

**Strukturierte
vs.
unstrukturierte
Punktwolken**



Martin Graner
CTO

martin.graner@pointcab-software.com

Master of Science Geodäsie & Geoinformatik
Universität Stuttgart 2017
Seit 2017 bei PointCab GmbH



- 1. Scanner Systeme - Was produziert Punktwolken**
- 2. Unterschiede zw. strukturierten und unstrukturierten Punktwolken**
- 3. Deep dive**
- 4. Quiz time**
- 5. Vorteile der verschiedenen Punktwolken Typen**
- 6. Formate**
- 7. Zusammenfassung**





Es ist eigentlich nur:

- Die Art wie sie gespeichert werden
(Unabhängig vom Format der Daten).



Unstrukturierte Scandaten:

- 3D Daten sind ohne Ordnung in der Datei gespeichert
- Keine Information über benachbarte Punkte liegen vor

1D

3D

| Index | X | Y | Z |
|-------|-------|-------|-------|
| 100 | 8,4 m | 2,4 m | 1,3 m |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 189 | 8,4 m | 2,4 m | 1,2 m |



Nachbarn in 3D stimmen nicht mit 1D Index überein



Jeder 3D Punkt kann von einer anderen Aufnahmezeit und einer anderen Aufnahmezeit sein.

Strukturierte Scandaten:

- Eine abbildende teilweise stetige Projektion aus dem 3D Raum in eine 2D Ebene ist verfügbar
- Strukturierte Punktwolken sind 2D indiziert, so dass die benachbarten Punkte in 3D und 2D meistens räumliche Nachbarn sind
- Punkte basieren auf der selben Aufnahmeposition (Ursprung)
- Vorzeichen der Oberflächennormale eines Punktes ist durch den Ursprung implizit gegeben

Strukturierte Scandaten:

- Eine abbildende teilweise stetige Projektion aus dem 3D Raum in eine 2D Ebene ist verfügbar
- Strukturierte Punktwolken sind 2D indiziert, so dass die benachbarten Punkte in 3D und 2D meistens räumliche Nachbarn sind
- Punkte basieren auf der selben Aufnahmeposition (Ursprung)
- Vorzeichen der Oberflächennormale eines Punktes ist durch den Ursprung implizit gegeben

2D

3D

| u (Spalte) | v (Zeile) | X | Y | Z |
|------------|-----------|-------|-------|-------|
| 100 | 47 | 8,4 m | 2,4 m | 1,3 m |
| 101 | 47 | 8,7 m | 2,5 m | 1,3 m |
| 100 | 48 | 8,4 m | 2,3 m | 1,2 m |

3D Nachbarn
sind in 2D
ebenfalls
Nachbarn



| | | | | Z | row\col | 1 | 2 | 3 |
|---|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | | | | Y | row\col | 1 | 2 | 3 |
| X | row\col | 1 | 2 | 3 | 1,3 m | 1,3 m | 3,6 m | 3,4 m |
| | 1 | 8,4 m | 8,5 m | 8,6 m | 1,5 m | 1,4 m | | |
| | 2 | 2,3 m | 8,5 m | 8,6 m | | | | |





360° Spalten



180° Zeilen



180° Spalten

90° Zeilen

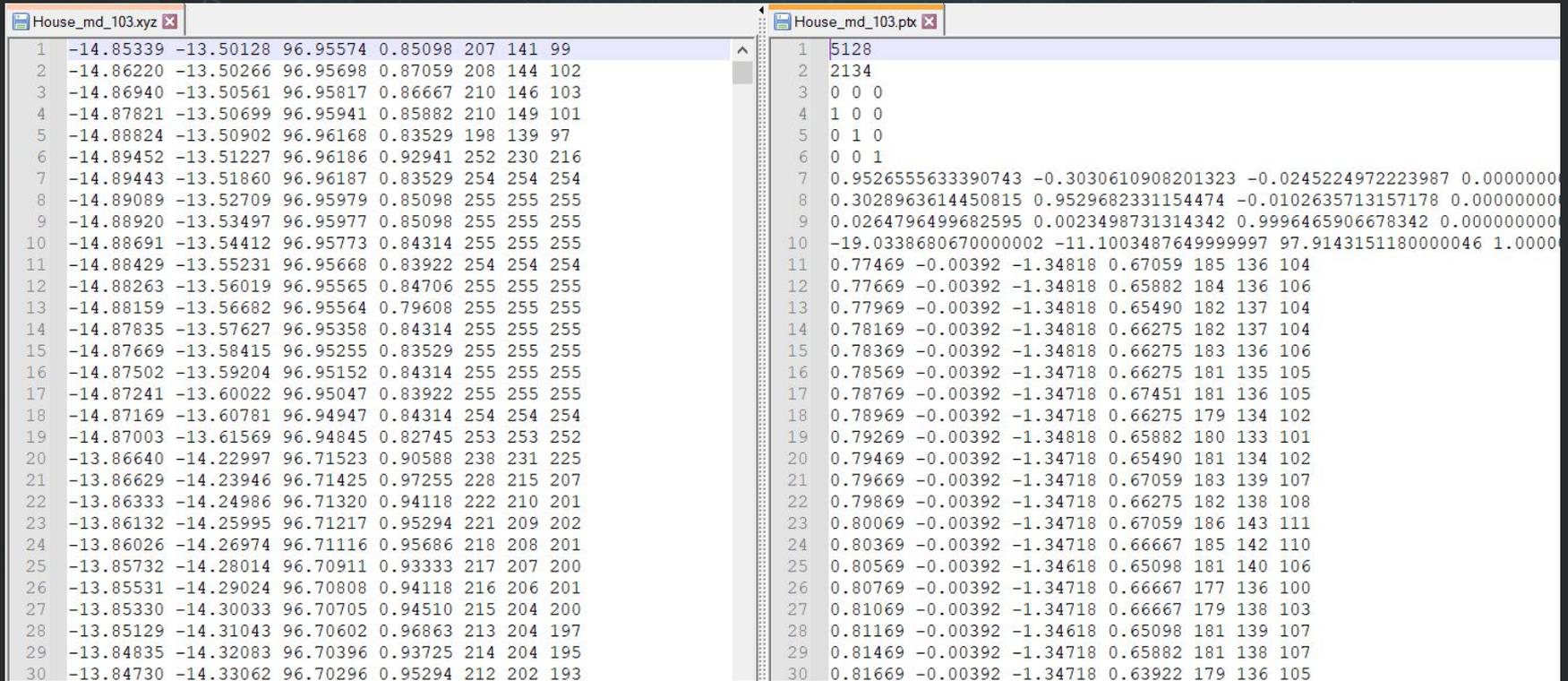








Schauen wir die Daten mal an! XYZ vs PTX (beide in ASCII)



```
House_md_103.xyz
1 -14.85339 -13.50128 96.95574 0.85098 207 141 99
2 -14.86220 -13.50266 96.95698 0.87059 208 144 102
3 -14.86940 -13.50561 96.95817 0.86667 210 146 103
4 -14.87821 -13.50699 96.95941 0.85882 210 149 101
5 -14.88824 -13.50902 96.96168 0.83529 198 139 97
6 -14.89452 -13.51227 96.96186 0.92941 252 230 216
7 -14.89443 -13.51860 96.96187 0.83529 254 254 254
8 -14.89089 -13.52709 96.95979 0.85098 255 255 255
9 -14.88920 -13.53497 96.95977 0.85098 255 255 255
10 -14.88691 -13.54412 96.95773 0.84314 255 255 255
11 -14.88429 -13.55231 96.95668 0.83922 254 254 254
12 -14.88263 -13.56019 96.95565 0.84706 255 255 255
13 -14.88159 -13.56682 96.95564 0.79608 255 255 255
14 -14.87835 -13.57627 96.95358 0.84314 255 255 255
15 -14.87669 -13.58415 96.95255 0.83529 255 255 255
16 -14.87502 -13.59204 96.95152 0.84314 255 255 255
17 -14.87241 -13.60022 96.95047 0.83922 255 255 255
18 -14.87169 -13.60781 96.94947 0.84314 254 254 254
19 -14.87003 -13.61569 96.94845 0.82745 253 253 252
20 -13.86640 -14.22997 96.71523 0.90588 238 231 225
21 -13.86629 -14.23946 96.71425 0.97255 228 215 207
22 -13.86333 -14.24986 96.71320 0.94118 222 210 201
23 -13.86132 -14.25995 96.71217 0.95294 221 209 202
24 -13.86026 -14.26974 96.71116 0.95686 218 208 201
25 -13.85732 -14.28014 96.70911 0.93333 217 207 200
26 -13.85531 -14.29024 96.70808 0.94118 216 206 201
27 -13.85330 -14.30033 96.70705 0.94510 215 204 200
28 -13.85129 -14.31043 96.70602 0.96863 213 204 197
29 -13.84835 -14.32083 96.70396 0.93725 214 204 195
30 -13.84730 -14.33062 96.70296 0.95294 212 202 193

House_md_103.ptx
1 5128
2 2134
3 0 0 0
4 1 0 0
5 0 1 0
6 0 0 1
7 0.9526555633390743 -0.3030610908201323 -0.0245224972223987 0.00000000
8 0.3028963614450815 0.9529682331154474 -0.0102635713157178 0.00000000
9 0.0264796499682595 0.0023498731314342 0.9996465906678342 0.00000000
10 -19.0338680670000002 -11.1003487649999997 97.9143151180000046 1.0000
11 0.77469 -0.00392 -1.34818 0.67059 185 136 104
12 0.77669 -0.00392 -1.34818 0.65882 184 136 106
13 0.77969 -0.00392 -1.34818 0.65490 182 137 104
14 0.78169 -0.00392 -1.34818 0.66275 182 137 104
15 0.78369 -0.00392 -1.34818 0.66275 183 136 106
16 0.78569 -0.00392 -1.34718 0.66275 181 135 105
17 0.78769 -0.00392 -1.34718 0.67451 181 136 105
18 0.78969 -0.00392 -1.34718 0.66275 179 134 102
19 0.79269 -0.00392 -1.34818 0.65882 180 133 101
20 0.79469 -0.00392 -1.34718 0.65490 181 134 102
21 0.79669 -0.00392 -1.34718 0.67059 183 139 107
22 0.79869 -0.00392 -1.34718 0.66275 182 138 108
23 0.80069 -0.00392 -1.34718 0.67059 186 143 111
24 0.80369 -0.00392 -1.34718 0.66667 185 142 110
25 0.80569 -0.00392 -1.34618 0.65098 181 140 106
26 0.80769 -0.00392 -1.34718 0.66667 177 136 100
27 0.81069 -0.00392 -1.34718 0.66667 179 138 103
28 0.81169 -0.00392 -1.34618 0.65098 181 139 107
29 0.81469 -0.00392 -1.34718 0.65882 181 138 107
30 0.81669 -0.00392 -1.34718 0.63922 179 136 105
```

Kann ich eine Strukturierte in eine unstrukturierte Punktwolke konvertieren und umgekehrt?

- strukturiert -> unstrukturiert: Ja
(andere Interpretation der Daten bzw Format)
- unstrukturiert -> strukturiert: ?
(-> Ursprung / Id der Punkte / Zeilen und Spalten des Scans)

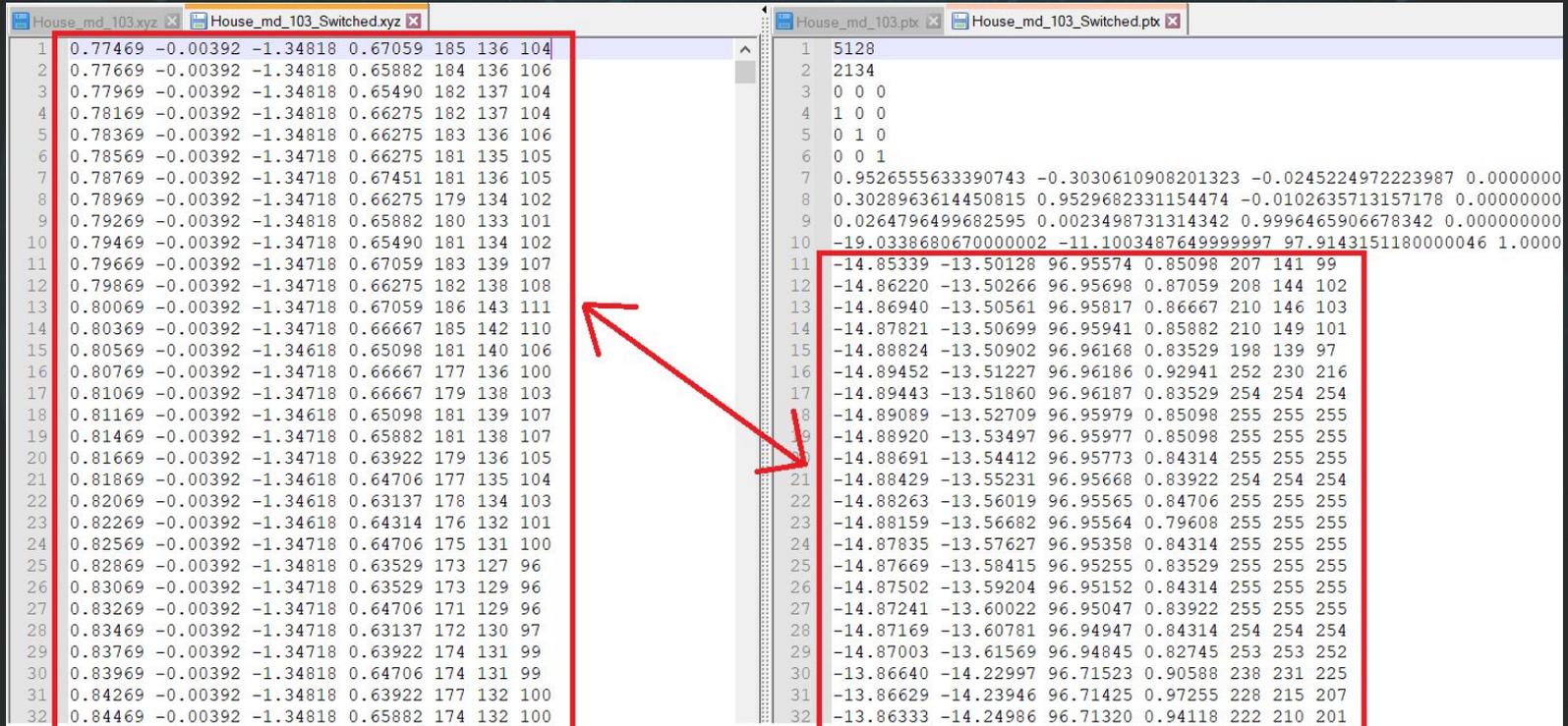
Schauen wir die Daten mal an!

XYZ vs PTX (beide in ASCII)

Warum können wir eine ungeordnete nicht in eine geordnete Punktwolke einfach überführen.

Punkte in XYZ und PTX file ausgetauscht

Test



| Line | XYZ File Content | PTX File Content |
|------|---|---|
| 1 | 0.77469 -0.00392 -1.34818 0.67059 185 136 104 | 1 5128 |
| 2 | 0.77669 -0.00392 -1.34818 0.65882 184 136 106 | 2 2134 |
| 3 | 0.77969 -0.00392 -1.34818 0.65490 182 137 104 | 3 0 0 0 |
| 4 | 0.78169 -0.00392 -1.34818 0.66275 182 137 104 | 4 1 0 0 |
| 5 | 0.78369 -0.00392 -1.34818 0.66275 183 136 106 | 5 0 1 0 |
| 6 | 0.78569 -0.00392 -1.34718 0.66275 181 135 105 | 6 0 0 1 |
| 7 | 0.78769 -0.00392 -1.34718 0.67451 181 136 105 | 7 0.9526555633390743 -0.3030610908201323 -0.0245224972223987 0.00000000 |
| 8 | 0.78969 -0.00392 -1.34718 0.66275 179 134 102 | 8 0.3028963614450815 0.9529682331154474 -0.0102635713157178 0.00000000 |
| 9 | 0.79269 -0.00392 -1.34818 0.65882 180 133 101 | 9 0.0264796499682595 0.0023498731314342 0.9996465906678342 0.0000000000 |
| 10 | 0.79469 -0.00392 -1.34718 0.65490 181 134 102 | 10 -19.0338680670000002 -11.1003487649999997 97.9143151180000046 1.0000 |
| 11 | 0.79669 -0.00392 -1.34718 0.67059 183 139 107 | 11 -14.85339 -13.50128 96.95574 0.85098 207 141 99 |
| 12 | 0.79869 -0.00392 -1.34718 0.66275 182 138 108 | 12 -14.86220 -13.50266 96.95698 0.87059 208 144 102 |
| 13 | 0.80069 -0.00392 -1.34718 0.67059 186 143 111 | 13 -14.86940 -13.50561 96.95817 0.86667 210 146 103 |
| 14 | 0.80369 -0.00392 -1.34718 0.66667 185 142 110 | 14 -14.87821 -13.50699 96.95941 0.85882 210 149 101 |
| 15 | 0.80569 -0.00392 -1.34618 0.65098 181 140 106 | 15 -14.88824 -13.50902 96.96168 0.83529 198 139 97 |
| 16 | 0.80769 -0.00392 -1.34718 0.66667 177 136 100 | 16 -14.89452 -13.51227 96.96186 0.92941 252 230 216 |
| 17 | 0.81069 -0.00392 -1.34718 0.66667 179 138 103 | 17 -14.89443 -13.51860 96.96187 0.83529 254 254 254 |
| 18 | 0.81169 -0.00392 -1.34618 0.65098 181 139 107 | 18 -14.89089 -13.52709 96.95979 0.85098 255 255 255 |
| 19 | 0.81469 -0.00392 -1.34718 0.65882 181 138 107 | 19 -14.88920 -13.53497 96.95977 0.85098 255 255 255 |
| 20 | 0.81669 -0.00392 -1.34718 0.63922 179 136 105 | 20 -14.88691 -13.54412 96.95773 0.84314 255 255 255 |
| 21 | 0.81869 -0.00392 -1.34618 0.64706 177 135 104 | 21 -14.88429 -13.55231 96.95668 0.83922 254 254 254 |
| 22 | 0.82069 -0.00392 -1.34618 0.63137 178 134 103 | 22 -14.88263 -13.56019 96.95565 0.84706 255 255 255 |
| 23 | 0.82269 -0.00392 -1.34618 0.64314 176 132 101 | 23 -14.88159 -13.56682 96.95564 0.79608 255 255 255 |
| 24 | 0.82569 -0.00392 -1.34718 0.64706 175 131 100 | 24 -14.87835 -13.57627 96.95358 0.84314 255 255 255 |
| 25 | 0.82869 -0.00392 -1.34818 0.63529 173 127 96 | 25 -14.87669 -13.58415 96.95255 0.83529 255 255 255 |
| 26 | 0.83069 -0.00392 -1.34718 0.63529 173 129 96 | 26 -14.87502 -13.59204 96.95152 0.84314 255 255 255 |
| 27 | 0.83269 -0.00392 -1.34718 0.64706 171 129 96 | 27 -14.87241 -13.60022 96.95047 0.83922 255 255 255 |
| 28 | 0.83469 -0.00392 -1.34718 0.63137 172 130 97 | 28 -14.87169 -13.60781 96.94947 0.84314 254 254 254 |
| 29 | 0.83769 -0.00392 -1.34718 0.63922 174 131 99 | 29 -14.87003 -13.61569 96.94845 0.82745 253 253 252 |
| 30 | 0.83969 -0.00392 -1.34818 0.64706 174 131 99 | 30 -13.86640 -14.22997 96.71523 0.90588 238 231 225 |
| 31 | 0.84269 -0.00392 -1.34818 0.63922 177 132 100 | 31 -13.86629 -14.23946 96.71425 0.97255 228 215 207 |
| 32 | 0.84469 -0.00392 -1.34818 0.65882 174 132 100 | 32 -13.86333 -14.24986 96.71320 0.94118 222 210 201 |

TLS - statischer voll Scan - ohne Austausch der Daten

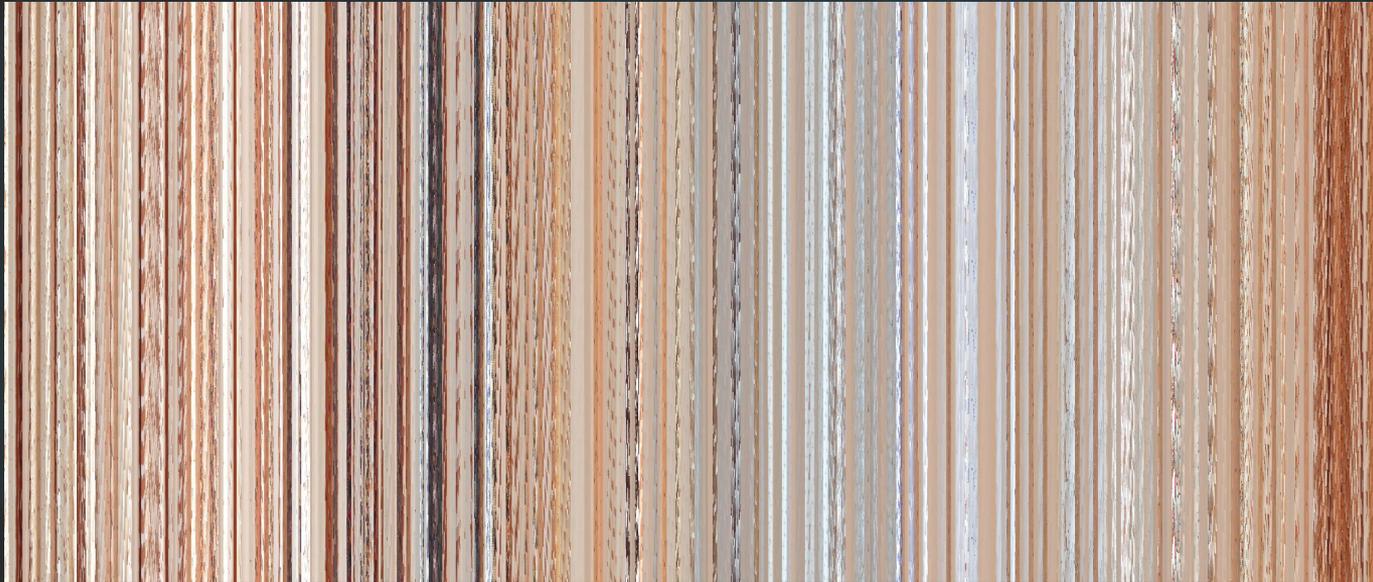
360° Spalten



180° Zeilen

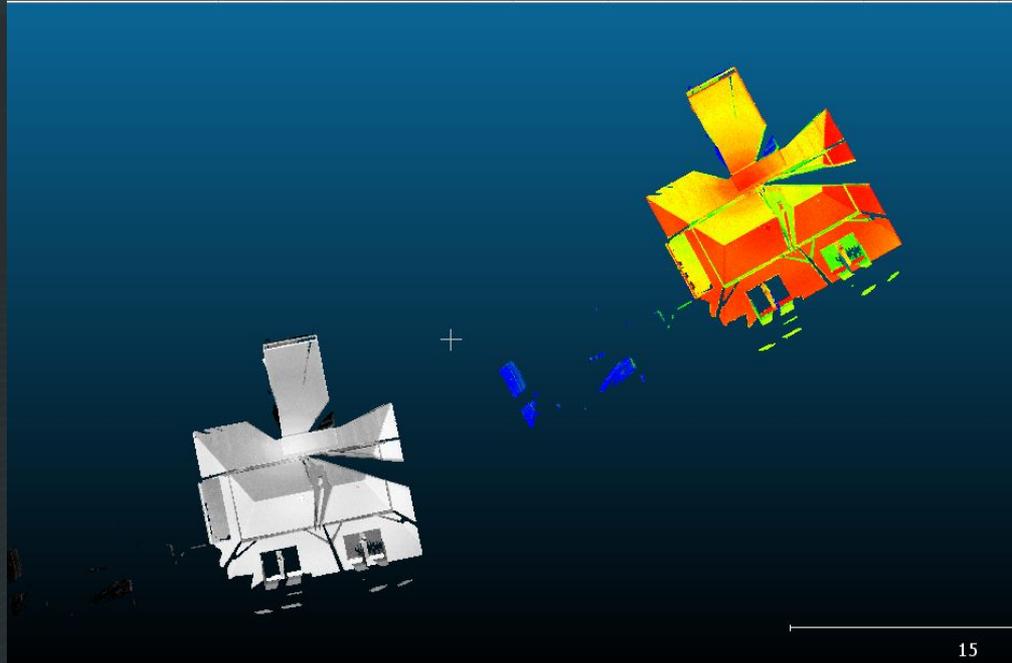
TLS - statischer voll Scan - xyz und ptx Daten Ausgetauscht

360° Spalten



180° Zeilen

XYZ und PTX simultan in CloudCompare



1. Reduktion der Punktwolke auf die Scanposition (Position muss bekannt sein)
2. Umwandeln der Punkte in sphärische Koordinaten
3. Auffüllen des Scanpanoramas über phi und theta

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\theta = \arccos \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} = \arccos \frac{z}{r} = \operatorname{arccot} \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$\varphi = \operatorname{atan2}(y, x) = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & , \text{ wenn } x > 0, \\ \frac{\pi}{2} \operatorname{sgn} y & , \text{ wenn } x = 0, \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \pi & , \text{ wenn } x < 0 \wedge y \geq 0, \\ \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \pi & , \text{ wenn } x < 0 \wedge y < 0. \end{cases}$$

TLS - statischer voll Scan - Rückprojiziert

360° Spalten



180° Zeilen

TLS - statischer voll Scan - Rückprojiziert

360° Spalten



180° Zeilen



Ist LAS strukturiert oder unstrukturiert?



Ist LAS strukturiert oder unstrukturiert?

-> Unstrukturiert



Ist LAZ strukturiert oder unstrukturiert?



Ist LAZ strukturiert oder unstrukturiert?

-> Unstrukturiert

Unterschied zwischen LAS und LAZ?

- Kompression

| | LAS - unkomprimiert | LAZ - komprimiert |
|-------------------|--|-------------------|
| Dateigröße | 52.2 GigaByte | 5.2 GigaByte |
| Größenunterschied | LAZ ist ca. ~10% der Größe von LAS Abhängig von den Punktwolken Daten | |



Ist PTG strukturiert oder unstrukturiert?



Ist PTG strukturiert oder unstrukturiert?

-> Strukturiert



Ist E57 strukturiert oder unstrukturiert?



Ist E57 strukturiert oder unstrukturiert?

-> strukturiert & unstrukturiert



Ist RCP/RCS strukturiert oder unstrukturiert?



Ist RCP/RCS strukturiert oder unstrukturiert?

-> strukturiert & unstrukturiert

strukturiert

- + Korrelierte Nachbarn (Gute Kompression mgl)
- Benötigt zusätzliche Daten (index)
- Nicht valide Punkte müssen gespeichert werden
- Duplizierte Punkte -> Identisch in unterschiedlichen Scan Positionen werden doppelt gespeichert

unstrukturiert

- + "Gleiche" Punkte können gelöscht werden
- + Nicht valide Punkte werden ignoriert





| | Strukturierte Punktwolken | Unstrukturierte Punktwolken |
|--|--|------------------------------|
| Eine statische Scan Position PTX vs XYZ | 480 MB (lokaler Ursprung) | 512 MB (global) |
| Komplettes Projekt (41 Scan Positionen) PTX vs XYZ | 31.7 GB (invalide Punkte werden mit einbezogen) | 23.7 GB |
| Eine statische Scan Position RCP | 310 MB (Index Daten und viewer Daten) | 177 MB (Nur Viewer Daten) |

strukturiert

- + Menschen interpretierbare, ansehbare Panoramen - Ausdruckbar
- + Räumliche Nachbarn (in indizes) nutzbar für Berechnungen (zB. Normalenrichtungen)
- + Bildverarbeitungsalgorithmen können per TLS Scan angebracht werden

unstrukturiert

- Nur 3D Ansicht mit Überschattung der Daten
- Suchbaum (KdTree/OcTree) für Nachbarschaftssuche könnte nötig sein - hohe Berechnungszeit



| Format | Unstrukturiert | Strukturiert | Projekt Format | Vendor |
|--------------|----------------|--------------|----------------|--------|
| *.LAS | X | | | |
| *.LAZ | X | | | |
| *.XYZ, *.PTS | X | | | |
| *.PTG, *.PCD | | X | | |
| *.PTX | | X | | |
| *.E57 | X | X | | |



| Format | Unstrukturiert | Strukturiert | Projekt Format | Vendor |
|---------------|----------------|--------------|----------------|------------|
| *.FLS | | X | LSPRJ | FARO |
| *.ZFS | | X | ZFPRJ | Z+F |
| *.RXP, *.RDBX | | X | RSP | Riegl |
| *.MPC, *.MVX | X | (X) | | Mantis |
| *.DP | X | (X) | | dotProduct |
| *.LGS | X | X | | Leica |
| *.RCS | X | X | RCP | AutoDesk |
| *.LSD | X | X | LSDX | PointCab |
| *.TZF | X | X | RWP | Trimble |



Punktwolken Diskussion im Laserscanning Forum (in english)

<https://laserscanningforum.com/forum/viewtopic.php?f=69&t=17770>

- In der Regel nehmen statische (terrestrische) Scanner strukturierte Punktwolken auf, während mobile Scanner unstrukturierte Punktwolken produzieren
- Es handelt sich eigentlich nur um die Speicheranordnung
- Strukturierte Punktwolken enthalten mehr Informationen
- Konvertierung Strukturierte -> Unstrukturierte Punktwolken ohne Probleme möglich
- Unstrukturiert -> Strukturiert, mit Extra Informationen verlustbehaftet möglich
- Unstrukturierte Daten sind bei gleicher Kompression in der Regel kleiner

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!
Fragen?



Martin Graner

martin.graner@pointcab-software.com



PointCab GmbH

info@pointcab-software.com
+49(0)71539295930