

Universität der Bundeswehr München



# Drahtloses Sensorennetzwerk

Bellgardt, Grote, Menzel, Nerb, Ulit

Prüfer: Prof.Dr.-Ing Thomas Kuttner

Projektbericht

eingereicht im Februar 2024



# Vorwort

## TODO:

Im Rahmen des Moduls Experimentaltechnik des Studiengangs Computer Aided Engineering wurde dieses Projekt über zwei Trimester hinweg durchgeführt. Ziel des Moduls war das Erlangen von Kenntnissen und Fähigkeiten in der Planung, Auswertung, Dokumentation und Präsentation experimenteller Untersuchungen an technischen Bauteilen zu vermitteln.

Dieser Bericht stellt die Ergebnisse und Erkenntnisse unserer Projektarbeit "Netzwerk aus Sensoren" da. Neben der Beschreibung des jeweiligen Versuchsaufbaus und der eingesetzten Messtechnik werden die Vorgehensweise, die gewonnenen Messdaten sowie deren Auswertung erläutert. Abschließend werden die Resultate kritisch vorgestellt, auf Probleme eingegangen sowie Optimierungspotenziale aufgezeigt.

Wir danken allen Beteiligten für die Unterstützung und Anregungen während dieses Projekts, insbesondere Frau Ghosh, Herrn Professor Kuttner und Herrn Krammer.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Listingverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>1 Einführung in den Versuch</b>	<b>1</b>
1.1 Einleitung <i>Menzel</i>	1
1.2 Zielsetzung <i>Menzel</i>	1
1.3 Aufgabenverteilung <i>Menzel</i>	2
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1 Drahtlose Sensornetzwerke und der V-Link 200 <i>Menzel</i>	4
2.2 Dehnungsmessstreifen und Messprinzipien <i>Bellgardt</i>	5
2.3 Viertel, Halb und Vollbrückenschaltungen für DMS <i>Bellgardt</i>	6
2.3.1 Viertelbrückenschaltung	6
2.3.2 Halbbrückenschaltung	6
2.3.3 Vollbrückenschaltung	6
2.4 Mechanische Belastungen <i>Bellgardt, Menzel</i>	7
2.4.1 Biegung: Verformung durch einwirkende Kräfte	7
2.4.2 Torsion: Drehmomente und Schubspannungen	8
2.4.3 Zug- und Druck	8
2.5 Biegebalken <i>Menzel</i>	9
2.5.1 Aufbau des Biegebalkens	9
2.5.2 Wahl des Messverfahrens	9
2.5.3 Berechnung der Sensitivity	9
<b>3 Systemaufbau und Umsetzung</b>	<b>13</b>
3.1 Technikstand Fahrrad <i>Bellgardt, Menzel</i>	13
3.2 Wahl der Komponenten <i>Nerb, Ulit</i>	14
3.3 Einbau des VLink 200 in ein spritzwassergeschütztes Gehäuse <i>Nerb, Ulit</i>	14
3.4 Entwurf der Schaltung und Platine	14
3.4.1 Umschalter für Halb und Vollbrücke <i>Nerb, Ulit</i>	14
3.4.2 Vollbrückenschaltung für zwei DMS <i>Nerb, Ulit</i>	14
3.4.3 Platinendesign Fahrrad <i>Bellgardt, Menzel</i>	15
3.4.4 Platinendesign Suit <i>Nerb, Ulit</i>	19
3.5 Herstellung der Acrylplatte für die Gehäuseintegration <i>Nerb, Ulit</i>	19
3.6 Montage und Verbindung der DMS <i>Nerb, Ulit</i>	19
<b>4 Durchführung der Messungen</b>	<b>20</b>
4.1 Vorbereitung und Kalibrierung	20
4.1.1 Funktionsüberprüfung (Lötstellen und Testboard) <i>Bellgardt, Menzel</i>	20
4.1.2 Externe Shunt Kalibrierung (graues Gerät und Rechnung) (UN)	20

4.2	Messungen am Fahrradlenker (MB) . . . . .	20
4.2.1	Aufbau Testvorrichtung . . . . .	20
4.2.2	Durchführung Messung (Kraft, Konzept, Vertikal/Horizontal) . . . . .	20
4.3	Messungen am Flying Suit (Fluggestell) . . . . .	20
4.3.1	Aufbau Testvorrichtung . . . . .	20
4.3.2	Durchführung Messungen (3 Tests statisch/dynamisch) . . . . .	20
4.4	Datenaufnahme und erste Analyse (Screenshots und Messung über Zeit) . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Datenauswertung und Ergebnisse . . . . .</b>	<b>21</b>
5.1	Vergleich der Messergebnisse (Vorne, hinten, links, rechts und Vergleich mit Rechnung) . . . . .	21
5.2	Fehleranalyse und Herausforderungen . . . . .	21
5.2.1	Fahrrad . . . . .	21
5.2.2	Flying Suit (Vereinfachung Gestell, Sandsäcke zu leicht, Winkel von Bodenanker, Fehlende Parameter) . . . . .	21
5.3	Bewertung der Messergebnisse (optional) . . . . .	21
<b>6</b>	<b>Software und Datenverarbeitung . . . . .</b>	<b>22</b>
6.1	Auslesen der Messwerte . . . . .	22
6.2	Schnittstellen und Datenprotokoll . . . . .	22
6.3	Darstellung und Visualisierung der Messwerte . . . . .	22
<b>7</b>	<b>Fazit . . . . .</b>	<b>23</b>
7.1	Erkenntnisse . . . . .	23
7.2	Schwierigkeiten und Lösungsansätze . . . . .	23
7.2.1	Limitierung durch Gateway . . . . .	23
7.2.2	gelieferte Konfiguration des VLINK200 . . . . .	23
7.3	Optimierungsmöglichkeiten . . . . .	23
7.4	Fazit und Ausblick . . . . .	23
<b>A</b>	<b>Anhang . . . . .</b>	<b>24</b>
A.1	Anhang 1 . . . . .	24
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>25</b>



# Listingverzeichnis





# 1 | Einführung in den Versuch

TODO:

## 1.1 Einleitung *Menzel*

Die Im Rahmen dieses Projekts zu behandelnde Aufgabe ist der Aufbau eines Netzwerks aus Sensoren. Während des HT2024 und des WT2025 hat sich unsere Gruppe mindestens einmal wöchentlich getroffen. Das Projekt umfasste sowohl die Planung, als auch die Durchführung und Auswertung von Messaufbauten und Versuchen. Als Grundlage diente ein bereits bestehender Versuchsaufbau an einem Fahrrad, siehe ???. Da im Laufe des Projekts in verschiedenen Entwicklungsteams gearbeitet wurde und jede Gruppe eigenständig an ihren Berichten arbeitete kann es zu Doppelungen im Bericht kommen.

## 1.2 Zielsetzung *Menzel*

Ein Ziel des Projekts ist es, den bestehenden Aufbau am Fahrrad weiterzuentwickeln und zu verbessern. Hierbei soll die neu entwickelte Technik angewendet werden und vom alten Aufbau sollen lediglich die bereits am Fahrradlenker angebrachten Dehnungsmessstreifen verwendet werden.

Ein weiteres Ziel ist es, an einem anderen Aufbau Sensoren anzubringen. Dieser andere Aufbau stellt den von LandurisStudio<sup>1</sup> entwickelten Flying Suit dar. LandurisStudio ist ein Münchener Startup Unternehmen welches sich mit innovativen Designlösungen in den Bereichen Innenarchitektur, Kunst und Produktdesign befasst. Besonders zeichnet LandurisStudio die unkonventionelle und künstlerische Herangehensweise aus.

---

<sup>1</sup><https://www.landuris.com/>.

## 1.3 Aufgabenverteilung Menzel

Um dem Umfang des Projekts gerecht zu werden war es nötig sich zunächst über die Aufgaben bewusst zu werden. Hierfür wurden diese in einem Projektstrukturplan zusammengefasst. Dies war zunächst eine Herausforderung, da alle am Projekt beteiligten Studenten im Bachelor Technische Informatik und Kommunikationstechnik studiert hatten, und demnach mit der Herangehensweise eines solchen Aufbaus nicht vertraut waren und sich erst einarbeiten mussten. Im Laufe des Projekts haben sich einzelne Aspekte des Plans verändert beziehungsweise konkretisiert, dennoch diente der ursprüngliche Entwurf des Plans als grobe Orientierung stets einen Überblick zu haben.

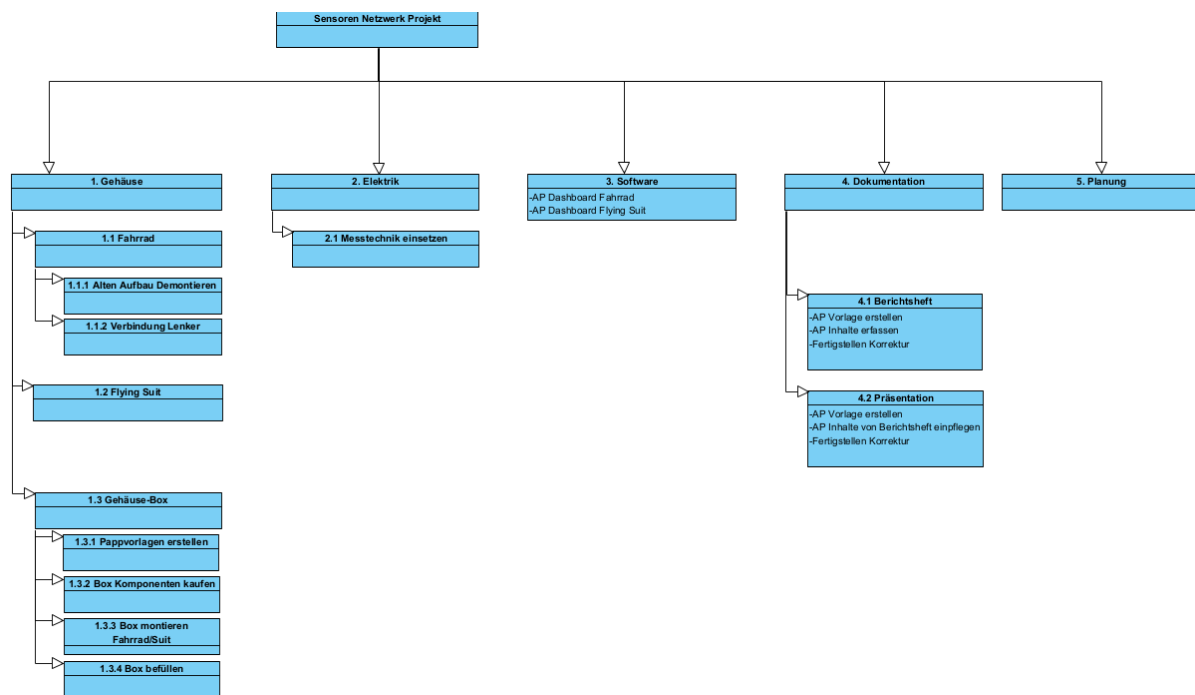


Abbildung 1.1: Aufgaben

Aufgrund der Gruppenstärke von fünf Studenten erschien es sinnvoll zunächst eine Aufgabenverteilung und Aufteilung in Teams durchzuführen. Nachdem sich jeder mit der Aufgabenstellung und den notwendigen theoretischen Grundlagen vertraut gemacht hatte geschah die Aufteilung in die Teams Fahrrad (Bellgardt, Menzel) und Flying Suit (Grote, Nerb, Ulit). Zu einem späteren Zeitpunkt hat sich vom Team Flying Suit das Team Software (Grote) abgespalten, siehe Abbildung 1.2.

Diese Aufteilungen waren sinnvoll, um dem großen Umfang des Projekts gerecht werden zu können. Hierbei hat das Team Fahrrad in den Laboren von Professor Kuttner gearbeitet während das Team Flying Suit einen Großteil ihrer Arbeiten, insbesondere die der Messungen bei Herrn Landuris in dessen Räumlichkeiten durchgeführt haben.

Um erarbeitete Konzepte, Lösungen u.ä. zwischen und innerhalb der Teams nutzen zu können

wurde während des Projekts auf TeamDrive zugegriffen um Dateien zugänglich zu machen. Zur Präsentation des Projekts im Hörsaalrahmen wurde eine geteilte Powerpoint verwendet. Dieser Bericht wurde in Latex erstellt.



Abbildung 1.2: Aufgabenverteilung Entwicklungsteams

## 2 | Theoretische Grundlagen

### 2.1 Drahtlose Sensornetzwerke und der V-Link 200 *Menzel*

Dies soll durch die Verwendung des VLINK200 Nodes der Hersteller LORD/HBK stattfinden. Dieses Unternehmen bietet Lösungen für drahtlose Sensornetzwerke an. Diese werden in der Industrie und dem Internet of Things, sowie auch in der Forschung und im Maschinen und Anlagenbau verwendet. Dort wird sie vor allem im Bereich der predictive Maintenance eingesetzt. Der Node verfügt über 8 Eingänge, 4  $\pm 156\text{mV}$  Differenzeingänge und 4  $\pm 156\text{mV}$  Single-Ended Eingänge. Er gewährleistet eine verlustfreie Datenübertragung sowie auch die Speicherung von Messdaten. Man kann den Node über interne, austauschbare Batterien und externe Akkus betreiben.

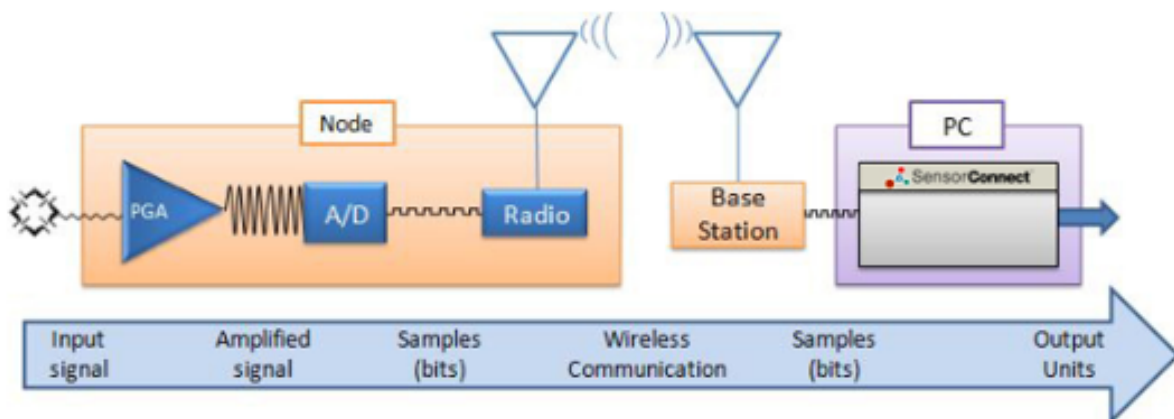


Abbildung 2.1: LORD drahtlose Übertragung [1]

Abbildung 2.1 zeigt die Funktionsweise der drahtlosen Datenübertragung. Ein an das Node angeschlossener Sensor wird innerhalb des Nodes verstärkt und digitalisiert. Anschließend werden die Messdaten vom Node drahtlos an eine Base Station gesendet, welche mit einem Laptop verbunden ist. Dort kann durch die Software SensorConnect auf den Node zugegriffen werden und dessen Daten visualisiert oder weiter verarbeitet werden.

Abbildung 2.2 zeigt einen Teil der Produktpalette. Als Gateway wurde von uns der dort gezeigte USB Stick genutzt. Insgesamt wurden uns zwei VLINK 200 Node, und ein USB Stick zur Verfügung gestellt, was in der späten Projektphase teilweise zu Problemen führte, siehe 7.2 Schwierigkeiten und Lösungsansätze.



Abbildung 2.2: LORD Produkte [1]

## 2.2 Dehnungsmessstreifen und Messprinzipien Bellgardt

Dehnungsmessstreifen (DMS) sind sensorische Elemente, die zur Messung von mechanischen Dehnungen in Bauteilen eingesetzt werden. Das Wirkprinzip beruht auf der Änderung des elektrischen Widerstands eines metallischen oder halbleitenden Messgitters, wenn es durch eine mechanische Belastung gedehnt oder gestaucht wird. Diese Widerstandsänderung ist direkt proportional zur mechanischen Dehnung des Materials, auf das der DMS aufgeklebt ist. Das Messprinzip basiert auf dem Zusammenhang zwischen der mechanischen Dehnung und der Widerstandsänderung des DMS. Wird das Trägermaterial belastet, verändert sich seine Geometrie, wodurch sich auch die Länge und der Querschnitt des Messgitters ändern. Dies beschreibt die Gleichung des elektrischen Widerstands:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A},$$

mit  $\rho$  als spezifischem Widerstand,  $l$  als Länge und  $A$  als Querschnitt ergibt sich, dass eine Längenzunahme bei gleichzeitiger Verringerung des Querschnitts zu einer Erhöhung des Widerstands führt. Um diese Widerstandsänderung messbar zu machen, wird häufig eine Wheatstone-Brücke verwendet, die Spannungsänderungen proportional zur Dehnung des Materials erfasst. DMS finden breite Anwendung in der experimentellen Spannungsanalyse, der Kraftmessung und der Strukturüberwachung in verschiedenen Ingenieurbereichen. Durch ihre hohe Empfindlichkeit und Präzision sind sie essenzielle Sensoren zur mechanischen Zustandsüberwachung von Bauteilen und Maschinen.

### 2.3 Viertel, Halb und Vollbrückenschaltungen für DMS *Bellgardt*

Zur präzisen Messung mechanischer Dehnungen werden Dehnungsmessstreifen häufig in Form einer Wheatstone-Brücke verschaltet. Dabei gibt es drei Hauptkonfigurationen: die Viertelbrücke, die Halbbrücke und die Vollbrücke, die sich in ihrer Empfindlichkeit, Temperaturkompensation und Messgenauigkeit unterscheiden.

#### 2.3.1 Viertelbrückenschaltung

Die einfachste Form ist die Viertelbrückenschaltung (siehe Abbildung 2.3 links), bei der nur ein einzelner DMS als aktiver Widerstand in die Brückenschaltung integriert wird, während die anderen drei Widerstände passive Referenzwiderstände sind. Die Widerstandsänderung des DMS führt zu einer Veränderung der Brückenspannung, die als Messsignal ausgewertet wird. Da nur ein DMS aktiv zur Messung beiträgt, ist die Empfindlichkeit dieser Schaltung vergleichsweise gering. Zudem sind Temperaturkompensation und Störunterdrückung begrenzt, da äußere Einflüsse nicht ausreichend ausgeglichen werden. Die Viertelbrücke wird häufig in einfachen Spannungsmessungen eingesetzt, wenn nur geringe Genauigkeitsanforderungen bestehen.

#### 2.3.2 Halbbrückenschaltung

Eine präzisere Alternative stellt die Halbbrückenschaltung (siehe Abbildung 2.3 mittig) dar, bei der zwei DMS in die Brückenschaltung eingebaut sind. Diese werden oft so angeordnet, dass einer gedehnt und der andere gestaucht wird, wodurch sich ihre Widerstandsänderungen addieren und das Ausgangssignal verstärken. Dadurch erhöht sich die Messgenauigkeit im Vergleich zur Viertelbrücke. Gleichzeitig verbessert sich die Temperaturkompensation, da beide DMS denselben Umgebungseinflüssen ausgesetzt sind und sich temperaturbedingte Widerstandsänderungen teilweise gegenseitig aufheben. In diesem Projekt wurde hauptsächlich die Halbbrückenschaltung verwendet.

#### 2.3.3 Vollbrückenschaltung

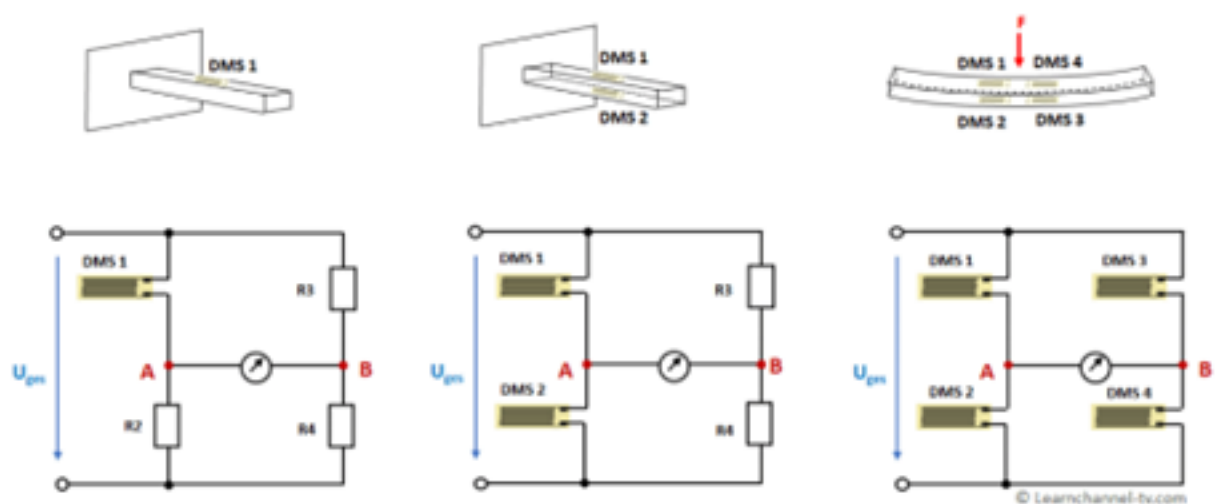
Die höchste Präzision und Empfindlichkeit bietet die Vollbrückenschaltung (siehe Abbildung 2.3 rechts), bei der vier aktive DMS in die Wheatstone-Brücke integriert sind. Dabei befinden sich zwei DMS in einem gedehnten und zwei in einem gestauchten Zustand, wodurch sich ihre Widerstandsänderungen vollständig addieren und ein maximales Ausgangssignal erzeugt wird. Die Vollbrücke bietet nicht nur die beste Messgenauigkeit, sondern auch eine optimale Temperaturkompensation, da sich externe Temperatureinflüsse auf alle vier DMS gleichmäßig auswirken und somit weitgehend eliminiert werden. Ein Vergleich dieser Brückenkonfigurationen findet sich zusammengefasst in Tabelle 2.1

---

<sup>1</sup><https://learnchannel-tv.com/wp-content/uploads/2020/12/Wheatstone-DMS-Messbruecke-Viertel-Halb-Vollbru>

Schaltung	Anzahl aktiver DMS	Empfindlichkeit	Anwendung
Viertelbrücke	1	Gering	Einfache Dehnungsmessung
Halbbrücke	2	Mittel	Biegung, Torsion, Kraftmessung
Vollbrücke	4	Hoch	Hochpräzise Messung, industrielle Sensorik

Tabelle 2.1: Vergleich verschiedener DMS-Schaltungen

Abbildung 2.3: DMS in Viertel Halb und Vollbrückenkonfiguration<sup>1</sup>

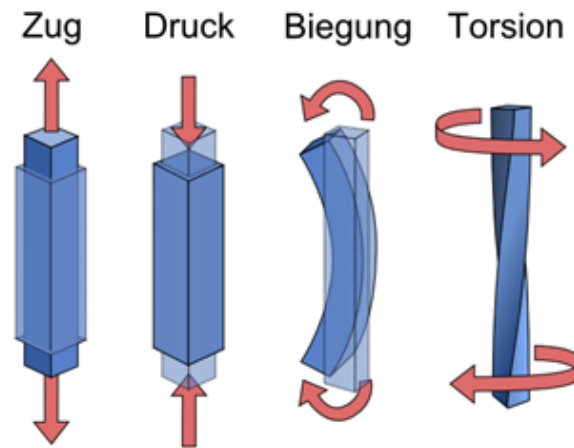
## 2.4 Mechanische Belastungen Bellgardt, Menzel

Mechanische Belastungen entstehen, wenn äußere Kräfte oder Momente auf ein Bauteil einwirken und Spannungen sowie Verformungen im Material verursachen. Je nach Art der Beanspruchung unterscheidet man verschiedene Belastungsformen, die jeweils charakteristische Spannungs- und Dehnungszustände hervorrufen. Besonders relevant für die Dehnungsmessung sind Biegung, Torsion und axiale Kraftbeanspruchung, da sie mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen (DMS) präzise erfasst werden können.

### 2.4.1 Biegung: Verformung durch einwirkende Kräfte

Bei einer Biegebelastung wird ein Bauteil durch äußere Kräfte oder Momente gekrümmt. Dies führt zu einer Biegespannung, die entlang des Querschnitts eine typische Spannungsverteilung

<sup>1</sup><https://www.maschinenbau-wissen.de/bilder/skripte/mechanik/belastungsarten-03.PNG>.



**Abbildung 2.4:** Verschiedene Krafteinwirkungen<sup>2</sup>

erzeugt: Auf der einen Seite des Bauteils tritt eine Dehnung (Zugspannung) auf, während die gegenüberliegende Seite gestaucht wird (Druckspannung). Dazwischen liegt die neutrale Faser, eine Linie oder Fläche ohne Längenänderung. Zur Messung von Biegespannungen werden DMS typischerweise auf der Ober- und Unterseite des Bauteils angebracht. Eine Halbbrücken- oder Vollbrückenschaltung ist besonders vorteilhaft, da sie die Widerstandsänderungen der DMS kombiniert und sowohl die Empfindlichkeit als auch die Temperaturkompensation verbessert. Einsatzgebiete sind etwa: Bauwerksüberwachung, Maschinenbau und die Belastungsprüfung von Bauteilen.

### 2.4.2 Torsion: Drehmomente und Schubspannungen

Torsion tritt auf, wenn ein Bauteil um seine Längsachse verdreht wird, beispielsweise bei Antriebswellen oder Schraubverbindungen. Dabei entstehen Schubspannungen, die unter einem  $\pm 45^\circ$ -Winkel zur Achse verlaufen. Zur Messung von Torsionsbeanspruchungen werden DMS in einer schrägen Anordnung (meist in  $\pm 45^\circ$ -Orientierung) angebracht, sodass sie die maximalen Schubspannungen erfassen. Eine Halbbrücke mit zwei DMS oder eine Vollbrücke mit vier DMS ermöglicht eine genaue Bestimmung des aufgetragenen Drehmoments. Eine Messung der Torsion wird oft für die Überwachung von rotierenden Maschinen, Fahrzeugantrieben und industriellen Wellen genutzt.

### 2.4.3 Zug- und Druck

TODO:



## 2.5 Biegebalken *Menzel*

Die Entwicklung einer neuen Messtechnik für das Fahrrad und den Flying Suit stellt eine komplexe Aufgabe da. Dies beinhaltet die Planung und Bestellung nötiger Materialien und die Anbringung dieser am jeweiligen Aufbau. Um sicherzustellen, dass die zu entwickelnde technische Umsetzung möglich ist, wurde das Zusammenspiel von Node und Dehnungsmessstreifen zunächst am einfacheren Aufbau eines Biegebalkens getestet.

### 2.5.1 Aufbau des Biegebalkens

Auf der Ober- und Unterseite des Biegebalkens sind Dehnungsmessstreifen angebracht um die beim aufbringen eines Gewichts entstehende Dehnung messen zu können. Dies wurde mit verschiedenen Gewichten und in verschiedenen Einheiten durchgeführt.

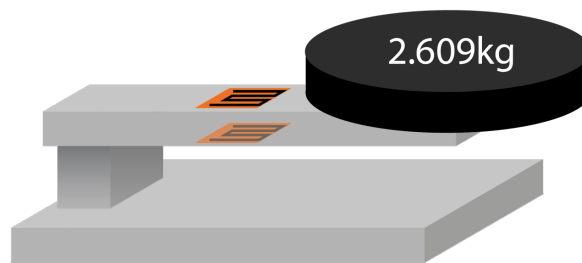


Abbildung 2.5: Biegebalken Schema

### 2.5.2 Wahl des Messverfahrens

Um Messungen durchführen zu können bieten sich verschiedene Verfahren an. Die in der Software SensorConnect verfügbaren und für uns relevanten Verfahren sind die Shunt-, Field-, und Sensitivity(geometriebasierte)-kalibrierung. Die Beschreibung sowie die Vor- und Nachteile dieser Verfahren sind in 2.2 Messverfahren dargestellt. Um die theoretische Grundlage für den Aufbau des Fahrrads und des Flying Suits zu schaffen wurde sich beim Biegebalken für die Wahl des mV/V Messverfahrens entschieden.

### 2.5.3 Berechnung der Sensitivity

Um eine Messung am Biegebalken durchführen zu können wurde zunächst die Sensitivity mathematisch berechnet. Sie basiert auf der Geometrie des Biegebalkens, sowie des zu erwartendem

Verfahren	Beschreibung	Vorteil	Nachteil
Shunt Kalibrierung	Interner (Shunt) Widerstand wird zur DMS-Brücke geschaltet. Es wird eine definierte Dehnung simuliert, um die Messkette zu überprüfen.	schnell, einfach	Simuliert keine echte mech. Belastung, nur elektrische Effekte
Field Kalibrierung	Messung von realer mech. Belastung mit Referenzlast	Wenn Last bekannt ist, kann man sehr genau messen.	Definierte Belastung der Struktur notwendig
Geometriebasierte Kalibrierung (mV/V)	Berechnung für Software basierend auf Materialparametern und Geometrie	Ermöglicht eine Abschätzung und Vergleich zwischen erwarteten und gemessenen Werten	Abweichungen bei ungenauen Materialparametern möglich

**Tabelle 2.2:** Messverfahren

maximalen Gewicht und wird als Parameter in SensorConnect eingegeben. Sie stellt den gemessenen Wert in mV/V bei Maximalbelastung dar. Aufgrund der einfachen Geometrie des Biegebalkens ist dies ein wichtiger Schritt, bevor diese für die komplexere Geometrie des Fahrradlenkers oder des Gestells des Flying Suits berechnet wird.

In der folgenden Berechnung wird für den Parameter  $n$  der Wert 2 verwendet, da es sich um die Anzahl der angebrachten DMS und die daraus resultierende Brückenkonfiguration handelt. Der Parameter  $k$  ist durch die verwendeten DMS gegeben. Als maximale Last dient eine Hantelscheibe mit einem Gewicht von 2.609kg.

Maße des Biegebalkens:

$$l = 117 \text{ mm}, \quad b = 19.8 \text{ mm}, \quad h = 2.94 \text{ mm}$$

Maximale Last:

$$M = 2.609 \text{ kg}$$

### Berechnung des Widerstandsmoments

$$W_x = \frac{bh^2}{6}$$

Einsetzen der Werte:

$$W_x = \frac{19.8 \times 2.94^2}{6} = 28.52 \text{ mm}^3$$

### Berechnung des Biegemoments

$$M_b = F \times l$$

$$M_b = 2.609 \times 9.81 \times 117 \text{ mm} = 2994.53 \text{ Nmm}$$

### Berechnung der Spannung

$$\sigma = \frac{M_b}{W_x}$$

$$\sigma = \frac{2994.53}{28.52} = 104.99 \text{ N/mm}^2$$

### Berechnung der Dehnung

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Mit  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ :

$$\varepsilon = \frac{104.99}{210000} = 0.499 \times 10^{-3}$$

### Berechnung der Brückenausgabe

$$\frac{U_M}{U_B} = \frac{n}{4} \times k \times \varepsilon$$

Mit  $n = 2$ ,  $k = 2.01$ :

$$\frac{U_M}{U_B} = \frac{2}{4} \times 2.01 \times 0.499 \times 10^{-3}$$

$$\frac{U_M}{U_B} = 0.000502 \text{ V/V} = 0.5 \text{ mV/V}$$

Mit der berechneten Sensitivity wurden mehrere Messungen durchgeführt. Die erste Messung wurde mit einem Gewicht von 2.609kg durchgeführt und in MPa gemessen, siehe 2.3 Messung 1 mit Maximalgewicht, [MPa].

Gegeben	Gemessen	Abweichung
105MPa (2.609kg)	120MPa (2.8kg)	+14%

**Tabelle 2.3:** Messung 1 mit Maximalgewicht, [MPa]

## 2 Theoretische Grundlagen

Die zweite Messung wurde mit verschiedenen Gewichten getestet und in N gemessen, siehe 2.4 Messung 2, [N].

Gegeben	Gemessen	Abweichung
0N (0kg)	0.2N (0.02kg)	-
3.9N (0.4kg)	4.6N (0.46kg)	+17.9%
24.5N (2.609kg)	27.6N (2.81kg)	+12.6%

**Tabelle 2.4:** Messung 2, [N]

## 3 | Systemaufbau und Umsetzung

### 3.1 Technikstand Fahrrad *Bellgardt, Menzel*

Der Fahrradaufbau dient zur Erfassung von Kräften am Fahrradlenker, indem mechanische Größen in elektrische Signale umgewandelt werden. Dazu werden Dehnungsmessstreifen (DMS) verwendet, die auf relevante Bauteile aufgeklebt werden, um dort auftretende Verformungen zu erfassen. In einer Messbox befindet sich die Messtechnik. Diese zeichnet über die Zeit dann die Belastung auf. Insgesamt befinden sich an dem Lenker 8 DMS. Auf jeder Lenkerseite gibt es jeweils zwei DMS welche als Halbbrücke geschaltet, die Kräfte in horizontaler oder vertikaler Richtung messen. Abbildungen 3.1 und 3.2 zeigen den alten Aufbau des Fahrrads. Um den alten Versuchsaufbau bei Bedarf wieder herstellen zu können musste dieser genau dokumentiert werden. Dies geschah durch das Beschriften der in der Lenkerbox befindlichen Kabel, siehe **TODO: Anhang**

An dem bisherigen Aufbau wurden folgende Optimierungsmöglichkeiten erkannt:

- Bisheriger Aufbau am Fahrrad kabelgebunden (USB-Kabel zu PC)
- Keine Zugentlastung an der Lenkerbox
- Nicht spritzwassergeschützt
- Zwischenplatine benötigt
- Kontaktierung durch Verschraubung

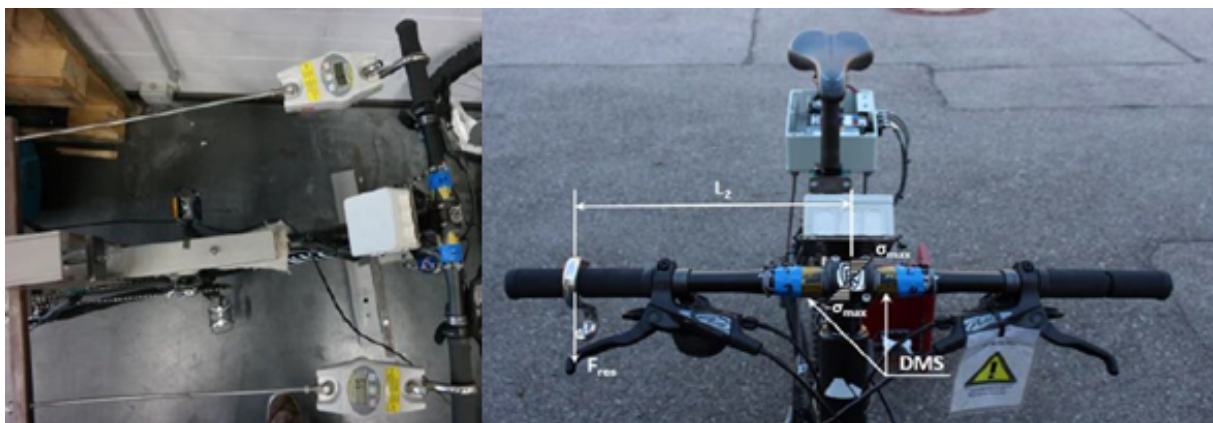


Abbildung 3.1: Alter Aufbau des Fahrrads, Lenker<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rechter Teil des Bildes: Praktikum Schwingbruchgefaehrdete Bauteile sicher dimensionieren und betreiben .



Abbildung 3.2: Alter Aufbau des Fahrrads, Messbox

### 3.2 Wahl der Komponenten *Nerb, Ulit*

### 3.3 Einbau des VLink 200 in ein spritzwassergeschütztes Gehäuse *Nerb, Ulit*

### 3.4 Entwurf der Schaltung und Platine

#### 3.4.1 Umschalter für Halb und Vollbrücke *Nerb, Ulit*

#### 3.4.2 Vollbrückenschaltung für zwei DMS *Nerb, Ulit*

### 3.4.3 Platinendesign Fahrrad *Bellgardt, Menzel*

Zu Beginn sind wir davon ausgegangen, dass die DMS direkt mit der neuen Messtechnik verbunden werden können, siehe Abbildung 3.3.

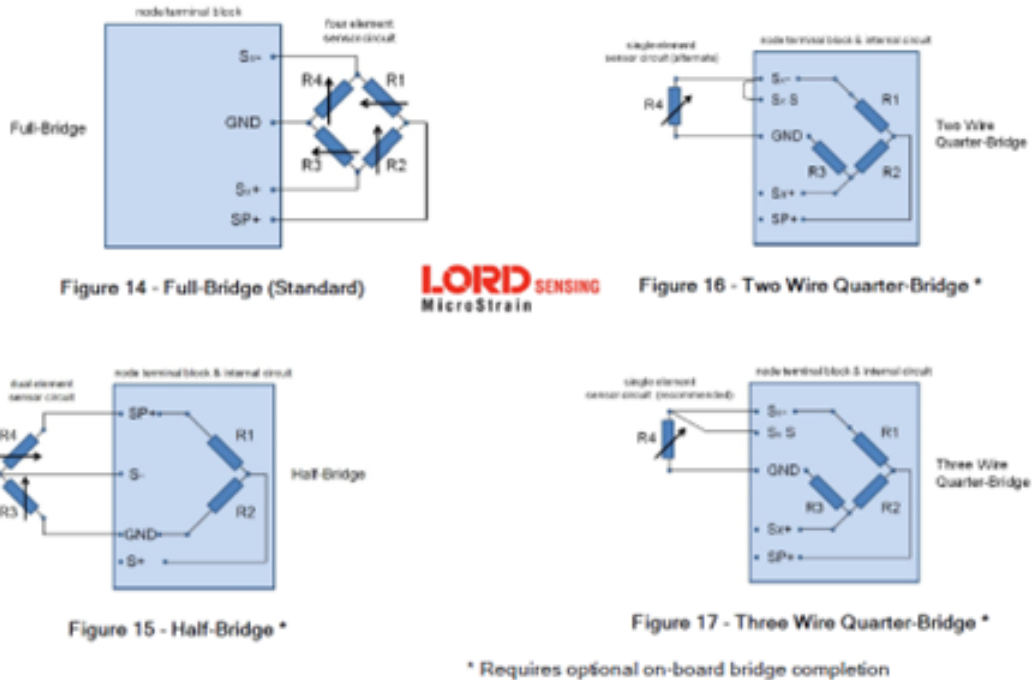


Abbildung 3.3: LORD Konfigurationen der Brücken<sup>2</sup>

Da dies nicht möglich ist, haben wir als Lösung eine Zwischenplatine konstruiert, welche die DMS mit zwei Widerständen zur Halbbrücke ergänzt, siehe Abbildung 3.4.

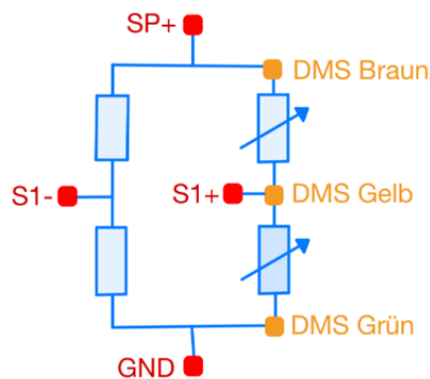


Abbildung 3.4: Schaltplan Protoyp Platine

<sup>2</sup>VLInkManual .

Für die Messtechnik sieht dies nun aus wie eine Vollbrücke. Um uns das Wirkungsprinzip und die Funktionsfähigkeit zu verdeutlichen, wurde die Schaltung für den Biegebalken konstruiert. Der Mittelabgriff des Biegebalkens ist dabei die gelbe Ader. Die Versorgungsspannung von 4,096 V wird durch die Messtechnik vorgegeben und liegt zwischen den Kontakten SP+ und GND an. Der Brückenausgang wird zwischen S1- und S1+ gemessen. Hierüber wird die Belastung der Brücke durch Dehnung der DMS in eine Spannung zwischen S1- und S1+ dargestellt

#### Der erste Prototyp

Basierend auf dem ersten Schaltungsplan wurde dann eine Prototyp-Platine erstellt. Die Platine basiert auf einer Lochplatine. Die verwendeten Widerstände sind 120 Ohm-Metallschichtwiderstände mit einer Abweichung von 1 %. Der Prototyp wurde am Biegebalken getestet.

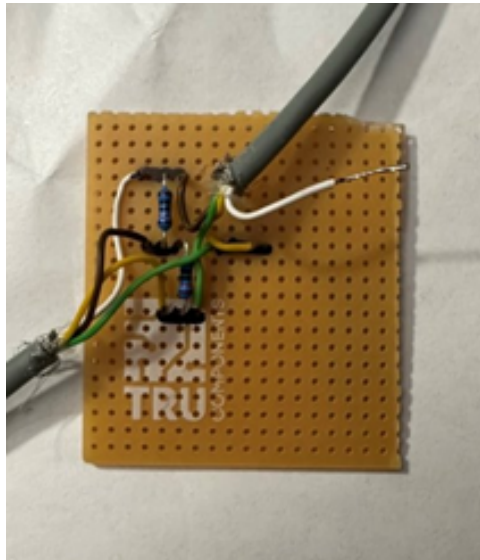


Abbildung 3.5: Prototyp Platine mit der Ergänzung der DMS zur Halbbrücke

#### Platinenplanung der Lenkerbox

**TODO: fabian reihenfolge erklärung kicad sinnvoll** Der Alte Aufbau hat einige Eigenschaften, die durch den neuen Aufbau verbessert wurden. So wurde der alte Aufbau auf einer Lochplatine realisiert. Zudem wurde die Verbindung der Platine mit Schraubklemmen gelöst. Der Aufbau ist nicht spritzwassergeschützt und die verwendeten Leitungen sind nicht geschirmt. Die alte Lenkerbox besitzt zudem keine Zugentlastung der Leitungen der DMS Streifen. Es gibt auch keine Zugentlastung der Leitungen zur Messtechnik.



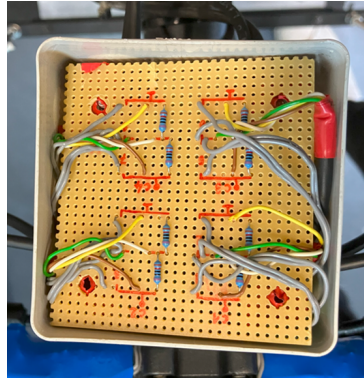


Abbildung 3.6: Alte Platine in der alten Lenkerbox

Viele der angemarkten Punkte konnten verbessert werden. Hierzu wurde zunächst der Schaltplan in der Software KiCad<sup>3</sup> eingepflegt. **TODO:fabian reihenfolge erklaerung kicad sinnvoll**

KiCAD ist ein freies Tool, mit welchem man Platinen planen kann. Nach dem erfolgreichen Test der Prototyp Platine an dem Biegebalken wurde die Schaltung hochskaliert. Der Hauptunterschied im Anschluss der DMS des Biegebalkens und denen des Fahrrads besteht darin, dass der Mittelabgriff am Fahrrad durch die weißen DMS bereitgestellt wird.

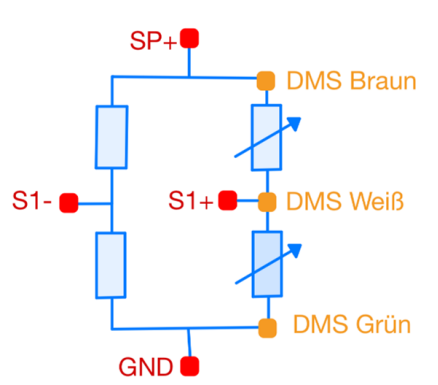


Abbildung 3.7: Schaltungsplan Fahrrad

### Planung der Schaltung mit KiCAD

In der Software KiCAD<sup>4</sup> wurde zunächst ein Schaltplan erstellt, siehe 3.9.

Dieser stellt 4 Halbbrücken dar. Auf der Platine werden pro Halbbrücke je zwei Widerstände angebracht. Die befinden sich in Form ihrer Kontakte auf der Platine. Basierend auf dem Schalt-

<sup>3</sup>[www.kicad.org](http://www.kicad.org).

<sup>4</sup>[www.kicad.org](http://www.kicad.org).

<sup>5</sup>[www.kicad.org](http://www.kicad.org).



Abbildung 3.8: KiCad Software Logo

5

plan (siehe Anhang: )**TODO: Daniel: Verweis zur Schaltplan PDF in Anhang packen** wurde dann die Platine zunächst entsprechend Ihrer Abmessungen für das Gehäuse simuliert (siehe 3.10) und anschließend gedruckt. Die fertige Platine ist in der Abbildung 3.11 zu sehen. Sie besitzt die Maße des Gehäuses. Zudem verfügt die Platine über 4 zusätzliche Bohrungen, um sie besser im Gehäuse befestigen zu können.



Abbildung 3.9: Planung Lenkerplatine

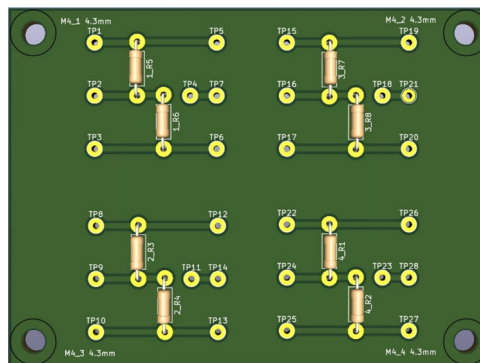


Abbildung 3.10: Simulation der Lenkerplatine

### 3.5 Herstellung der Acrylplatte für die Gehäuseintegration *Nerb, Ulit*

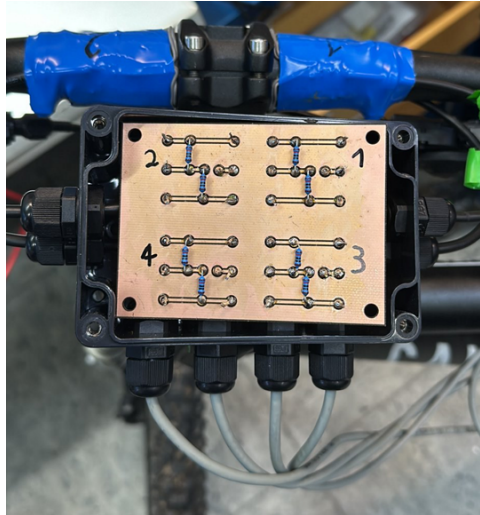


Abbildung 3.11: Fertig installierte Lenkerplatine

#### 3.4.4 Platinendesign Suit *Nerb, Ulit*

### 3.5 Herstellung der Acrylplatte für die Gehäuseintegration *Nerb, Ulit*

### 3.6 Montage und Verbindung der DMS *Nerb, Ulit*

## 4 | Durchführung der Messungen

### 4.1 Vorbereitung und Kalibrierung

#### 4.1.1 Funktionsüberprüfung (Lötstellen und Testboard) *Bellgardt, Menzel*

#### 4.1.2 Externe Shunt Kalibrierung (graues Gerät und Rechnung) (UN)

### 4.2 Messungen am Fahrradlenker (MB)

#### 4.2.1 Aufbau Testvorrichtung

#### 4.2.2 Durchführung Messung (Kraft, Konzept, Vertikal/Horizontal)

### 4.3 Messungen am Flying Suit (Fluggestell)

#### 4.3.1 Aufbau Testvorrichtung

#### 4.3.2 Durchführung Messungen (3 Tests statisch/dynamisch)

### 4.4 Datenaufnahme und erste Analyse (Screenshots und Messung über Zeit)

## 5 | Datenauswertung und Ergebnisse

### 5.1 Vergleich der Messergebnisse (Vorne, hinten, links, rechts und Vergleich mit Rechnung)

### 5.2 Fehleranalyse und Herausforderungen

#### 5.2.1 Fahrrad

#### 5.2.2 Flying Suit (Vereinfachung Gestell, Sandsäcke zu leicht, Winkel von Bodenanker, Fehlende Parameter)

### 5.3 Bewertung der Messergebnisse (optional)

## 6 | Software und Datenverarbeitung

### 6.1 Auslesen der Messwerte

### 6.2 Schnittstellen und Datenprotokoll

### 6.3 Darstellung und Visualisierung der Messwerte

## 7 | Fazit

TODO:

### 7.1 Erkenntnisse

### 7.2 Schwierigkeiten und Lösungsansätze

#### 7.2.1 Limitierung durch Gateway

Da zwar zwei Nodes zur Verfügung standen, jedoch nur ein Gateway in Form eines USB Sticks konnte nur ein Entwicklungsteam gleichzeitig damit arbeiten. Dies war zu Anfang des Projekts nicht problematisch da zunächst der Aufbau der Messboxen ansich geplant wurde. Gegen Ende des Projekts hin führte dies jedoch zu Terminkonflikten was dazu führte, dass die Teams teilweise Sondertermine vereinbaren mussten um Zugriff auf den USB Stick bekommen zu können wenn das andere Team nicht anwesend war.

#### 7.2.2 gelieferte Konfiguration des VLINK200

### 7.3 Optimierungsmöglichkeiten

### 7.4 Fazit und Ausblick

## A | Anhang

### A.1 Anhang 1



# Literaturverzeichnis

## Verweise

- [1] Microstrain, *VLink200 Manual*, Microstrain, Hrsg. <[http://www.microstrain.com/sites/default/files/v-link-200\\_user\\_manual\\_8500-0063.pdf](http://www.microstrain.com/sites/default/files/v-link-200_user_manual_8500-0063.pdf)> (besucht am 23.02.2025).