

# Der winkelabhängige Doppler-Effekt

Dennis Behl, Sebastian Coen, Jan Elspaß, Mario Farny

Projektleiter: Niklas Fornefeld

## Motivation

Der Doppler-Effekt ist vielen aus dem Alltag bekannt. Bewegt sich ein Beobachter relativ zu einer Tonquelle verändert sich die Frequenz die dieser wahrnimmt. Bewegt man sich auf die Quelle zu wird der Ton höher, bewegt man sich von ihr weg wird er tiefer. Meistens werden jedoch nur diese beiden Extremfälle betrachtet. Deshalb wird in diesem Versuch der Doppler-Effekt mit verschiedenen Winkeln zwischen Beobachterbewegung und Quelle betrachtet.

## Grundlagen

Je nach Relativgeschwindigkeit  $v$  von Beobachter und Quelle kommen unterschiedlich viele Wellenberge und -täler in einem bestimmten Zeitraum beim Beobachter an. Dadurch ändert sich die wahrgenommene Frequenz  $f$ .

Für einen bewegten Beobachter gilt allgemein die Formel:

$$f = f_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

Da in diesem Experiment die Winkelabhängigkeit untersucht wird, bleibt die Geschwindigkeit  $v$  nicht konstant und muss mittels Pythagoras angepasst werden:

$$v = \frac{dz}{dt} = \frac{u \cdot (ut - b)}{\sqrt{a^2 + (b - ut)^2}}$$

Der Winkel  $\varphi$  wird berechnet über:

$$\tan(\varphi) = \frac{a}{b - ut}$$

Durch das Einsetzen von Winkel  $\varphi$  und Geschwindigkeit  $v$  ergibt sich:

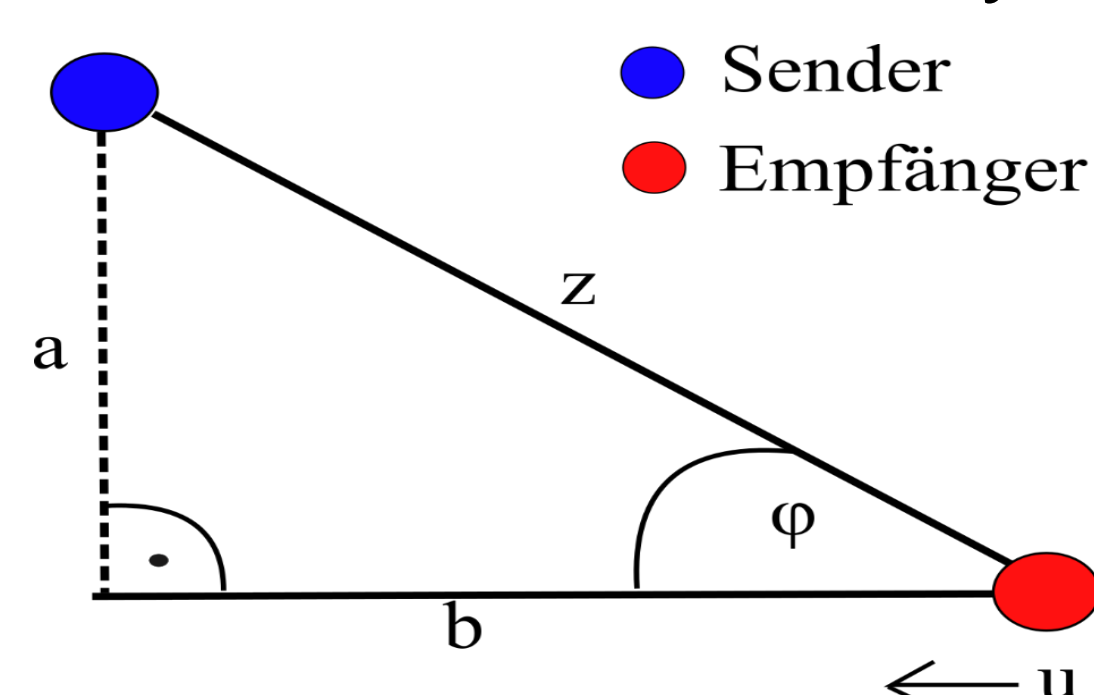
$$f = f_0 \cdot \left[ 1 - \frac{\frac{u \cdot a}{\tan(\varphi)}}{c \cdot \sqrt{a^2 + \left(\frac{a}{\tan(\varphi)}\right)^2}} \right] \quad (*)$$

Legende:

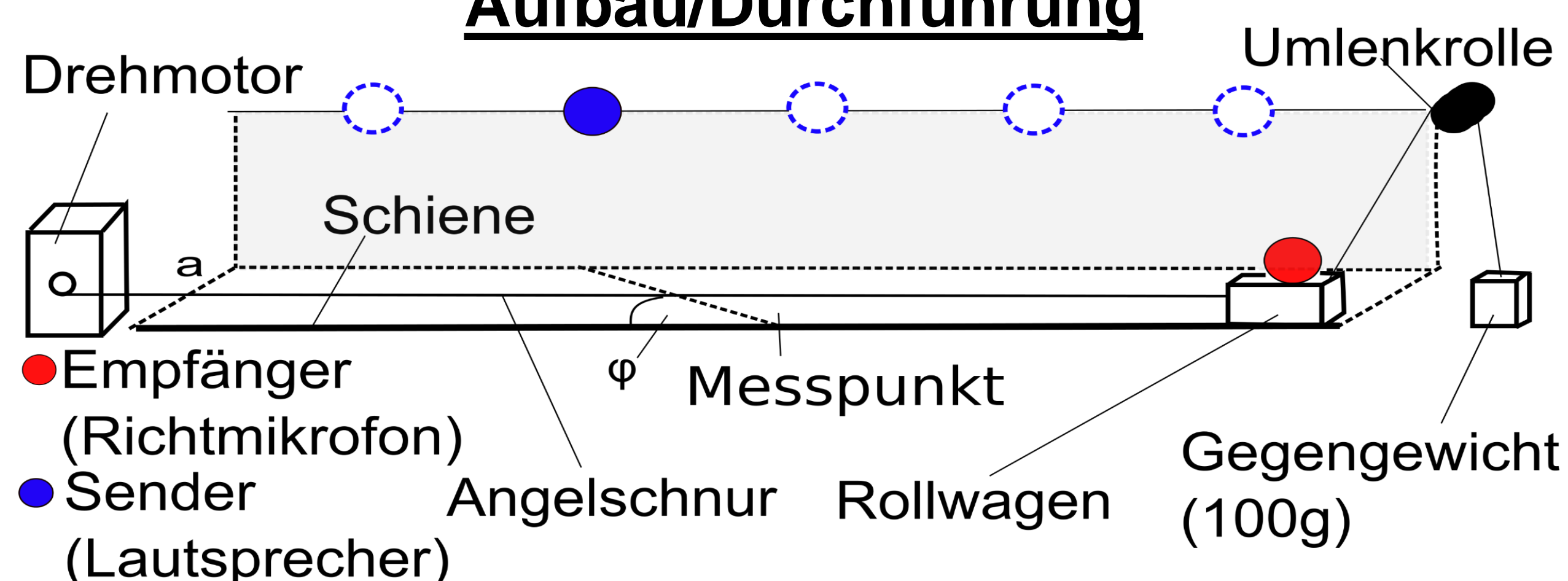
$f_0$ ... Grundfrequenz

$u$ ... Geschwindigkeit Sender

$c$ ... Schallgeschwindigkeit



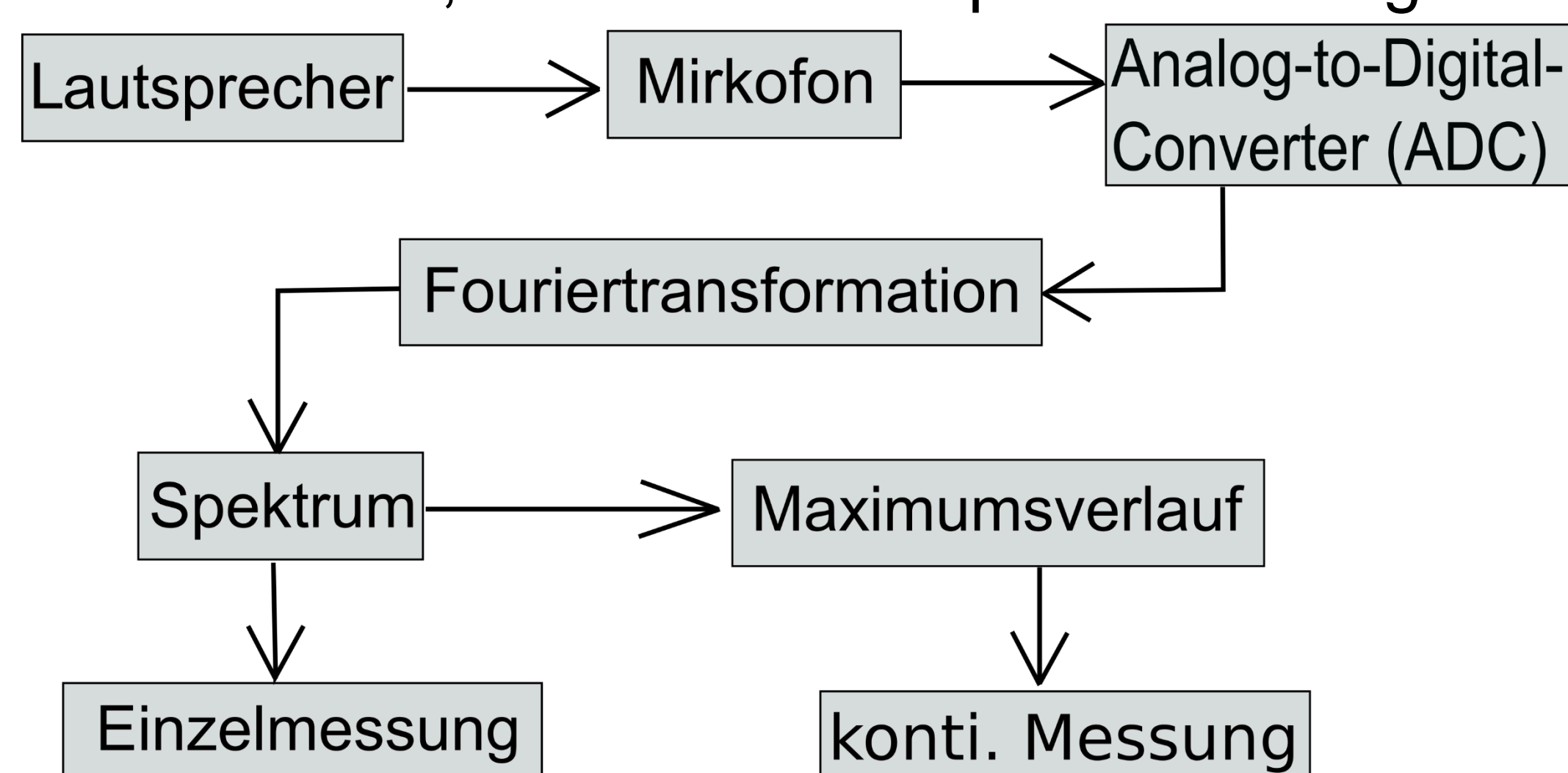
## Aufbau/Durchführung



Die Geschwindigkeit des Wagens am Messpunkt wird durch zwei Lichtschranken ermittelt. Mithilfe eines Frequenzgenerators wird die Grundfrequenz eingestellt.

**Einzelmessung:** Der Sender wird entlang einer Geraden in Winkeln von  $0^\circ$ - $180^\circ$  in  $5^\circ$ -Schritten positioniert. Der Empfänger hat um den Messpunkt herum eine gleichmäßige Geschwindigkeit. Dort wird die veränderte Frequenz gemessen.

**Kontinuierliche Messung:** Die Frequenz maximaler Amplitude wird über den Streckenverlauf alle 0,1s aus dem Spektrum ausgelesen und aufgetragen.



## Literatur:

[1] Achim v. Keudell, Physik I Mechanik und Wärmelehre, 2014

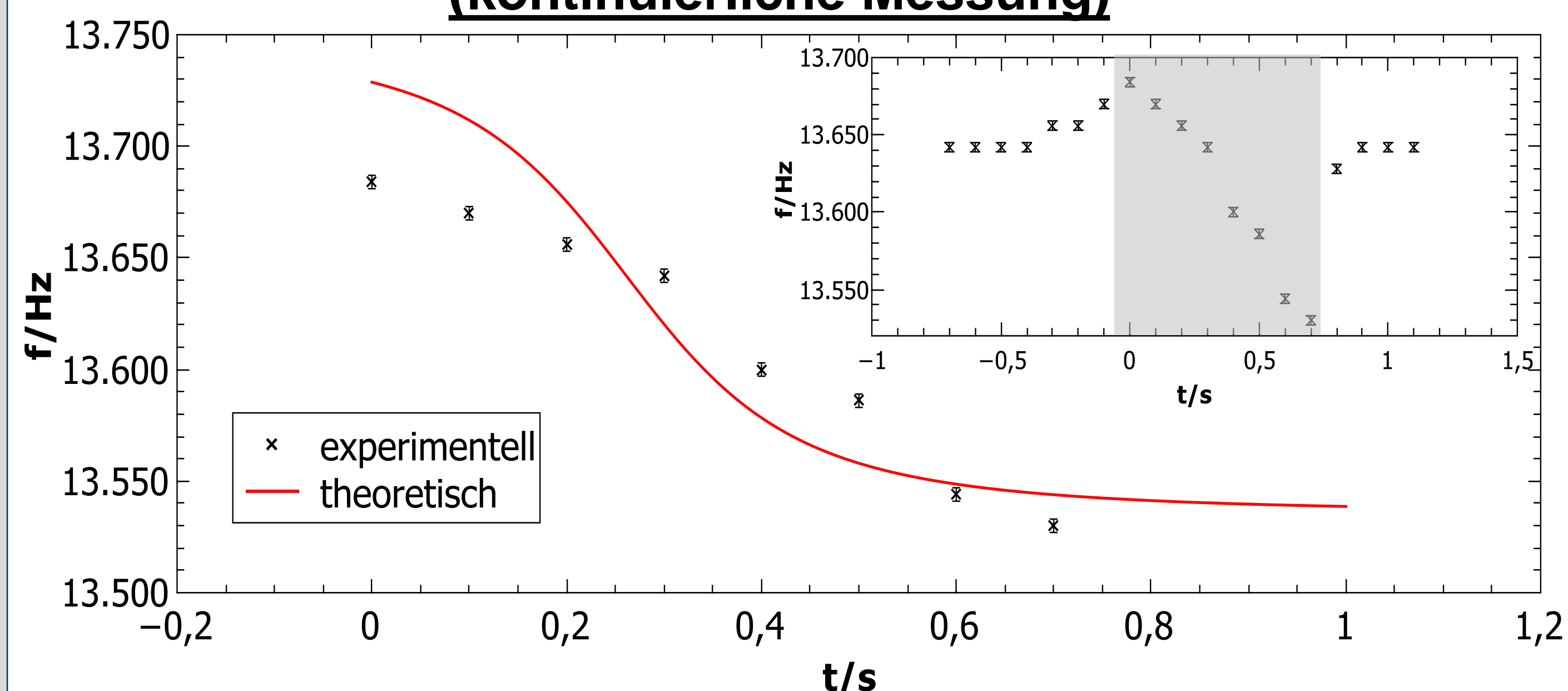
[2] Ted C. Bradbury, Theoretical Mechanics, Wiley, 1968

[3] Frederick G. Mee, Sound, Heinemann, 1967

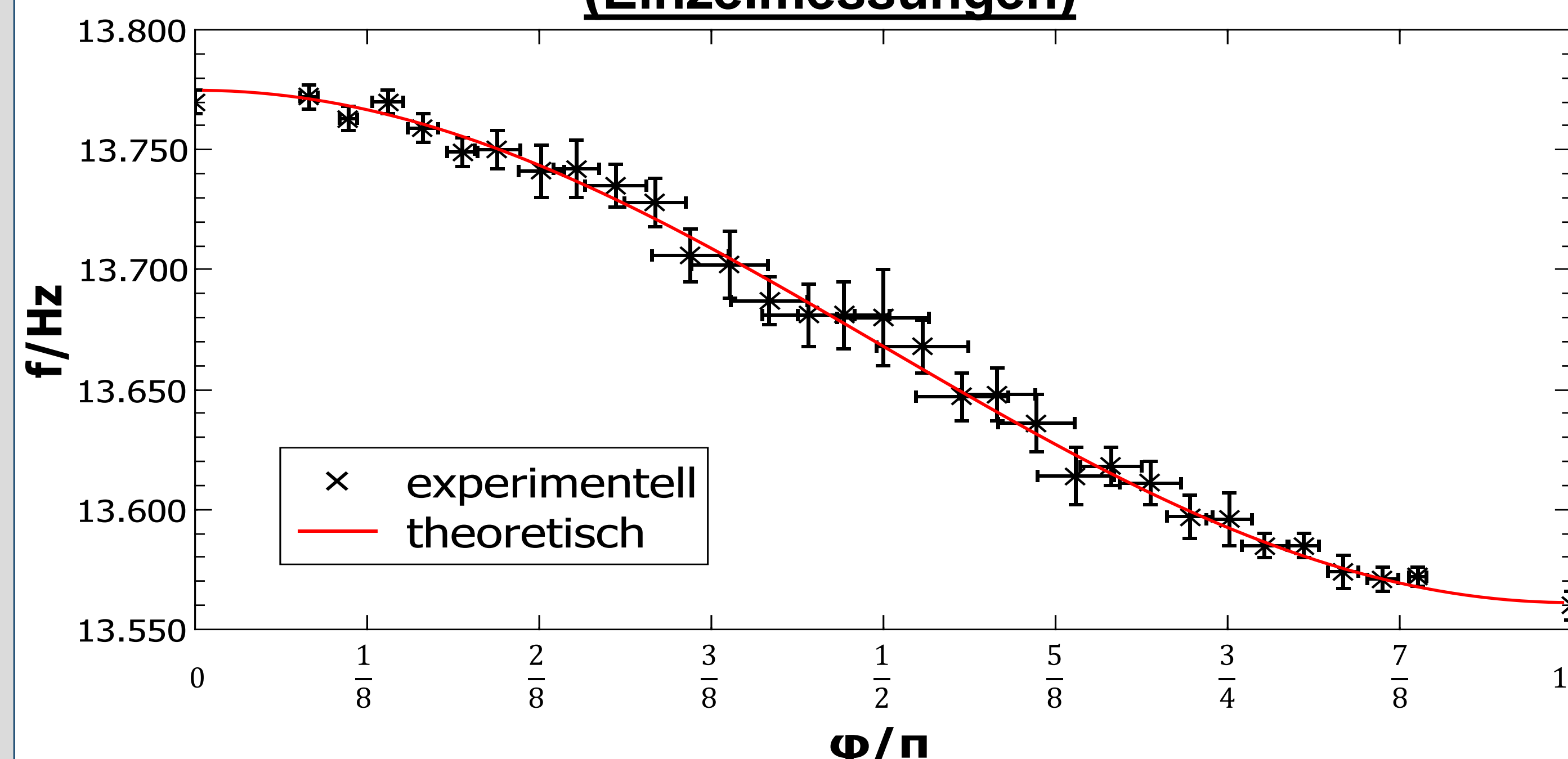
## Auswertung

Die Diagramme zeigen den Frequenzverlauf der kontinuierlichen Messung bzw. der Einzelmessung. Zuletzt ist die Darstellung der Messungen innerhalb von LabView zu sehen. Die Grundfrequenz betrug  $(13668 \pm 3)$  Hz. Es wurde bei einer Geschwindigkeit von  $(2,68 \pm 0,08) \frac{m}{s}$  gemessen.

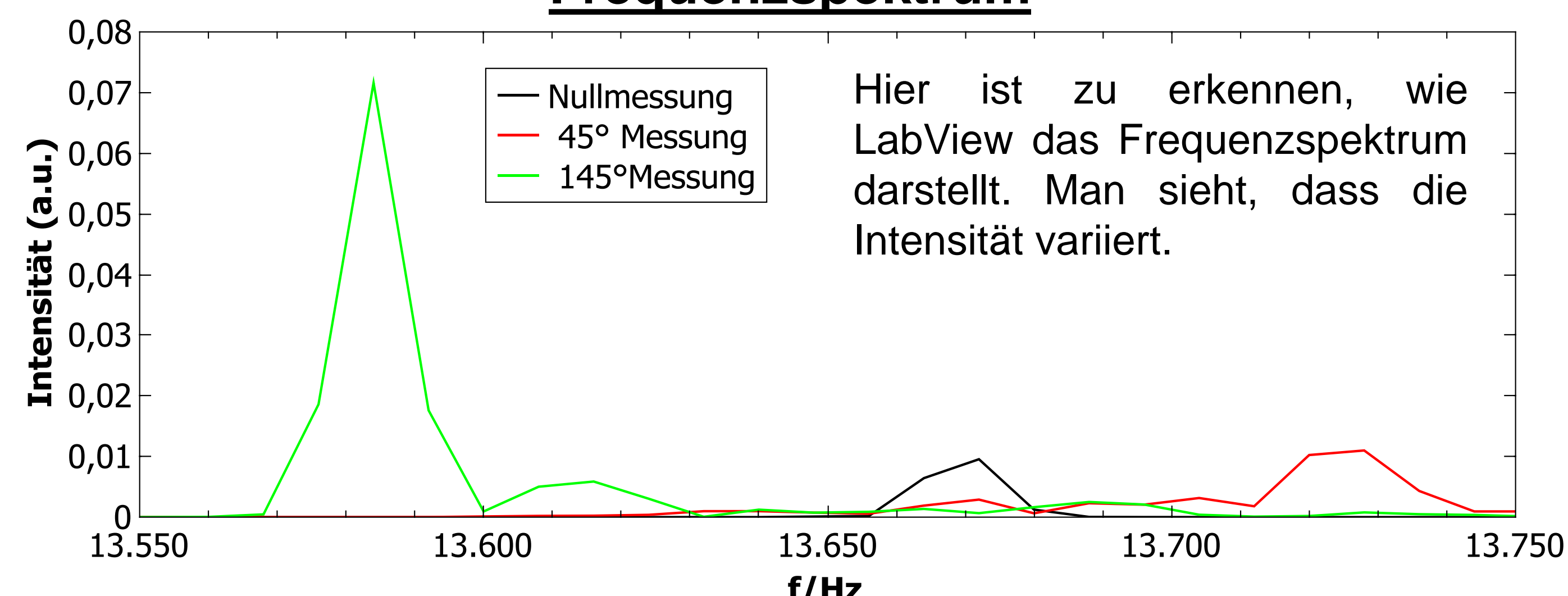
### Frequenz $f$ – Zeit $t$ – Diagramm (kontinuierliche Messung)



### Frequenz $f$ – Winkel $\varphi$ – Diagramm (Einzelmessungen)



### Frequenzspektrum



Hier ist zu erkennen, wie LabView das Frequenzspektrum darstellt. Man sieht, dass die Intensität variiert.

Die Werte der Einzelmessung entsprechen denen der Theorie (\*). Es ist zu erkennen, dass die Werte um  $90^\circ$  deutlich unschärfer werden, da die momentane Winkeländerung dort am größten ist.

Die Werte aus der kontinuierlichen Messung weichen im Vergleich stärker ab. Außerdem gibt die kontinuierliche Messung weniger Messwerte aus, sodass kein funktionaler Zusammenhang erkennbar ist.

## Bewertung

Mit der Einzelmessung konnte die Theorie bewiesen werden. Die Messwerte würden noch genauer werden, wenn man diese mittels Lichtschranke und nicht durch bloße Augen-Hand-Koordination messen könnte.

Die kontinuierliche Messung konnte die Theorie nicht beweisen. Dies liegt an der zu kurzen Teststrecke, der Messverzögerung von Programm und ADC, so wie der Beschleunigungsphase des Motors.

Es ist offensichtlich, dass die Einzelmessung bei diesem Aufbau die akkuratere Messmethode ist.

## Danksagung:

- An T. Domanski und K. Ulrich, für Ihre Hilfsbereitschaft bei all unseren technischen Problemen und einer stets offenen Werkstatt.
- An H. Niesler für die Bereitstellung der Schienenbahn.