

Universität der Bundeswehr München



Drahtloses Sensornetzwerk

Bellgardt, Grote, Menzel, Nerb, Ulit

Prüfer: Prof.Dr.-Ing Thomas Kuttner

Projektbericht Experimentaltechnik

eingereicht im Februar 2025

Vorwort

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.

Der Bericht wurde in LaTex erstellt. Da die Einarbeitung in dieses sehr nützliche Tool recht umfangreich ist erschien es nicht zweckmäßig, dass alle Teammitglieder dies tun. Daher wurde die Vorlage des Berichts von Daniel Menzel erstellt, und basierend auf Word Dokumenten der anderen Kameraden inhaltlich befüllt.

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

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung in den Versuch	1
1.1 Einleitung <i>Menzel</i>	1
1.2 Zielsetzung <i>Menzel</i>	1
1.3 Aufgabenverteilung <i>Menzel</i>	2
2 Theoretische Grundlagen	4
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</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
3 Systemaufbau und Umsetzung	13
3.1 Technikstand Fahrrad <i>Bellgardt, Menzel</i>	13
3.2 Wahl der Komponenten <i>Nerb, Ulit</i>	15
3.3 Einbau des VLink 200 in ein spritzwassergeschütztes Gehäuse <i>Nerb, Ulit</i>	15
3.3.1 Montageschritte	16
3.4 Entwurf der Schaltung und Platine	17
3.4.1 Umschalter für Halb- und Vollbrücke (geplant, nicht umgesetzt) <i>Nerb, Ulit</i>	17
3.4.2 Brückenschaltung für zwei DMS <i>Nerb, Ulit</i>	19
3.4.3 Lenkerbox Fahrrad <i>Menzel</i>	21
3.4.4 Platinendesign Fahrrad <i>Bellgardt</i>	22
3.4.5 Platinendesign Suit <i>Nerb, Ulit</i>	27
3.5 Herstellung der Acrylplatte für die Gehäuseintegration <i>Nerb, Ulit</i>	29
3.5.1 Fertigungsprozess der Acrylplatte	30
3.6 Montage und Verbindung der DMS <i>Nerb, Ulit</i>	31
3.6.1 Fertigungsprozess der DMS-Verbindung	31
4 Durchführung der Messungen	33
4.0.1 Reichweitentest <i>Grote</i>	33

4.1	Funktionsüberprüfung (Lötstellen und Testboard Fahrrad) <i>Bellgardt, Menzel</i>	33
4.1.1	Reichweitentest <i>Grote</i>	35
4.2	Messungen am Fahrradlenker <i>Bellgardt, Menzel</i>	35
4.2.1	Aufbau Testvorrichtung	35
4.2.2	Durchführung Messung (Kraft, Vertikal/Horizontal)	36
4.3	Messungen am Flying Suit (Fluggestell) <i>Nerb, Ulit</i>	42
4.3.1	Kurzbeschreibung Flying Suit	42
4.3.2	Vorbereitung	43
4.3.3	Kalkulation/Geometrische Kalibrierung	49
4.4	Durchführung der Tests am Flying Suit <i>Nerb, Ulit</i>	52
4.4.1	Kraftaufnehmer	52
4.4.2	Biegebeanspruchung	54
4.4.3	Torsionsbeanspruchung	55
5	Software und Datenverarbeitung <i>Grote</i>	56
5.1	SensorConnect <i>Grote</i>	56
5.1.1	Installation und Einrichtung	56
5.1.2	Verbindung mit Sensoren	57
5.1.3	Datenaufzeichnung und Live-Datenübertragung	58
5.1.4	Datenanalyse	58
5.1.5	Datenexport	59
5.1.6	Darstellung und Visualisierung der Messwerte	59
5.2	nCode <i>Grote</i>	60
5.2.1	Installation und Einrichtung	60
5.2.2	Import von Daten	61
5.2.3	Einlesen und Verarbeiten der Daten und die anschließende Ausgabe	61
5.2.4	Darstellung und Visualisierung der Messwerte	62
6	Fazit	63
6.1	Erkenntnisse	63
6.2	Schwierigkeiten und Lösungsansätze	63
6.2.1	Limitierung durch Gateway	63
6.2.2	Gelieferte Konfiguration des VLINK200	63
6.3	Ausblick	64
A	Anhang	65
A.1	Anhang 1	65
	Literaturverzeichnis	66

1 | Einführung in den Versuch

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 Kapitel 3.1. 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 LandurisStudio¹ 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.

¹<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 um stets einen Überblick zu haben. Hier wurde bereits bedacht, dass in der Endphase des Projekts auch noch Zeit für die Erstellung der Präsentation und des Berichts genommen werden muss.

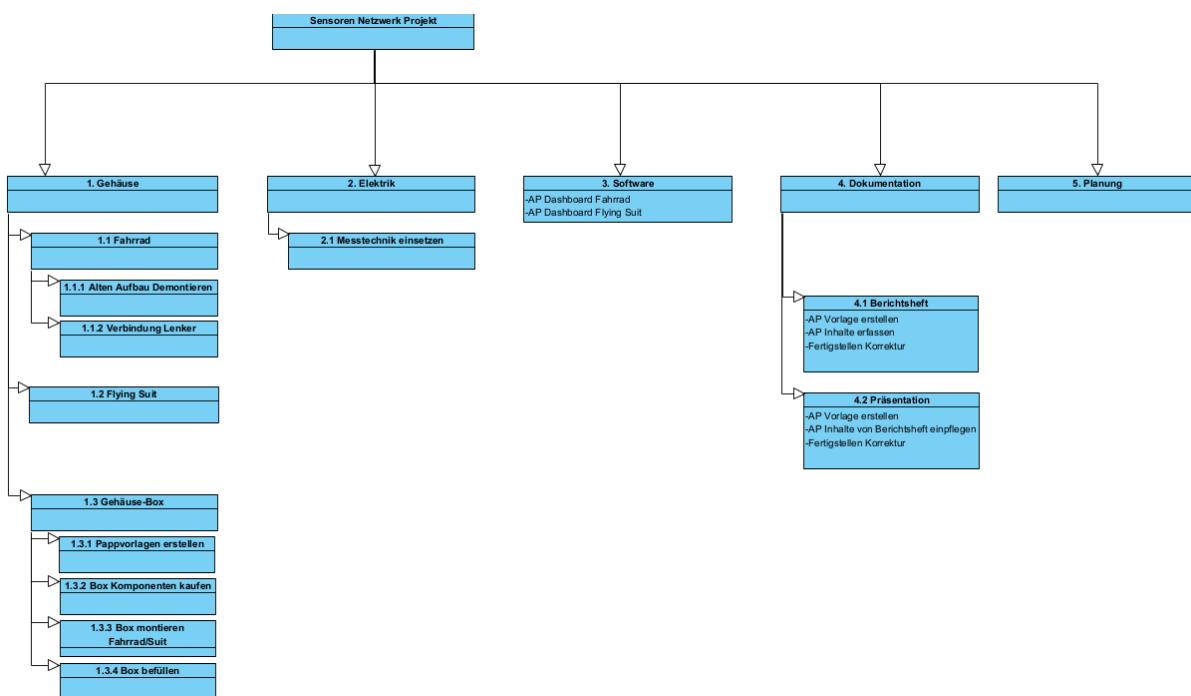


Abbildung 1.1: Aufgaben

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 Teil 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

Die Realisierung des Projekts soll durch die Verwendung des V-Link 200 Nodes des Herstellers LORD/HBK erfolgen. Dieses Unternehmen bietet Lösungen für drahtlose Sensornetzwerke an. Diese werden in der Industrie und im Internet of Things sowie in der Forschung und im Maschinen- und Anlagenbau verwendet. Dort kommen sie vor allem im Bereich der Predictive Maintenance zum Einsatz. Der Node verfügt über acht Eingänge: vier ± 156 mV Differenzeingänge und vier ± 156 mV Single-Ended-Eingänge. Er gewährleistet eine verlustfreie Datenübertragung sowie die Speicherung von Messdaten. Der Node kann sowohl über interne, austauschbare Batterien als auch über externe Akkus betrieben werden.

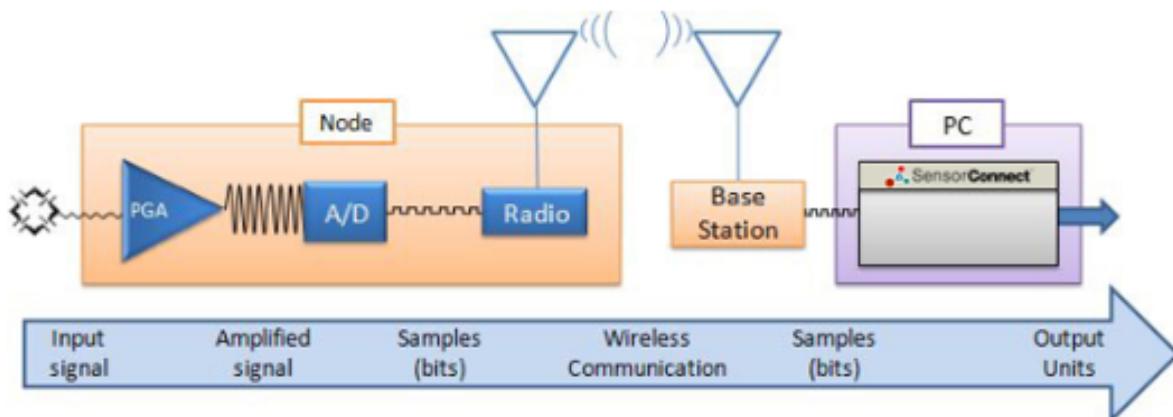


Abbildung 2.1: LORD drahtlose Übertragung [1]

Abbildung 2.1 zeigt die Funktionsweise der drahtlosen Datenübertragung. Ein an den 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 über die Software SensorConnect auf den Node zugegriffen werden und dessen Daten visualisiert oder weiterverarbeitet 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 6.2 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 ρ 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.

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

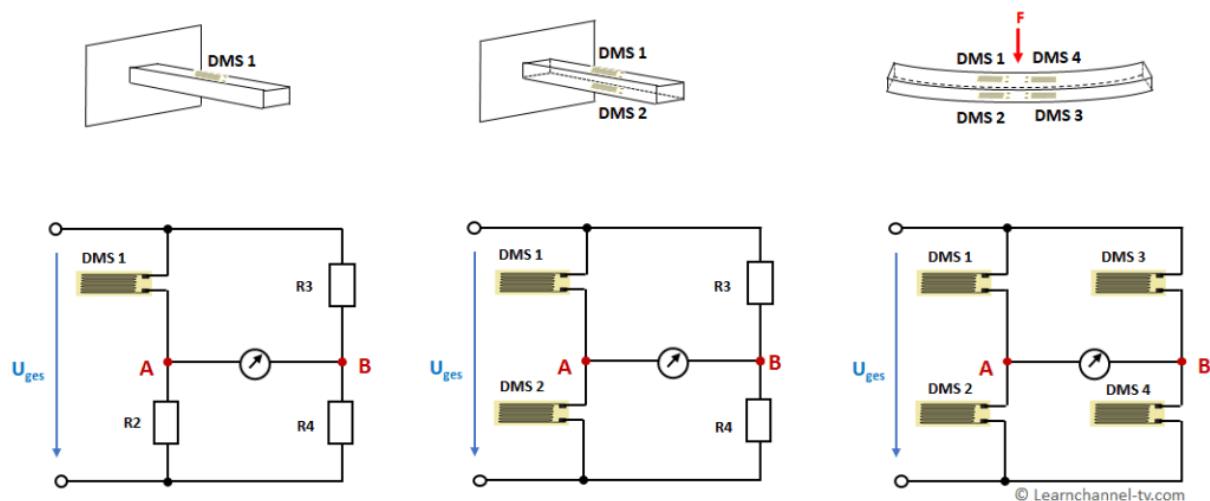


Abbildung 2.3: DMS in Viertel Halb und Vollbrückenkonfiguration [2]

2.4 Mechanische Belastungen Bellgardt

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 gekrümmmt. Dies führt zu einer Biegespannung, die entlang des Querschnitts eine typische Spannungsverteilung

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

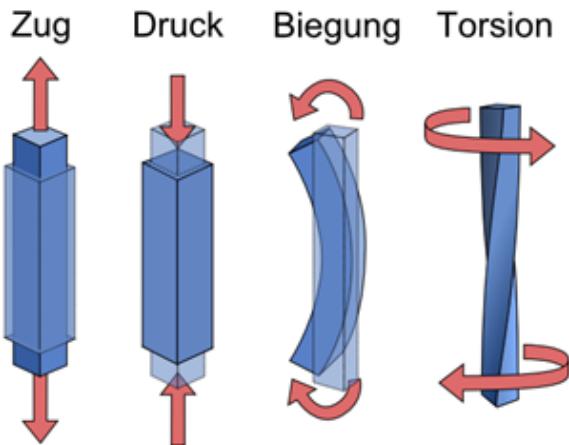


Abbildung 2.4: Verschiedene Krafteinwirkungen¹

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 aufgebrachten Drehmoments. Eine Messung der Torsion wird oft für die Überwachung von rotierenden Maschinen, Fahrzeugantrieben und industriellen Wellen genutzt.

2.4.3 Zug- und Druck

Druck- und Zugkräfte treten auf, wenn äußere Kräfte entlang einer Achse auf ein Bauteil wirken und eine Längenänderung verursachen. Bei einer Zugbelastung wird das Bauteil gedehnt, während es bei einer Druckbelastung gestaucht wird. Diese mechanischen Dehnungen oder Stauchungen erzeugen Spannungen im Material, die mithilfe von Dehnungsmessstreifen (DMS) erfasst werden können. Dies kann mit einem Kraftmesser gemessen werden.

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.

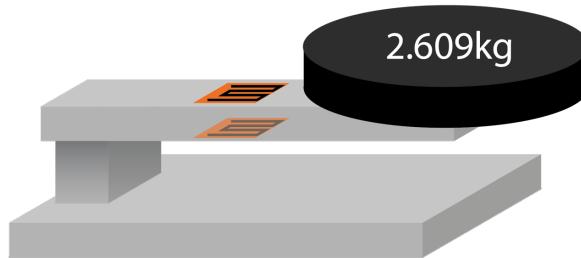


Abbildung 2.5: Biegebalken Schema

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

2 Theoretische Grundlagen

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 geschalten sind und die Kräfte in horizontaler oder vertikaler Richtung messen. Abbildungen 3.2 und 3.3 zeigen den alten Aufbau des Fahrrads. Um den alten Versuchsaufbau bei Bedarf wiederherstellen zu können musste dieser genau dokumentiert werden. Dies geschah durch das Beschriften der in der Lenkerbox befindlichen Kabel, siehe 3.1.

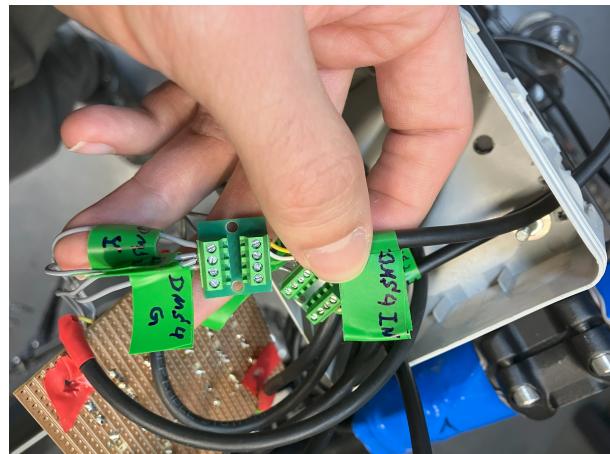


Abbildung 3.1: Dokumentation des alten Aufbaus [2]

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

¹Rechter Teil des Bildes: Praktikum Schwingbruchgefährdete Bauteile sicher dimensionieren und betreiben .

3 Systemaufbau und Umsetzung

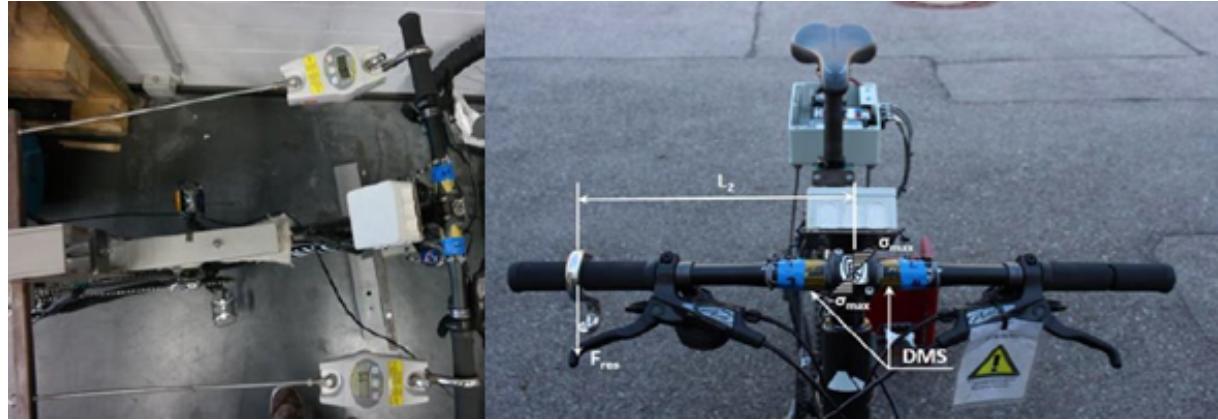


Abbildung 3.2: Alter Aufbau des Fahrrads, Lenker¹



Abbildung 3.3: Alter Aufbau des Fahrrads, Messbox

3.2 Wahl der Komponenten *Nerb, Ulit*

Für die Umsetzung des Messsystems wurden verschiedene Komponenten sorgfältig ausgewählt, um eine zuverlässige und robuste Datenerfassung zu gewährleisten. Dabei wurden insbesondere folgende Kriterien berücksichtigt: Präzision der Messwerte, Widerstandsfähigkeit gegenüber äußeren Einflüssen sowie eine einfache Integration der Bauteile in das Gesamtsystem. Die wichtigsten gewählten Komponenten umfassen:

- **V-Link 200:** Drahtloses Datenerfassungsmodul zur Übertragung der DMS-Signale.
- **Dehnungsmessstreifen (DMS):** Zur Erfassung der mechanischen Verformungen, angepasst an die jeweiligen Messaufgaben (Biegung oder Torsion).
- **Metallschichtwiderstände (120 Ohm):** Hochpräzise Widerstände zur Stabilisierung der Brückenschaltung.
- **Leiterplattenklemmen:** Erleichtern den Austausch und die Anpassung der Verdrahtung.
- **Spritzwassergeschütztes Gehäuse:** Dient zum Schutz der Elektronik gegen Umwelteinflüsse.
- **Acrylplatte zur Befestigung des V-Link 200:** Gewährleistet eine stabile Montage innerhalb des Gehäuses.
- **Steuerleitung (geschirmt, 4-adrig):** Reduziert Störungen und sichert eine zuverlässige Signalübertragung.
- **Stecker und Buchsen (4-Pin und 3-Pin):** Der 4-Pin-Stecker dient zur aktuellen Verdrahtung, während der 3-Pin-Stecker für zukünftige Anwendungen vorgesehen ist.
- **PG-7 Kabelverschraubung:** Dient zur Zugentlastung der Kabel und schützt die Verbindungen vor mechanischer Beanspruchung.
- **KFZ-Zigarettenanzünder-Steckdose mit Schutzkappe:** Ermöglicht einen Durchgriff ins Gehäuse, sodass der Einschaltknopf des V-Link gedrückt werden kann, ohne das Gehäuse zu öffnen.

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

Um den **V-Link 200** vor Umwelteinflüssen zu schützen und eine sichere Installation der Elektronik zu gewährleisten, wurde ein spritzwassergeschütztes Gehäuse gewählt. Dieses bietet ausreichend Platz für die Montage des V-Link sowie die notwendige Verdrahtung der angeschlossenen Komponenten.

3 Systemaufbau und Umsetzung

Für die Befestigung des V-Link im Gehäuse wurde eine maßgefertigte **Acrylplatte** angefertigt. Diese wurde entsprechend der Innenmaße des Gehäuses angepasst und mit **M4-Feingewindeschrauben** verschraubt. Zusätzlich wurde ein Ausschnitt für den Einschaltknopf des V-Link vorgesehen, um eine einfache Bedienung zu ermöglichen.

3.3.1 Montageschritte

1. Vermessung des Gehäuses und Anfertigung der Acrylplatte mit CAD-Software.
2. Laserschneiden der Acrylplatte und Anbringung der notwendigen Bohrungen.
3. Bohren der Gehäuseöffnungen für die Steckerbuchsen und den Durchgriff für den Einschaltknopf.
4. Löten der Kabel an die Buchsen und Verbindung mit dem V-Link 200.
5. Befestigung des V-Link 200 mit Feingewindeschrauben und Muttern.
6. Montage der Acrylplatte im Gehäuse mit Flachkopfschrauben.
7. Verdrahtung des V-Link 200 mit den Steuerleitungen.
8. Sicherung der Kabel zur Vermeidung von mechanischen Belastungen.

Nach dem Einbau wurden abschließend alle Verbindungen geprüft, um sicherzustellen, dass der **V-Link 200** korrekt funktioniert und die **DMS-Signale** zuverlässig erfasst werden. Abbildungen 3.4 und 3.5 zeigen das fertige Gehäuse.



Abbildung 3.4: Gehäuse Ansicht Oben



Abbildung 3.5: Gehäuse Ansicht Frontal

Abbildung 3.6: Unterschiedliche Ansichten des Gehäuses

3.4 Entwurf der Schaltung und Platine

3.4.1 Umschalter für Halb- und Vollbrücke (geplant, nicht umgesetzt)

Nerb, Ulit

Um eine hohe Flexibilität bei der Messwerterfassung zu gewährleisten, haben wir eine Schaltung geplant, die es ermöglichen sollte, zwischen einer Halb- und Vollbrückenschaltung umzuschalten, siehe Abbildung 3.7.

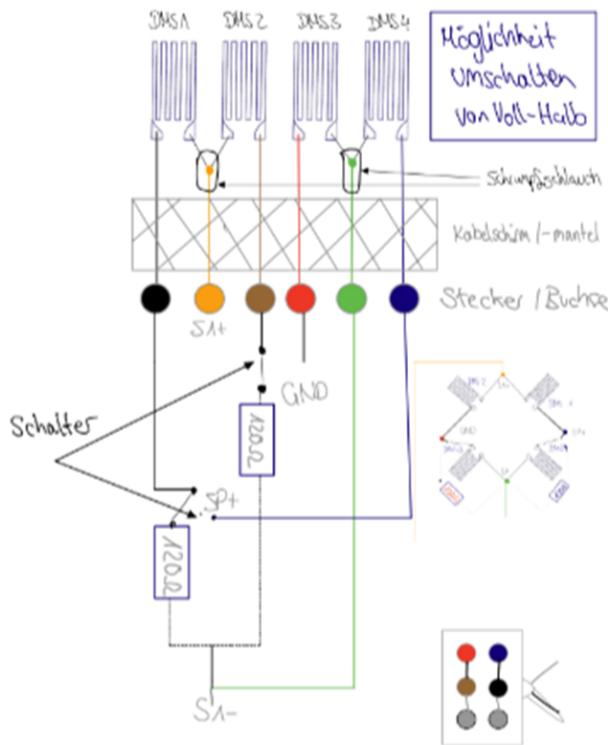


Abbildung 3.7: Umschalter für Halb- und Vollbrücke

Diese Schaltung wurde jedoch nicht umgesetzt, da die Vorteile eines anderen Schaltung überwogen haben. Die Idee basierte auf der Verwendung von zwei Kippschaltern des Typs MTS-202-A1, die die entsprechenden Widerstände in die Schaltung ein- oder ausschalten können. Dadurch wäre es möglich gewesen, verschiedene Sensortypen anzuschließen, ohne dass eine neue Platine entwickelt oder neu verdrahtet werden müsste. Dies wird durch zwei Kippschalter des Typs MTS-202-A1 realisiert, die die entsprechenden Widerstände in die Schaltung ein- oder ausschalten können. Diese Lösung bietet den Vorteil, dass verschiedene Sensortypen angeschlossen werden können, ohne dass eine neue Platine entwickelt oder neu verdrahtet werden muss. Geplant war, die Platine direkt in der Messbox beim V-Link 200 zu integrieren, sodass kein zusätzliches Gehäuse für die Umschaltelektronik benötigt wird. In der Planung war eine sechsadrige Steuerleitung mit einem Querschnitt von $0,14 \text{ mm}^2$ vorgesehen, wobei der Anschluss über einen sechspoligen

3 Systemaufbau und Umsetzung

Stecker mit Buchse erfolgen sollte, um eine einfache und sichere Verbindung zu gewährleisten. Dadurch wird vermieden, dass ein zusätzliches Gehäuse für die Umschaltelektronik benötigt wird. Zur Verbindung zwischen den Komponenten haben wir eine sechsadrige Steuerleitung mit einem Querschnitt von $0,14 \text{ mm}^2$ eingeplant. Der Anschluss erfolgt über einen sechspoligen Stecker mit Buchse, der eine einfache und sichere Verbindung gewährleistet. Das begleitende Schaltbild zeigt den geplanten Aufbau der Verdrahtung der Dehnungsmessstreifen (DMS) sowie die Position der Widerstände und Schalter. In der Theorie wären die DMS in einer Brückenschaltung angeordnet worden, wobei durch das Betätigen der Kippschalter verschiedene Konfigurationen hätten realisiert werden können. Die Widerstände (120 Ohm) sollten je nach gewünschter Brückenschaltung aktiviert oder deaktiviert werden. (DMS) sowie die Position der Widerstände und Schalter. Die DMS sind in einer Brückenschaltung angeordnet, wobei durch das Betätigen der Kippschalter verschiedene Konfigurationen realisiert werden können. Die Widerstände (120 Ohm) werden dabei je nach gewünschter Brückenschaltung aktiviert oder deaktiviert.

Vor- und Nachteile der Lösung

Vorteile

- Eine Platine für alle Schaltmöglichkeiten
- Möglichkeit zur Nutzung unterschiedlicher Sensortypen
- Schnelleres Umschalten ohne Neuverdrahtung oder Platinenwechsel
- Intuitive Bedienung
- Keine zusätzliche externe Gehäuseeinheit nötig

Nachteile

- Fehlende Zugentlastung der Leitungen
- Funktioniert nur mit Sensoren, für die 120-Ohm -Widerstände passend sind
- Mechanische Schalter haben einen gewissen Übergangswiderstand, was zu minimalen Messabweichungen führen kann
- Zusätzlicher Platzbedarf und komplexe Verkabelung in der Messbox
- Potentielle Messfehler bei falscher Bedienung

Abbildung 3.7 veranschaulicht die praktische Umsetzung dieser Schaltung. Es zeigt die Dehnungsmessstreifen (DMS 1–4) sowie deren Verdrahtung zu einem geschirmten Kabelbündel. Die Kippschalter befinden sich zwischen den Messleitungen und ermöglichen das Zu- oder Abschalten der Widerstände, wodurch sich die Brückenschaltung entsprechend anpassen lässt. In der schematischen Darstellung im unteren Bereich ist zudem die Funktionsweise der Umschaltung verdeutlicht.

3.4.2 Brückenschaltung für zwei DMS *Nerb, Ulit*

Um die Genauigkeit der Messungen zu gewährleisten, haben wir uns für den Einsatz von zwei Dehnungsmessstreifen (DMS) in einer Brückenschaltung entschieden. Diese Konfiguration erlaubt eine präzisere Erfassung von Kräften und Dehnungen, da sich die Sensoren gegenseitig kompensieren können. Zusätzlich zu den DMS haben wir zwei 120-Ohm-Metallschichtwiderstände in die Schaltung integriert. Die Wahl von Metallschichtwiderständen erfolgte aufgrund ihrer hohen Langzeitstabilität und geringen Temperaturabhängigkeit, was für die Genauigkeit der Messungen entscheidend ist. Die Schaltung wurde so entworfen, dass sie in einem separaten Platinengehäuse untergebracht ist, das zwischen der Messbox und den DMS angeordnet wurde. Diese Trennung reduziert die Verkabelung in der Messbox und ermöglicht eine einfachere Wartung. Ein weiterer Vorteil dieser Lösung ist die Reduzierung der benötigten Verkabelung. Durch den Einsatz einer vieradrigen, geschirmten Steuerleitung konnten wir nicht nur das Gewicht der Messbox verringern, sondern auch die Störanfälligkeit minimieren. Die Abschirmung schützt die Signalleitungen vor externen elektromagnetischen Einflüssen und sorgt so für zuverlässigere Messwerte. Im Platinengehäuse erfolgt die Verschaltung der Widerstände, wodurch die Schaltung insgesamt übersichtlicher wird. Dies erleichtert die Fehleranalyse und Wartung. Außerdem ermöglicht diese Lösung eine kostengünstige Herstellung der Platinen, da wir interne Ressourcen für den hochwertigen Platinenbau nutzen konnten.

Vor- und Nachteile der Lösung

Vorteile

- Kompakte Bauweise mit integrierter Zugentlastung
- Weniger Verkabelung durch den Einsatz einer vieradrigen, geschirmten Steuerleitung
- Höhere Messgenauigkeit durch den Einsatz einer Vollbrückenschaltung
- Reduzierung elektromagnetischer Störungen durch die geschirmte Leitung
- Einfachere Wartung und geringere Fehleranfälligkeit
- Kostengünstige Platinenherstellung durch interne Fertigung

Nachteile

- Keine flexible Umschaltung auf andere Brückenarten möglich
- Höherer Platzbedarf innerhalb des Platinengehäuses
- Abhängigkeit von 120-Ohm-Widerständen für die Kalibrierung

3 Systemaufbau und Umsetzung

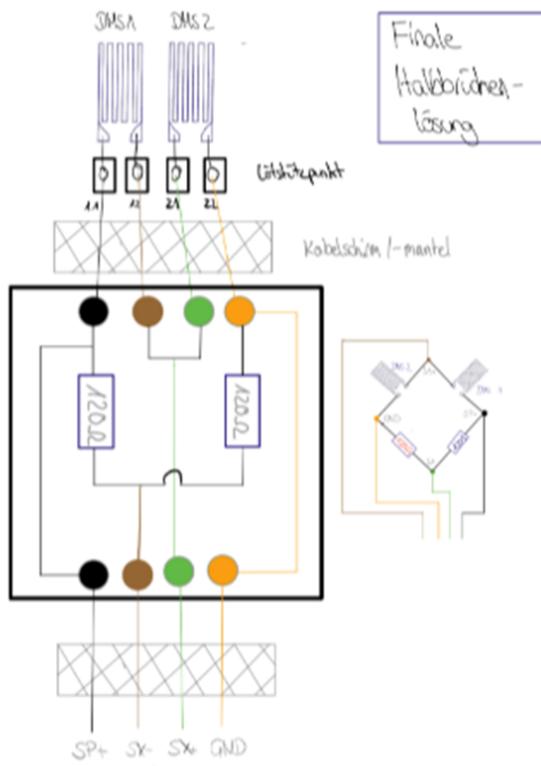


Abbildung 3.8: Finale Halbbrückenlösung

Abbildung 3.8 zeigt die vollständige Verdrahtung der beiden DMS sowie die Integration der Widerstände. Die Signale werden innerhalb des Platinengehäuses verarbeitet, bevor sie an den V-Link 200 in der Messbox zur drahtlosen Übertragung weitergeleitet werden. Die schematische Darstellung in der unteren rechten Ecke veranschaulicht die genaue Schaltungskonfiguration. **Hinweis:** Die schwarze Leitung in der Darstellung entspricht in unserer tatsächlichen Umsetzung einer weißen Leitung. Diese Anpassung wurde aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit in der Schaltungsgrafik gewählt.

3.4.3 Lenkerbox Fahrrad Menzel

Die alte Lenkerbox ist nicht spritzwassergeschützt, und die verwendeten Leitungen sind nicht geschirmt. Zudem gibt es keine Zugentlastung der Leitungen zur Messtechnik. Diese Punkte sollten bei der Auswahl und Umsetzung einer neuen Lenkerbox berücksichtigt werden. Um ausreichend Platz zum Verlöten der Platine und DMS zu haben wurde zunächst eine Box mit IPP6 Schutz und den Aussenmassen mit 122 x 120 x 55mm gewählt, siehe Abbildung 3.9.

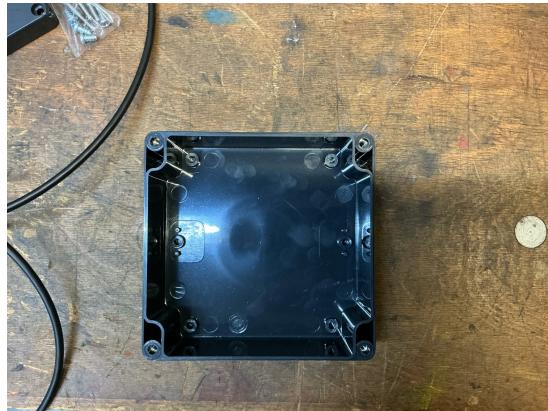


Abbildung 3.9: Ursprünglich vorgesehene Lenker-Box

Da sich diese als für den gewünschten Einsatz zu groß dimensioniert herausstellte, sollte eine kleinere Box bestellt und verwendet werden, siehe Abbildung 3.10. Die kleinere Box hat die Aussenmasse 120 x 80 x 55 mm. Die zu entwerfende Platine (siehe Kapitel 3.4.4) sollte so dimensioniert sein, dass sie in dieser kleineren Box Platz findet, daher musste auch diese neu entworfen werden.

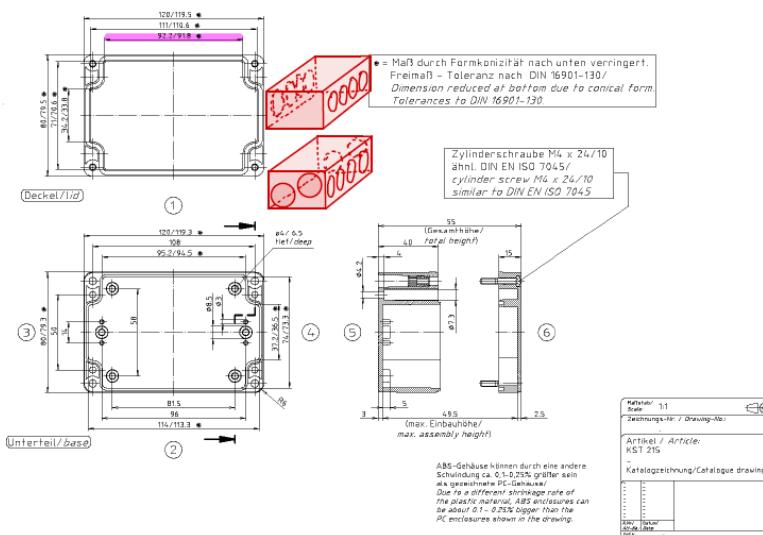
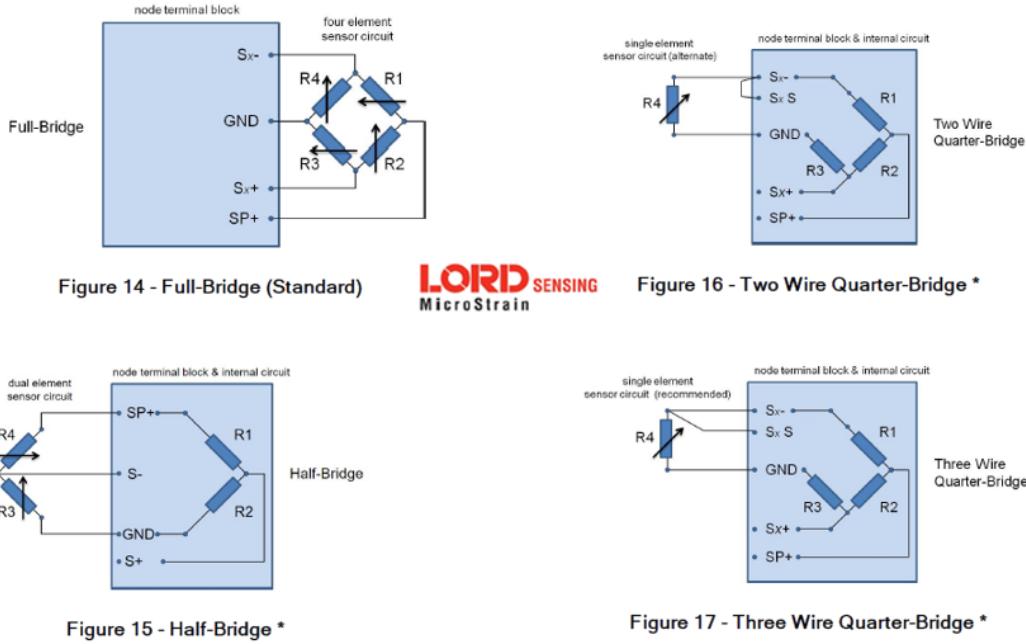


Abbildung 3.10: Kleinere Lenker-Box

3.4.4 Platinendesign Fahrrad Bellgardt

Zu Beginn sind wir davon ausgegangen, dass die DMS direkt mit der neuen Messtechnik verbunden werden können, siehe Abbildung 3.11.



* Requires optional on-board bridge completion

Abbildung 3.11: LORD Konfigurationen der Brücken
VLinkManual

Da dies nicht möglich ist, haben wir als Lösung eine Zwischenplatine konstruiert, welche die DMS mit zwei Widerständen zur Halbbrücke ergänzt, siehe Abbildung 3.12.

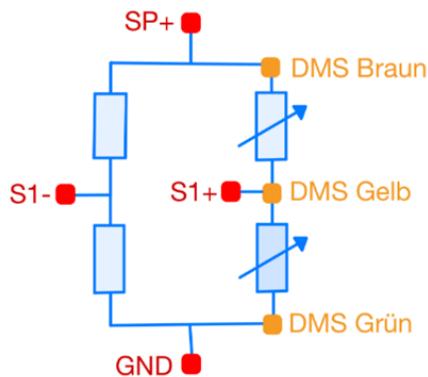


Abbildung 3.12: Schaltplan Protoyp Platine

Für die Messtechnik wirkt dies nun 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 Versorgungsapannung 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.

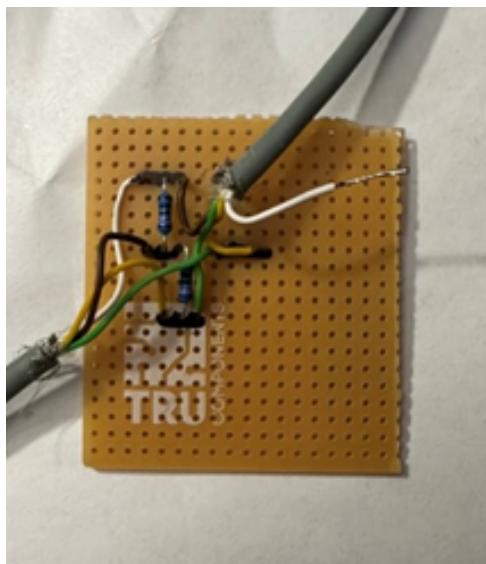


Abbildung 3.13: Prototyp Platine mit der Ergänzung der DMS zur Halbbrücke

Platinenplanung der Lenkerbox

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.

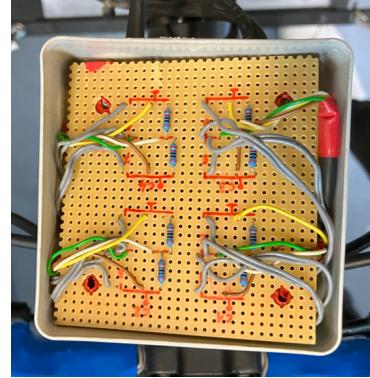


Abbildung 3.14: Alte Platine in der alten Lenkerbox

Viele der angemerkteten Punkte konnten verbessert werden. Hierzu wurde zunächst der Schaltplan in der Software KiCad[3] eingepflegt.

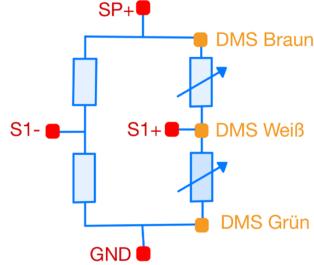


Abbildung 3.15: Schaltungsplan Fahrrad

Planung der Schaltung mit KiCAD

In der Software KiCad[3] wurde zunächst ein Schaltplan erstellt, siehe Abbildung 3.17. KiCad ist ein freies Tool, mit dem man Platinen planen kann. Nach dem erfolgreichen Test der Prototyp Platine am Biegbalken 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.

Dieser stellt vier Halbbrücken dar. Auf der Platine werden pro Halbbrücke je zwei Widerstände angebracht. Diese befinden sich in Form ihrer Kontakte auf der Platine. Basierend auf dem Schaltplan (siehe Anhang A.1) wurde dann die Platine zunächst entsprechend Ihrer Abmessungen für das Gehäuse simuliert (siehe Abbildung 3.18) und anschließend gedruckt. Die fertige



Abbildung 3.16: KiCad Software Logo
[3]

Platine ist in der Abbildung 3.19 zu sehen. Sie besitzt die Maße des Gehäuses. Zudem verfügt die Platine über vier zusätzliche Bohrungen, um sie besser im Gehäuse befestigen zu können.

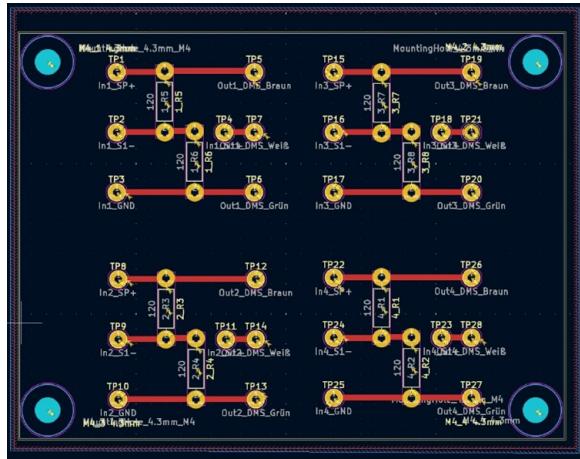


Abbildung 3.17: Planung Lenkerplatine

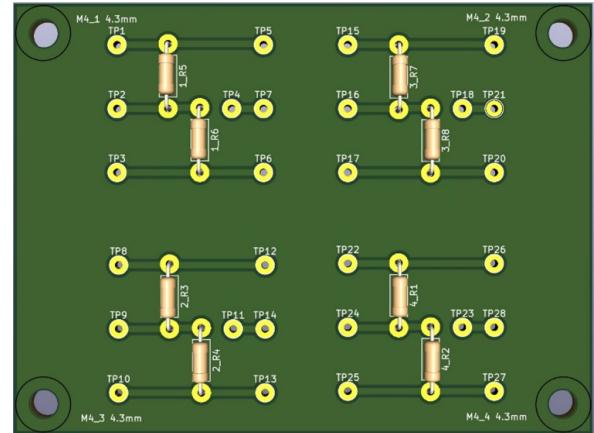


Abbildung 3.18: Simulation der Lenkerplatine

3 Systemaufbau und Umsetzung

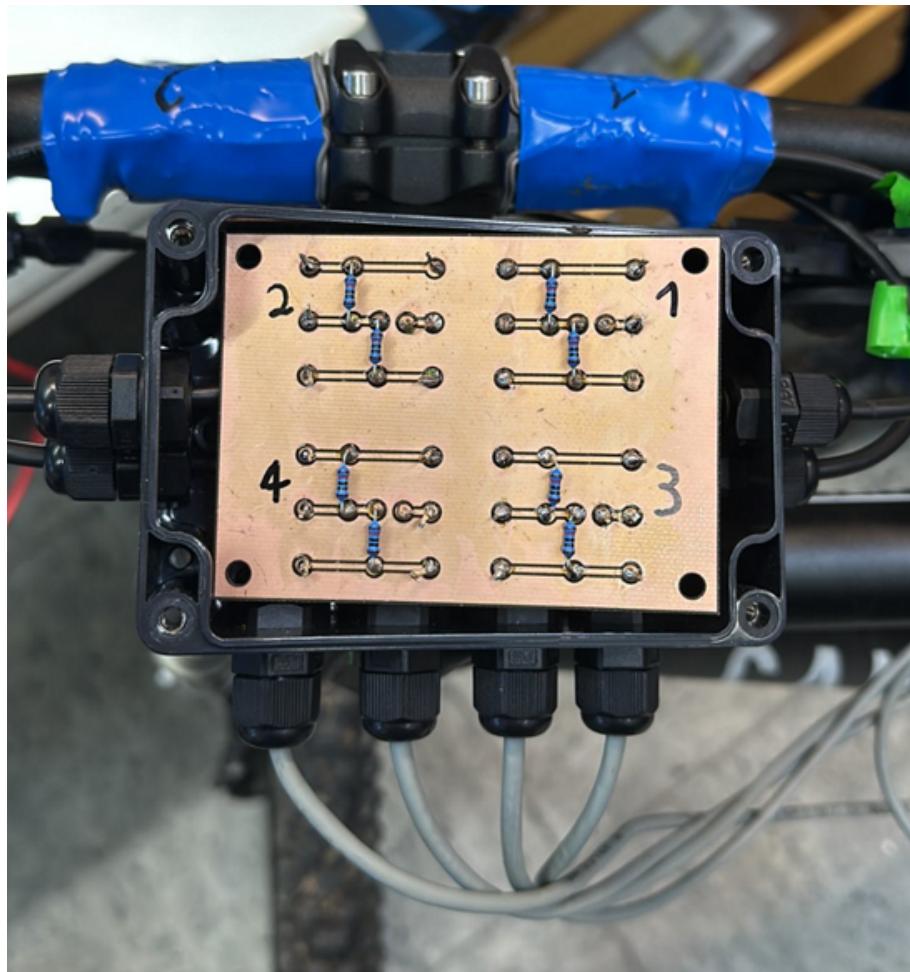


Abbildung 3.19: Fertig installierte Lenkerplatine

3.4.5 Platinendesign Suit Nerb, Ulit

Die Schaltung für den Flying Suit wurde basierend auf der zuvor geplanten Vollbrückenschaltung entwickelt. Es wurden zwei SMD-Metallschichtwiderstände verwendet, da diese eine kompakte Bauform haben und eine hohe Langzeitstabilität gewährleisten. Die gesamte Schaltung wurde mit Cadence OrCAD Capture für den Schaltplan erstellt und anschließend in Allegro PCB Designer für das Platinenlayout umgesetzt. Zunächst wurde die Schaltung in OrCAD Capture entworfen und die Platinengröße basierend auf dem verfügbaren Platz im Platinengehäuse festgelegt. Dabei wurden zwei Bohrungen berücksichtigt, um die Platine mit Schrauben sicher im Gehäuse zu befestigen. Zudem wurden Leiterplattenklemmen integriert, um die Leitungen einfach anschließen zu können. Diese Lösung erleichtert spätere Modifikationen oder den Austausch von Komponenten, da keine Verbindungen ausgelötet werden müssen. Die folgende Schaltplan-Darstellung zeigt den elektrischen Aufbau der Platine für den Flying Suit. Die Dehnungsmessstreifen (DMS) sind entsprechend der Vollbrückenschaltung integriert, während die Metallschichtwiderstände zur Signalverarbeitung beitragen. Die Anschlüsse sind klar gekennzeichnet, um eine einfache Verdrahtung zu ermöglichen.

Fertigungsprozess der Platine

1. Erstellung des Schaltplans in Cadence OrCAD Capture.
2. Definition der Platinengröße basierend auf dem Gehäusemaß.
3. Platzierung der SMD-Widerstände und anderer Komponenten in Allegro PCB Designer.
4. Integration von Bohrungen für die Befestigungsschrauben.
5. Ergänzung von Leiterplattenklemmen zur vereinfachten Verdrahtung.
6. Herstellung der Platine und Bestückung mit den Komponenten.
7. Validierung der Schaltung durch Funktionsprüfung.

Die gefertigte Platine wurde anschließend in das Gehäuse integriert und mit den notwendigen Bauteilen verbunden. Zur Validierung der Funktionalität wurde die Schaltung getestet und überprüft, um sicherzustellen, dass sie wie geplant funktioniert. Die folgenden Abbildungen 3.20, 3.20 und 3.20 zeigen die gefertigte Platine, den Schaltplan sowie die finale Integration der Platine im Platinengehäuse.

3 Systemaufbau und Umsetzung

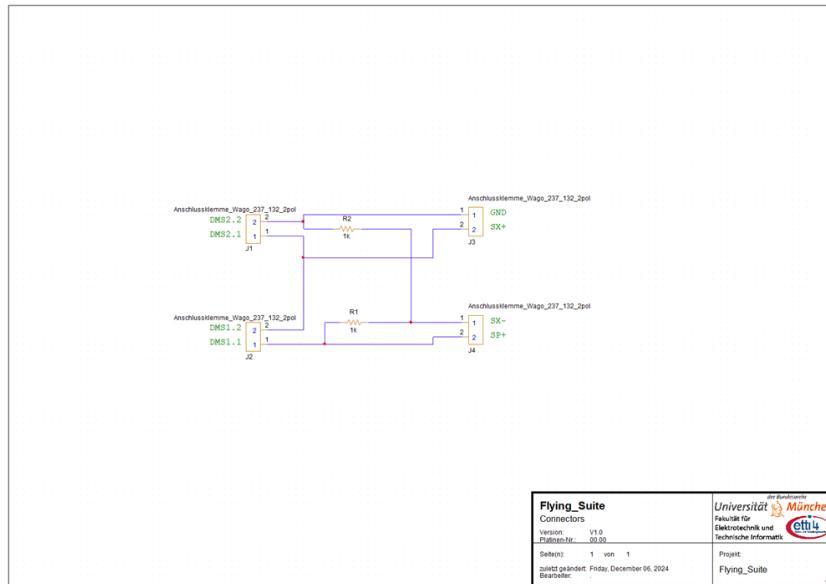


Abbildung 3.20: Schaltplan der Flying Suit Platine

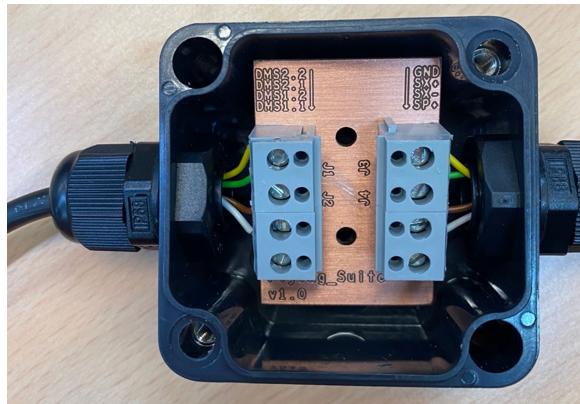


Abbildung 3.21: Fertige Flying Suit Platine mit aufgelöten SMD-Widerständen

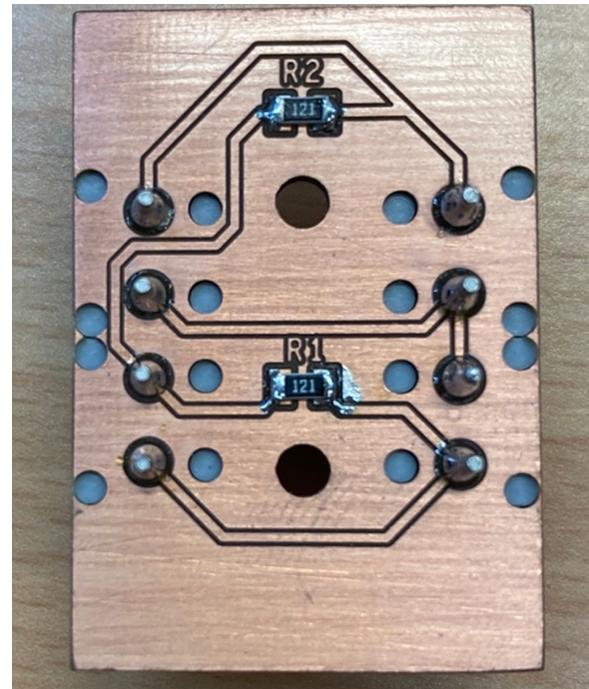


Abbildung 3.22: Platine im Gehäuse mit verschraubten Leiterplatenklemmen

3.5 Herstellung der Acrylplatte für die Gehäuseintegration Nerb, Ulit

Um den V-Link 200 sicher im Gehäuse zu montieren, haben wir eine Acrylplatte als Befestigungsbasis konstruiert. Dafür wurde zunächst das Gehäuse exakt vermessen und eine CAD-Zeichnung mit **CATIA V5** erstellt, siehe Abbildungen 3.23 und 3.24.

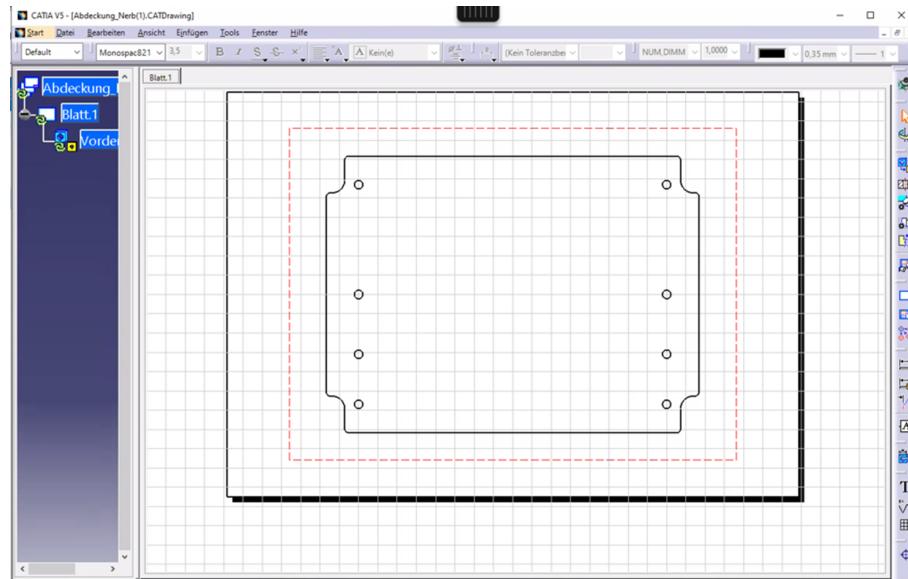


Abbildung 3.23: Acrylplatte Catia Draufsicht

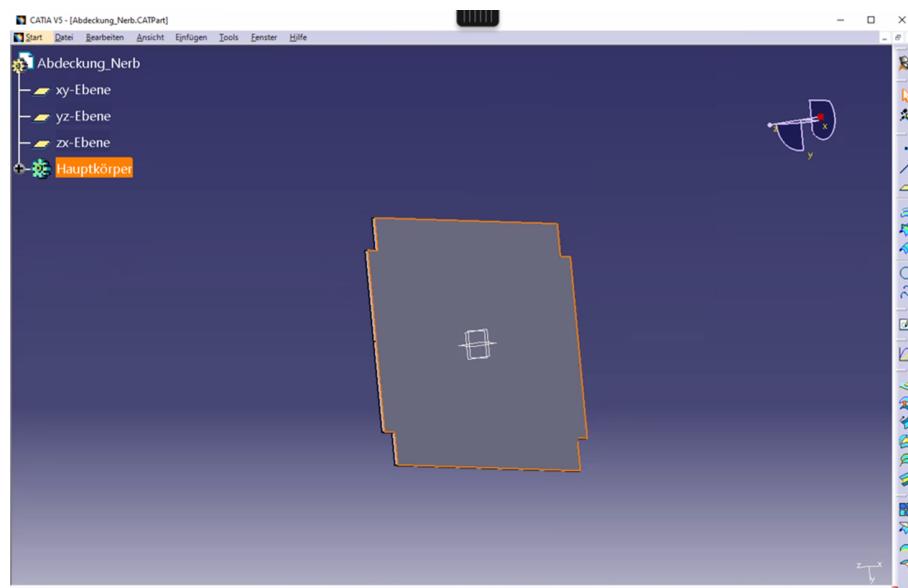


Abbildung 3.24: Acrylplatte Catia 3D Ansicht

Basierend auf dieser Zeichnung wurde die Acrylplatte mit einem Laser exakt zugeschnitten. Es handelt sich um eine 3 mm dicke Acrylplatte, die an der Universität mittels Laserschneidtechnik

3 Systemaufbau und Umsetzung

aus den CAD-Daten gefertigt wurde. Beim ersten Versuch wurden die exakten Innenmaße des Gehäuses verwendet, jedoch stellte sich heraus, dass die Platte nur schwergängig in das Gehäuse passte. Daher wurde das Außenmaß der Acrylplatte um 0,5 mm reduziert, um eine bessere Passform zu gewährleisten. Die Acrylplatte enthält mehrere Bohrungen, um den V-Link 200 sicher befestigen zu können. Zwei Bohrungen wurden für die Montage des V-Link vorgesehen, an denen er mit M4-Feingewindeschrauben und Muttern fixiert wird. Zusätzlich wurde ein Ausschnitt für den Einschaltknopf eingefügt, um eine einfache Bedienung zu ermöglichen. Die Befestigung der Acrylplatte selbst im Gehäuse erfolgte mittels Flachkopfschrauben. Diese Konstruktion gewährleistet eine stabile Fixierung des V-Link 200 und schützt ihn vor mechanischen Belastungen während des Messbetriebs. Zudem ermöglicht die durchdachte Gestaltung der Acrylplatte eine einfache Entnahme und Wartung des Geräts, falls erforderlich.

3.5.1 Fertigungsprozess der Acrylplatte

1. Vermessung des Gehäuses und Anfertigung der CAD-Zeichnung in CATIA V5.
2. Laserschneiden der Acrylplatte gemäß den CAD-Daten an der Universität.
3. Bohren der Montagelöcher für den V-Link 200.
4. Einfügen eines Ausschnitts für den Einschaltknopf.
5. Fixierung des V-Link 200 mit Feingewindeschrauben und Muttern.
6. Montage der Acrylplatte im Gehäuse mit Flachkopfschrauben.

3.6 Montage und Verbindung der DMS *Nerb, Ulit*

Die Montage der Dehnungsmessstreifen (DMS) erfolgte in mehreren Schritten, um eine präzise und zuverlässige Messung zu gewährleisten. Zunächst wurden die Oberflächen der Messstellen sorgfältig mit Schleifpapier gesäubert und anschließend mit Alkohol gereinigt, um eine optimale Haftung der DMS zu ermöglichen.

Bei den Dehnungsmessstreifen für **Biegung** wurden jeweils zwei DMS an gegenüberliegenden Seiten der Struktur aufgebracht, um eine symmetrische Messung zu gewährleisten. Im Gegensatz dazu wurde der **DMS für die Torsion** nur an einer Stelle angebracht. Nach der Reinigung wurde der Kleber aufgetragen, und die DMS wurden mithilfe von Tesa exakt positioniert und fixiert. Nach der Aushärtung des Klebers wurden Lötstützpunkte aufgebracht, um eine stabile Verbindung mit der Steuerleitung herzustellen. Anschließend wurden die Widerstände der DMS gemessen, um sicherzustellen, dass die Werte innerhalb der erwarteten Toleranzen liegen. Die Verbindung zur Platine erfolgte über die Lötstützpunkte und wurde anschließend an die integrierten Leiterplattenklemmen angeschlossen, wodurch eine flexible und austauschbare Lösung geschaffen wurde. Nach der Montage wurden alle Verbindungen überprüft, um sicherzustellen, dass die Signale korrekt erfasst und weitergeleitet werden.

3.6.1 Fertigungsprozess der DMS-Verbindung

1. Reinigung der Oberfläche mit Schleifpapier (Körnung 180) und Alkohol.
2. Aufbringen der Dehnungsmessstreifen (DMS) mit speziellem Kleber und Fixierung mit Tesa.
3. Aushärtung des Klebers und erste Sichtprüfung.
4. Unmittelbare Messung der DMS nach dem Aufbringen.
5. Anbringung von Lötstützpunkten zur sicheren Verbindung mit der Steuerleitung.
6. Verbindung zur Platine über Leiterplattenklemmen.
7. Widerstandsmessung zur Überprüfung der elektrischen Eigenschaften.
8. Endprüfung aller Verbindungen zur Sicherstellung der Messgenauigkeit.

Abbildungen 3.25 und 3.26 zeigen die angebrachten DMS.

3 Systemaufbau und Umsetzung

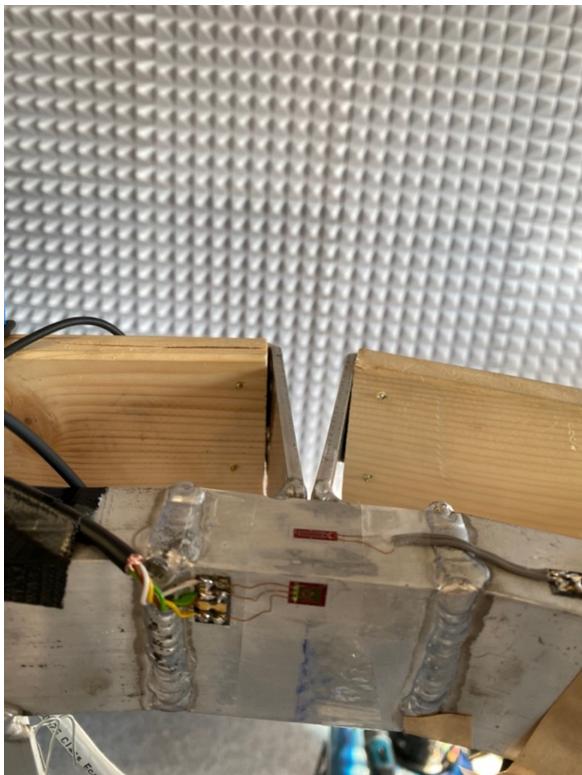


Abbildung 3.25: Am Flying Suit angebrachte DMS 1



Abbildung 3.26: Am Flying Suit angebrachte DMS 2

4 | Durchführung der Messungen

4.0.1 Reichweitentest *Grote*

Da es sich bei unserem Projekt um eine drahtlose Software handelt, ist es wichtig, die Reichweite zu testen. Hierfür haben wir den Sensorknoten zusammen mit der Box, in welchem er für die Messungen am FlyingSuit gelegen hat, in einer freien Umgebung ohne Störfaktoren gemessen. Die Box wurde in verschiedenen Entfernung zum Empfänger platziert und die Signalstärke, der Paketverlust und die Störfaktoren analysiert. Die beiden aussagekräftigsten Ergebnisse des Tests sind auf den nachfolgenden Bildern zu sehen. Bei einer Reichweite von 40 Metern zwischen Computer und Sensor ist schon ein Paketverlust von 1,4% zu verzeichnen. Bei einer Entfernung von 50 Metern ist der Paketverlust auf 6,7% gestiegen. Dies ist gegenüber dem Herstellerver sprechen ein schlechtes Ergebnis, aber für unsere Anwendung ausreichend. Sollte der Sensor in späteren Anwendungen weiter vom Empfänger entfernt sein, kann der interne Speicher für die Durchführung des Versuchs benutzt werden.

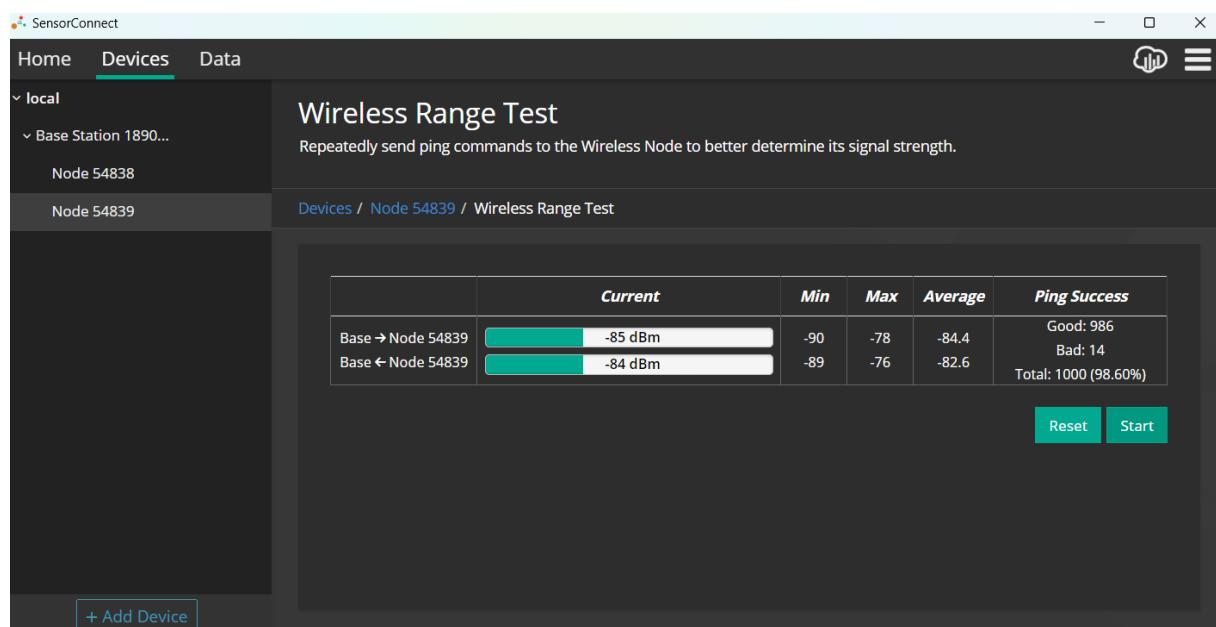


Abbildung 4.1: 40 Meter

4.1 Funktionsüberprüfung (Lötstellen und Testboard Fahrrad)

Bellgardt, Menzel

Der abschließende Funktionstest hat gezeigt, dass das Wirkprinzip einer Halbbrücke funktioniert. Es besteht jedoch ein Problem mit der Kalibrierung. Es wurde mit der geometriebasierten Kalibrierung eine Abweichung im Faktor 10 festgestellt. Eine Kalibrierung mit der in der Software

4 Durchführung der Messungen

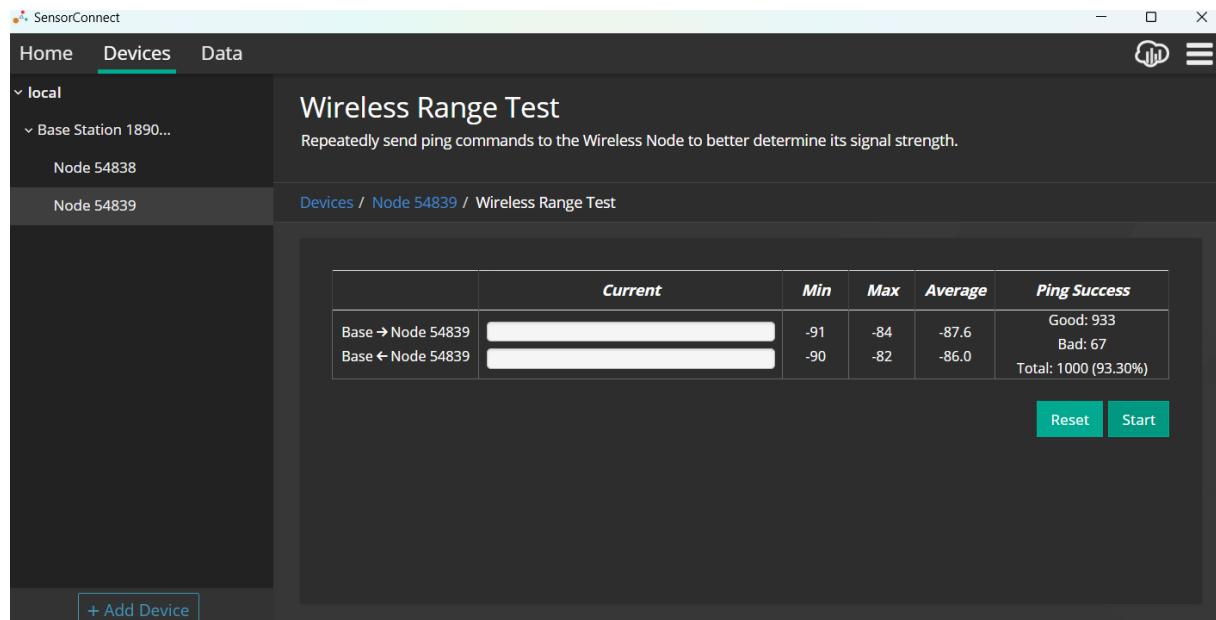


Abbildung 4.2: 50 Meter

angebotenen Field Calibration wurde durch Frau Gosh bereits begonnen und liefert hingegen sinnvolle Werte. Um den Fehler einzugrenzen wurden daraufhin folgende Funktionstests durchgeführt:

1. **Wirkprinzip der Halbbrücke:** Nachdem die Platine in der neuen Lenkerbox verlötet wurde, wurde getestet, ob das Wirkprinzip funktioniert. Hierzu wurde mit der berechneten Konfiguration der Lenker in der Horizontalen und der Waagerechten belastet. Es wurde festgestellt, dass alle vier Halbbrücken funktionsfähig sind und mit steigender Belastung auch gleichmäßig der Ausschlag der Messkurve steigt. Diese ist jedoch noch nicht kalibriert.
2. **Geometriebasierte Berechnung:** Es wurde eine geometriebasierte Berechnung durchgeführt, um die Parameter für die mV/V Kalibrierung zu bestimmen, siehe 4.2.2.
3. **Durchgangsprüfung der Leitungen:** Alle Leitungen wurden vor der Installation einer Durchgangsprüfung unterzogen, um Kurzschlüsse auf dem Leitungsweg auszuschließen.
4. **Platine auf Kurzschluss getestet:** Die Lenkerplatine wurde mehrfach negativ auf Kurzschlüsse oder fehlerhafte Kontaktierung geprüft. Die Messung wurde mit einem Multimeter durchgeführt. Bei den getesteten Kontakten wurde immer ein OL (Over Limit) gemessen. Dies bestätigt, dass kein ungewollter Kontakt auf der Platine stattfindet.
5. **Anbringung der DMS geprüft:** Testweise wurde die erste Halbbrücke abgelötet, um zu testen, ob der Mittelabgriff der DMS richtig bestimmt wurde. Der Mittelabgriff wurde richtig bestimmt und anschließend wieder verlötet.
6. **Widerstandsprüfung der Platine von außen:** Um Fehler auf dem gesamten Leitungsweg auszuschließen, wurde eine Widerstandsprüfung von außen an den Kabeln durchge-

führt. Hier konnte die gewünschte Schaltung bestätigt werden. Die gemessenen Widerstände befinden sich an gewünschter Stelle.

4.1.1 Reichweitentest *Grote*

Da es sich bei unserem Projekt um eine drahtlose Software handelt, ist es wichtig, die Reichweite zu testen. Hierfür haben wir den Sensorknoten zusammen mit der Box, in welchem er für die Messungen am FlyingSuit gelegen hat, in einer freien Umgebung ohne Störfaktoren gemessen. Die Box wurde in verschiedenen Entfernung zum Empfänger platziert und die Signalstärke, der Paketverlust und die Störfaktoren analysiert. Die beiden aussagekräftigsten Ergebnisse des Tests sind auf den nachfolgenden Bildern zu sehen. Bei einer Reichweite von 40 Metern zwischen Computer und Sensor ist schon ein Paketverlust von 1,4% zu verzeichnen. Bei einer Entfernung von 50 Metern ist der Paketverlust auf 6,7% gestiegen. Dies ist gegenüber dem Herstellerversprechen ein schlechtes Ergebnis, aber für unsere Anwendung ausreichend. Sollte der Sensor in späteren Anwendungen weiter vom Empfänger entfernt sein, kann der interne Speicher für die Durchführung des Versuchs benutzt werden.

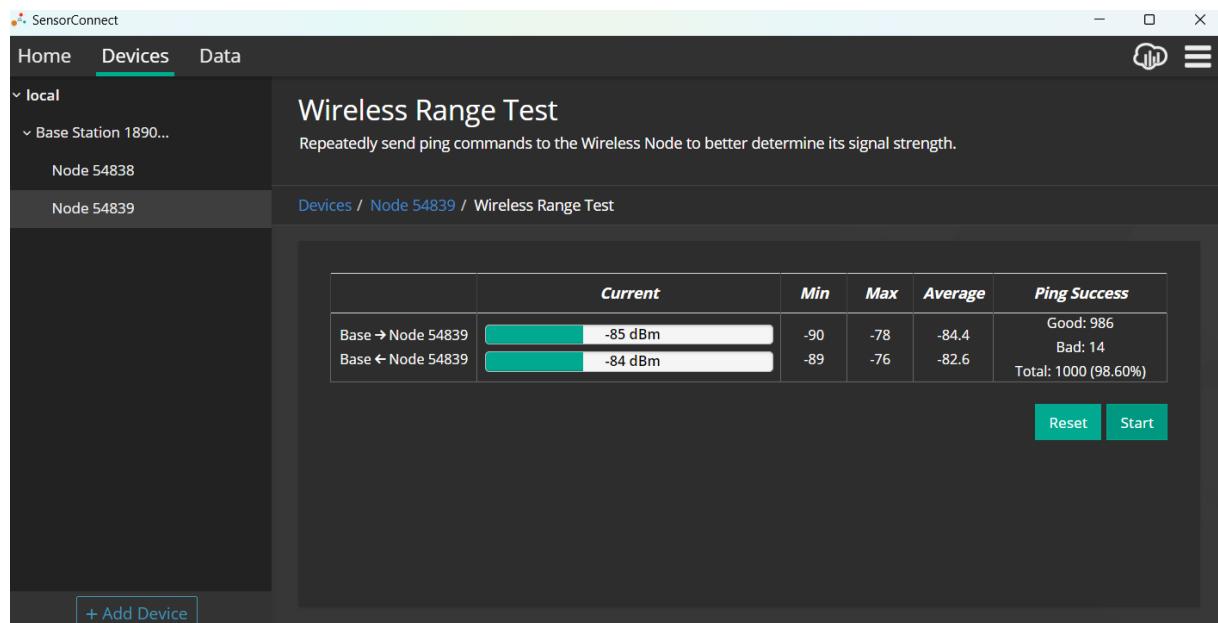


Abbildung 4.3: 40 Meter

4.2 Messungen am Fahrradlenker *Bellgardt, Menzel*

4.2.1 Aufbau Testvorrichtung

Um die verschiedenen Arten der Belastung des Fahrradlenkers zu messen wurde das Fahrrad in die Vorrichtung des WPM's eingespannt, siehe Abbildung 4.5.

4 Durchführung der Messungen

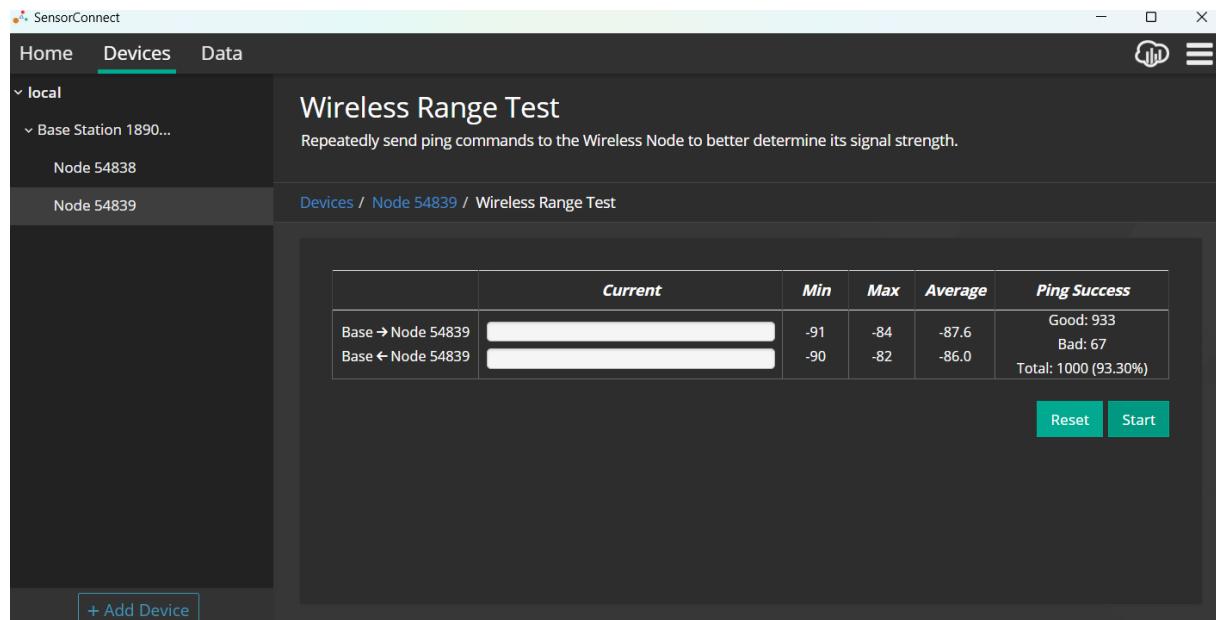


Abbildung 4.4: 50 Meter

4.2.2 Durchführung Messung (Kraft, Vertikal/Horizontal)

Field Kalibrierung

Die Field Kalibrierung verspricht eine genaue Messung mit dem aktuellen Aufbau. Leider konnten wir Diese Kalibrierung nicht weiterverfolgen, da wir die Anweisung erhalten haben, uns auf die mV/V Kalibrierung zu beschränken. Die folgenden Werte wurden von Frau Ghosh aufgenommen und stellen die Field Calibration von Channel 1 und Channel 2 dar. Die Werte wurden aufbereitet und hier aufgeführt, um als Grundlage für weitere Versuche zu dienen.

Kalibrierung – Manuelle Methode (Nur CH1) Berechnete Werte:

$$\text{Range} = \pm 9.76 \text{ mV}$$

$$\text{Steigung (slope)} = 0.00689$$

$$\text{Offset} = -880.911$$

4.2 Messungen am Fahrradlenker Bellgardt, Menzel



Abbildung 4.5: Einspannen des Fahrrads

4 Durchführung der Messungen

Gegeben vs. Gemessen – CH1

Gegeben (kg)	Gemessen (bits)
0 kg	128080 bits
20.6 kg	130460 bits
31.4 kg	131970 bits
43 kg	133890 bits
50 kg	134850 bits
60.5 kg	136730 bits

Ergebnisse – CH1 Umrechnung

Gegeben (kg)	Berechnet (kg)
15.3 kg	12 kg
24.0 kg	21 kg
33.2 kg	29.5 kg
37.2 kg	32.9 kg

Fazit: System funktioniert!

Kalibrierung – CH1 und CH2 Berechnete Werte:

$$\text{Range} = \pm 9.76 \text{ mV}$$

$$\text{Steigung (CH1)} = 0.07237, \quad \text{Offset (CH1)} = -9262.685$$

$$\text{Steigung (CH2)} = 0.08033, \quad \text{Offset (CH2)} = -10381.899$$

Gegeben vs. Gemessen – CH1

Gegeben (N)	Gemessen (bits)
0 N	128280 bits
100 N	129350 bits
201 N	130540 bits
296 N	131840 bits
402 N	133520 bits
500 N	135120 bits

Gegeben vs. Gemessen – CH2

Gegeben (N)	Gemessen (bits)
0 N	128420 bits
98 N	129370 bits
200 N	130580 bits
296 N	131850 bits
400 N	133270 bits
496 N	134470 bits

Berechnete Werte für CH1

Gegeben (N)	Berechnet (N)
205 N	180.5 N
309 N	285.6 N
394 N	367.5 N
499 N	499.4 N

Berechnete Werte für CH2

Gegeben (N)	Berechnet (N)
202 N	196.8 N
303 N	312.4 N
394 N	386.9 N
498 N	540.6 N

Abweichung: < 10%

4 Durchführung der Messungen

Geometriebasierte Messung

Mit folgender Berechnung wurden die Werte Sensitivity, max Capacity und Range berechnet um in SensorConnect eine geometriebasierte mV/V Messung durchzuführen.

Gegebene Maße

$$D_a = 31.7 \text{ mm}$$

$$D_i = 27.8 \text{ mm}$$

$$L = 240 \text{ mm}$$

$$\text{Maximale Last} = 600 \text{ N}$$

Widerstandsmoment

$$\begin{aligned} W_x &= \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_a^4 - D_i^4}{D_a} \\ &= \frac{\pi}{32} \cdot \frac{31.7^4 - 27.8^4}{31.7} \\ &= \frac{\pi}{32} \times 406.66 \\ &= 1276.93 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Biegespannung

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{F \cdot L}{W_x} \\ &= \frac{600 \cdot 240}{1276.93} \\ &= 112.77 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Dehnung

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\sigma}{E} \\ &= \frac{112.77}{70000} \\ &= 1.61 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

Messbrückenspannung

$$\begin{aligned} \frac{U_M}{U_B} &= \frac{n}{4} \cdot k \cdot \varepsilon \\ &= \frac{2}{4} \times 2.1 \times 1.61 \times 10^{-3} \\ &= 1.69 \text{ mV/V} \end{aligned}$$

Brückenspannung

$$U_B = 4.096 \text{ V}$$

$$\text{Range} = \pm 6.92 \text{ mV/V}$$

Mit dieser auf Geometrie basierenden Messung entstand eine Abweichung der gemessenen Werte um den Faktor 10. Um herauszufinden, woran dies liegt haben wir unsere Konfiguration der DMS, unsere Platine und Kabel an den alten Versuchsaufbau angeschlossen. Damit wollten wir feststellen, ob das Problem auch dort besteht, siehe Kapitel 4.2.2.

Messung mit alter Messtechnik

Gegen Ende des Projekts lag unser Schwerpunkt darauf, den Grund für den Faktor-10-Fehler zu identifizieren. Bei diesem Fehler handelt es sich um eine Abweichung, welche beim geometrie-basierten Messverfahren auftritt. Die Field-Calibration funktionierte einwandfrei, da sie jedoch als Kunstfehler angesehen werden kann sollten wir diese nicht verwenden. Um diesen Fehler auf die neue Fahrradschaltung eingrenzen zu können, haben wir den Auftrag erhalten, den neuen Aufbau mit der alten Messtechnik zu testen. Dabei haben wir die Hardware gemäß der WPM-Anleitung angeschlossen. Der einzige Unterschied bestand darin, dass wir keine Kalibrierung der alten Messtechnik durchgeführt haben, da diese Werte bereits in der Software gespeichert waren. Die Annahme war, dass sich der Fehler auf die Messtechnik oder die Platine eingrenzen lässt, wenn die alte Messtechnik mit der alten Konfiguration, mit der neuen Platine verwendet wird. Beim Fahrradaufbau haben wir den Lenker zunächst in vertikaler und anschließend in horizontaler Richtung jeweils mit 600 N gegen das Gestell belastet. Da die Belastung manuell eingestellt wurde, trat eine kleine Abweichung auf. Die von der alten Messtechnik erfassten Werte wurden anschließend dokumentiert. Auch mit der alten Messtechnik konnte eine Abweichung zwischen Belastung und Messung um etwa den Faktor 10 festgestellt werden. Dies deutet auf einen Fehler in der neuen Platine hin.

Es erfolgte eine Belastung mit etwa 600 N:

DMS-Paar	Belastung (Newton)	Gemessener Betrag (Newton)
Paar 1	598	63.6
Paar 2	603	62.1
Paar 3	597	59.6
Paar 4	602	64.4

Tabelle 4.1: Messwerte der DMS-Paare unter Belastung

4.3 Messungen am Flying Suit (Fluggestell) Nerb, Ulit

4.3.1 Kurzbeschreibung Flying Suit

Der „FlyingSuit“ ist eine Entwicklung des Tüftlers Konstantin Landuris und seines Künstlerstudios „Landurisstudios“. Es handelt sich dabei um die Idee, ein Jetpack mit elektrischen Antrieben zu versehen und den Transport einer Person zu ermöglichen.



Abbildung 4.6: Flying Suit Landuris
[4]



Abbildung 4.7: Flying Suit Gestell
[4]

Durch den Verzicht auf klassische Triebwerke, soll langfristig die Sicherheit, die Effizienz, Umweltbelastung und auch Lärmverursachung deutlich verbessert werden. Der Anzug besteht dabei grundsätzlich aus zwei Teilen, einem reißfesten Overall mit eingearbeiteten Gurten zur Kraftverteilung und Stabilisierung des Systems, sowie einem auf den Schultern gestützten Gestell, an welchen die Triebwerke montiert sind. Lenkbewegungen erfolgen dabei primär über die Verlagerung des Körpergewichts, sodass die Hände zunächst zur Schubregelung und in einem fortgeschrittenen Stadium auch zur Ausführung von Arbeiten verwendet werden könnten. Die eingearbeiteten Gurte führen von den Füßen, über den Körper, bis mittig zu Brust und Rücken, wo je eine Fassung zur Aufnahme von Karabinerhaken o.Ä. befestigt ist. Über diese beiden Punkte ist der Overall mit dem Gestell verbunden und übertragene Kräfte werden hier eingeleitet. Benötigte Akkus werden am Körper befestigt mitgeführt. Bei dem zur Vermessung Vorliegendem Modell, handelt es sich um den ersten entwickelten Prototypen. Dieser besteht aus geschweißten, hohlen Aluminium-Rechteck Trägern mit den Profilmaßen $h = 50\text{mm} \times b = 45\text{mm}$, Wandstärke= 2mm. Zudem sind Tragebügel an den Schultern, sowie im Brustbereich und Querstreben zur Versteifung vorhanden. Die Abmaße belaufen sich, ohne Triebwerke, auf 96cm in der Breite und 67cm in der Tiefe. Das Gewicht beläuft sich auf 8,4Kg, ebenfalls exklusive Triebwerke. Hinten und seitlich

sind insgesamt acht DS-130-DIA HST® (152 mm) Modellbautriebwerke mit je max. 175N (150N reale Bedingungen) Schubleistung angebracht, welche in ersten realen Flugversuchen, kurzzeitig genügend Auftrieb für einen kurzzeitigen Schwebeflug mit einer Person aufgebracht haben. Eine stabile und ausgereifte Lagerregelung ist jedoch noch nicht vorhanden.

4.3.2 Vorbereitung

Beschreibung der Testszenarien

Im Rahmen des Experimentaltechnik- Projektes liegt der Fokus auf der Entwicklung, der Montage, sowie dem ersten Einsatz eines Messkonzeptes im Zusammenspiel mit dem zuvor im Bericht beschriebenen drahtlosen Datenloggers VLink 200. Ziel ist es eine erste Möglichkeit zu schaffen, Daten über die wirkenden Kräfte und daraus resultierende Dehnungen und Verformungen zu gewinnen. Dies soll den Weg bereiten, umfangreichere Tests vornehmen zu können und somit die Verbesserung, speziell des Gestells, voranzubringen. Daten, die beispielsweise durch einen realen Flugversuch ermittelt werden, könnten dabei helfen die Computergestützte Entwicklung mit echten Messwerten zu hinterlegen. Reale Flugversuche erzeugen eine Vielzahl, oft nicht klar trennbare Arten von Belastungen in einem Gestell, wie dem uns vorliegenden. Aus diesem Grund basieren die folgend erläuterten Testfälle, auf vereinfachten, nicht aber unrealistischen, Annahmen. Ausgangspunkt für die Messungen ist zunächst der statische Lastfall oder „Schwebezustand“. Hierbei gleichen sich alle Kräfte gegenseitig aus, was bedeutet, dass die erzeugten Schubkräfte, sowohl das Gestell, den Piloten, die Akkus mit 8x2Kg und 1Kg Messbox tragen.

Zugkräfte sollen an den Aufnahmepunkten zwischen Anzug und Gestell bestimmt werden. Das Ziel dieses Tests ist es, die gleichmäßige Verteilung der Kräfte zwischen vorderer und hinterer Befestigung zu ermitteln. Dies kann beim ausbalancieren des gesamten Systems helfen, was in einer Flugphase eine ausgewogenere und leichtere Steuerung zur Folge haben kann. Darüber hinaus können Lasten wie z.B. die Akkus, gleichmäßig angebracht werden.

Biegung tritt kann an unterschiedlichen Stellen des Messgestells auftreten. Grundsätzlich führt jede Kraft an einem Hebelarm, zu einem Moment. Die Schubkräfte der Triebwerke, greifen dabei an mehreren Punkten mit verschieden langen Hebelarmen an, was in Abhängigkeit der Länge des Hebels, sowie Betrag und Richtung der Kraft, zu je einem Beitrag an Biegung führt. Eine Möglichkeit wäre es abschnittsweise von vorne nach hinten zu messen, wodurch die Biegung je Teilsegment bestimmt werden könnte. Zusätzlich könnte man einen Nutzen der Querversteifungen abschätzen. Darüber hinaus kann man einen Links-rechts-Vergleich, gegebenenfalls auch je Teilsegment vornehmen, was auf ungleichen Schub oder auch Bauteilabweichungen hindeuten kann. In unserem Fall haben wir vereinfacht den Punkt der maximalen Biegung im Gestell bestimmt, welcher im Bild grün markiert ist. An diesem Punkt hinten mittig, wirken von beiden Seiten jeweils vier Triebwerkskräfte, mit den maximalen Hebelarmlängen, nach oben. Beitragend sind je

4 Durchführung der Messungen

Seite 120mm, 360mm und zweimal 480mm multipliziert mit der Kraft. Aufgrund des angenommenen Kräftegleichgewichtes kann die Modellbildung gleich eines Kragträgers mit halber breite als Hebelarm und vier wirkenden Triebwerken als Kraft Komponente erfolgen.

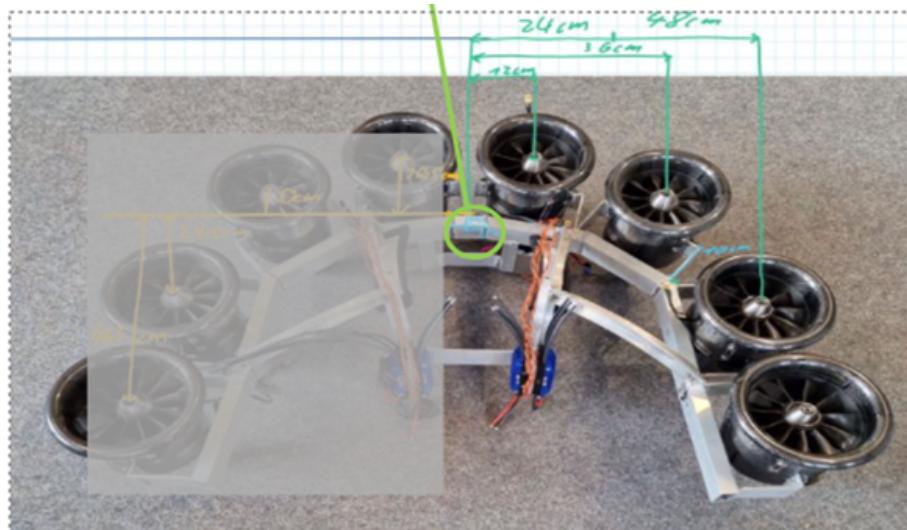


Abbildung 4.8: FlyingSuit - wirksame Hebelarme bei der Biegung

Torsion tritt, analog zur Biegung, häufig nicht in absoluter Reinform auf. Wie bei der Biegung auch sind wirkende Kräfte und Hebelarme, für entstehende Momente in den Bauteilen verantwortlich. Entscheidend für die Torsion ist die „Verdrehung“ eines Querschnittes, wodurch maximale Schubspannungen im 45° Winkel verursacht werden, welche wiederum zu einer Schubdehnung führen. In unserem Fall von Bedeutung sind z.B. die verursachte Torsion der Tragenden Struktur, an welcher parallel die Triebwerke mit einem 100mm Abstand angebracht sind. Ebenfalls kann hier segmentweise die Torsion betrachtet werden, um auch hier beispielsweise eine Abschätzung für die wirkenden Kräfte oder die Steifigkeit des Gestells vorzunehmen. Vereinfacht wurde der erdachte maximal Torsionsbelastete Punkt, im Bild grün markiert, ausgesucht. Ungleiche Triebwerksleistungen oder Bauteilabmessungen der linken und rechten Seite sind ein Grund für auftretende Torsion dort. Bei einer vereinfachten Annahme, bei welcher der Messpunkt als absolut fix betrachtet wird, lässt sich auch die Torsion aufgrund der ungleich von vorne nach hinten verteilten Triebwerke abschätzen. Im Bild erkennbar die relevante Drehachse. Eins und zwei besitzen 465mm bzw. 245mm Distanz, drei liegt auf der Achse, ist daher nicht beitragend und vier wirkt entgegen mit 105mm Abstand. Gleiches gilt auf der rechten Seite. Man beachte, dass das Bild nicht die realen Verhältnisse zeigt, entscheiden sind die numerischen Angaben.

4.3 Messungen am Flying Suit (Fluggestell) Nerb, Ulit

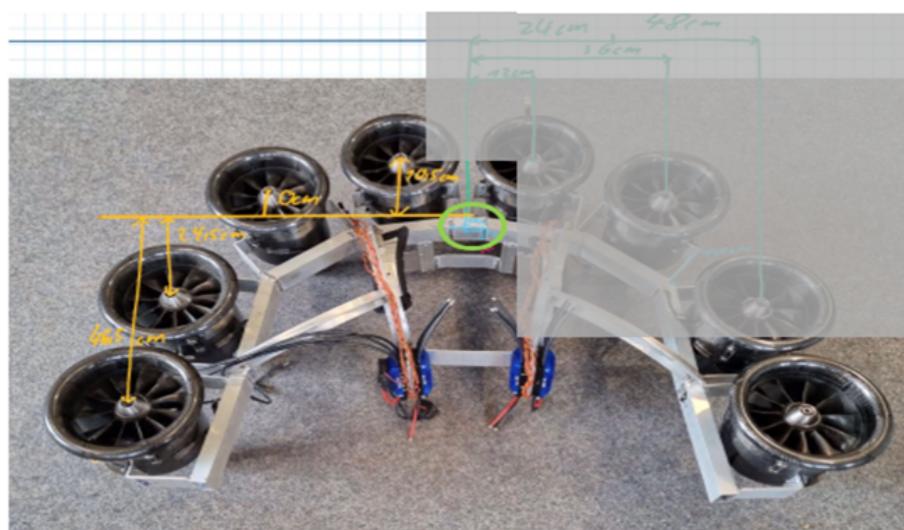


Abbildung 4.9: FlyingSuit - wirksame Hebelarme bei der Torsion

Testaufbau

Auch wenn es langfristig das Ziel ist, Messungen bei realen Testflügen durchzuführen und die Messtechnik eben dafür ausgelegt wurde, ist es zunächst wichtig anfängliche Kalibrierungen und Tests, in einer definierten Umgebung abzuhalten. In der Werkstatt von LandurisStudios besteht die Möglichkeit einen selbstentwickelten Teststand zu benutzen. Dieser ermöglicht theoretisch Lasten bis zum Materialversagen zu simulieren und eignet sich besonders für statische Versuche. Explorative dynamische Test können in sehr begrenztem Umfang ebenfalls erprobt werden. Wie der Abbildung zu entnehmen, werden die Triebwerke durch Holzplatten ersetzt, welche wiederum jeweils über einen Flaschenzug mit einem Gewicht verbunden sind. Dadurch können die Schubkräfte theoretisch beliebig experimentell simuliert werden. Am Boden ist das Fluggestell, über den vorderen und den hinteren Aufnahmepunkt, fest verankert. Sind die simulierten Schubkräfte also größer als die notwendigen 8,4Kg, um das Gestell auszugleichen, wird der Überschuss auf die Seilkräfte aufgeteilt und kann dort gemessen werden. Die real vorgefundenen Gewichte hatten eine Masse von ca. 4.0Kg +/- 0.15Kg, was sowohl durch eine Zugwaage, als auch einen eigenen Kraftaufnehmer überprüft wurde. Abzüglich der Gestell-masse, wird somit ein ca. 23.6Kg schwerer Pilot (ohne Akkus) dargestellt. Entsprechend können alle im weiteren Verlauf des Berichts durchgeführten Tests, nur eine erste Abschätzung der realen Größenverhältnisse abbilden, wobei komplexere Bauteilparameter außer Acht gelassen werden.



Abbildung 4.10: Testaufbau - Gestell eingespannt

Messaufbau

Der Messaufbau besteht aus mehreren Komponenten, beginnend bei der Messbox mit dem Datenlogger, welche provisorisch frontal am Gestell befestigt wird. Für die drei beschriebenen Testszenarien werden im einfachsten Fall, alle vier differentiellen Eingänge benötigt. An Channel 1 und Channel 2 werden je ein 200Kg-1.4mV/V Kraftaufnehmer angeschlossen. Diese werden zwischen den am Boden verankerten Seilen und den Aufnahmepunkten am Gestell mit Ringmuttern befestigt, um entsprechend die Zugkräfte aufzunehmen.



Abbildung 4.11: Messbox befestigt am Rahmen

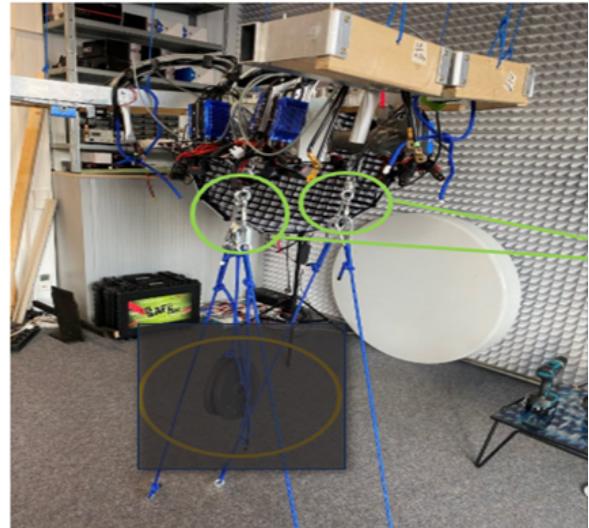


Abbildung 4.12: Kraftaufnehmer an den Aufnahmepunkten

Für den Biegeversuch werden zwei 120 Ohm DMS benötigt, welche wie zuvor beschrieben hinten mittig platziert werden. Wichtig zu erwähnen ist, das sämtliche folgende Montageschritte im nicht eingespannten, also unbelasteten Zustand, ohne simulierter Triebwerkskräfte, vorgenommen werden müssen. Die DMS werden gemäß der verwendeten Halbbrücke und zu messenden Biegung, jeweils zentral auf der Ober- und der Unterseite des Rechteckquerschnittes platziert.

Vor dem Aufkleben ist es essentiell die Oberfläche anzurauen und mit Ethyl-Alkohol gründlich zu reinigen. Zudem sind Lötstützpunkte anzubringen. Die DMS werden wie aus Kap 3 ersichtlich wird, untereinander, sowie mit dem vieradrigen Kabel, welches auf die Brückenergänzungsplatine führt, verlötet.

Der Torsionsversuch benötigt lediglich einen speziellen 120 Ohm Torsions DMS, da dieser zwei Messgitter beeinhaltet. Der Aufbau ist dabei „Pfeilförmig“ mit zwei 45° Komponenten, da so die maximalen Schubdehnungen im Querschnitt erfasst werden. Es ist anzumerken, dass aufgrund einer Fehlannahme, der DMS zu weit am Rand platziert wurde. Um die Schubdehnungen/-spannungen ideal erfassen zu können, ist dieser ebenfalls zentral und horizontal, im Querschnitt, aufzukleben. In der Abbildung wurde dies grün markiert. Die Grundsätzliche Montage erfolgt

4 Durchführung der Messungen



Abbildung 4.13: Biegungs-DMS Fluggestell

analog den Biegungs- DMS, jedoch ist bei der Verschaltung zu beachten, dass nun lediglich drei statt vier Kabel vom DMS wegführen. Diese sind gemäß Kapitel 3 zu einer sinnvollen Brückenschaltung zu verbinden.



Abbildung 4.14: Torsions- DMS; in Grün die ideale Befestigungsstelle

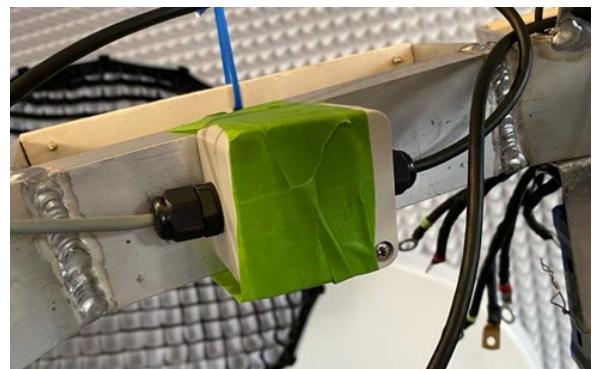


Abbildung 4.15: Platine für Halbbrückenergänzung am Gestell

4.3.3 Kalkulation/Geometrische Kalibrierung

Die Zugkräfte bei Kräftegleichgewicht:

$$F_{\text{Zug}} = \frac{\text{Körpergewicht} + (\text{Anzahl Akkus} \times 2 \text{ kg je Akku}) + 1 \text{ kg Messbox}}{2} \quad (4.1)$$

Für die Seilkräfte im Testaufbau:

$$F_{\text{Seil}} = \frac{(\text{Simulierter Schub Triebwerk} \times \text{Anzahl Triebwerke}) - 8,4 \text{ kg Gestell} - 1 \text{ kg Messbox}}{2} \quad (4.2)$$

Mit den gegebenen Werten:

$$F_{\text{Seil}} = \frac{(4 \text{ kg} \times 8) - 8,4 \text{ kg} - 1 \text{ kg}}{2} \quad (4.3)$$

$$F_{\text{Seil}} = \frac{32 \text{ kg} - 9,4 \text{ kg}}{2} = \frac{22,6 \text{ kg}}{2} = 11,3 \text{ kg} \quad (4.4)$$

Umrechnung in Newton:

$$F_{\text{Seil}} = 11,3 \text{ kg} \times 9,81 \text{ N/kg} = 110,85 \text{ N} \quad (4.5)$$

Im Testaufbau stellt sich automatisch ein Kräftegleichgewicht ein, da der Überschuss an simulierter Triebwerksleitung direkt durch die Seile aufgenommen werden.

Zur Abschätzung der Biegung und Torsion an einem Rechteckholquerschnitt wurden folgende Formeln verwendet. Die eingesetzten Zahlenwerte entsprechen den gemessenen realen Werten am Testaufbau.

Biegung:

Simulierte Kraft je Triebwerk gemittelt:

$$F_{\text{Triebwerk}} = \frac{\sum(\text{Masse Gewichte} \cdot g)}{\text{Anzahl Gewichte}} = \frac{32,17 \text{ kg} \times 9,81 \text{ N/kg}}{8} = 39,449 \text{ N} \quad (4.6)$$

Maximales Biegemoment am Messpunkt in Abhängigkeit der Hebelarme:

$$M_{\text{max}} = 2 \cdot F_{\text{Triebwerk}} \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4) \quad (4.7)$$

4 Durchführung der Messungen

$$M_{\max} = 2 \cdot 39,449 \text{ N} \cdot (120 \text{ mm} + 360 \text{ mm} + 2 \times 480 \text{ mm}) = 113613 \text{ Nmm} \quad (4.8)$$

Flächenträgheitsmoment am Rechteckholzquerschnitt:

$$I = \frac{bh^3 - b_i h_i^3}{12} \quad (4.9)$$

$$I = \frac{25 \text{ mm} \cdot 50^3 \text{ mm}^3 - 21 \text{ mm} \cdot 46^3 \text{ mm}^3}{12} = 90078,67 \text{ mm}^4 \quad (4.10)$$

Maximale Biegespannung:

$$\delta_{\max} = \frac{M_{\max}}{I} \cdot \frac{h}{2} \quad (4.11)$$

$$\delta_{\max} = \frac{113613 \text{ Nmm}}{90078,67 \text{ mm}^4} \cdot 25 \text{ mm} = 31,532 \text{ N/mm}^2 \quad (4.12)$$

Dehnung aus Spannung und Elastizitätsmodul für Aluminium:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{E} = \frac{31,532 \text{ N/mm}^2}{70000 \text{ N/mm}^2} = 0,45 \times 10^{-3} = 450 \mu\text{m/m} \quad (4.13)$$

Sensitivität berechnet in Abhängigkeit der DMS-Parameter und Halbbrückenkonfiguration:

$$\frac{U_B}{U_{\text{Ext}}} = \frac{N}{4} \cdot k \cdot \varepsilon = \frac{1}{2} \cdot 2,1 \cdot 0,45 \times 10^{-3} = 0,4725 \text{ mV/V} \quad (4.14)$$

Brückenspannung:

$$U_B = U_{\text{Ext}} \cdot 0,4725 \text{ mV/V} = 1,936 \text{ V} \quad (4.15)$$

Torsion:

Torsionsmoment um Querachse des Gestells:

$$M_{\text{Torsion}} = F \sum l_{\text{rechtsdrehend}} - F \sum l_{\text{linksdrehend}} \quad (4.16)$$

$$M_{\text{Torsion}} = 2 \cdot 39,449 \text{ N} \cdot (245 \text{ mm} + 465 \text{ mm}) - 2 \cdot 39,449 \text{ N} \cdot 105 \text{ mm} = 47734,5 \text{ Nmm} \quad (4.17)$$

4.3 Messungen am Flying Suit (Fluggestell) Nerb, Ulit

Widerstandsmoment des Querschnitts:

$$J_{\text{polar}} = \frac{bh^3}{3} \left(1 - \left(\frac{h_{\text{innen}}}{h} \right)^3 \right) \quad (4.18)$$

$$J_{\text{polar}} = \frac{25 \text{ mm} \cdot 50^3 \text{ mm}^3}{3} \left(1 - \left(\frac{46 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right)^3 \right) = 230533,33 \text{ mm}^4 \quad (4.19)$$

Torsionsspannung im Abstand r zur Mittelachse:

$$\tau_{\text{Torsion}} = \frac{M_{\text{Torsion}} \cdot r}{J} \quad (4.20)$$

$$\tau_{\text{Torsion}} = \frac{25 \text{ mm} \cdot 47734,5 \text{ Nmm}}{230533,33 \text{ mm}^4} = 5,177 \text{ N/mm}^2 \quad (4.21)$$

Schubdehnung:

$$\gamma = \frac{\tau_{\text{Torsion}}}{G} = \frac{5,177 \text{ N/mm}^2}{26000 \text{ N/mm}^2} = 199 \mu\text{m/m} \quad (4.22)$$

Gemessene Dehnung im DMS:

$$\varepsilon = \frac{\tau_{\text{Torsion}}}{E} = 74 \mu\text{m/m} \quad (4.23)$$

Sensitivität in Abhängigkeit der DMS-Parameter, zwei aktive Messgitter:

$$\frac{U_B}{U_{\text{Ext}}} = \frac{N}{4} \cdot k \cdot \varepsilon = \frac{1}{2} \cdot 2,06 \cdot 0,074 \times 10^{-3} = 0,0762 \text{ mV/V} \quad (4.24)$$

Brückenspannung:

$$U_B = U_{\text{Ext}} \cdot 0,0762 \text{ mV/V} = 0,312 \text{ V} \quad (4.25)$$

4.4 Durchführung der Tests am Flying Suit Nerb, Ulit

4.4.1 Kraftaufnehmer

Zu Beginn des Tests sind die beiden Kraftaufnehmer entsprechend ihren Herstellerangaben in der Software zu Kalibrieren. Bei 200kg maximal zulässiger Last besitzen diese eine Sensitivität von 1.4mV/V. Multipliziert mit der Versorgungsspannung von 4.096 V ergibt sich ein Messbereich von 5,344V bzw. 9,76V in den Einstellungen. Experimentell wurde die Funktionstüchtigkeit der Kraftaufnehmer, durch Probemessungen definierter Gewichte, sowie dem Vergleich mit analogen Messvorrichtungen bestätigt. Durch die Rechnungen wurde eine gemessene Last je Kraftaufnehmer, von ca. 11,3 kg erwartet. Zunächst wurde das Gestell mit den in der Beschreibung des Testaufbaus genannten Gewichten statisch belastet. Durch unterschiedlich stark gespannte Seile des Testaufbaus, kam es hierbei zu deutlichen Abweichungen, sodass das eingespannte Gestell manuell ausgerichtet werden musste. Auch wenn hierbei darauf geachtet wurde, den Aufbau so gerade wie möglich auszurichten, um eine ungefähr gleiche Lastverteilung zu erhalten, ist es nicht auszuschließen, dass ein frei hängender Testaufbau hiervon abweichen könnte. Eine gleichmäßige Lastverteilung der Aufnahmepunkte zwischen Anzug und Gestell, ist damit nicht einwandfrei nachgewiesen. Die in Abbildung 4.16 zusehenden Messwerte, stimmen jedoch weitestgehend mit der Theorie überein.



Abbildung 4.16: Messung Kraftaufnehmer

Im weiteren Verlauf wurde versucht neben dem statischen Test, auch erste dynamische Belastung zu simulieren. Ziel hierbei war es zum einen die Darstellungsmöglichkeiten der Software näher kennenzulernen, als auch das tatsächliche Verhalten einer Steuereingabe am Gestell zu analysieren.

Dabei wurden bekannte Gewichte abwechselnd an unterschiedliche Seiten des Gestells gehangen und auf Kommando losgelassen, siehe Abbildung 4.17.

Der Zeitpunkt des einhängen und der Verlauf des einpendeln um eine neue Gleichgewichtslage, konnte dabei graphisch verfolgt werden. Als praktikabel erwies es sich, Zeitabschnitte von 30 Sekunden zu plotten und als CSV- Datei für eine spätere Auswertung zu speichern. Die oberflächlich betrachtet saubersten Graphen- Verläufe, konnten bei einer Abtastfrequenz von 128Hz erzielt werden, siehe Abbildung 4.18.

4.4 Durchführung der Tests am Flying Suit Nerb, Ulit

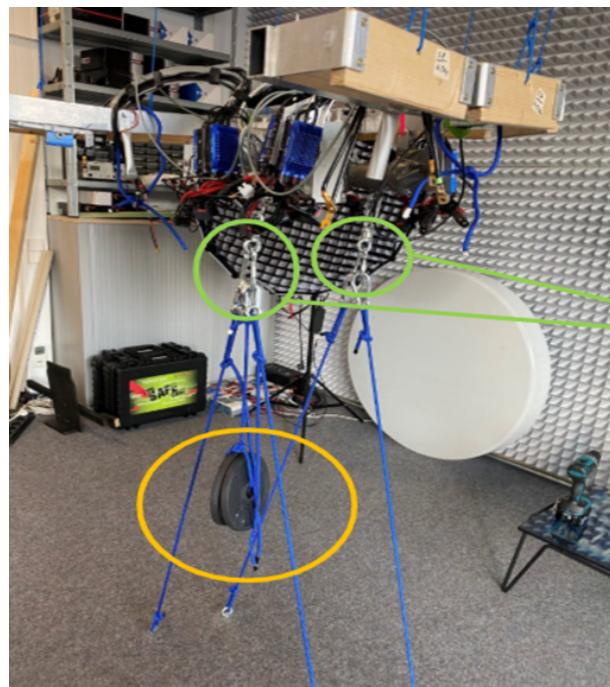


Abbildung 4.17: Kraftaufnehmer Gewichte

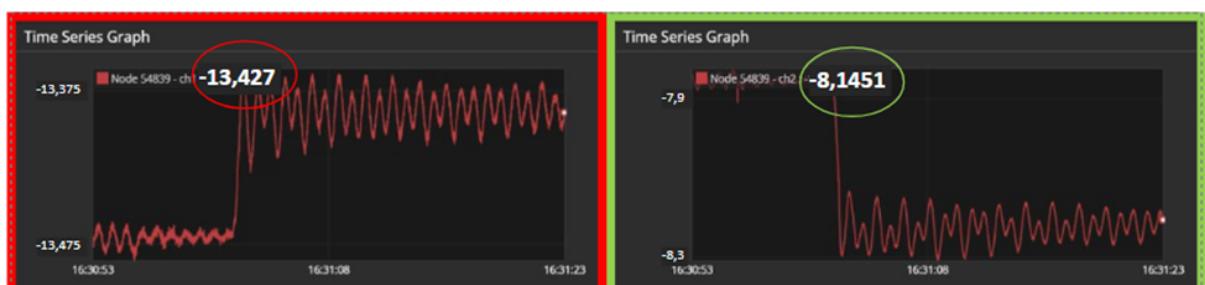


Abbildung 4.18: Graphenverlauf Kraftaufnehmer

4.4.2 Biegebeanspruchung

Auch beim Test der Biegebeanspruchung muss vor Anfang der Messungen eine Kalibrierung stattfinden. Die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Messbox, im Zusammenspiel mit Dehnungsmesstreifen, wurde bereits in einem Vorherigen Abschnitt am Biegebalken nachgewiesen. Speziell zu Vorbereitung dieses Versuchs, wurde die interne Shunt- Kalibrierung durch eine Testmessreihe, ebenfalls am Biegebalken geprüft, sodass diese verwendet werden konnte. In Betrachtung des Testaufbaus und der Messaufgabe, schien die Shunt- Kalibrierung als die praktikabelste, da sich die experimentelle Bestimmung schwierig gestaltet hätte, siehe Abbildung 4.19.

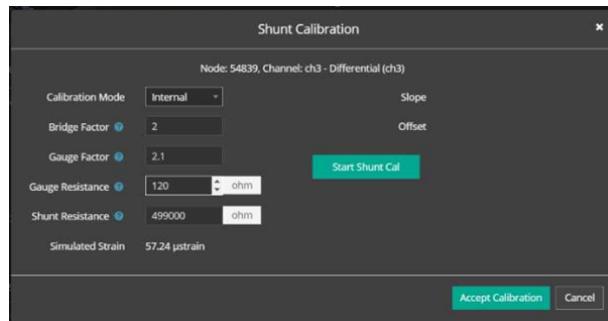


Abbildung 4.19: Shunktalibrierungseinstellungen

Um einen ungefähren Messbereich der zu erwartenden Biegespannung bzw. gemessen Biegedehnung, zu erhalten, kann die unter Kapitel 4.3.3 durchgeführte Berechnung herangezogen werden. Es ist anzumerken, dass die errechneten Werte relativ grobe Abschätzungen der erwarteten realen Werte darstellen, da weder exakte Material-Parameter vorliegen noch die Versteifungen berücksichtigt wurden. Analog zum Zugversuch wurden zunächst statische Messungen vorgenommen, um anschließend erste dynamische Versuche durchzuführen. Dazu wurden erneut Lasten als Störung des ursprünglichen Gleichgewichtszustandes in das System gegeben.

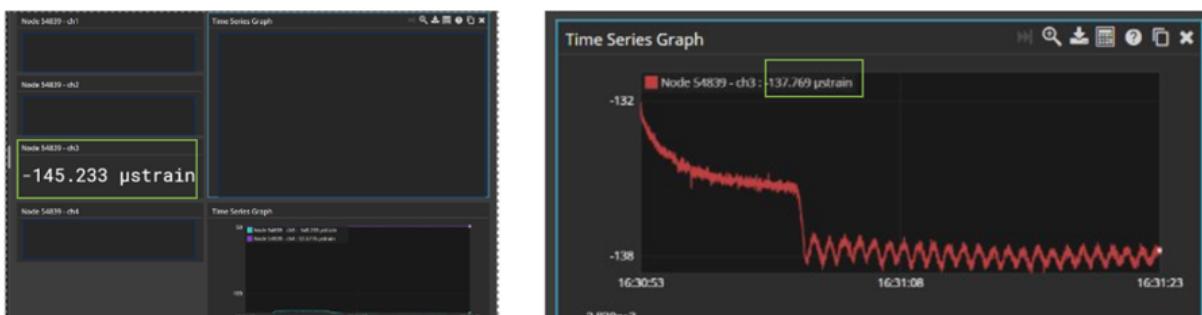


Abbildung 4.20: Dynamische Messung

Die linke Seite von Abbildung 4.20 zeigt die statisch gemessene Biegedehnung im statischen Zustand. Der Wert stimmt dabei nicht mit der errechneten Dehnung von $450 \mu\text{m}/\text{m}$ ein, ist jedoch ungefähr im gleichen Bereich. Rechts in Abbildung 4.20 ist exemplarisch eine Belastung

mit einer 5 kg Masse an der Rückseite des Gestells zu sehen. Die tatsächliche Aussagekraft dieses Tests ist allerdings eingeschränkt. Mechanisch betrachtet findet, aufgrund der losen Lagerung der Gewichte im Testaufbau, lediglich eine Umverteilung der Kräfte statt. Die in den Halteseilen aufgenommene Kraft wird hierbei durch Gewichtskraft ersetzt. Dennoch kann gezeigt werden, dass die Darstellung der Belastungen über der Zeit, eindeutig gemessen werden kann.

4.4.3 Torsionsbeanspruchung

Das Vorgehen bei der Ermittlung der Torsionsbeanspruchung ist im Grunde analog zum Biegeversuch. Bei der Shunt- Kalibrierung muss lediglich der leicht andere Gauge- Faktor von 2.06 beachtet werden. Für einen Vergleich der erwarteten mit den tatsächlichen Messwerten, ist erneut die rechnerische Abschätzung hinzuzuziehen.

Links auf Abbildung 4.21 ist auch hier die gemessene statische Torsionsdehnung im DMS zu sehen. Vergleicht man dies mit den errechneten $74 \mu\text{m}/\text{m}$, sind die Abweichungen nochmals kleiner als bei der Biegung. Ergänzend hinzuzufügen ist, dass aufgrund der nicht zentralen Platzierung des Torsions- DMS, die gemessene Dehnung geringer ist als die maximal vorliegende. Rechts in Abbildung 4.21 zeigt den Verlauf beim dynamischen Versuch mit einer 5 kg Masse hinten. Auch hier ist er tatsächliche mechanische Erkenntnisgewinn in Frage zu stellen. Dennoch ist das Ziel einer Darstellung des Belastungsverlauf erfüllt.

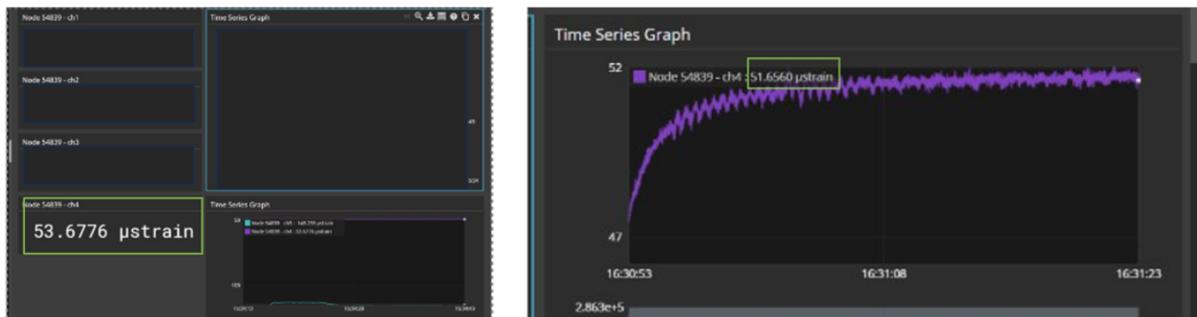


Abbildung 4.21: Torsionsbeanspruchung

5 | Software und Datenverarbeitung *Grote*

5.1 SensorConnect *Grote*

Im Rahmen dieses Projekts wird die Software SensorConnect zur Erfassung und Analyse von Sensordaten eingesetzt. SensorConnect ist eine Anwendung, die speziell für die Verarbeitung von Messwerten aus DMS, Kraftsensoren und anderen präzisen Messsystemen konzipiert wurde. Sie bietet eine benutzerfreundliche Oberfläche, mit der Sensordaten in Echtzeit erfasst, visualisiert und analysiert werden können. Ein wesentliches Merkmal von SensorConnect ist die Echtzeit-Datenvisualisierung, die eine unmittelbare Überprüfung der Messwerte ermöglicht. Dies ist besonders in Anwendungen mit dynamischen Lasten oder schnellen Veränderungen der Messgrößen von Vorteil. Zudem erlaubt die Software die Speicherung der erfassten Daten zur späteren Auswertung, was eine detaillierte Analyse und Nachbearbeitung ermöglicht. Die Konfiguration der Sensoren erfolgt über eine intuitive Benutzeroberfläche, die eine schnelle Einrichtung und Kalibrierung ermöglicht. Die Software unterstützt Mehrkanal-Messungen, wodurch mehrere Sensoren gleichzeitig überwacht werden können. Dies ist insbesondere in komplexen Messaufbauten von großer Bedeutung. Darüber hinaus können benutzerdefinierte Schwellenwerte und Alarme eingestellt werden, um Grenzwertüberschreitungen frühzeitig zu erkennen. Ein weiterer Vorteil von SensorConnect ist die Flexibilität beim Export der Messdaten. Die erfassten Werte lassen sich in verschiedenen Formaten, wie CSV oder Excel, speichern und zur Weiterverarbeitung in anderen Softwarelösungen, wie zum Beispiel nCode, verwenden. Dadurch wird eine nahtlose Integration in bestehende Analyseprozesse ermöglicht. Aufgrund dieser Eigenschaften eignet sich SensorConnect besonders für wissenschaftliche und industrielle Anwendungen, in denen präzise Messungen erforderlich sind. Im Rahmen dieses Projekts wird die Software verwendet, um die Sensordaten effizient zu erfassen und zu analysieren, wodurch eine detaillierte Untersuchung der relevanten Messgrößen ermöglicht wird.

5.1.1 Installation und Einrichtung

Die Installation und Einrichtung der SensorConnect-Software war der erste Schritt, um die Messdaten von den Sensoren zu erfassen und analysieren zu können. Im Folgenden werden die notwendigen Schritte zur Installation und Konfiguration beschrieben:

1. **Download der Software:** Besuch der offiziellen Website¹ von SensorConnect und herunterladen der neuesten Version der Software.
2. **Installation:** Ausführen des Installationsprogramm und befolgen der Installationsanweisungen auf dem Bildschirm. Hierbei muss insbesondere sichergestellt werden, dass alle für die Messungen erforderlichen Komponenten installiert werden.

¹<https://www.microstrain.com/software/sensorconnect>.

3. **Erstkonfiguration:** Starten der Software und Ausführen der Erstkonfiguration. Dies umfasst die Einrichtung der Benutzeroberfläche, die Konfiguration der Sensorverbindungen und die Anpassung der Softwareeinstellungen an Ihre spezifischen Anforderungen.
4. **Firmware-Updates:** Vor der ersten Benutzung und dem Ausführen von Funktionstests wurde die Firmware der drei Geräte aktualisiert, um sicherzustellen, dass sie mit der neuesten Softwareversion kompatibel sind.
5. **Datenspeicher:** SensorConnect speichert die Daten und Konfigurationen der Sensoren in einem speziellen Ordner, welcher bei Bedarf angepasst werden kann. Es ist ratsam, diesen Ordner regelmäßig zu sichern, um Datenverlust zu vermeiden.

5.1.2 Verbindung mit Sensoren

Nach der Installation und Einrichtung der Software ist der nächste Schritt die Verbindung mit den Sensoren. SensorConnect unterstützt eine Vielzahl von Sensoren und bietet eine benutzerfreundliche Oberfläche zur Verwaltung der Verbindungen. Für unser Projekt wurden uns zwei Sensorknoten vom Typ V-Link-200 zur Verfügung gestellt, welche über einen USB-Stick mit einem Computer verbunden werden können. Die folgenden Schritte beschreiben, wie die Sensoren mit der Software verbunden werden:

1. **Sensoren einschalten:** Vor dem Verbinden mit der Software müssen die Sensoren eingeschaltet und betriebsbereit sein. Dies erfolgt durch Drücken des Ein-/Ausschalters an den Sensorknoten.
2. **USB-Stick anschließen:** Anschließen des USB-Sticks an den Computer, um die Verbindung zwischen den Sensoren und der Software herzustellen. Der USB-Stick dient als Schnittstelle zwischen den Sensoren und dem Computer.
3. **Sensoren erkennen:** Öffnen von SensorConnect und Aufrufen des Menüpunkts "Devices". Die Software sollte die angeschlossenen Sensoren automatisch erkennen.
4. **Sensoren konfigurieren:** Auswählen der erkannten Sensoren und Konfiguration der Seneoreinstellungen, wie z.B. Abtastrate, Messbereich und Kalibrierungsparameter.
5. **Verbindung testen:** Ausführen eines Verbindungstests, um sicherzustellen, dass die Sensoren korrekt mit der Software kommunizieren. Dies umfasst das Senden von Testbefehlen an die Sensoren und das Überprüfen der Antwortzeiten.
6. **Sensoren kalibrieren:** Kalibrieren der Sensoren, um sicherzustellen, dass die Messwerte präzise und zuverlässig sind. Die Kalibrierung sollte regelmäßig durchgeführt werden, um die Genauigkeit der Messungen zu gewährleisten.
7. **Sensoren überwachen:** Überwachen der Sensoren in Echtzeit über die Benutzeroberfläche von SensorConnect, um sicherzustellen, dass die Messwerte stabil und konsistent sind.

5.1.3 Datenaufzeichnung und Live-Datenübertragung

SensorConnect bietet die Möglichkeit, Sensordaten in Echtzeit zu erfassen und aufzuzeichnen. Dies ermöglicht eine kontinuierliche Überwachung der Messwerte und eine detaillierte Analyse der Daten. Die folgenden Schritte beschreiben, wie die Datenaufzeichnung und Live-Datenübertragung durchgeführt werden können:

1. **Aufzeichnungsparameter festlegen:** Festlegen der Parameter für die Datenaufzeichnung, wie zum Beispiel die Dauer der Aufzeichnung, die Abtastrate und das Speicherformat.
2. **Aufzeichnung starten:** Starten der Datenaufzeichnung durch Klicken auf die Schaltfläche "Sample".
3. **Einstellen der Messparameter:** Auswählen der zu erfassenden Kanäle und Festlegen der Abtastrate. Hier wird ebenfalls eingestellt, ob die Daten nur im internen Speicher des Sensors gespeichert und/oder an den Computer übertragen werden sollen.
4. **Aufzeichnung überwachen:** Überwachen des Fortschritts der Datenaufzeichnung in Echtzeit über die Benutzeroberfläche von SensorConnect.
5. **Aufzeichnung beenden:** Beenden der Datenaufzeichnung durch Zurücksetzen des Sensors in den Leerlauf. Die erfassten Daten werden automatisch gespeichert.
6. **Sensoren speichern:** Die Sensorkonfiguration wird bis zur nächsten Messung gespeichert, um eine schnelle Wiederverwendung zu ermöglichen. Sollten verschiedene Konfigurationen benötigt werden, können diese unabhängig voneinander in verschiedenen Dateien gespeichert und bei Bedarf geladen werden.

5.1.4 Datenanalyse

Nach der Datenaufzeichnung bietet SensorConnect leistungsstarke Werkzeuge zur Analyse der erfassten Daten. Die folgenden Schritte beschreiben, wie eine Datenanalyse durchführt werden kann:

1. **Beenden der Messaufzeichnung:** Beenden der Messaufzeichnung und laden der erfassten Daten in die Software.
2. **Analysewerkzeuge auswählen:** Auswahl der gewünschten Analysewerkzeuge, wie zum Beispiel statistische Auswertungen, Frequenzanalysen oder Zeitreihenanalysen.
3. **Daten analysieren:** Ausführen der Analyse und Interpretation der Ergebnisse. SensorConnect bietet umfangreiche Visualisierungsmöglichkeiten, um die Analyseergebnisse anschaulich darzustellen.

- 4. Ergebnisse speichern:** Speichern der Analyseergebnisse und erstellen von Berichten oder Präsentationen.

5.1.5 Datenexport

SensorConnect ermöglicht den Export der erfassten und analysierten Daten in verschiedene Formate, um die Weiterverarbeitung oder Archivierung zu erleichtern. Die folgenden Schritte beschreiben den Datenexport:

- 1. Daten auswählen:** Auswahl der Daten, die exportiert werden sollen. Es können entweder die gesamten Daten oder nur bestimmte Datensätze exportiert werden.
- 2. Export durchführen:** Durchführen des Exports und Speicherung der exportierten Dateien an einem gewünschten Speicherort.
- 3. Export überprüfen:** Überprüfen der exportierten Dateien, um sicherzustellen, dass alle Daten korrekt und vollständig exportiert wurden.

5.1.6 Darstellung und Visualisierung der Messwerte

Zur besseren Vorstellung der Möglichkeiten von SensorConnect, wird im Folgenden ein Beispiel für die Darstellung und Visualisierung von Messwerten gegeben. Die Software bietet eine Vielzahl von Werkzeugen zur Visualisierung von Sensordaten, die es ermöglichen, die Messwerte in Echtzeit zu überwachen und detaillierte Analysen durchzuführen. Das folgende Beispiel zeigt, wie die Messwerte in verschiedenen Formaten dargestellt werden können:

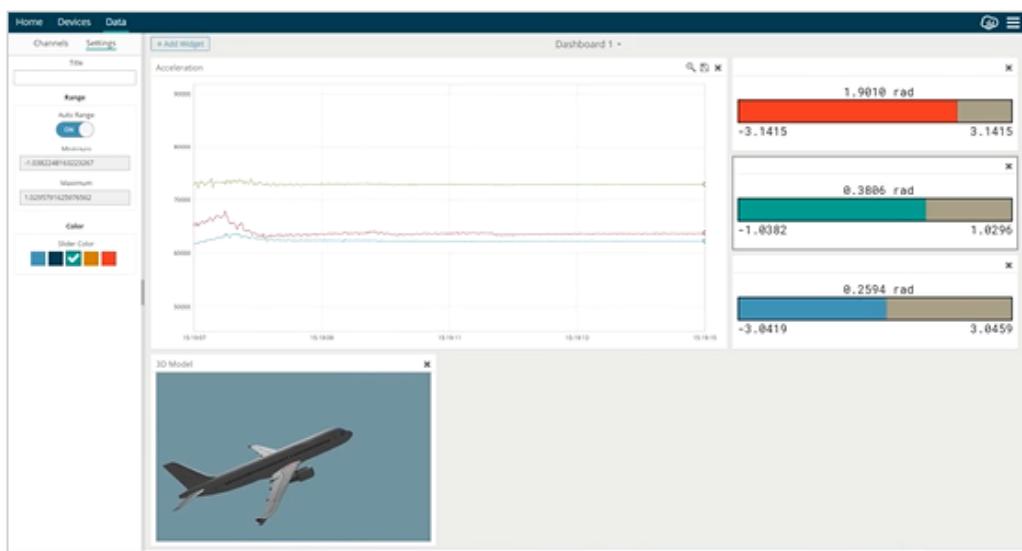


Abbildung 5.1: SensorConnect

5.2 nCode Grote

Im Rahmen dieses Projekts wird die Software nCode zur Erfassung, Analyse und Auswertung von Messdaten eingesetzt. nCode ist eine leistungsfähige Softwarelösung, die speziell für die Lebensdaueranalyse, Belastungsdatenauswertung und Signalverarbeitung entwickelt wurde. Sie wird häufig in den Bereichen Fahrzeugtechnik, Maschinenbau, Luft- und Raumfahrt sowie strukturelle Überwachung eingesetzt, um Daten aus realen Tests oder Simulationen effizient auszuwerten. Ein zentraler Vorteil von nCode ist die umfassende Unterstützung für verschiedene Sensordaten, darunter Dehnung, Beschleunigung, Temperatur und andere physikalische Größen. Die Software bietet leistungsfähige Werkzeuge zur Datenfilterung, Signalanalyse und Ermüdbungsbewertung, wodurch es möglich ist, kritische Belastungen und potenzielle Schwachstellen in Bauteilen zu identifizieren. Die intuitive Benutzeroberfläche von nCode erleichtert die Datenaufbereitung und Automatisierung von Analyseprozessen. Dank der Möglichkeit, Python-Skripte und benutzerdefinierte Workflows zu integrieren, kann die Software flexibel an spezifische Anforderungen angepasst werden. Darüber hinaus unterstützt sie eine Vielzahl an Dateiformaten, sodass Messdaten aus verschiedenen Quellen problemlos verarbeitet werden können. Durch den Einsatz von nCode in diesem Projekt können große Mengen an Sensordaten systematisch analysiert und relevante Erkenntnisse zur Beanspruchung und Lebensdauer von Bauteilen gewonnen werden. Dies trägt dazu bei, fundierte Entscheidungen zur Optimierung und Sicherheit von Konstruktionen zu treffen und die Effizienz der Entwicklungsprozesse zu steigern.

5.2.1 Installation und Einrichtung

Die Installation und Einrichtung der nCode-Software war der erste Schritt, um die Messdaten zu verarbeiten und zu analysieren. Im Folgenden werden die notwendigen Schritte zur Installation und Konfiguration beschrieben:

1. **Download der Software:** Besuch der Website² und Herunterladen der neuesten Version von nCode über die Universität.
2. **Installation:** Ausführen des Installationsprogramms und Befolgen der Installationsanweisungen auf dem Bildschirm. Hierbei muss insbesondere sichergestellt werden, dass alle für die Datenverarbeitung erforderlichen Komponenten installiert werden.
3. **Erstkonfiguration:** Starten der Software und Ausführen der Erstkonfiguration. Dies umfasst die Einrichtung der Benutzeroberfläche, die Konfiguration der Datenverbindungen und die Anpassung der Softwareeinstellungen an Ihre spezifischen Anforderungen.
4. **Lizenziierung:** Aktivieren der Softwarelizenz, um alle Funktionen der nCode-Software nutzen zu können.

²<https://wiki.unibw.de/pages/viewpage.action?pageId=103779828>.

5.2.2 Import von Daten

Nach der Installation und Einrichtung der Software ist der nächste Schritt der Import der Sensordaten. Die folgenden Schritte beschreiben, wie die Daten in die Software importiert werden:

1. **Datenquelle auswählen:** Auswahl der Datenquelle, aus der die Sensordaten importiert werden sollen, z.B. CSV-Dateien, Excel-Dateien oder Datenbanken.
2. **Daten importieren:** Importieren der ausgewählten Daten in die nCode-Software. Die Software bietet verschiedene Importoptionen, um den Prozess zu erleichtern. Hierbei muss insbesondere darauf geachtet werden, dass bei der Kanalauswahl die richtigen Sensorkanäle ausgewählt werden.
3. **Daten überprüfen:** Überprüfen der importierten Daten, um sicherzustellen, dass alle Daten korrekt und vollständig importiert wurden.
4. **Datenbereinigung:** Bereinigen der Daten, um fehlerhafte oder unvollständige Datensätze zu entfernen. Dies umfasst das Filtern von Ausreißern, das Auffüllen fehlender Werte und das Korrigieren von Messfehlern.

5.2.3 Einlesen und Verarbeiten der Daten und die anschließende Ausgabe

Nach dem Import der Sensordaten bietet nCode leistungsstarke Werkzeuge zur Verarbeitung und Analyse der Daten. Die folgenden Schritte beschreiben, wie die Daten eingelesen und verarbeitet werden können:

1. **Einfügen der Zeitreihe:** Einfügen der importierten Zeitreihendaten in die nCode-Software. Die Software bietet verschiedene Werkzeuge zur Datenvisualisierung und -analyse, um die Daten effizient zu verarbeiten.
2. **Auswahl der erforderlichen Werkzeuge:** Für jede Datenauswertung und -analyse stehen verschiedene Werkzeuge zur Verfügung, die je nach Anforderung ausgewählt werden können.
3. **Daten verarbeiten:** Verarbeiten der Daten mit den integrierten Werkzeugen zur Signalanalyse, wie z.B. Filterung, Glättung und Interpolation. Dies ermöglicht eine detaillierte Untersuchung der Messwerte und die Identifizierung von relevanten Informationen.
4. **Daten analysieren:** Ausführen von Analysen, um Muster, Trends und Anomalien in den Daten zu identifizieren. Die Software bietet verschiedene Analysewerkzeuge, wie z.B. statistische Auswertungen, Frequenzanalysen und Zeitreihenanalysen.
5. **Ergebnisse überprüfen:** Überprüfen der Analyseergebnisse, um sicherzustellen, dass alle relevanten Informationen korrekt und vollständig erfasst wurden.

5.2.4 Darstellung und Visualisierung der Messwerte

Zur besseren Vorstellung der Möglichkeiten von nCode, wird im Folgenden ein Beispiel für die Darstellung und Visualisierung von Messwerten gegeben. Die Software bietet eine Vielzahl von Werkzeugen zur Visualisierung von Sensordaten, die es ermöglichen, die Messwerte in Echtzeit zu überwachen und detaillierte Analysen durchzuführen. Das folgende Beispiel zeigt, wie man eventuelle Spikes, welche während einer Messung aufgetreten sind, identifizieren und herausfiltern kann:

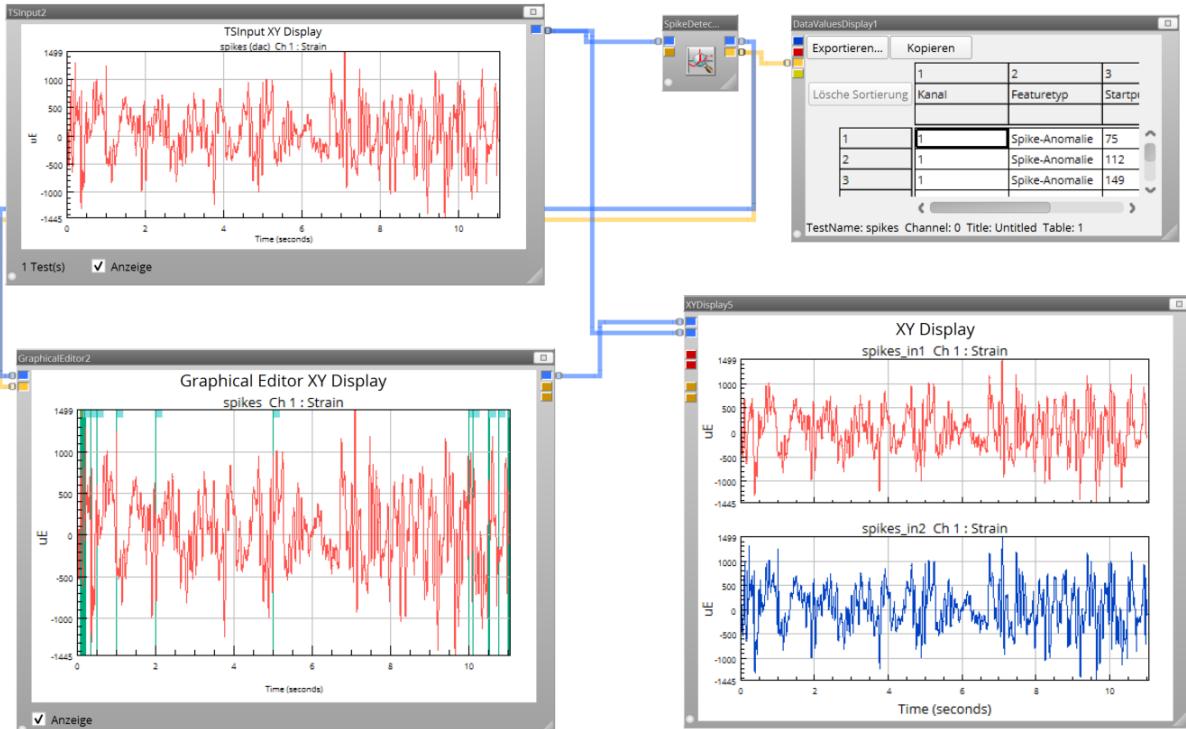


Abbildung 5.2: Spike Detection

6 | Fazit

Die Arbeit am durchgeföhrten Projekt stellte für uns eine neue Erfahrung dar, die uns wertvolle Einblicke in die Bereiche der Elektrotechnik und Mechanik ermöglichte. Wir konnten interessante, praktische Arbeiten verrichten und viel über die Planung von Projekten im Team lernen.

6.1 Erkenntnisse

Um die gesammelten Erfahrungen und Messungen später verwenden zu können ist eine genau Dokumentation derer nötig. Wenn etwas nicht festgehalten wird ist es im nach hinein schwer nachzuvollziehen. Bei größeren Projekten ist es wichtig, einen klaren Plan und eine klare Rollenverteilung zu haben.

6.2 Schwierigkeiten und Lösungsansätze

6.2.1 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.

6.2.2 Gelieferte Konfiguration des VLINK200

Wie bereits in Kapitel 2 beschrieben haben wir am Anfang des Projekts sehr viel Zeit verloren weil wir versucht hatten, eine Konfiguration zu nutzen, die in der Hardware nicht umgesetzt war. Dadurch ergab sich die Suche nach dem Problem an der falschen Stelle. Die Tatsache, dass wir die DMS nicht direkt an den Node anschließen konnten führte zu einer viel höheren Komplexität des Projekts als ursprünglich angenommen.

6.3 Ausblick

Die grundsätzliche Funktion des Messdatenloggers ist mit den zuvor beschriebenen Testszenarien nachgewiesen. In Zukunft können komplexere und mechanisch sinnvollere Versuche, einen echten Mehrwert zu der Entwicklung des FlyingSuits beitragen. Denkbar wäre z.B. die Belegung der vier übrigen Analogen Eingänge mit Sensoren, wie z.B. Beschleunigungssensoren. Zudem ermöglicht der VLink 200, den Betrieb zweier Datenlogger gleichzeitig, was die doppelte Anzahl an Messpunkten zur Folge hätte. Hierdurch könnten die in der Testbeschreibung angesprochenen segmentweisen Biegungs- und Torsionstests realisiert werden. Darüber hinaus bleibt es das finale Ziel, Messwerte aus einem realen Flugversuch zu gewinnen.

Was das Fahrrad betrifft, so kann der entwickelte Aufbau in WPMs oder ähnlichen Veranstaltungen Verwendung finden. Auch hier könnten weitere Sensoren, wie beispielsweise Beschleunigungssensoren angeschlossen werden.

A | Anhang

A.1 Anhang 1

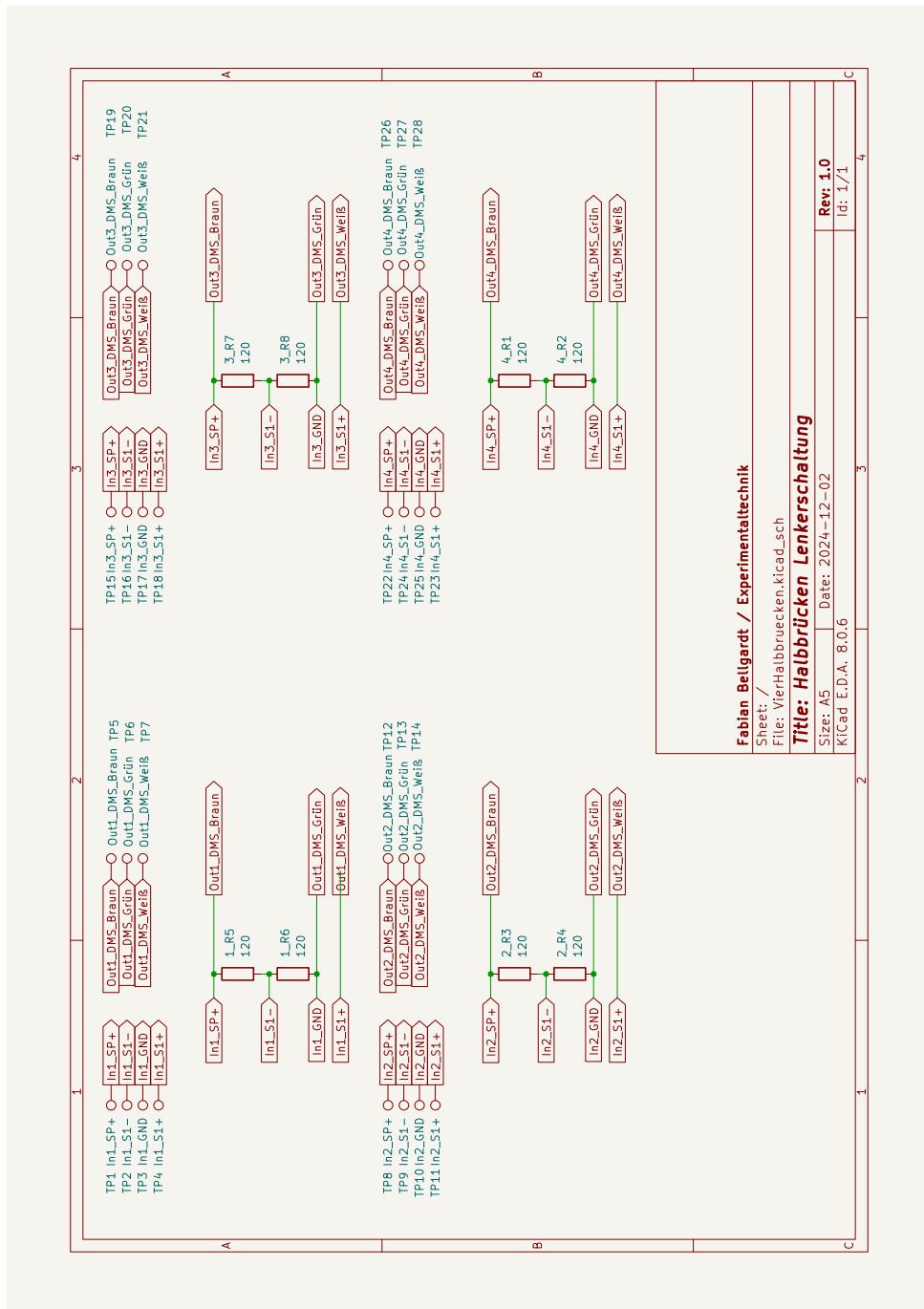


Abbildung A.1: Schaltung Lenkerplatine

Literaturverzeichnis

Verweise

- [1] Microstrain, *VLink200 Manual*, Microstrain, Hrsg. <http://www.microstrain.com/sites/default/files/v-link-200_user_manual_8500-0063.pdf> (besucht am 23.02.2025).
- [2] L. Channel, *Wheatstone-DMS-Messbrücke-Viertel-Halb-Vollbrücke*, L. Channel, Hrsg. <<https://learnchannel-tv.com/wp-content/uploads/2020/12/Wheatstone-DMS-Messbrücke-Viertel-Halb-Vollbrücke-1024x423.png>> (besucht am 20.02.2025).
- [3] KiCad, *KiCad Website*, KiCad, Hrsg. <<http://kicad.org>> (besucht am 20.02.2025).
- [4] K. Landuris, *Landuris Website*, K. Landuris, Hrsg. <<https://www.landuris.com/>> (besucht am 20.02.2025).