

Volumetrische Methoden für die Echtzeitdarstellung von Atmosphärischen Phänomenen

Stefan Röttger

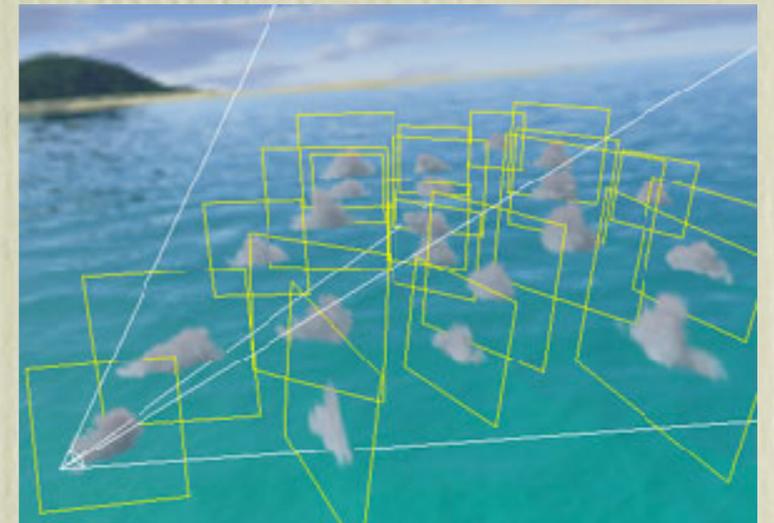
2.6.2004

Atmosphärische Phänomene



Problempunkte

- Hohe geometrische Komplexität
- Schwierige Beleuchtungsverhältnisse
- Breites Spektrum
 - Dunst
 - Bodennebel
 - Schleierwolken
 - Cumulus Wolken
 - Wolkenschichten
 - Regenwolken
- Herkömmliche Methoden konzentrieren sich auf vereinzelte Schönwetterwolken
- Bedarf an echter volumetrischer Lösung



Gasförmiges Medium

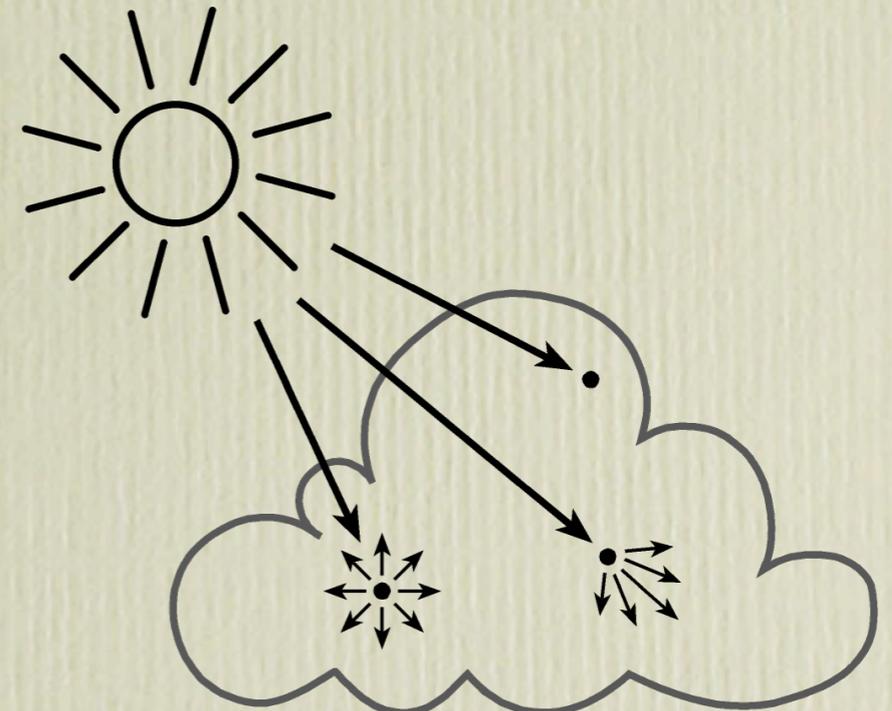
Anisotrope Streuung



Isotrope Streuung



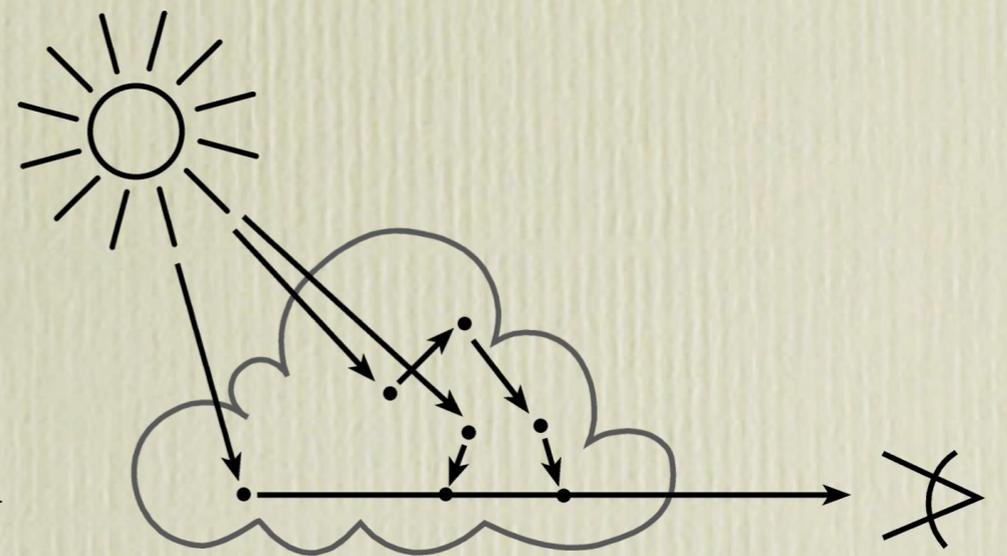
- Absorption
 - Beer-Lambert: $I' = I \exp(-\rho x)$
- Streuung
 - Gase: Rayleigh-Streuung
 - wellenlängenabhängig
 - Wassertröpfchen: Mie-Streuung
 - wellenlängenunabhängig
 - Iso- und Anisotrope Streuung



Lichtstreuung

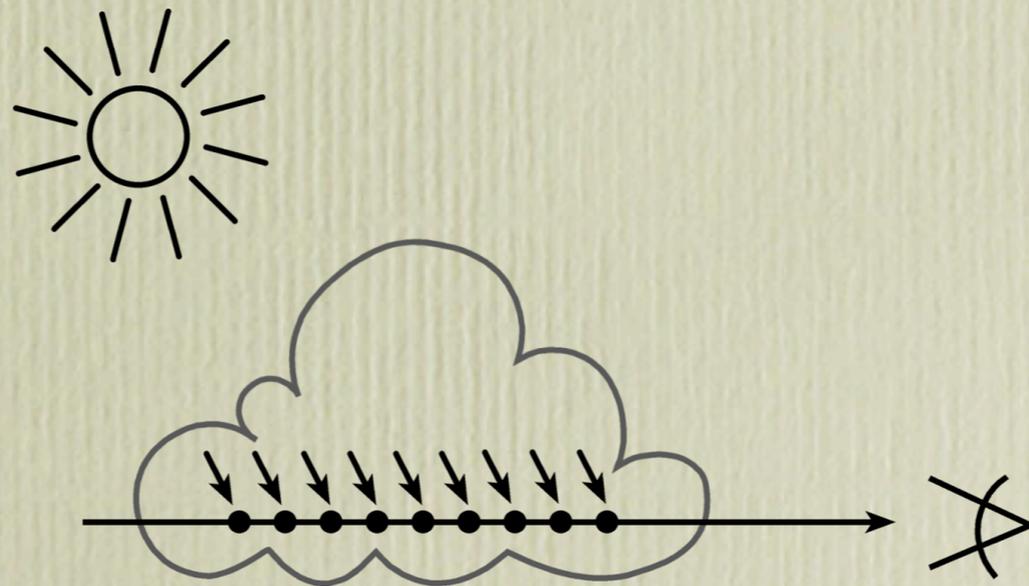


- Visueller Eindruck wird massgeblich von Mehrfachstreuung bestimmt
 - Mittlere freie Weglänge eines Photons in Wolken bei sichtbarem Licht etwa 10m



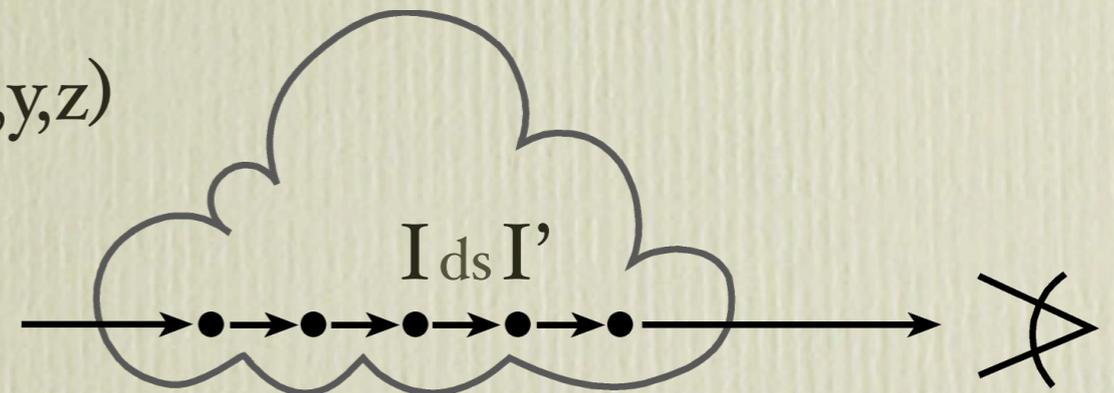
Simulation der Streuung

- Im Allgemeinen sehr zeitaufwändig
- Wie erreiche ich Interaktivität?
 - Vorberechnung der Strahlintensität
 - Nur für isotrope Streuung möglich
 - Reduktion auf ein Strahlintegral entlang des Sehstrahls



Numerische Integration

- Volumen besteht aus zwei Komponenten
 - Dichtefunktion $f(x,y,z)$
 - Strahlungsintensität $g(x,y,z)$
- Berechnung der Helligkeit auf jedem Sehstrahl durch numerische Integration der Emission und Absorption (nach Beer-Lambert)
- Für jedes Wegstück ds :
 - Emission $eps = g(x,y,z) ds$
 - Optische Dichte $tau = rho f(x,y,z)$
 - $I' = I \exp(-tau ds) + eps$



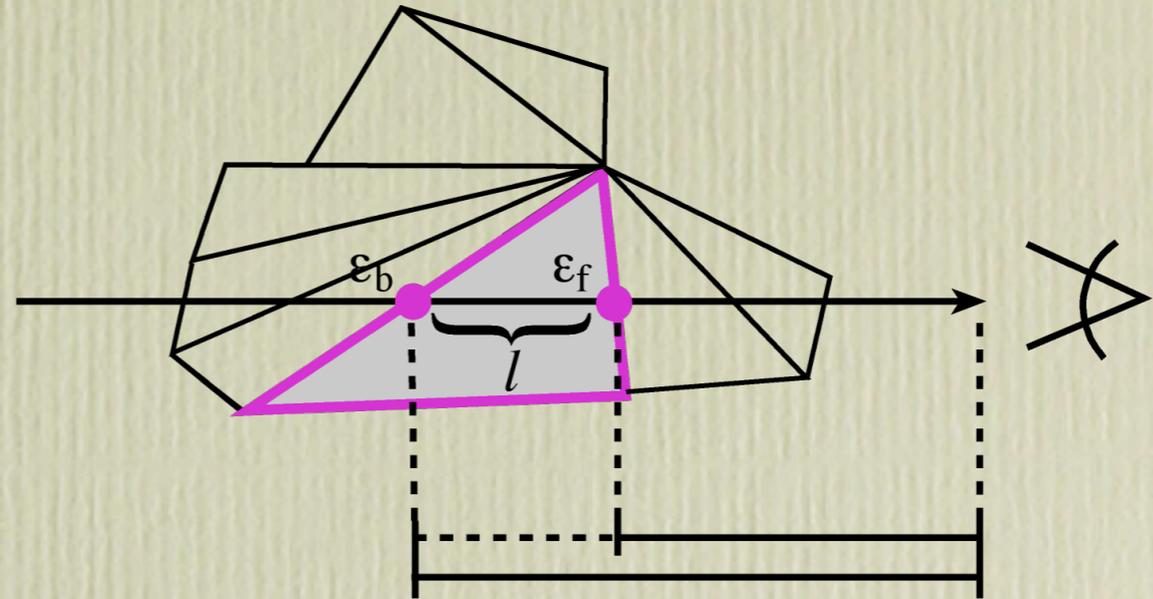
Vereinfachung des Integrals

- Annahme, dass keine Absorption auftritt
- Strahlintegral reduziert sich auf das Wegintegral über die Strahlungsintensität
 - Für einen stückweise linearen Intensitätsverlauf heisst das, dass das Integral auf dem Stück gleich der Weglänge multipliziert mit dem Durchschnitt der Emission ist.

PCP Verfahren

- Projected Convex Polyhedra (PCP)
- Volumen setzt sich aus konvexen Elementen zusammen (Prismen, Tetraeder, etc.)
- Nehme linearen Verlauf auf Strahlsegment an
 - Beitrag eines jeden Elements auf einem Sehstrahl ist die Länge des Strahlsegments multipliziert mit der durchschnittlichen Emission bzw. Farbe
 - Das Sehstrahlintegral ist gleich der Summe der Beiträge, d.h. Zeichnen der Elemente in beliebiger Reihenfolge

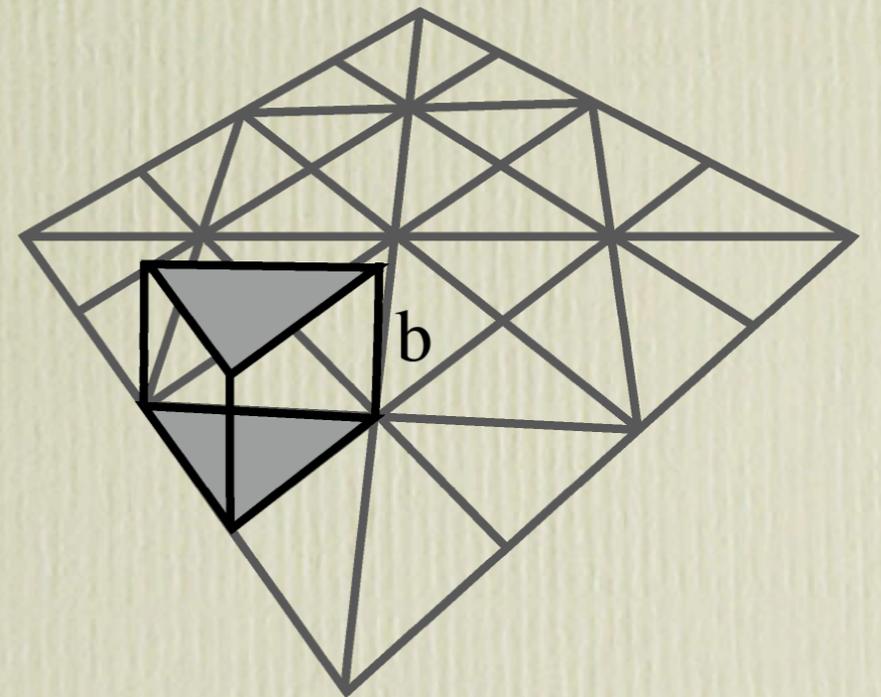
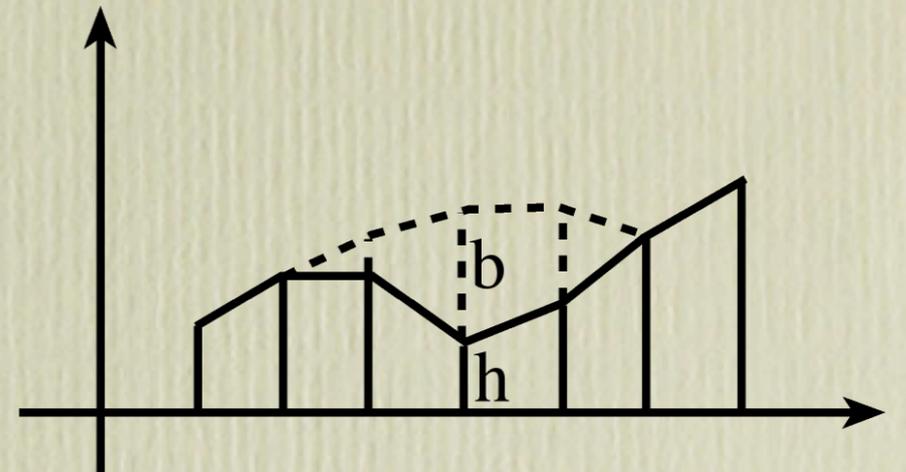
PCP Verfahren



- Für jedes konvexe Element
 - Zeichne Rückseiten mit Helligkeit = Entfernung zum Augpunkt (nur alpha Kanal)
 - Zeichne Vorderseiten genauso, aber zusätzlich mit subtraktivem Blending (nur alpha Kanal)
 - Im alpha Kanal steht jetzt die Strahlsegmentlänge
 - Zeichne Vorder- und Rückseiten nochmal mit Farbe = $Emission/2$ und multipliziere jeweils mit alpha Kanal

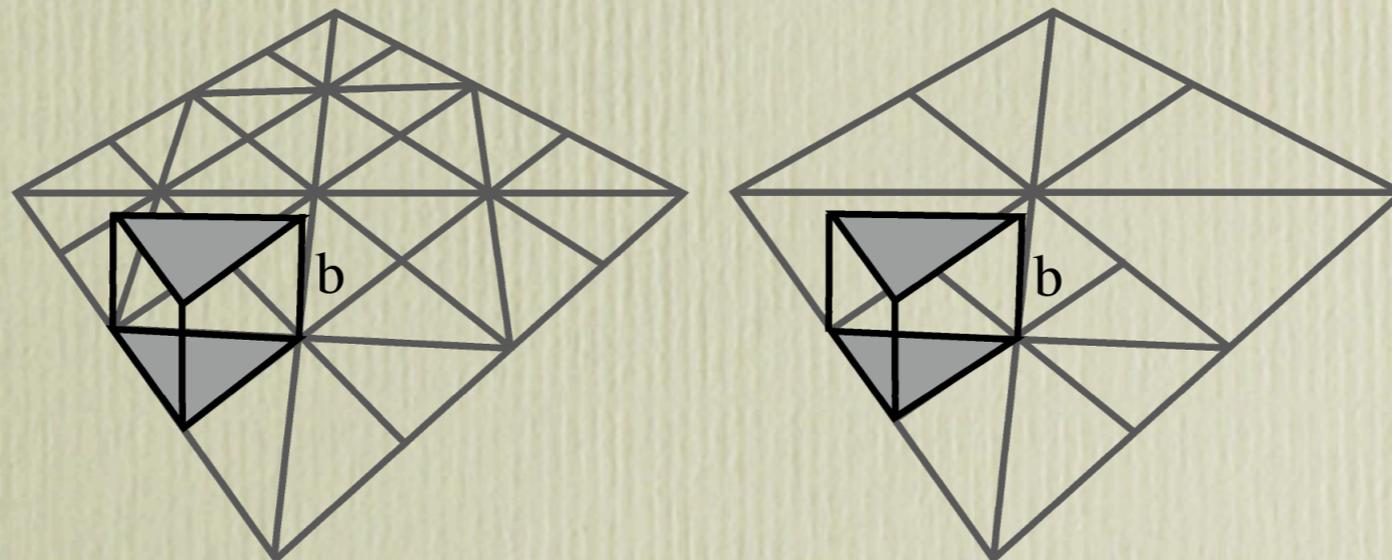
Bodennebel

- Terrain Renderer erzeugt aus einem Höhenfeld/Rasterbild ein Dreiecksgitter
- Setze auf jedes erzeugte Dreieck ein Prisma, dessen Höhe durch die Nebelschicht definiert ist
- Nebelschichtdicke wird in zweitem Höhenfeld gespeichert
- Zeichne jedes Prisma mit PCP Verfahren
- Ca. 2 MP/s

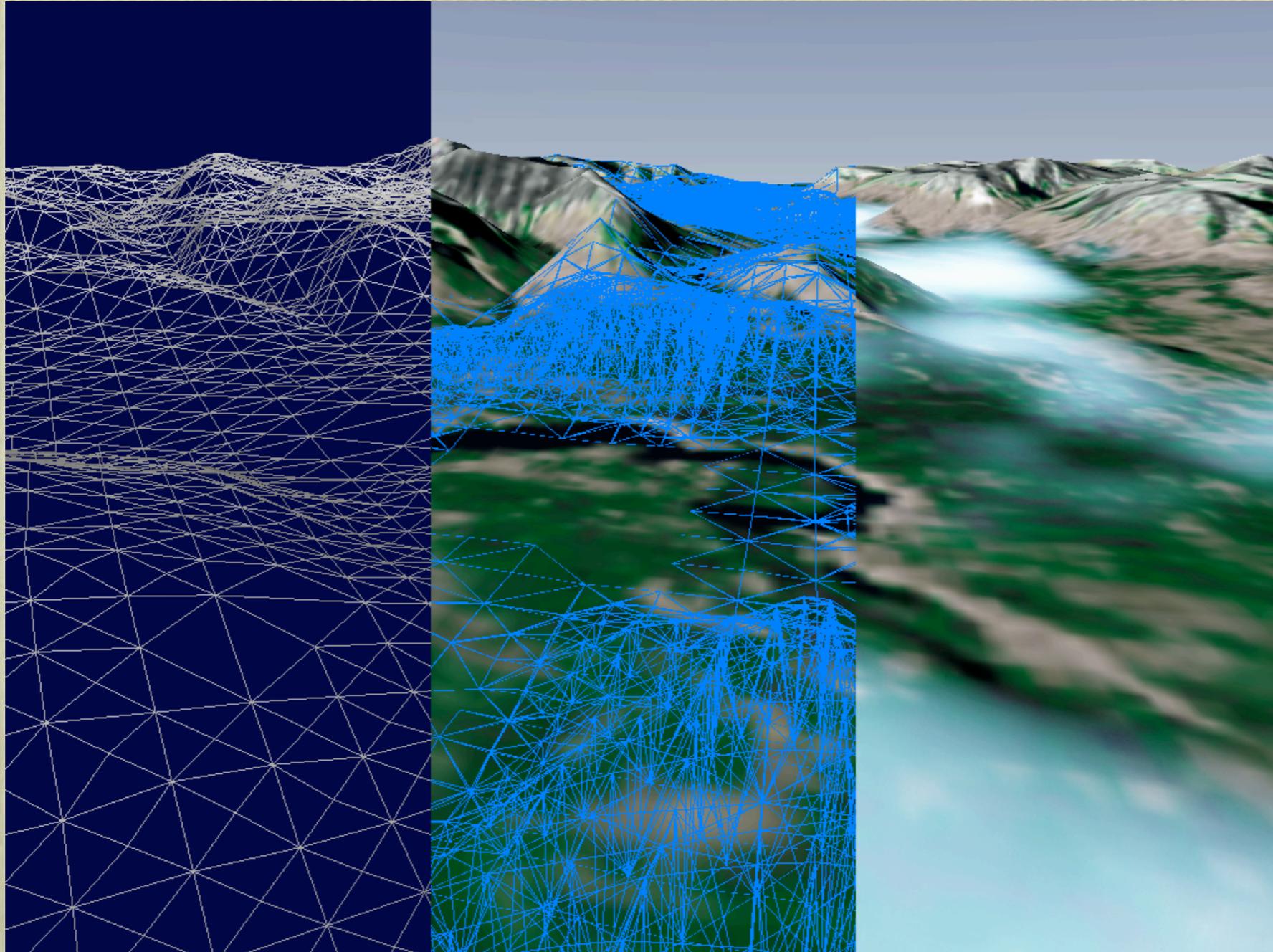


Hierarchische Verfahren

- Höhenfeld $1024 \times 1024 = \text{ca. } 2 \text{ Mio Dreiecke}$
- Augpunktabhängige Verfahren zur Reduktion der geometrischen Komplexität
- Hierarchische Unterteilung anhand von
 - Abstand zum Augpunkt
 - Oberflächenkrümmung

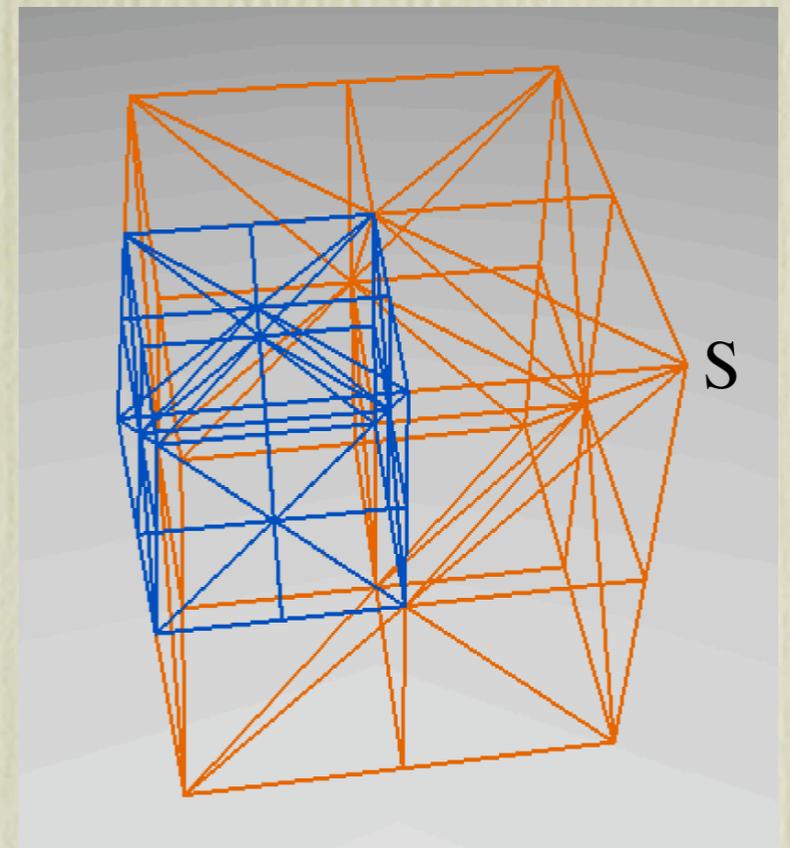
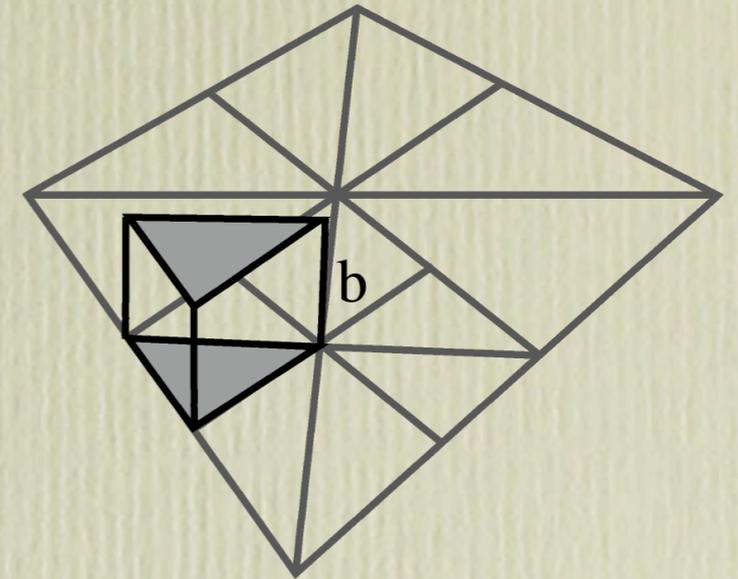


Yukon Territory



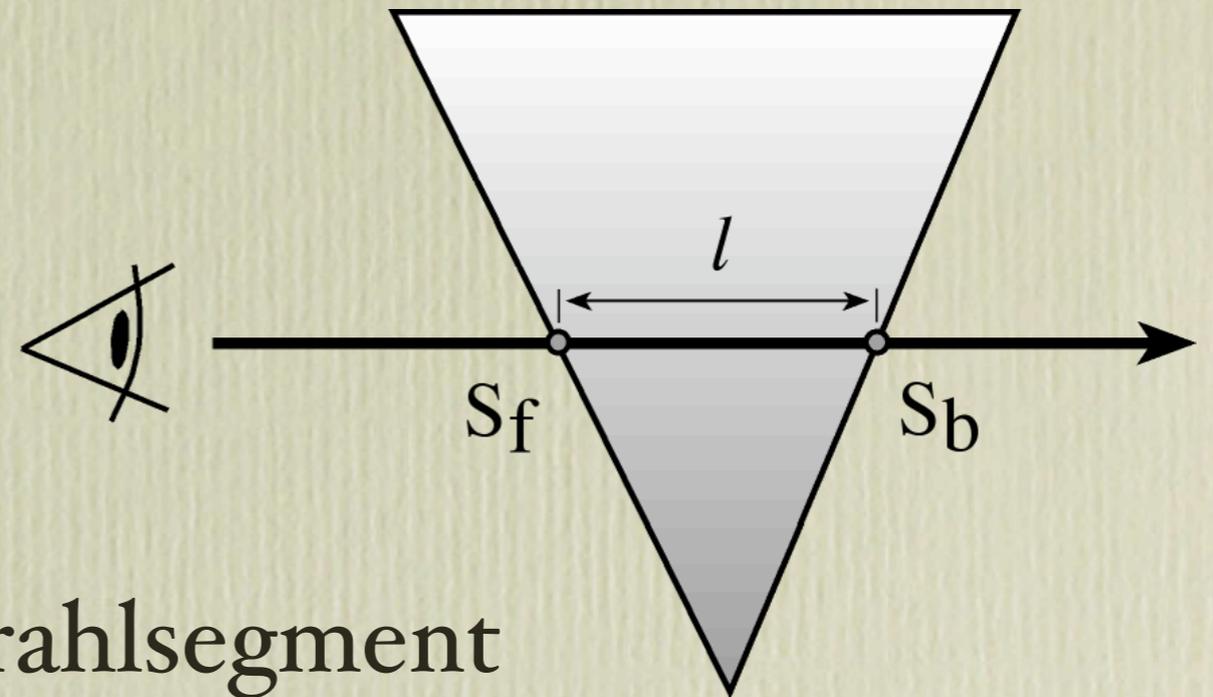
Wolken

- Analog zu Höhenfeldern erzeugt ein Volume Renderer aus einem Volumendatensatz eine augpunktabhängige hierarchische Tetraederdarstellung
- Für Wolken ist PCP nur bedingt geeignet
- Zeichne jeden Tetraeder mit besserer Methode, d.h. mit Emission und Absorption
 - Sortieren notwendig



Zellprojektion

- Annahme:
 - Emission = $\kappa(f(x,y,z))$
 - Absorption = $\rho(f(x,y,z))$
- Das Integral auf einem Strahlsegment durch einen Tetraeder hängt von dem Funktionswert am vorderen und hinteren Eintrittspunkt und der Strahlsegmentlänge ab
- Insgesamt also drei Parameter S_f , S_b und l



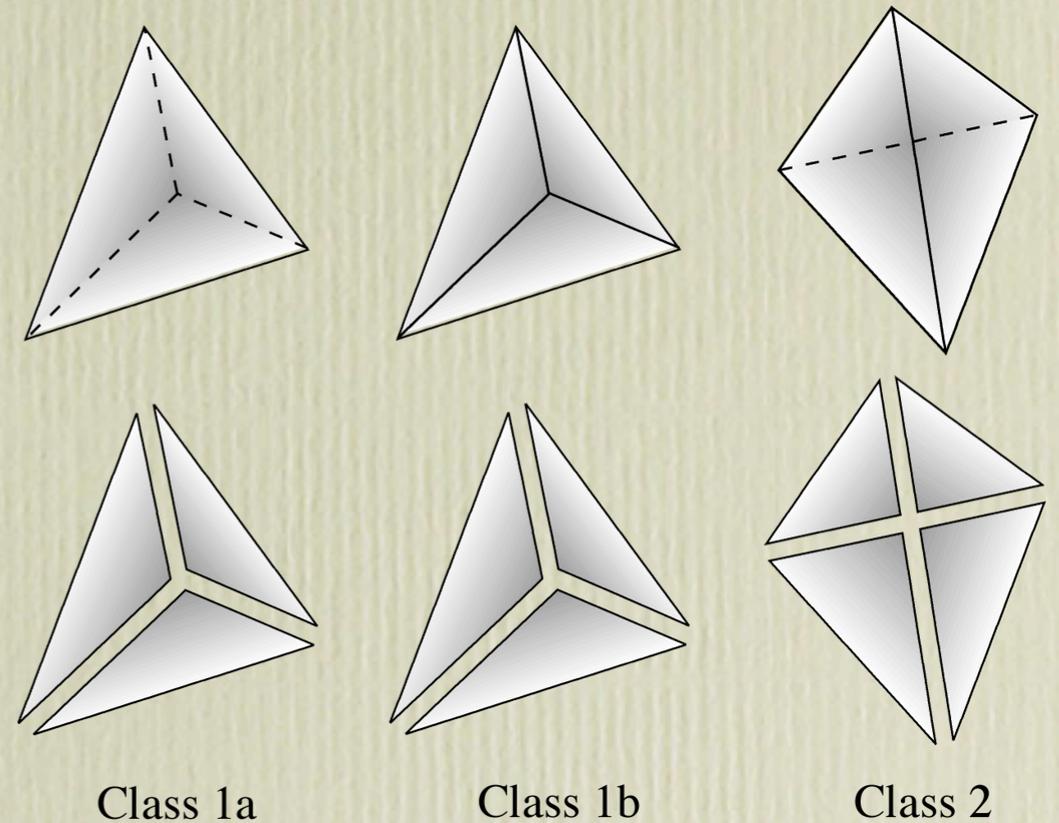
Strahlintegral

$$I' = \underbrace{\int_0^l \exp\left(-\int_0^t \rho(s_l(u)) du\right) \kappa(s_l(t)) \rho(s_l(t)) dt}_{\text{RGB}_{t3D}} + \underbrace{\exp\left(-\int_0^l \rho(s_l(t)) dt\right)}_{1 - \alpha_{t3D}} \times I$$

- Prinzip der Prä-Integration
 - Vorberechnen des Strahlintegrals für alle Kombinationen von S_f , S_b und l
 - Speichern in 3D Textur
 - Vorteil: beliebige TF kappa und rho

Projektionsklassen

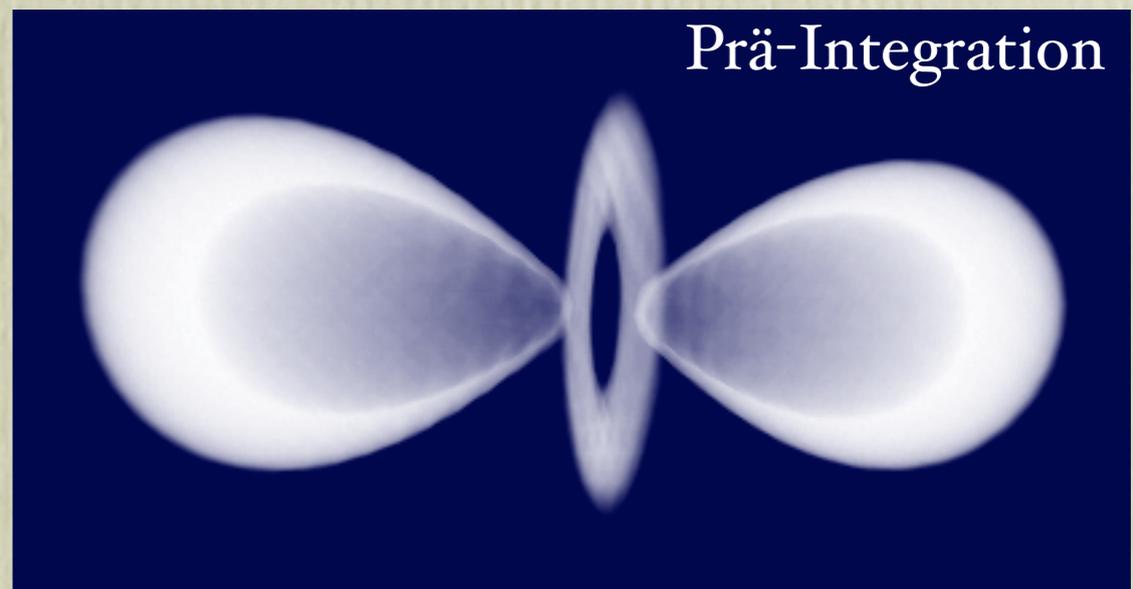
- Projektion eines Tetraeders hat nur zwei unterschiedliche Formen
- Zeichnen durch Triangle Fan um Mittelpunkt mit Texturkoordinaten = $(S_f, S_b, 1)$
 - Segmentlänge am Rand ist Null und in der Mitte maximal
 - Skalarwerte am Mittelpunkt interpolieren



1.5 MT/s

PCP vs. Prä-Integration

- κ = ab einem Schwellwert weiss
- $\rho = 0$
- Mit PCP lineare Approximation des Strahlintegrals
- Mit Prä-Integration exakt soweit die Auflösung der Tabelle ausreicht

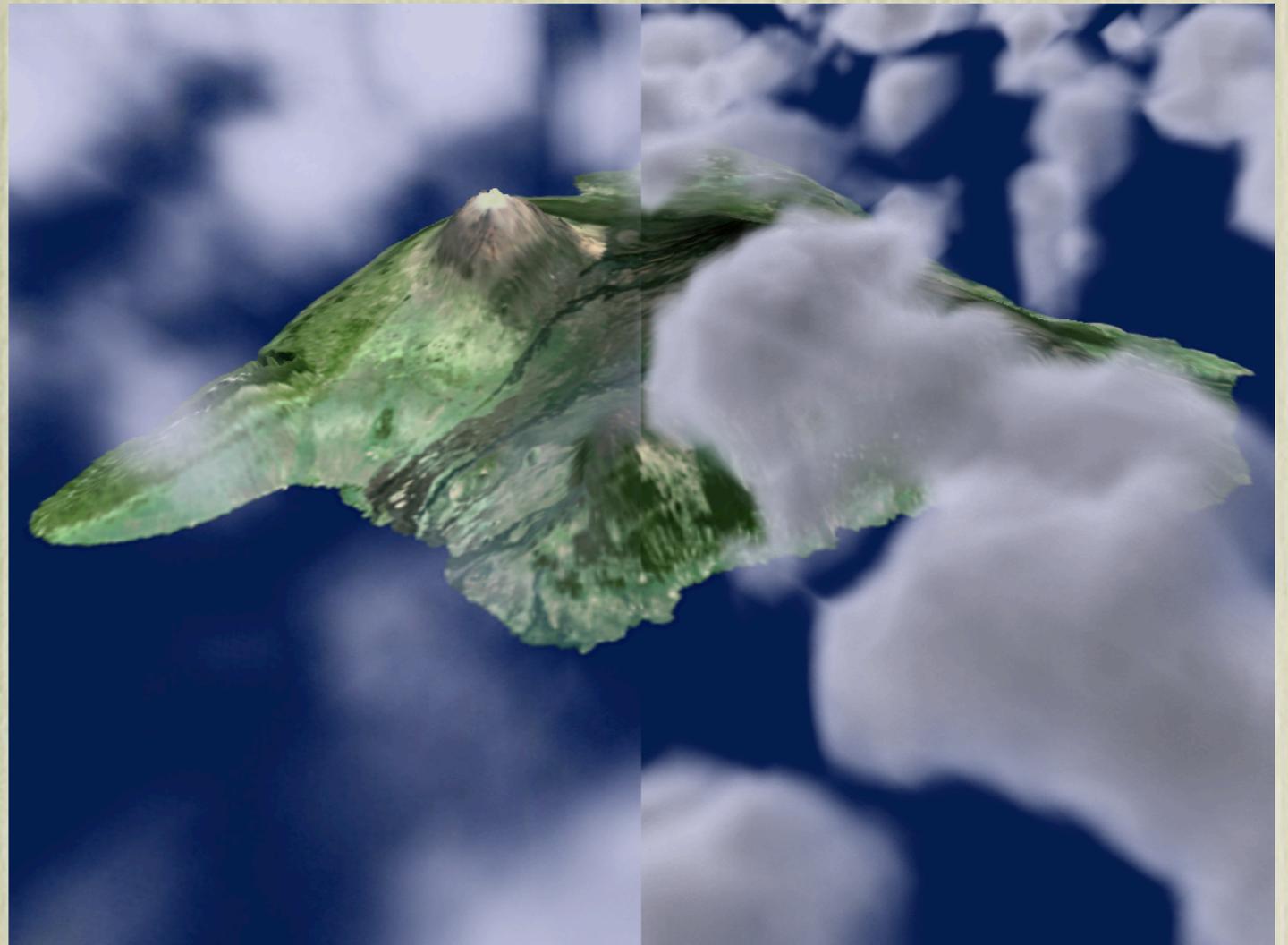


Prä-Integration für Wolken

- Bei Prä-Integration sind κ und ρ Funktionen von f , κ sollte aber eine Funktion von g sein
- Lösung: für lineare ρ ist die Erhöhung der Geradensteigung gleichbedeutend mit einer Verlängerung der Segmentlänge l .
 - Prä-Integrieren von $\kappa(g(x,y,z))$ für $\rho = \rho_{\max}$
 - Verwenden von $l' = l \rho(f(x,y,z)) / \rho_{\max}$

Ergebnisse

- Grosse Insel von Hawaii
- 3D Perlin Noise definiert Dichte f
- Strahlungsintensität g angenähert
- Links PCP



Stuttgart



Zusammenfassung

- Zwei neue volumetrische Methoden
 - PCP Methode
 - Prä-integrierte Zellprojektion
- Abgrenzung zu herkömmlichen Methoden
 - grösserer Aufwand nötig für realistische Wolken
 - aber interaktive Visualisierung beliebiger Wolkenformationen möglich
- Vorteile/Nachteile
 - PCP schnell aber nur emissives optisches Modell
 - Prä-Integration langsamer wegen aufwändiger Projektion und Sortierung, aber sehr genau und flexibel

Ende

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit