

Publikationen der Deutschen
Gesellschaft für Photogrammetrie,
Fernerkundung und Geoinformation e.V.



Band 21

2012



Vorträge

**32. Wissenschaftlich-Technische
Jahrestagung der DGPF**

14. – 17. März 2012
in Potsdam

Erblicke – Perspektiven für die Geowissenschaften

ISSN 0942-2870

Eckhardt Seyfert, Hrsg.

ISSN 0942-2870

Publikationen der
Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung
und Geoinformation (DGPF) e.V.
Band 21 487 S., Potsdam 2012
Hrsg.: Eckhardt Seyfert

© Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung
und Geoinformation (DGPF) e.V.
Oldenburg 2008

Zu beziehen durch:

Geschäftsstelle der DGPF
c/o EFTAS GmbH
Oststraße 2-18
D-48145 Münster
Tel.: (0251) 133 070, Fax: (0251) 133 0733, E-Mail: klaus.komp@eftas.com

Bearbeitung:

Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg
Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam
Tel.: (0331) 8844 -229, Fax: (0331) 8844-126

Geometrische Untersuchung zur Tiefengenauigkeit des Kinect-Sensorsystems

JEAN-MARC SCHARES¹, LUDWIG HOEGNER¹ & UWE STILLA¹

Zusammenfassung: Gegenstand dieses Artikels ist die Untersuchung der mit dem Kinect-Sensorsystem aufnehmbaren Punktwolke, insbesondere hinsichtlich der Tiefenauflösung. Die Tiefe wird nach dem Prinzip der Stereotriangulation bestimmt indem ein Infrarotlaser ein intern bekanntes Punktmuster auf die Umgebung projiziert welches von einem Infrarotsensor, in einem festen Abstand zum Laser, aufgenommen wird. Die Tiefengenauigkeit der erzeugten Punktwolke wird dabei durch den schleifenden Schnitt zwischen Musterprojektor und Kamera begrenzt. Zur Bestimmung des Abstands der beiden Ebenen in der Punktwolke wurden drei verschiedene Ebenenschätzungen verglichen, um den Einfluss der Schätzverfahren zu bewerten: Reduktion auf die Tiefenebene mit den meisten Punkten, Mittlere Tiefe aller Punkte und ausgleichende Ebene.

1 Einleitung

Dem Kinect-Sensor von Microsoft liegt als Grundprinzip die Messung der Abweichung eines kontinuierlich projizierten, strukturierten und pseudozufälligen Infrarotlicht-Punktmusters von einer Ebenenprojektion zu Grunde. Der Projektor schickt permanent Infrarotstrahlen in einem bekannten Muster in den Raum. Die Tausenden von einzelnen Lichtstrahlen erscheinen auf dem Körper als Reflexionspunkte. Bewegt sich der Körper wird jeder Lichtstrahl anders reflektiert. Die sich so verändernden Lichtmuster nimmt die Infrarotkamera auf. Ein Chip errechnet daraus 3D-Koordinaten. Obwohl für die Stereotriangulation (ALBERTZ & WIGGENHAGEN, 2009) generell zwei Bilder benötigt werden um die Tiefe eines Punktes zu bestimmen, ist es hier möglich die Tiefeninformation aus einem einzelnen Infrarotbild des Punktmusters zu extrahieren. Dies liegt daran, dass es noch ein zweites virtuelles Bild gibt, neben dem Bild welches die Aufnahme der Punkte durch den Infrarotsensor darstellt. Das zweite nicht sichtbare Bild ist das festgelegte Punktmuster, das der Laser projiziert und fest in die Chiplogik einprogrammiert ist. Die beiden Bilder sind nicht äquivalent, sondern es gibt eine feste Basislinie zwischen Laser und Sensor. Dadurch entsprechen die Bilder unterschiedlichen Kamerapositionen, was es ermöglicht die einzelnen Punkttiefen durch Stereotriangulation zu berechnen. Dabei erleichtert das pseudozufällige Muster das Matching der Punkte, da diese jeweils eine lokal unterschiedliche Nachbarschaft haben. Das Verfahren hat gewisse Ähnlichkeiten mit Sensoren, die „Strukturiertes Licht“ verwenden und ein Raster von regelmäßigen Linien ausstrahlen (WAHL, 1986).

Damit unterscheidet sich die Bestimmung der 3D Koordinaten der projizierten Infrarotpunkte grundsätzlich von Time-Of-Flight (TOF) Kameras, bei denen ein flächenhafter Infrarotlaser und -detektor eine Laufzeitmessung durchführt (WEINMANN et al., 2011).

1) Technische Universität München (TUM) - Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung, Arcisstraße 21, 80333 München, E-Mail: pf@bv.tum.de

Im folgenden soll die zu erwartende Tiefengenauigkeit des Kinect-Sensors anhand von Messungen überprüft werden. Dabei soll zuerst auf die genauen technischen Spezifikationen eingegangen werden, aus denen sich die theoretisch zu erwartenden Vergleichswerte ergeben.

2 Technische Grundlagen des Kinect-Sensors

In den drei Schöffnungen der Kinect befinden sich eine normale Farbkamera, sowie Infrarotprojektor und Infrarotkamera. Der Infrarotprojektor sendet ein pseudozufälliges Punktmuster aus, das von der Infrarotkamera beobachtet wird. Die Stereobasis für die 3D Rekonstruktion wird dabei durch den Abstand zwischen Infrarotprojektor und Infrarotkamera festgelegt. Die Abweichung des von der Infrarotkamera beobachteten Musters vom bekannten Muster des Infrarotprojektors erlaubt die Rekonstruktion der 3D Koordinaten der projizierten Punkte. Daraus ergibt sich die theoretisch erzielbare Tiefengenauigkeit der projizierten Infrarotpunkte. Die technischen Daten der Infrarotkamera sind in Tabelle 1 aufgelistet. Der Detektor selber hat eine Auflösung von 1200x960 Pixeln, für die Weiterverarbeitung wird diese Auflösung auf 640x480 Pixel reduziert. Das Sichtfeld beträgt 57° horizontal, 43° vertikal, die Stereobasis zwischen Infrarotprojektor und -kamera ca. 7,5 cm.

Der Infrarotprojektor erzeugt ein pseudozufälliges Muster von Infrarotpunkten im Raum. In Abbildung 1a ist das gesamte Muster zu sehen, charakteristische Besonderheiten wurden hervorgehoben.

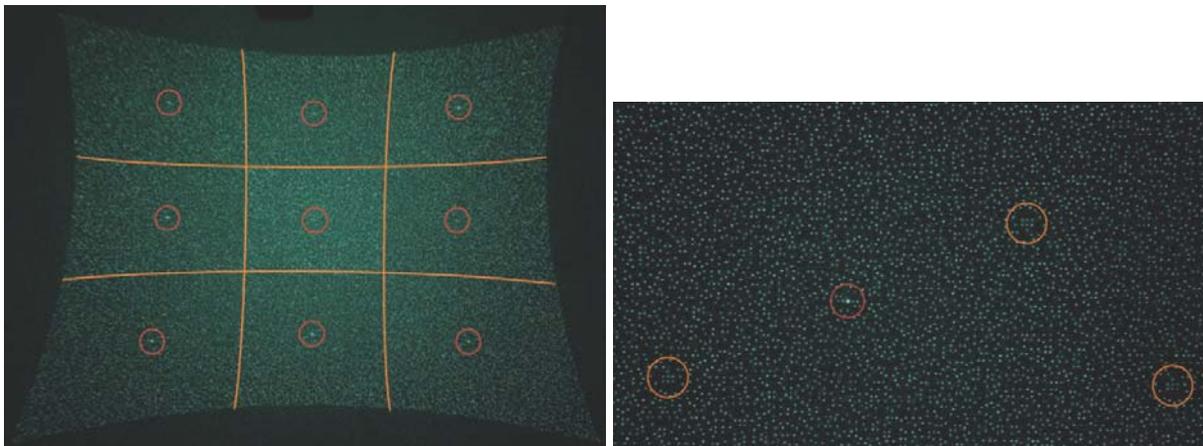


Abb. 1: a) links: Infrarotmuster des Kinect Projektors, b) rechts: Referenzmarken im Infrarotmuster

Die kissenförmige Verzerrung hat ihren Ursprung in dem Aufsatz, der den Laserstrahl in das Punktmuster verwandelt. In der Mitte ist ein helleres Rechteck zu sehen, welches einen Teil des neunfach wiederholten untergeordneten Musters darstellt. Da es sich um neunmal dasselbe Muster handelt ist auch überall in der Mitte ein hellerer Punkt vorhanden. In einer Vergrößerung des Musters (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 1b) ist wiederholt auftretend eine Art Referenzmarke (orange umkreist) zu erkennen. Diese wird zur Lokalisierung

von Ausschnitten aus dem Punktmuster bei der Projektion in den 3D-Raum genutzt, da sie sich gut von ihrer Umgebung unterscheiden lässt.

Bei einer noch näheren Betrachtung (Abb. 2) treten zwischen den eigentlichen Punkten und über das Muster hinaus noch weitere, sehr schwach erleuchtete Punkte in Erscheinung. Diese werden vom Infrarotsensor aber nicht erkannt und sind ein Nebeneffekt aus der Erzeugung des Punktmusters aus dem Laserstrahl. Gemäß einem Patentantrag von PrimeSense (SHPUNT, 2009) befinden sich dafür zwei optische Diffraktionsgitter vor dem Laser. Dadurch wird zuerst ein regelmäßiges orthogonales Raster von Punkten erzeugt von welchem dann nur die hell leuchtenden Punkte durchgelassen werden, um eines der neun Untermuster zu erzeugen. Durchschnittlich ist einer von neun Punkten aus dem regelmäßigen Raster hell (REICHINGER, 2011), wobei keine zwei hellen Punkte direkt aneinander liegen bezüglich Achter-Nachbarschaft.

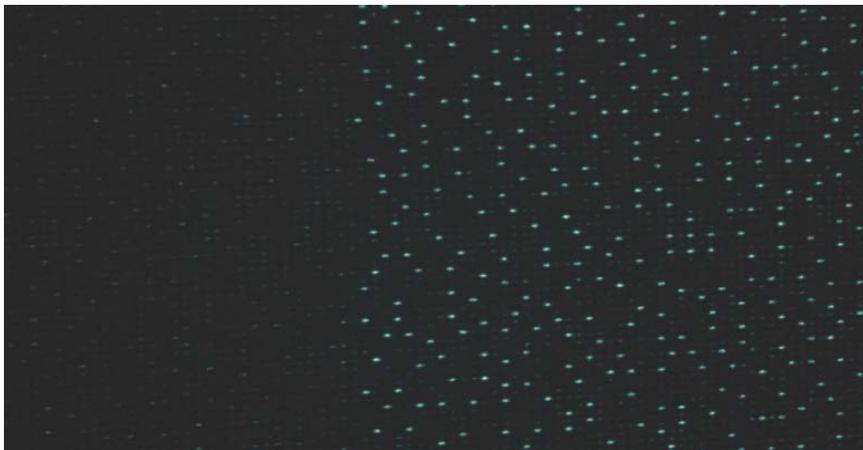


Abb. 2: Regelmäßiges orthogonales Punktraster als Basis des Punktmusters

3 Untersuchungen

3.1 Auflösung des Infrarotmusters

Bei diesem Versuch wurde die Auflösung der Infrarotpunkte aus dem projizierten Muster mit der Auflösung der daraus entstehenden 3D-Punktwolke verglichen. Dafür wurde eine definierte Oberfläche aus Entfernungen von einem bis sieben Metern aufgenommen. In Abbildung 3 sind die Infrarotmuster (links) und die entsprechenden Punktwolken (rechts) zu sehen. Erkennbar sind die abnehmende Punktdichte mit zunehmender Entfernung und die höhere Anzahl an Punkten in der Punktwolke gegenüber dem Infrarotmuster.

Diese höhere Dichte entsteht durch Interpolation eines regelmäßigen Gitters aus den bestimmten 3D Koordinaten der Infrarotpunkte. Diese Interpolation führt dazu, dass an Tiefensprüngen Ausfransungen entstehen und Kanten nicht scharf abgebildet werden oder in einer Bildsequenz flackern. Tabelle 1 zeigt die Punktdichte der 3D Messpunkte und der interpolierten Punktwolke abhängig vom Abstand zum Sensor.

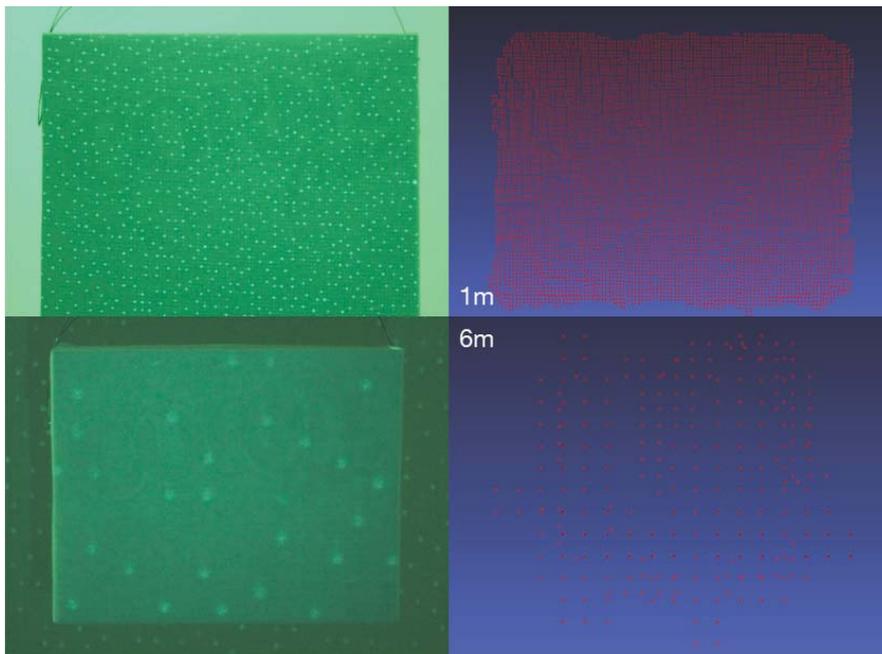


Abb. 3: Infrarotpunkte und Punktwolke der aufgenommenen Oberfläche

Tab. 1: Auflösung des IR Punktmusters und der interpolierten Punktwolke abhängig von der Entfernung zum Sensor

Distanz [m]	3D Punkte	IR Punkte	3D/IR	3D/cm ²	IR/cm ²	IR/dm ²
1	7417	811	9,15	28,07	3,07	306,89
2	2092	248	8,44	7,92	0,94	93,85
3	887	112	7,92	3,36	0,42	42,38
4	526	64	8,22	1,99	0,24	24,22
5	357	43	8,30	1,35	0,16	16,27
6	240	29	8,28	0,91	0,11	10,97
7	219	19	11,53	0,83	0,07	7,19

3.2 Auflösung der Punktwolke

Für die folgenden Untersuchungen wurde eine fixe Konstruktion von zwei parallelen Ebenen mit einem Abstand von 18,2 cm in Abständen von 0,5-8 Meter zum Sensor aufgestellt und die jeweilige Punktwolke abgespeichert. Die Ebenen wurden dabei möglichst senkrecht zum horizontal blickenden Sensor ausgerichtet. In den einzelnen Aufnahmen wurden die zwei Ebenen zur weiteren Analyse ausgeschnitten, wobei nicht die komplette Fläche behalten wurde, da an den Rändern eine Verwischung mit den Seitenwänden und dem Boden erfolgte. Die eigentlich flachen Ebenen werden mit zunehmender Entfernung vom Sensor auf Tiefenebenen in immer größeren Abständen aufgeteilt. Ab etwa sechs Metern sind die einzelnen Ebenen fast nicht mehr voneinander zu unterscheiden.

Für die Analyse der Genauigkeiten wurden folgende Werte untersucht: und in Tabelle 3 aufgelistet:

- Auflösung – Tiefe: Abstand zwischen den parallelen Tiefenebenen in Blickrichtung der Kinect.
- Auflösung – Quer: Abstand zwischen Punkten quer zur Blickrichtung. Manuell an mehreren Stellen in Höhe und Breite in MeshLab gemessen.
- Auflösung – Theor.: Theoretischer Wert für die Querauflösung in den verschiedenen Aufstellweiten.
- Spanne: Tiefenbereich über den sich die eigentlich flache Ebene erstreckt.
- max. Punkte + Δ : Absoluter Wert der Tiefenebene der Punktwolke welche die meisten Punkte der ausgeschnittenen Fläche enthält + deren Differenz (Soll: 0,182 m)
- Mittelw. + Δ : Mittelwert der Tiefenwerte aller Punkte der ausgeschnittenen Fläche + deren Differenz (Soll: 0,182 m)
- Ausgleichende Ebene – σ : Standardabweichung der ausgeschnittenen Punkte von deren ausgleichenden Ebene. Abhängig davon auf welche Tiefenebenen (Anzahl, Distanz) die Fläche verteilt ist.
- Ausgleichende Ebene – $N_x + N_y + N_z$: Normalenvektor der ausgleichenden Ebene. N_z ist in Blickrichtung des Sensors, N_y quer dazu horizontal und N_x lotrecht.
- Ausgleichende Ebene – $D + \emptyset$: Entfernung einer Ebene der Konstruktion zur anderen + deren Mittelwert (Soll: 0,182 m).
- Ausgleichende Ebene – Winkel: Winkel zwischen den Normalen der beiden Ebenen der Konstruktion (Soll: 0°). Tendenziell wird der Wert mit dem Abstand schlechter, hängt aber auch zufällig davon ab wie die Punkte auf die Tiefenebenen verteilt sind.

Der theoretische Wert für die Querauflösung in den verschiedenen Aufstellweiten kann berechnet werden über den Öffnungswinkel (hier 57°), die Bildbreite und die Entfernung d . Sie ergibt sich damit aus der Formel:

$$2 * d * \tan\left(\frac{57^\circ}{2}\right) * \frac{1}{640} \left[\frac{m}{pixel}\right] \quad (1)$$

Die theoretische Tiefenauflösung lässt sich aus der Stereotriangulation über die Winkelauflösung zwischen Infrarotprojektor und Infrarotkamera:

$$\alpha = \frac{57^\circ}{640 px} = 0,089^\circ / px \quad (2)$$

Diese deckt in verschiedenen Tiefen entlang der Blickrichtung unterschiedliche Abstände ab, die im Endeffekt in einem Pixel abgebildet werden. Im rechtwinkligen Dreieck wird zuerst der untere Winkel für Tiefen von 1-8 Metern berechnet. Auf diesen wird die Winkelauflösung addiert und daraus die neue Tiefe hergeleitet, von welcher die Anfangstiefe abgezogen wird, um den Abdeckungsbereich entlang der Sichtachse zu erhalten.

Die Distanz zwischen den beiden Ebenen des Testkörpers wurde mit drei verschiedenen Methoden ermittelt. Für jede ausgeschnittene Fläche wurden die Tiefenebene mit der höchsten Anzahl an Punkten und der Mittelwert der Punkttiefen bestimmt. Als dritte Methode wurde für jede Fläche eine ausgleichende Ebene berechnet. Zwischen den zwei Platten der Konstruktion wurde dann an jedem Aufstellort der Abstand berechnet. Dabei wurde angenommen, dass die Flächen annähernd parallel sind, aber versetzt. Zur Bestimmung der Distanz wurde der Vektor

zwischen den Schwerpunkten auf beide Normalvektoren projiziert. Die Längen dieser entstandenen Vektoren wurden gemittelt um die letztendliche Datenreihe zu erhalten.

4 Ergebnisse

4.1 Quer- und Tiefenauflösung

Aus der Auswertung der Testergebnisse (Tab. 2) ergeben sich eine Reihe von Aussagen. Die Querauflösung steigt linear an bis auf 1,5 cm in 8 Meter Entfernung (Abb.4a). In der Tiefe wächst die Auflösung immer schneller bis auf 20 cm. Dabei stimmt die gemessene Querauflösung mit der theoretischen gut überein (Abb. 4b) und bestätigt den Zusammenhang zwischen der Punktwolke und dem flachen Tiefenbild. In Orange wurde die Tiefenauflösung relativ mit der Spanne verglichen, also dem Tiefenbereich über den sich eine ausgeschnittene Fläche erstreckt. Unter Berücksichtigung der zwei unterschiedlichen Achsen liegt die Tiefenauflösung im Streubereich der Spanne, aus welcher sich ablesen lässt, dass eine flache Ebene sich bei 8 Metern über eine Tiefe von 50 cm erstreckt. Der Zusammenhang zwischen der Winkelauflösung und der Tiefenauflösung ist in Abbildung 4c dargestellt.

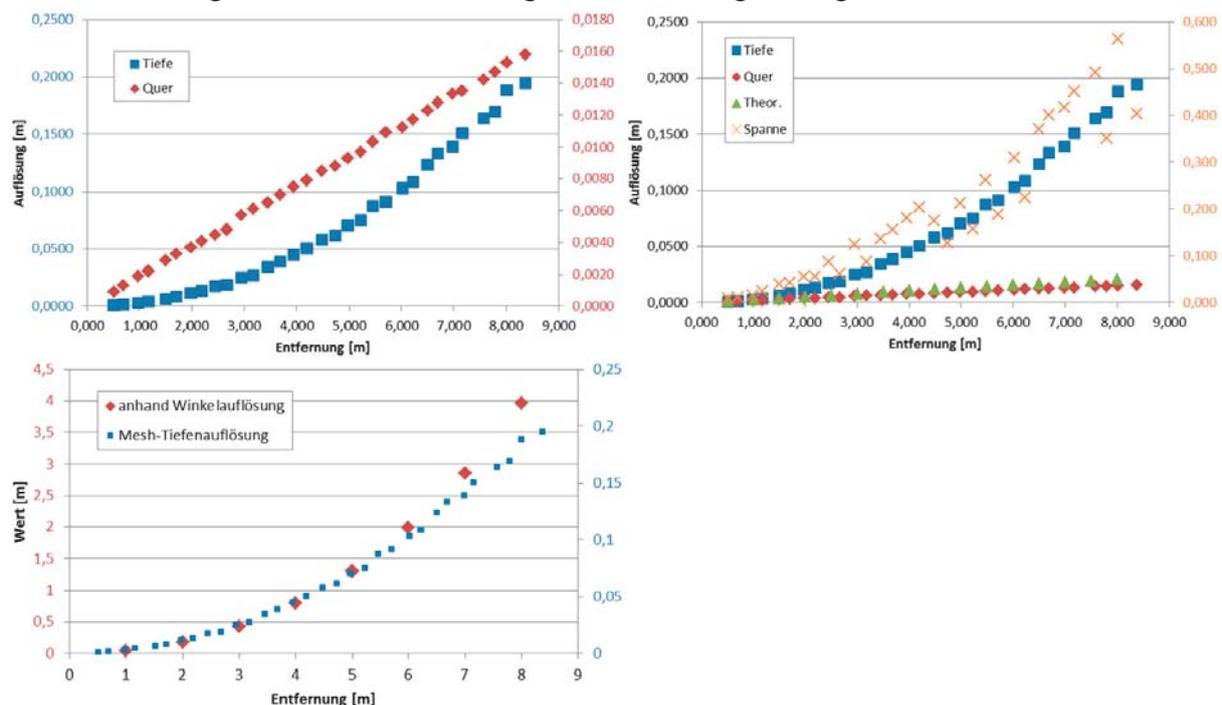


Abb. 4: a) links: Auflösung quer und in der Tiefe, b) rechts: Auflösung mit Streuung und theoretischer Genauigkeit, c) links unten: Zusammenhang Winkelauflösung und Tiefenauflösung

4.2 Distanzgenauigkeit paralleler Ebenen

Die drei Methoden zur Berechnung der Distanz zwischen den beiden parallelen Ebenen der Konstruktion in der Punktwolke sind in Abbildung 5 dargestellt. Die orangene Linie zeigt den realen Wert von 18,2 cm. Die besten Ergebnisse werden auf den ersten Metern der Entfernung

bei der Berechnung des Abstands mit den ausgleichenden Ebenen erzielt, mit Abweichungen unterhalb von einem Zentimeter. Die andern beiden Datenreihen verhalten sich relativ ähnlich, da sie durch die Verteilung der Flächen auf die Tiefenebenen in immer größeren Abständen beeinflusst werden. So wie dieser Abstand steigt auch die bestimmte Distanz langsam an, bis in weiterer Entfernung eine Streuung der Daten auftritt. Die Abstände vom Sollmaß hängen auch von der Tiefenauflösung in der jeweiligen Entfernung ab, also der Distanz zwischen zwei parallelen Tiefenebenen. Auch wenn die ausgleichenden Ebenen zu anfangs die besten Ergebnisse liefern, so werden diese bei größerer Entfernung doch unbrauchbar. Das liegt unter anderem daran, dass die zwei Platten zwischen denen der Abstand bestimmt wird irgendwann teilweise auf dieselben Tiefenebenen abgebildet werden, wie auch in Abbildung 6 zu sehen ist. Demnach spielt der Blickwinkel zwischen Sensor und Fläche eine wichtige Rolle für die ausgegebene Punktwolke. Die Charakteristik der Tiefenebenen ist der wichtigste Einflussfaktor auf die Aufnahmen.

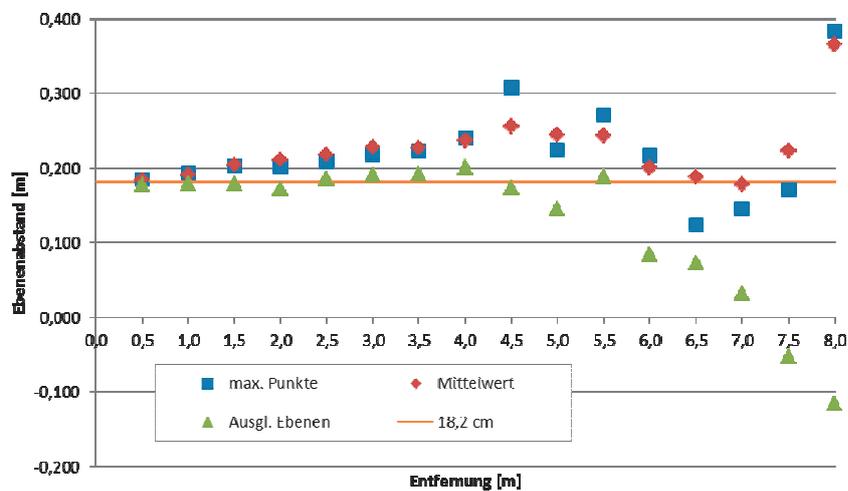


Abb. 5: Vergleich der Methoden zur Distanzbestimmung

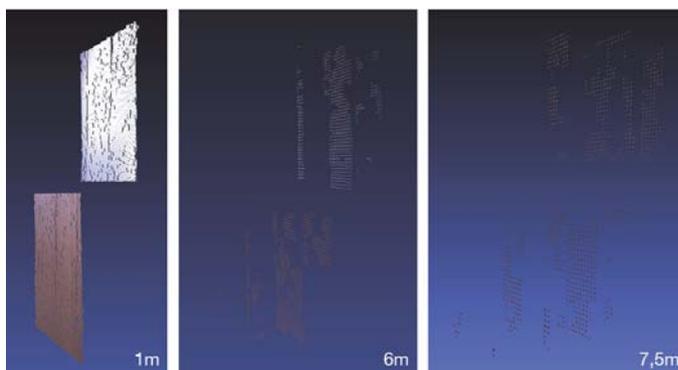


Abb. 6: Punktwolken der Ebenen in verschiedenen Entfernungen

Tab. 2: Daten zur Auflösung der Punktwolke und Distanzgenauigkeit

Distanz [m]	Mesh	Auflösung [m]			Anzahl Punkte	Spanne [m]	max. Punkte [m]	Δ [m]	Mittelw [m]	Δ [m]	Ausgleichende Ebene						σ [m]	D [m]	\varnothing [m]	Winkel [°]
		Tiefe	Quer	Theor.							Nx	Ny	Nz							
0,5	0500v	0,0010	0,0009		50558	0,009	0,508	0,185	0,509	0,183	0,001	0,006	0,016	1,000	0,179	0,178	0,548			
	0500h	0,0013	0,0013	0,0013	34873	0,011	0,693		0,692		0,001	0,004	0,025	1,000	0,177					
1,0	1000v	0,0027	0,0019		31655	0,016	0,980	0,193	0,980	0,191	0,002	-0,011	0,021	1,000	0,181	0,179	0,521			
	1000h	0,0040	0,0022	0,0026	24575	0,024	1,173		1,171		0,003	-0,016	0,029	0,999	0,177					
1,5	1500v	0,0065	0,0029		13655	0,039	1,512	0,203	1,508	0,204	0,004	-0,037	0,053	0,998	0,175	0,180	1,044			
	1500h	0,0080	0,0033	0,0039	12840	0,042	1,715		1,712		0,005	-0,031	0,036	0,999	0,185					
2,0	2000v	0,0112	0,0037		8409	0,056	1,992	0,202	1,978	0,211	0,008	-0,024	0,103	0,994	0,156	0,172	4,086			
	2000h	0,0132	0,0041	0,0052	7669	0,055	2,194		2,189		0,009	0,014	0,043	0,999	0,189					
2,5	2500v	0,0174	0,0045		4780	0,087	2,460	0,209	2,456	0,218	0,012	-0,031	0,092	0,995	0,168	0,186	4,549			
	2500h	0,0190	0,0048	0,0066	5211	0,061	2,669		2,674		0,012	0,015	0,028	1,000	0,204					
3,0	3000v	0,0248	0,0057		3640	0,124	2,967	0,219	2,948	0,228	0,019	-0,132	0,127	0,983	0,153	0,190	13,136			
	3000h	0,0270	0,0061	0,0079	3292	0,087	3,186		3,176		0,014	0,060	0,003	0,998	0,227					
3,5	3500v	0,0342	0,0065		2196	0,137	3,475	0,223	3,459	0,227	0,018	-0,077	0,100	0,992	0,172	0,192	6,006			
	3500h	0,0388	0,0070	0,0092	2609	0,155	3,698		3,686		0,027	-0,001	0,028	1,000	0,212					
4,0	4000v	0,0453	0,0075		1880	0,181	3,952	0,240	3,953	0,237	0,019	0,062	0,090	0,994	0,189	0,201	4,813			
	4000h	0,0508	0,0079	0,0105	2067	0,203	4,192		4,190		0,031	0,134	0,047	0,990	0,213					
4,5	4500v	0,0583	0,0085		1477	0,175	4,463	0,308	4,482	0,256	0,027	0,031	0,230	0,973	0,129	0,174	9,865			
	4500h	0,0617	0,0088	0,0118	1585	0,128	4,771		4,738		0,035	0,100	0,074	0,992	0,219					
5,0	5000v	0,0707	0,0093		1204	0,212	4,977	0,225	4,979	0,245	0,033	-0,091	0,245	0,965	0,103	0,146	34,725			
	5000h	0,0750	0,0097	0,0131	1017	0,157	5,202		5,223		0,047	0,477	0,087	0,874	0,188					
5,5	5500v	0,0873	0,0103		921	0,262	5,448	0,271	5,460	0,244	0,032	0,069	0,158	0,985	0,156	0,189	20,567			
	5500h	0,0910	0,0109	0,0144	890	0,189	5,719		5,704		0,029	0,398	0,035	0,917	0,221					
6,0	6000v	0,1030	0,0112		877	0,309	6,018	0,217	6,027	0,201	0,049	0,406	0,280	0,870	0,043	0,085	17,343			
	6000h	0,1083	0,0117	0,0157	809	0,225	6,235		6,228		0,039	0,634	0,112	0,765	0,126					
6,5	6500v	0,1237	0,0123		695	0,371	6,468	0,124	6,499	0,189	0,047	0,710	0,166	0,685	0,070	0,073	14,791			
	6500h	0,1333	0,0128	0,0171	688	0,400	6,592		6,688		0,045	0,865	0,095	0,492	0,077					
7,0	7000v	0,1390	0,0133		514	0,417	6,992	0,145	6,986	0,178	0,046	0,807	0,232	0,544	-0,010	0,033	9,681			
	7000h	0,1507	0,0135	0,0184	552	0,452	7,137		7,164		0,052	0,756	0,108	0,646	0,076					
7,5	7500v	0,1640	0,0142		411	0,492	7,608	0,171	7,570	0,224	0,054	0,895	0,218	0,389	-0,011	-0,052	166,984			
	7500h	0,1693	0,0147	0,0197	399	0,351	7,779		7,794		0,044	-0,944	-0,005	-0,329	-0,094					
8,0	8000v	0,1880	0,0153		400	0,564	7,959	0,384	8,006	0,365	0,057	-0,944	-0,034	-0,329	-0,135	-0,116	4,543			
	8000h	0,1947	0,0158	0,0210	410	0,404	8,343		8,372		0,049	-0,934	-0,112	-0,338	-0,096					

5 Ausblick

Aus geodätischer Sicht ist der Kinect-Sensor sicherlich durch die schnelle, einfache und günstige Aufnahme von 3D-Daten interessant. Er ist nur im Nahbereich, am besten unterhalb fünf Metern, einsetzbar und bietet im Vergleich zu anderen Verfahren nur eine recht beschränkte Genauigkeit die aber bei der Verarbeitung in der Software noch einiges an Steigerungspotential bietet, etwa durch Verknüpfung von und in Punktwolke und Textur.

In der Gegenüberstellung ermöglicht das Laserscanning eine deutlich höhere Genauigkeit und Reichweite. Die Kinect ermöglicht ein komplettes Tiefenbild mit 30 Hz und somit die Aufnahme eines Raumausschnitts in Echtzeit.

Verglichen mit der Stereophotogrammetrie hat der Kinect-Sensor den Vorteil, dass für die Bestimmung der Tiefe keine korrespondierenden Punkte im Farbbild benötigt werden.

Im Vergleich mit einer Time-Of-Flight Kamera bleibt die Tiefengenauigkeit auf Grund des unterschiedlichen Messverfahrens deutlich zurück.

Die Kinect deckt als Sensor also ein spezielles Gebiet ab bezüglich Anforderungen und Anwendungen, könnte sich aber zwischen anderen Verfahren etablieren etwa bei der Erstellung von Innenraummodellen oder der Aufnahme von Gegenständen, bei denen die Ansprüche an die Tiefengenauigkeit nicht zu hoch werden, nicht zuletzt wegen dem günstigen Anschaffungspreis und der leichten Handhabung bei entsprechenden Programmen.

6 Literaturverzeichnis

- ALBERTZ, J. & WIGGENHAGEN, M., 2009: Taschenbuch der Photogrammetrie und Fernerkundung, Wichmann, Heidelberg. ISBN 978-3-87907-384-9
- REICHINGER, A., 2011: Kinect Pattern Uncovered. Blog.
<http://azttm.wordpress.com/2011/04/03/kinect-pattern-uncovered/>
- SHPUNT, A., 2009: Optical Designs for Zero Order Reduction. Assignee: Prime Sense Ltd. (Tel Aviv, IL). United States Patent Application 20090185274.
<http://www.freepatentsonline.com/y2009/0185274.html>
- WAHL, F.M., 1986: A coded light approach for depth map acquisition. In Hartmann (ed.): Mustererkennung 1986, Springer Verlag, Berlin, S. 12-17.
- WEINMANN, M., WURSTHORN, S. & JUTZI, B., 2011: Semi-automatic image-based co-registration of range imaging data with different characteristics. PIA11 - Photogrammetric Image Analysis. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. **38(3)** / W22, S. 119-124.