

Darstellungsarten für 3D-Körper

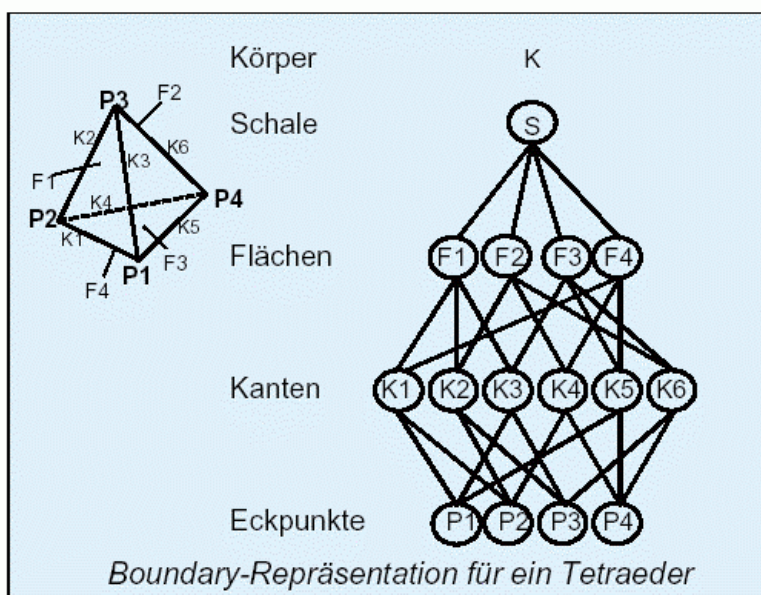
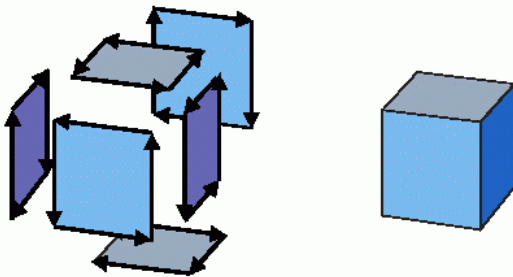
Boundary Representation (BRep):

Darstellung eines (verallgemeinerten) Polyeders durch das System seiner Ecken, Kanten und Facetten

- Abspeichern durch (Teilgraphen des) *vef*-Graphen (siehe vorangegangener Abschnitt) – verschiedene Varianten möglich
- oft durch Eckenindex-Listen (vgl. VRML IndexedFaceSet-Knoten)
- Orientierung der Facetten wichtig fürs Rendering!

Boundary-Repräsentation (B-Rep)

Die B-Rep ist die am weitesten verbreitete Repräsentation zur Darstellung von Körpermodellen. Hierbei ist die Oberfläche eines 3D-Objektes vollständig von Flächenelementen eingeschlossen, deren Kanten einen einheitlichen Umlaufsinn besitzen.



Zellmodelle

1. Nomzellen-Aufzählungsschema
2. Zellzerlegungsschema
3. Oktalbäume (Quadrees und Octrees)
4. BSP-Trees

Normzellen-Aufzählungsschema

(auch: *Voxel-Modelle*; *SOE = spatial occupancy enumeration*)

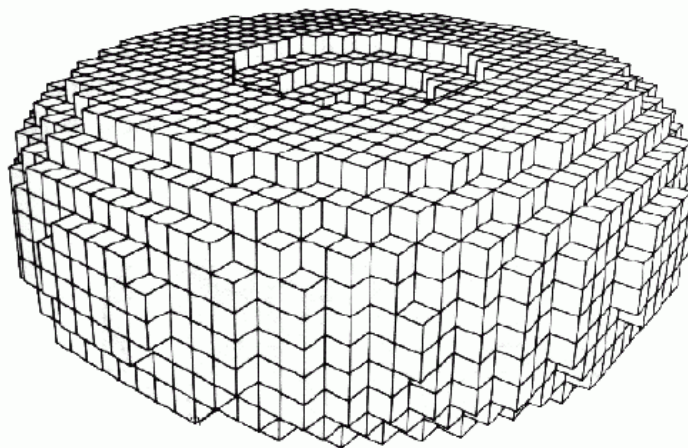
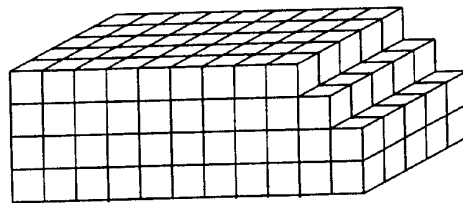
Ein Körper wird durch eine Menge von gleichgroßen dreidimensionalen Zellen dargestellt (meist Würfel der Kantenlänge h). Eine Zelle wird dabei durch die Koordinaten ihres Mittelpunktes repräsentiert. *Voxel* = volume pixel ("3D-Pixel").

Kriterium: Liegt der Mittelpunkt einer Zelle im Körper oder nicht?

Alle Zellen, deren Mittelpunkt im Körper liegen, ergeben eine Liste von Zellen bzw. eine Bit-Matrix.

Genauigkeit: abhängig von der Kantenlänge h , dem zur Verfügung stehenden Speicherplatzressourcen, der Beschaffenheit der Begrenzungsflächen des Körpers (eben oder gekrümmt). bei sehr hohem Speicherplatzbedarf Methoden der Lauflängencodierung für die Bit-Matrix verwendet.

Vorteil: die einzelnen Voxel können mit zusätzlichen Parametern (Temperatur, Stoffkonzentrationen usw.) versehen und entsprechend eingefärbt werden. Anwendung u.a. in der medizinischen Visualisierung.

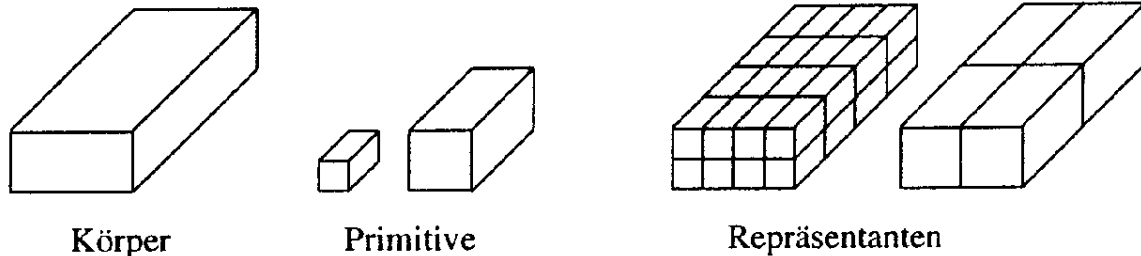


Zellzerlegungsschema:

Hier erfolgt die Modellierung eines Körpers aus (parametrisierten) Grundobjekten mittels Vereinigung ("Klebeoperationen").

Grundkörper: quaderförmig, eben berandet, aber auch gekrümmte Kanten/Flächen.

Für einen gegebenen Körper sind verschiedene Repräsentationen möglich (keine Eindeutigkeit):



Oktaalbäume (Octrees):

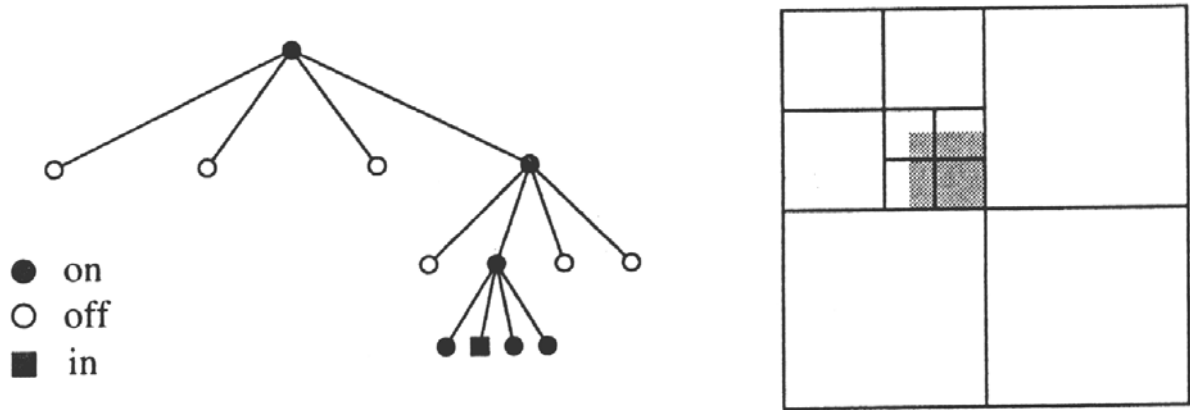
Anwendung eines hierarchischen und rekursiven Oktaalbaumschemas

1. ein den ganzen Körper umschließender Würfel wird gewählt
2. rekursiv wird dieser Würfel in Teilwürfel halber Kantenlänge geteilt, bis ein Teilwürfel entweder ganz im Körper oder ganz außerhalb des Körpers liegt.
Abbruch, wenn alle Teilwürfel im oder außerhalb des Körpers liegen oder die vorgegebene kleinste Kantenlänge erreicht ist.

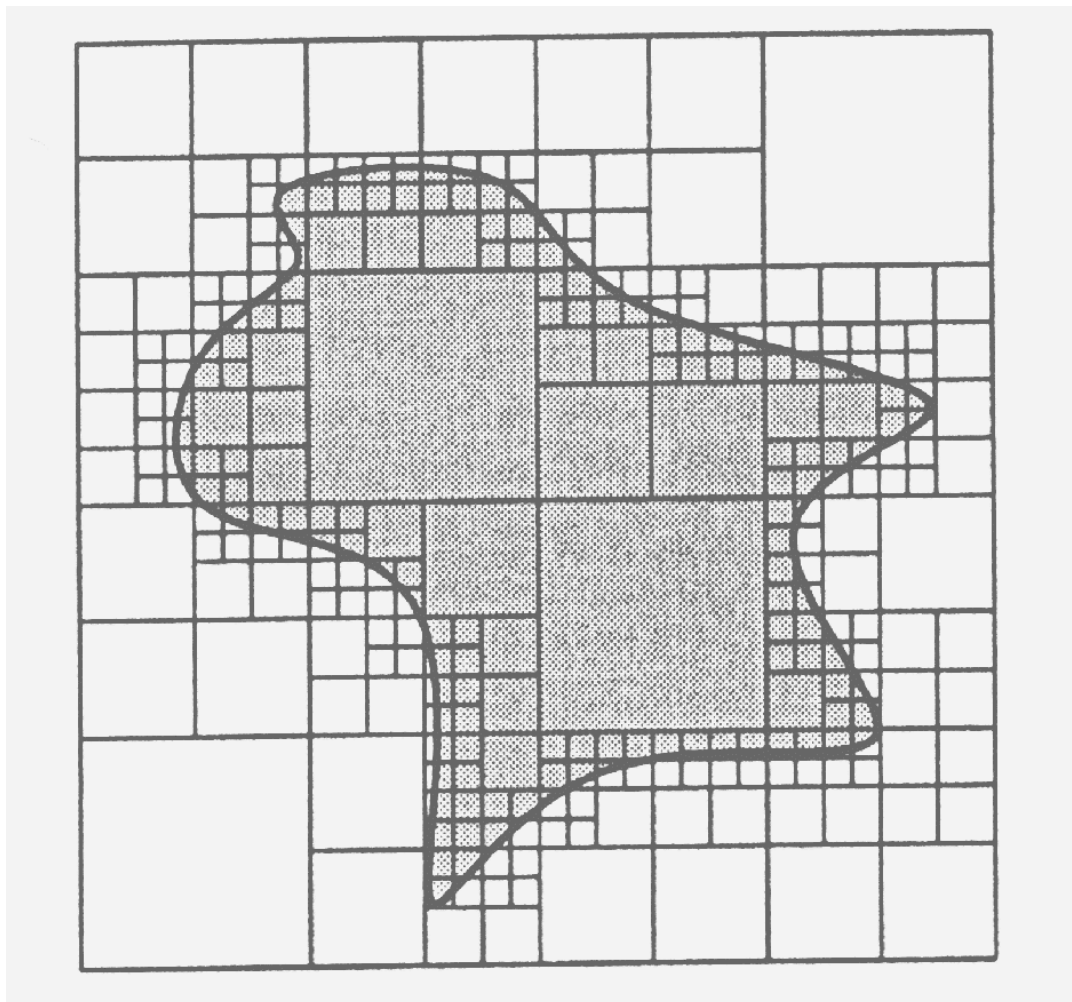
Octrees

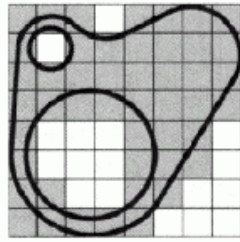
- hierarchische Variante der räumlichen Aufzählung
- abgeleitet von Quadrees
- Grundidee: Unterteilung des Volumens (Teile-und-Herrsche-Algorithmus)
- weniger Speicherplatzbedarf als Voxelmodelle
- Baum repräsentiert Modell
 - Knoten: Zelle mit Zustand (E=Leer, F=Voll, P=teilweise voll)
 - Kanten: Teilbereiche der Zelle

Beispiel: Quadtree (= 2D-Version der Datenstruktur) der Tiefe 3 für ein einfaches Objekt

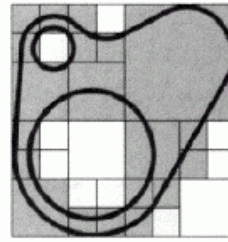


weitere Beispiele:





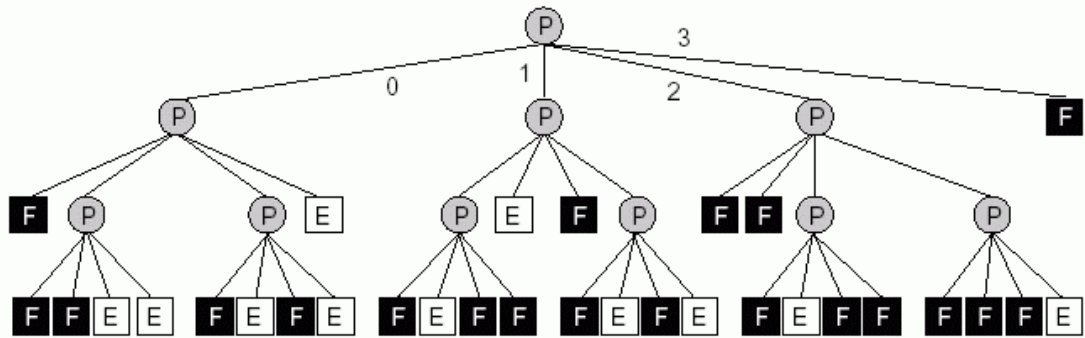
(a)



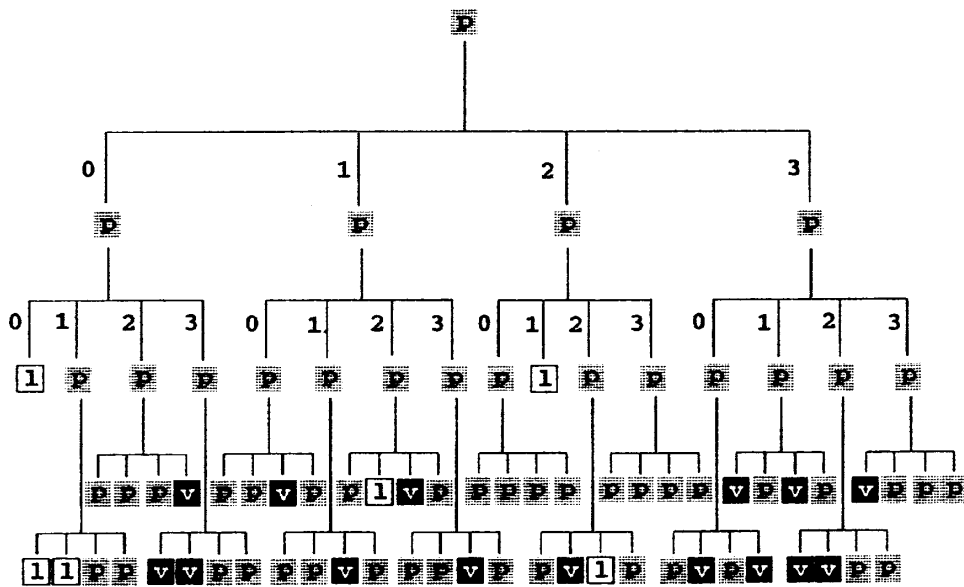
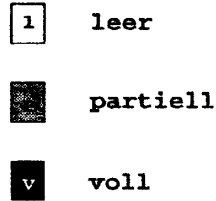
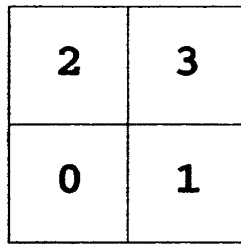
(b)

2	3
0	1

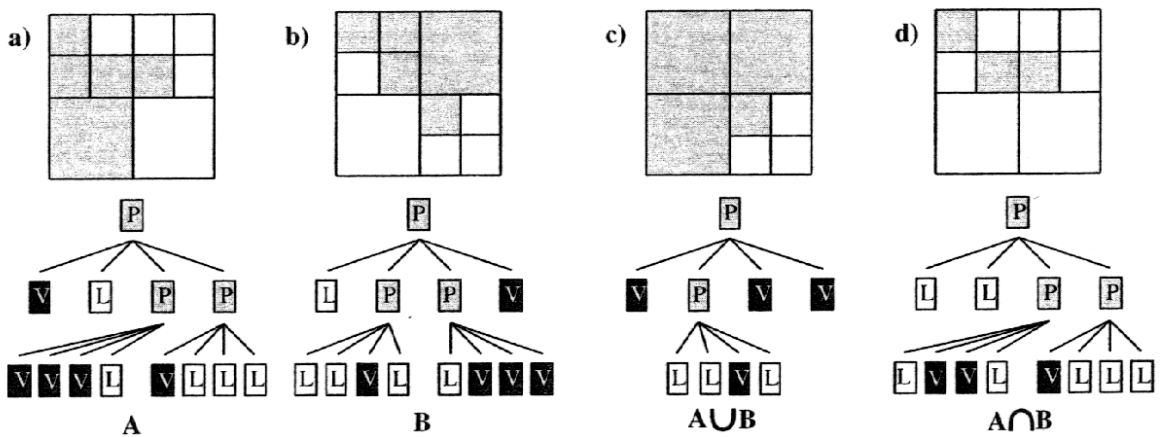
Quadrant numbering



Numerierung der Quadranten



Boolesche Operationen mit Quadrees:



Oktaalbäume sind im Speicherplatzbedarf oft eine Ordnung effizienter als Normzellen-Aufzählungsschemen .

Sie liefern einen eindeutigen Repräsentanten des vorgegebenen Körpers.

- generell weniger Speicherplatz als Voxelmodelle
- boolesche Operationen durch paarweises Traversieren der Bäume und Kombinieren der Knoten
- Transformationen in Spezialfällen einfach, generell kompliziert
- Problem: Auffinden *geometrischer* Nachbarn
- generelles Problem: Aliasing

Zusammenfassung: Zellmodelle oft bei Finite Elemente-Methoden benutzt
 Nachteilig ist, dass nur Körper sehr genau beschrieben werden können, deren Oberflächen parallel zu den Würfeln (Voxel) liegen.

Binary Space Partitioning - Bäume (BSP Trees):

Statt in Octrees zu zerlegen, wird eine binäre Raumaufteilung gewählt, dabei werden die Baumknoten nicht in acht Oktanten, sondern in zwei Hälften aufgeteilt. Das kann sukzessive in x,y,z -Richtung erfolgen. Eine Ebene mit beliebiger Richtung, Orientierung und Lage wird zur Trennung in Teilbäume benutzt.

Jeder Knoten besitzt dann eine Flächengleichung und zwei Zeiger auf die beiden Halbräume H1 und H2. Der Normalenvektor der Ebene zeigt dabei meist auf das „Äußere“ des H2-Halbraumes. Wird der Knoten nicht mehr unterteilt, entsteht ein Blatt, das einen Teil repräsentiert, der entweder ganz innen oder ganz außen zum Objekt liegt.

BSP-Trees

Octrees:

- Unterteilung je Level in *allen* drei Dimensionen
- Schnittebenen immer senkrecht zueinander

BSP-Trees:

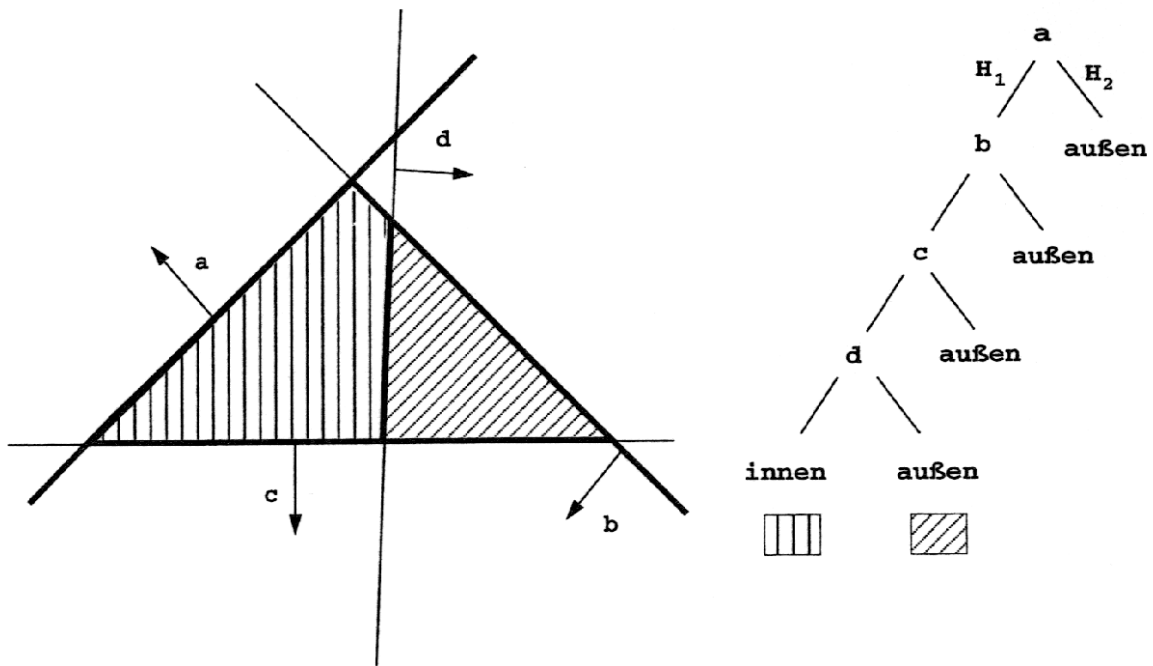
- Unterteilung in genau zwei Halbräume durch arbiträre Ebenen
- → Binärbaum
- Verwendung auch für Visible Surface Determination

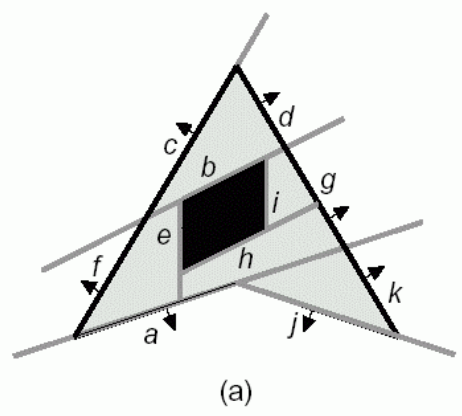
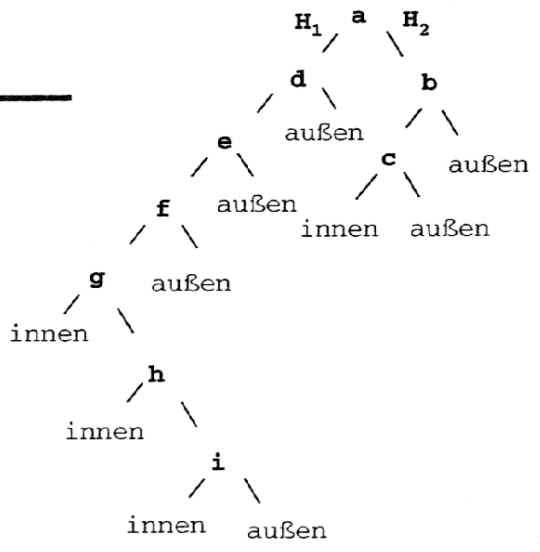
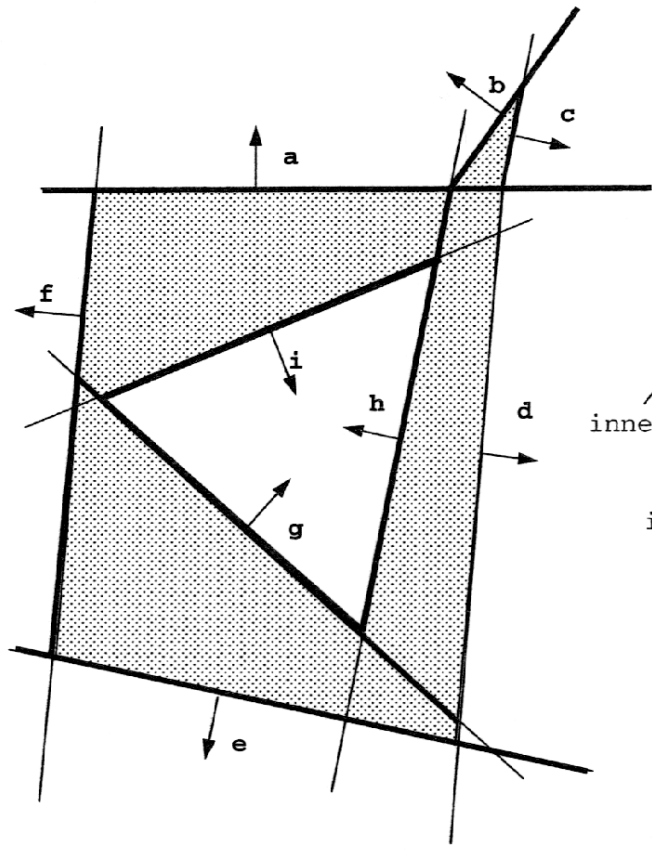
Innere Knoten repräsentieren eine Ebene (die zur Unterteilung benutzt wurde), Kindknoten entsprechen den Halbräumen auf je einer Seite der Ebene:

- links: hinter bzw. innerhalb der Ebene
- rechts: vor bzw. außerhalb der Ebene

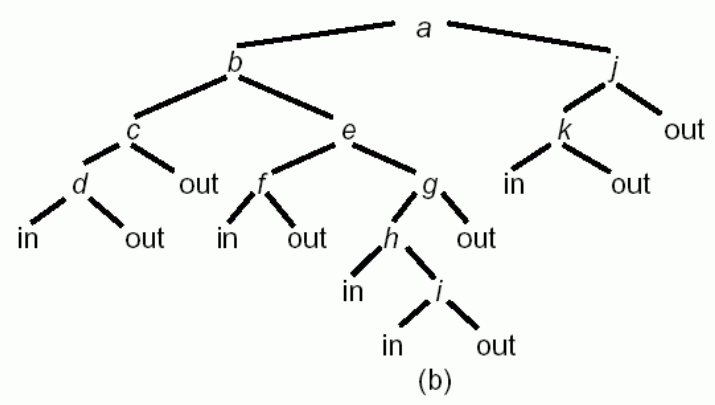
wenn die Normalen als nach außen zeigend angenommen werden.

Halbräume werden weiter unterteilt, wenn sie nicht homogen besetzt sind (dann ist der entsprechende Kindknoten Wurzel eines neuen Teilbaumes).





(a)

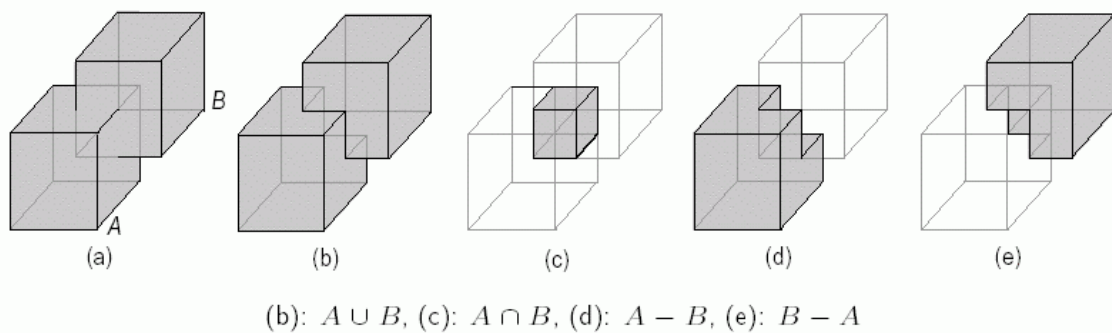


(b)

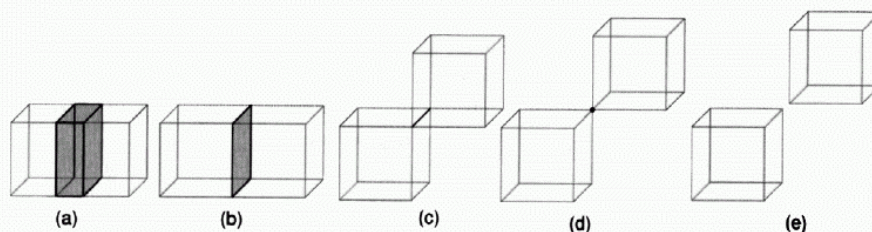
- zugrundeliegendes Unterteilungskonzept ist dimensionsunabhängig
→ Möglichkeit, eine geschlossene boolesche Algebra auf BSP-Bäumen zu definieren, was Operationen vereinfacht
- Polygone können zerteilt werden bei der Konstruktion des Baumes
→ möglicherweise weniger kompakte Repräsentation

CSG (Constructive Solid Geometry) - Modelle

- Modellierung entspricht der Vorgehensweise beim Konstruieren von Körpern
- Körper werden durch **regularisierte Mengenoperationen** aus vorgegebenen Grundkörpern gebildet



Problem: Bei konventionellen Mengenoperationen können Punkte, Strecken, Flächen oder Volumina entstehen.



Abhilfe: *Regularisierte Boolesche Operationen* → Ergebnisse sind immer Volumina

Definition für regularisierte Mengenoperationen:

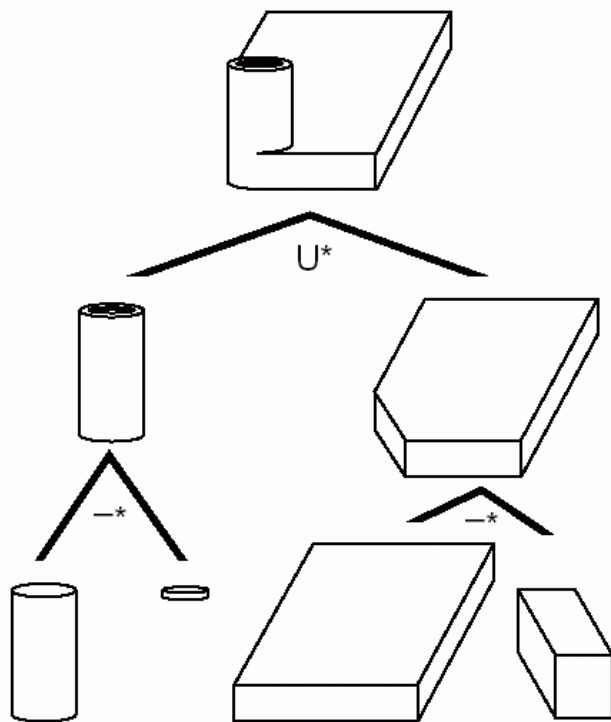
$$A \text{ op}^* B = \text{abgeschlossene Hülle (Inneres (A op B))}$$

Die Darstellung erfolgt als Binärbaum: Primitive = Blätter
Operatoren = Knoten

Für die geeigneten Grundkörper gilt als Eignungskriterium: Mengenberechnungen müssen schnell und effizient erfolgen können (Würfel, Zylinder, Halbraummodelle, Boundary-Modelle)

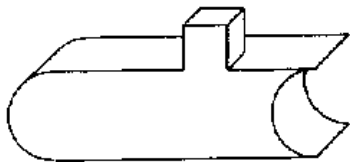
Bei CSG- Bäumen können verschiedene Bäume den gleichen Körper repräsentieren

Beisp.: Bildung eines Werkstückes aus Quadern und Zylindern



weiteres Beisp.:

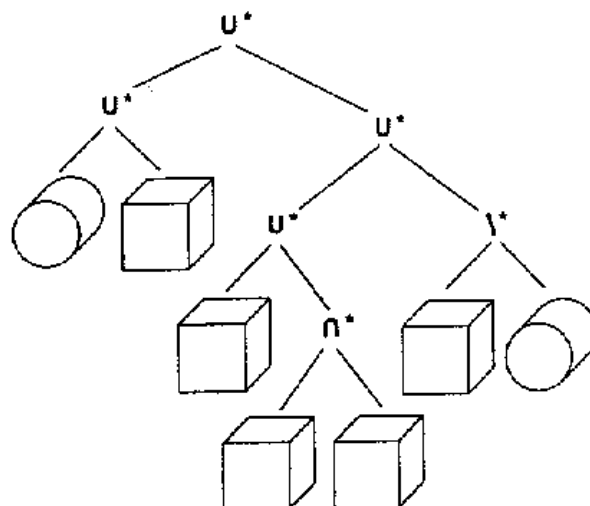
Objekt:



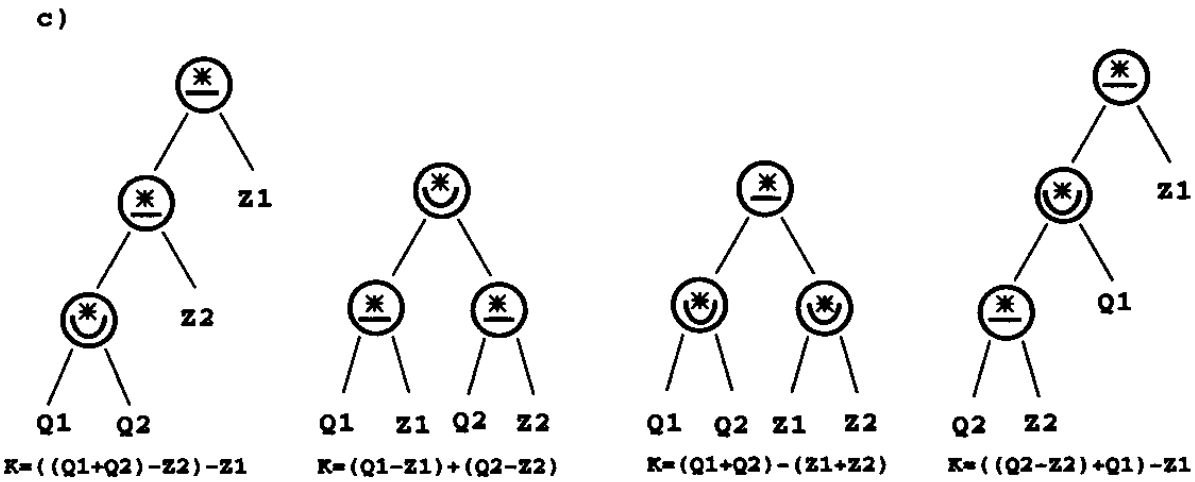
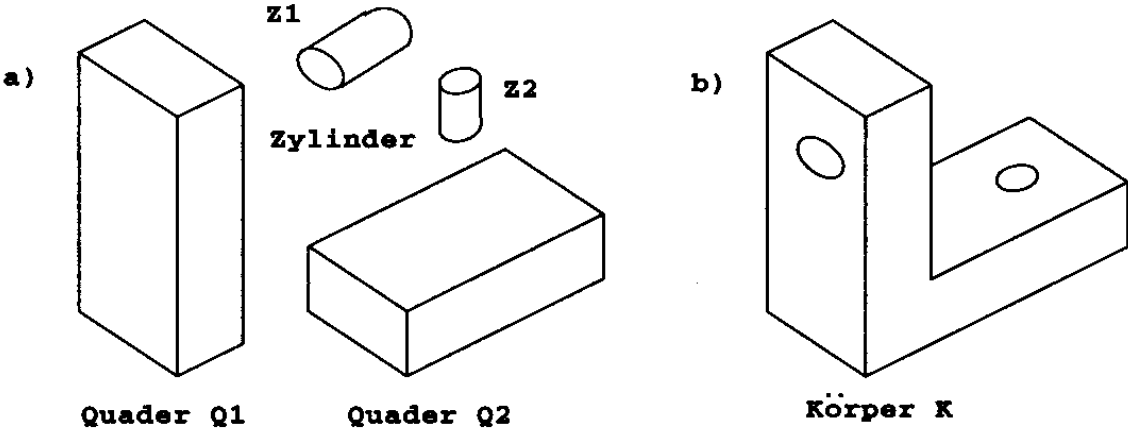
Primitive:



Konstruktionsbaum:



Nicht-Eindeutigkeit der CSG-Darstellung:



In einem CSG-Baum wird die Geometrie von Kanten und Flächen nicht im Baum abgespeichert!

Sie muss erst aus dem Baum ermittelt werden.

Klassifikation einer Menge M bezogen auf ein CSG-Objekt Q :

M : M in Q oder M auf Q oder M aus Q

Menge von	Menge von	Menge von Punkten,
Punkten, die in Q	Punkten, die auf	die außerhalb von Q
liegen	dem Rand von Q	liegen
	liegen	

Das muss auf der Ebene der Primitive berechnet werden, da nur sie die Geometriewerte enthalten. Dazu wird der Baum rekursiv bis zu den Primitiven durchlaufen, dann dort die Berechnung für ein Primitiv durchgeführt. Das Teilergebnis wird mit Hilfe der Operatoren (Knoten im Baum) wieder sukzessive zusammengesetzt, bis das Ergebnis für das Gesamtobjekt vorliegt.

Genau diese aufwändige Operation begrenzt die Einsatzgebiete.

Bei direkten Displayalgorithmen wird daher oft keine vollständige Konvertierung eines CSG-Baumes in eine Boundary -Repräsentation durchgeführt.

Bewertung CSG

- Beschreibung ist nicht eindeutig (mehrere mögliche Bäume für ein Objekt)
- gute Editierbarkeit, weite Verbreitung
- Darstellung über Strahlverfahren (Raytracing) gut möglich
- Konstruktion der endgültigen Oberfläche aufwendig

Hybridmodelle:

Grundidee: Jedes Modell ist nur für bestimmte Einsatzzwecke gut, für andere wiederum nicht.

Konstruktion: CSG-Darstellung gut wegen Boolescher Operationen.

schnelle Visualisierung : Boundary- Repräsentationen (BRep) besser, da keine Neuauswertungen des CSG Baumes nach affinen Transformationen nötig sind.

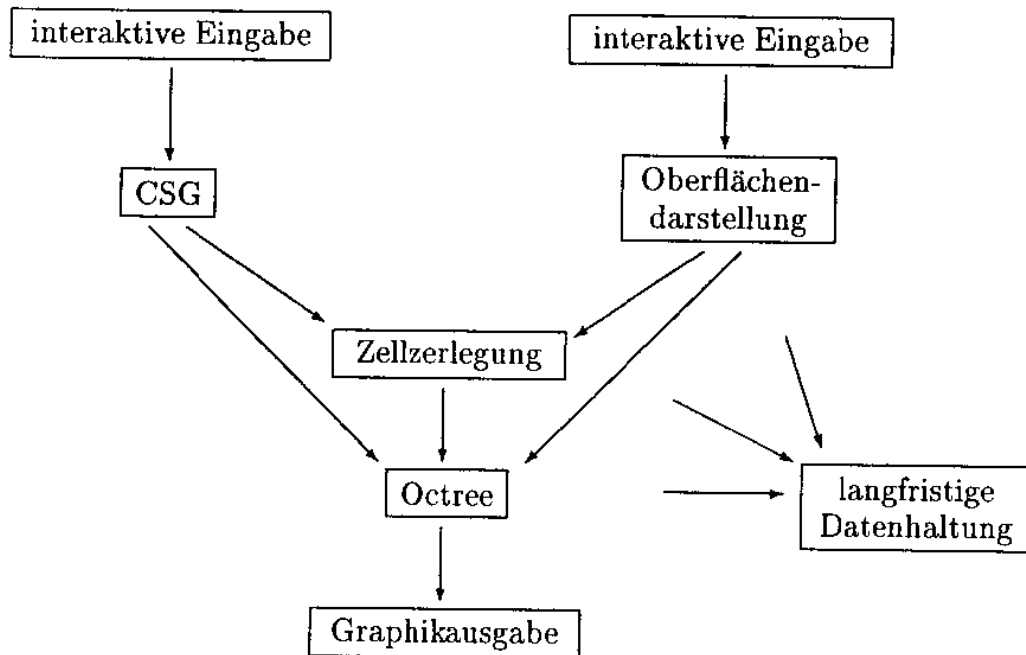
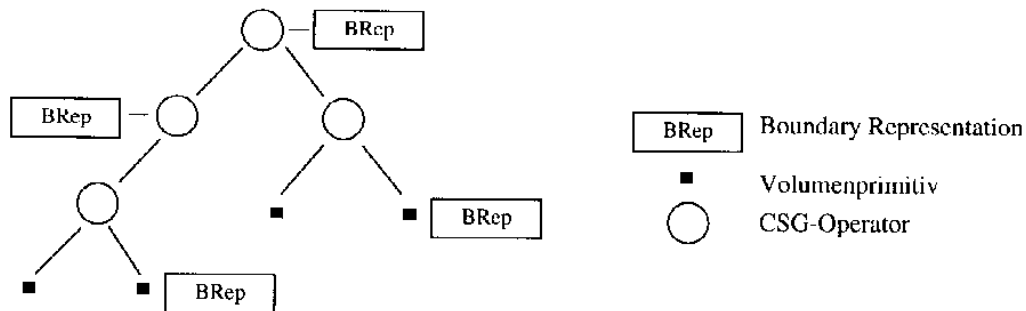
Konvertierungsalgorithmen : CSG----- > BRep-Modellierer

von	nach----- >		
	CSG	BOUNDARY	ZELLMODELLE
CSG	X	gelöst	einfach/approximativ
BOUNDARY	nicht gelöst	X	einfach/approximativ
ZELL	nicht gelöst	nicht gelöst	X

Beachte: Rückkonvertierungen bei approximativen Konvertierungen sind nicht sinnvoll!

Oft ist es schwierig, dabei die Konsistenz zwischen den verschiedenen Repräsentationen zu erhalten

– oft nur für bestimmte Objekte und nicht in allen Phasen gewährleistet !



weitere Modellierungs-Ansätze:

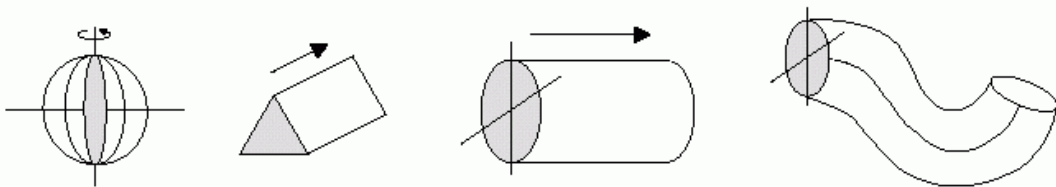
Sweep-Körper (Extrusion)

Es werden Körper durch eine Fläche (Grundfläche) und eine Transformationsvorschrift (Erzeugende) beschrieben.

Aus einem Kreis als Grundfläche und einer erzeugenden senkrechten Linie im Mittelpunkt des Kreises entsteht durch Translation in Richtung der Linie ein Zylinder.

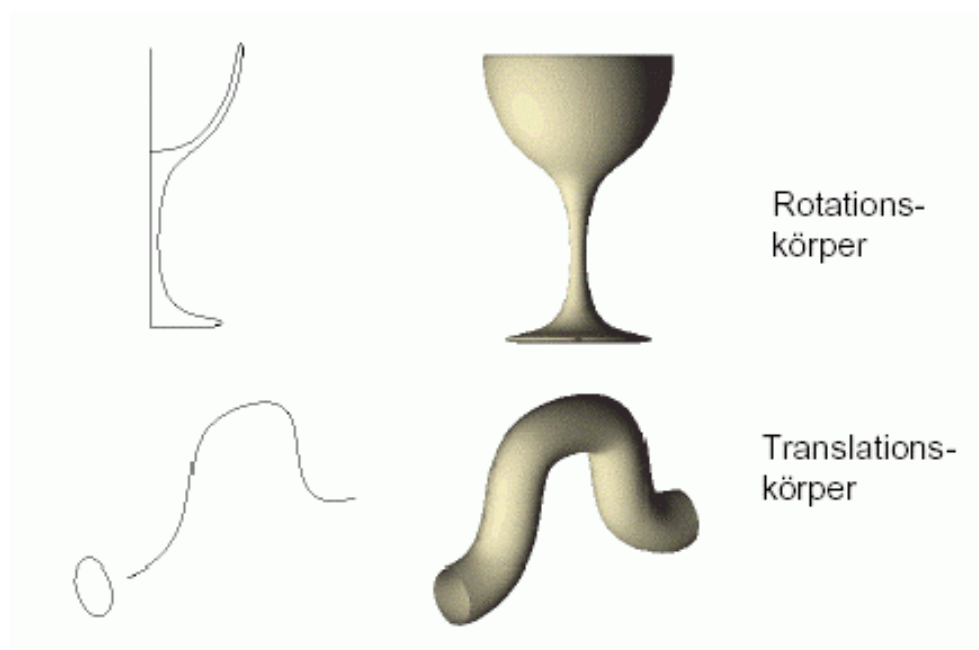
Sweep-Körper

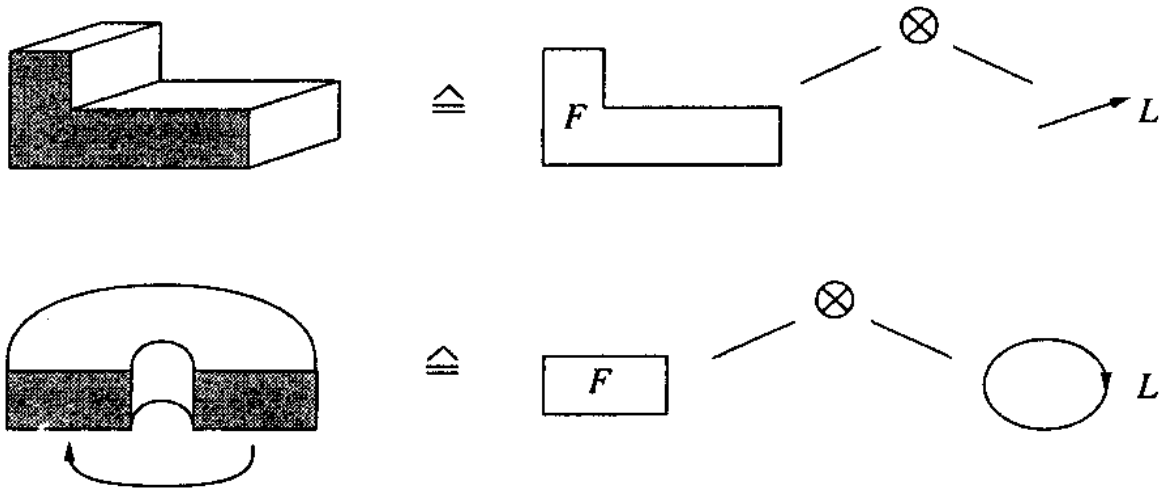
Objekt wird durch eine Fläche (Grundfläche) und eine Transformationsvorschrift beschrieben (=generalisierter Zylinder).



problematisch:

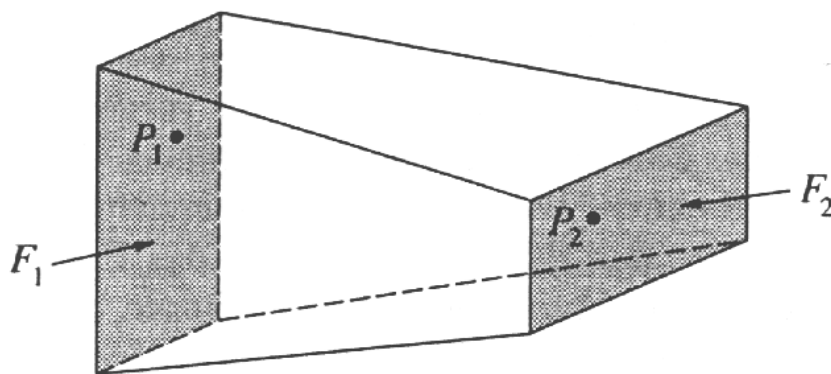
- Selbstüberschneidungen der Kurve (Was ist dann das Volumen?)
- Kurve liegt in Flächenebene (Leeres Volumen?)





Kombination mit Skalierungsoperationen (entlang der Sweep-Kurve) und mit Rotationen möglich (vgl. Extrusion-Knoten in VRML).

Flächeninterpolation



lineare Interpolation zwischen zwei Flächenstücken.