

WISSEN • TECHNIK • LEIDENSCHAFT

TU
Graz

**Entwicklung eines Systems zur Beschleunigungsmessung
an Regalbediengeräten auf Arduino Basis**

Logistikwerkstatt
Graz, 22.05.2019
Lukas Karzel, Andreas Rücker
Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss Logistik

► www.tugraz.at

TUM

In diesem Vortrag wird ein Beschleunigungsmesssystem an Regalbediengeräten auf Arduino Basis vorgestellt. Ein solches System wurde von Lukas Karzel im Rahmen einer Bachelorarbeit entwickelt, gebaut und getestet.


 **Vortragende**

- Lukas Karzel, B.Sc.
lukas.karzel@tum.de
Masterstudent an der Technischen Universität München

- Andreas Rücker, M.Sc.
andreas.ruecker@tum.de
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für
Fördertechnik Materialfluss Logistik der TUM

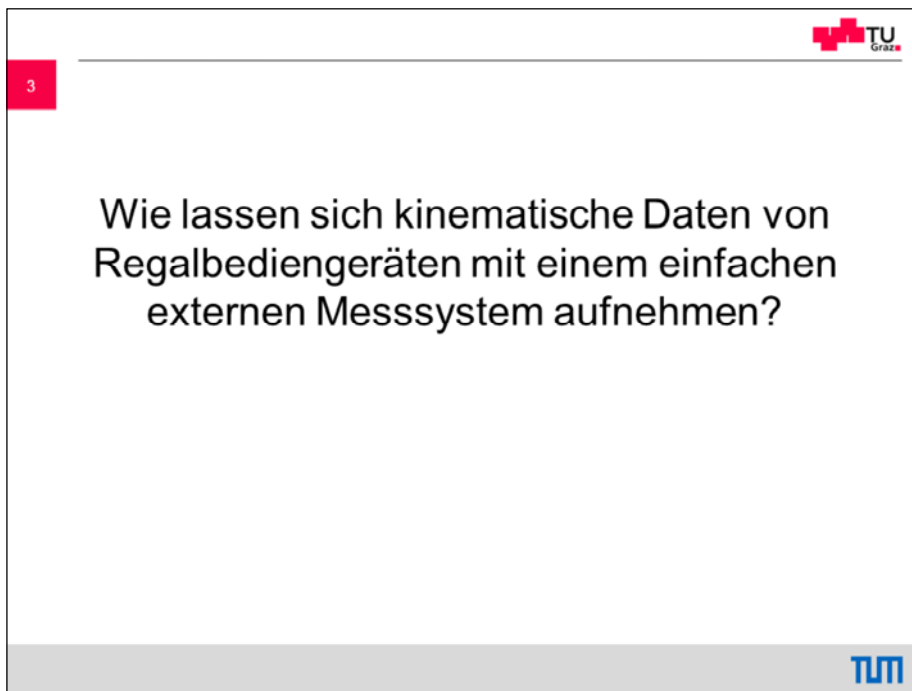


Lukas Karzel, B.Sc.

Hat an der technischen Universität München 2018 sein Bachelorstudium abgeschlossen und studiert aktuell im Masterstudiengang Maschinenwesen. Er verfasst gerade seine Semesterarbeit am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik und befasst sich darin mit der Mastschwingung an RBG.

Andreas Rücker, M.Sc.

Ist seit 2016 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München. In seiner Forschung beschäftigt er sich hauptsächlich mit Energieeffizienz in der Intralogistik.





3

Wie lassen sich kinematische Daten von Regalbediengeräten mit einem einfachen externen Messsystem aufnehmen?


TU

Die Hauptfrage die in diesem Vortrag diskutiert werden soll ist: Wie lassen sich kinematische Daten von RBG mit einem einfachen externen Messsystem aufnehmen?

Das hierzu entwickelte Messsystem auf Basis eines Einplatinencomputers wird auf den nächsten Folien vorgestellt und anschließend wird seine Anwendung beschrieben.


 **Inhalt des Vortrags**


1. Einleitung
2. Aufbau des Messsystems
3. Durchführung von Versuchsfahrten
4. Auswertung der Messdaten
5. Zusammenfassung und Ausblick



1. Einleitung
Wie gliedert sich die Arbeit in das Forschungsprojekt ein?
2. Aufbau des Messsystems
Wie sieht der Aufbau des gesamten Messsystems und seiner Komponenten aus?
3. Durchführung von Versuchsfahrten
Wie wurde die Versuche und Messungen mit dem System durchgeführt?
4. Auswertung der Messdaten
Wie wurden die gewonnen Messdaten aufbereitet und ausgewertet?
5. Zusammenfassung und Ausblick
Was wurde im Rahmen der Arbeit gemacht und welche Ergebnisse sind in der Zukunft zu erwarten?

The slide content area is a rectangular frame. In the top right corner, there is the TU Graz logo, which consists of a red cross-like symbol and the text 'TU Graz'. In the top left corner, there is a small red square containing the white number '5'. In the center of the slide, the word 'Einleitung' is written in a large, black, sans-serif font. In the bottom right corner, there is a blue logo for 'TUM'.

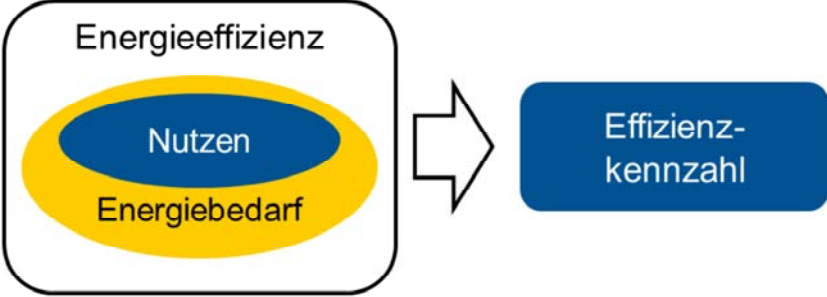
In diesem Abschnitt wird kurz die Eingliederung der Arbeit in das Forschungsprojekt „Entwicklung einer Bewertungsmethodik für die Energieeffizienz von Regalbediengeräten“ beschrieben. Dazu wird zunächst das Projekt und anschließend die Aufgabenstellung der Bachelorarbeit beschrieben.




6

Entwicklung einer Bewertungsmethodik für die Energieeffizienz von RBG

Ausgangsidee des Projekts





Die Ausgangsidee des Projekts stellt eine Effizienzkennzahl, die auf einem Vergleich von Nutzen und Energiebedarf basiert, dar. Damit soll eine vergleichende Bewertung verschiedener RBG ermöglicht werden. Auf Basis dieses Vergleichs soll eine Effizienzkennzahl zur Bewertung abgeleitet werden.

7

Zentrale Arbeitspakete

Arbeitspaket 2 – Analyse der Einflüsse

Arbeitspaket 4 – Durchführung von Messungen

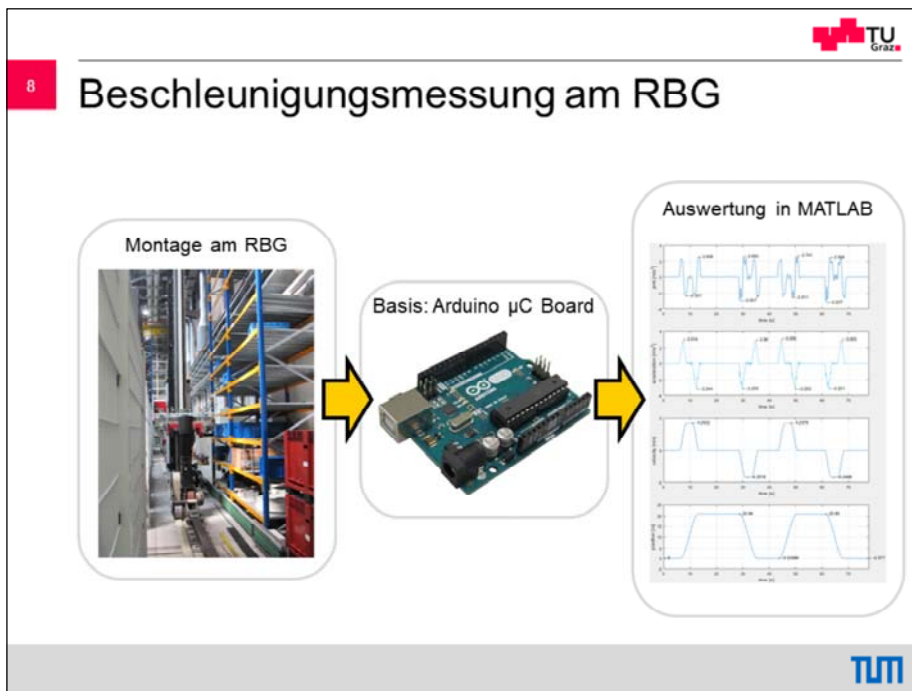
Arbeitspaket 3 – Repräsentative Fachanfahrten

Arbeitspaket 5 – Kennzahlbildung

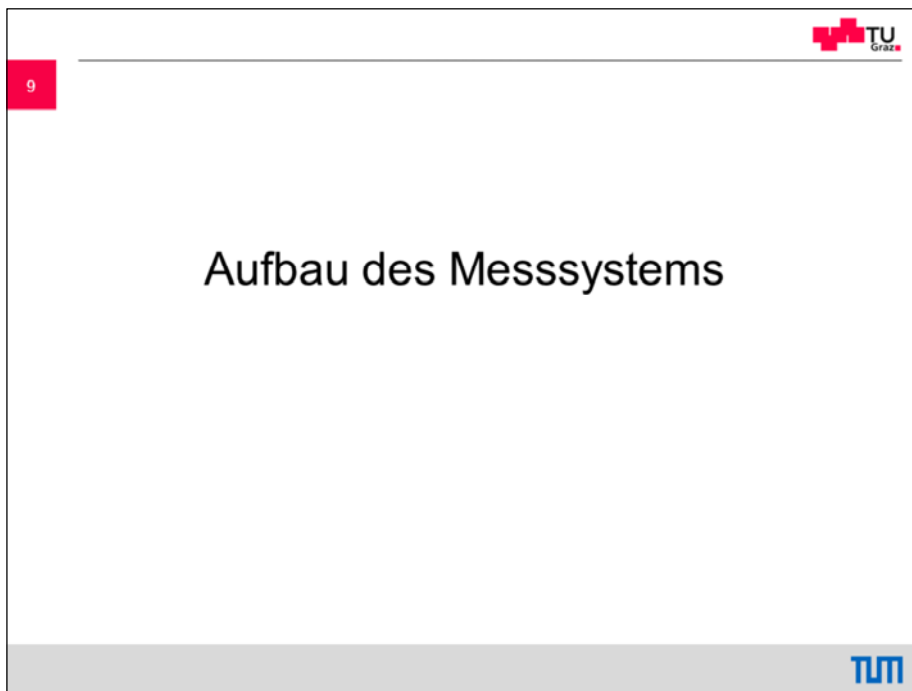
Auf dieser Folie sind die vier zentralen Arbeitspakete des Projekts dargestellt. Insgesamt bestand das Projekt aus sechs Arbeitspaketen:

1. Literaturanalyse
2. Analyse der Einflüsse
3. Ermittlung von repräsentativen Fachanfahrten
4. Durchführung von Messungen an RBG
5. Kennzahlbildung
6. Dokumentation.

Das Messsystem kam hauptsächlich in Arbeitspaket 4 zum Einsatz. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden umfangreiche elektrische Leistungsmessungen an verschiedenen RBG durchgeführt. Dabei wurden neben der Leistungsmessung auch die kinematischen Parameter der Geräte vermessen. Ausgehend von einer Messung der Beschleunigung konnten mit Hilfe der Auswertungssoftware auch der Ruck, die Geschwindigkeit und der zurückgelegte Weg bestimmt werden. Eine detaillierte Beschreibung des gesamten Projekts und alle Ergebnisse sind im Forschungsbericht nachzulesen. Der Forschungsbericht des Projekts [Fot-2019] ist veröffentlicht und kann auf der Homepage des Lehrstuhls unter: http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=1075 heruntergeladen werden.

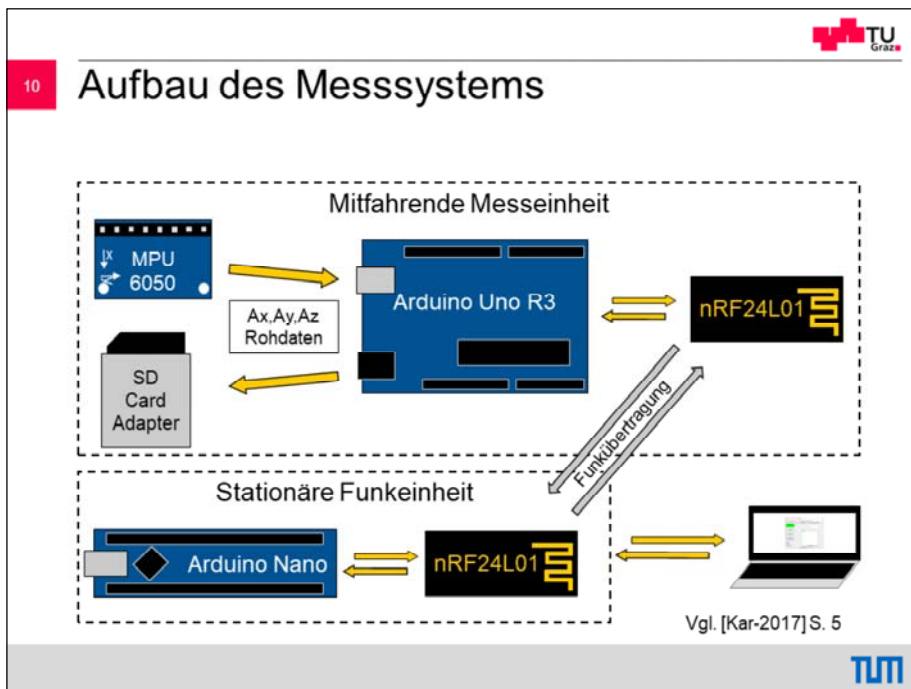


Ziel der Bachelorarbeit war es ein mobiles Messsystem zu entwickeln, welches zuverlässig und möglichst genau den Beschleunigungsverlauf von RBG bestimmen kann. Das Messsystem sollte sich möglichst einfach und ohne Verkabelung auf verschiedenen Regalbediengeräten montieren lassen und per Funk gesteuert werden. Mit Hilfe der gewonnenen Beschleunigungsdaten sollte durch Ableitung bzw. Integration zusätzlich der Ruck-, Geschwindigkeits-, und Positionsverlauf bestimmt werden.

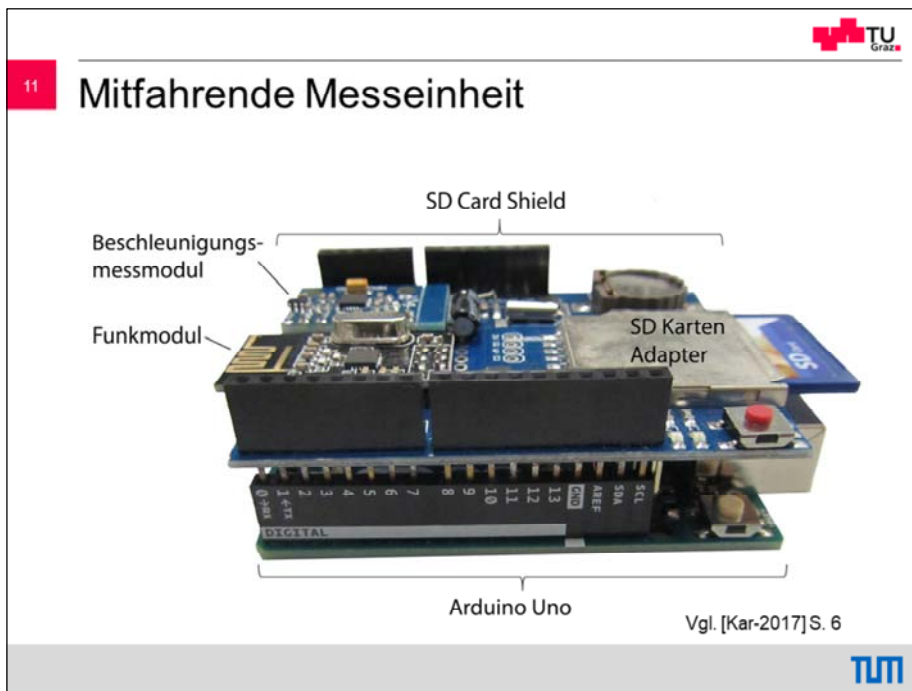


The slide features a white background with a red square containing the number '9' in the top-left corner. The TU Graz logo is in the top-right corner, and the TUTI logo is in the bottom-right corner. The title 'Aufbau des Messsystems' is centered in a large, black, sans-serif font.

In diesem Abschnitt wird der Aufbau des gesamten Messsystems und seiner Komponenten beschrieben.



Das Messsystem besteht aus einer Messeinheit und einer Funkeinheit. Die Messeinheit besteht aus einem Arduino Uno Mikrocontrollerboard, einem MPU 6050 Beschleunigungsmessmodul, einem nRF24L01 Funkmodul und einem SD-Karten Adapter. Diese vier Komponenten werden in einem kompakten Gehäuse auf dem Regalbediengerät montiert. Die Funkeinheit wird zur Steuerung der Messeinheit verwendet und besteht aus einem Arduino Nano Mikrocontrollerboard und einem nRF24L01 Funkmodul. Diese wird an einem Notebook angeschlossen und dient zur drahtlosen Steuerung der Messeinheit. Auf dem Notebook läuft die Steuerungssoftware mit deren Hilfe die Funkeinheit angesteuert wird.



Die Messeinheit besteht aus einem Arduino Uno und einem SD Card Shield, auf dem sich bereits ein SD Karten Adapter befindet. Das Shield kann einfach auf den Arduino Uno gesteckt werden. Auf das SD Card Shield wurde das MPU 6050 Beschleunigungsmodul und das nRF24L01 Funkmodul gelötet. Die Stromversorgung des Unos ist mittels einer 9-V-Block Batterie realisiert.



Die Messeinheit wurde zu ihrem Schutz in ein 3D gedrucktes Gehäuse eingebaut. Die 9-V-Block Batterie findet in diesem auch noch Platz. Auf der Unterseite des Gehäuses befinden sich zwei Magnete. Mit deren Hilfe kann das System einfach auf ferromagnetischen Flächen angebracht werden. Damit lässt sich das System auf den meisten Lastaufnahmemitteln sicher und ohne zusätzliche Hilfsmittel anbringen. Auf Grund des geringen Gewichts der Messeinheit lässt sich diese aber auch mit Klebeband an nicht ferromagnetischen Flächen anbringen.



Auch das Funkmodul, bestehend aus einem Arduino Nano und einem nRF24L01 Funkmodul, wurde in einem 3D gedruckten Gehäuse verbaut. Per Mini USB Kabel wird die Funkeinheit mit einem PC verbunden. Mit Hilfe der entwickelten Software lässt sich so die Messeinheit steuern. Die Reichweite des Funkmoduls beträgt ca. 20 m. Diese kann aber durch metallische Abschirmung eingeschränkt werden.

The slide content is enclosed in a rectangular frame. In the top right corner of the frame is the TU Graz logo, consisting of a red cross-like symbol and the text 'TU Graz'. In the top left corner of the frame is a red square containing the white number '14'. The main title 'Durchführung von Versuchsfahrten' is centered in the frame. At the bottom right of the frame, there is a grey horizontal bar containing the blue 'TUM' logo.

In diesem Abschnitt wird die Durchführung von Versuchsfahrten, die Bedienung des Messsystems, die Messergebnisse und die Verarbeitung der Messdaten beschrieben.

15



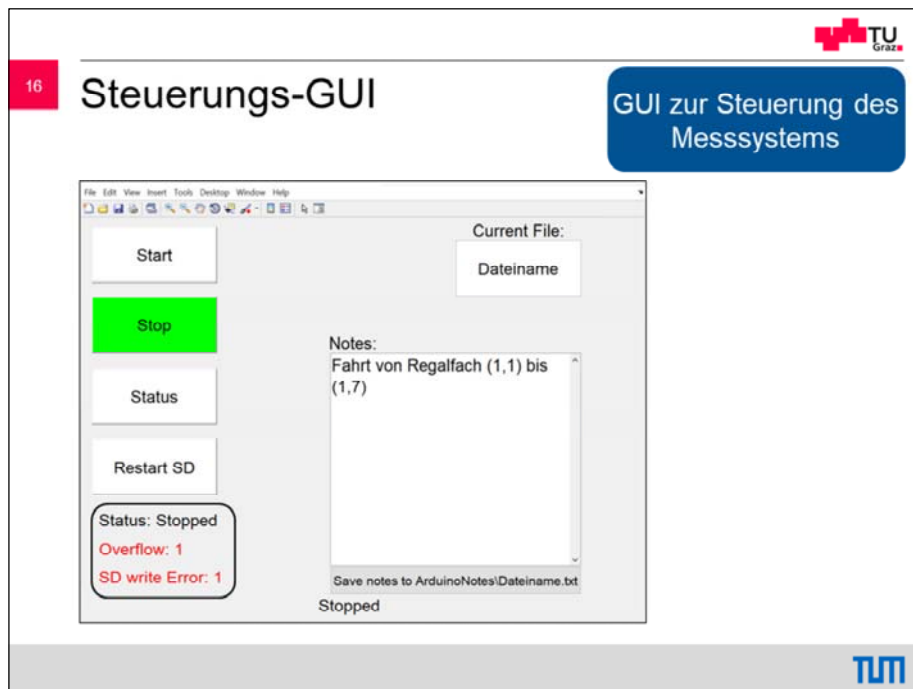
Durchführung von Versuchsfahrten



Montage am
Forschungs-RBG



Durch die Magnete an der Unterseite der Messeinheit kann diese einfach an einer ferromagnetischen Fläche auf dem hauseigenen Forschungs-RBG des Lehrstuhls angebracht werden. Die Messeinheit wird bei den Messfahrten auf dem Lastaufnahmemittel montiert. Somit können die Beschleunigungsdaten von Fahr- und Hubwerk aufgenommen werden. Um sicher zu stellen, dass die internen Messachsen des Beschleunigungssensors mit den Bewegungsrichtungen übereinstimmen, muss die Messeinheit entweder parallel oder normal zur Laufschiene des RBG ausgerichtet werden.



Die Steuerung des Messsystems erfolgt über eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) in MATLAB. In das Feld „Current File“ kann ein Dateiname für die zu schreibende Messdaten-Datei eingegeben werden. Über die Start und Stopp Buttons kann eine Messung gestartet und gestoppt werden. Bei Betätigung des „Status“ Buttons sendet die Messeinheit den Namen der aktuellen Messdaten-Datei zurück und gibt Auskunft, ob die Messaufzeichnung gerade läuft oder nicht. Mit Hilfe des „Status“ Buttons kann getestet werden, ob die Funkeinheit eine Verbindung zur Messeinheit aufbauen kann. Falls eine SD-Karte in das Kartenmodul gesteckt wurde während der Arduino in Betrieb ist, muss der „Restart SD“ Button betätigt werden. Kann die Messeinheit keine Daten auf die SD-Karte schreiben oder der FIFO (First In - First Out) Buffer des Beschleunigungsmessmoduls läuft über, werden entsprechende Fehlermeldungen von der Messeinheit gesendet und in der GUI links unten angezeigt. In dem Notizenfeld rechts unten in der Abbildung können Notizen zur Messung gemacht werden. Diese Notizen werden in eine Textdatei gespeichert und anschließend in der Datenauswertungs-GUI wieder angezeigt.

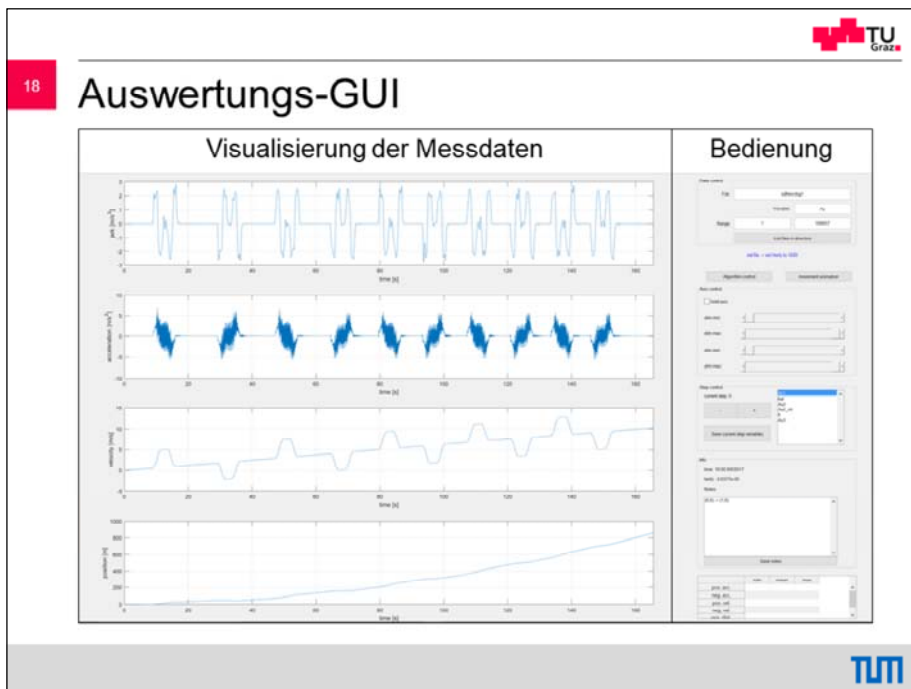
17

TU
Graz

Auswertung der Messdaten

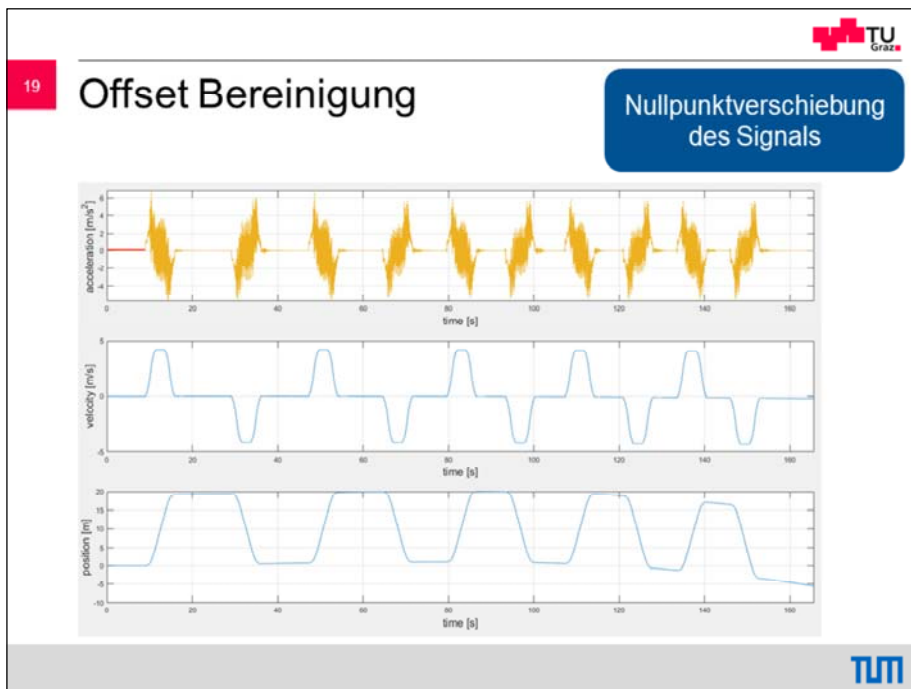
TUTI

In diesem Abschnitt erfolgt eine Beschreibung der Messdatenauswertung, wobei hier besonders auf die Korrektur der Messdaten eingegangen wird. Abschließend werden Details zur Genauigkeit des Systems bei den durchgeführten Versuchen gezeigt.

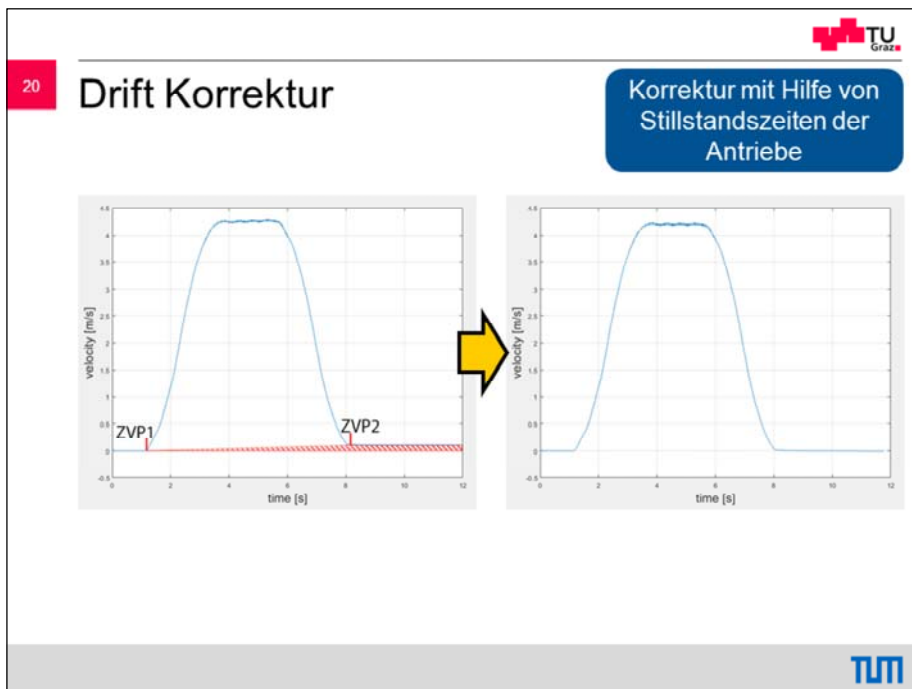


Die obige Abbildung zeigt die MATLAB GUI zur Datenauswertung der Beschleunigungsmessdaten. Im Bedienungsbereich können in zwei Textfeldern der Name der zu ladenden Messdaten-Datei und eine der drei Messachsen angegeben werden. Dazu können noch Einstellungen zum angezeigten Intervall und der Korrektur der Messdaten getroffen werden.

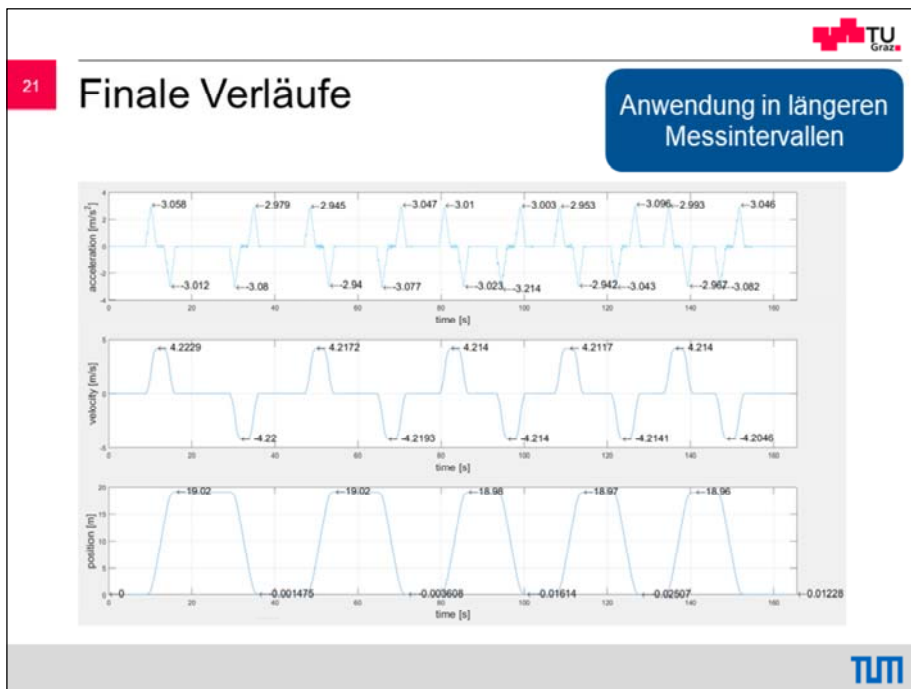
Die vier Graphen im Visualisierungsbereich zeigen den Ruck-, Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- und Positionsverlauf über die Zeit an. In diesem Fall sind zehn Fahrten des Fahrentriebs dargestellt. Da im Beschleunigungsverlauf noch eine leichte Nullpunktverschiebung vorhanden ist, driften der daraus berechnete Geschwindigkeits- und Positionsverlauf stark ab.



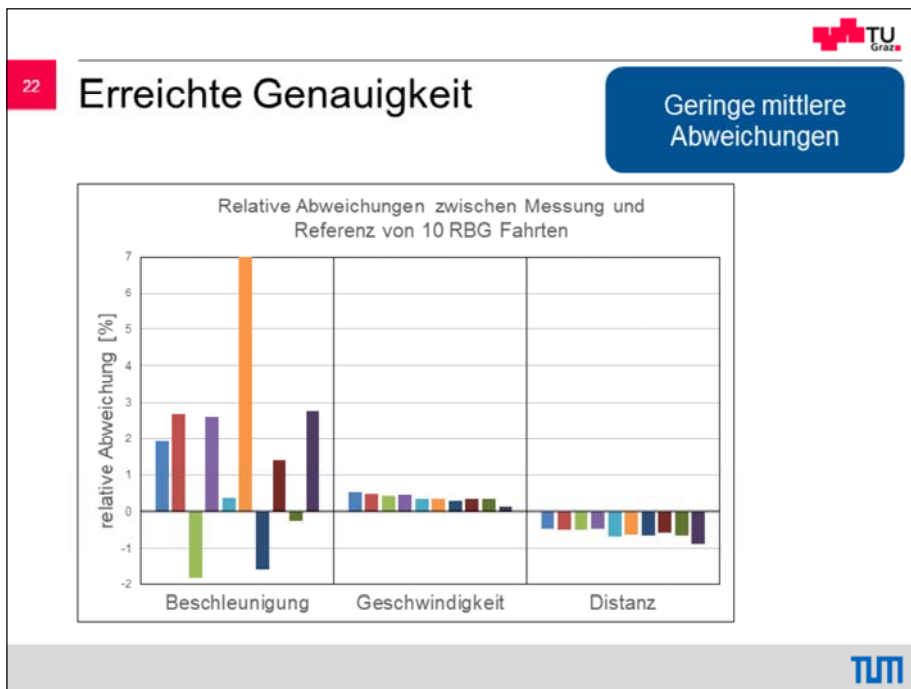
Um den Nullpunktversatz (Offset) zu bestimmen, wird aus dem ersten Messpunkt bis zum Beginn der ersten Fahrt ein Mittelwert gebildet und vom gesamten Beschleunigungsverlauf abgezogen. Der Beginn der ersten Fahrt wird dabei über die Höhe des Betrags der Differenz zweier Beschleunigungspunkte abgeschätzt. Die rote Linie am Beginn des Beschleunigungsverlaufs zeigt die Länge der Mittelung. Die aus dem offsetbereinigten Beschleunigungsverlauf berechneten Geschwindigkeits- und Positionsverläufe zeigen schon einen deutlich besseren Verlauf. Der Geschwindigkeitsverlauf weist aber noch zwischen den Fahrten Beträge größer Null auf, was zu einem Drift im Positionsverlauf führt.



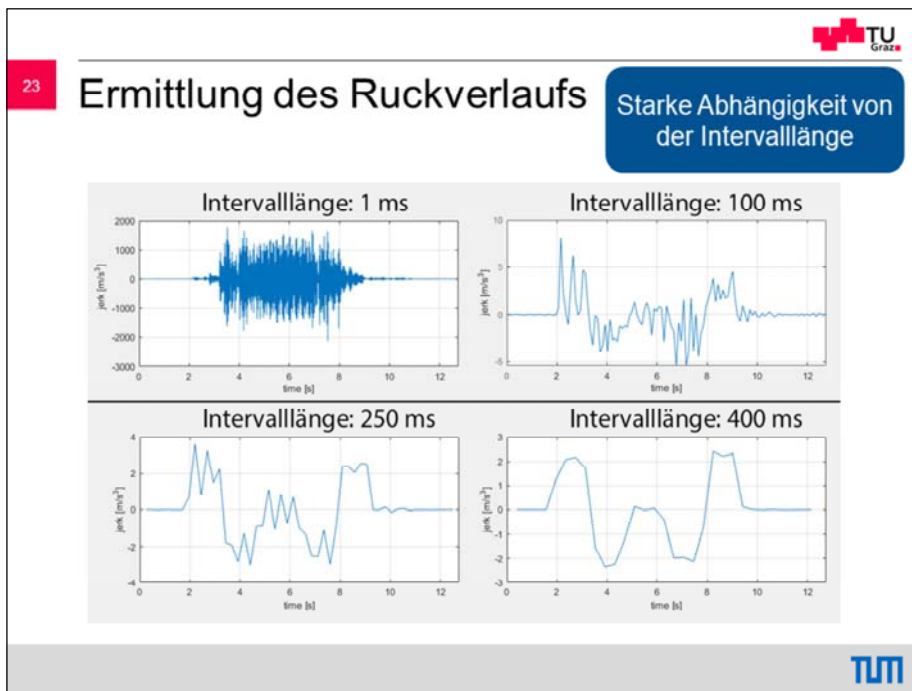
Um den noch vorhandenen Drift im Geschwindigkeits- und Positionsverlauf zu korrigieren, werden Zero-Velocity Punkte (ZVP) bestimmt, also Punkte an denen das RBG nicht in Bewegung ist. Da die Bewegung eines RBG immer nach einem gewissen Schema erfolgt, funktioniert diese Korrektur zuverlässig. Ein Messwert gilt als ZVP, wenn sowohl sein Beschleunigungsbetrag als auch die zugehörigen Ruck- und Geschwindigkeitsbeträge unter festgelegten Grenzen liegen. Für den Ruck- und Beschleunigungsverlauf werden gemittelte Kurven verwendet. Die Grenzen und Mittelungsintervalllängen können dabei bei Bedarf in der Auswertungs-GUI geändert werden. Zwischen zwei ZVP wird ein linear zunehmender und nach dem zweitem ZVP konstanter Wert vom Geschwindigkeitsverlauf abgezogen, sodass die Geschwindigkeit anschließend bei beiden Punkten Null beträgt. Die linke Abbildung zeigt den Geschwindigkeitsverlauf vor der Korrektur, wobei die Driftabweichung zur besseren Anschaubarkeit stark verstärkt wurde. Der schraffierte Bereich, dessen obere Begrenzung zwischen den zwei ZVP Punkten linear zunimmt und dann konstant ist, wird vom linken Geschwindigkeitsverlauf abgezogen, wodurch sich der rechte, driftkorrigierte Verlauf ergibt.



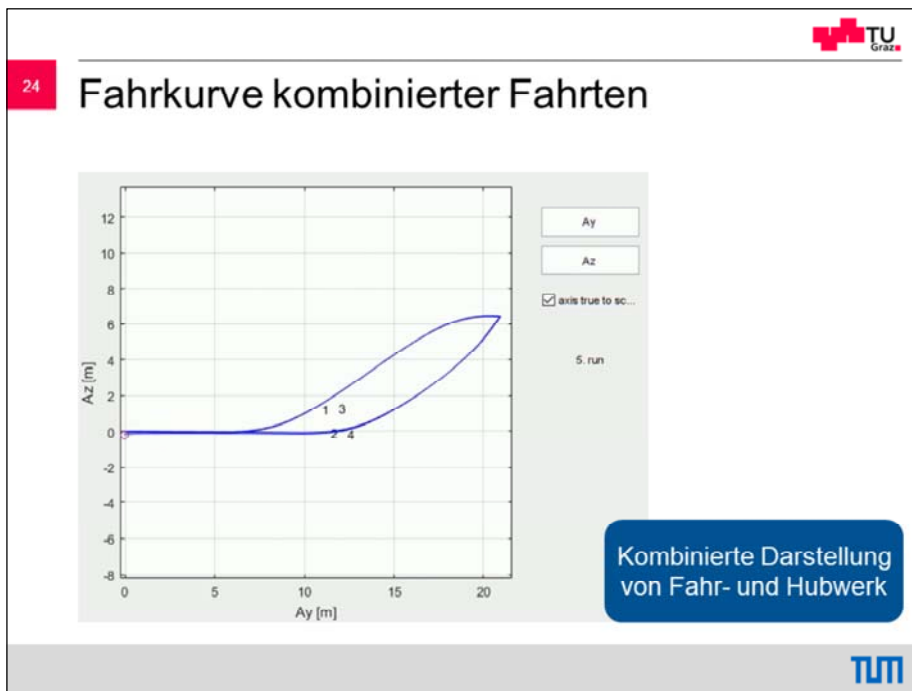
Die Abbildung zeigt den finalen Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- und Positionsverlauf. Der Beschleunigungsverlauf wurde gemittelt um Schwingungen herauszufiltern. In der GUI werden für jede Fahrt die Beschleunigungs- und Geschwindigkeits-Extremwerte und die erreichte Position angezeigt. Damit lässt sich in kurzer Zeit eine Aussage zu den erreichten kinematischen Parametern treffen.



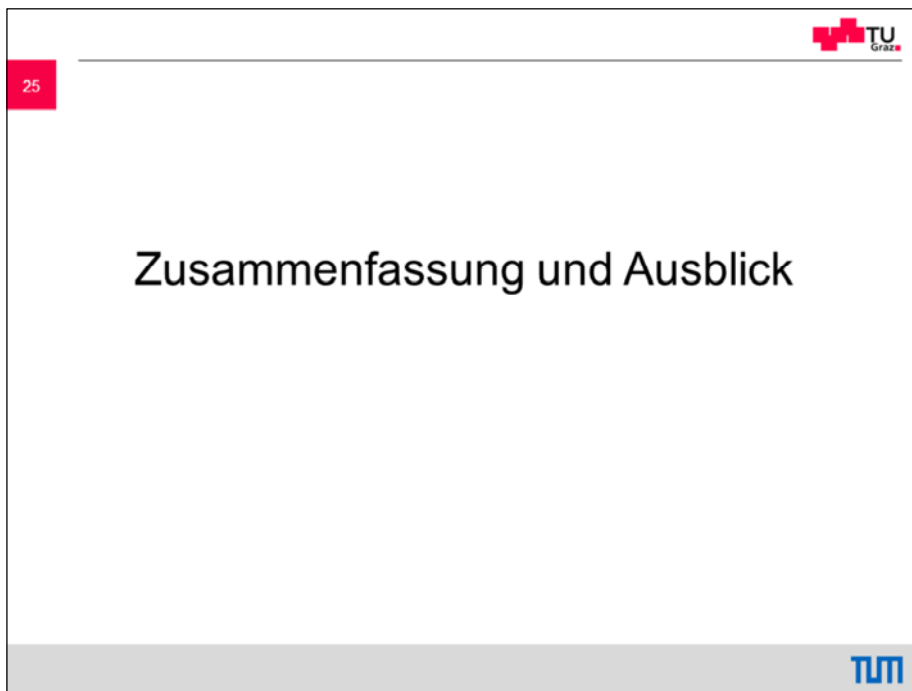
Das Diagramm zeigt beispielhaft die relative Abweichung zwischen den gemessenen und den in der Antriebssteuerung des RBG eingestellten kinematischen Parametern. Diese Werte gelten für die vorher gezeigten zehn RBG Fahrten. Für die positive Beschleunigung und die Geschwindigkeit werden dabei die Maxima verglichen. Die Beschleunigungsmaxima weichen von den Referenzwerten durchschnittlich um 2,3% ab, wobei sich ein Wert sogar knapp 7% von der Referenz unterscheidet. Die gemessenen Extrema werden aus einem gemitteltem Beschleunigungsverlauf ermittelt und sind somit von der Mittelungsintervalllänge abhängig. Für die Geschwindigkeitextrema und die Distanz ergeben sich mittlere relative Abweichungen von unter einem Prozent.



Der Ruckverlauf wird durch die Ableitung eines gemittelten Beschleunigungsverlaufs ermittelt. Der dargestellte Verlauf des Rucks hängt stark von der Intervalllänge ab. Sinnvolle Werte lassen sich also nur schwer bestimmen. Bei Kenntnis der tatsächlichen Ruckwerte in der Steuerung lässt sich aber die Intervalllänge entsprechend konfigurieren. In der Abbildung oben ist der Ruckverlauf des selben Beschleunigungsverlaufs für vier unterschiedliche Intervalllängen dargestellt.



Mit Hilfe der Auswertungs-GUI lassen sich auch kombinierte Bewegungen von Fahr- und Hubantrieb eines RBG darstellen. Die Abbildung zeigt die Fahrkurve von vier RBG Fahrten. Auf der Abszissenachse ist dabei die horizontale Position und auf der Ordinatenaachse die vertikale Position des Hubschlittens angegeben. Jeweils zwei Fahrten des RBG liegen übereinander. Damit lässt sich die Kopplung der beiden Antriebe überprüfen.



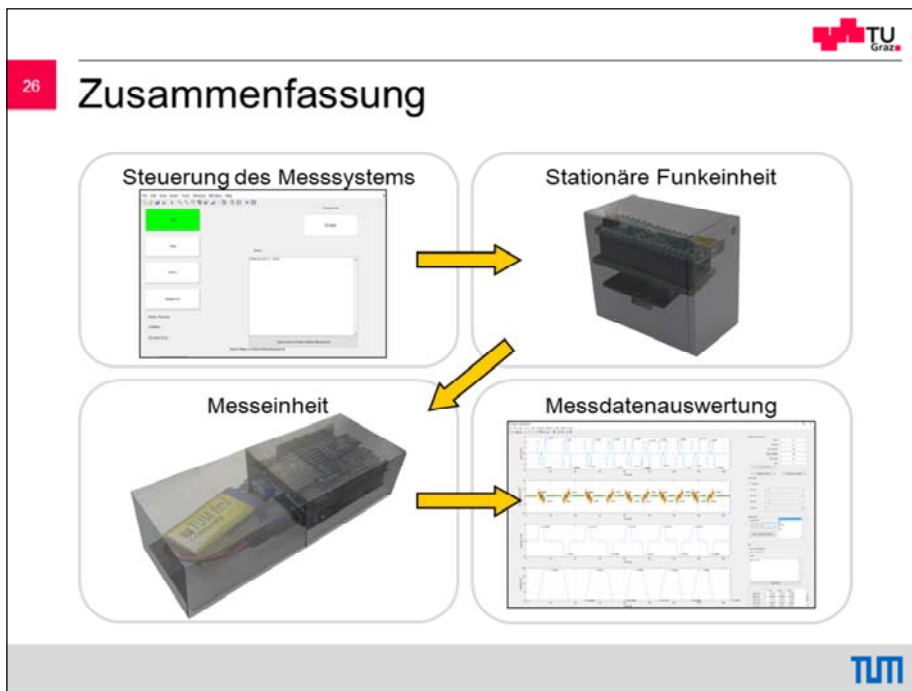
25

TU
Graz

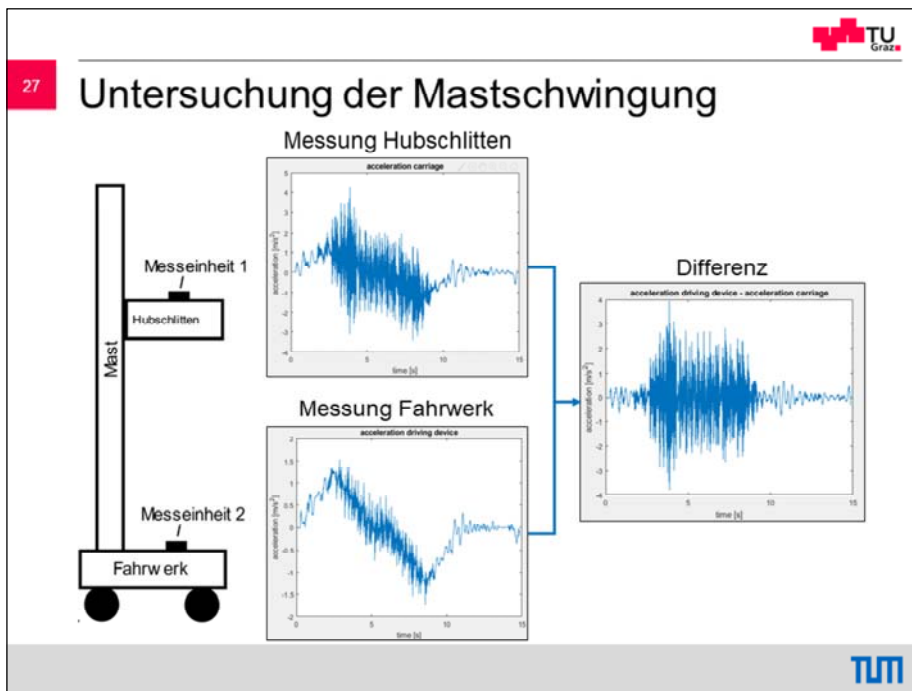
Zusammenfassung und Ausblick

TUM


In diesem Abschnitt werden die erzielten Ergebnisse zusammengefasst und ein kurzer Ausblick auf die kommende Forschungsarbeit in diesem Bereich gegeben.




Das Ziel ein mobiles Beschleunigungsmesssystem für RBG auf Basis eines Arduino Mikrocontrollerboard zu entwickeln wurde erreicht. Dieses lässt sich leicht auf verschiedenen RBG montieren und über eine Funkverbindung steuern. Die Daten können mit einer MATLAB GUI schnell ausgewertet werden. Vor allem die geringe mittlere Abweichung der gemessenen Position von unter ein Prozent ist ein gutes Indiz für die Genauigkeit des Messverfahrens. Das Messsystem wurde im Rahmen des Forschungsprojekts zur Messung der kinematischen Parametern an drei verschiedenen RBG verwendet. Damit konnten die teilweise unbekanntem kinematischen Daten der Geräte ermittelt werden.



Das entwickelte Messsystem wurde entsprechend weiterentwickelt und kommt nun in der Untersuchung von Schwingungen am RBG zum Einsatz. Aktuell befasst sich Lukas Karzel in seiner Semesterarbeit mit der Untersuchung von Mastschwingungen an RBG. Dazu wird ein modifiziertes System mit zwei Messeinheiten verwendet. Damit lassen sich simultan die Beschleunigungsdaten von Fahrwerk und Mast aufnehmen. Mit Hilfe einer Differenzbildung kann die resultierende Mastschwingung bestimmt werden. Damit soll der Zusammenhang zwischen Mastschwingung und Energiebedarf eines RBG näher untersucht werden.

28

Zeit für Ihre Fragen





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Lukas Karzel, B.Sc.
lukas.karzel@tum.de

Andreas Rücker, M.Sc.
andreas.ruecker@tum.de

fml - Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik
Technische Universität München



Literaturverzeichnis

- [Fot-2019] Fottner, J.; Rücker, A.: Entwicklung einer Bewertungsmethodik für die Energieeffizienz von Regalbediengeräten. Technische Universität München, 2019.
- [Kar-2017] Karzel, L.: Entwicklung eines Systems zur Beschleunigungsmessung an Regalbediengeräten auf Arduino Basis. Bachelorarbeit. Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, München, 2017.