

# Streifenlichtprojektion und optische Analyse zur Oberflächeninspektion

Dennis Wagner    Johannes Spangenberg    Leroy Kramer

Humboldt-Universität zu Berlin  
Institut für Informatik  
Lehrstuhl Signalverarbeitung und Mustererkennung

Semesterprojekt Signalverarbeitung  
bei Prof. Dr. Meffert

12.02.2014

1 Motivation

2 Umsetzung

3 Probleme

4 Ergebnisse

5 Zusammenfassung und Ausblick

## Wie gelangt man an die Ausmaße eines Objektes?

- Manuell vermessen
- Stereo-Vision
- Structure from Motion
- Time of Flight

## Unsere Methode: Streifenlichtprojektion

### Anwendungsgebiete

- Computer Grafik
- Archäologie
- Computergestützte Qualitätskontrolle
- ...

### Vorteile

- Relativ günstig
- Messung ohne Kontakt zum Objekt
- Hohe Genauigkeit möglich
- Keine Epipolargeometrie

### Nachteile

- Langsam (im Vergleich zu *Time of Flight*)
- Abschattung des Lasers

## 2. Umsetzung

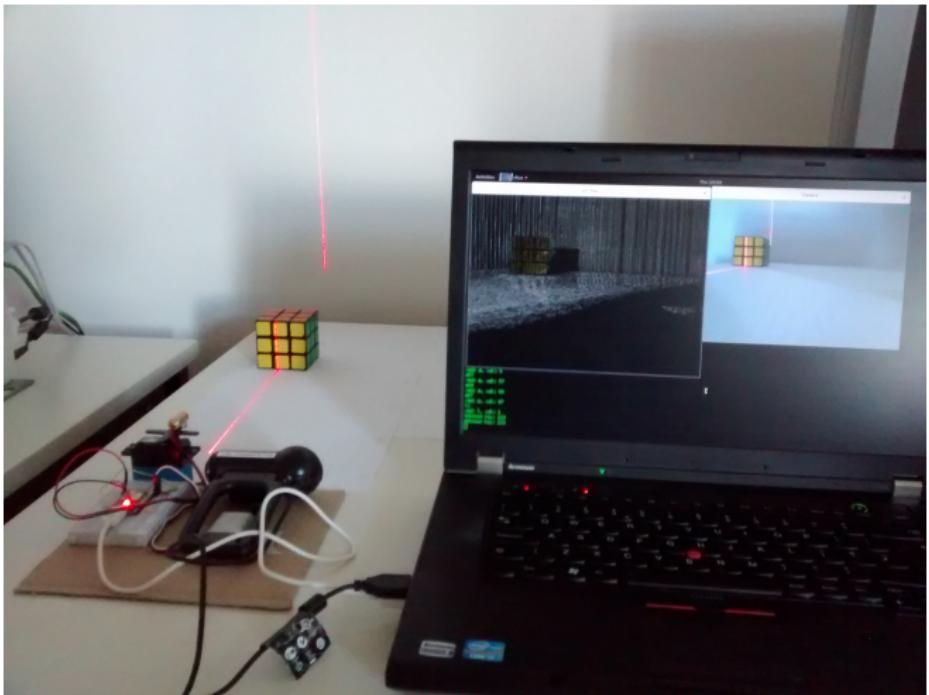


Abbildung: Unser Setup im Betrieb

## 2. Umsetzung

### Hardware

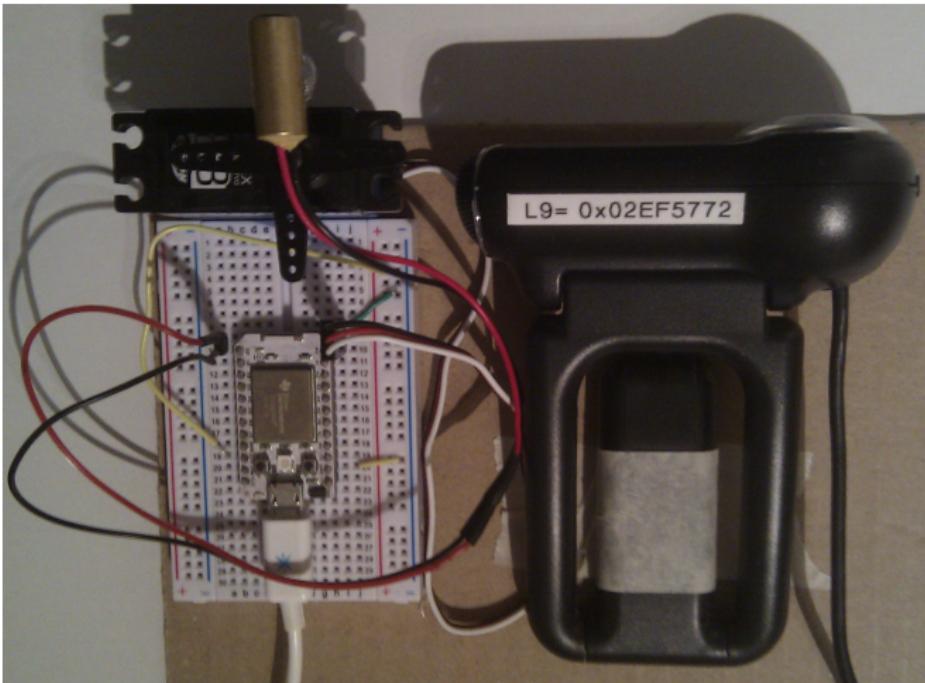
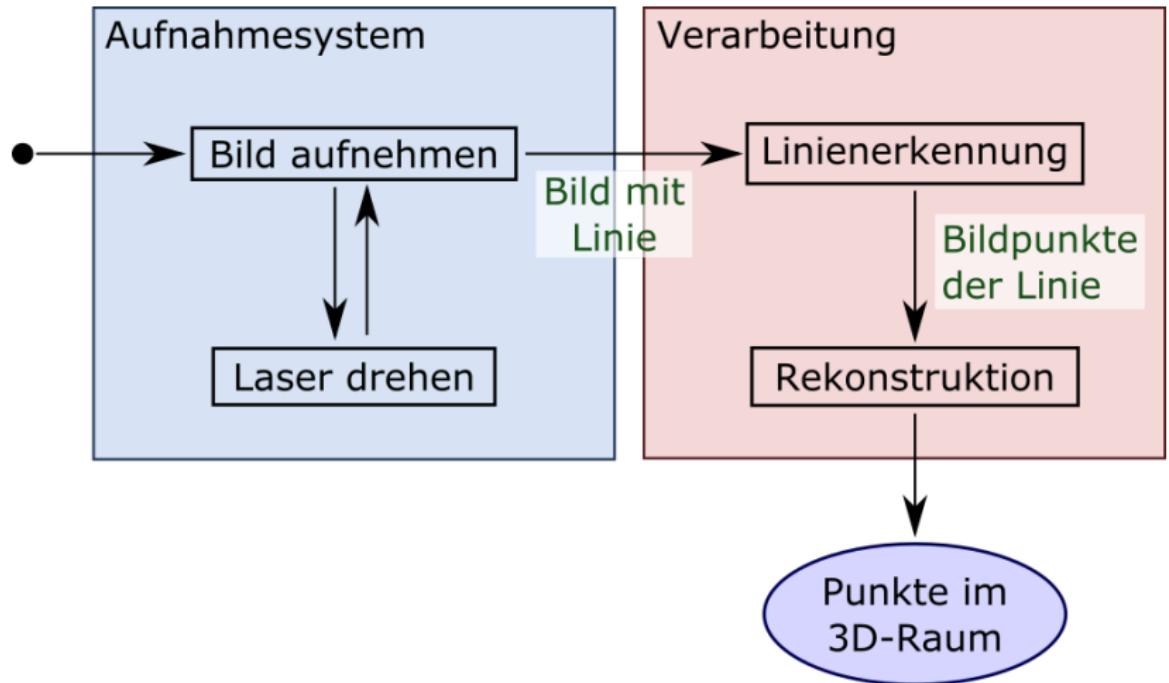


Abbildung: Unsere Hardware

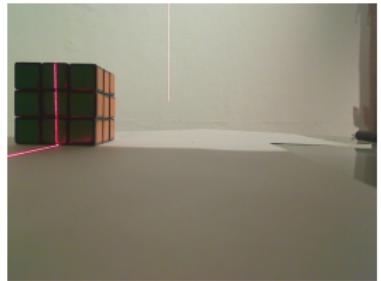
## 2. Umsetzung

### Ablauf



#### Variante 1 (diff)

Einfache Linienerkennung durch Differenzbildung:

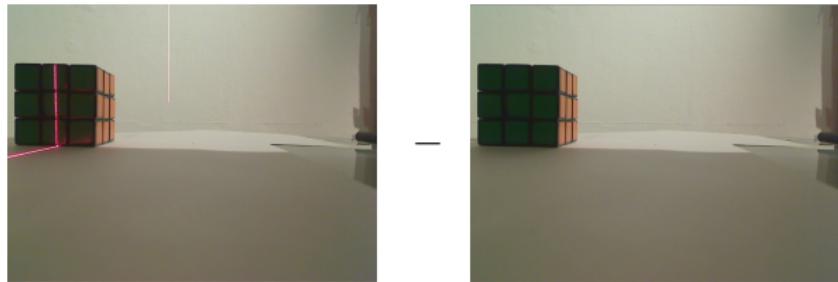


## 2. Umsetzung

### Linienerkennung

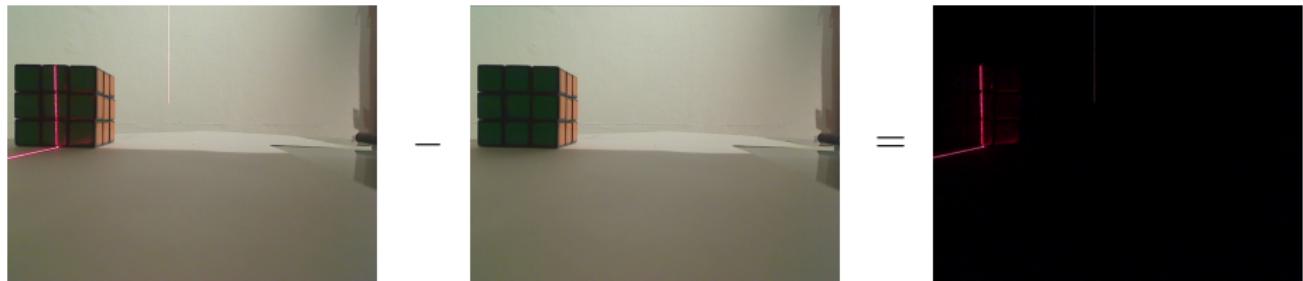
#### Variante 1 (diff)

Einfache Linienerkennung durch Differenzbildung:



#### Variante 1 (diff)

Einfache Linienerkennung durch Differenzbildung:

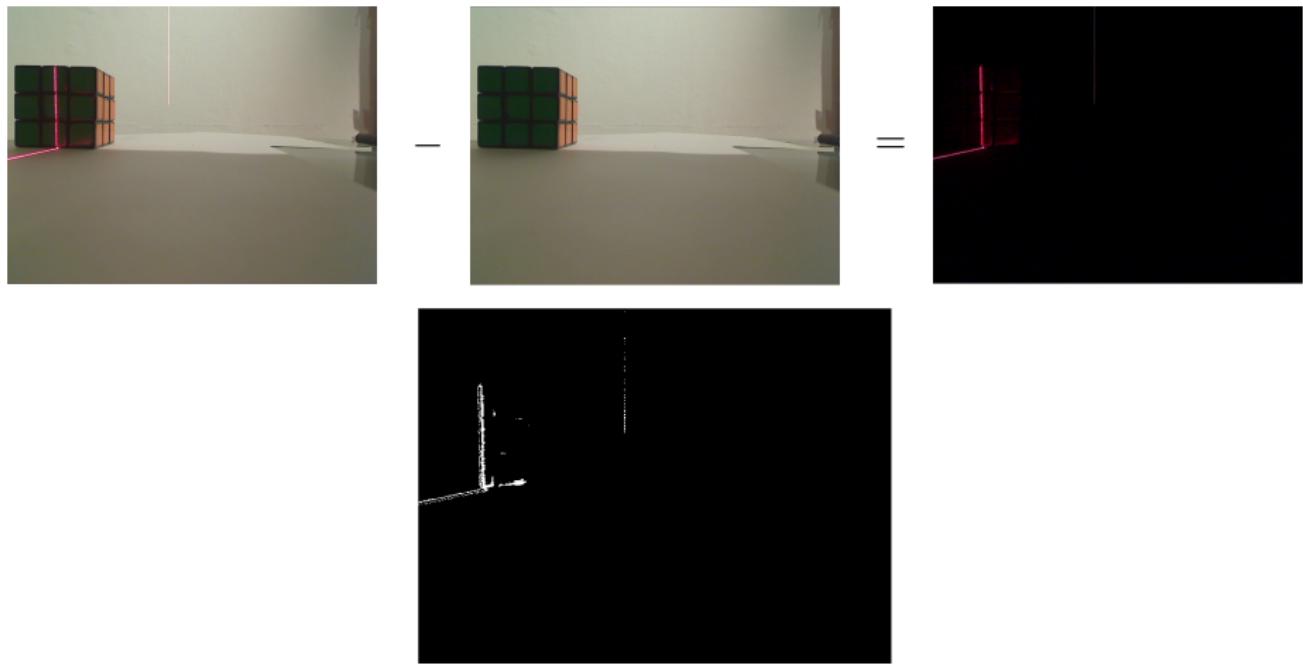


## 2. Umsetzung

### Linienerkennung

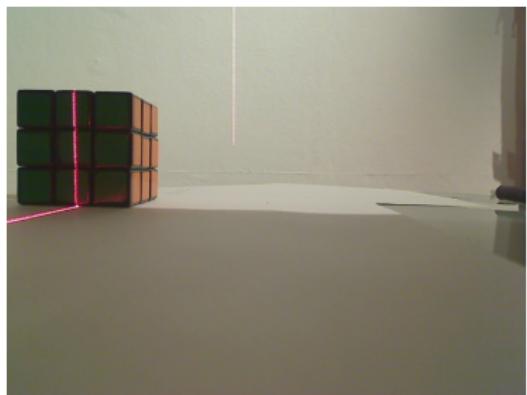
#### Variante 1 (diff)

Einfache Linienerkennung durch Differenzbildung:



#### Variante 2 (free)

Linienerkennung durch kanalweise Mittelwertbildung und logische Verknüpfung:

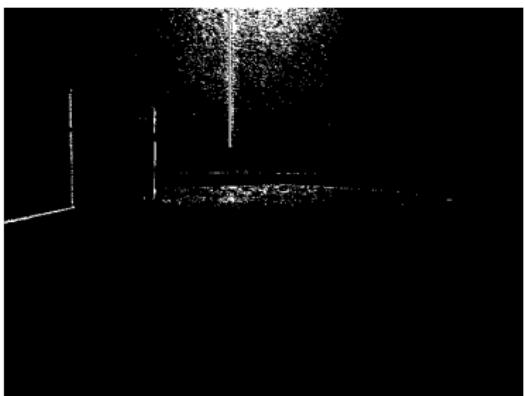
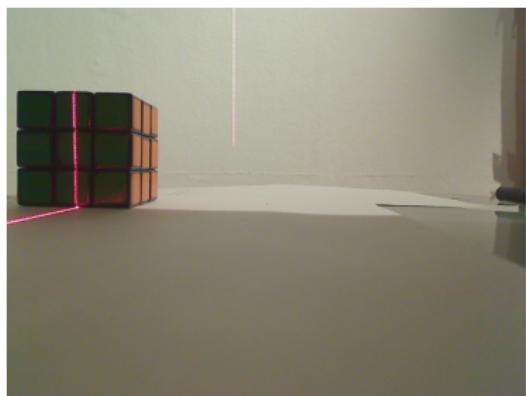


## 2. Umsetzung

### Linienerkennung

#### Variante 2 (free)

Linienerkennung durch kanalweise Mittelwertbildung und logische Verknüpfung:



## 2. Umsetzung

### Rekonstruktion

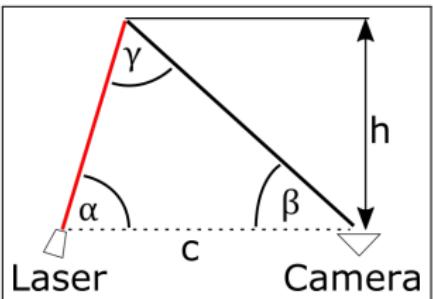
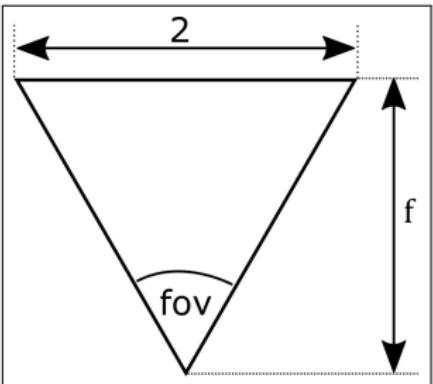
- **Eingabe:** Normalisierte Bildkoordinaten  $(u, v)$  eines Punktes der Laserlinie

- **Schritt 1:** Bestimme  $\alpha, \beta, c$  und  $f$
- **Schritt 2:** Berechne  $h$ :

$$h = \frac{c \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)}{\sin(180^\circ - \beta - \alpha)}$$

- **Schritt 3:** Bestimme Koordinaten innerhalb der Szene:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \frac{h}{f} \cdot \begin{pmatrix} u \\ v \\ -f \end{pmatrix}$$



## 2. Umsetzung

### Beispiel

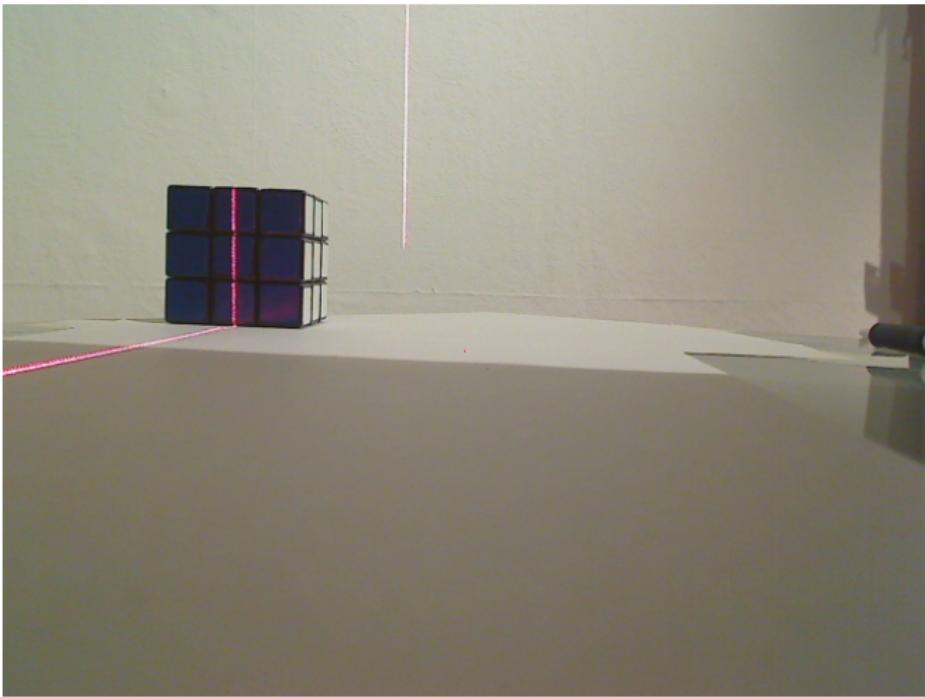


Abbildung: Ausgangsbild

## 2. Umsetzung

### Beispiel



Abbildung: Erkannte Linie aus dem Ausgangsbild

## 2. Umsetzung

### Beispiel

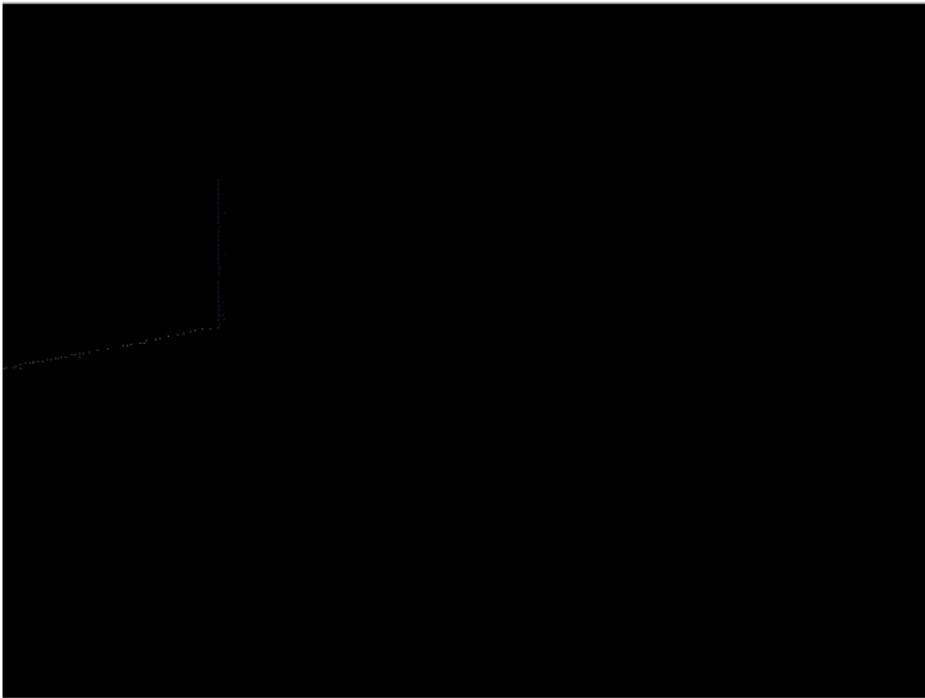


Abbildung: Rekonstruierte Punkte aus der Perspektive der Kamera

## 2. Umsetzung

### Beispiel

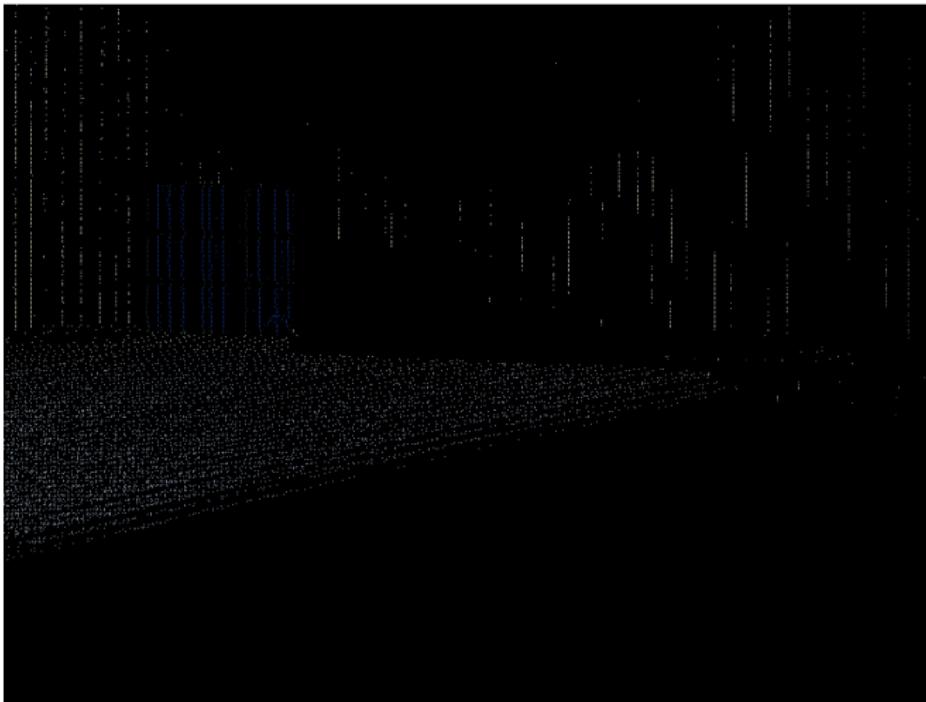


Abbildung: Rekonstruierte Punkte der Szene (1)

## 2. Umsetzung

### Beispiel

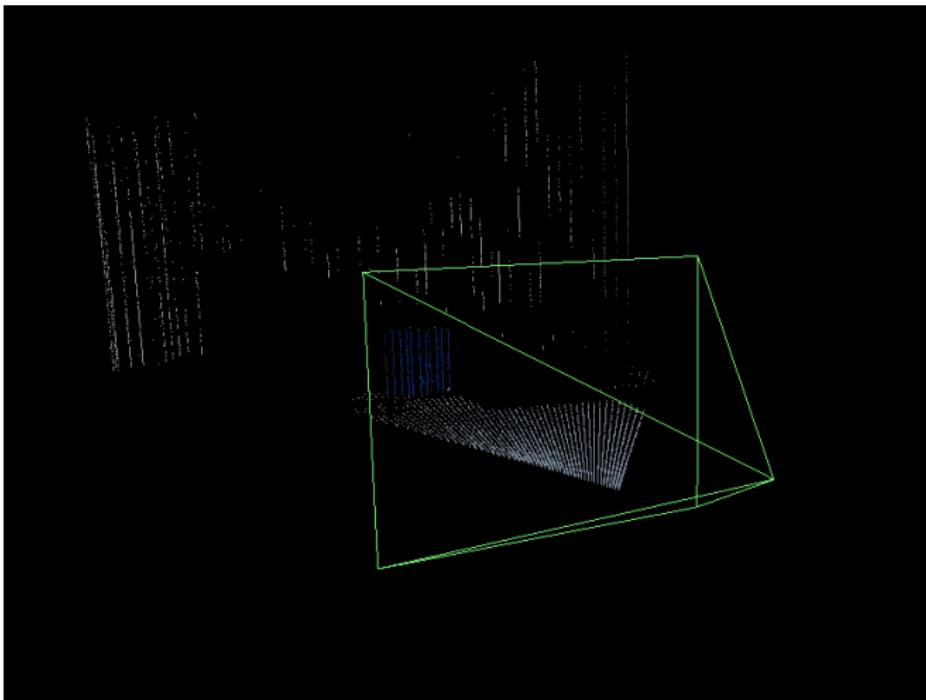


Abbildung: Rekonstruierte Punkte der Szene (2)

## 2. Umsetzung

### Beispiel

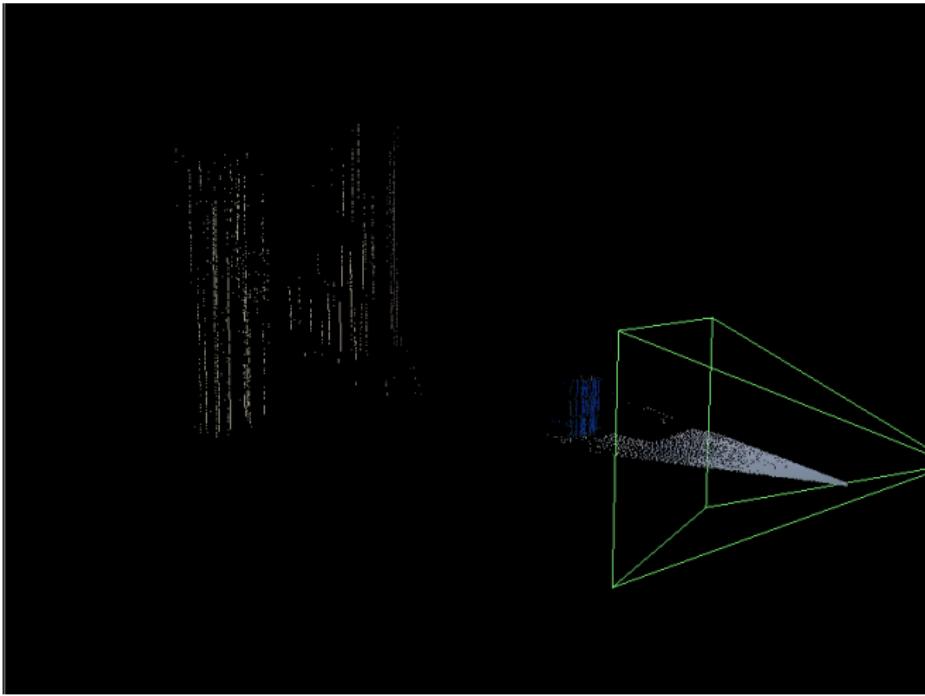


Abbildung: Rekonstruierte Punkte der Szene (3)

- Viel Zeit bei der Planung verloren
  - Fehlende Erfahrung bei der Strukturierung solcher Anwendungen
  - Uneinigkeit bei Schwerpunkten und Verfahren
- Montage des Setups
- Hardware als Ursache für Ungenauigkeiten
  - Kleine Fehler bei der Montage
  - Vermessung des Setups
- Linienerkennung
  - Hintergrundfarbe
  - Beleuchtung

### 3. Probleme

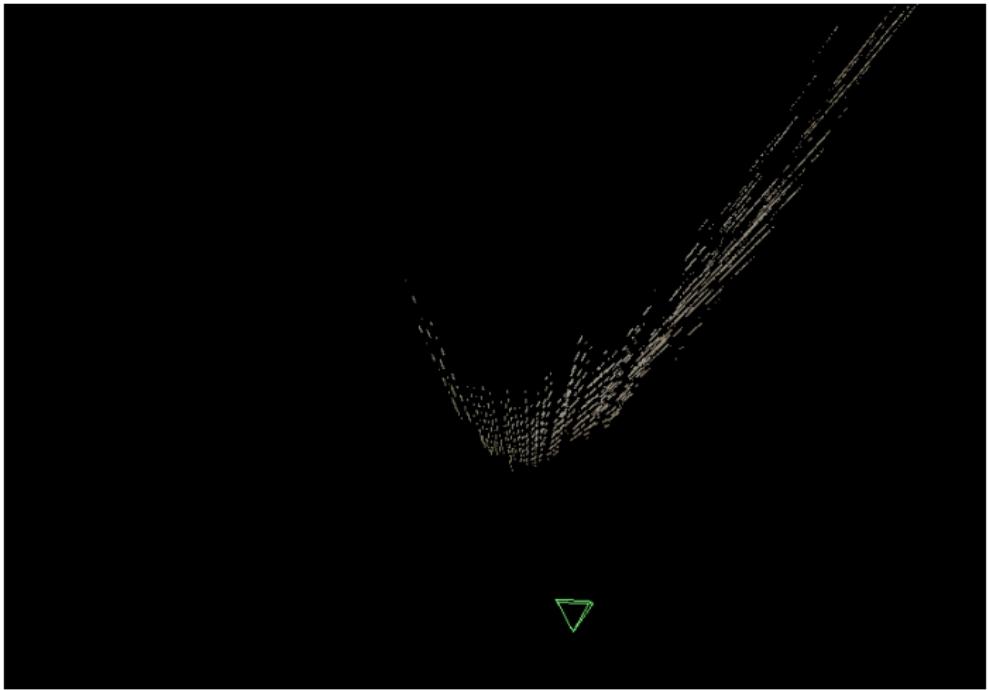
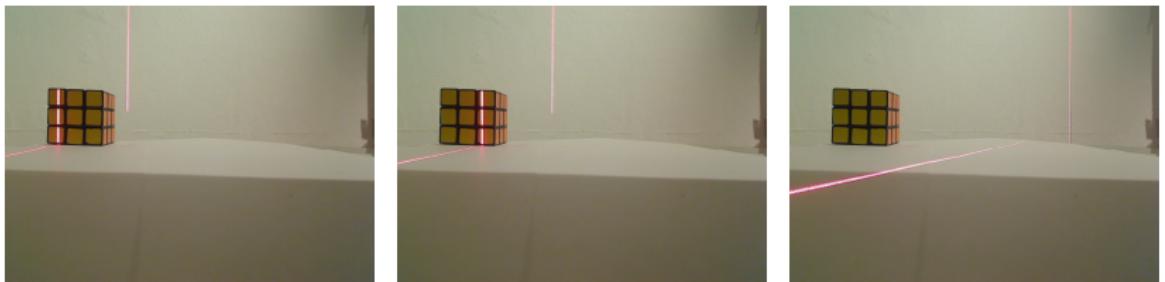


Abbildung: Scan einer geraden Wand bei falscher Kalibrierung

## 4. Ergebnisse

### Messungen

### Messungen

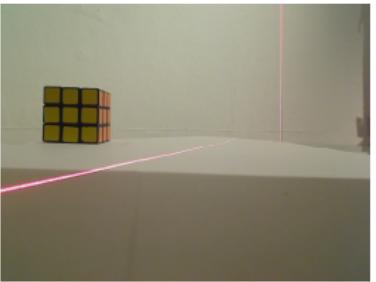
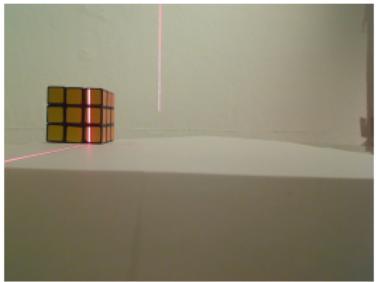
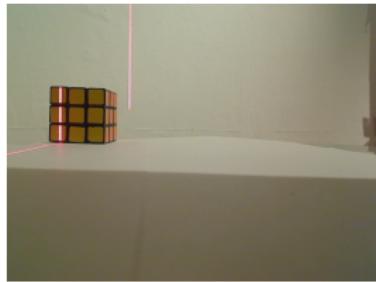


- Pro Messung werden 71+1 Bilder aufgenommen
- Laser ist auf ca. 58 Bildern zu sehen
- Je Messung zwischen 10000 und 14000 (diff) bzw. 21000 und 28000 (free) Punkte
- Davon gehören zwischen 750 und 1800 bzw. 210 und 930 zum Würfel

# 4. Ergebnisse

## Wiederholte Messungen

## Wiederholte Messungen



Entfernung: 300mm

Höhe: 56mm

Farbe: Gelb

## 4. Ergebnisse

### Wiederholte Messungen - Entfernung



Linienerkennung mit Referenzbild (diff)

Entfernung: 300mm

| Messung | Min   | Max     | Avg   | Diff (%) | Stdabw |
|---------|-------|---------|-------|----------|--------|
| 1       | 298.3 | 21629.5 | 348.7 | 16.2     | 909.1  |
| 2       | 287.1 | 327.1   | 309.1 | 3.0      | 5.1    |
| 3       | 287.1 | 327.1   | 309.9 | 3.3      | 6.0    |
| 4       | 287.1 | 327.1   | 310.1 | 3.4      | 5.5    |
| 5       | 287.1 | 458.0   | 310.2 | 3.4      | 7.3    |
| 6       | 287.1 | 335.8   | 310.5 | 3.5      | 5.4    |
| 7       | 299.8 | 15381.7 | 342.8 | 14.3     | 645.7  |
| 8       | 299.0 | 327.1   | 309.4 | 3.1      | 5.0    |
| 9       | 293.5 | 327.1   | 309.7 | 3.2      | 5.3    |
| 10      | 287.1 | 11934.4 | 320.8 | 6.9      | 355.1  |

## 4. Ergebnisse

### Wiederholte Messungen - Entfernung

Linienerkennung ohne Referenzbild (free)

Entfernung: 300mm

| Messung | Min   | Max   | Avg   | Diff (%) | Stdabw |
|---------|-------|-------|-------|----------|--------|
| 1       | 300.7 | 325.1 | 307.6 | 2.5      | 4.3    |
| 2       | 77.0  | 323.1 | 243.1 | -19.0    | 101.2  |
| 3       | 300.7 | 325.1 | 307.9 | 2.6      | 4.3    |
| 4       | 77.0  | 327.1 | 250.7 | -16.4    | 97.4   |
| 5       | 300.7 | 327.1 | 307.9 | 2.6      | 4.1    |
| 6       | 77.0  | 327.1 | 246.4 | -17.9    | 99.7   |
| 7       | 300.7 | 323.1 | 307.5 | 2.5      | 3.8    |
| 8       | 300.7 | 327.1 | 308.1 | 2.7      | 4.3    |
| 9       | 77.0  | 323.1 | 251.1 | -16.3    | 97.3   |
| 10      | 80.2  | 325.1 | 278.0 | -7.3     | 75.6   |

## 4. Ergebnisse

### Wiederholte Messungen - Höhe



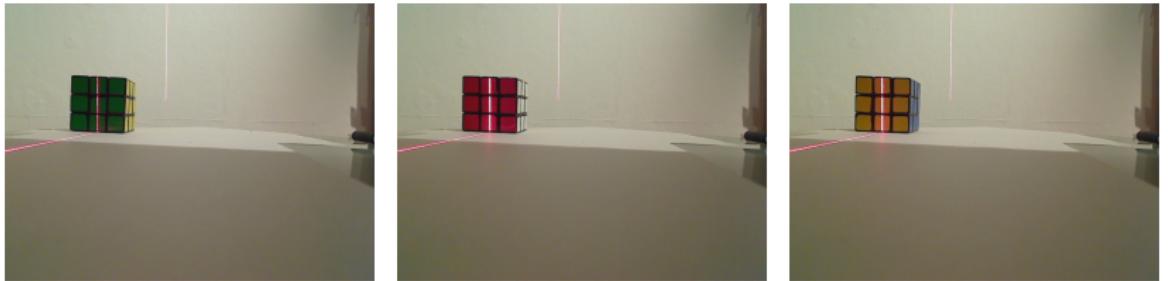
Höhe: 56mm

| Messung | diff |          | free |          |
|---------|------|----------|------|----------|
|         | Höhe | Diff (%) | Höhe | Diff (%) |
| 1       | 48.6 | -13.2    | 54.8 | -2.2     |
| 2       | 34.4 | -38.7    | 54.4 | -2.9     |
| 3       | 27.8 | -50.3    | 54.7 | -2.3     |
| 4       | 28.6 | -48.9    | 54.7 | -2.3     |
| 5       | 49.2 | -12.2    | 54.7 | -2.3     |
| 6       | 32.6 | -41.8    | 53.2 | -4.9     |
| 7       | 27.2 | -51.3    | 53.9 | -3.8     |
| 8       | 27.2 | -51.3    | 53.5 | -4.4     |
| 9       | 34.4 | -38.7    | 53.5 | -4.4     |
| 10      | 48.0 | -14.3    | 53.5 | -4.4     |

# 4. Ergebnisse

## Verschiedene Farben

### Verschiedene Farben



Entfernung: 300mm

Höhe: 56mm

je 10 Messungen

## 4. Ergebnisse

### Verschiedene Farben - Entfernung



Entfernung: 300mm

| Farbe  | diff  |        | free  |        |
|--------|-------|--------|-------|--------|
|        | Avg   | Stdabw | Avg   | Stdabw |
| Blau   | 309.0 | 10.8   | 310.7 | 18.3   |
| Grün   | 353.8 | 1054.2 | 301.2 | 47.8   |
| Orange | 313.3 | 274.3  | 309.8 | 186.2  |
| Rot    | 331.0 | 789.8  | 306.2 | 21.6   |
| Gelb   | 318.3 | 379.5  | 276.5 | 77.8   |

## 4. Ergebnisse

### Verschiedene Farben - Höhe

Höhe: 56mm

| Farbe  | diff |        | free |        |
|--------|------|--------|------|--------|
|        | Avg  | Stdabw | Avg  | Stdabw |
| Blau   | 55.5 | 0.8    | 55.1 | 1.0    |
| Grün   | 58.1 | 14.2   | 55.7 | 0.4    |
| Orange | 45.4 | 7.3    | 55.4 | 0.3    |
| Rot    | 41.5 | 11.3   | 56.1 | 0.3    |
| Gelb   | 35.8 | 8.8    | 54.8 | 0.6    |

# 4. Ergebnisse

## Verschiedene Entfernungen

### Verschiedene Entfernungen



Höhe: 56mm

Farbe: Blau

je 10 Messungen

## 4. Ergebnisse

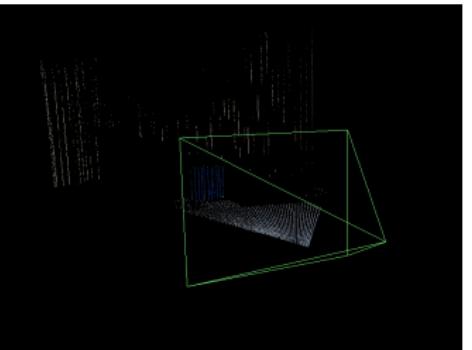
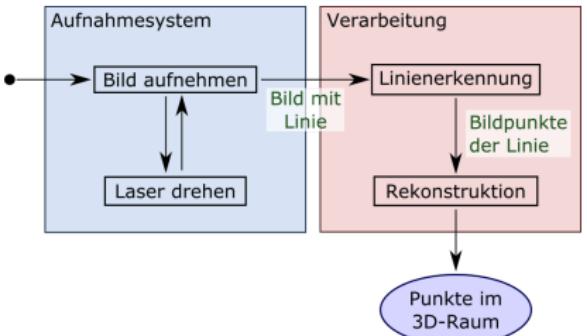
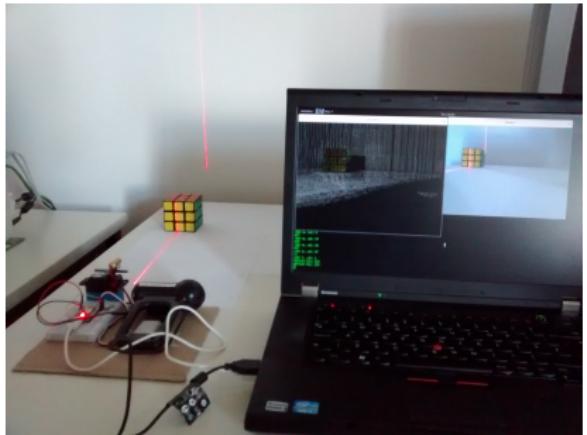
### Verschiedene Entfernungen



Höhe: 56mm

| Entfernung | diff  |      | free  |      |
|------------|-------|------|-------|------|
|            | Entf  | Höhe | Entf  | Höhe |
| 150        | 172.6 | 50.7 | 146.6 | 36.0 |
| 200        | 215.4 | 54.0 | 210.9 | 55.8 |
| 250        | 261.8 | 51.7 | 261.0 | 54.9 |
| 300        | 309.0 | 55.5 | 310.7 | 53.8 |

# 5. Zusammenfassung und Ausblick



- Grobe Vermessung funktioniert
- Defizite bei der Genauigkeit durch ungenaue und/oder mangelhaft kalibrierte Hardware

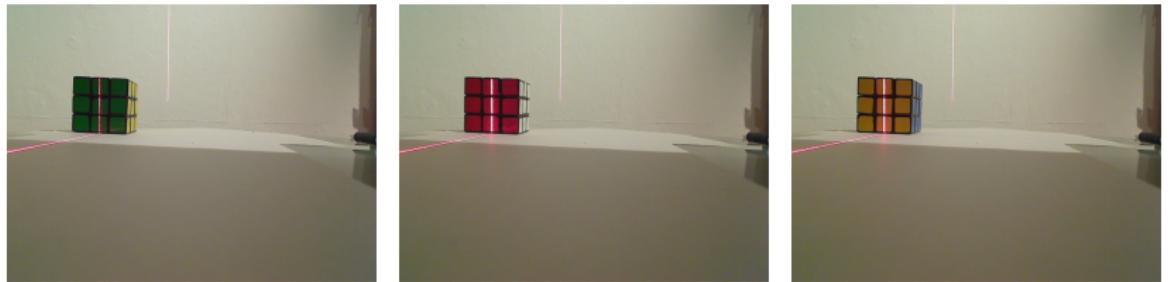
- Fehler durch bessere Kalibrierung und/oder besseres Setup minimieren
- Linienerkennung (ohne Referenzbild) robuster gestalten
- Objekt statt Laser bewegen

Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!

# 6. Anhang

## Verschiedene Farben

### Verschiedene Farben



Entfernung: 300mm

Höhe: 56mm

je 10 Messungen

# 6. Anhang

## Verschiedene Farben



### Entfernung

Linienerkennung mit Referenzbild

Entfernung: 300mm

| Farbe  | Min  | Max     | Avg   | Diff (%) | Stdabw |
|--------|------|---------|-------|----------|--------|
| Blau   | -1.3 | 351.5   | 309.0 | 3.0      | 10.8   |
| Grün   | -1.3 | 36424.6 | 353.8 | 17.9     | 1054.2 |
| Orange | -1.3 | 21629.5 | 313.3 | 4.4      | 274.3  |
| Rot    | -1.3 | 36424.6 | 331.0 | 10.3     | 789.8  |
| Gelb   | -1.3 | 21629.5 | 318.3 | 6.1      | 379.5  |

# 6. Anhang

## Verschiedene Farben



### Entfernung

Linienerkennung ohne Referenzbild

Entfernung: 300mm

| Farbe  | Min  | Max     | Avg   | Diff (%) | Stdabw |
|--------|------|---------|-------|----------|--------|
| Blau   | -1.3 | 325.1   | 310.7 | 3.6      | 18.3   |
| Grün   | -1.3 | 325.1   | 301.2 | 0.4      | 47.8   |
| Orange | -1.3 | 15381.7 | 309.8 | 3.3      | 186.2  |
| Rot    | -1.3 | 329.1   | 306.2 | 2.1      | 21.6   |
| Gelb   | -1.3 | 327.1   | 276.5 | -7.8     | 77.8   |

# 6. Anhang

## Verschiedene Farben

### Höhe

Linienerkennung mit Referenzbild

Höhe: 56mm

| Farbe  | Min  | Max  | Avg  | Diff (%) | Stdabw |
|--------|------|------|------|----------|--------|
| Blau   | 54.3 | 56.4 | 55.5 | -0.8     | 0.8    |
| Grün   | 39.9 | 98.4 | 58.1 | 3.8      | 14.2   |
| Orange | 32.0 | 56.1 | 45.4 | -19.0    | 7.3    |
| Rot    | 29.8 | 69.9 | 41.5 | -25.9    | 11.3   |
| Gelb   | 27.2 | 49.2 | 35.8 | -36.1    | 8.8    |

# 6. Anhang

## Verschiedene Farben

### Höhe

Linienerkennung ohne Referenzbild

Höhe: 56mm

| Farbe  | Min  | Max  | Avg  | Diff (%) | Stdabw |
|--------|------|------|------|----------|--------|
| Blau   | 52.1 | 55.1 | 53.8 | -3.9     | 1.0    |
| Grün   | 54.2 | 55.7 | 54.9 | -2.0     | 0.4    |
| Orange | 54.5 | 55.4 | 54.6 | -2.4     | 0.3    |
| Rot    | 54.7 | 56.1 | 55.2 | -1.4     | 0.3    |
| Gelb   | 53.2 | 54.8 | 54.1 | -3.4     | 0.6    |

# 6. Anhang

## Verschiedene Entfernungen



### Verschiedene Entfernungen



Höhe: 56mm

Farbe: Blau

je 10 Messungen

# 6. Anhang

## Verschiedene Entfernungen



### Entfernung

Linienerkennung mit Referenzbild

Entfernung: 300mm

| Entfernung | Min  | Max   | Avg   | Diff (%) | Stdabw |
|------------|------|-------|-------|----------|--------|
| 150        | -1.3 | 477.4 | 172.6 | -42.5    | 34.7   |
| 200        | -1.3 | 392.0 | 215.4 | -28.2    | 23.3   |
| 250        | -1.3 | 864.4 | 261.8 | -12.7    | 15.6   |
| 300        | -1.3 | 351.5 | 309.0 | 3.0      | 10.8   |

# 6. Anhang

## Verschiedene Entfernungen

### Entfernung

Linienerkennung ohne Referenzbild

Entfernung: 300mm

| Entfernung | Min  | Max   | Avg   | Diff (%) | Stdabw |
|------------|------|-------|-------|----------|--------|
| 150        | -1.3 | 398.8 | 146.6 | -51.1    | 48.3   |
| 200        | -1.3 | 375.2 | 210.9 | -29.7    | 31.5   |
| 250        | -1.3 | 375.2 | 261.0 | -13.0    | 21.9   |
| 300        | -1.3 | 325.1 | 310.7 | 3.6      | 18.3   |

### Höhe

Linienerkennung mit Referenzbild

Höhe: 56mm

| Entfernung | Min  | Max  | Avg  | Diff (%) | Stdabw |
|------------|------|------|------|----------|--------|
| 150        | 39.1 | 56.6 | 50.7 | -9.5     | 4.2    |
| 200        | 42.4 | 57.3 | 54.0 | -3.6     | 5.1    |
| 250        | 43.6 | 56.8 | 51.7 | -7.6     | 5.1    |
| 300        | 54.3 | 56.4 | 55.5 | -0.8     | 0.8    |

### Höhe

Linienerkennung ohne Referenzbild

Höhe: 56mm

| Entfernung | Min  | Max  | Avg  | Diff (%) | Stdabw |
|------------|------|------|------|----------|--------|
| 150        | 21.9 | 56.7 | 36.0 | -35.6    | 12.6   |
| 200        | 54.9 | 56.5 | 55.8 | -0.4     | 0.5    |
| 250        | 54.4 | 55.9 | 54.9 | -1.9     | 0.4    |
| 300        | 52.1 | 55.1 | 53.8 | -3.9     | 1.0    |