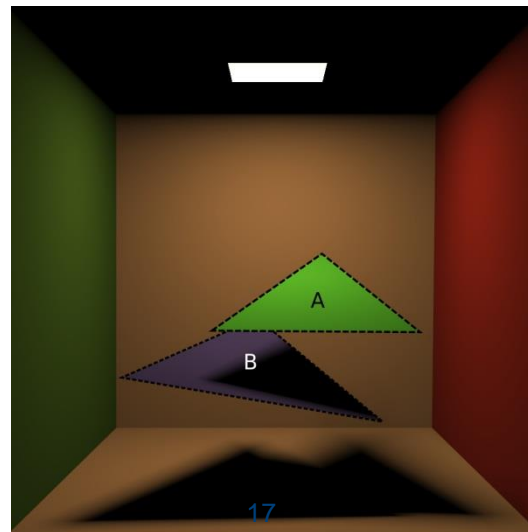
$$V(x, y) = V_A(x, y) + V_B(x, y) + \overline{V_A(x, y)} \cdot \overline{V_B(x, y)} - 1$$

$$\tilde{V}(x, y) = \begin{cases} \frac{V_A(x, y)}{p_1} & \text{met kans } p_1 \\ \frac{V_B(x, y)}{p_2} & \text{met kans } p_2 \\ \frac{\overline{V_A(x, y)} \cdot \overline{V_B(x, y)} - 1}{p_3} & \text{met kans } p_3 \end{cases}$$



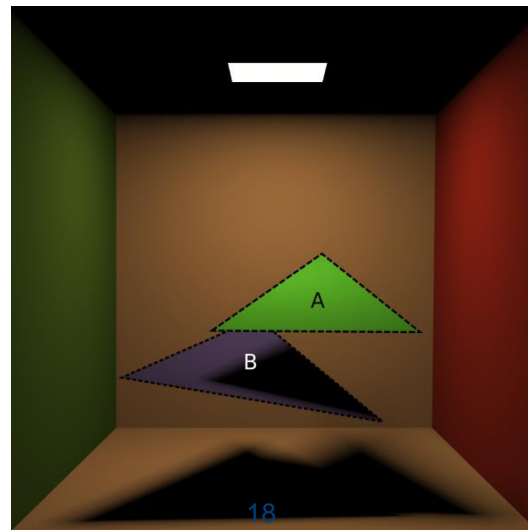
# Stochastische visibiliteit: voorbeeld

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$3 \cdot V_A$	$3 \cdot V_B$	$3 \cdot (\overline{V_A} \cdot \overline{V_B} - 1)$	-
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	3	-3	6
1	0	0	3	0	-3	6
1	1	1	3	3	-3	8



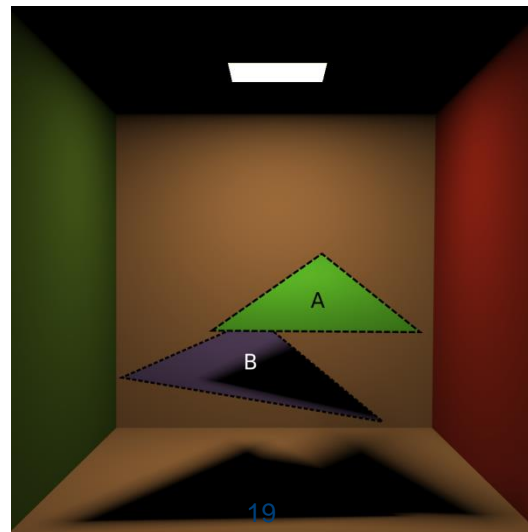
# Stochastische visibiliteit: voorbeeld

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$3 \cdot V_A$	$3 \cdot V_B$	$3 \cdot (\overline{V_A} \cdot \overline{V_B} - 1)$	-
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	3	-3	6
1	0	0	3	0	-3	6
1	1	1	3	3	-3	8



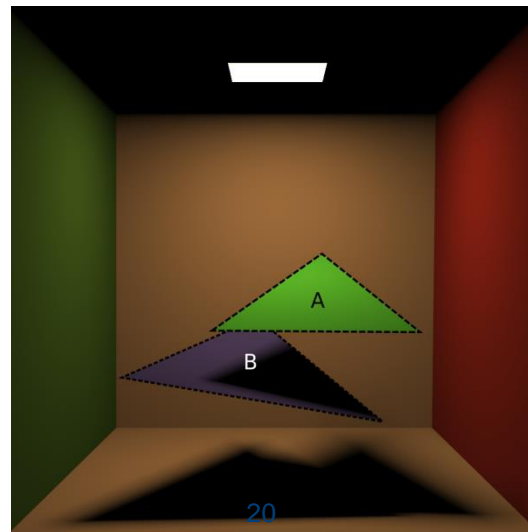
# Stochastische visibiliteit: voorbeeld

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$3 \cdot V_A$	$3 \cdot V_B$	$3 \cdot (\overline{V_A} \cdot \overline{V_B} - 1)$	-
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	3	-3	6
1	0	0	3	0	-3	6
1	1	1	3	3	-3	8



# Stochastische visibiliteit: voorbeeld

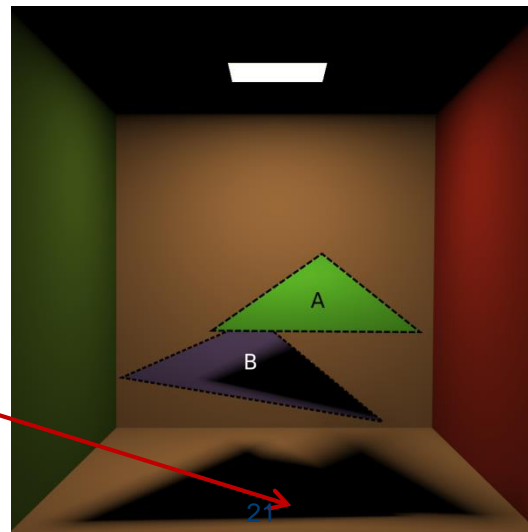
Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$3 \cdot V_A$	$3 \cdot V_B$	$3 \cdot (\overline{V_A} \cdot \overline{V_B} - 1)$	-
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	3	-3	6
1	0	0	3	0	-3	6
1	1	1	3	3	-3	8



# Stochastische visibiliteit: voorbeeld

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$3 \cdot V_A$	$3 \cdot V_B$	$3 \cdot (\overline{V_A} \cdot \overline{V_B} - 1)$	-
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	3	-3	6
1	0	0	3	0	-3	6
1	1	1	3	3	-3	8

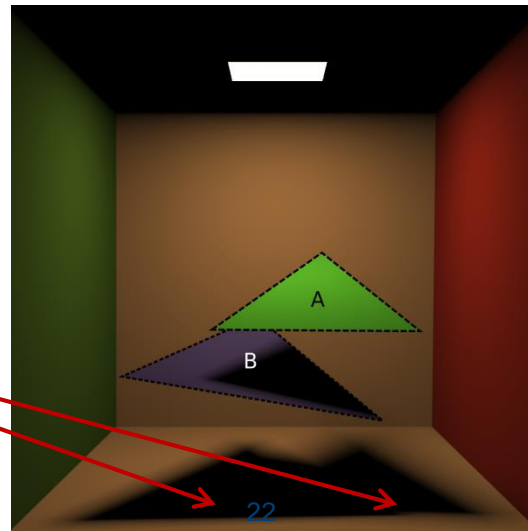
A en B werpen schaduw



# Stochastische visibiliteit: voorbeeld

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$3 \cdot V_A$	$3 \cdot V_B$	$3 \cdot (\overline{V_A} \cdot \overline{V_B} - 1)$	-
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	3	-3	6
1	0	0	3	0	-3	6
1	1	1	3	3	-3	8

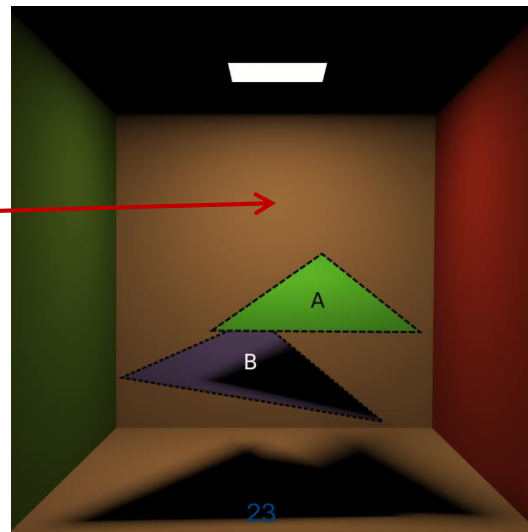
A of B werpt schaduw



# Stochastische visibiliteit: voorbeeld

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$3 \cdot V_A$	$3 \cdot V_B$	$3 \cdot (\overline{V_A} \cdot \overline{V_B} - 1)$	-
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	3	-3	6
1	0	0	3	0	-3	6
1	1	1	3	3	-3	8

Geen van beide werpt  
schaduw



# Stochastische visibiliteit: resultaten

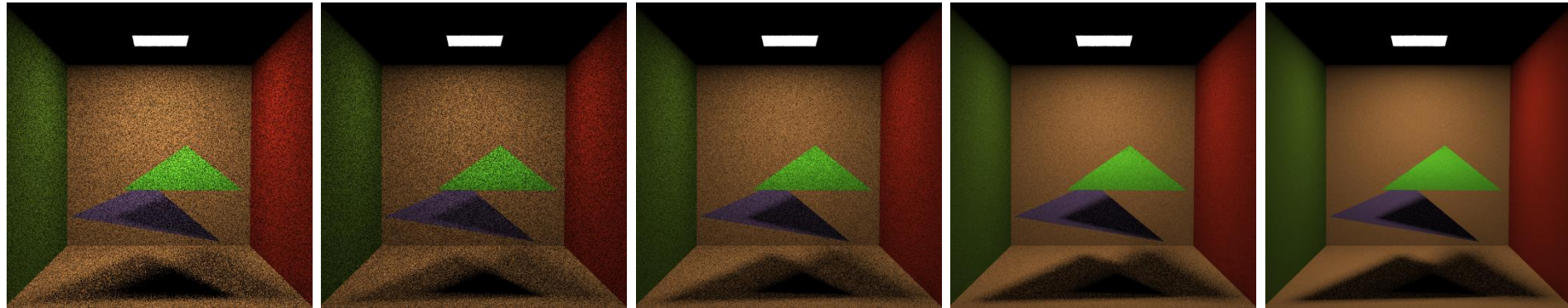
1 schaduwstraal

4 schaduwstralen

16 schaduwstralen

64 schaduwstralen

256 schaduwstralen





# Stochastische visibiliteit: resultaten

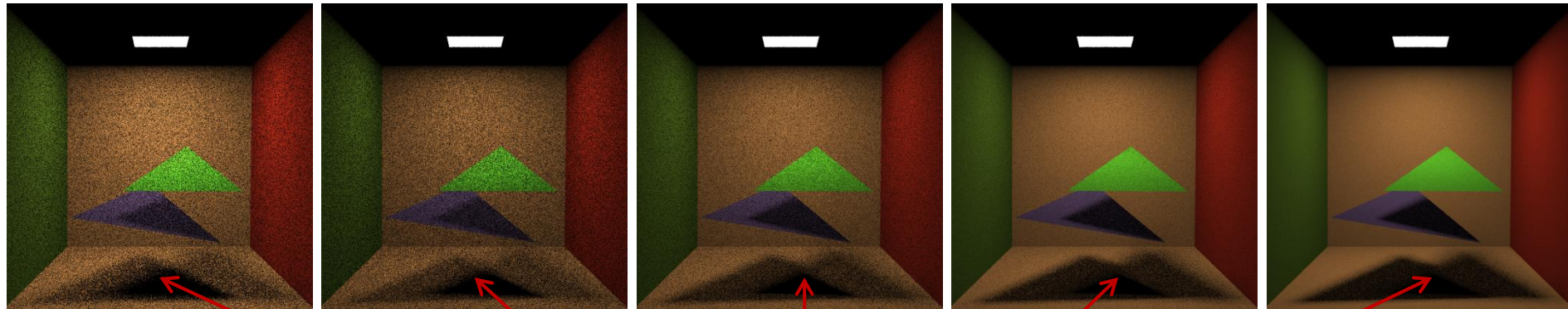
1 schaduwstraal

4 schaduwstralen

16 schaduwstralen

64 schaduwstralen

256 schaduwstralen



Geen variantie

# Alternatieve decomposities

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$3 \cdot V_A$	$3 \cdot V_B$	$3 \cdot (\overline{V_A} \cdot \overline{V_B} - 1)$	-
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	3	-3	6
1	0	0	3	0	-3	6
1	1	1	3	3	-3	8

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$3 \cdot V_A - 1$	$3 \cdot V_B - 1$	$3 \cdot \overline{V_A} \cdot \overline{V_B} - 1$	-
0	0	0	-1	-1	2	2
0	1	0	-1	2	-1	2
1	0	0	2	-1	-1	2
1	1	1	2	2	-1	2

# Alternatieve decomposities

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$3 \cdot V_A$	$3 \cdot V_B$	$3 \cdot (\overline{V_A} \cdot \overline{V_B} - 1)$	-
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	3	-3	6
1	0	0	3	0	-3	6
1	1	1	3	3	-3	8

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$3 \cdot V_A - 1$	$3 \cdot V_B - 1$	$3 \cdot \overline{V_A} \cdot \overline{V_B} - 1$	-
0	0	0	-1	-1	2	2
0	1	0	-1	2	-1	2
1	0	0	2	-1	-1	2
1	1	1	2	2	-1	2

# Alternatieve decomposities

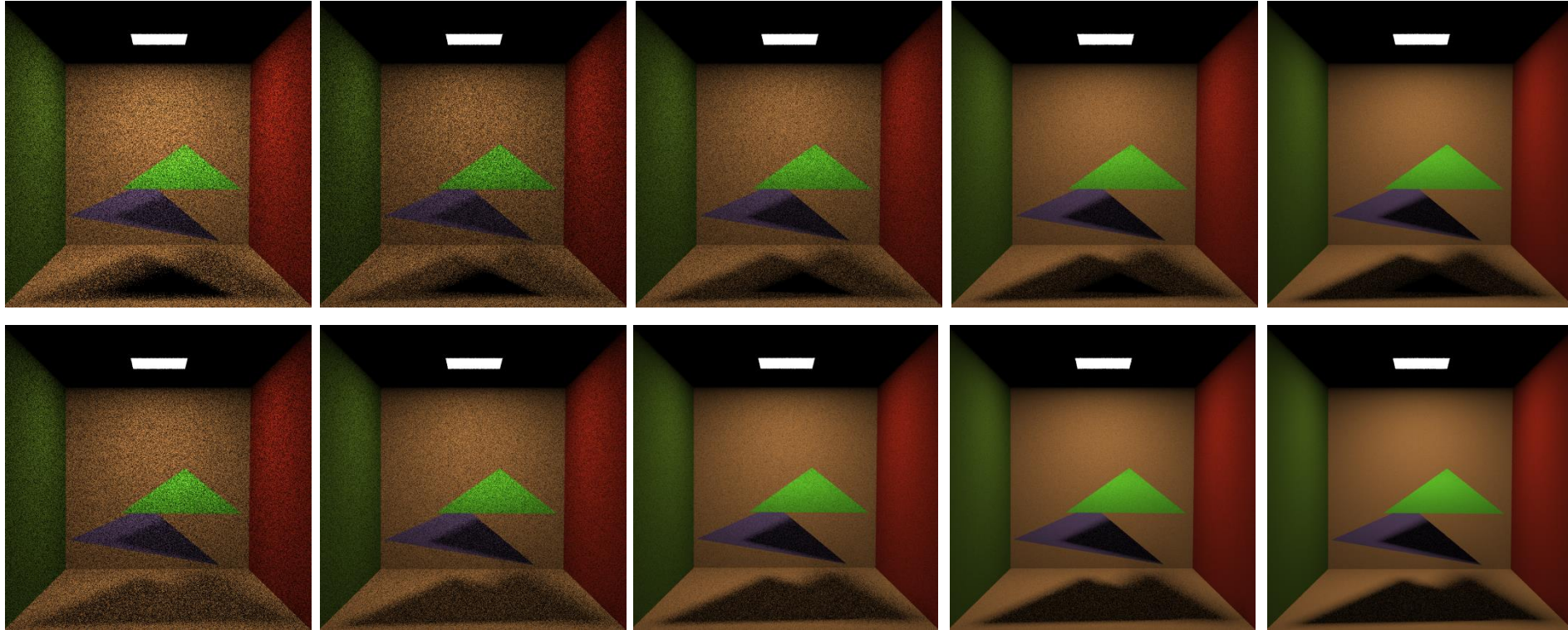
1 schaduwstraal

4 schaduwstralen

16 schaduwstralen

64 schaduwstralen

256 schaduwstralen



# Alternatieve decomposities

- $(V_A(x, y) + V_B(x, y))^n = V_A + V_B + (2^n - 2)V_A(x, y)V_B(x, y)$

$\Leftrightarrow$

$$V_A(x, y)V_B(x, y) = -\frac{V_A(x, y)}{(2^n - 2)} - \frac{V_B(x, y)}{(2^n - 2)} + \frac{(V_A(x, y) + V_B(x, y))^n}{(2^n - 2)}$$

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$-3V_A/254$	$-3V_B/254$	$3(V_A + V_B)^8/254$	-
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	-3/254	3/254	4,65e-5
1	0	0	-3/254	0	3/254	4,65e-5
1	1	1	-3/254	-3/254	768/254	2,048

# Alternatieve decomposities

- $(V_A(x, y) + V_B(x, y))^n = V_A + V_B + (2^n - 2)V_A(x, y)V_B(x, y)$

$\Leftrightarrow$

$$V_A(x, y)V_B(x, y) = -\frac{V_A(x, y)}{(2^n - 2)} - \frac{V_B(x, y)}{(2^n - 2)} + \frac{(V_A(x, y) + V_B(x, y))^n}{(2^n - 2)}$$

Exacte waarden			Stochastische evaluatie			Variantie
$V_A$	$V_B$	$V_A \cdot V_B$	$-3V_A/254$	$-3V_B/254$	$3(V_A + V_B)^8/254$	-
0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	$-3/254$	$3/254$	$4,65e-5$
1	0	0	$-3/254$	0	$3/254$	$4,65e-5$
1	1	1	$-3/254$	$-3/254$	$768/254$	2,048



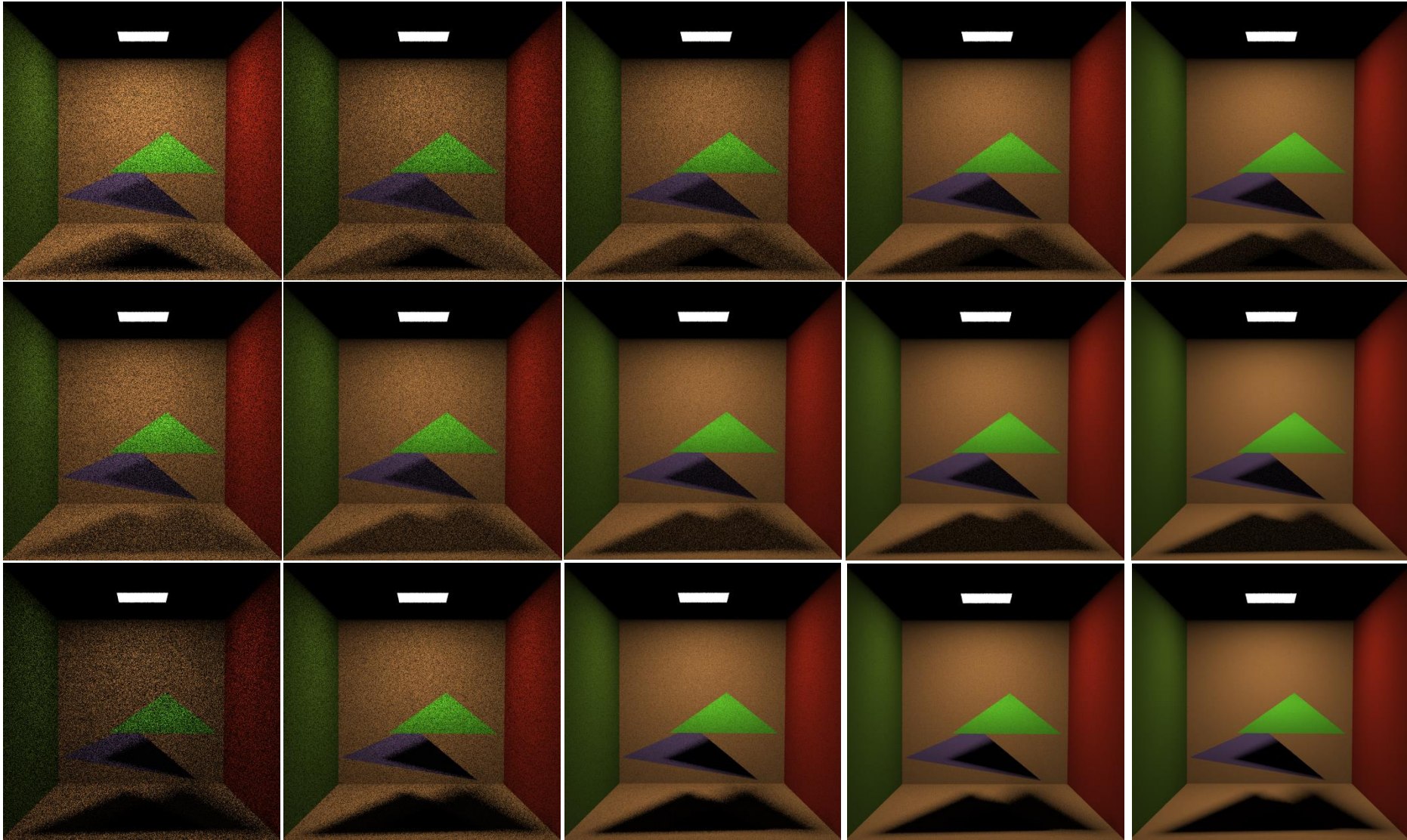
1 schaduwstraal

4 schaduwstralen

16 schaduwstralen

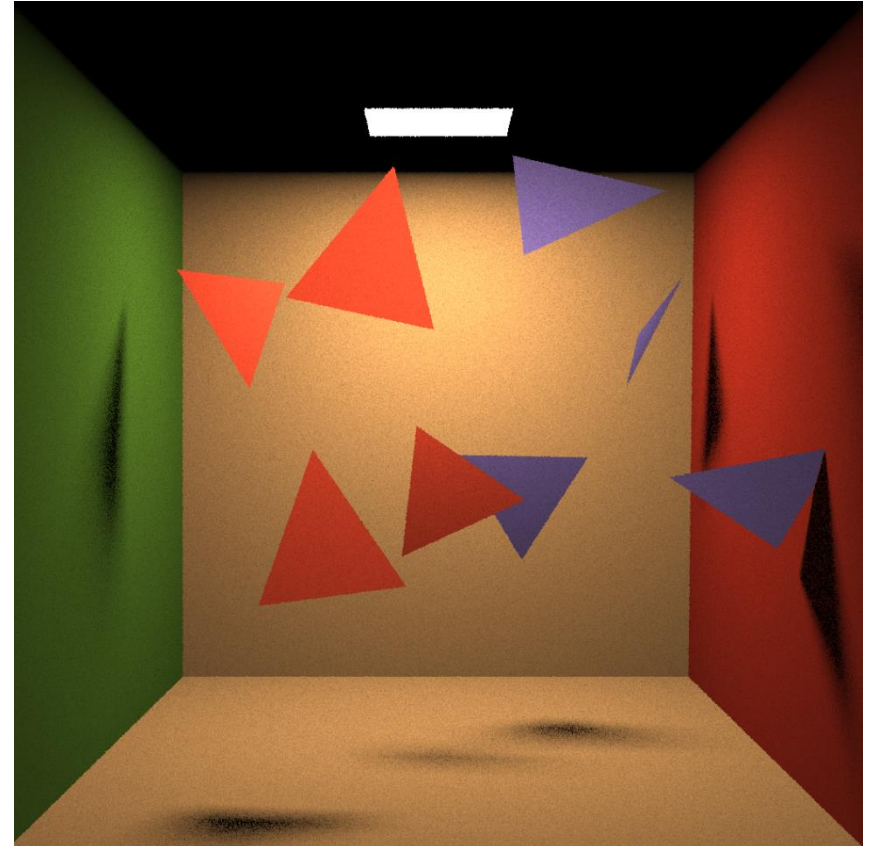
64 schaduwstralen

256 schaduwstralen



# Uitbreiding naar meer primitieven

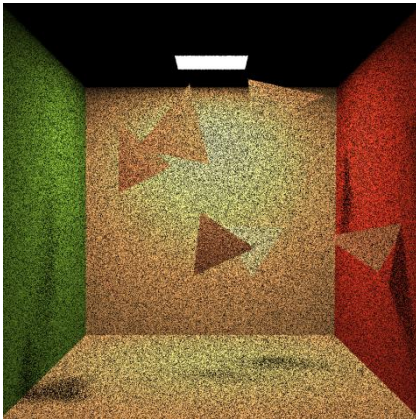
- Verdeel potentiële blokkers in twee groepen A en B.
- Recursieve subdivisie
  - Grote toename in de variantie omdat we uiteindelijk maar één primitief zullen testen.



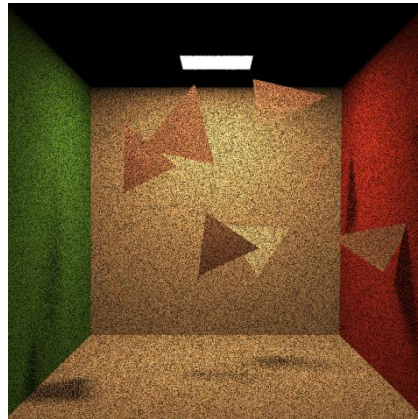


# Uitbreiding naar meer primitieven

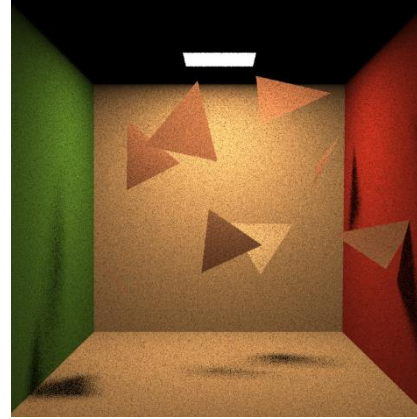
1 schaduwstraal



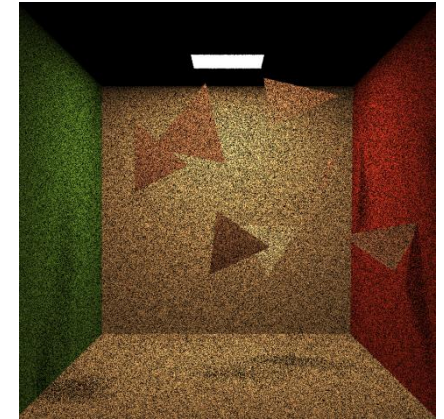
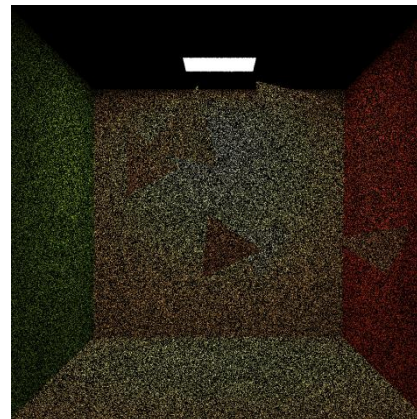
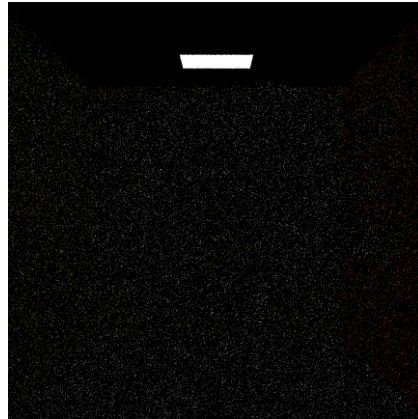
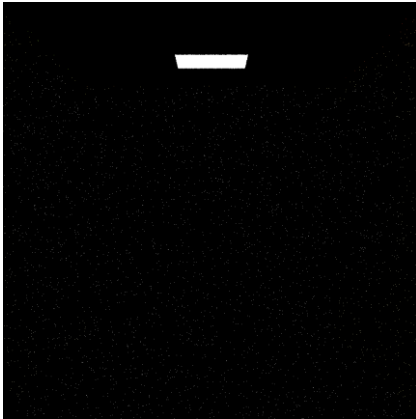
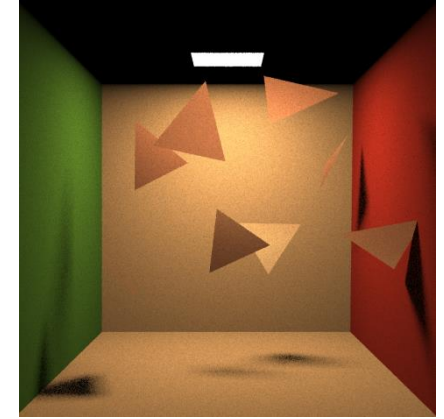
8 schaduwstralen



64 schaduwstralen



256 schaduwstralen



# Inhoud

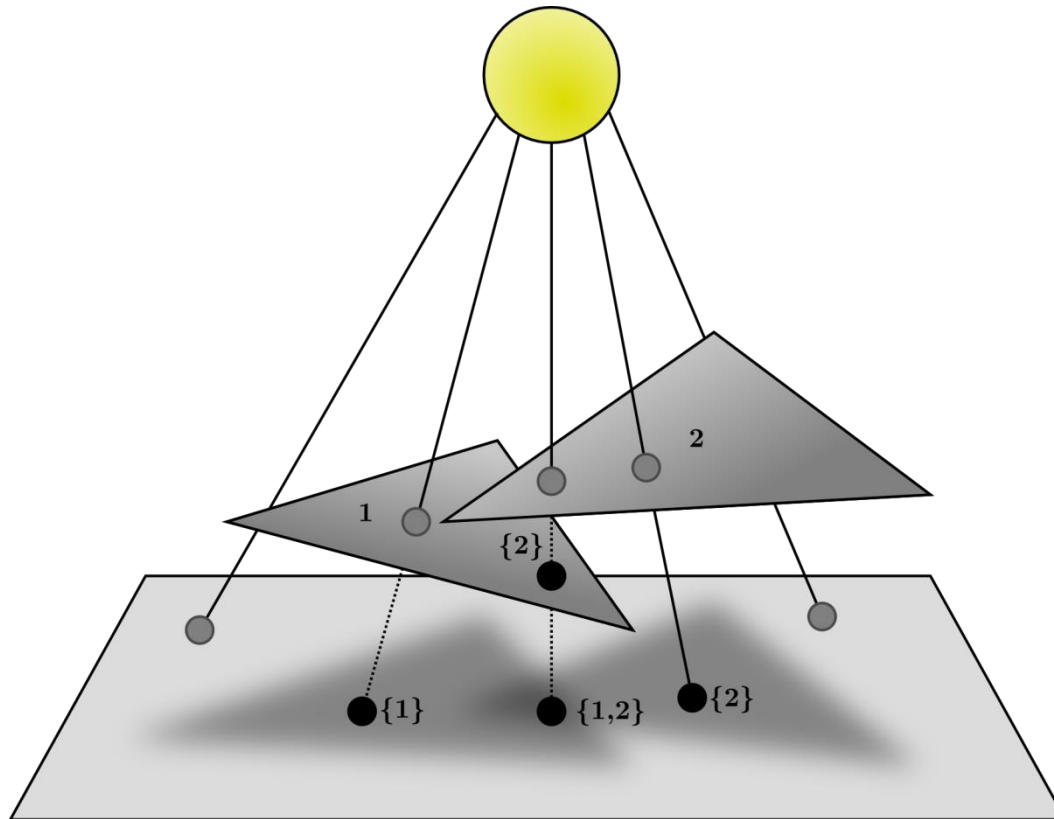
- Probleemstelling
- Theorie
- **Praktisch algoritme**
- Besluit

# Praktisch algoritme

- Zoek de potentiële blokkers voor een schaduw straal
  - Suggereert een directionele datastructuur
    - Light buffer
    - Light shafts
    - **Occlusion map**
- Verdeel de blokkers in twee groepen A en B
- Evalueer de visibiliteit stochastisch

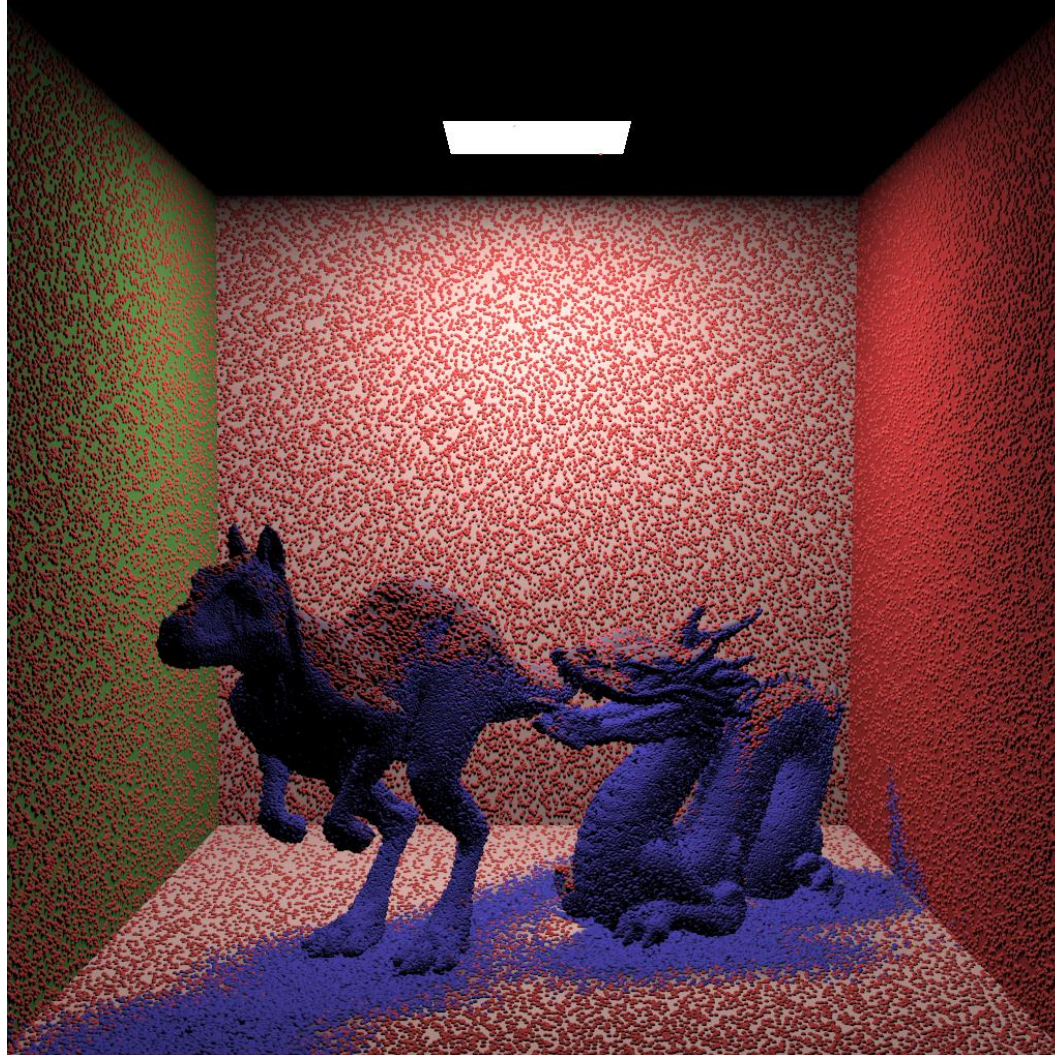
# Constructie van de occlusion map

- Bouw occlusion map en licht map als preprocess



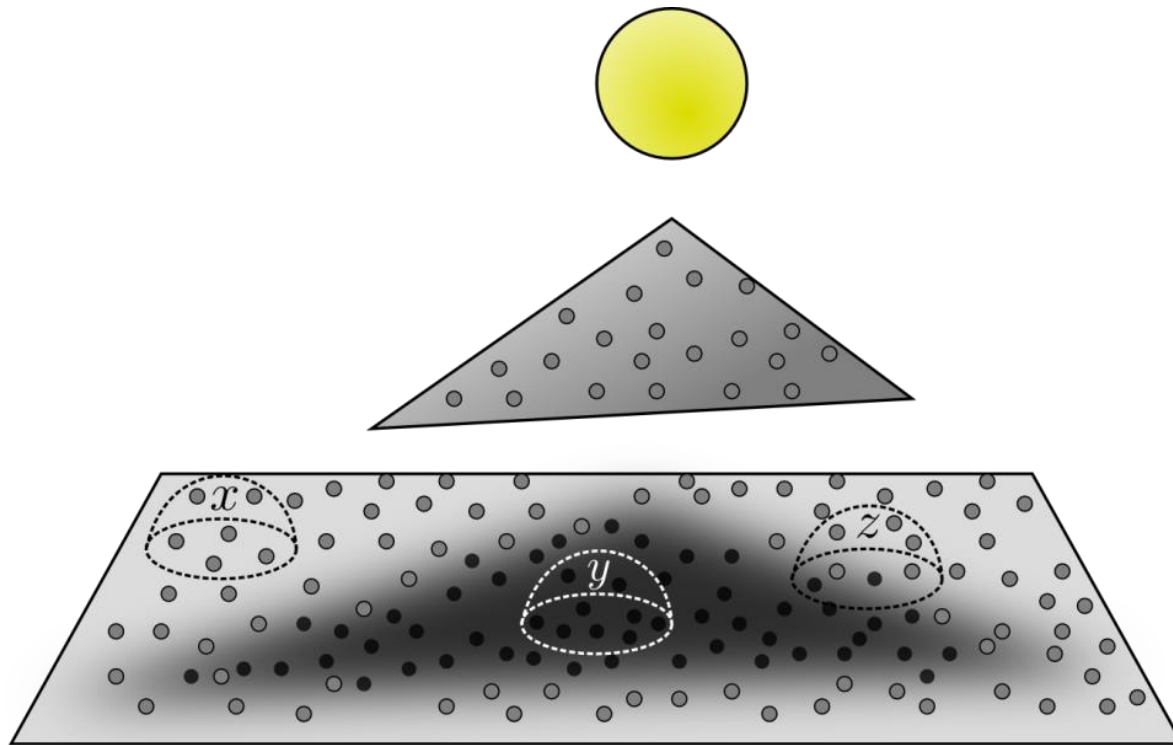


# Constructie van de occlusion map



# Renderen met de occlusion map

- Voor elk punt dat we belichten
  - zoek de dichtsbijzijnde occlusion en licht photonen

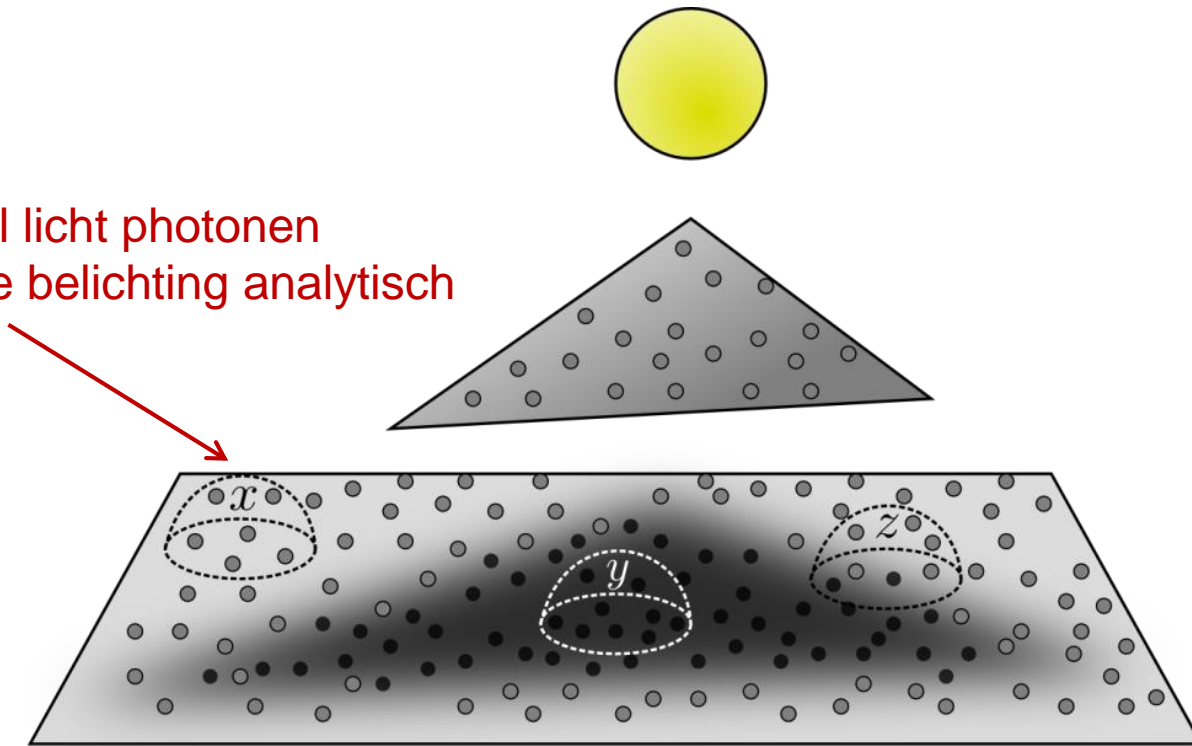


# Renderen met de occlusion map

- Voor elk punt dat we belichten
  - zoek de dichtsbijzijnde occlusion en licht photonen

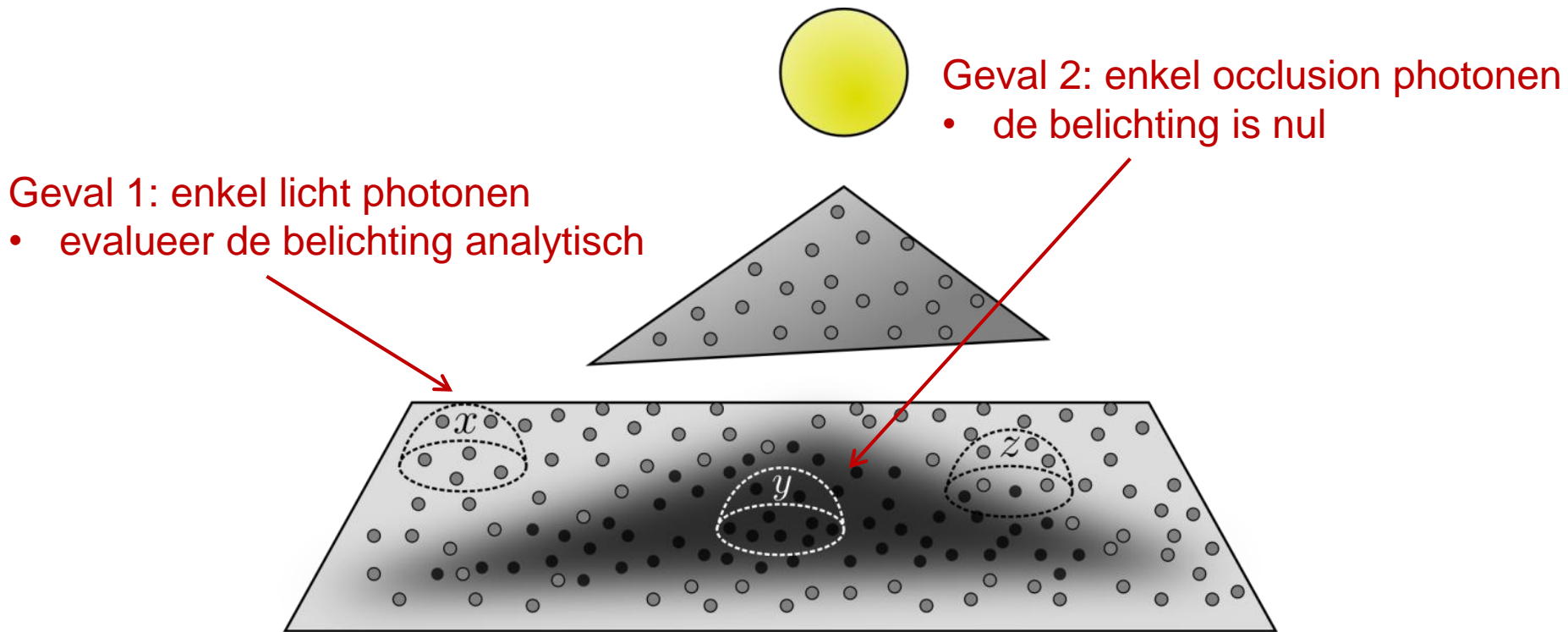
Geval 1: enkel licht photonen

- evalueer de belichting analytisch



# Renderen met de occlusion map

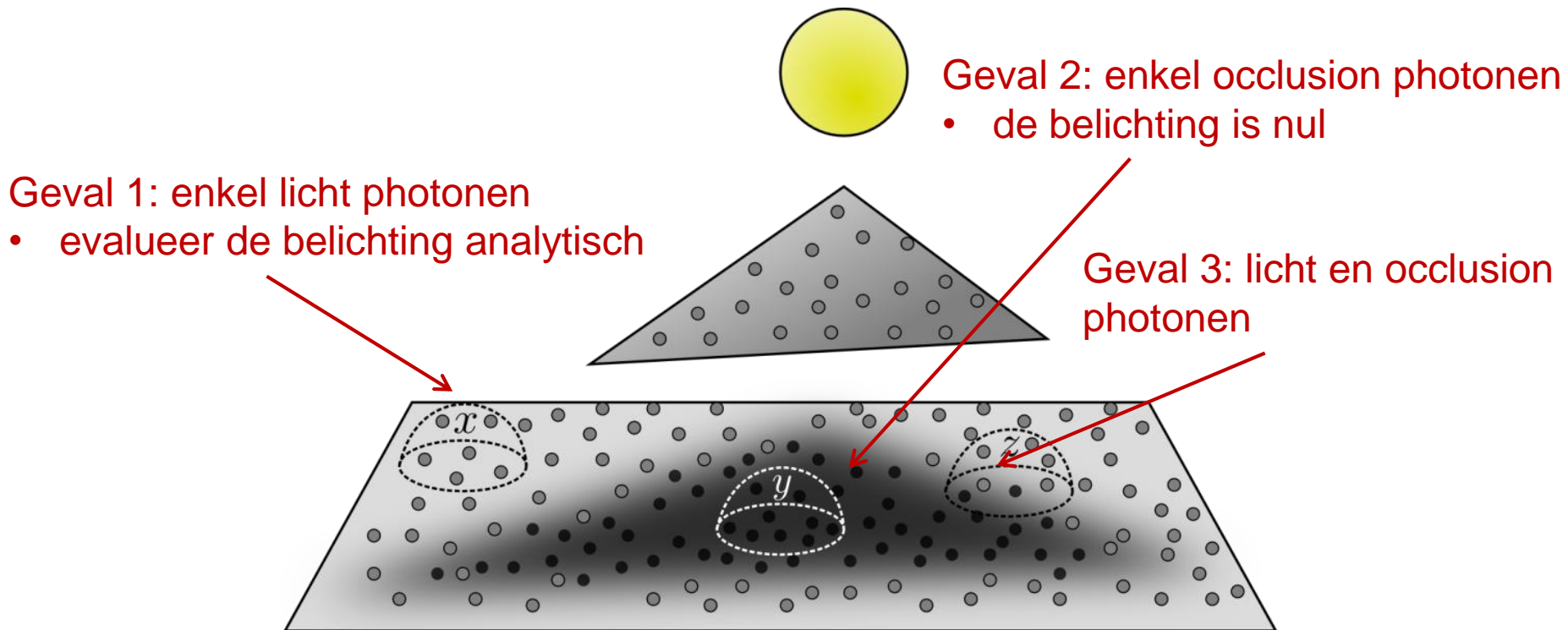
- Voor elk punt dat we belichten
  - zoek de dichtsbijzijnde occlusion en licht photonen





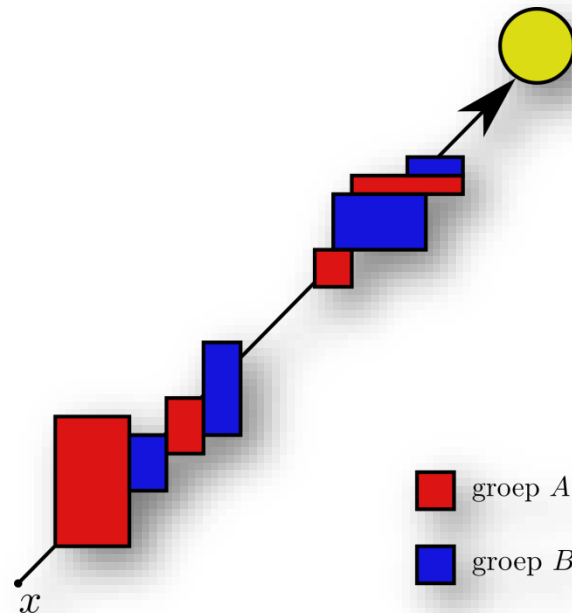
# Renderen met de occlusion map

- Voor elk punt dat we belichten
  - zoek de dichtsbijzijnde occlusion en licht photonen



# Stochastische visibiliteitsevaluatie

- Verdeling van de blokkers in twee groepen A en B:
  - Verdeel de blokkers willekeurig in twee evengrote groepen



# Resultaten

Referentie afbeelding

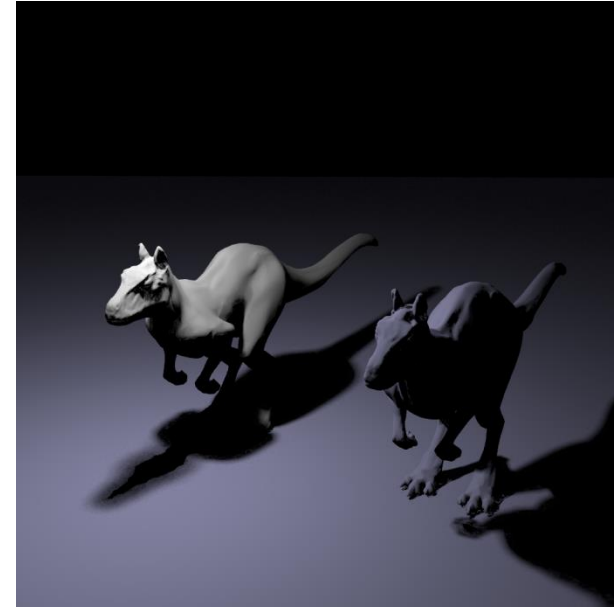


Occlusion map zonder  
stochastische visibiliteit



Tijd: 68s  
Intersecties: 1957M

Occlusion map met  
stochastische visibiliteit



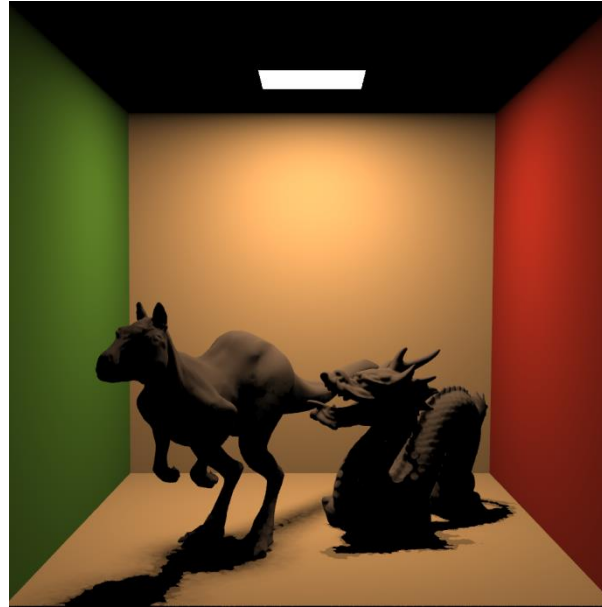
Tijd: 63s  
Intersecties: 1610M

# Resultaten

Referentie afbeelding

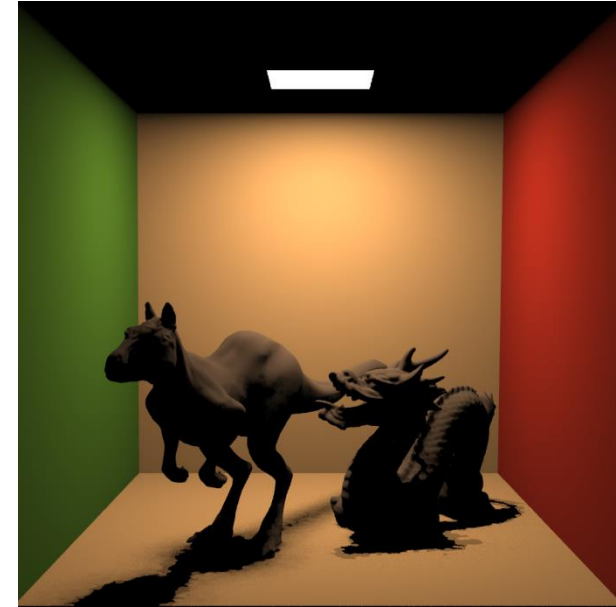


Occlusion map zonder  
stochastische visibiliteit



Tijd: 62s  
Intersecties: 1194M

Occlusion map met  
stochastische visibiliteit



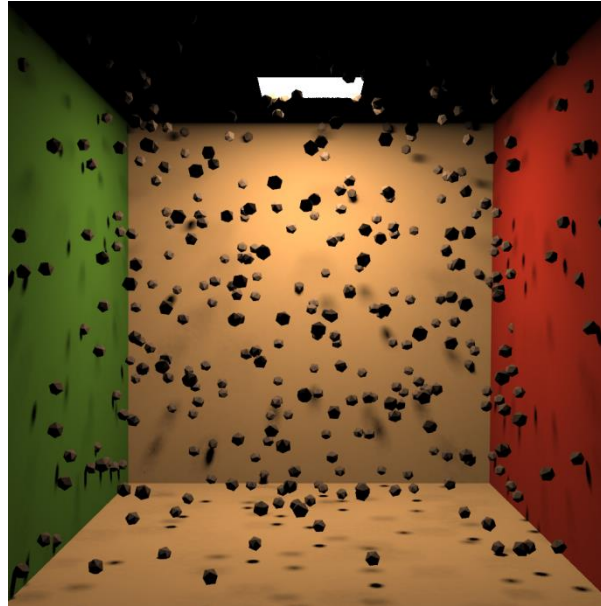
Tijd: 58s  
Intersecties: 885M

# Resultaten

Referentie afbeelding

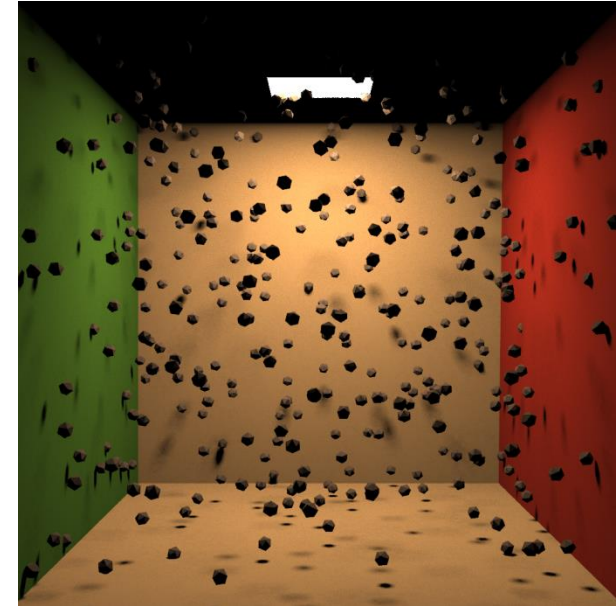


Occlusion map zonder  
stochastische visibiliteit



Tijd: 133s  
Intersecties: 4028M

Occlusion map met  
stochastische visibiliteit



Tijd: 126s  
Intersecties: 3074M

# Resultaten

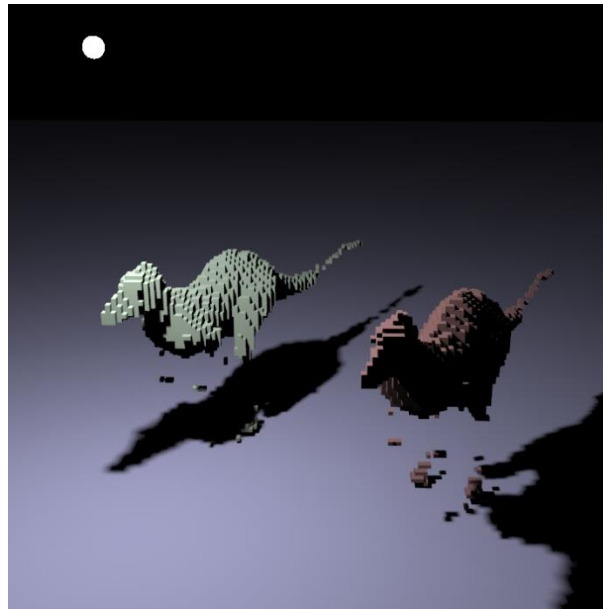
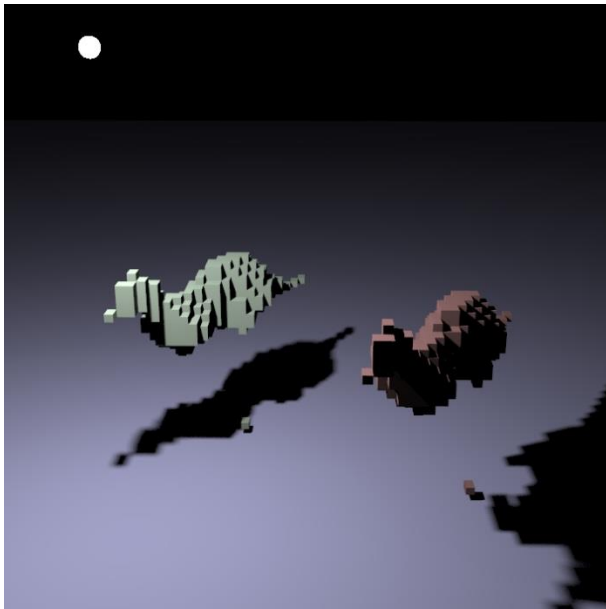
- Stochastische visibiliteit is performanter
  - gemiddeld 26% reductie in intersectietesten
  - gemiddeld 5% reductie in rendertijd
- Kwaliteit is slecht
  - occlusion map mist fijne geometrie in de scene

# Optimizaties

- Volumetrische occluders
- Adaptieve photon distributie
- Acceleratiestructuren
- Importance sampling

# Volumetrische occluders

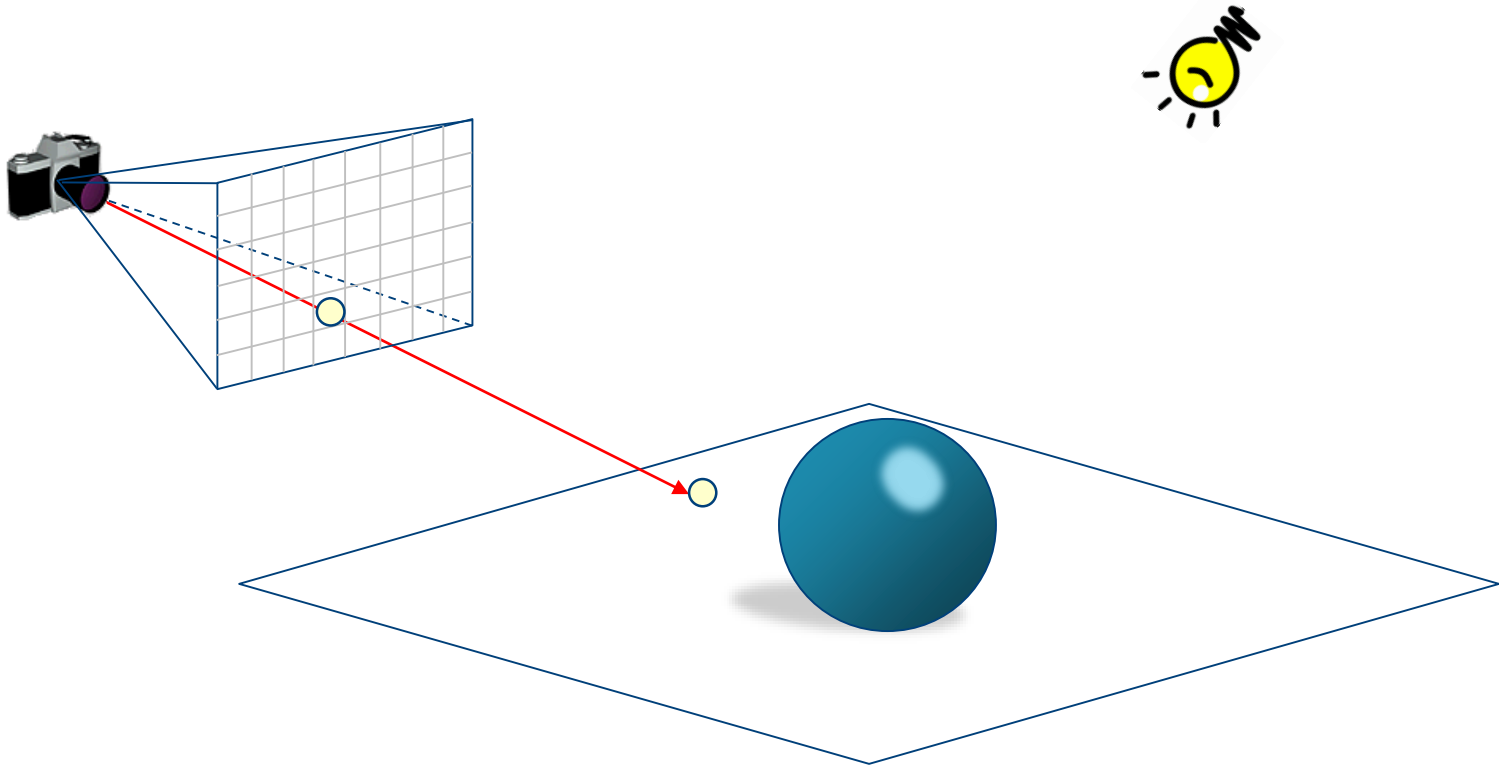
- Compenseert voor gemiste geometrie in de scene





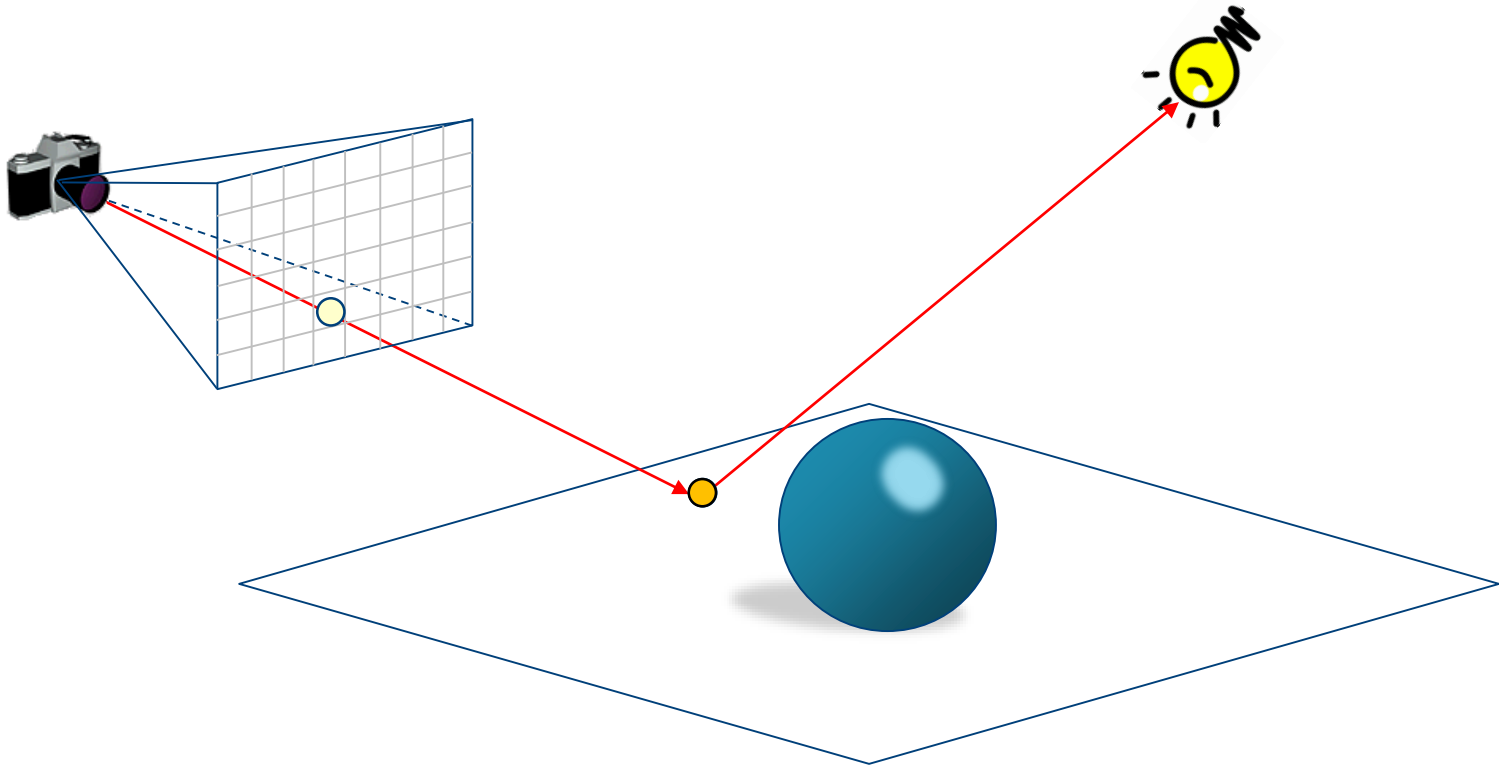
# Adaptieve photon distributie

- Distribueer meer photonen in de schaduw gebieden



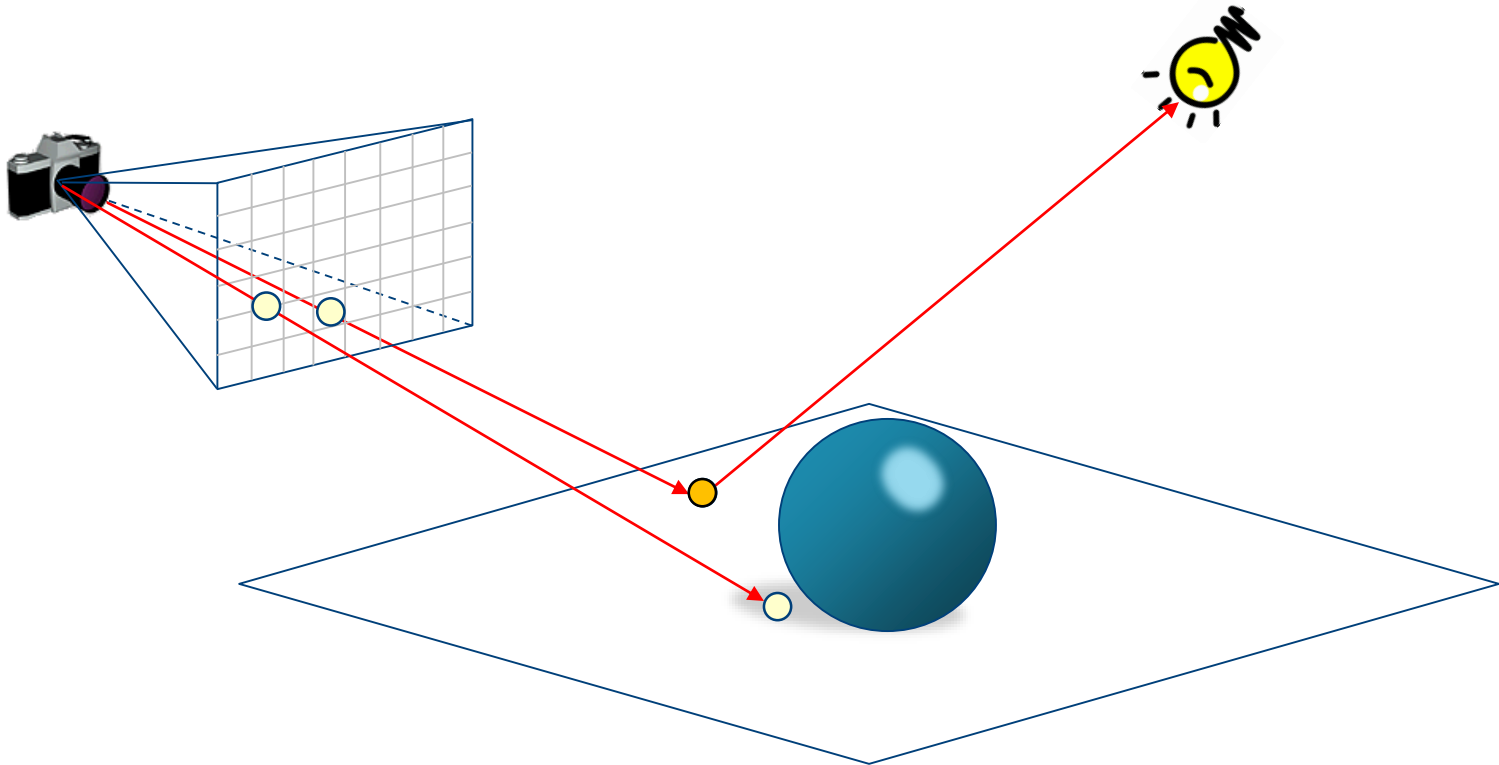
# Adaptieve photon distributie

- Distribueer meer photonen in de schaduw gebieden



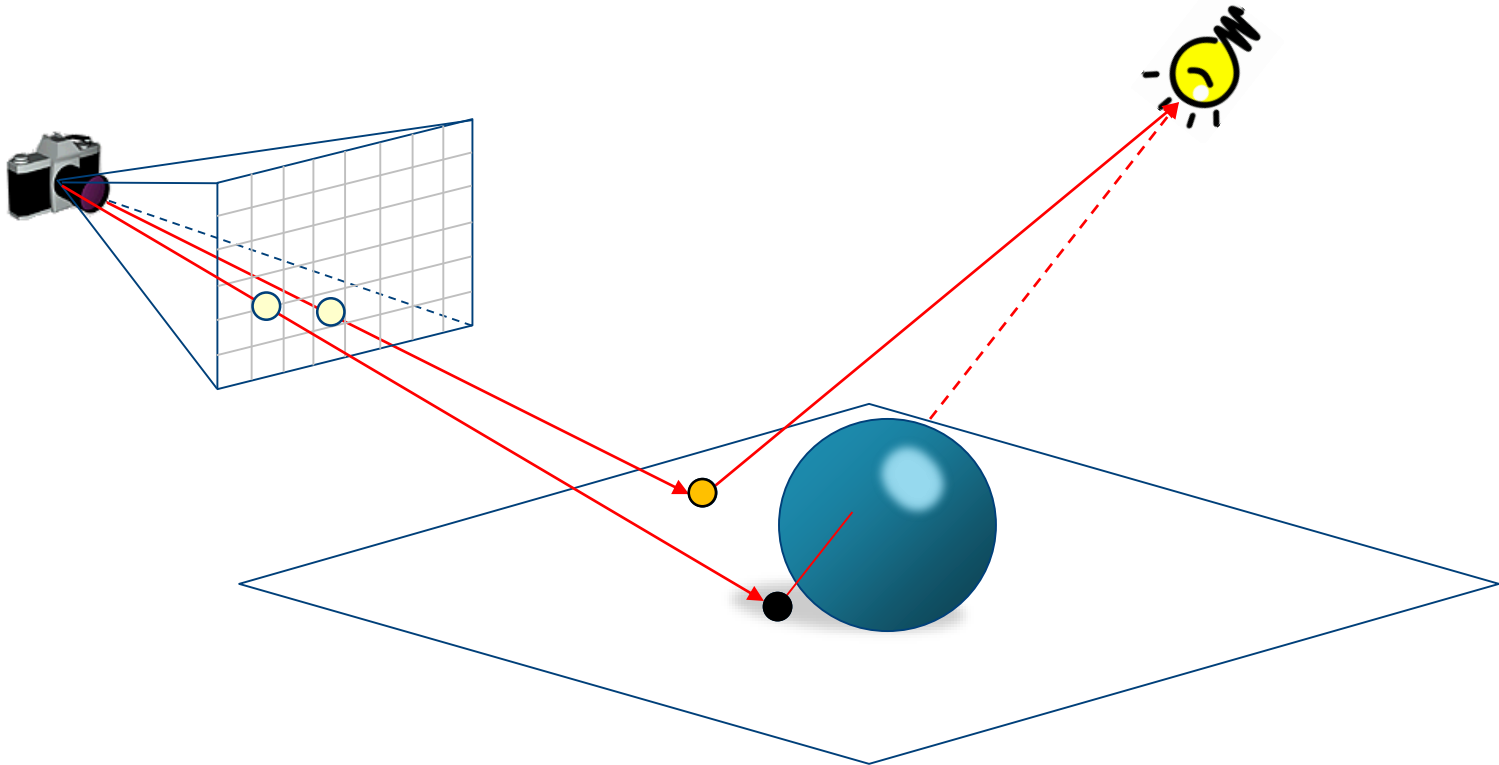
# Adaptieve photon distributie

- Distribueer meer photonen in de schaduw gebieden



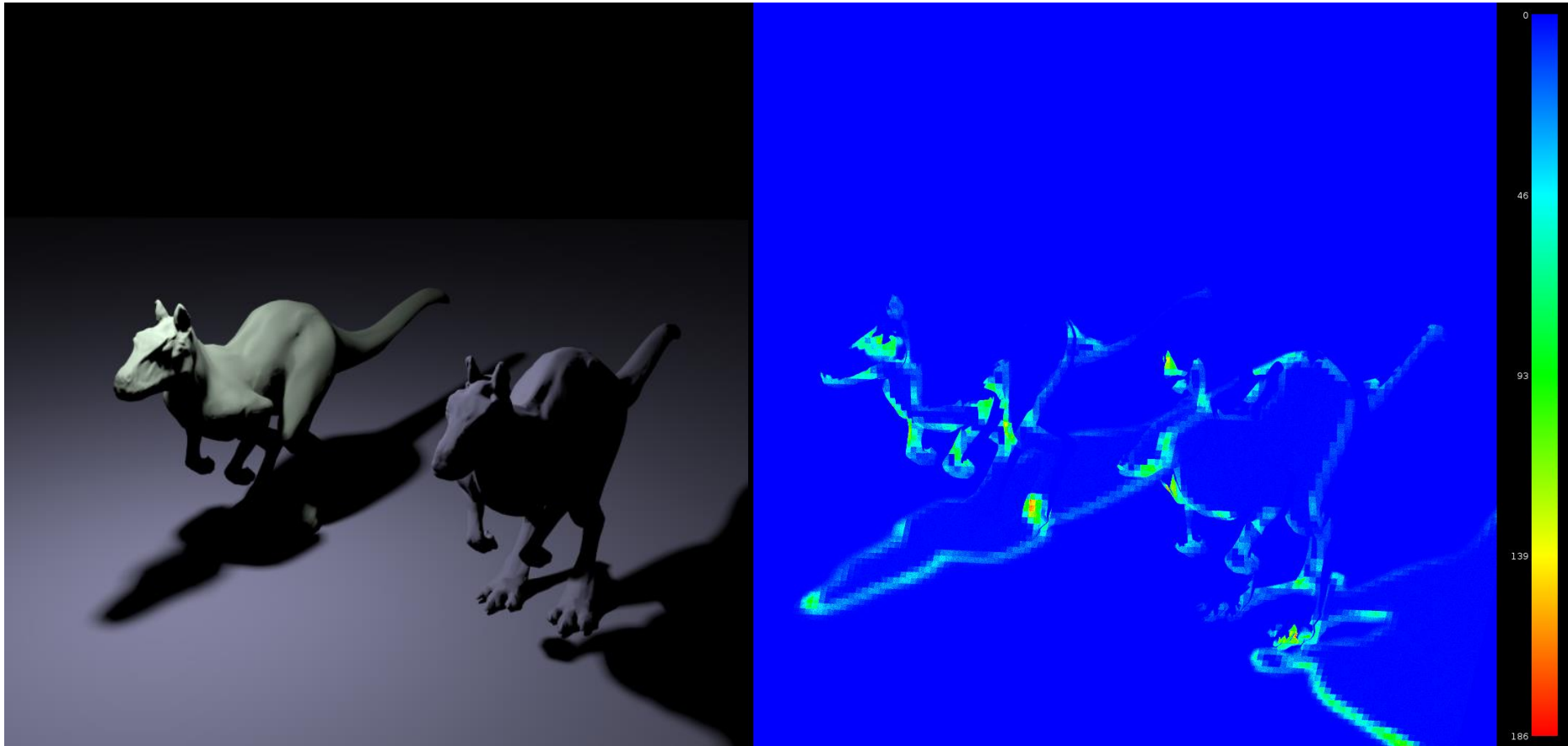
# Adaptieve photon distributie

- Distribueer meer photonen in de schaduw gebieden



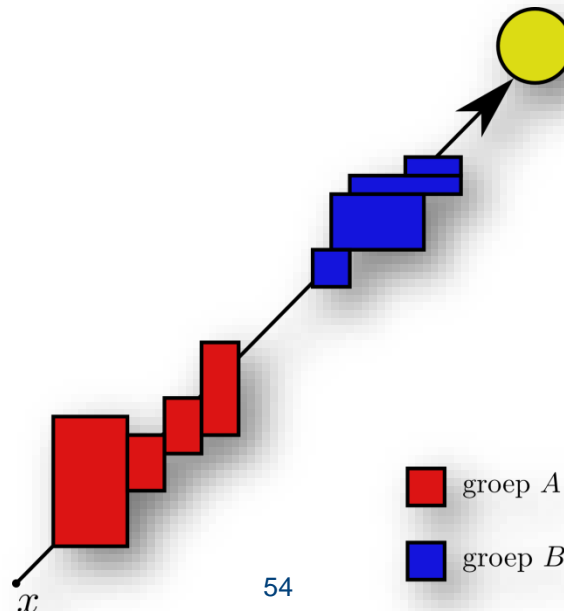
# Adaptieve distributie van de fotonen

- Distribueer meer fotonen in de schaduw gebieden



# Acceleratiestructuren

- Verdeling van de blokkers in twee groepen A en B:
  - Sorteert de blokkers op afstand van het te belichten punt
  - Verdeelt ze in twee evengrote groepen
  - Bouwt een acceleratiestructuur over de twee groepen



# Importance sampling

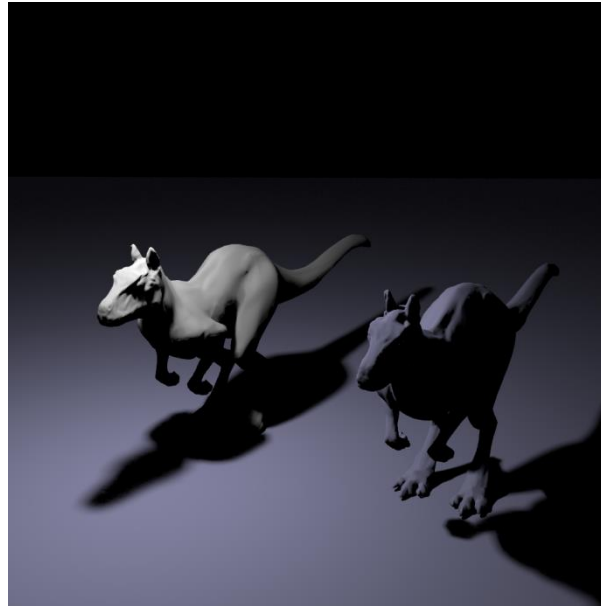
- Verdeel kansen evenredig met bijdrage van de drie termen
  - schat bijdrage met 64 test stralen
  - verdeel de kansen evenredig volgens de geschatte bijdragen

# Resultaten

Referentie afbeelding



Occlusion map zonder  
stochastische visibiliteit



Tijd: 85s  
Intersecties: 2007M

Occlusion map met  
stochastische visibiliteit



Tijd: 98s  
Intersecties: 2336M

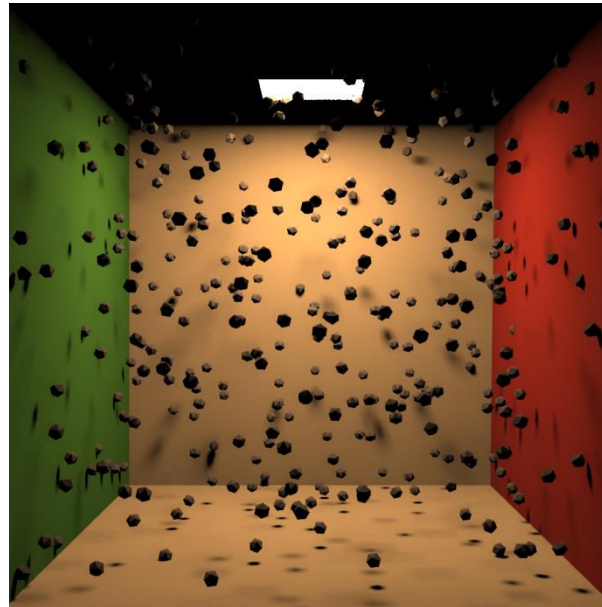


# Resultaten

Referentie afbeelding

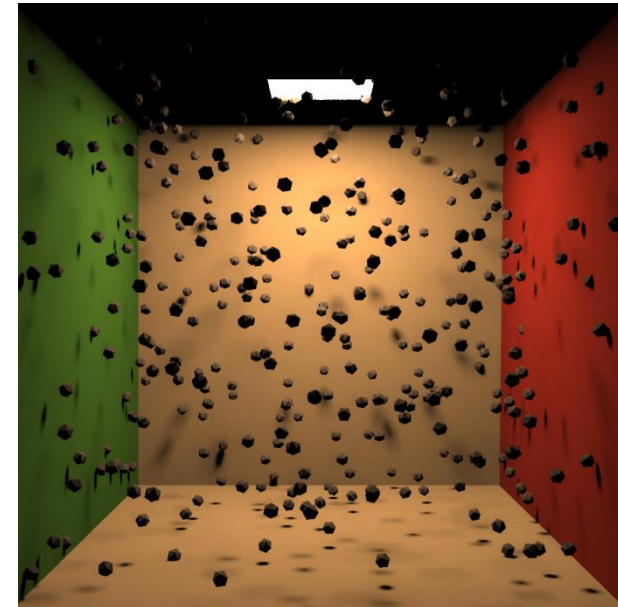


Occlusion map zonder  
stochastische visibiliteit



Tijd: 260s  
Intersecties: 264M

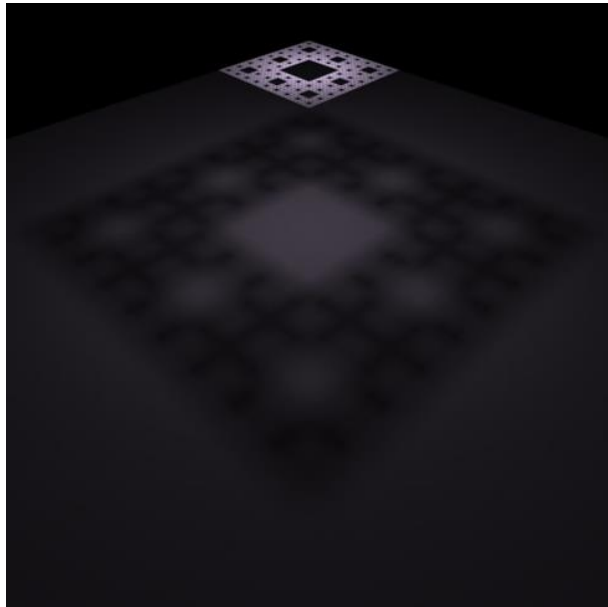
Occlusion map met  
stochastische visibiliteit



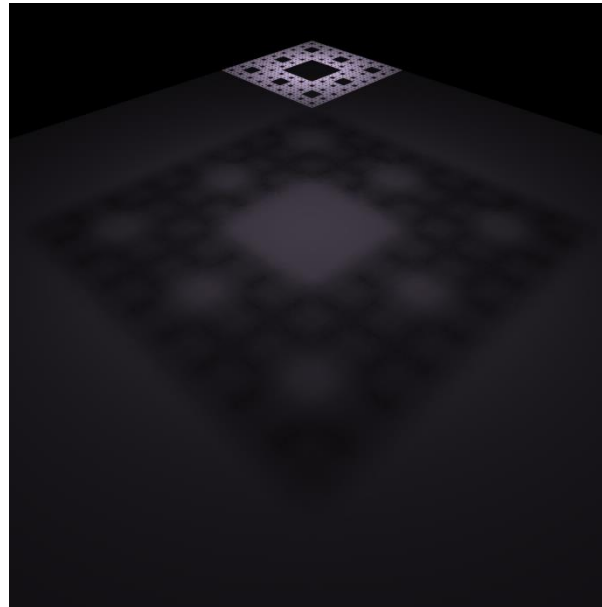
Tijd: 299s  
Intersecties: 299M

# Resultaten

Referentie afbeelding

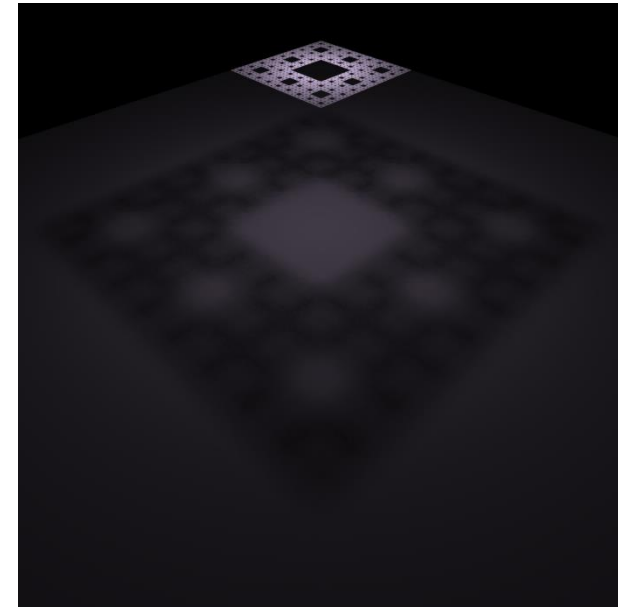


Occlusion map zonder  
stochastische visibiliteit



Tijd: 224s  
Intersecties: 4131M

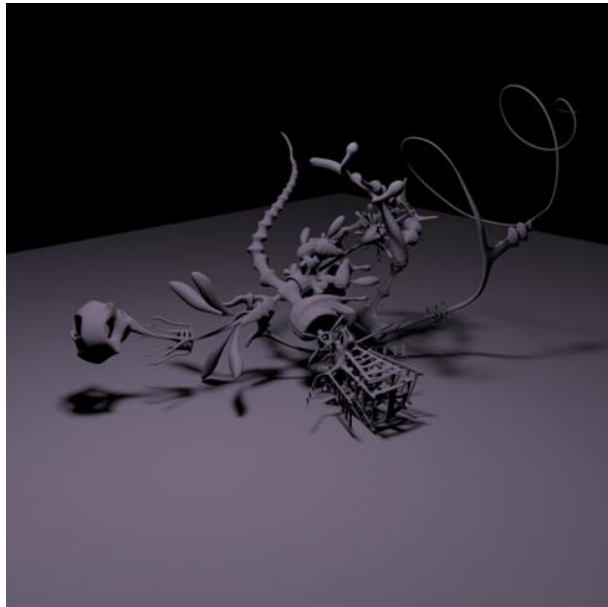
Occlusion map met  
stochastische visibiliteit



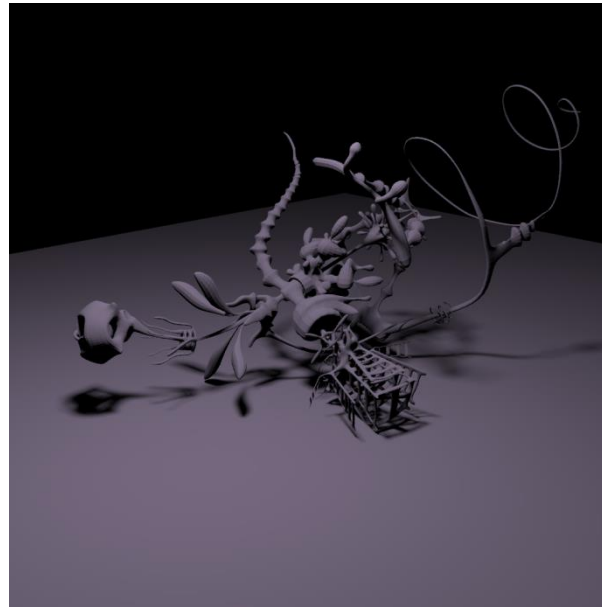
Tijd: 314s  
Intersecties: 4198M

# Resultaten

Referentie afbeelding

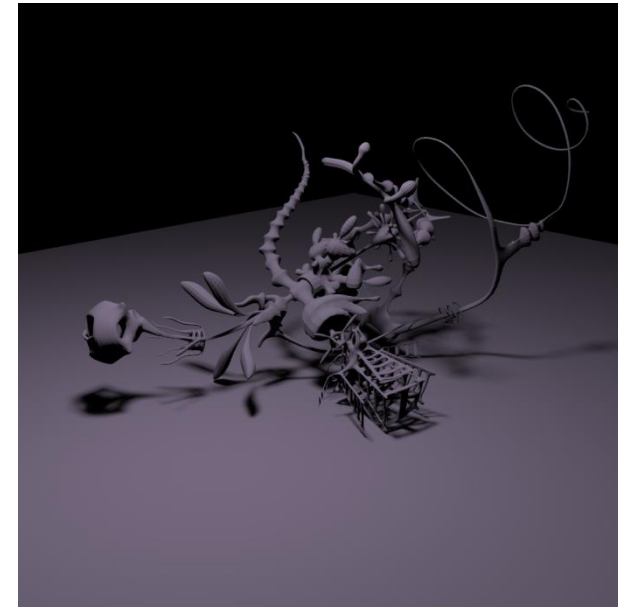


Occlusion map zonder  
stochastische visibiliteit



Tijd: 90s  
Intersecties: 1762M

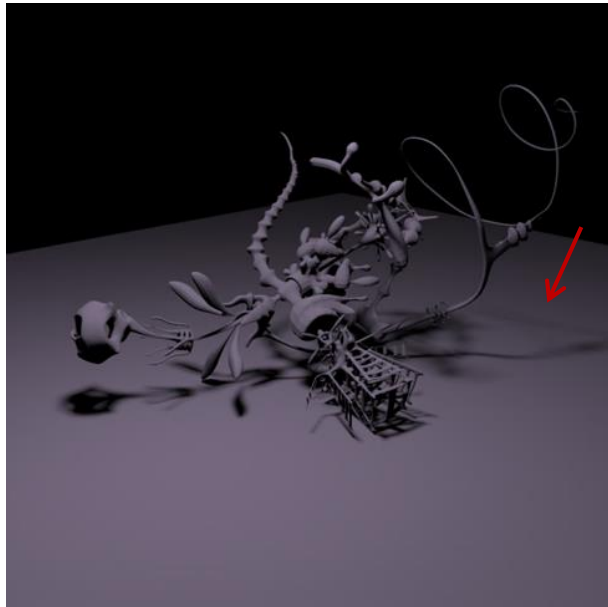
Occlusion map met  
stochastische visibiliteit



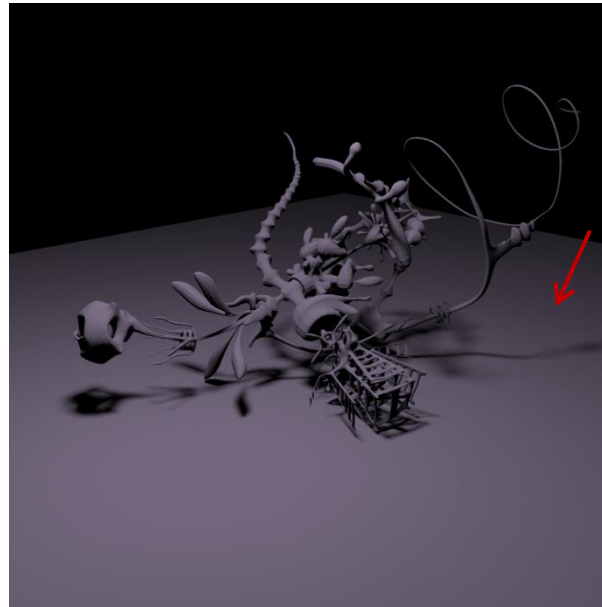
Tijd: 107s  
Intersecties: 1945M

# Resultaten

Referentie afbeelding

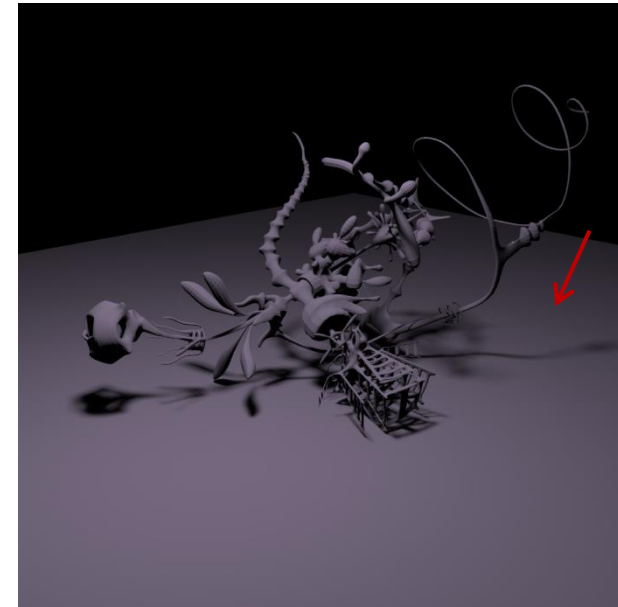


Occlusion map zonder  
stochastische visibiliteit



Tijd: 90s  
Intersecties: 1762M

Occlusion map met  
stochastische visibiliteit



Tijd: 107s  
Intersecties: 1945M

# Resultaten

- **Kwaliteit is verbeterd**
  - Volumetrische occluders en adaptieve photon distributie compenseren voor gemiste geometrie
- **Performantie**
  - **Stochastische visibiliteit is trager**
    - 2 acceleratiestructuren bouwen t.o.v. 1 acceleratiestructuur
    - acceleratiestructuur is zeer efficiënt in het vinden van eerste intersectietest

# Inhoud

- Probleemstelling
- Theorie
- Praktisch algoritme
- **Besluit**

# Besluit

- Stochastische evaluatie van de visibiliteit convergeert naar het juiste resultaat
- Occlusion map algoritme met stochastische visibiliteit levert kwalitatief goede resultaten op
  - rendertijd en aantal intersecties zijn minder goed dan directe visibiliteit



# Bedankt voor de aandacht

