

# Path Tracing

VFX/TECHNIK

Rendering-Technik die Lichtpfade verfolgt für physikalisch korrekte globale Beleuchtung.

Überblick Path Tracing (deutsch oft „Pfadverfolgung“) ist ein Rendering-Verfahren der Computergrafik, das die Ausbreitung von Licht in einer virtuellen Szene physikalisch plausibel simuliert. Es ist eine Form des Ray Tracing: Statt für jeden Strahlentreffer einen verzweigten Baum aus Sekundärstrahlen zu erzeugen, verfolgt Path Tracing pro Sample einen einzelnen, zufällig gewählten Lichtpfad durch die Szene. Aus vielen solcher Pfade entsteht durch Mittelung ein Schätzwert für die Helligkeit jedes Pixels. Das Verfahren wurde 1986 von Jim Kajiya zusammen mit der von ihm formulierten Rendering-Gleichung („rendering equation“) vorgestellt. Path Tracing löst diese Gleichung näherungsweise und behandelt direkte Beleuchtung, indirekte Beleuchtung (Global Illumination), weiche Schatten, Reflexionen, Brechungen, Farbüberstrahlung („color bleeding“) und volumetrische Effekte als unterschiedliche Ausprägungen desselben Lichttransports. Funktionsweise Path Tracing wendet Monte-Carlo-Integration auf die Rendering-Gleichung an. Pro Pixel werden zufällige Strahlrichtungen gesampelt und die Ergebnisse über viele Iterationen gemittelt. Weil die Pfade zufällig gewählt werden, erzeugt das Verfahren prinzipbedingt Bildrauschen, das mit steigender Anzahl der Samples pro Pixel abnimmt. Für saubere Ergebnisse sind häufig viele tausend Samples pro Pixel nötig. Lichttransport: Reflexion, Brechung, Streuung und Emission werden über die Materialeigenschaften (BRDF) der getroffenen Oberflächen ausgewertet. Rauschen vs. Rechenzeit: Mehr Samples reduzieren das Rauschen, erhöhen aber die Renderzeit. Denoising: Moderne Path Tracer nutzen Entrausch-Verfahren (u. a. neuronale Netze, kantenerhaltende und bilaterale Filter), um die nötige Sample-Zahl und damit die Renderzeit zu senken. Einsatz in Film und VFX Path Tracing ist seit Jahren der Standard für das Offline-Rendering in Film und Visual Effects, da es physikalisch korrekte Reflexionen, natürliche indirekte Beleuchtung und konsistente Bildqualität über ganze Shot-Sequenzen liefert. Verbreitete Produktions-Renderers, die auf Path Tracing aufbauen, sind unter anderem: Pixar RenderMan – als Path-Tracing-Architektur neu aufgebaut. Arnold (ursprünglich von Marcos Fajardo) – als Brute-Force-Monte-Carlo-Path-Tracer für die Produktion. Chaos V-Ray. Blender Cycles. Disney Hyperion. Mit Hardware-beschleunigtem Ray Tracing und KI-gestütztem Denoising hat sich Path Tracing zunehmend auch für Echtzeit-Anwendungen geöffnet, bleibt im klassischen VFX-Workflow aber primär ein Offline-Renderverfahren.