

Übersicht über Ansätze zur automatischen Objektrekonstruktion aus Punktwolken

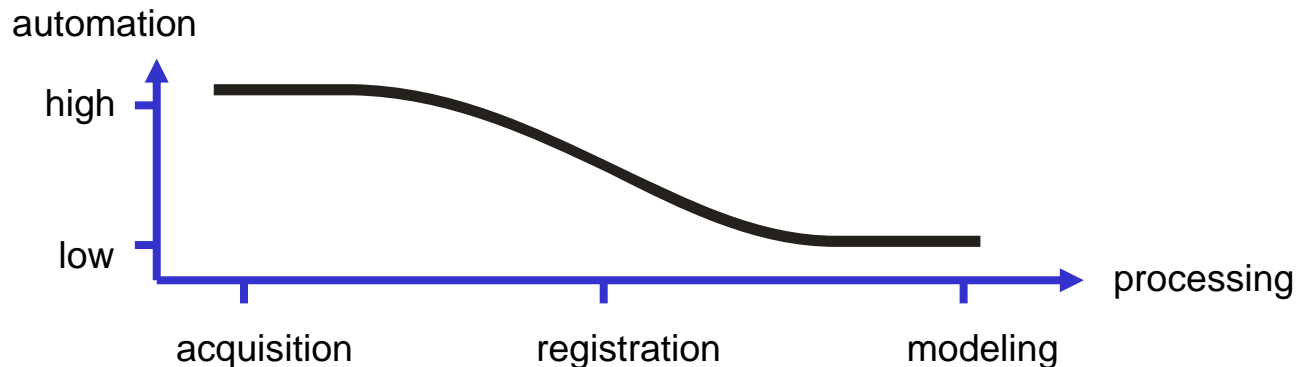
Dr.-Ing. Jan Böhm
Institut für Photogrammetrie
Universität Stuttgart

- Oberflächen-Rekonstruktion
 - **Vermaschung** in 3D
 - **Point Splatting** zur einfachen Visualisierung
 - **Volume Carving** für „wasserdichte“ Modelle
- Lokale Rekonstruktions-Verfahren
 - Lokale **Flächenrückführung**
 - **Klassifikation** durch differentialgeometrische Merkmale
 - **Segmentierung** (Flächen & Kanten)
- Modell-/Regel-getriebene Rekonstruktions-Verfahren
 - **Laser-Mapping**
 - **Form-Grammatiken** zur Fassaden-Beschreibung
 - **Zell-Zerlegung** zur Innenraum-Rekonstruktion
- Zusammenfassung und Ausblick

Motivation



- Der typische Arbeitsfluss im terrestrischen Laserscanning besteht aus der Datenerfassung der Registrierung und der Modellierung.
- Während die ersten beiden Schritte einen vergleichsweise hohen Automationsgrad aufweisen, benötigt die Modellierung einen hohen manuellen Aufwand.



J. Böhm, 2005

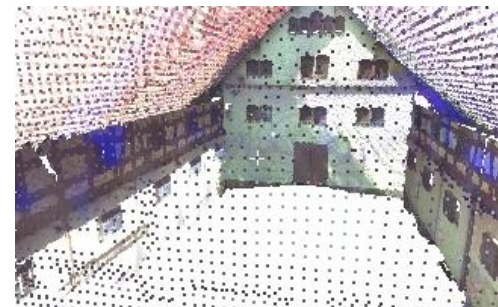


OBEFLÄCHEN- REKONSTRUKTION

Oberflächenrekonstruktion



- Terrestrisches Laserscanning liefert uns eine punktweise Abtastung der Oberfläche.
- Im Grunde ist in der Punktwolke viel Detailinformation über das Objekt enthalten.
- Visualisiert man allerdings die Punktwolke direkt, geht bei kurzem Betrachtungsabstand der Eindruck geschlossener Flächen verloren.
- Um den Eindruck durchgehend beizubehalten, müssen die Lücken zwischen den Punkten geschlossen werden.



Vermaschung



- Dreiecks-Vermaschungen sind ein Standard-Produkt in der Vermessung.
- Sie eignen sich ideal für Visualisierungs-Aufgaben.
- Oftmals ist die Vermaschung die einzige adäquate Beschreibung einer Fläche, z.B. bei detailreichen Objekten, Ornamenten und natürlichen Objekten.
- Es lassen sich zwei wesentliche Verfahren identifizieren:
 - Vermaschung basierend auf der Scan-Topologie
 - Vermaschung aus der lokalen Nachbarschaft
- Trotz hoher Automation der Algorithmen haben beide Verfahren typische Nachteile und hohen Aufwand bei der Nachbearbeitung.



J. Böhm & M. Pateraki, 2005

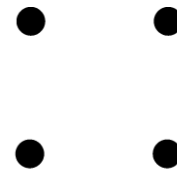


Point-Splatting

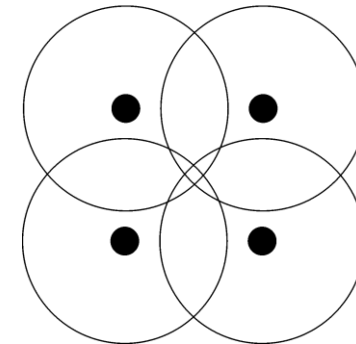


- Wenn die Anzahl der Dreiecke größer ist als die Anzahl der Pixel auf dem Bildschirm, dann decken die meisten Dreiecke weniger als ein Pixel ab und die Rasterung eines Dreiecks wird sehr teuer.
- Punkt-basiertes Rendering repräsentiert die Oberfläche durch diskrete Oberflächenelemente (Surfel), wobei für jedes Element noch ein Normalenvektor abgespeichert wird. (H. Pfister, 2000)
- Punkt-basierte Geometrie deckt alle Methoden zur Geometrie-Verarbeitung ab, wie Editieren, Filtern, Texturieren. Sie eignet sich jedoch besonders zur schnellen Visualisierung von Punktwolken, da sie einfach zu berechnen ist.

Punktwolke



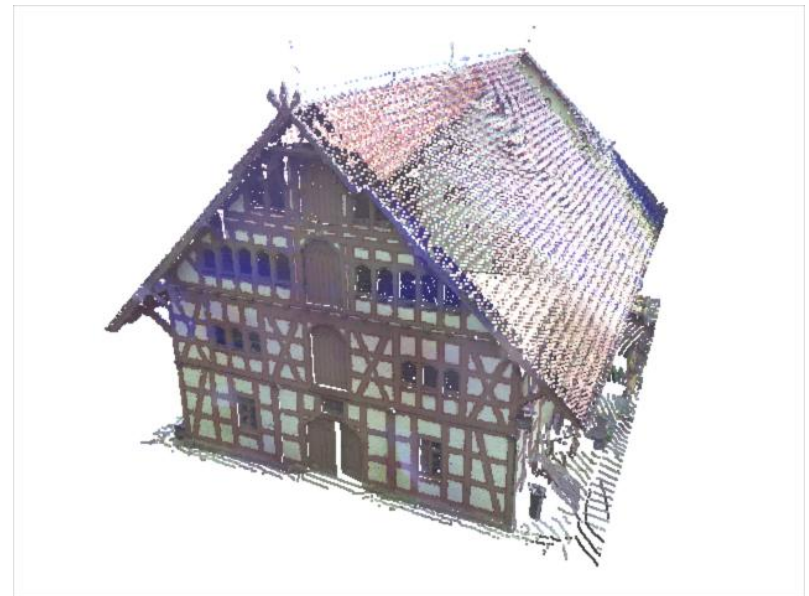
Surfel



Point-Splattung



- Wenn die Anzahl der Dreiecke größer ist als die Anzahl der Pixel auf dem Bildschirm, dann decken die meisten Dreiecke weniger als ein Pixel ab und die Rasterung eines Dreiecks wird sehr teuer.
- Punkt-basiertes Rendering repräsentiert die Oberfläche durch diskrete Oberflächenelemente (Surfel), wobei für jedes Element noch ein Normalenvektor abgespeichert wird. (H. Pfister, 2000)
- Punkt-basierte Geometrie deckt alle Methoden zur Geometrie-Verarbeitung ab, wie Editieren, Filtern, Texturieren. Sie eignet sich jedoch besonders zur schnellen Visualisierung von Punktwolken, da sie einfach zu berechnen ist.



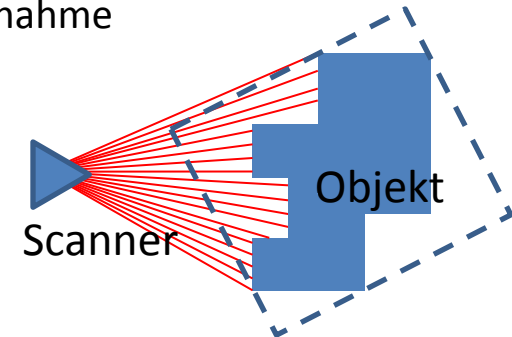
J. Böhm, 2005

Volume-Carving

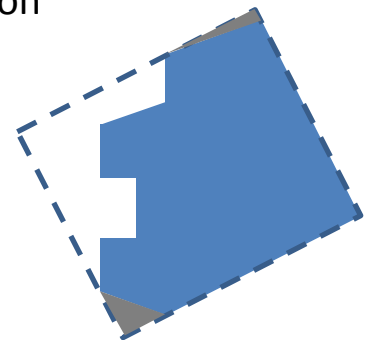


- „Volume-Carving“ kommt aus der bildbasierten Objektrekonstruktion und wird hier auch als „shape-from-silhouette“ bezeichnet.
- Für Laserscanning Daten steht für jeden „Pixel“ noch die Entfernung als zusätzliche Information zur Verfügung.
- Aus dem Gesamt-Volumen werden die Teile heraus geschnitten, die von Laserstrahlen durchlaufen werden.
- Der übrig gebliebene Teil des Volumens ergibt ein „wasserdichtes“ Modell.
- Das Verfahren wurde für Distanzdaten ursprünglich von P.J. Neugebauer (1996) vorgeschlagen und ist mittlerweile als kommerzielles Software QTSculptor verfügbar.

Aufnahme



Rekonstruktion

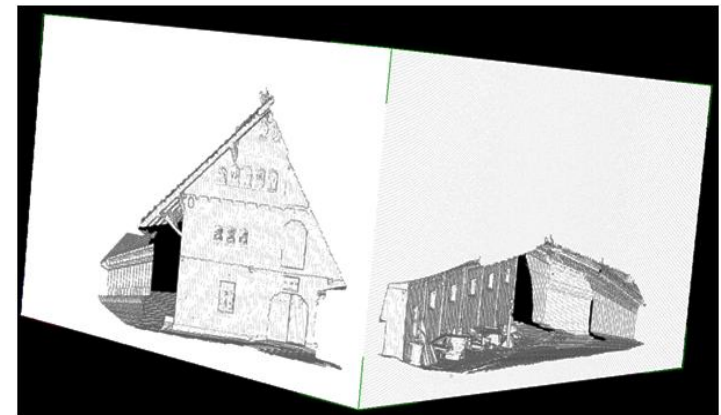


A. Cefalu & J. Böhm, 2008

Volume-Carving



- „Volume-Carving“ kommt aus der Bildbasierten Objektrekonstruktion und wird hier auch als „shape-from-silhouette“ bezeichnet.
- Für Laserscanning Daten steht für jeden „Pixel“ noch die Entfernung als zusätzliche Information zur Verfügung.
- Aus dem Gesamt-Volumen werden die Teile heraus geschnitten, die von Laserstrahlen durchlaufen werden.
- Der übrig gebliebene Teil des Volumens ergibt ein „wasserdichtes“ Modell.
- Das Verfahren wurde für Distanzdaten ursprünglich von P.J. Neugebauer (1996) vorgeschlagen und ist mittlerweile als kommerzielles Software QTSculptor verfügbar.



A. Cefalu & J. Böhm, 2008



LOKALE REKONSTRUKTIONS- VERFAHREN

Lokale Flächenrückführung



- Ziel ist es für eine gegebene Menge von Punkten die passende mathematische Flächenbeschreibung zu finden.
- Üblicherweise beschränkt man sich dabei auf die häufig auftretenden ‚Quadriken‘, also implizite Polynome zweiter Ordnung.
- Diese Flächentypen bieten eine lineare Schätzung der Parameter. Das Modell minimiert allerdings i.A. nicht den geometrischen Abstand.
- Diese und ähnliche Methoden sind die Grundlage für viele weitere Segmentierungsschritte.

| | x^2 | y^2 | z^2 | x y | x z | y z | x | y | z | 1 |
|-----------|-------|-------|-------|------------|------------|------------|-----|-----|-----|---|
| Quadrik | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j |
| Ellipsoid | a | b | c | | | | g | h | i | j |
| Kugel | a | a | a | | | | g | h | i | j |
| Ebene | | | | | | | g | h | i | j |

z.B.

$$f(x, y, z): ax^2 + by^2 + cz^2 + dxy + exz + fyz + gx + hy + iz + j = 0$$

$f(x, y, z) \rightarrow \min.$

Differentialgeometrische Merkmale



- Lokal lässt sich eine Fläche hinreichend durch ihre Krümmungen beschreiben.
- Die Krümmungen können dabei numerisch (Ableitungen) oder algebraisch (Flächenrückführung) berechnet werden.
- Die Hauptkrümmungen sind die maximale und die minimale Krümmung.
- Alternativ können die mittlere Krümmung H und die Gaußsche Krümmung K zur Beschreibung verwendet werden.
- Die „Shape“ Parameter nach Koenderink bilden eine dritte Alternative.

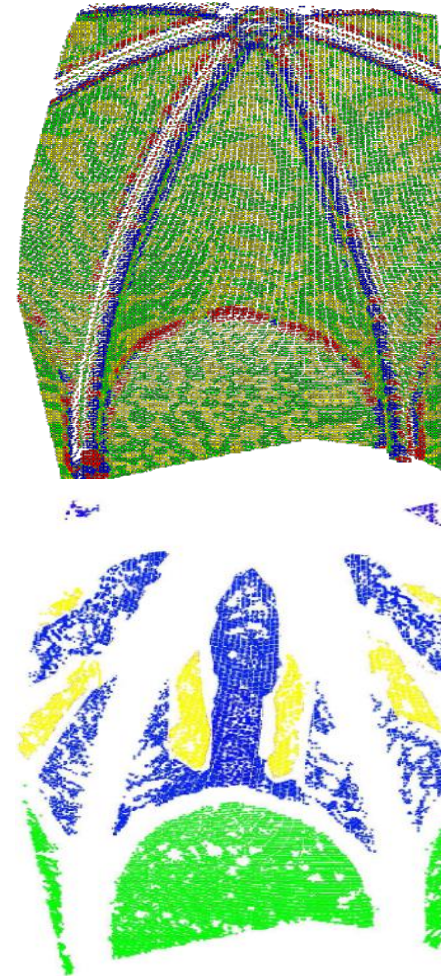
| | $K < 0$ | $K = 0$ | $K > 0$ |
|---------|---------|---------|---------|
| $H < 0$ | | | |
| $H = 0$ | | | |
| $H > 0$ | | | |

P. J. Besl, 1988

Differentialgeometrische Merkmale



- Lokal lässt sich eine Fläche hinreichend durch ihre Krümmungen beschreiben.
- Die Krümmungen können dabei numerisch (Ableitungen) oder algebraisch (Flächenrückführung) berechnet werden.
- Die Hauptkrümmungen sind die maximale und die minimale Krümmung.
- Alternativ können die mittlere Krümmung H und die Gaußsche Krümmung K zur Beschreibung verwendet werden.
- Die „Shape“ Parameter nach Koenderink bilden eine dritte Alternative.



F. Crosilla et al., 2009



MODELL-/REGEL-GETRIEBENE REKONSTRUKTIONS- VERFAHREN

Differentialgeometrische Merkmale

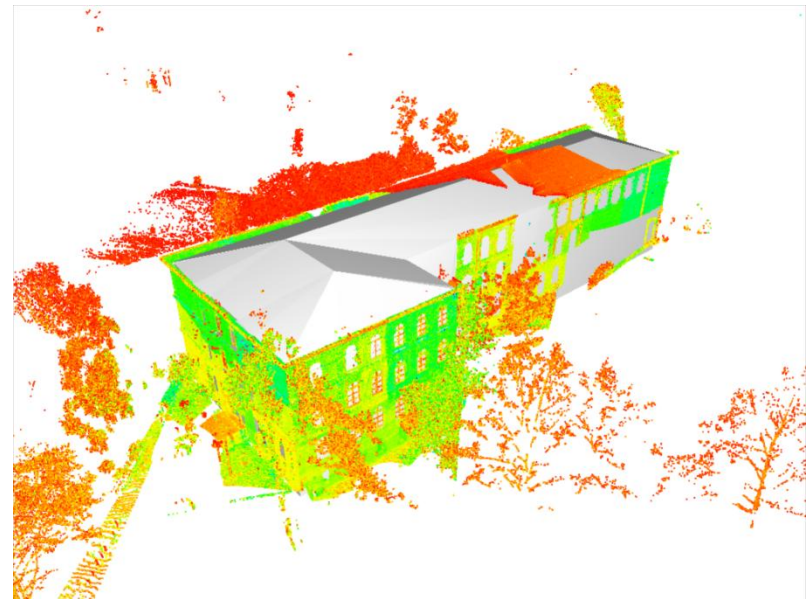


- Lokal lässt sich eine Fläche hinreichend durch ihre Krümmungen beschreiben.
- Die Krümmungen können dabei numerisch (Ableitungen) oder algebraisch (Flächenrückführung) berechnet werden.
- Die Hauptkrümmungen sind die maximale und die minimale Krümmung.
- Alternativ können die mittlere Krümmung H und die Gaußsche Krümmung K zur Beschreibung verwendet werden.
- Die „Shape“ Parameter nach Koenderink bilden eine dritte Alternative.



Y. Alshawabkeh et al., 2008

- Terrestrische Laserscans stehen nicht allein. Oft sind weitere Referenzdaten verfügbar.
- Grobe 3D Modelle können genutzt werden, um die Punktwolke aufzubereiten.
- Die wahre Geometrie des Objekts kann dann aufgeteilt werden in
 - die grobe Geometrie
 - den Versatz der Punktwolke
 - die Normalen-Karte
- Der Versatz (displacement map) und die Normalen-Karte (normal map) können direkt zur Visualisierung verwendet werden.

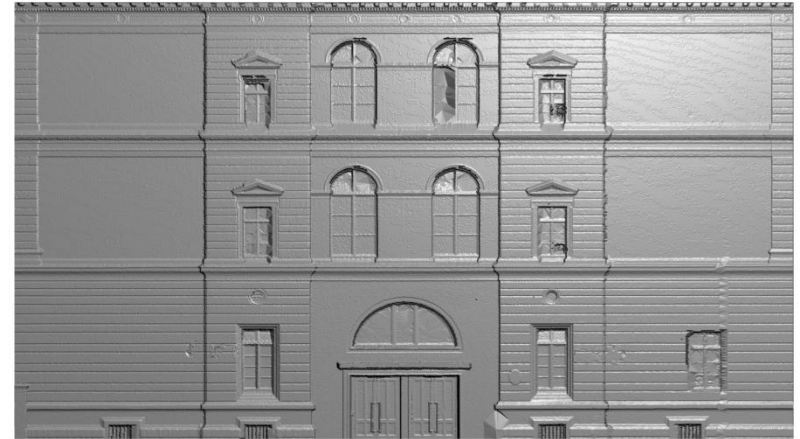


J. Böhm, 2007

LASERMAP



- Terrestrische Laserscans stehen nicht allein. Oft sind weitere Referenzdaten verfügbar.
- Grobe 3D Modelle können genutzt werden, um die Punktwolke aufzubereiten.
- Die wahre Geometrie des Objekts kann dann aufgeteilt werden in
 - die grobe Geometrie
 - den Versatz der Punktwolke
 - die Normalen-Karte
- Der Versatz (displacement map) und die Normalen-Karte (normal map) können direkt zur Visualisierung verwendet werden.



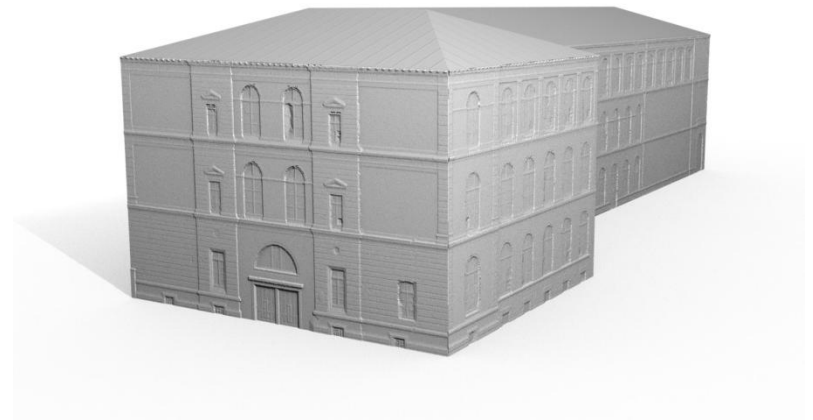
J. Böhm, 2007



LASERMAP



- Terrestrische Laserscans stehen nicht allein. Oft sind weitere Referenzdaten verfügbar.
- Grobe 3D Modelle können genutzt werden, um die Punktwolke aufzubereiten.
- Die wahre Geometrie des Objekts kann dann aufgeteilt werden in
 - die grobe Geometrie
 - den Versatz der Punktwolke
 - die Normalen-Karte
- Der Versatz (displacement map) und die Normalen-Karte (normal map) können direkt zur Visualisierung verwendet werden.

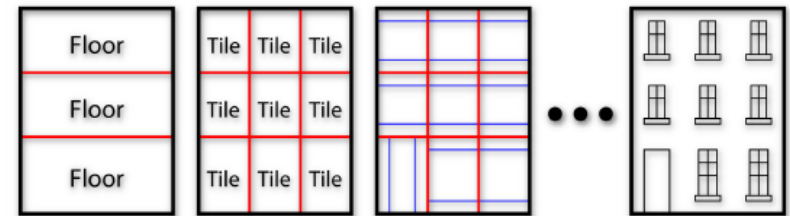


J. Böhm, 2007



Form-Grammatiken

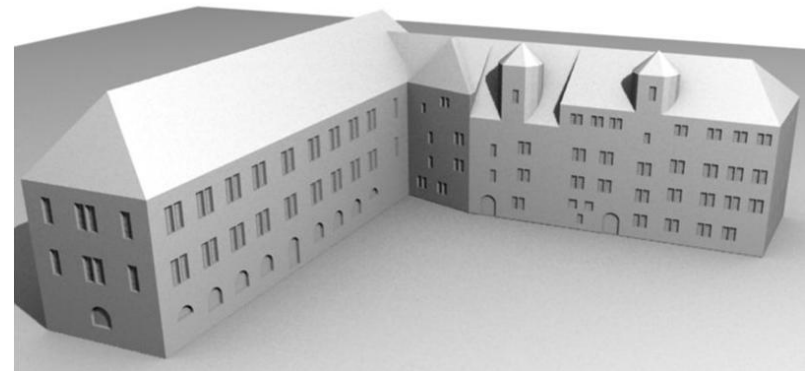
- Architektonische Strukturen sind nicht das Resultat eines Zufallsprozesses.
- Vielmehr entsteht Architektur durch Anwendung klarer Regeln.
- Kennt man diese Regeln, lassen sie sich für automatisierte Verfahren nutzen.
- Als formale Beschreibung haben sich sog. Form-Grammatiken etabliert.
- Diese werden bereits sehr erfolgreich für die Gebäude- und Fassaden Synthetisierung eingesetzt.



```
1: facade ->
Subdiv(Y,5.4,1r,3.9,0.6){ floor1 | Repeat(Y,4){floor2} |
floor3 | top }
2: floor1 -> Subdiv(X,5.3,1r){ tile1 | Repeat(X,3.1){ tile2 } }
3: floor2 -> Subdiv(X,5.3,1r){ tile3 | Repeat(X,3.1){ tile4 } }
...
```

P. Müller, 2007

- Form-Grammatiken können auch für die Rekonstruktion aus Punktwolken eingesetzt werden.
- Zunächst muss die Punktwolke in sog. Terminale (kleinste Primitive) zerlegt werden.
- Hierzu können wieder die bekannten Segmentierungs-verfahren eingesetzt werden.
- Aus den erkannten Primitiven und ihren räumlichen Relationen werden die korrekten Regeln (und Gewichte) geschätzt.
- Ist die Form-Grammatik bestimmt, lässt sie sich auch auf nicht-beobachtete Bereiche des Gebäudes anwenden.

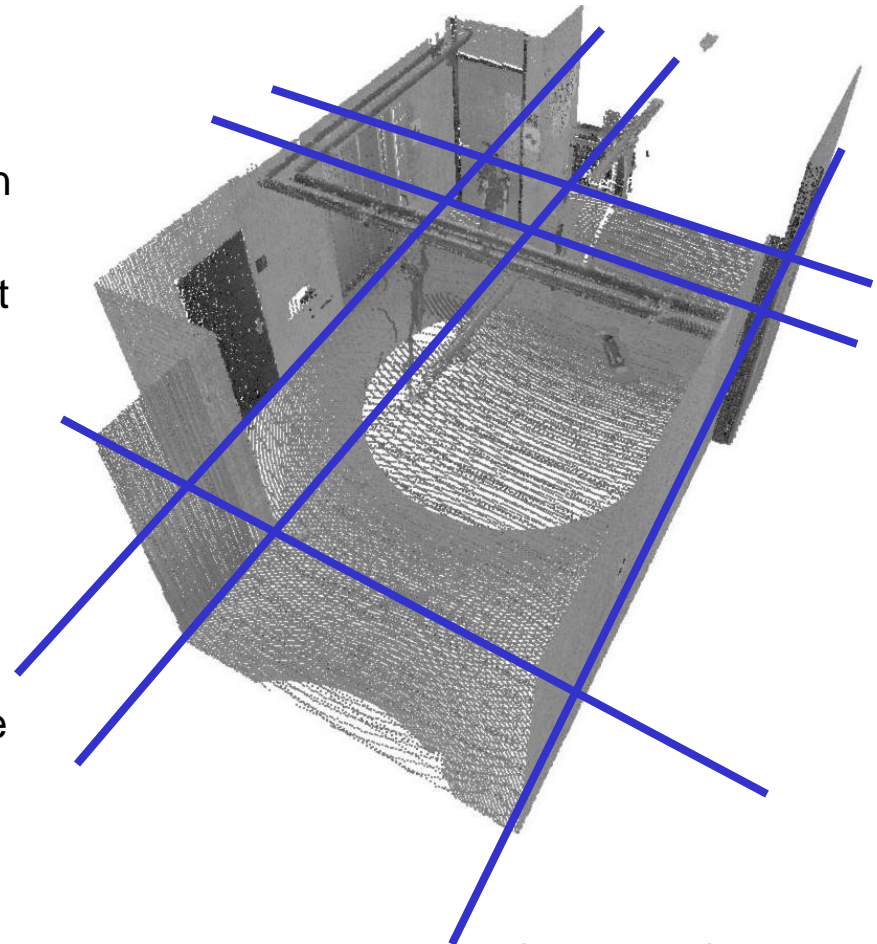


S. Becker, 2009

Zell-Zerlegung



- Mit einer einfachen Ebenen-Segmentierung durch „Plane-Sweeping“ werden global die horizontalen und vertikalen Ebenen detektiert.
- Die vertikalen Ebenen (ausgedehnt ins Unendliche) werden verwendet um den gesamten Raum in einzelne Zellen zu unterteilen.
- Für jede Zelle wird einzeln untersucht, ob sie sich im Inneren des Raumes befindet oder nicht.
- Alle Zellen eines Raumes werden zusammengefasst und ihre äußere Begrenzung errechnet.

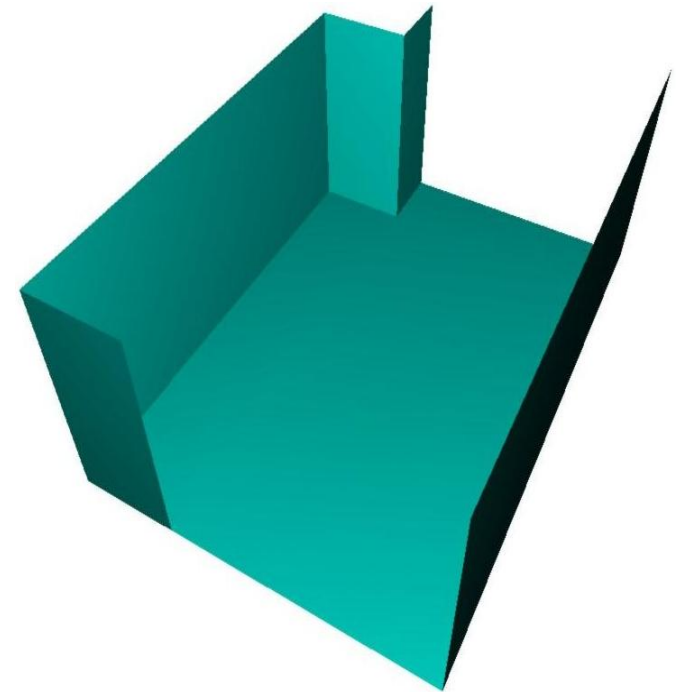


A. Budroni & J. Böhm, 2009

Zell-Zerlegung



- Mit einer einfachen Ebenen-Segmentierung durch „Plane-Sweeping“ werden global die horizontalen und vertikalen Ebenen detektiert.
- Die vertikalen Ebenen (ausgedehnt ins Unendliche) werden verwendet um den gesamten Raum in einzelne Zellen zu unterteilen.
- Für jede Zelle wird einzeln untersucht, ob sie sich im Inneren des Raumes befindet oder nicht.
- Alle Zellen eines Raumes werden zusammengefasst und ihre äußere Begrenzung errechnet.



A. Budroni & J. Böhm, 2009

Zusammenfassung & Ausblick



- In der Forschung wurde und wird intensiv an der Automatisierung der Rekonstruktion aus Punktwolken gearbeitet.
- Die Wahl des Verfahrens hängt dabei stark von der Anwendung ab. Innenraum Anwendungen sind wenig beachtet.
- Grammatik basierte Verfahren sind derzeit stark verbreitet. Volumen basierten Verfahren könnte die Zukunft gehören.
- Der Automatisierungsgrad vieler kommerzieller Softwarepakete ist nach wie vor niedrig. Diese Situation ändert sich hoffentlich in naher Zukunft (ClearEdge3D ?)

