
Aufbau von faserbasierten Interferometern für die Quantenkryptografie

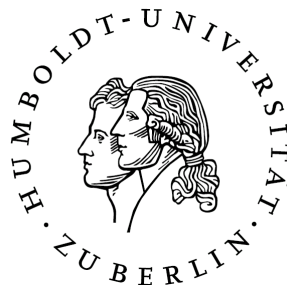
- Gehäuse, Phasenstabilisierung, Fasereinbau -

Masterarbeit
im Studiengang Elektrotechnik und
Informationstechnik
Vertiefungsrichtung Photonik

an der



in Kooperation mit der



vorgelegt von

Björnstjerne Zindler

geboren am 13. November 1966 in Görlitz

eingereicht am 21. November 2011

Erstgutachter: Herr Professor Dr. A. Richter
Zweitgutachter: Herr Professor Dr. O. Benson

Meiner Mutter gewidmet

*03. Juli 1940

+22. September 2010

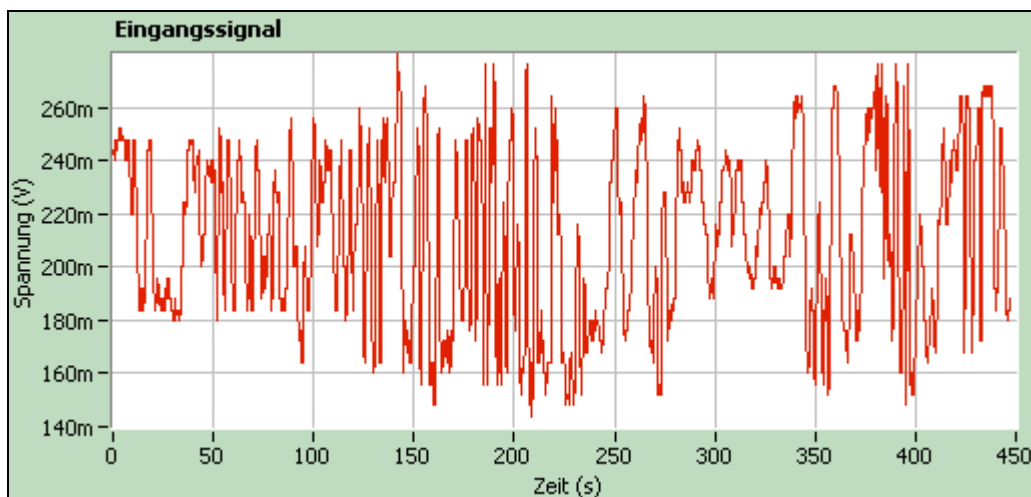
Auswertung der Messung an den Interferometern der 1. Ausbaustufe - Interferometer „1“ -

- **Erläuterung:**

Ausgemessen wurde das Interferometer „1“ (mit dem Piezoring). Neben der Visibilität wurde auch die Transmission ausgemessen (im gesonderten Arbeitsblatt bereits ausgewertet.).

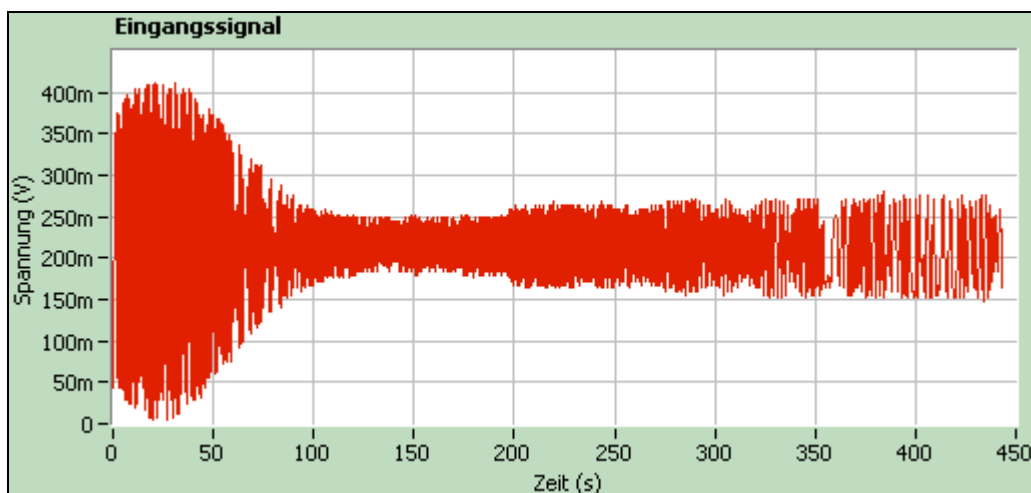
- **Durchgeführte Messungen:**

Ruhe- 1:



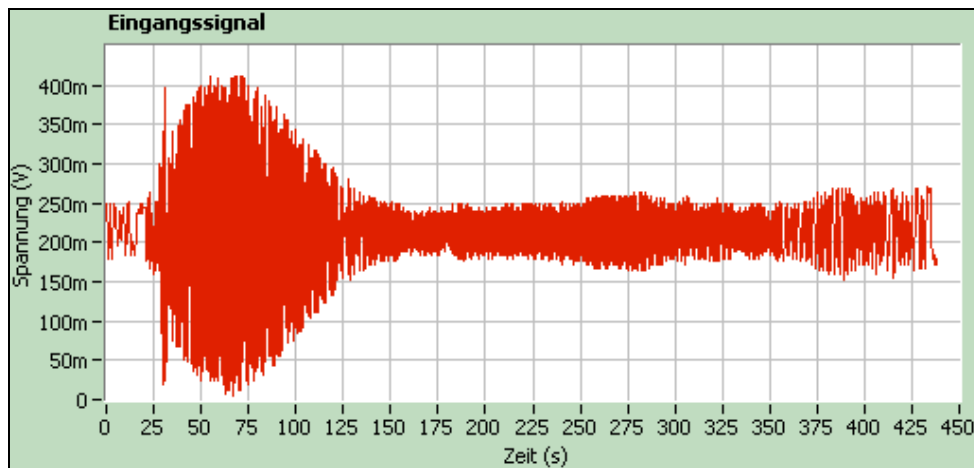
Abbild 1: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ ohne Ineinflussnahme auf dieses. Das Interferometer arbeitet somit im „Leerlauf“. Quelle: Eigene Messung.

Stoss- 1:



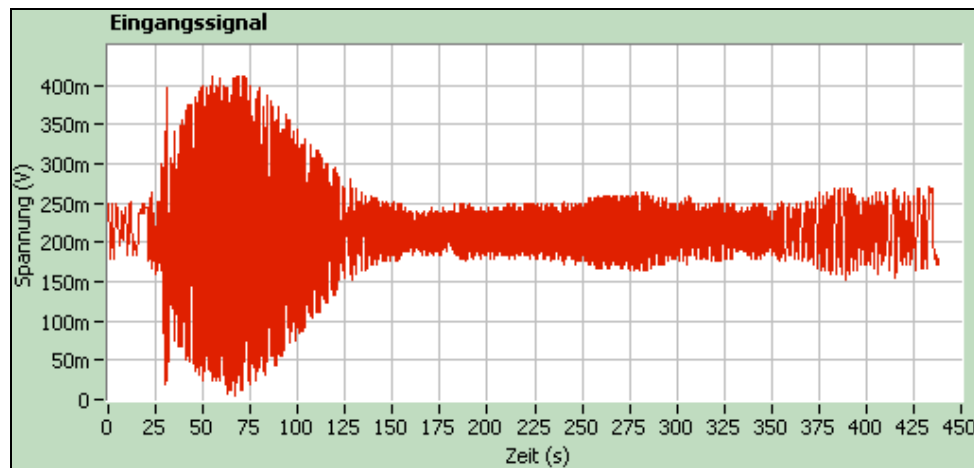
Abbild 2: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist die Rückkehr in den Leerlaufzustand. Quelle: Eigene Messung.

Stoss- 2:



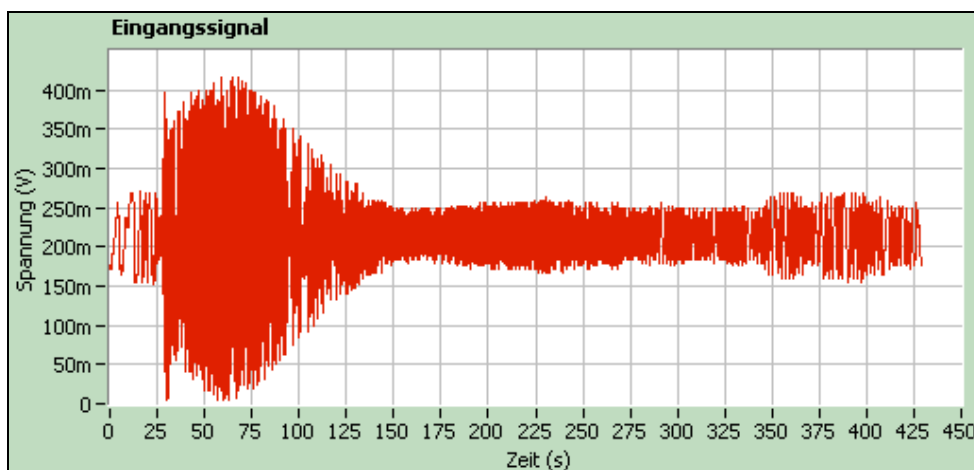
Abbild 3: Messignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist die Rückkehr in den Leerlaufzustand. Quelle: Eigene Messung.

Stoss- 3:



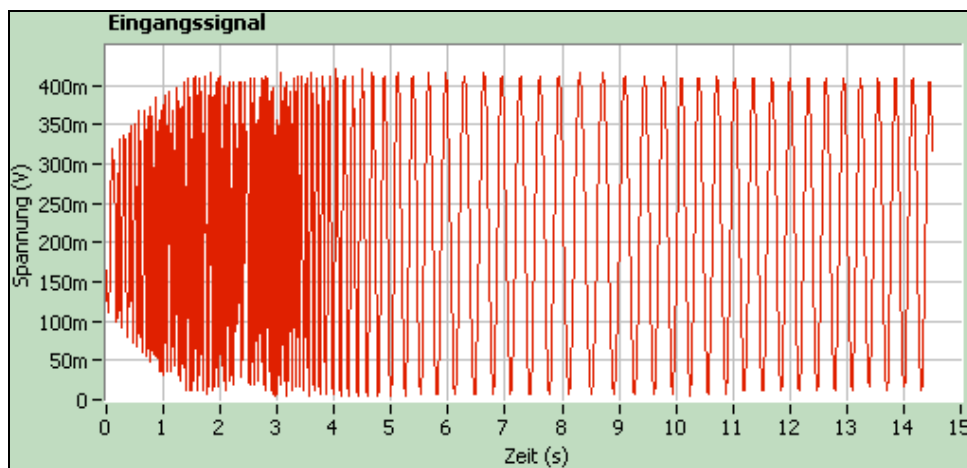
Abbild 4: Messignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist die Rückkehr in den Leerlaufzustand. Quelle: Eigene Messung.

Stoss- 4:



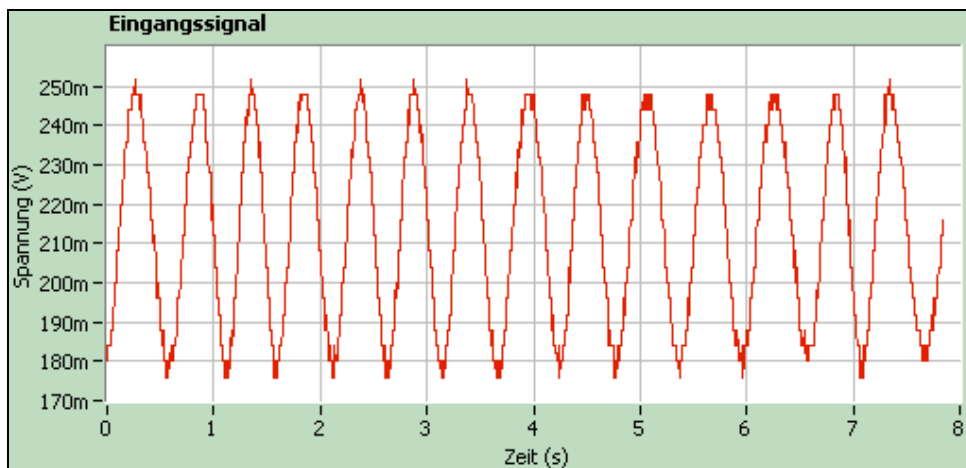
Abbild 5: Messignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist die Rückkehr in den Leerlaufzustand. Quelle: Eigene Messung.

Teilstoss- 1:



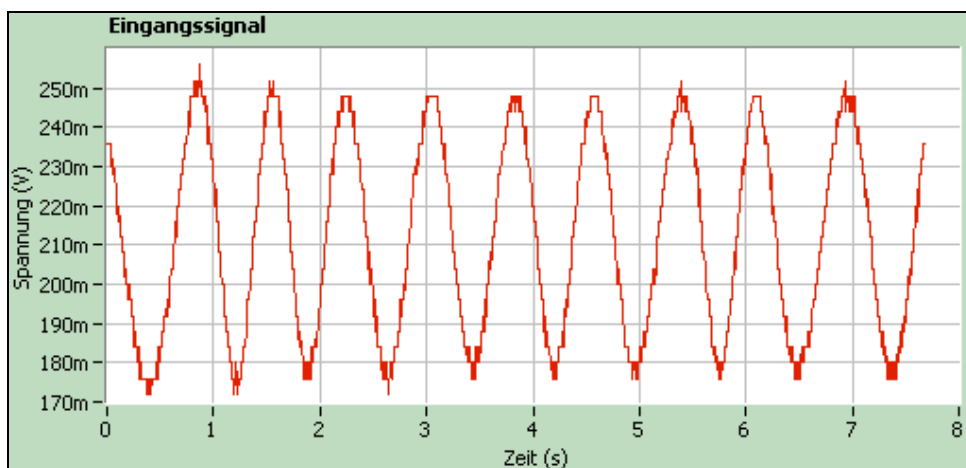
Abbild 6: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist das zeitliche Intervall „ $t = 0 + 15s$ “. Quelle: Eigene Messung.

Teilstoss- 2:



Abbild 7: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist das zeitliche Intervall „ $t = 100 + 8s$ “. Quelle: Eigene Messung.

Teilstoss- 3:



Abbild 8: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist das zeitliche Intervall „ $t = 200 + 8s$ “. Quelle: Eigene Messung.

Teilstoss- 4:

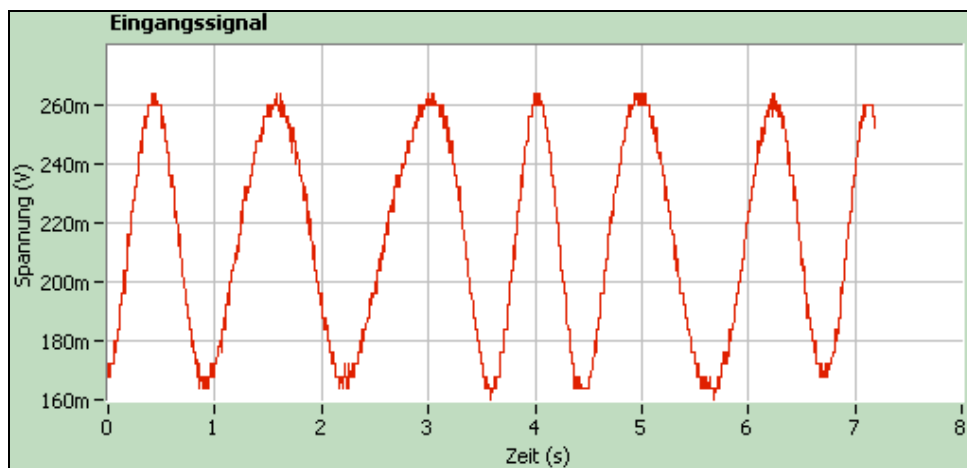


Abbildung 9: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist das zeitliche Intervall „ $t = 300 + 7s$ “. Quelle: Eigene Messung.

Teilstoss- 5:

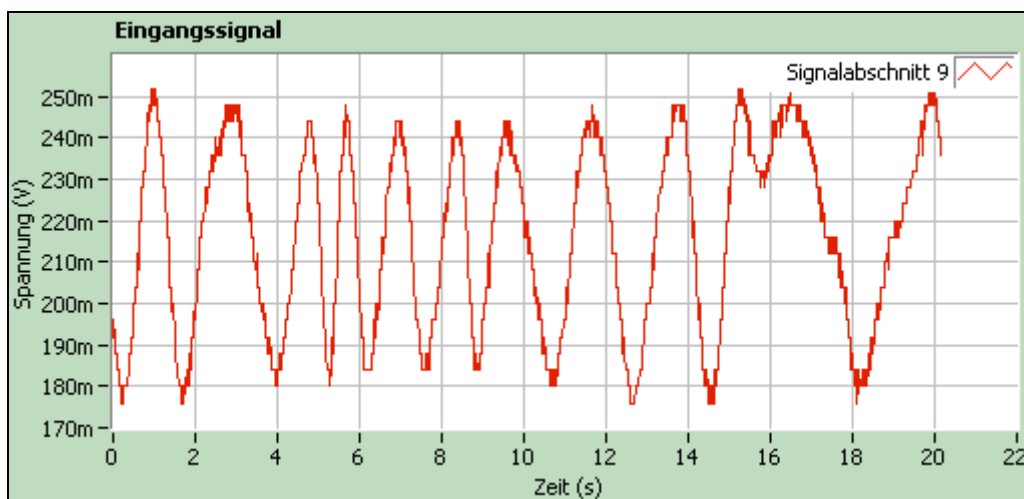


Abbildung 10: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist das zeitliche Intervall „ $t = 400 + 20s$ “. Quelle: Eigene Messung.

Spannung- 1:

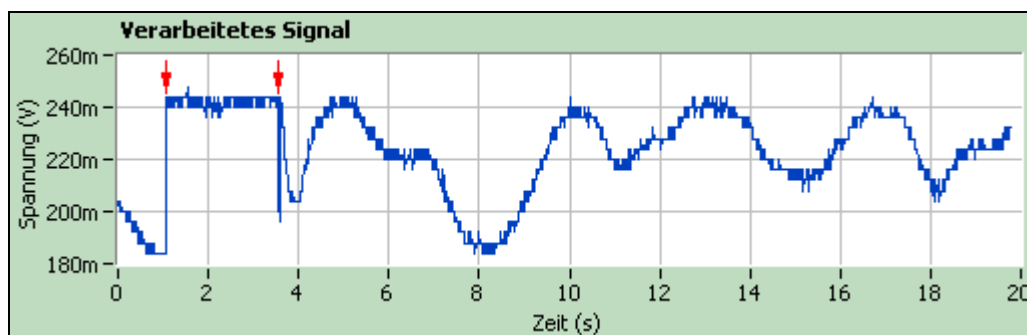


Abbildung 11: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer elektrischen Anregung von 10V am Piezo. Ein- und Ausschaltvorgang als „↓“. Quelle: Eigene Messung.

Spannung- 2:

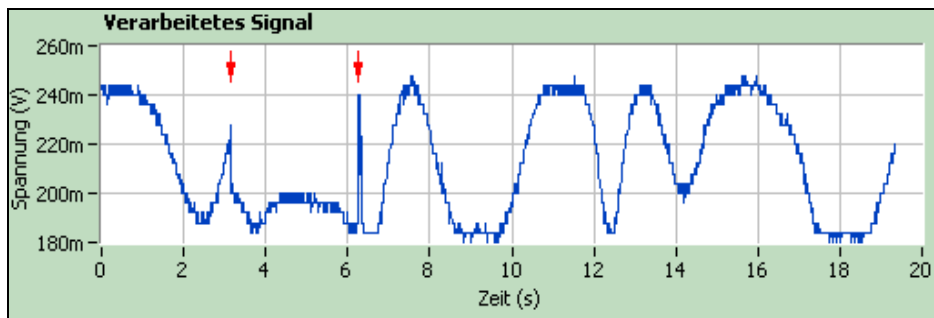


Abbildung 12: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer elektrischen Anregung von 10V am Piezo. Ein- und Ausschaltvorgang als „↓“. Quelle: Eigene Messung.

Spannung- 3:

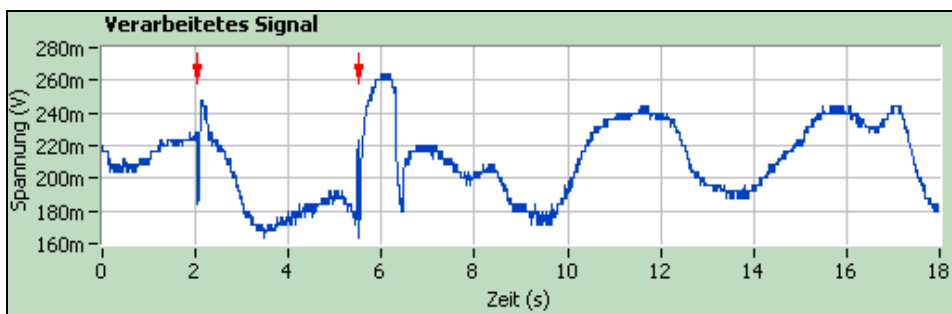


Abbildung 13: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer elektrischen Anregung von 10V am Piezo. Ein- und Ausschaltvorgang als „↓“. Quelle: Eigene Messung.

Spannung- 4:



Abbildung 14: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer elektrischen Anregung von 10V am Piezo. Ein- und Ausschaltvorgang als „↓“. Quelle: Eigene Messung.

Spannung- 5:

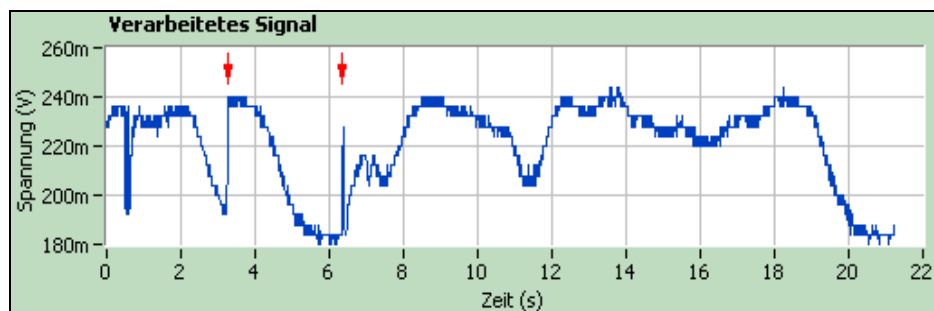
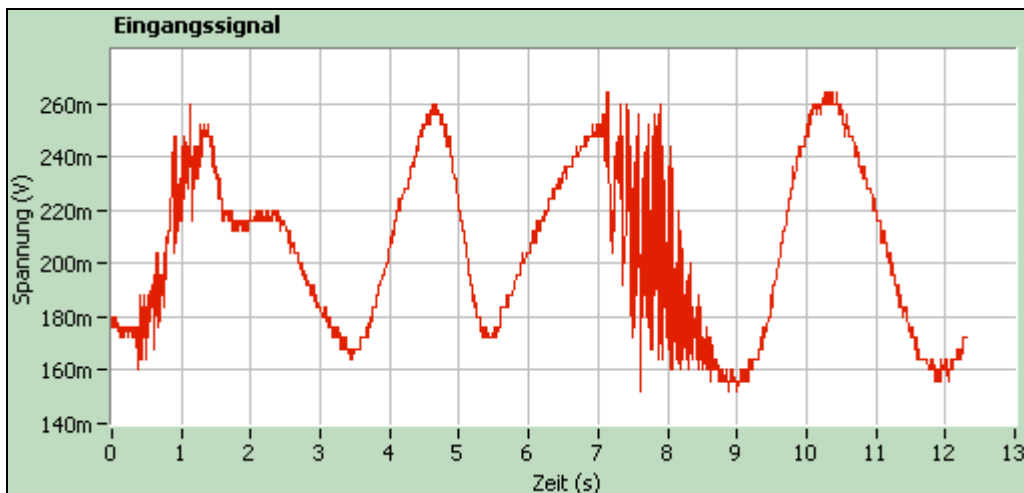


Abbildung 15: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer elektrischen Anregung von 10V am Piezo. Ein- und Ausschaltvorgang als „↓“. Quelle: Eigene Messung.

Klopf- 1:



Abbild 16: Messignal am Detektoreingang für das Interferometer „1“ nach einer zweimaligen mechanischen Anregung von „ $t = 0 + 1s$ “ und „ $t = 7 + 2s$ “. Quelle: Eigene Messung.

- **Messwerte:**

| # | | MAX | MIN | | Ø | V | | Messzeit |
|------------|--|-------|-------|--|-------|-------|--|----------|
| Ruhe- 1 | | 0,280 | 0,144 | | 0,211 | 0,321 | | 450 s |
| Stoss- 1 | | 0,412 | 0,004 | | 0,213 | 0,981 | | 440 s |
| Stoss- 2 | | 0,412 | 0,004 | | 0,214 | 0,981 | | 430s |
| Stoss- 3 | | 0,420 | 0,004 | | 0,215 | 0,981 | | 440 s |
| Stoss- 4 | | 0,416 | 0,004 | | 0,214 | 0,981 | | 425 s |
| Anstoss- 1 | | 0,420 | 0,004 | | 0,213 | 0,981 | | 14,5 s |
| Anstoss- 2 | | 0,252 | 0,176 | | 0,214 | 0,178 | | 8 s |
| Anstoss- 3 | | 0,256 | 0,172 | | 0,212 | 0,196 | | 8 s |
| Anstoss- 4 | | 0,264 | 0,160 | | 0,215 | 0,245 | | 7 s |
| Anstoss- 5 | | 0,252 | 0,176 | | 0,216 | 0,178 | | 20 s |

Tabelle 1: Messwerte der oben genannten durchgeführten Messungen.
Quelle: Eigene Messwerte.

- **Auswertung:**

Aus den Messwerten kann die Visibilität des Interferometers „1“ errechnet werden:

$$V = \frac{MAX_1 + MAX_2 + MAX_3 + MAX_4 - MIN_1 - MIN_2 - MIN_3 - MIN_4}{MAX_1 + MAX_2 + MAX_3 + MAX_4 + MIN_1 + MIN_2 + MIN_3 + MIN_4}$$

\Rightarrow

$$V = \frac{0,412 + 0,412 + 0,420 + 0,416 - 0,004 - 0,004 - 0,004 - 0,004}{0,412 + 0,412 + 0,420 + 0,416 + 0,004 + 0,004 + 0,004 + 0,004}$$

 \Rightarrow

$$V = \frac{1,645}{1,676}$$

 \Rightarrow

$$V = 0,981$$

Die Visibilität des Interferometers „1“ beträgt 0,981 bei theoretischen 1,000.

- **Fehlerkorrektur:**

Es wurde keine Fehlerkorrektur durchgeführt.

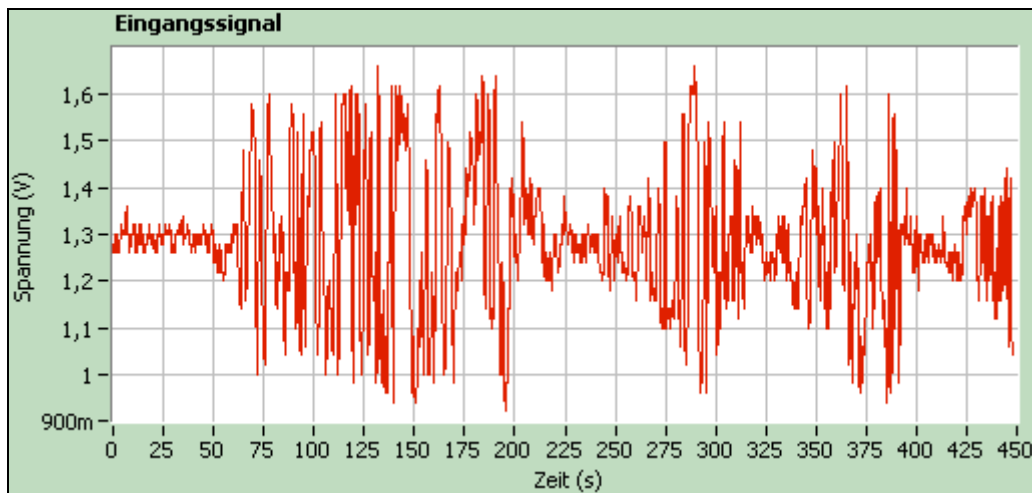
Auswertung der Messung an den Interferometern der 1. Ausbaustufe - Interferometer „2“ -

- **Erläuterung:**

Ausgemessen wurde das Interferometer „2“ (ohne Piezoring). Neben der Visibilität wurde auch die Transmission ausgemessen (im gesonderten Arbeitsblatt bereits ausgewertet.).

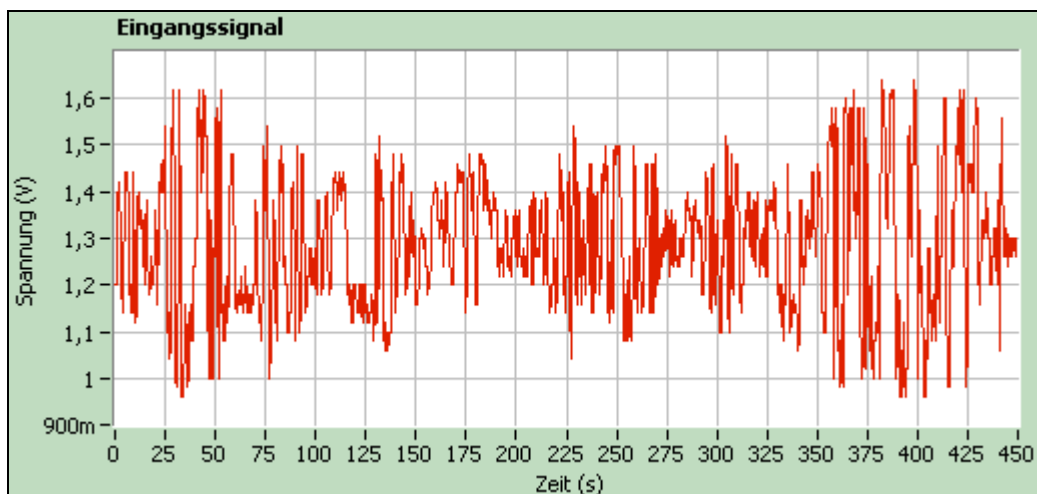
- **Durchgeführte Messungen:**

2 Ruhe- 1:



Abbild 17: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „2“ ohne Ineinflussnahme auf dieses. Das Interferometer arbeitet somit im „Leerlauf“. Quelle: Eigene Messung.

2 Ruhe- 2:



Abbild 18: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „2“ ohne Ineinflussnahme auf dieses. Das Interferometer arbeitet somit im „Leerlauf“. Quelle: Eigene Messung.

- **Messwerte:**

| # | | MAX | MIN | | Ø | | V | | Messzeit |
|-----------|--|-------|-------|--|-------|--|-------|--|----------|
| | | | | | | | | | |
| 2 Ruhe- 1 | | 1,660 | 0,920 | | 1,280 | | 0,287 | | 450 s |
| 2 Ruhe- 2 | | 1,640 | 0,960 | | 1,289 | | 0,262 | | 450 s |
| | | | | | | | | | |

Tabelle 2: Messwerte der oben genannten durchgeführten Messungen.

Quelle: Eigene Messwerte.

- **Auswertung:**

Es wurde keine Auswertung durchgeführt.

- **Fehlerkorrektur:**

Es wurde keine Fehlerkorrektur durchgeführt.

Auswertung der Messung an den Interferometern der

1. Ausbaustufe

- Interferometer „1 + 2“ -

- **Erläuterung:**

Ausgemessen wurde das Interferometer „1“ (mit dem Piezoring) und das Interferometer „2“ (ohne Piezoring) in der Time- Bin- Konfiguration „1 + 2“ und „2 + 1“.

- **Durchgeführte Messungen:**

1+2 Ruhe- 1:

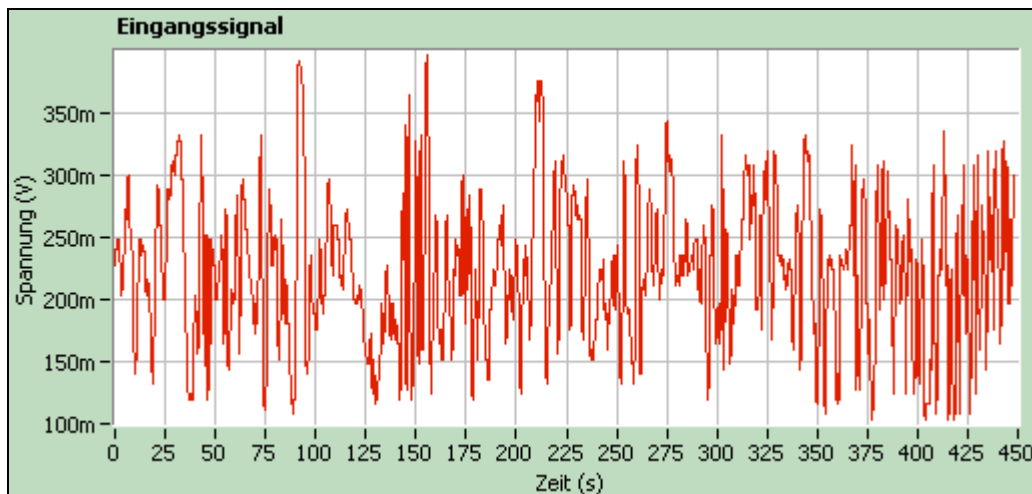


Abbildung 19: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1+2“ ohne Ineinflussnahme. Die Interferometer arbeitet somit im „Leerlauf“. Quelle: Eigene Messung.

1+2 Ruhe- 2:

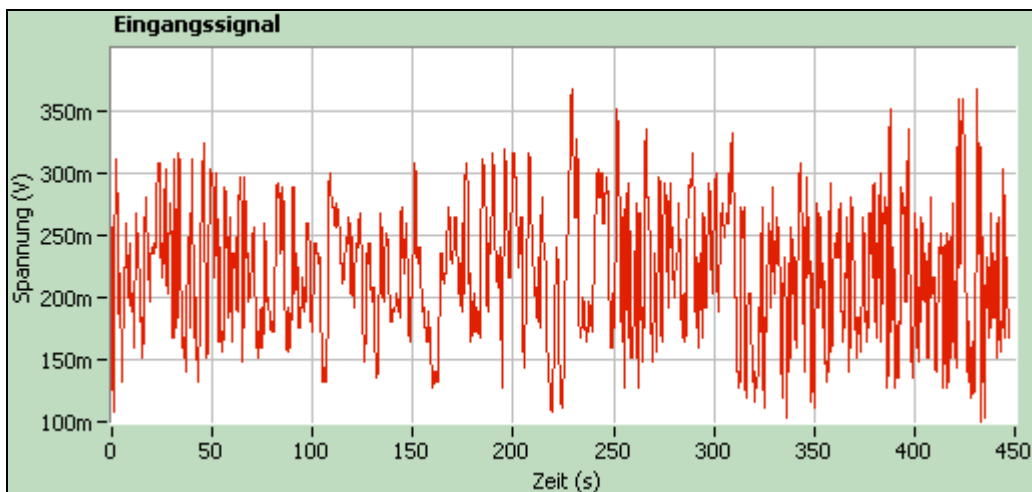


Abbildung 20: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1+2“ ohne Ineinflussnahme. Die Interferometer arbeitet somit im „Leerlauf“. Quelle: Eigene Messung.

1+2 Ruhe- 3:

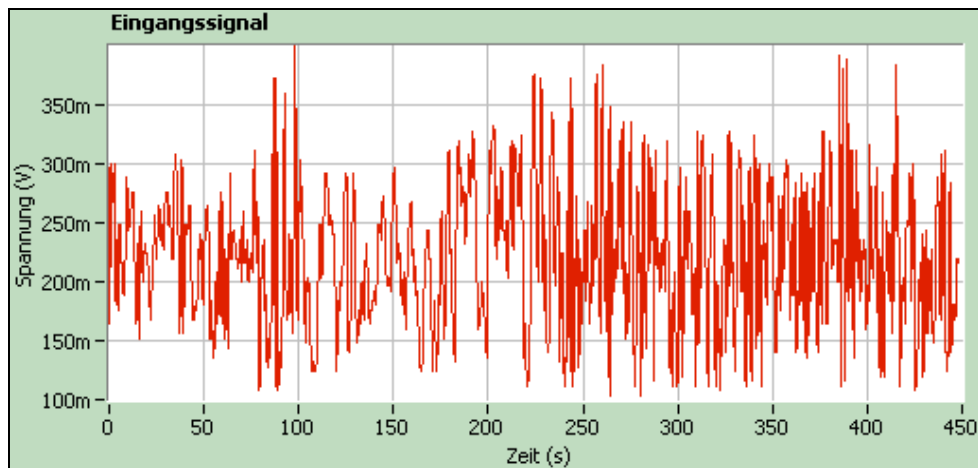


Abbildung 21: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1+2“ ohne Ineinflussnahme. Die Interferometer arbeitet somit im „Leerlauf“. Quelle: Eigene Messung.

2+1 Ruhe- 1:

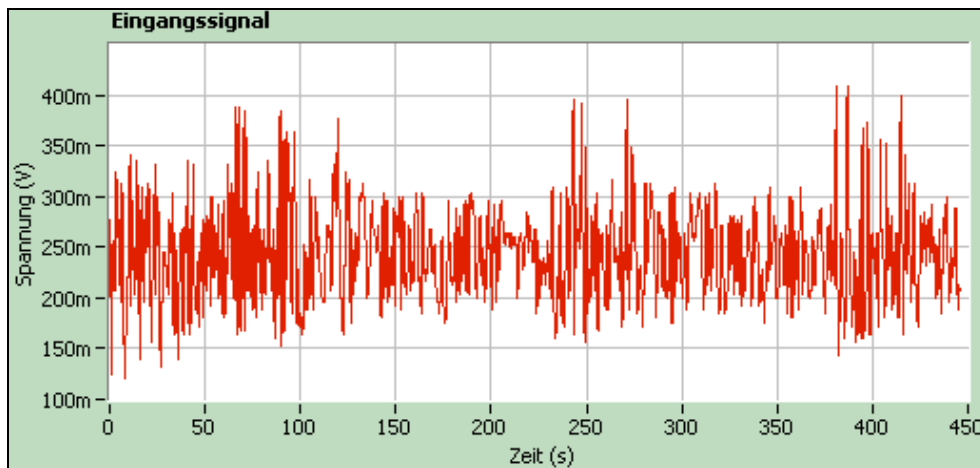


Abbildung 22: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „2+1“ ohne Ineinflussnahme. Die Interferometer arbeitet somit im „Leerlauf“. Quelle: Eigene Messung.

1+2 Stoss- 1:

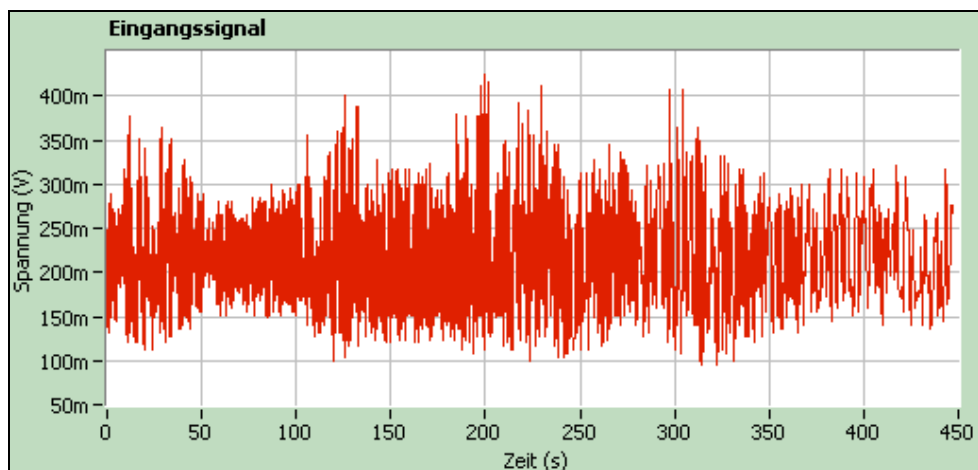


Abbildung 23: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1+2“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist die Rückkehr in den Leerlauf. Quelle: Eigene Messung.

1+2 Stoss- 2:

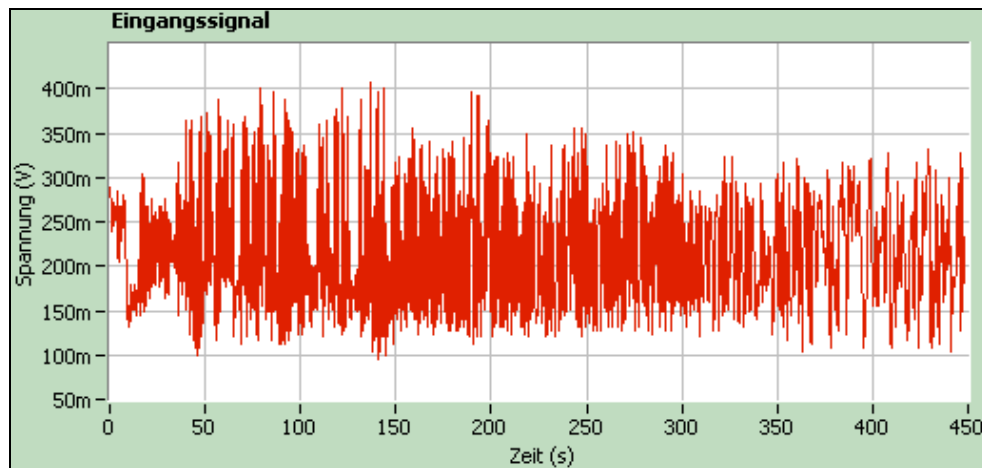


Abbildung 24: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1+2“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist die Rückkehr in den Leerlauf. Quelle: Eigene Messung.

1+2 Stoss- 3:

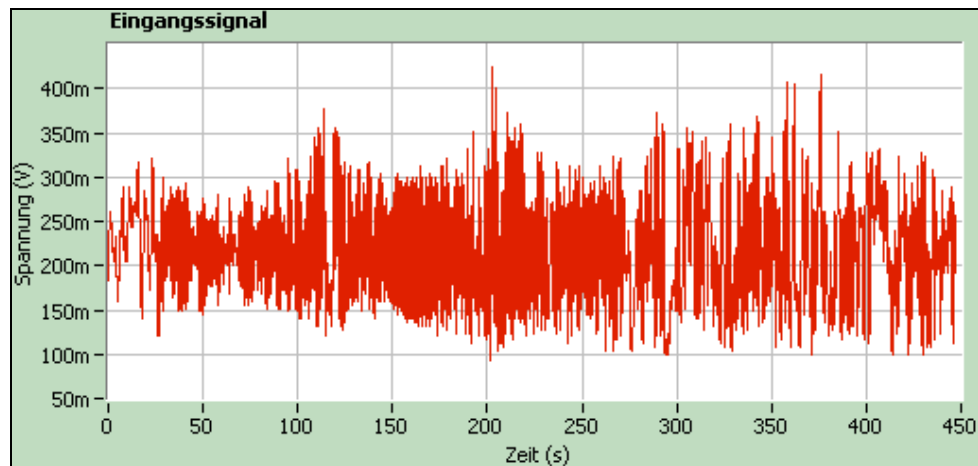


Abbildung 25: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „1+2“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist die Rückkehr in den Leerlauf. Quelle: Eigene Messung.

2+1 Stoss- 1:

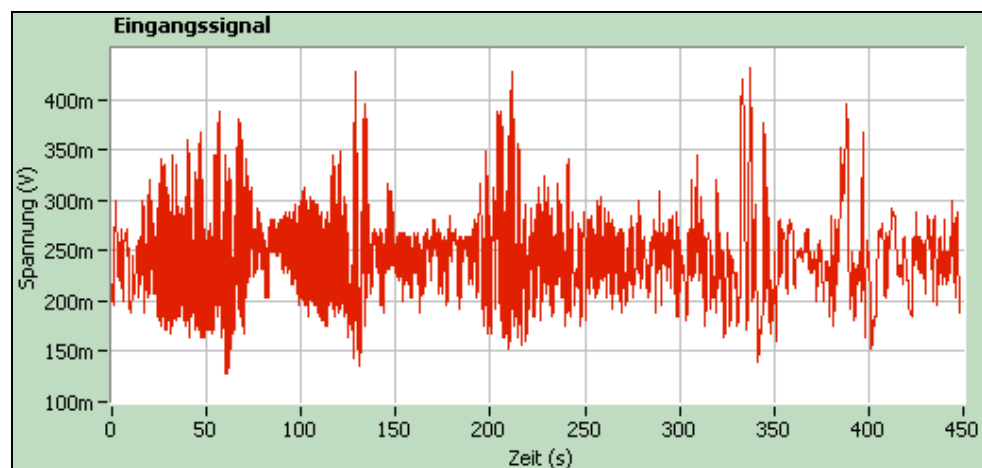


Abbildung 26: Messsignal am Detektoreingang für das Interferometer „2+1“ nach einer thermischen Anregung. Dargestellt ist die Rückkehr in den Leerlauf. Quelle: Eigene Messung.

- **Messwerte:**

| # | | MAX | MIN | | Ø | | V | | Messzeit |
|--------------|--|-------|-------|--|-------|--|-------|--|----------|
| | | | | | | | | | |
| 1+2 Ruhe- 1 | | 0,396 | 0,104 | | 0,222 | | 0,584 | | 450 s |
| 1+2 Ruhe- 2 | | 0,368 | 0,100 | | 0,220 | | 0,573 | | 450 s |
| 1+2 Ruhe- 3 | | 0,400 | 0,104 | | 0,221 | | 0,587 | | 450 s |
| | | | | | | | | | |
| 2+1 Ruhe- 1 | | 0,408 | 0,120 | | 0,243 | | 0,545 | | 450 s |
| | | | | | | | | | |
| 1+2 Stoss- 1 | | 0,424 | 0,096 | | 0,219 | | 0,613 | | 450 s |
| 1+2 Stoss- 2 | | 0,408 | 0,096 | | 0,218 | | 0,619 | | 450 s |
| 1+2 Stoss- 3 | | 0,424 | 0,092 | | 0,219 | | 0,643 | | 450 s |
| | | | | | | | | | |
| 2+1 Stoss- 1 | | 0,432 | 0,128 | | 0,245 | | 0,543 | | 450 s |
| | | | | | | | | | |

Tabelle 3: Messwerte der oben genannten durchgeführten Messungen.

Quelle: Eigene Messwerte.

- **Auswertung:**

Aus den Messwerten kann die Visibilität des Interferometers „1“ errechnet werden:

Ruhe- Messwerte:

$$V = \frac{MAX_1 + MAX_2 + MAX_3 + MAX_4 - MIN_1 - MIN_2 - MIN_3 - MIN_4}{MAX_1 + MAX_2 + MAX_3 + MAX_4 + MIN_1 + MIN_2 + MIN_3 + MIN_4}$$

⇒

$$V = \frac{0,396 + 0,368 + 0,400 + 0,408 - 0,104 - 0,100 - 0,104 - 0,120}{0,396 + 0,368 + 0,400 + 0,408 + 0,104 + 0,100 + 0,104 + 0,120}$$

⇒

$$V = \frac{1,144}{2,000}$$

⇒

$$V_R = 0,572$$

Die Visibilität der Interferometer in Time- Bin- Konfiguration beträgt 0,572 bei theoretischen 0,500.

Stoss- Messwerte:

$$V = \frac{MAX_1 + MAX_2 + MAX_3 + MAX_4 - MIN_1 - MIN_2 - MIN_3 - MIN_4}{MAX_1 + MAX_2 + MAX_3 + MAX_4 + MIN_1 + MIN_2 + MIN_3 + MIN_4}$$

⇒

$$V = \frac{0,424 + 0,408 + 0,424 + 0,432 - 0,096 - 0,096 - 0,092 - 0,128}{0,424 + 0,408 + 0,424 + 0,432 + 0,096 + 0,096 + 0,092 + 0,128}$$

⇒

$$V = \frac{1,276}{2,100}$$

⇒

$$V_s = 0,608$$

Die Visibilität der Interferometer in Time- Bin- Konfiguration beträgt 0,608 bei theoretischen 0,500.

- **Fehlerkorrektur:**

Das theoretische Verhältnis zwischen MAX- und MIN- Wert ist bei der Time- Bin- Konfiguration festgelegt. Es gilt:

$$\frac{MAX_{Theor}}{MIN_{Theor}} = 3$$

Diese Festlegung kann zur Fehlerkorrektur genutzt werden:

| # | | MAX | MIN | | MAX/MIN |
|--------------|--|-------|-------|--|---------|
| 1+2 Ruhe- 1 | | 0,396 | 0,104 | | 3,808 |
| 1+2 Ruhe- 2 | | 0,368 | 0,100 | | 3,680 |
| 1+2 Ruhe- 3 | | 0,400 | 0,104 | | 3,846 |
| 2+1 Ruhe- 1 | | 0,408 | 0,120 | | 3,400 |
| 1+2 Stoss- 1 | | 0,424 | 0,096 | | 4,417 |
| 1+2 Stoss- 2 | | 0,408 | 0,096 | | 4,250 |
| 1+2 Stoss- 3 | | 0,424 | 0,092 | | 4,609 |
| 2+1 Stoss- 1 | | 0,432 | 0,128 | | 3,375 |

Tabelle 3: Messwerte der oben genannten durchgeführten Messungen.

Quelle: Eigene Messwerte.

Ruhe- Messwerte:

$$\hat{V} = \frac{4 \cdot \frac{MAX_{Theor} \cdot V}{MIN_{Theor}}}{\frac{MAX_1}{MIN_1} + \frac{MAX_2}{MIN_2} + \frac{MAX_3}{MIN_3} + \frac{MAX_4}{MIN_4}}$$

⇒

$$\hat{V} = \frac{4 \cdot 3 \cdot 0,572}{\frac{0,396}{0,104} + \frac{0,368}{0,100} + \frac{0,400}{0,104} + \frac{0,408}{0,120}}$$

⇒

$$\hat{V} = \frac{12 \cdot 0,572}{3,808 + 3,680 + 3,846 + 3,400}$$

⇒

$$\hat{V} = \frac{6,864}{14,734}$$

⇒

$$\hat{V}_R = 0,464$$

Die fehlerkorrigierte Visibilität der Interferometer in Time- Bin- Konfiguration beträgt 0,464 bei theoretischen 0,500.

Stoss- Messwerte:

$$\hat{V} = \frac{4 \cdot \frac{MAX_{Theor} \cdot V}{MIN_{Theor}}}{\frac{MAX_1}{MIN_1} + \frac{MAX_2}{MIN_2} + \frac{MAX_3}{MIN_3} + \frac{MAX_4}{MIN_4}}$$

⇒

$$\hat{V} = \frac{4 \cdot 3 \cdot 0,608}{\frac{0,424}{0,096} + \frac{0,408}{0,096} + \frac{0,424}{0,092} + \frac{0,432}{0,128}}$$

⇒

$$\hat{V} = \frac{12 \cdot 0,608}{4,417 + 4,250 + 4,609 + 3,375}$$

⇒

$$\hat{V} = \frac{7,293}{16,651}$$

⇒

$$\hat{V}_S = 0,438$$

Die fehlerkorrigierte Visibilität der Interferometer in Time- Bin- Konfiguration beträgt 0,438 bei theoretischen 0,500.

