



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Fakultät Informatik, Computergraphik und Visualisierung

Depth from Focus 3D Scanning

Roy Ledermüller

Betreuer Dr. Anita Sellent, Prof. Stefan Gumhold



Dresden, 23.09.2011





Motivation

Vielseitige Verwendung für 3D-Daten:

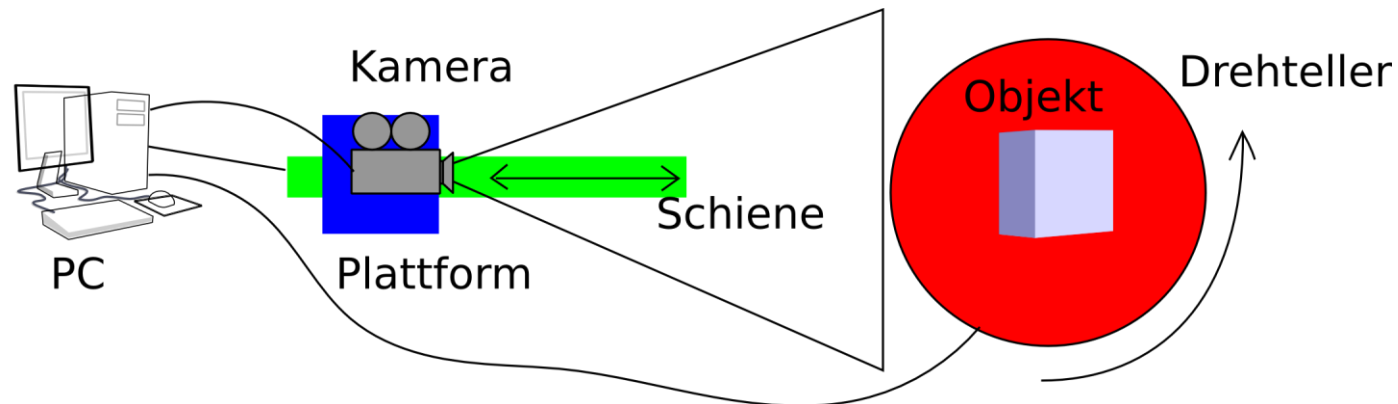
- Objekterkennung
- Steuerung, Navigation
- Materialüberprüfung
- Modellierung, Architektur
- Spiele und Kunst



Motivation

Aktuelle Verfahren	Nachteile
Time of Flight (Kinect, Google Tango)	Sensor braucht hohe Dynamik Lichtquelle benötigt Störung durch andere Quellen Spezielle Hardware
Depth from Stereo	Benötigt hohe Kontraste Verdeckungsfehler
Lightfield	Spezielle Hardware Große Datenmengen Artefakte

Aufgabenstellung



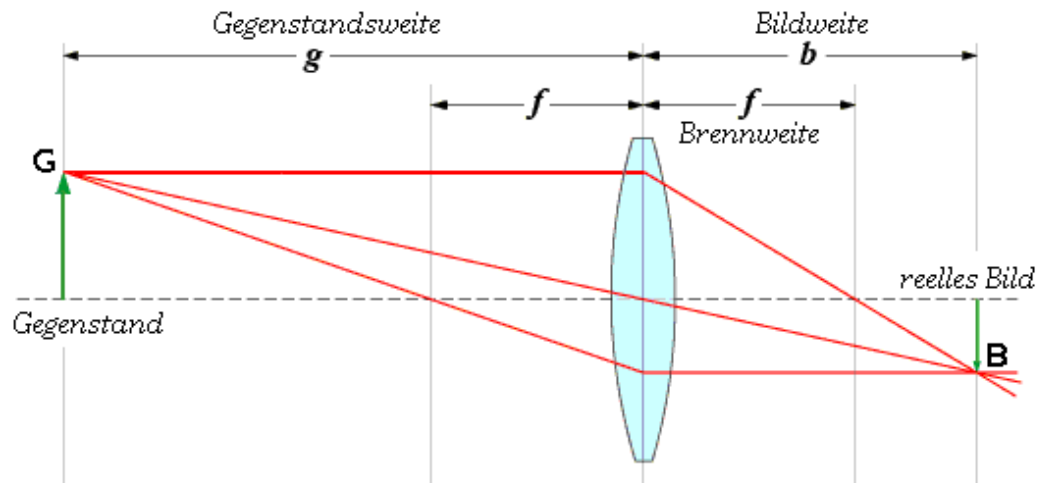
- Kalibrieren
- Bilderstapel aufnehmen
- Tiefe über Schärfe ermitteln
- Punktwolke generieren



Inhalt

1. Motivation und Aufgabenstellung
2. Grundlagen
3. Verwandte Arbeiten
4. Versuchsaufbau
5. Anwendung
 - 5.1 Implementierung
 - 5.2 Auswertung
6. Zusammenfassung

2. Grundlagen - Optik



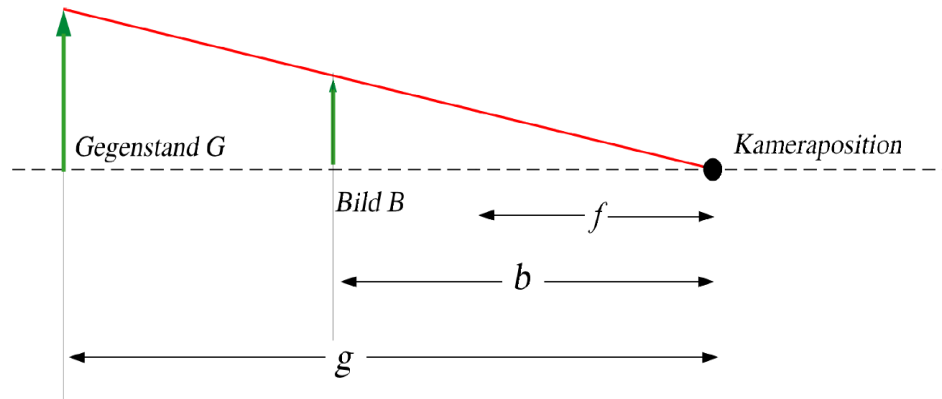
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

Linsengleichung

$$\frac{G}{g} = \frac{B}{b}$$

Verhältnisgleichung

2. Grundlagen - Pinhole Kameramodell

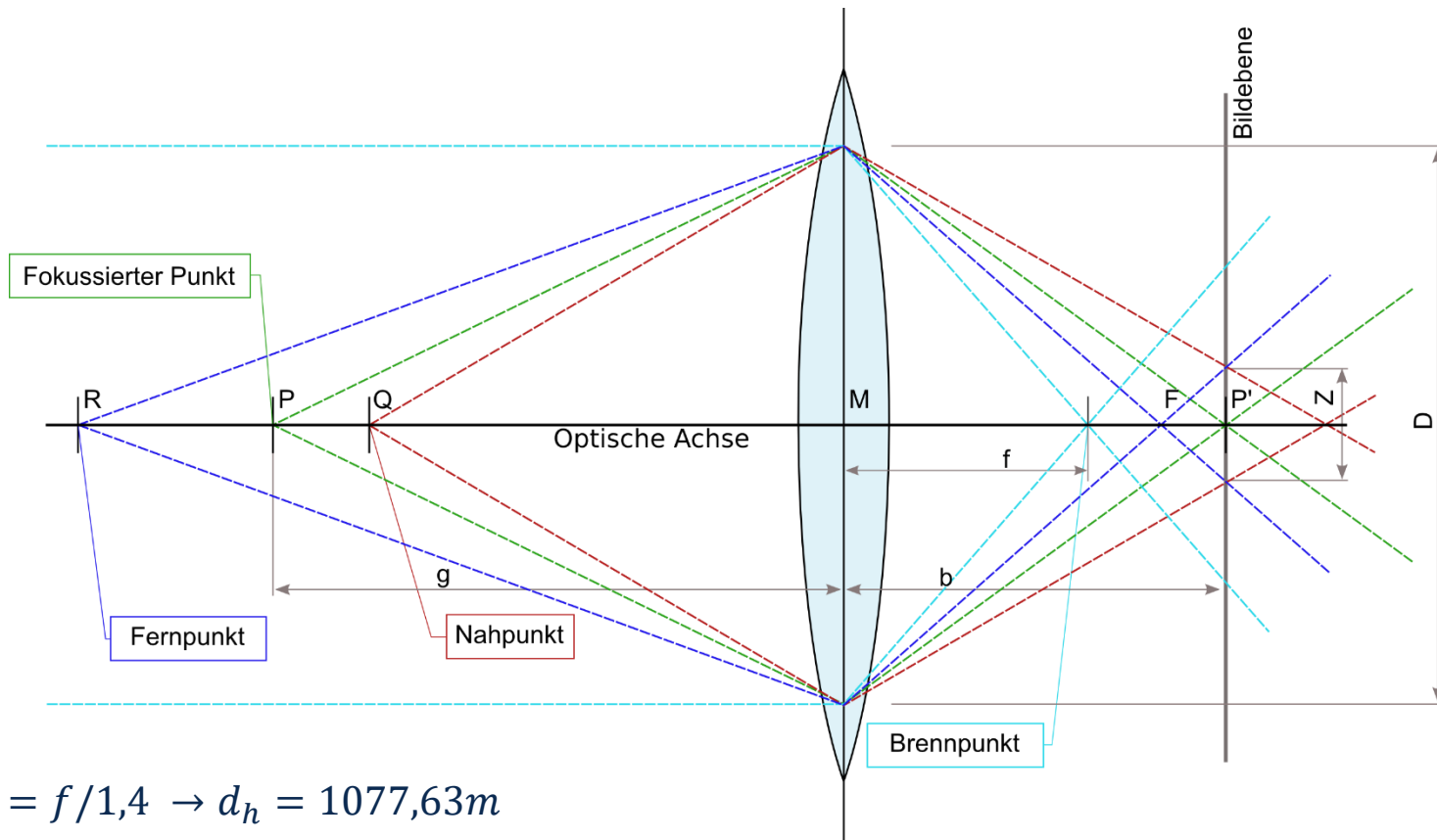


$$K = \begin{pmatrix} \frac{b}{s} & 0 & c_x \\ 0 & \frac{b}{s} & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

2. Grundlagen - Schärfe



2. Grundlagen – Tiefenschärfe



$$D = f/1,4 \rightarrow d_h = 1077,63m$$

$$d_f - d_n = 1,73 \text{ mm}$$

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Optik_Schaerfentiefe_Strahlengang_HF_01.png



3. Verwandte Arbeiten - Übersicht

1. Punktverteilungsfunktion (PSF)
2. Fokusmaß
3. Perspektivische Transformation

3. Verwandte Arbeiten - Punktverteilungsfunktion

Unscharfes Bild durch Faltung

$$i(x, y) = h(x, y) * s(x, y)$$

Annäherung durch Gaussverteilung

$$h_{\sigma}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \cdot e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}}$$
$$\sigma = k \cdot Z \quad k = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Subbarao, M. ; Gurumoorthy, N.: Depth recovery from blurred edges. In: Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1988.

3. Verwandte Arbeiten - Fokusmaß

Depth from Defocus

- Wenige Bilder (2 reichen)
- Unterschiedliche Unschärfen, identisches Ursprungsbild
- Bestimmt daraus Sigma

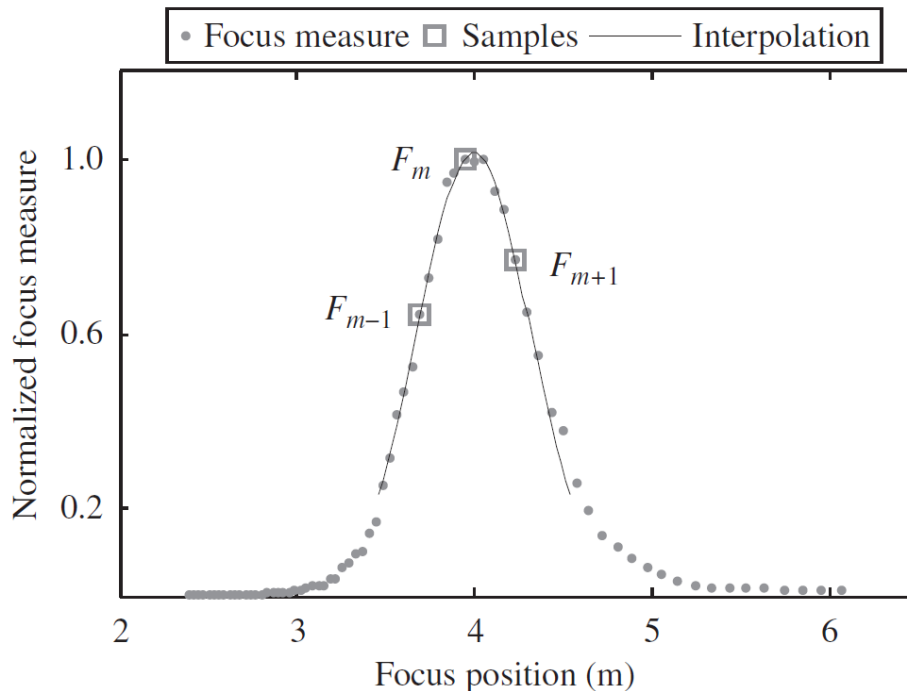
Subbarao, Murali ; Agarwal, Nalini B. ; Surya, Gopal:
Application of Spatial-Domain
Convolution/Deconvolution Transform for
Determining Distance from Image Defocus

Depth from Focus

- Min. 3 Bilder
- Unterschiedliche Fokusmaße
- Funktion interpolieren
- Maximum bestimmen
(entspricht Fokusdistanz)

Ens, J. ; Lawrence, P.:
An investigation of methods for determining depth
from focus. 15, Nr. 2, ISSN 0162-8828

3. Verwandte Arbeiten - Fokusmaß



- Von PSF abhängig
- Maximum bei Fokulentfernung
- f , D und g beeinflussen σ

Pertuz, Said ; Puig, Domenec ; Garcia, Miguel A.: Analysis of focus measure operators for shape-from-focus. 46, ISSN 0031-3203

3. Verwandte Arbeiten - Fokusmaß

Table 1

Abbreviations of focus measure operators.

Focus operator	Abbr.	Focus operator	Abbr.
Gradient energy	GRA2	Gray-level variance	STA3
Gaussian derivative	GRA1	Gray-level local variance	STA4
Thresholded absolute gradient	GRA3	Normalized gray-level variance	STA5
Squared gradient	GRA4	Modified gray-level variance	STA6
3D gradient	GRA5	Histogram entropy	STA7
Tenengrad	GRA6	Histogram range	STA8
Tenengrad variance	GRA7	DCT energy ratio	DCT1
Energy of Laplacian	LAP1	DCT reduced energy ratio	DCT2
Modified Laplacian	LAP2	Modified DCT	DCT3
Diagonal Laplacian	LAP3	Absolute central moment	MIS1
Variance of Laplacian	LAP4	Brenner's measure	MIS2
Laplacian in 3D window	LAP5	Image contrast	MIS3
Sum of wavelet coefficients	WAV1	Image curvature	MIS4
Variance of wavelet coefficients	WAV2	Hemli and Scherer's mean	MIS5
Ratio of the wavelet coefficients	WAV3	Local binary patterns-based	MIS6
Ratio of curvelet coefficients	WAV4	Steerable filters-based	MIS7
Chebyshev moments-based	STA1	Spatial frequency measure	MIS8
Eigenvalues-based	STA2	Vollath's autocorrelation	MIS9

Kriterien:

- Berechnungszeit
- Genauigkeit
- Störanfälligkeit

Pertuz, Said ; Puig, Domenec ; Garcia, Miguel A.: Analysis of focus measure operators for shape-from-focus. 46, ISSN 0031–3203

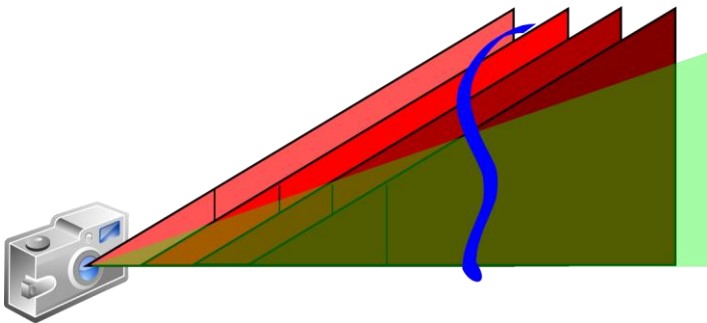


3. Verwandte Arbeiten - Fokusmaß

Tenengrad	Laplace	Graulevelvarianz
$\phi_{x,y} = \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} (G_x(i,j)^2 + G_y(i,j)^2)$	$\phi(x,y) = \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} \Delta_m I(i,j),$ $\Delta_m I = I * \mathcal{L}_X + I * \mathcal{L}_Y $	$\phi_{x,y} = \sum_{(i,j) \in \Omega(x,y)} (I(i,j) - \mu(i,j))^2$

Pertuz, Said ; Puig, Domenec ; Garcia, Miguel A.: Analysis of focus measure operators for shape-from-focus. 46, ISSN 0031–3203

3. Verwandte Arbeiten – Perspektivische Transformation



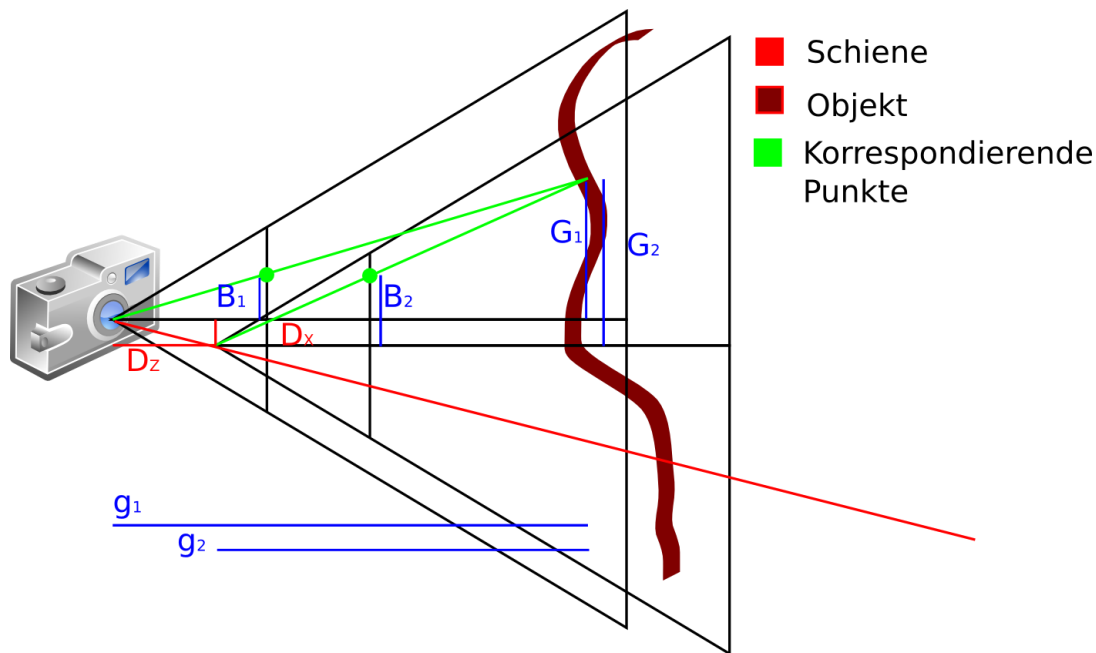
Grün: Vergleichbarer Ausschnitt des Stapels

Blau: Objekt

Rottöne: Sichtbereich der Kamera an bestimmter Position

Senthilnathan, R. ; Sivaramakrishnan, R.: Estimation of relative depth in the scene using SFF-inspired focus cue. In: 2012 IEEE International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)

3. Verwandte Arbeiten – Perspektivische Transformation

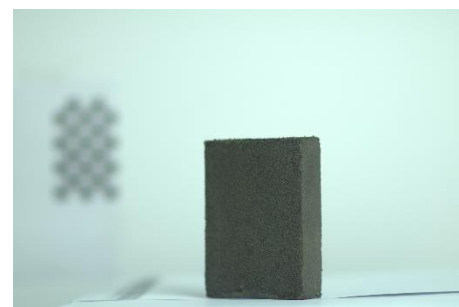
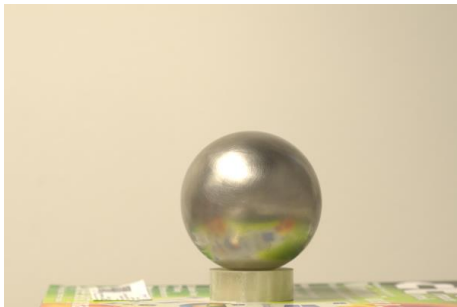


$$p_x = B_2 = \frac{bD_x + B_1g_1}{g_1 - D_z}$$

$$b = \frac{g - f}{gf}$$

Senthilnathan, R. ; Sivaramakrishnan, R.: Estimation of relative depth in the scene using SFF-inspired focus cue. In: 2012 IEEE International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)

4. Versuchsaufbau - Versuchsobjekte

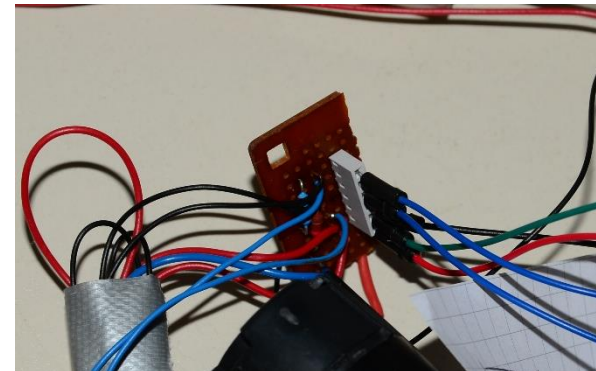


4. Versuchsaufbau - Schiene

Schiene:

- Gleichspannungsmotor
- Encoder
 - Ca. 1.650.000 Interrupts auf Gesamtlänge
 - max. Abweichung von 1900 Interrupts (0,6mm)
 - 16-20kHz
- 59,80cm Fahrtweg
- 2 Taster

Quadratur-Encoder



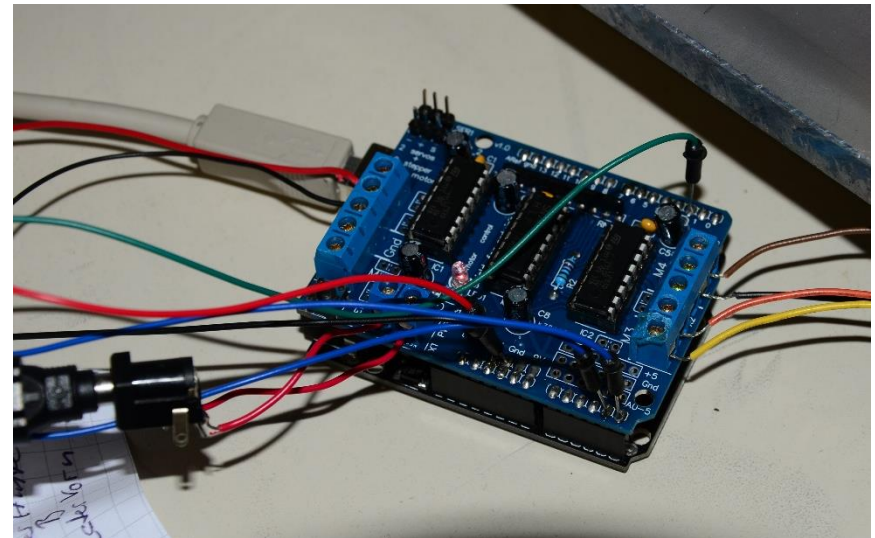
4. Versuchsaufbau - Drehteller

Teller:

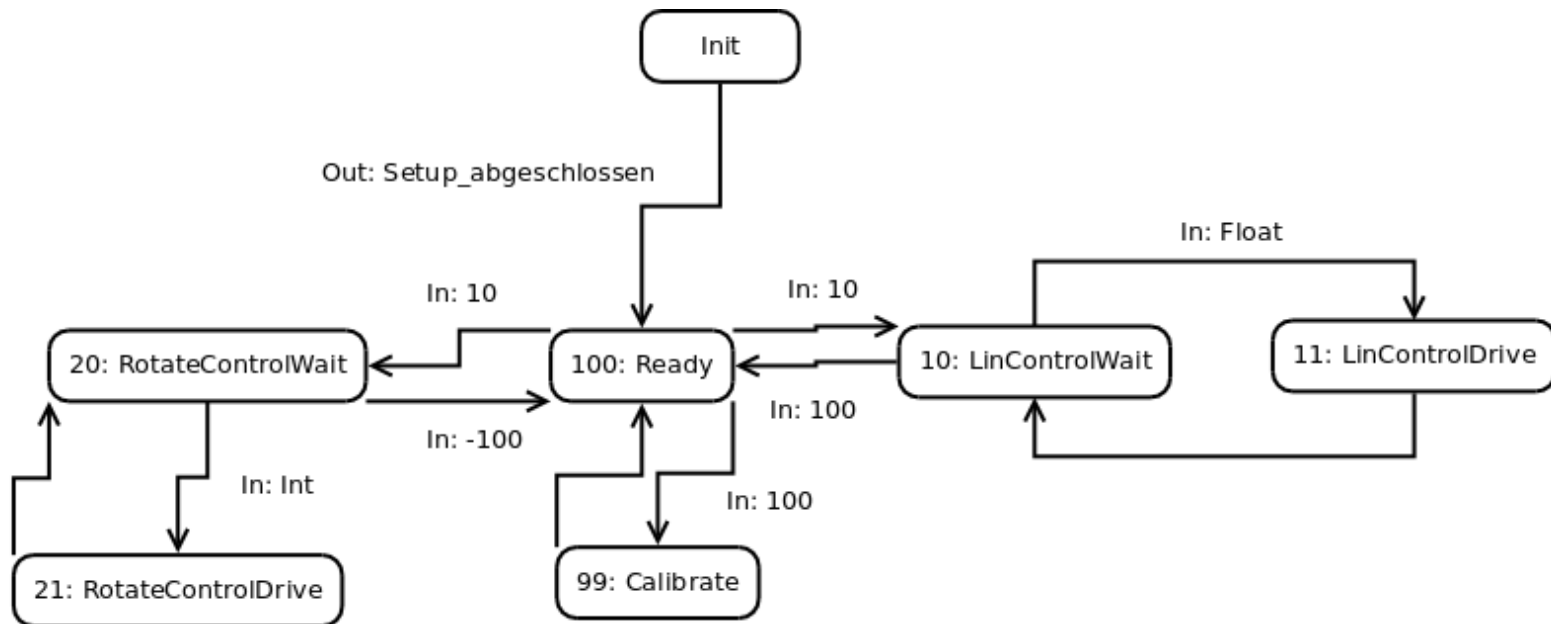
- Schrittmotor
- 2400 Schritte für 360° ($0,15^\circ$)
- 50cm Durchmesser

Arduino:

- 16 MHz
- 5V via USB
- Adafruit Motorshield
- Bis 600mA
- Serielle Schnittstelle

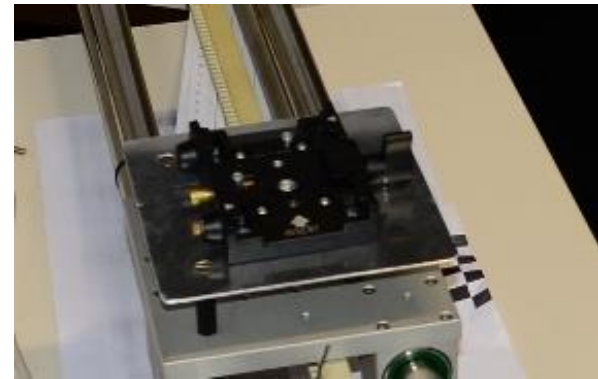


4. Versuchsaufbau - Zustandsdiagramm



4. Versuchsaufbau - Kamera

- Nikon D7000
- Walimax 85mm f/1.4
- Mindestdistanz 1m
- Sensor 23,6x15,6mm (APS-C)
- 4928x3264 Pixel
- USB, PTP-Protokoll
 - Kameraparameter
 - Dateiübertragung





5.1 Implementierung - Ansteuerung

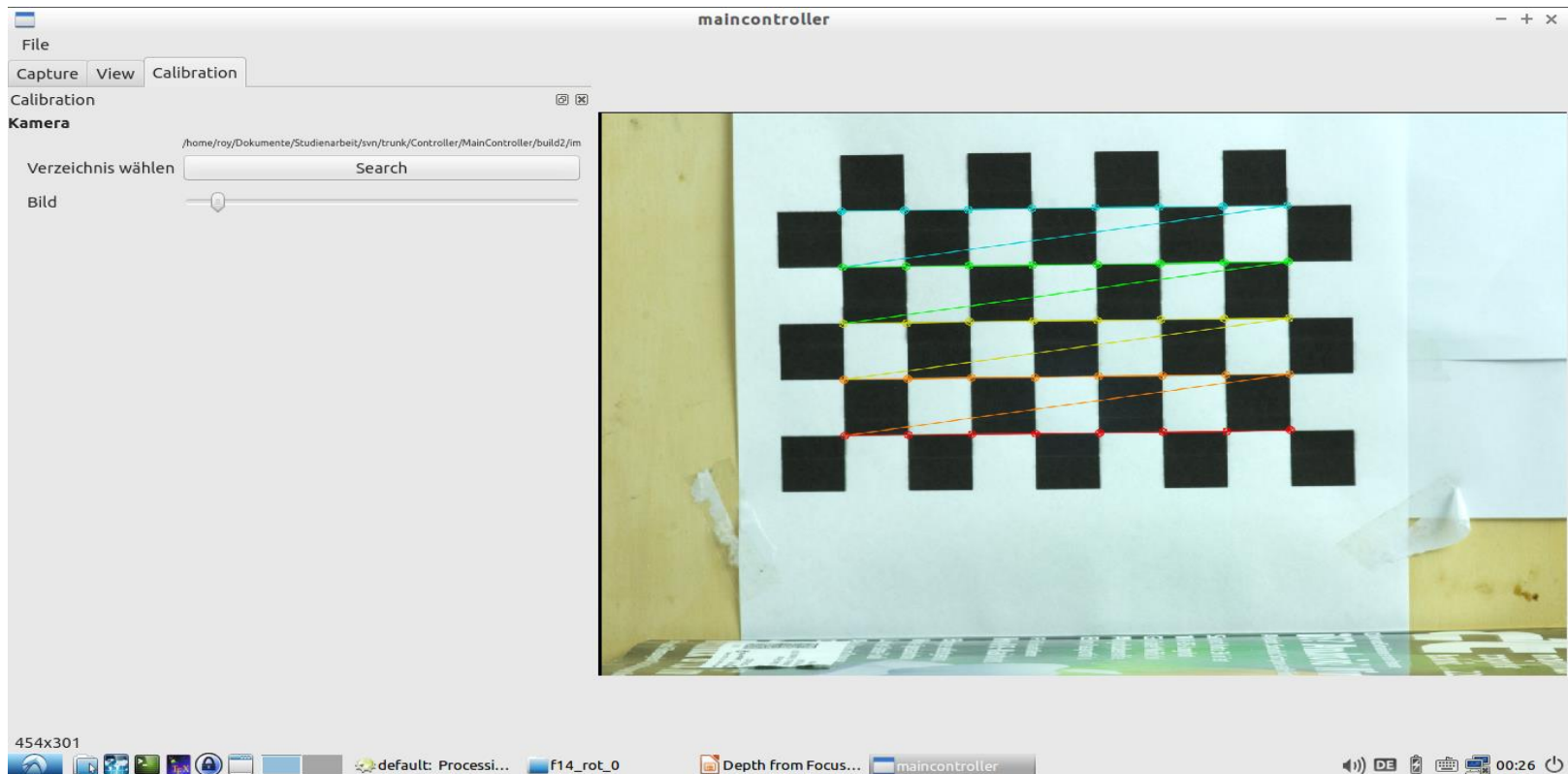
Arduino

- libserial
- synchron

Kamera

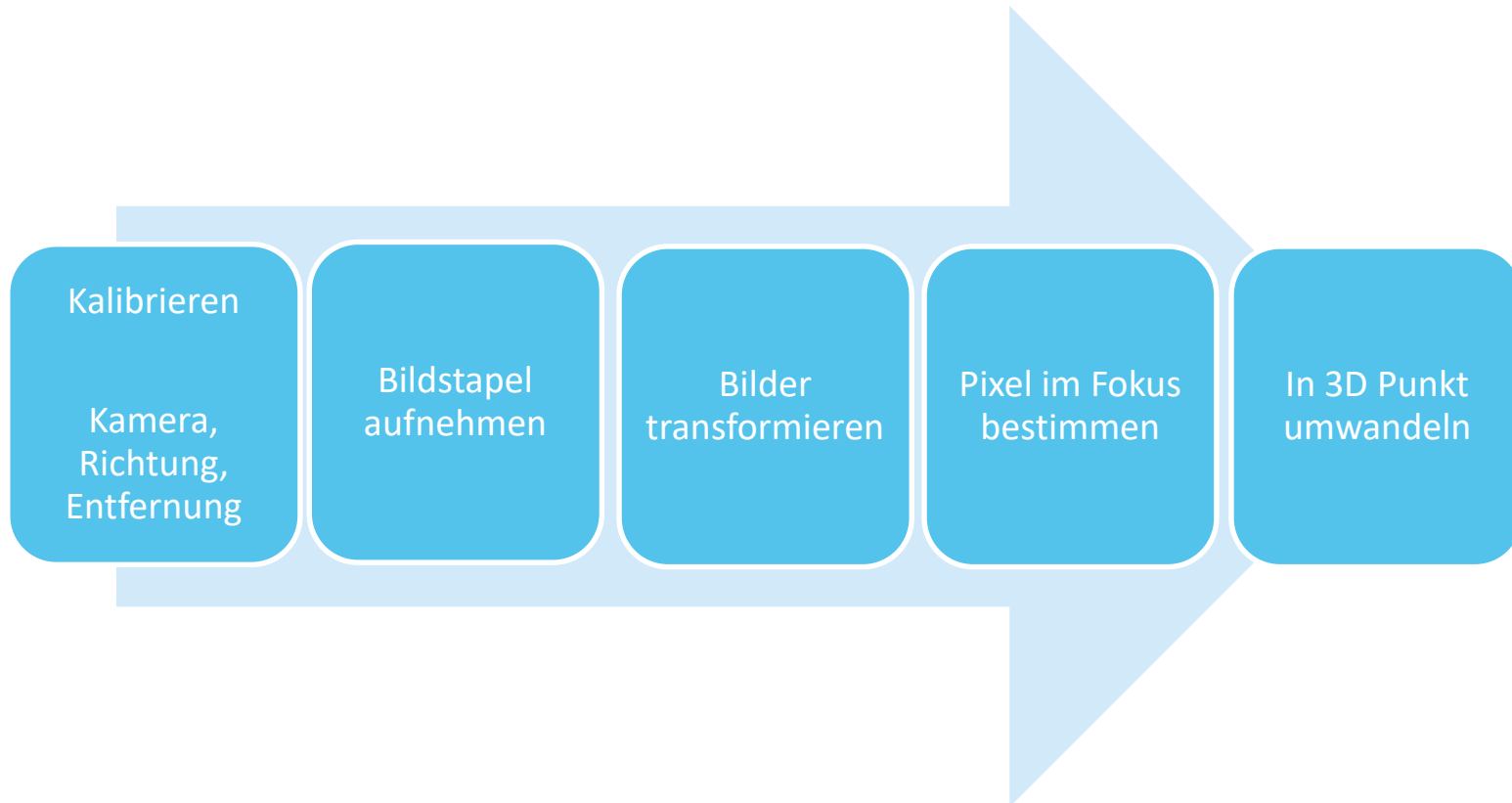
- gphoto2
 - unterstützt sehr viele Kameras
 - Console und Library
- Manuellen Modus
- Massenspeicher beachten
- Unterschiede bei Events
- libraw

5.1 Implementierung - GUI





5.1 Implementierung - Algorithmus





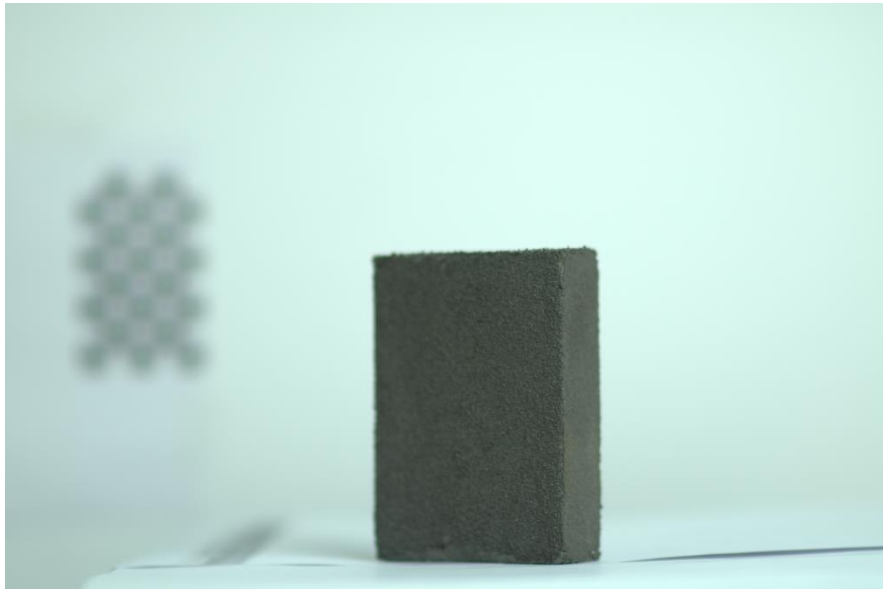
5.1 Implementierung - Kalibrierung

Kamera	Richtung	Fokulentfernung
- OpenCV nach Zhang - Schachbrett - Anfangsmatrix berechnen - Kleine Blende	- Schachbrett - Differenz aus Positionen - Gemittelt - $Differenz =$ angegebene Bewegung - Kleine Blende	- Schachbrett - Iterativ - 3 Positionen - Auflösung angleichen - Fokusmaß für Schachbrett bestimmen - Große Blende

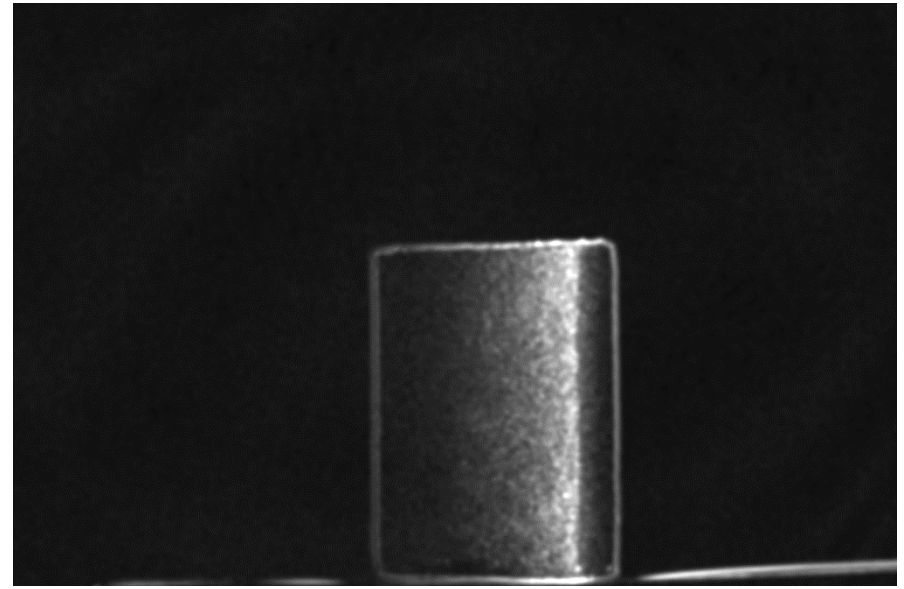
5.1 Implementierung - Transformation



5.1 Implementierung - Fokusmaß

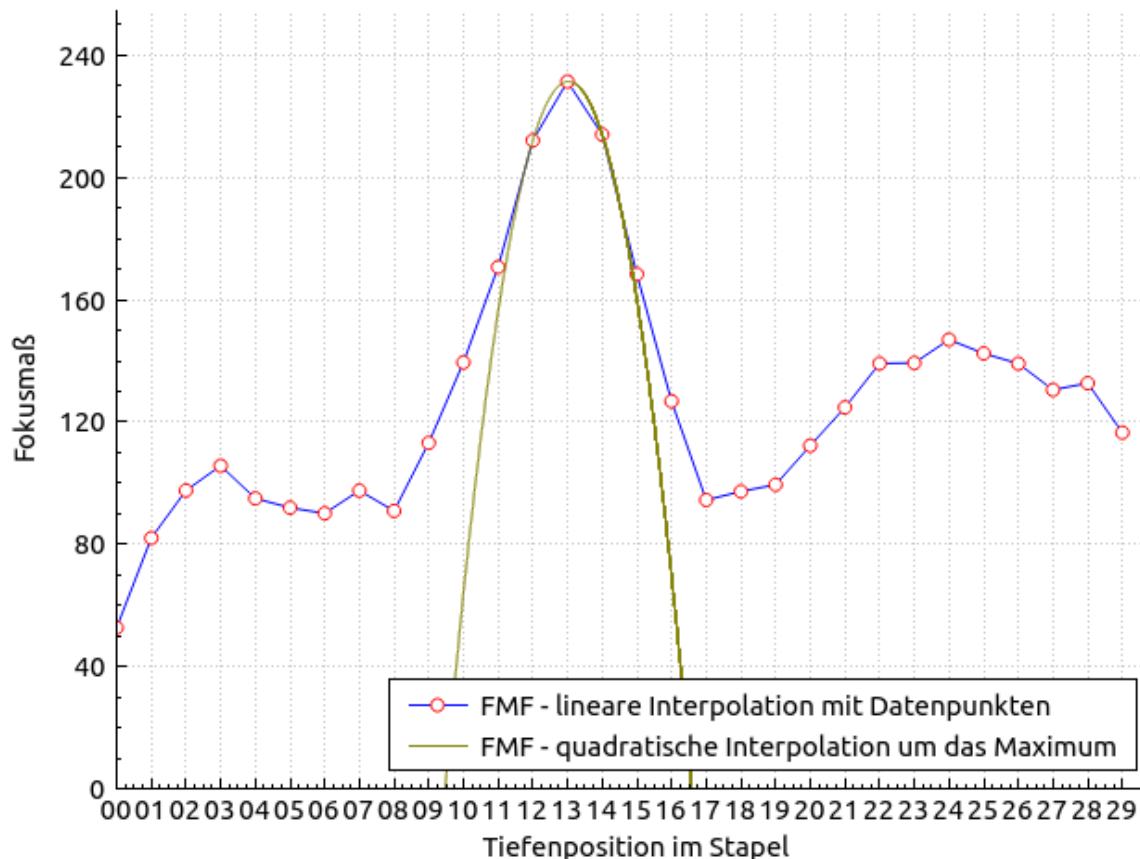


Ausgangsbild



Gewichtete Summe des Laplace (35px Patch)

5.1 Implementierung - Tiefenbestimmung



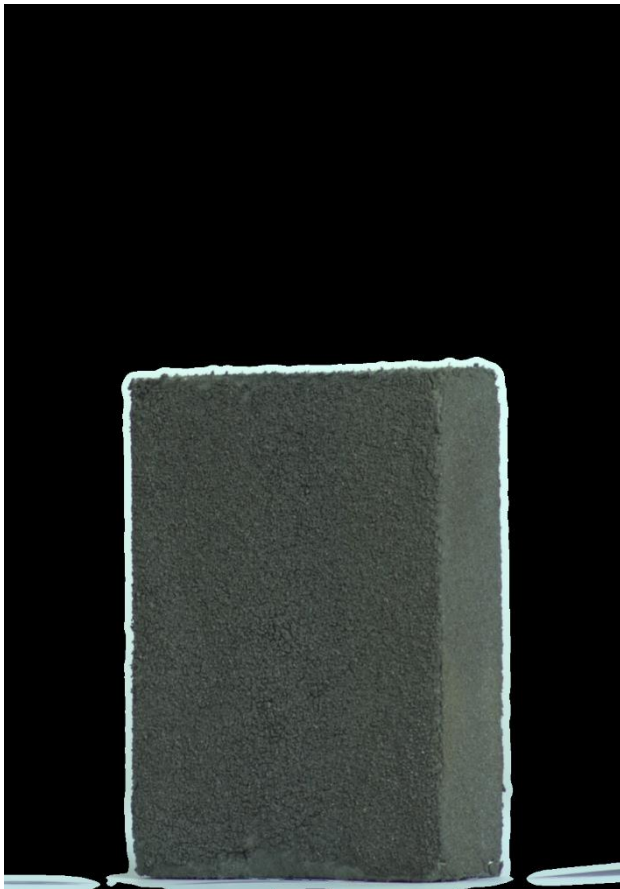
$$s = \text{pxTomm} * \frac{g - f}{f}$$

$$C_x = s(x - p_x)$$

$$C_y = s(y - p_x)$$

$$C_z = z * D_z$$

5.1 Implementierung - Tiefenbestimmung



Depth from Focus 3D Scanning





5.2 Auswertung

1. Genauigkeit

Transformation

Fokusmaß

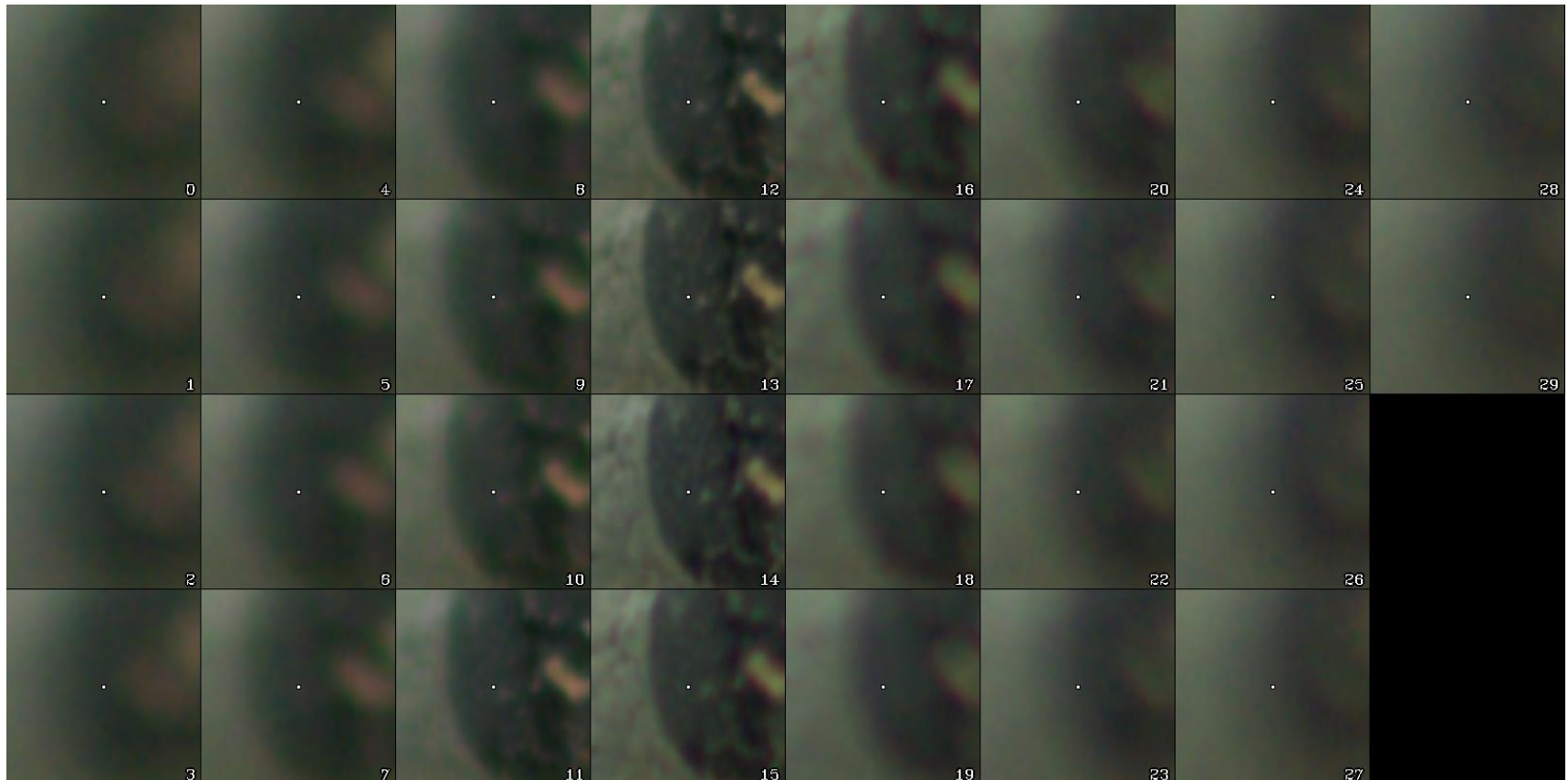
Patchgröße

Auflösung

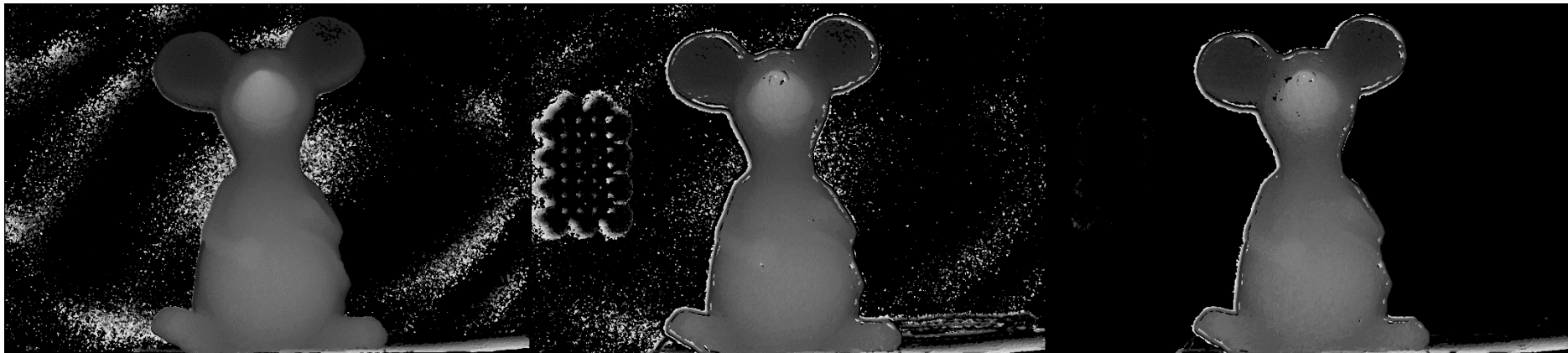
Objekte

2. Geschwindigkeit

5.2 Auswertung – Genauigkeit Transformation



5.2 Auswertung – Fokusmaß



Laplace

Gradient

Varianz

5.2 Auswertung - Auflösung

1/8



1/2



1/4



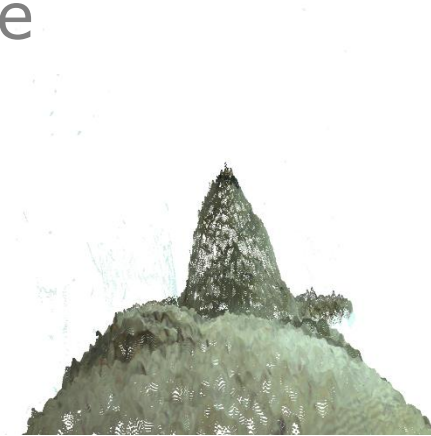
1



5.2 Auswertung - Patchgröße



11x11



21x21

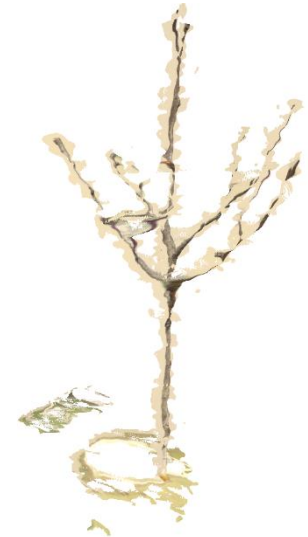


51x51

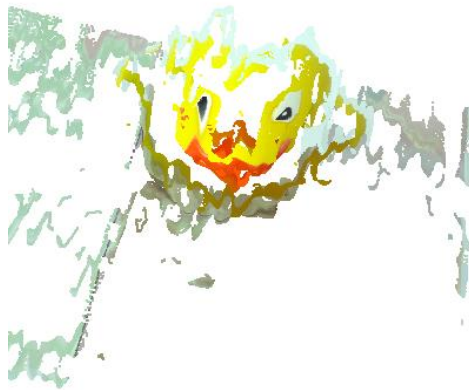
Laplace mit halber Auflösung

5.2 Auswertung - Objekte

Bäumchen



Ente

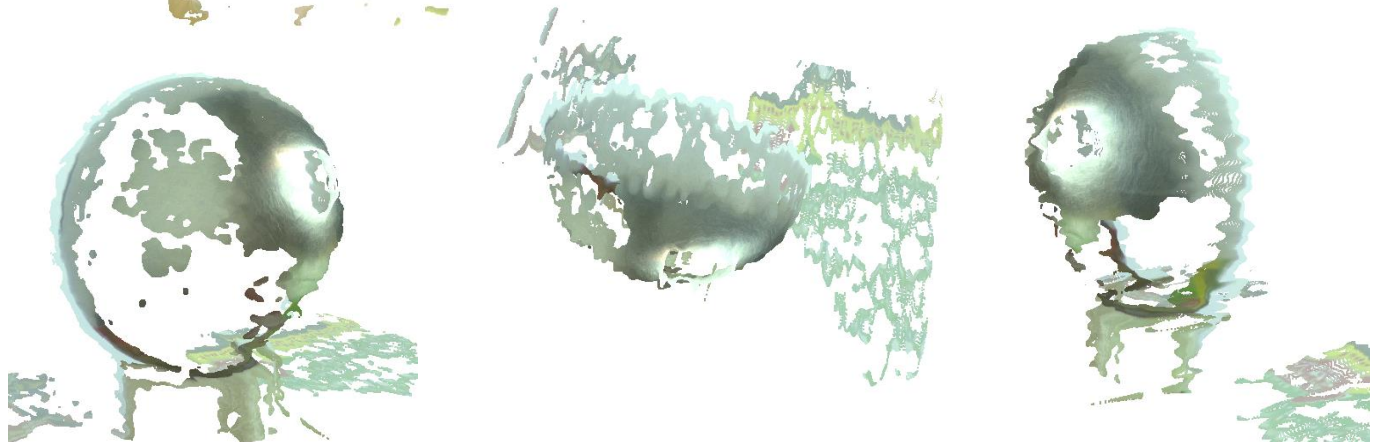


5.2 Auswertung - Objekte

ESE-Tasse



Kugel

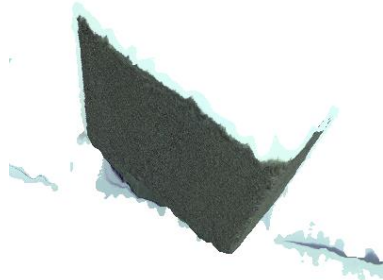


5.2 Auswertung - Objekte

Maus

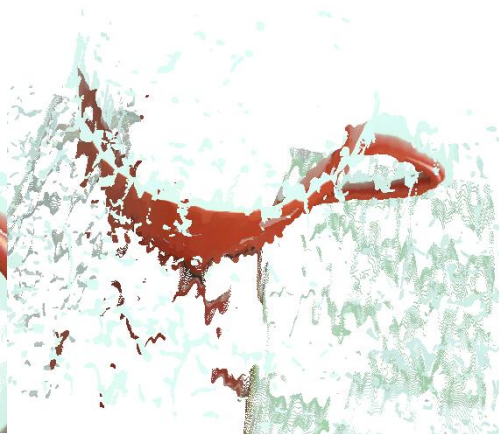


Quader



5.2 Auswertung - Objekte

Tasse



Stern





5.2 Auswertung - Geschwindigkeit

LAP 51, 30 Bilder		Debug[s]	Fast[s]
VIERTEL	Laden	-	2.072
	Max. Fokus finden	8.883	1.735
	Transformieren	6.034	0.529
	Fokusmaß erstellen	8.961	0.974
	Punktwolke erstellen	11.459	8.718
HALB	Laden	-	7.616
	Max. Fokus finden	31.999	6.899
	Transformieren	24.121	2.161
	Fokusmaß erstellen	35.35	3.944
	Punktwolke erstellen	44.516	34.547
VOLL	Laden	-	32.979
	Max. Fokus finden	167.532	31.79
	Transformieren	129.08	8.459
	Fokusmaß erstellen	96.961	22.984
	Punktwolke erstellen	146.828	117.435



6. Zusammenfassung

- wenig Tiefenschärfe
 - > große Blende, große Brennweite, nah
 - > wenig Parallaxe
 - > Stapel kann transformiert werden
- Laplace ist gutes Fokusmaß, Patchgröße hat mehr Einfluss
- Quadratische Annäherung liefert gute Ergebnisse
- passende Belichtungszeit ist wichtig
- wenig Textur reicht bereits