



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Manda Jacob

Entwicklung eines Messlenkrades nach ECE R79 mit drahtloser Datenübertragung

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

Manda Jacob

**Entwicklung eines Messlenkrades nach
ECE R79 mit drahtloser
Datenübertragung**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Fahrzeugbau
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:
Gesellschaft für Technische Überwachung mbH
Vor dem Lauch 25
70567 Stuttgart

Erstprüfer/in: Prof. Dr. Dirk Adamski
Zweitprüfer/in: Dipl.-Ing. Axel Sprenger

Abgabedatum: 25.02.2022

Zusammenfassung

Manda Jacob

Thema der Bachelorthesis

Entwicklung eines Messlenkrades nach ECE R79 mit drahtloser Datenübertragung.

Stichworte

Drahtlos, Funkübertragung, optische Datenübertragung, Übertragungstechniken, Drehmomentmessung, DMS

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit umfasst die Konzeptentwicklung eines Messlenkrades mit drahtloser Datenübertragung unter Berücksichtigung der ECE R79. Mithilfe geeigneter Methoden aus der technischen Produktentwicklung werden verschiedene Lösungsideen hinsichtlich der Integration einer drahtlosen Datenübertragung in ein bestehendes Messlenkrad entwickelt. Zuvor werden grundlegende Informationen zum Aufbau und der Funktionsweise von Messlenkrädern sowie über drahtgebundene und drahtlose Datenübertragungsmöglichkeiten aufgezeigt. Durch geeignete Analyse- und Bewertungsmethoden aus der technischen Produktentwicklung ergibt sich aus den verschiedenen Lösungsideen ein geeignetes Konzept, welches zum Ende kritisch beleuchtet wird. Hiernach endet die Arbeit mit einem finalen Ausblick.

Manda Jacob

Title of the paper

Development of a measuring steering wheel according to ECE R79 with wireless data transmission

Keywords

wireless, radio, optical data transfer, transmission methods, torque measurement, strain gauges

Abstract

This thesis includes the concept development of a measuring steering wheel with wireless data transmission considering the ECE R79. With the help of suitable methods from technical product development, various solution ideas are being developed regarding the integration of wireless data transmission into an existing measuring steering wheel. Before that, basic knowledge about the structure and functionality of measuring steering wheels as well as about wired and wireless data transmission options are shown. Through suitable analysis and evaluation methods, a suitable concept results from the various solution ideas, which is critically examined at the end. The work ends with a final outlook.

Inhaltsverzeichnis

I	Abkürzungsverzeichnis	6
II	Tabellenverzeichnis	6
III	Abbildungsverzeichnis	7
1	Einleitung	8
1.1	Aufgabenstellung	8
1.2	Motivation und Ziel der Arbeit	9
2	Grundlagen zu Messlenkrädern	10
2.1	Grundsätzlicher Aufbau	10
2.2	Grundsätzliche Funktionsweise	11
2.3	Der Markt	14
3	Grundlagen zur Datenübertragung	17
3.1	Kabelgebundene Datenübertragung	17
3.2	Kabelungebundene Datenübertragung	18
4	Das Messlenkrad der GTÜ	24
5	Voraussetzungen an das Messlenkrad	26
5.1	Die ECE R79	26
5.2	Anforderungsliste	27
5.3	Soll-Ist-Vergleich	28
6	Konzeptentwicklung	30
6.1	Funktionsstruktur	30
6.2	Ermittlung von Lösungskonzepten	31
6.2.1	Kreativworkshop	31
6.2.2	Marktanalyse	33
6.2.3	Morphologischer Kasten	38
6.3	Analyse und Bewertung der Lösungskonzepte	40
7	Der Lösungsvorschlag im Detail	46
7.1	Details zum V-Link-200	46
7.2	Vor- und Nachteile des Konzeptes	47
7.3	Stückliste und Kostenrechnung	49
7.4	Konstruktive Machbarkeit	50
8	Fazit	52
8.1	Zusammenfassung	52
8.2	Kritische Betrachtung des Lösungsvorschlags	53
8.3	Ausblick	54

IV Literaturverzeichnis	56
Anhang A – Anforderungsliste.....	60
Anhang B – Brainstorming	62
Anhang C – Morphologischer Kasten	63
Anhang D – Nutzwertanalyse	64
Anhang E – Datenblatt V-Link-200	65

I Abkürzungsverzeichnis

A/D.....	<i>Analog/Digital</i>
CAN.....	<i>Controller Area Network</i>
DECT.....	<i>Digital Enhanced Communication Technology</i>
DMS.....	<i>Dehnungsmessstreifen</i>
ECE.....	<i>Economic Commission for Europe</i>
EM.....	<i>elektrische, elektromagnetische, elektromechanische sowie magnetische und elektromechanische Systeme</i>
EMV.....	<i>Elektromagnetische Verträglichkeit</i>
FSO.....	<i>Free Space Optics</i>
GHz.....	<i>Giga Hertz</i>
GTÜ.....	<i>Gesellschaft für technische Überwachung</i>
IEEE.....	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IPMS.....	<i>Institut für Photonische Mikrosysteme</i>
ISM-Band.....	<i>Industrial, Scientific and Medical Band</i>
ISO.....	<i>International Organization for Standardization</i>
LAN.....	<i>Local Area Network</i>
LED.....	<i>Light Emitting Diode</i>
LiFi.....	<i>Light Fidelity</i>
MHz.....	<i>Mega Hertz</i>
NFC.....	<i>Near Field Communication</i>
OSI.....	<i>Open System Interconnection</i>
PKW.....	<i>Personenkraftwagen</i>
RFID.....	<i>Radio Frequency Identification</i>
RTM.....	<i>Rainer Thomas Messtechnik</i>
USB.....	<i>Universal Serial Bus</i>
VDI.....	<i>Verein Deutscher Ingenieure</i>
VLC.....	<i>Visible Light Communication</i>
WBAN.....	<i>Wireless Body Area Network</i>
WGAN.....	<i>Wireless Global Area Network</i>
WLAN.....	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN.....	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WPAN.....	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WWAN.....	<i>Wireless Wide Area Network</i>

II Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Stand der Messlenkradtechnik, eigene Darstellung mithilfe von [14], [16], [30], [31], [33], [36], [37].....	15
Tab. 2: Vor- und Nachteile Entwurf 5, eigene Darstellung	48
Tab. 3: Stückliste und Kostenrechnung Entwurf 5, eigene Darstellung.....	49

III Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: a) additives Messlenkrad, [35] b) vollständiges Messlenkrad, [31] c) Messlenkradflansch, [14]	10
Abb. 2: Funktionsablauf eines Messlenkrades, eigene Darstellung	11
Abb. 3: Folienwiderstands-DMS, [16]	12
Abb. 4: Anordnung einer DMS-Vollbrücke auf einer Hohlwelle zur Drehmomentmessung, [36]	13
Abb. 5: a) Twisted pair Kabel mit verseiltem Adernpaar b) Koaxialkabel mit massivem Leiter, [18]	17
Abb. 6: Piconet-Architektur, [18]	21
Abb. 7: a) neues Messlenkrad der GTÜ, mit Genehmigung der GTÜ und b) altes Messlenkrad, eigene Darstellung	24
Abb. 8: a) Drehmomentsensoren D-2553, [19] b) der D-2553 im neuen Messlenkrad der GTÜ verbaut, mit Genehmigung der GTÜ	25
Abb. 9: Vorschriften für die maximal zulässige Lenkkraft, [37]	26
Abb. 10: Auszug der Anforderungsliste, eigene Darstellung	27
Abb. 11: Funktionsstruktur, eigene Darstellung	30
Abb. 12: Mögliche Arten des Senders, eigene Darstellung	32
Abb. 13: Mögliche Positionen des Senders, eigene Darstellung	32
Abb. 14: a) Verstärker mit integriertem Sender und Empfänger mit optionalem digitalem Ausgang, [9] b) Verstärker mit Sender und digitalem Ausgang über einen USB-Stick [10]	34
Abb. 15: a) V-Link-200 Messmodul mit integriertem Sender, [27] b) WSDA-200 USB-Empfänger, [28]	34
Abb. 16: a) GSV 6BT Messmodul mit integriertem Bluetooth-Sender, [23] b) Bluetooth USB-Empfänger, [25]	35
Abb. 17: a) GSV 3BT Messverstärker mit integriertem Sender, [24] b) Bluetooth USB-Empfänger, [26]	36
Abb. 18: VBOX Messmodul, [38]	37
Abb. 19: Der morphologische Kasten, eigene Darstellung	38
Abb. 20: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Parameter, eigene Darstellung	40
Abb. 21: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 1, eigene Darstellung	41
Abb. 22: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 2, eigene Darstellung	42
Abb. 23: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 3, eigene Darstellung	42
Abb. 24: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 4, eigene Darstellung	43
Abb. 25: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 5, eigene Darstellung	44
Abb. 26: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 6, eigene Darstellung	44
Abb. 27: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 7, eigene Darstellung	45
Abb. 28: Implementierung des a) V-Link_200 und b) GSV 6BT, eigene Darstellung	50
Abb. 29: a) V-Link-200 im CAD-Modell, b) V-Link-200 mit Platzhaltern, eigene Darstellung	51

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Messlenkräder sind Lenkräder, die in Kraftfahrzeugen bei Testfahrten wie der stationären Kreisfahrt zum Einsatz kommen. Mithilfe verschiedener Sensoren erfassen sie Daten von herrschenden Lenkkräften, Lenkmomenten, Lenkwinkeln sowie von Lenkbeschleunigungen und Vibrationen in der Lenkanlage. Die erfassten Messwerte werden überwiegend kabelgebunden an eine Wiedergabeeinheit übertragen.

Hier setzt diese Arbeit an. Sie befasst sich mit der Frage, ob und auf welchem Wege drahtlose Datenübertragung von einem Messlenkrad zur entsprechenden Wiedergabeeinheit realisierbar ist. Hierzu soll ein bereit gestelltes Messlenkrad untersucht werden. Neben der Auseinandersetzung mit dem Aufbau und der grundsätzlichen Funktionsweise eines Messlenkrades soll ein weitreichender Überblick über die möglichen Wege der drahtlosen Datenübertragung geschaffen werden. Unter Berücksichtigung der Regelung für die Zulassung von Fahrzeugen hinsichtlich ihrer Lenkanlagen (ECE R79) sollen die verschiedenen Möglichkeiten analysiert und bewertet werden. Darüber hinaus ist unter Zuhilfenahme geeigneter Methoden der technischen Produktentwicklung eine geeignete Lösung herauszuarbeiten.

Die Handhabung des Messlenkrades kann sich durch eine geeignete drahtlose Datenübertragung vereinfachen. In diesem Fall ist das Wiedergabemodul mobil und kann innerhalb der erforderlichen Übertragungreichweite auch außerhalb des zu prüfenden Fahrzeuges platziert werden. Weiter entfällt die fachgerechte Montage der Übertragungskabel, wodurch die Bedienbarkeit des Messlenkrades vereinfacht wird. Eine Herausforderung durch die Integration der drahtlosen Datenübertragung könnte die elektromagnetische Verträglichkeit der Sender-/Empfängermodule darstellen. Zu berücksichtigen ist hier, dass andere elektronische Systeme zur Signal-/Datenübertragung im Fahrzeug nicht durch den Datenverkehr zwischen Messlenkrad und Wiedergabemodul manipuliert werden.

- Einarbeitung in die ECE R79
- Auseinandersetzung mit dem Aufbau und der Funktionsweise von Messlenkrädern
- Auseinandersetzung mit den verschiedenen Möglichkeiten der drahtlosen Datenübertragung
- Auseinandersetzung mit einem gegebenen Messlenkrad hinsichtlich Funktionsweise, Aufbau und möglicher Integration einer drahtlosen Datenübertragung
- Analyse der drahtlosen Datenübertragungsmöglichkeiten
- Bewertung der drahtlosen Datenübertragungsmöglichkeiten hinsichtlich des Einbaus in ein Messlenkrad mithilfe von Methoden aus der Produktentwicklung
- Ausarbeitung von Lösungskonzepten aus den zuvor ermittelten Möglichkeiten mithilfe von Methoden aus der Produktentwicklung

- Ermittlung eines geeigneten Lösungskonzeptes
- Kritische Auseinandersetzung mit dem Lösungskonzept

1.2 Motivation und Ziel der Arbeit

Im Rahmen der Typprüfung von Kraftfahrzeugen werden unterschiedliche Tests bezüglich Sicherheit und Umwelt durchgeführt. Ein wichtiger zu überprüfender Aspekt ist die Lenkanlage, die vom Hersteller nach der ECE R79 ausgelegt sein muss. Darüber hinaus gibt die Regelung bestimmte Testverfahren sowie Hilfsmittel zur Prüfung der Lenkanlage vor. So muss beispielsweise ein sogenanntes Messlenkrad verwendet werden, welches Messgrößen wie beispielsweise Lenkkräfte, Lenkmomente oder Lenkwinkel während des Lenkvorgangs erfasst und über geeignete Systeme ausgibt.

Solche Messlenkräder befinden sich bei der Gesellschaft für technische Überwachung (GTÜ) zur Durchführung der Typprüfung von Fahrzeugen im Einsatz. Der Versuchsaufbau stellt sich als auffallend komplex dar, da zwischen dem Messlenkrad und der Ausgabeeinheit eine Kabelverbindung mit weiteren zwischengeschalteten Komponenten zur Messdatenübertragung verbaut ist. Damit die Daten einwandfrei bei der Ausgabeeinheit ankommen, muss darauf geachtet werden, dass die Kabelverbindung nicht unter mechanischer Spannung steht. Dies bedeutet, dass das Kabel nicht verknotet, eingeklemmt oder verdreht ist und nicht unter Zugbelastung steht. Darüber hinaus muss kontinuierlich überprüft werden, dass die Kabelverbindungen den Lenkvorgang nicht beeinflussen oder behindern.

Aus den genannten Gegebenheiten ergibt sich der Wunsch nach einer geeigneten drahtlosen Lösung für die Übertragung der Messdaten, um den Vorgang zu vereinfachen. Die Handhabung des Testaufbaus soll für den Benutzer oder die Benutzerin vereinfacht und die Fahrsicherheit durch fehlendes Kabelmaterial gesteigert werden.

Hieraus ergibt sich das Ziel dieser Arbeit, herauszufinden, ob es für ein von der GTÜ gegebenes Messlenkrad eine geeignete Lösung zur drahtlosen Datenübertragung vom Messlenkrad zur Ausgabeeinheit gibt. Gibt es verschiedene Lösungsmöglichkeiten, ist die am besten geeignete herauszuarbeiten. Während der Entwicklung ist die ECE R79 sowie weitere sich aus der Regelung ergebende Punkte wie beispielsweise die elektromagnetische Verträglichkeit zu berücksichtigen.

2 Grundlagen zu Messlenkrädern

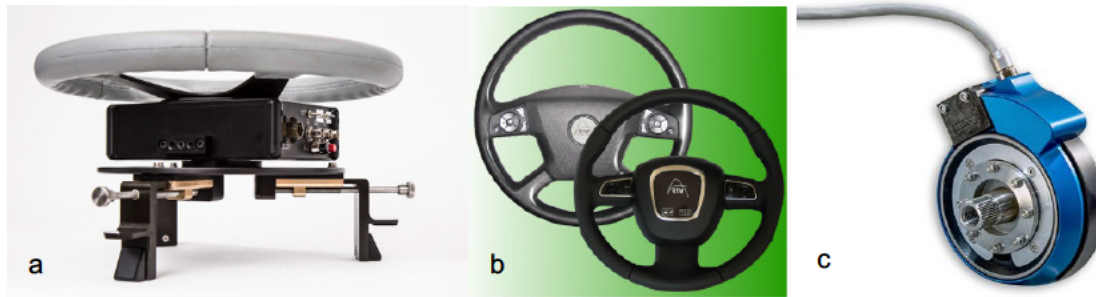


Abb. 1: a) additives Messlenkrad, [35] b) vollständiges Messlenkrad, [31] c) Messlenkradflansch, [14]

Messlenkräder sind Messeinrichtungen zur Überprüfung der Lenkanlagen von Kraftfahrzeugen im Hinblick auf auftretende Lenkmomente beziehungsweise -kräfte, Lenkwinkel oder Lenkbeschleunigungen sowie -geschwindigkeiten und Vibrationen. Es gibt Vorrichtungen, die nur einen der zuvor genannten Parameter erfassen und solche, die verschiedene Parameter, wie beispielsweise das Lenkmoment und den Lenkwinkel, erfassen. Messlenkräder lassen sich in drei Varianten unterteilen – Messlenkräder, die additiv mithilfe von Befestigungsvorrichtungen auf dem Serienlenkrad montiert werden (Abbildung 1a)), Messlenkräder, die anstelle des originalen Lenkrades auf der Lenkwelle montiert werden (Abbildung 1b)) und solche, die hinter dem seriellen Lenkrad in Form eines Flansches auf die Lenkwelle aufgebracht werden (Abbildung 1c)).

Eingesetzt werden Messlenkräder in verschiedenen Testverfahren, wie beispielsweise dem ISO-Spurwechseltest (ISO 3888), dem Fishhook-Test, der stationären Kreisfahrt (ISO 4138) oder im Rahmen der Prüfung der Lenkanlage nach der ECE R79 [14].

Im Folgenden werden der generelle Aufbau und die Funktionsweise von Messlenkrädern erläutert. Da die Literatur wenig Informationen über Messlenkräder bereitstellt, sind der Großteil der nachfolgend aufgeführten Informationen aus einer Zusammenfassung der Daten der existierenden Praxisbeispiele entstanden.

2.1 Grundsätzlicher Aufbau

Der Aufbau eines Messlenkrades lässt sich in drei Hauptkomponenten unterteilen

- die Lenkvorrichtung
- die Sensoreinheit und
- die Datenübertragungsschnittstelle.

Zum weiteren Testaufbau gehören die externen Komponenten wie die Übertragungseinheit, gegebenenfalls ein Messverstärker sowie die Ausgabereinheit. Die Messung findet während der Fahrt statt. Um die benötigten Messgrößen aufzubringen, wird als Lenkvorrichtung ein Lenkrad verwendet, welches in verschiedenen Aufbauformen realisiert werden kann (Abbildung 1 a-c)). So kann es additiv auf das Originallenkrad gesetzt werden oder als Ersatz des Serienlenkrades auf der Lenksäule montiert werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, das

Originallenkrad als Lenkvorrichtung zu verwenden und einen Sensorflansch zur Erfassung der Daten hinter dem Lenkrad auf der Lenkwelle zu montieren. Wird das Lenkrad betätigt, findet die Sensoreinheit ihre Anwendung. Sie misst die auftretenden Größen, beispielsweise mithilfe von Dehnungsmessstreifen (DMS), die zur Erfassung von Lenkkräften und -momenten verwendet werden [7].

Über die Datenübertragungsschnittstelle werden die Messgrößen für die Datenübertragung ausgegeben und anschließend über eine Übertragungseinheit, üblicherweise in Form einer Kabelverbindung an die Ausgabeeinheit weitergeleitet. Die Ausgabeeinheit kann beispielsweise durch einen Datenlogger realisiert werden, der alle Werte speichert und einzelne Werte ausgibt. Er kann bei Bedarf an einen Rechner angeschlossen werden, welcher mithilfe einer geeigneten Software alle erfassten Daten verarbeiten und visualisieren kann. In der Regel ist das Zwischenschalten eines Messverstärkers zwischen der Ausgabeeinheit und dem Messlenkrad nötig, da die Sensordaten vielfach als zu schwaches Signal ausgegeben werden. Da manche Sensoren ihre Signale nicht nur schwach, sondern auch analog ausgeben, sind Messverstärker mancher Hersteller zusätzlich mit einem Wandler ausgestattet, der das analoge Signal in ein digitales Signal umwandelt, um es anschließend zu verstärken.

2.2 Grundsätzliche Funktionsweise

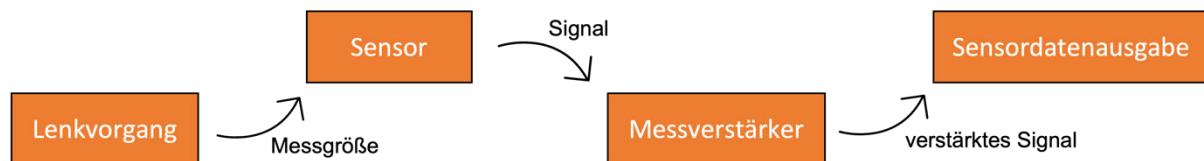


Abb. 2: Funktionsablauf eines Messlenkrades, eigene Darstellung

Eine schematische Darstellung der Funktionsweise eines Messlenkrades ist in Abbildung 2 zu sehen. Das Lenkrad wird mit einer Betätigungskraft beansprucht und die Sensorik erfasst die mechanische Messgröße zum Beispiel durch Messung der Spannungen oder Verdrehwinkel. Das Messsignal wird im Allgemeinen über eine Kabelverbindung an einen A/D-Wandler (Analog-/ Digitalwandler) weitergeleitet, gegebenenfalls umgewandelt und anschließend verstärkt. Im Regelfall wird mithilfe einer Kabelverbindung das verstärkte Signal an ein Ausgabemodul weitergeleitet, welches die Messsignale erfasst, verarbeitet und ausgibt.

Im Folgenden werden die Funktionsweisen der häufig verwendeten Sensoren sowie Messverstärkern genauer beleuchtet. Aus den bereits in Kapitel 2 genannten Gründen stammen die Informationen der in der Praxis verwendeten Komponenten aus der Zusammenfassung der sich am Markt befindenden Messlenkräder. Die Informationen über die Funktionsweisen der vorgestellten Komponenten entstammen der Literatur und sind entsprechend gekennzeichnet. Die für diese Arbeit relevanten Sensoren zur Lenkmomentenerfassung werden im Detail beschrieben, andere Sensorarten werden oberflächlicher behandelt.

Sensorik zu Datenerfassung

Lenkmomentsensoren

Die in der Praxis angewandten Methoden zur Drehmomentenerfassung an einer Welle lassen sich unterteilen in spannungs- und winkelmessende Techniken [34]. Es werden im Folgenden Techniken zur Drehmomentenerfassung vorgestellt, die aus der Recherche über die aktuell verfügbaren Messlenkräder und deren Sensor-Techniken hervorgehen. Somit sind dies ausschließlich Methoden, die in Messlenkrädern zu finden sind, es wird nicht auf verfügbare Drehmomentsensoren für andere Anwendungen eingegangen. Aus der Recherche geht hervor, dass das Prinzip der Dehnungsmessstreifen zur Erfassung des Lenkmoments stark vertreten ist.

Das DMS-Prinzip basiert auf dem aus dem Hookeschen Gesetz hervorgehenden linearen Zusammenhang zwischen der Spannung und der Dehnung des Körpermaterials. Es wird also im elastischen Bereich des Materialverhaltens des Messobjektes gemessen [7]. Durch eine hervorgerufene mechanische Beanspruchung eines Messobjektes unterliegt die Materialoberfläche einer Dehnung. Diese wiederum ruft eine elektrisch messbare Widerstandsänderung in den Messstreifen hervor. Das Ausgangssignal stellt somit eine elektrische Größe dar [16].

Üblicherweise werden DMS auf das Messobjekt aufgeklebt. Durch ein Messgitter, welches sich unter der mechanischen Beanspruchung in seine Längsrichtung ausdehnt, werden die Widerstandsänderungen erzeugt, welche anschließend in Form eines elektrischen Signals messbar sind. Am häufigsten findet das DMS-Prinzip als Metall-DMS in Form von Folienwiderständen Anwendung in der Praxis.[7], [16]

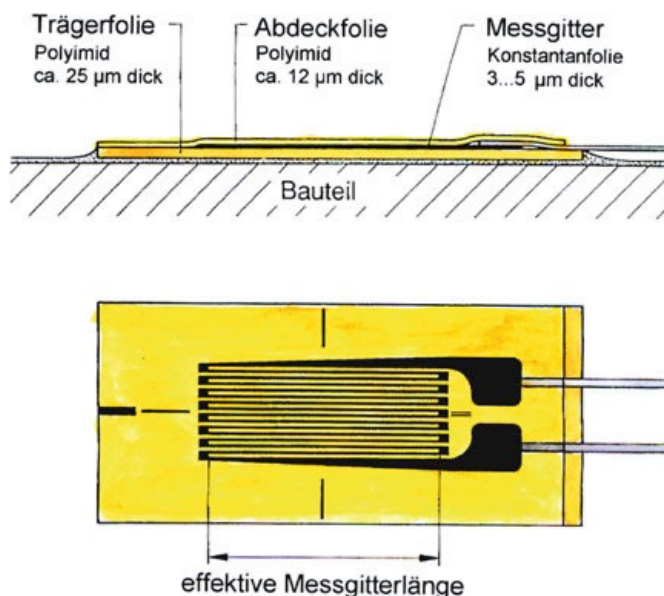


Abb. 3: Folienwiderstands-DMS, [16]

Abbildung 3 zeigt den Aufbau von Folienwiderstands-DMS. Eine Trägerfolie aus Kunststoff dient als Grundlage zwischen dem Bauteil und dem Messgitter. Die Messgitterfolie ist etwa 5 µm dick und wird durch eine weitere Kunststofffolie von oben geschützt. Die Messstreifen werden in Form von Viertel-, Halb- oder Vollbrücken realisiert. Die Viertelbrücke besteht aus einem Messstreifen, die Halbbrücke aus zwei

und die Vollbrücke aus vier Messstreifen. Die Widerstandsänderungen können zusätzlich durch ungewollt auftretende Einflüsse wie Temperaturänderungen oder das Auftreten von Querkräften entstehen. Um dem entgegenzuwirken, werden DMS im Allgemeinen als Halb- oder Vollbrücken verwendet, da sie in diesen Konstellationen die ungewollt auftretenden Einflüsse besser kompensieren können. [16]

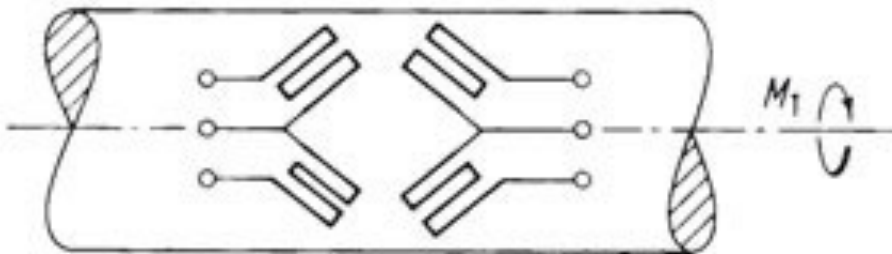


Abb. 4: Anordnung einer DMS-Vollbrücke auf einer Hohlwelle zur Drehmomentmessung, [36]

Werden DMS zur Erfassung von Drehmomenten verwendet, werden die Messstreifen auf eine Hohlwelle geklebt. Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Darstellung einer DMS-Vollbrücke auf einer Hohlwelle. Die Hohlwelle wird durch ein Torsionsmoment über ihre Länge um einen bestimmten Winkel verdreht. Das Torsionsmoment ruft eine Dehnung in der Oberfläche der Welle hervor, welche durch die Messstreifen erfasst und in elektrische Widerstände umgewandelt wird.[36]

Anstelle von DMS werden in einigen Modellen optische Lenkwinkelsensoren eingesetzt, um parallel zum Lenkmoment den Lenkwinkel zu erfassen. Sie nehmen die Messgröße nicht in Form von elektrischen Signalen auf, sondern in Form von Licht. Der Lichtstrom wird vom Sender ausgestrahlt und vom Empfänger aufgenommen. Die Intensität des Lichtstroms wird von der Torsion, die auf die Welle ausgeübt wird, beeinflusst. Für die optische Übertragung der Messdaten muss stets eine Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger vorliegen. Daher weisen optische Sensoren eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Schmutz auf. Im Gegenzug dazu sind sie jedoch gut geeignet für Systeme, in denen die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) eine wichtige Rolle spielt, da sie auf Grund der optischen Signale keine elektromagnetischen Störungen hervorrufen können.[30]

Induktive Sensoren werden in der Praxis ebenfalls eingesetzt, um sowohl das Lenkmoment als auch den Lenkwinkel zu erfassen. Anders als die optischen Sensoren sind induktive Sensoren unempfindlich gegen Schmutz und andere äußere Einflüsse. Es gibt verschiedene Prinzipien für induktive Drehmomentsensoren. So können die Sensoren beispielsweise mit gewickelten oder planaren Spulen versehen sein. Die Technik mit gewickelten Spulen besteht aus zwei Spulen. Die erste ist um zwei weichmagnetische Ringe gewickelt, diese wiederum sind jeweils am Ende des Torsionsstabes angebracht und mit Zähnen versehen. Wird die Welle auf Torsion beansprucht, verändern sich die Positionen der Zähne auf den zwei Ringe zueinander und der Luftspalt zwischen den Zähnen ändert sich. Daraufhin wird eine Spannungsänderung in der Spule ausgelöst. Von einer zweiten, vom Torsionswinkel unabhängigen Spule geht eine von den Umgebungsbedingungen abhängige Referenzspannung aus. Mit dieser ist eine Kompensation der unterschiedlichen

äußeren Einflussgrößen, wie beispielsweise hohe Temperaturänderungen möglich.[30]

Die induktiven Sensoren mit planaren Spulen sind auf einer Platine wie folgt angeordnet. Die planaren Spulen zum Senden und Empfangen der Messdaten sind auf der Platine angebracht, über ihnen ist ein Rotor aus elektrisch leitfähigem Material zur Kopplung des Senders und Empfängers platziert. Durch Wechselstrom aus der Senderspule entstehen elektromagnetische Felder, durch die der Sender mit dem Rotor und dieser wiederum mit dem Empfänger kommunizieren kann. Für die Kommunikation zwischen Rotor und Empfänger ist es wichtig, dass der Rotor richtig positioniert ist.[30]

Lenkwinkelsensoren

Wie bei der Vorstellung der Drehmomentsensoren bereits erwähnt, wird der Lenkwinkel über optische Lenkwinkelsensoren zusammen mit dem Lenkmoment erfasst. Darüber hinaus wird der Lenkwinkel mithilfe von induktiven Sensoren oder Potenziometern erfasst.[34]

Lenkgeschwindigkeits- und Lenkbeschleunigungssensoren

Aus der Recherche geht hervor, dass sich die Lenkgeschwindigkeit über den Lenkwinkel errechnet [15],[32]. So sind die Winkelsensoren nicht nur zur Winkelmessung notwendig, sondern bilden zusätzlich die Grundlage für die Erfassung der Lenkgeschwindigkeit.

Die Lenkbeschleunigung wird in der Praxis durch piezoelektronische Geber erfasst, welche darüber hinaus auch die wirkenden Vibrationen aufnehmen können. Piezoelektronische Geber sind mechanische Sensoren, entweder aus keramischem oder einkristallinem Material. Weiter unterscheiden sie sich in zwei Prinzipien – dem Longitudinaleffekt sowie dem Transversal- und Schubeffekt. Durch eine aufgebrachte Kraft, beispielsweise durch den Lenkvorgang, entsteht durch integrierte Elektroden eine elektrische Ladung. Bei dem longitudinalen Prinzip wird die wirkende Kraft senkrecht zur Materialoberfläche aufgebracht, bei dem Transversal- und Schubprinzip greift die Kraft in der Ebene an. Transversal- und Schubeffekt treten gemeinsam auf, es entstehen demnach sowohl Normal- als auch Schubspannungen.[34]

Messverstärker

Mithilfe von Messverstärkern werden Signale jeglicher Art verarbeitet. Die Signale werden umgeformt und ihre Größe wird erweitert. Es findet eine Vereinheitlichung der Sensordaten statt, sodass diese anschließend problemlos weiterverarbeitet werden können. Dies bietet die Möglichkeit, die Daten verschiedenartiger Sensoren verschiedener Hersteller mithilfe einer Schnittstelle, dem Messverstärker, zu vereinen und beispielsweise in einer gemeinsamen Ausgabereinheit auszugeben.[36]

2.3 Der Markt

Der offen einsehbare Markt der Fahrzeugmesstechnik bietet ein überschaubares Angebot verschiedener Ausführungen von Messlenkrädern. Im Folgenden wird der Stand der Messlenkradtechnik analysiert und die einzelnen Modelle aus der Praxis

unter Zuhilfenahme von Tabelle 1 vorgestellt. Hier sind die verschiedenen möglichen Ausführungen von Messlenkrädern berücksichtigt worden. Bietet ein Hersteller verschiedene Varianten an, so sind diese mit aufgelistet. Betrachtet wurden die verschiedenen Ausführungen im Hinblick auf die Art des Messlenkrades, die Messgrößen, die erfasst werden, den Messbereich des Lenkmoments, die Art der Sensoren, die Messgenauigkeit sowie die Art der Datenausgabe und der Datenübertragungstechnik. Um eine vergleichbare Grundlage zu schaffen, liegt der Fokus auf Messlenkrädern, welche mindestens die gleichen Messgrößen erfassen wie diejenigen der GTÜ.

Betrachtet man die weiter unten aufgeführte Tabelle, so fällt auf, dass alle aufgeführten Messlenkräder über die analogen Ausgänge hinaus auch mit digitalen Ausgängen ausgestattet sind. Dennoch übermitteln alle Messlenkräder ihre Daten über ein Kabel an entsprechende Messverstärker oder Datenlogger. Jedes der Messlenkräder nimmt das Lenkmoment, den Lenkwinkel sowie die Lenkgeschwindigkeit auf [15], [17], [32], [33], [35], [38], [39]. Die Messlenkräder der Hersteller imc Test & Measurement und Rainer Thomas Messtechnik (RTM) erfassen darüber hinaus die Lenkbeschleunigung sowie die im Lenkrad auftretenden Vibrationen [15], [32], [33]. Das Messlenkrad des Herstellers VBOX Automotive bietet die Möglichkeit der Datenübertragung über Bluetooth an einen Rechner mit einer zugehörigen Software zum Auswerten der Daten. Hierzu muss an das Messlenkrad die VBOX über eine CAN-Schnittstelle angeschlossen werden. Die VBOX übermittelt die Daten anschließend über Bluetooth an einen Rechner oder andere Bluetooth-fähige Geräte [38],[39].

Tab. 1: Stand der Messlenkradtechnik, eigene Darstellung mithilfe von [15], [17], [32], [33], [35], [38], [39]

Merkmale Hersteller	Ausführung/ Messgrößen	Messbereich Lenkmoment	Sensoren	Mess- genauigkeit	Daten- ausgabe/ -übertragung
imc Test & Measurement	- Messflansch - Lenkmoment, Lenkwinkel, Lenk- geschwindigkeit und Lenk- beschleunigung	± 100 Nm optional ± 200 Nm	- DMS - optischer Lenkwinkel- sensor	- 0,1% (Lenkmoment) - 0,025° (Lenkwinkel)	- digital: CAN, analog - Kabel
Kistler Instrumente	- Messflansch mit Option auf zus. Lenkrad - Lenkmoment, Lenkwinkel und Lenkgeschwin- digkeit	± 50 Nm	- optischer Lenkwinkel- sensor	- 0,15% (Lenkmoment) - 0,1° (Lenkwinkel)	-analog, digital: CAN, USB oder Ethernet - Kabel

RMS Dynamic Test Systems	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor inkl. Lenkrad - Lenkmoment, Lenkwinkel und Lenkgeschwindigkeit 	Bis 200 Nm	- induktive Sensoren	- k.A.	<ul style="list-style-type: none"> - analog, digital: CAN oder USB - Kabel
RTM	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor inkl. Lenkrad oder Messflansch - Lenkmoment, Lenkwinkel, Lenkgeschwindigkeit, optional Lenkbeschleunigung und Vibrationen 	10-100 Nm	<ul style="list-style-type: none"> - DMS - optischer Lenkwinkelsensor - piezoelektronischer Geber (optional) 	<ul style="list-style-type: none"> - $\pm 0,2$ Nm (Lenkmoment) - $\pm 0,05-0,5^\circ$ (Lenkwinkel) 	<ul style="list-style-type: none"> - analog, digital: CAN oder USB - Kabel
VBOX Automotive	<ul style="list-style-type: none"> - Sensor inkl. Lenkrad/ - Lenkmoment und Lenkwinkel 	Bis ± 200 Nm	- k.A.	- k.A.	<ul style="list-style-type: none"> - analog oder digital: CAN - Kabel oder - mit VBOX Bluetooth-Übertragung möglich

3 Grundlagen zur Datenübertragung

Um Daten in Form von Informationen zu übertragen ist immer ein Sender und ein Empfänger, auch Quelle und Senke genannt, notwendig. Die Übertragung von der Quelle zur Senke erfolgt mithilfe eines Übertragungsmediums, welches über eine Kabelverbindung, per Funk oder optisch über Licht realisiert wird [4]. Wichtig bei der Datenübertragung zu beachten ist die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) der Systeme. So muss bei der Implementierung elektromagnetischer Systeme (nachfolgend EM-Systeme) in Kraftfahrzeuge sowohl auf die fahrzeuginterne als auch auf die fahrzeugexterne Störsicherheit der Systeme geachtet werden. Die Systeme dürfen sich nicht untereinander illegitim durch Ab- oder Einstrahlungen manipulieren sowie die Umgebung des Systems und des gesamten Fahrzeuges stören oder durch diese beeinflussen lassen. Die Vorhersehbarkeit möglicher Störquellen ereignet sich als schwierig, denn selbst eine EMV prädestinierte Komponente stellt keine ausreichende Sicherheit für das gesamte System dar [42].

Die folgenden Kapitel sollen einen Überblick über die zuvor genannten Möglichkeiten der Datenübertragung zwischen Sender- und Empfängermodul schaffen.

3.1 Kabelgebundene Datenübertragung

Über Kabelverbindungen mit metallischen Leitungen wird die Information hoch- oder niederfrequent in Form von Wechselstrom übertragen. Da Kupfer zum einen günstig ist und zum anderen gute Eigenschaften aufweist, bestehen die meisten Leiter aus entweder reinem, verzinnem, versilbertem oder vernickeltem Kupfer. Zum Schutz vor Störungen sowie zur Berücksichtigung der elektromagnetischen Verträglichkeit werden die Leitungen auf unterschiedliche Art unter anderem mithilfe von Metallfolien abgeschirmt. Es bestehen verschiedene Arten die Leiter im Kabel anzuordnen, so gibt es Koaxialkabel, symmetrische sowie unsymmetrische Kabel.[4]

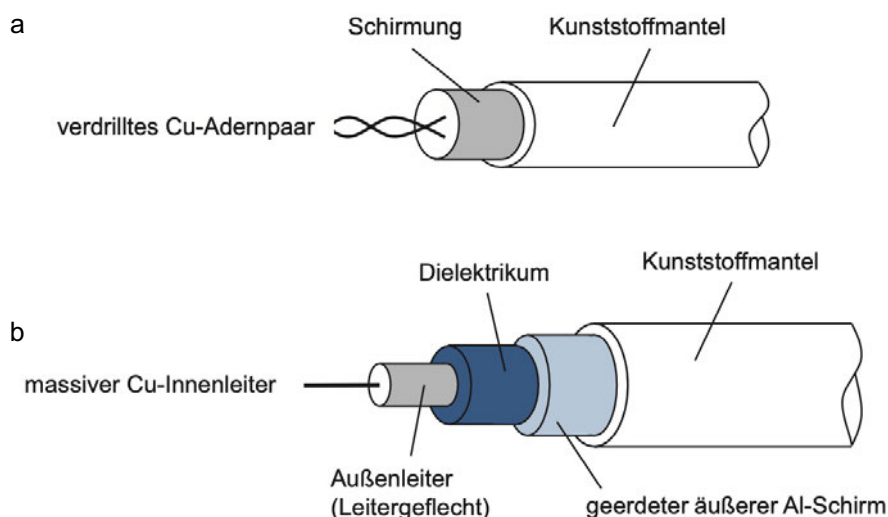


Abb. 5: a) Twisted pair Kabel mit verseiltem Adernpaar b) Koaxialkabel mit massivem Leiter, [18]

Verseilte Adernpaare aus Kupferkabel, auch Twisted Pair genannt, gehören zu den symmetrischen Kabeln und finden ihren Einsatz in der Telefon- und Netzwerktechnik

zur Signal- und Datenübertragung. Abbildung 5 a) zeigt den Aufbau von Twisted Pair Kabeln. Der Innenleiter ist durch miteinander verdrehte Kupferdrähte realisiert. Um magnetische Wechselfelder abzuschirmen, sind die verdrehten Kupferdrähte von einem elektrisch leitenden Mantel umschlossen. Außerdem werden durch die Verseilung der Aderpaare mögliche Störungen durch äußere Einflüsse sowie mögliche gegenseitige Manipulationen verhindert. Zusätzlich sind die Kabel im Gesamten durch ein Kupfergeflecht geschirmt. Somit bieten Twisted Pair Kabel besonders im Hinblick auf die elektromagnetische Verträglichkeit eine gute Lösung zur Datenkommunikation.[4] Eine weitere Aufbauart von Kabeln mit metallischen Leitern sind Koaxialkabel [4], der beispielhafte Aufbau ist in Abbildung 5 b) zu sehen. Sie weisen statt der verdrehten Aderpaare einen massiven Leiter auf und sind bezüglich ihres Anschlusses komplexer in der Handhabung [18].

Über die Kabelverbindungen mit metallischen Leitern hinaus, werden auch Kabel mit nicht metallischen Lichtwellenleitern, beispielsweise aus Glas- oder Kunststofffaser verwendet. Bei Lichtwellenleitern werden Lichtimpulse durch einen Kern und dessen Ummantelung in eine Richtung bis zum anderen Ende des Kabels geleitet und dort in einen elektrischen Strom umgewandelt. Die Lichtimpulse werden durch Lichtbrechung durch die Faser geführt [18]. Eine den Mantel umschließende Lackschicht dient zur Feuchtigkeitsabweisung und eine abschließende Beschichtung dient dazu, die Fasern vor mechanischer Beanspruchung zu schützen [4]. Glasfasern bestehen im Kern sowie im Mantel aus reinem Quarz und zeichnen sich durch gute Übertragungsbedingungen aus. Hierzu zählen hohe Übertragungsraten, eine kompakte Bauform sowie eine hohe Abhörsicherheit aufgrund der optischen Übertragung innerhalb des Kabels. Im Gegenzug sind sie jedoch hochpreisig und empfindlich gegenüber mechanischen Belastungen. Kunststofffasern bestehen aus lichtleitendem Kunststoff und sind im Vergleich zu Glasfasern robuster und kostengünstiger. Die Übertragungseigenschaften sind schlechter als bei Glasfasern, woraus Nachteile wie beispielsweise kurze Übertragungstrecken resultieren.[4], [18]

3.2 Kabelungebundene Datenübertragung

Im Rahmen der drahtlosen Datenübertragung sind die Grenzen zwischen der Nachrichten- und der Kommunikationstechnik nicht eindeutig definierbar. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die Nachrichtentechnik ein Oberbegriff zur Beschreibung der gesamten Nachrichtenübertragungstechnik darstellt. Weiter definiert die Kommunikationstechnik grundsätzlich die Techniken der Informationsübermittlung und kann der Nachrichtentechnik untergeordnet werden. [6] Kommunikation im Allgemeinen besteht aus einem Sender, einer Nachricht und einem Empfänger. Sender und Empfänger codieren und decodieren die zu übermittelnden beziehungsweise übermittelten Informationen. Hierbei werden die Informationen übersetzt und mögliche auftretende Fehler analysiert sowie nach Möglichkeit behoben. Die zu codierende beziehungsweise decodierende Information muss eindeutig zuzuordnen sein [6]. Die Informationen dürfen somit nicht mehrere Bedeutungen haben und müssen in beide Richtungen auf denselben Inhalt zurückführen. Für eine

optimale drahtlose Informationsübermittlung ist es Voraussetzung, dass der Sender und der Empfänger dieselbe Sprache anwenden.[6], [18]

Diese Voraussetzungen werden in der Kommunikationstechnik durch Protokollstapel definiert. Die verschiedenen, miteinander kommunizierenden Protokolle steuern die Kommunikation zwischen den Systemen, welche sowohl von demselben als auch von unterschiedlichen Herstellern stammen.[18]

Die International Organization for Standardization (ISO) hat einen Protokollstapel in Form eines Schichtenmodells entwickelt, welcher mit offenen Protokollen dafür sorgt, dass verschiedene Systeme miteinander effizient kommunizieren können. Das Open-System-Interconnection-Schichtenmodell (OSI-Schichtenmodell) besteht aus sieben Schichten, welche nachfolgend definiert werden. Die erste Schicht ist die Bitübertragungsschicht (Physical Layer) und ist für die Verarbeitung der Informationen, die aus einzelnen Bits bestehen und die Übertragung dieser über einen Kanal zuständig. Darüber hinaus definiert sie die mechanischen, elektrischen sowie funktionalen Merkmale des Übertragungsmediums. Die Sicherungsschicht (Datalink Layer) stellt die zweite Schicht dar. Entstehen bei der Bitübertragung Fehler, die die Übertragung behindern, erfasst und korrigiert die Sicherungsschicht diese. Darüber hinaus ist sie für den Transport der Dateneinheiten vom Kanalbeginn zum Kanalsende zuständig. Für die entsprechende Infrastruktur, die zur Übertragung notwendig ist, ist die Vermittlungsschicht (Network Layer) als dritte Schicht zuständig. Hier werden die Adressen der Knotenpunkte sowie der Endgeräte definiert, die von den Datenmengen durchlaufen werden. Es wird somit ein Netzwerk definiert, welches den zu vermittelnden Daten Orientierung bietet (Routing). Die vierte Schicht, die Transportschicht (Transport Layer), steuert den Versand der Dateneinheiten. Sie nimmt die Dateneinheiten an, verarbeitet sie und ordnet sie anschließend den entsprechenden Anwendungen zu. Die fünfte Schicht wird durch die Sitzungsschicht (Session Layer) realisiert. Sie wird auch als Kommunikationsschicht bezeichnet und ist für die sichere Koordinierung der Verbindung zwischen den Endsystemen zuständig. Die Darstellungsschicht (Presentation Layer) hat als sechste Schicht die Umwandlung der Daten in ein Standardformat zur Aufgabe. Die siebte und letzte Schicht wird durch die Anwendungsschicht (Application Layer) dargestellt. Sie ist zuständig für die Dateneingabe sowie die Datenausgabe der Anwendung.[6], [18]

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der drahtlosen Kommunikation ist die Einteilung der verschiedenen Übertragungstechniken in nach ihrer Reichweite definierte Netzwerke. Bei der kürzesten Reichweite von wenigen Zentimetern angefangen, steht das Wireless Body Area Network (WBAN). Es dient zum Verbindungsaufbau zwischen nahegelegenen mobilen Geräten, die kurzfristig Daten mit teilweise hohen Datenraten austauschen sollen.[6]

Wireless Personal Area Networks (WPAN) umfassen Techniken, die nach dem Standard IEEE 802.15. definiert sind, wie beispielsweise Bluetooth oder ZigBee. Sie arbeiten im lizenzfreien Frequenzband von beispielsweise 2,4 GHz und gehören zu den Ad-hoc- und Peer-to-Peer-Netzwerken. Somit können alle Teilnehmenden direkt in die Verbindung integriert werden und miteinander kommunizieren ohne, dass eine Basisstation hierzu nötig ist [6]. Die durchschnittliche Reichweite von Personal Area Networks liegt bei etwa 50 Metern [6], [18], darüber hinaus sind sie durch geringe

Übertragungsgeschwindigkeiten prädestiniert für einen geringen Stromverbrauch [6], [13].

Die Norm IEEE 802.11 beschäftigt sich mit Wireless Local Area Networks (WLAN). Diese weisen im Vergleich zu Personal Area Networks mit bis zu mehreren Kilometern eine deutlich größere Reichweite sowie darüber hinaus eine schnellere Übertragungsgeschwindigkeit auf. Lokale Netzwerke arbeiten, ebenfalls wie die Personal Area Networks, im lizenzfreien Frequenzbereich und ermöglichen beispielsweise den freien, drahtlosen Zugang ins Internet sowie die drahtlose Verbindung verschiedener Endgeräte.[6], [18]

Weitere Einteilungen der Netzwerke sind das Wireless Metropolitan Area Network (WMAN), das Wireless Wide Area Network (WWAN) und das Wireless Global Area Network (WGAN). Sie ermöglichen den Aufbau von Netzwerken über die regionale bis hin zur globalen Reichweite. Somit sind Netzwerke möglich, die ein ganzes Stadtgebiet implizieren [4] oder die Grundlage für den Mobilfunk sowie das weltweite Internet darstellen [6], [18].

Kabellose Datenübertragung im Allgemeinen wird mithilfe von Funktechniken oder mithilfe des sichtbaren Lichts realisiert. Funktechniken übertragen die Informationen über hochfrequente elektromagnetische Wellen, weshalb immer die elektromagnetische Verträglichkeit der verwendeten Bestandteile untereinander sowie mit der Umgebung, wie zu Beginn von Kapitel 3 bereits erwähnt, zu berücksichtigen ist. Besonders in Bereichen wie dem Fahrzeugbau ist es wichtig, dass Einheiten, die über Funk oder Licht kommunizieren, keine anderen Einheiten im Fahrzeug beeinflussen und somit deren Funktion stören [42].

Im Folgenden werden zu den benannten zwei Kategorien verschiedene Beispiele der Übertragungstechnik vorgestellt.

Funktechniken

Bluetooth (WPAN) IEEE 802.15

Bluetooth ist eine Funktechnik, die nach dem Standard für Wireless Personal Area Networks entwickelt worden ist und somit zur Reihe des Standards IEEE 802.15 gehört. Die Bluetooth-Technologie arbeitet im lizenz- und kostenfreien ISM-Frequenzband, also in einem Bereich von 2,4 GHz. Hier sind 79 Kanäle definiert, die durch das Frequenzsprungverfahren vom Sender und Empfänger in kurzen Abständen angesteuert werden, basierend auf einem Zufallscode. Der häufige Wechsel der Frequenzen von Sender und Empfänger bietet Sicherheit gegen Störungen sowie das Abhören durch Nicht-Teilnehmende Geräte, solange diesen die Wechselfolge nicht bekannt ist.[6], [18]

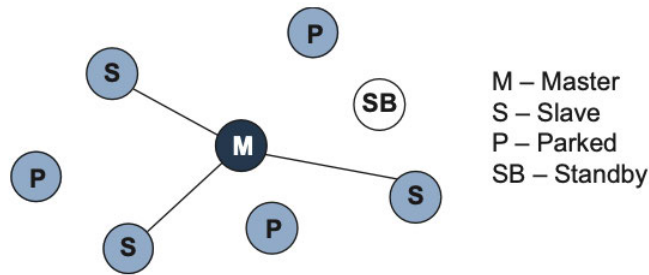


Abb. 6: Piconet-Architektur, [18]

Grundsätzlich ist ein Bluetooth-Netzwerk wie nachfolgend erklärt aufgebaut. Es gibt einen Master, dieser reguliert die Kommunikation sowie die Sendezeiteinheiten. Der Master erhält automatisch seinen Status, sobald er das Netz eröffnet. Alle weiteren Teilnehmer sind Slaves, sie werden vom Master über ihnen zu Beginn zugeordnete Adressen angesteuert. Darüber hinaus gibt es geparkte teilnehmende Geräte sowie solche, die sich im Standby-Modus befinden. Erstere behalten eine spezielle Adresse, sind jedoch nicht mit dem Master verbunden. Sie können jederzeit wieder aktiviert werden. Im Gegenzug dazu stehen die Geräte im Standby-Modus, die sowohl keine Verbindung zum Master besitzen als auch über keine Adresse verfügen. Die beschriebene Netzarchitektur nennt sich Piconet. In Abbildung 6 ist ein beispielhaftes Piconet aufgezeigt.[18]

Die Bluetooth Kommunikation ist nicht durch das ISO/OSI-Schichtenmodell definiert, sondern über einen eigenen Protokollstapel der jedoch mit dem ISO/OSI-Schichtenmodell vergleichbar ist [6], [18]. Bluetooth zählt zu den Ad-Hoc-Netzwerken, das heißt, dass die Teilnehmer direkt und von der Situation abhängig miteinander kommunizieren können [6].

WLAN Wireless Local Area Network (IEEE 802.11)

Das Wireless Local Area Network, besser bekannt als WLAN, ist eine Funktechnik, die auf dem weltweit frei verfügbaren ISM-Band, größtenteils im Frequenzbereich von 2,4 oder 5 GHz arbeitet. Sie beruht auf der LAN-Technologie (Local Area Network), stellt also ein lokal aufbaubares, nicht-öffentliches Netzwerk dar, in welchem beispielsweise innerhalb eines Gebäudes oder einer Organisation beliebig viele teilnehmende Geräte untereinander kommunizieren können [6], [18]. WLAN kann in drei Kategorien unterteilt werden – das Ad-hoc- beziehungsweise Independent WLAN, das Infrastructure WLAN und das Wireless Distribution System [4].

Das Independent WLAN ist ein Netzwerk, in welchem alle teilnehmenden Geräte gleichwertig sind. So haben alle Geräte die Möglichkeit, untereinander uneingeschränkt zu kommunizieren, solange sie sich in ausreichender Nähe zueinander befinden. Dies ist eine Konfigurationsmöglichkeit, die einen reinen Datenaustausch zwischen den teilnehmenden Geräten bereitstellt. Zugriff zum Internet besteht hier nicht.[4], [18]

Bei einem Infrastructure WLAN ist zusätzlich zu WLAN-fähigen Endgeräten ein Access Point als Basisstation notwendig. Über die Access Points, von denen mehr als nur einer im gleichen Netzwerk installiert werden können, kann zum einen der Zugriff zum

Internet aufgebaut werden, in dem dieser über eine Ethernet-Schnittstelle angeschlossen wird. Zum anderen ist es einem Endgerät mit dieser Netzwerkvariante möglich, zwischen den verschiedenen teilnehmenden Access Points zu wechseln, ohne das eigentliche Netzwerk wechseln zu müssen und ohne, dass die Verbindung erneut hergestellt werden muss.[4], [18]

Ein Wireless Distribution System stellt den Zusammenschluss mehrerer Access Points zu einem Netzwerk dar. Voraussetzung ist, dass sie denselben WLAN-Schlüssel nutzen. Sind diese Access Points zugänglich für Endgeräte, fungieren sie als Repeater, also als Verstärker des WLANs.[4], [18]

ZigBee IEEE 802.15

ZigBee basiert auf dem Standard IEEE 802.15 und stellt somit ein WPAN dar. Die Technik wurde im Hinblick auf einen geringen Energieverbrauch sowie die störungsfreie Übertragung von geringen Datenmengen über kurze Distanzen entwickelt [6], [18]. Der Protokollstapel der ZigBee-Technik orientiert sich an dem ISO/OSI-Referenzmodell, benötigt jedoch nicht alle Schichten des Modells. So fallen die Transportschicht (4), die Sitzungsschicht (5) und die Darstellungsschicht (6) weg, es erfolgt ein direkter Übergang von der Vermittlungsschicht (3) in die Anwendungsschicht (7) [6].

DECT, NFC, RFID

Es gibt weitere Funktechniken wie Digital Enhanced Communication Technology (DECT), Near Field Communication (NFC) oder Radio Frequency Identification (RFID). Dies sind Techniken, die für kurze Distanzen und geringe Datenübertragungen entwickelt worden sind [4], [6], [18]. Aufgrund dessen sind sie wenig geeignet für die Übertragung von Messdaten im Bereich der Fahrzeugprüfung und werden in dieser Arbeit nicht weiter behandelt.

Optische Techniken

VLC, LiFi, FSO

Eine weitere Möglichkeit der drahtlosen Datenübertragung ist die Übertragung über das für Menschen sichtbare Licht. Sowohl über Laserdioden (Free Space Optics, FSO) als auch über Leuchtdioden (Light Emitting Diode, LED) können die Daten übertragen werden [8]. Die Verwendung von LEDs wird als LiFi (Light Fidelity) oder VLC (Visible Light Communication) bezeichnet. Hierbei wird im hochfrequenten, für das menschliche Auge nicht wahrnehmbaren Lichtspektrum das Licht ein- und ausgeschaltet, um die Daten zu übertragen. Hierzu ist eine Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger notwendig. Dies hat den Vorteil, dass Interferenzen schwer zustande kommen. Begründet ist dies darin, dass alle teilnehmenden Endgeräte sich im Lichtpegel befinden müssen. Somit ist eine hohe Sicherheit gegen Abhören und Manipulation des Signals gewährleistet [4]. Weiter befindet sich die Übertragungsgeschwindigkeit im Mikrosekundenbereich, wodurch eine Echtzeitübertragung ohne einflussreiche Latenz gegeben ist. Die Reichweite optischer Datenübertragung reicht von 10 Zentimetern bis zu 30 Meter, wobei bei größerer

Reichweite mit einer geringeren Datenrate zu rechnen ist [5]. Qualifizierte Umgebungen für die optische Datenübertragung sind Orte, die kontinuierlich beleuchtet sind, wie beispielsweise Krankenhäuser oder Pflegeheime. Darüber hinaus ist die Methode sehr gut geeignet, um in Umgebungen installiert zu werden, an denen die EMV eine wichtige Rolle spielt [8].

Die Serienreife ist nach aktuellem Stand der Technik noch nicht gegeben[4], jedoch entwickeln Organisationen wie das IPMS sowie das Heinrich-Hertz-Institut der Fraunhofer Gesellschaft die Technologie stetig weiter.

4 Das Messlenkrad der GTÜ



Abb. 7: a) neues Messlenkrad der GTÜ, mit Genehmigung der GTÜ und b) altes Messlenkrad, eigene Darstellung

Im Bestand der GTÜ befinden sich zwei Messlenkräder, deren prinzipieller Aufbau derselbe ist. Abbildung 7 zeigt die zwei Messlenkräder, in a) ist das neue und in b) das alte Messlenkrad zu sehen. Genutzt werden die Messlenkräder im Rahmen der Typprüfung an Kraftfahrzeugen zur Ermittlung der Lenkkräfte. Die Ermittlung erfolgt über DMS-Sensoren, die in Form des nicht rotierenden Drehmomentsensors D-2553 mit Doppelflansch-Lösung in das Messlenkrad integriert sind (Abbildung 8 a-b). Das Nenndrehmoment des Sensors ist mit 200 Newtonmeter angegeben [19]. Die Datenausgabe des Sensors erfolgt analog über einen 7-poligen Rundstecker der Serie 712 der Firma Binder in der schirmbaren Variante [3], [19]. Von den sieben Pins müssen lediglich fünf Pins belegt sein. Zwei für die positive und negative Speisung, zwei für die positiven und negativen Signale und einer für die Schirmung. Der sechste Pin ist optional belegbar und der siebte hat keine Belegung [19]. Bei den Modellen der GTÜ wurde die Option der Belegung des sechsten Pins für ein Kontrollsignal nicht in Anspruch genommen. Somit führen fünf Drähte aus dem 7-poligen Stecker, welche zum LCV Interface der Firma Lorenz führen. Das Interface verstärkt das analoge Signal und gibt es über eine weitere Kabelverbindung an einen Gleichspannungsmessverstärker weiter [20]. Der GM80 der Firma Lorenz oder die VBOX der Firma VBOX Automotive wandeln die analogen Signale in digitale Signale um und verstärken diese. Darüber hinaus fungieren sie als Datenlogger, können somit die erfassten Messwerte speichern.[21], [38]

Bei Bedarf kann der GM80 an einen Rechner angeschlossen werden, an welchem mithilfe der zugehörigen Software alle Messwerte verarbeitet, vom Benutzer analysiert und in verschiedenen Formen visualisiert werden können. Außerdem besitzt der Datenlogger ein kleines Display über welches einzelne Werte, die vor der Messung definiert werden müssen, ausgegeben werden [21]. Die VBOX besitzt keine integrierte Anzeige, kann aber an ein passendes Display angeschlossen werden, welches im Fahrerraum befestigt werden kann. Über eine weitere Kabelverbindung zum Rechner überträgt die VBOX ihre Daten. Anders als bei der Verwendung des GM80 ist die

Stromversorgung der VBOX über ein Stromkabel realisiert [38]. Um eine mobile Stromversorgung gewährleisten zu können, muss somit das Kabel an einen mobilen Akku angeschlossen werden. Dies wiederum erhöht die Anzahl der benötigten Geräte und erhöht somit die Komplexität des Aufbaus.

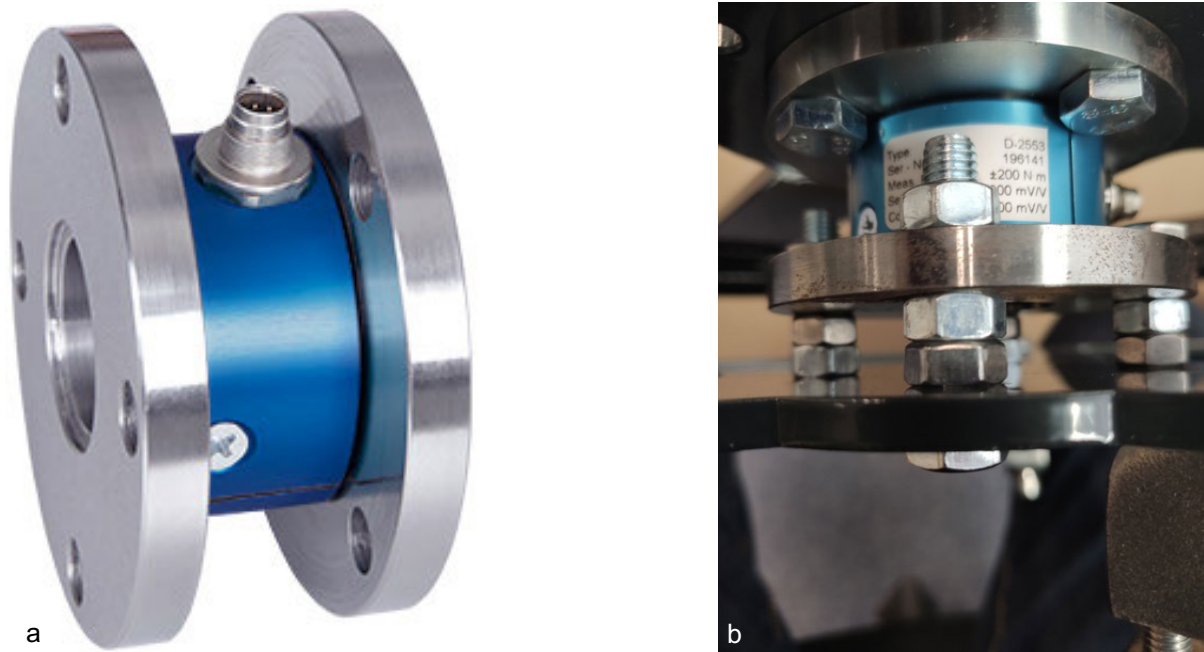


Abb. 8: a) Drehmomentsensoren D-2553, [19] b) der D-2553 im neuen Messlenkrad der GTÜ verbaut, mit Genehmigung der GTÜ

Eine konstruktive Betrachtung ergibt, dass das neue Messlenkrad aus zwei Lenkrädern besteht, zwischen denen der Drehmomentsensor wie in Abbildung 8 b) zu sehen, integriert ist. Der Abstand des oberen zum unteren Lenkrad beträgt durch die Höhe des Drehmomentsensors und die im Bild zu sehenden Muttern etwa 48 Millimeter. Das untere Lenkrad ist mit Führungen versehen, in welche entsprechende Schellen zur Anbringung des Messlenkrades auf dem Originallenkrad eingefügt werden. Das alte Messlenkrad hat einen deutlich höheren Aufbau als das Neue. So ist der Drehmomentsensor in ein sperriges Gehäuse implementiert, wodurch das Messlenkrad weit in den Fahrerraum hineinragt. Das alte Messlenkrad ist ebenso wie das Neue mit Führungen zur Befestigung des Messlenkrades auf dem Originallenkrad durch entsprechende Schellen versehen.

5 Voraussetzungen an das Messlenkrad

5.1 Die ECE R79

Vorschriften für die Betätigungskraft

Fahrzeug Klasse	intakt			mit einer Störung		
	maximale Betätigungskraft (daN)	Zeit (s)	Wendekreis radius (m)	maximale Betätigungskraft (daN)	Zeit (s)	Wendekreis radius (m)
M ₁	15	4	12	30	4	20
M ₂	15	4	12	30	4	20
M ₃	20	4	12 (**)	45 (*)	6	20
N ₁	20	4	12	30	4	20
N ₂	25	4	12	40	4	20
N ₃	20	4	12 (**)	45 (*)	6	20

(*) 50 bei starren Fahrzeugen mit zwei oder mehr gelenkten Achsen außer reibungsgelenkten Achsen
 (**) oder Volleinschlag, falls ein Radius von 12 m nicht erreicht wird.

Abb. 9: Vorschriften für die maximal zulässige Lenkkraft, [37]

Die ECE R79 ist eine Regelung für die Auslegung von Lenkanlagen für Straßenfahrzeuge der Klassen M, N und O. Sie verfolgt die Annahme, dass formschlüssige mechanische Verbindungen der Lenkeinheit zu den Rädern nicht mehr notwendig sind. Viel mehr geht sie davon aus, dass zukünftige Lenkanlagen von internen Sensoren und Signalen gesteuert werden. Externe Signale, die autonomes Fahren ermöglichen, sind in dieser Regelung nicht berücksichtigt und nicht zulässig. Definiert werden in der Regelung ihre Anwendungsbereiche, das Verfahren zur Genehmigung neu entwickelter Lenkanlagen sowie die Bau- und die Prüfvorschriften für neu zu entwickelnde Lenkanlagen.

Die Messung der Lenkkraft von Kraftfahrzeugen wird nach [37] unterschieden in

- Fahrzeuge „mit intakter Lenkanlage“, nach Absatz 6.2.4
- Fahrzeuge „mit einer Störung in der Lenkanlage“, nach Absatz 6.2.5.

Bei der Prüfung intakter Lenkanlagen muss nach Absatz 6.2.4.1 das Fahrzeug nach links sowie nach rechts „mit einer Geschwindigkeit von 10 km/h von der Geradeausfahrt in eine Spirale“ gefahren werden, bis der für die Fahrzeugklasse vorgegebene Wendekreisradius erreicht ist. Während der Spiralfahrt wird die Lenkkraft bis zum Erreichen des Radius gemessen. Lenkanlagen mit einer Störung werden nach dem gleichen Verfahren geprüft, jedoch mit anderen Vorgaben bezüglich der Betätigungsdauer und der Betätigungskraft. Abbildung 9 zeigt eine Übersicht der höchstzulässigen Betätigungsdauer sowie der höchstzulässigen Betätigungskraft für beide Messvorgänge. Die maximale Lenkkraft für PKW liegt bei 15 Dekanewton, die

maximale Zeit für den Lenkvorgang liegt bei 4 Sekunden und der Wendekreis beträgt 12 Meter. Kräfte, die weniger als 0,2 Sekunden auf die Lenkung wirken, werden bei der Prüfung nicht berücksichtigt.

Alle Informationen dieses Kapitels sind [37] entnommen.

5.2 Anforderungsliste

Um zielführend in der Produktentwicklung vorgehen zu können, empfiehlt es sich, zu Beginn der Entwicklung eine Anforderungsliste zu erstellen, in der alle Bedingungen und wichtigen Merkmale festgehalten werden. Diese werden unterteilt in Forderungen, Mindestanforderungen und Wünsche. Die Liste kann bis zu einem bestimmten Zeitpunkt aktualisiert und durch neu gewonnene Erkenntnisse ergänzt werden. [40]

Bachelorarbeit Manda Jacob		Anforderungsliste		F - Festanforderung M - Mindestanforderung W - Wunsch
Datum: 30.12.2021		drahtlose Datenübertragung in einem Messlenkrad		
Nr.	F / M / W	Bezeichnung	Erläuterungen Änderungen Werte Daten	Verantwortlich
1		Datenübertragung		
	F	drahtlos	Sender- und Empfängermodul nötig	M.J.
	F	Messgrößen	Lenkmoment/ -kraft	M.J.
	F	EMV	keine Beeinflussung der bzw. durch die elektromagnetischen Einheiten im Fahrzeug	M.J.
	F	Messgenauigkeit	mindestens 0,1% oder besser	M.J.
	F	Übertragungsrage	mindestens wie bei Kabelverbindung	M.J.
	F	Reichweite	> 1m	M.J.
	W	Verbindungsaufbau	automatisch oder per Klick	M.J.
	W	Endgerät	Rechner mit Software	M.J.
	W	Echtzeitübertragung	Live-Übertragung der Messdaten	M.J.
2		Geometrie		
	F	Sendemodul am Sensor	darf Lenkbewegung nicht behindern	M.J.
	W	Empfängermodul am Rechner	≤ USB Stick	M.J.
3		Messwertaufnahme		
	F	Max. Lenkmoment	≥ 200 Nm	M.J.
	F	Max. Lenkkraft	≥ 60 daN	M.J.
	F	Ausgabemodul/ -software	muss die benötigten physikalischen Einheiten anzeigen können	M.J.
4		Beanspruchung		
	F	Robustes Gehäuse	Korrosionsbeständig, Stoßfest, Bruchfest	M.J.
	F	Dynamische Lasten	In alle Richtungen (Vibrationen, Stöße)	M.J.
5		Energie		
	F	Spannungsversorgung	Fahrzeugextern, mobil (Akku, Batterie)	M.J.

Abb. 10: Auszug der Anforderungsliste, eigene Darstellung

In Abbildung 10 ist ein Auszug der Anforderungsliste für die Ergänzung der drahtlosen Datenübertragung in das Messlenkrad der GTÜ zu sehen, es wird im Folgenden auf einige wichtige Punkte eingegangen. Die vollständige Liste ist im Anhang A zu finden.

Um die gewünschte drahtlose Datenübertragung umsetzen zu können, muss sowohl ein Sende- als auch ein Empfängermodul integriert sein. Ausgegeben werden sollen die Lenkkräfte, beziehungsweise das Lenkmoment, mit einer Genauigkeit von mindestens 0,1%. Die Reichweite des Signals muss mindestens einen Meter betragen. Sollte die Lösung eine Funkübertragung darstellen, muss die Elektromagnetische Verträglichkeit gewährleistet sein. Dies bedeutet, dass die integrierte Funkverbindung in keinem Fall die elektromagnetischen Einheiten im Fahrzeug stören darf. Nach Möglichkeit soll eine Echtzeitübertragung an das Ausgabemodul vorhanden sein. Mindestens sollte das Ausgabemodul ein Display zum Anzeigen der Werte besitzen. Bestenfalls ist das Ausgabemodul durch einen Rechner mit entsprechend kompatibler Software zum Ausgeben der Daten realisiert. Des Weiteren darf die Geometrie eines möglichen Sendemoduls nicht den Lenkvorgang sowie den generellen Fahrversuch behindern. Darüber hinaus, müssen sowohl der Sender als auch der Empfänger ein robustes Gehäuse erhalten, um den rauen Bedingungen der Fahrzeugprüfung standzuhalten. Nach Möglichkeit ist ein leichter Kunststoff zu wählen, um gleichzeitig das Handling der Systeme nicht durch hohes Gewicht zu verschlechtern. Die Stromversorgung sollte fahrzeugextern, bestenfalls über Akkus realisiert sein, um an störenden Kabelverbindungen zu sparen. Um ein Konzept zu entwickeln, das bei einer möglichen Umsetzung auch regelkonform und somit nutzbar für die Typprüfung von Fahrzeugen ist, muss während der Entwicklung auf die zuvor beschriebene ECE R79 Rücksicht genommen werden.

5.3 Soll-Ist-Vergleich

In diesem Kapitel wird ein Vergleich des aktuellen Ist-Zustandes mit dem gewünschten Soll-Zustand aufgestellt, um vor Beginn der Konzeptentwicklung einen Überblick über die nötigen Veränderungen zu schaffen. Hierzu werden die Eckdaten der beiden Zustände zusammengefasst und einander gegenübergestellt.

Die aufzunehmende Messgröße der Messlenkräder der GTÜ ist die Lenk kraft beziehungsweise das Lenkmoment. Die Messlenkräder der GTÜ sind mit dem Drehmomentmessflansch D-2553 der Firma Lorenz Messtechnik zur Messgrößenerfassung ausgestattet. Dieser realisiert ein Nenndrehmoment von bis zu 200 Newtonmeter. Das Drehmoment wird über DMS erfasst und als analoges, nicht verstärktes Signal über eine 7-polige Steckverbindung ausgegeben. Um das ausgegebene analoge Signal zu verstärken, ist an den 7-poligen Steckverbinder das Interface LCV der Firma Lorenz angeschlossen. Vom Messverstärker werden die Daten über ein Kabel mit RS232 Anschluss zu einem Datenlogger weitergegeben, entweder dem GM80 der Firma Lorenz oder der V-Box der Firma VBOX Automotive. An dem jeweiligen Datenlogger werden die Messdaten in digitale Signale umgewandelt und anschließend ausgegeben. Bei der VBOX erfolgt die Ausgabe jedoch über ein extra anzuschließendes Display. Beide Varianten geben einzelne Werte aus, haben aber eine zugehörige Software für einen Rechner, mit der alle gemessenen Werte erfasst und ausgewertet werden. Die Stromversorgung der DMS läuft über den jeweiligen Datenlogger, bei Verwendung des GM80 über die integrierten Akkus und bei der VBOX über den Stromanschluss.

Das zu entwickelnde Messlenkrad soll die Messdaten kabellos zum Ausgabemodul übertragen. So kommt es bestenfalls ohne zwischengeschalteten Messverstärker, Datenlogger und Display aus. Es soll möglich sein, die Daten direkt zum Rechner zu senden, wo sie vollständig ausgewertet und visualisiert werden können. Hierfür wird eine entsprechende Software benötigt, die die empfangenen Daten verarbeitet.

Der neue Weg der Datenübertragung bringt potenzielle, neue Problemstellungen mit sich. So ist es notwendig zu berücksichtigen, dass es bei drahtloser Datenübertragung im Allgemeinen zu Störungen der Übertragung kommen kann. So würde eine optische Datenübertragung nicht funktionieren, wenn sich etwas im „Sichtfeld“ des Senders und Empfängers befindet. Funkübertragungen wiederum können von Manipulatoren, die sich in ihrem Frequenzbereich sowie in ihrer physischen Nähe befinden, leicht gestört oder beeinflusst werden. Darüber hinaus ist bei einer Funkübertragung die EMV des Systems zu berücksichtigen. Diese Einflussfaktoren spielen bei der aktuellen Übertragung über Kabelverbindungen eine geringere Rolle. Die Daten kommen sicher und vollständig bei der Ausgabeeinheit an, da aufgrund von geschirmten Kabeltechniken von „außerhalb“ des jeweiligen Kabels keine Manipulation möglich ist. Die Integration der drahtlosen Datenübertragung stellt eine deutlich kompaktere Lösung im Vergleich zu Kabelverbindung dar. Messverstärker, Datenlogger und zusätzliche Displays oder Stromversorgungseinrichtungen wären in ihrer jetzigen Form überflüssig, wodurch der Aufbau übersichtlicher und das Handling verbessert wird. Der Messverstärker in seiner Funktion wird jedoch auch für die drahtlose Datenübertragung eine wichtige Rolle spielen, da die Daten, die die DMS generieren, in analoger Form auftreten und dementsprechend in ein digitales Signal umgewandelt und verstärkt werden müssen.

6 Konzeptentwicklung

Bei der Konzeptentwicklung wurde unter anderem auf Methoden der VDI 2221 zurückgegriffen, welche das Vorgehen zur „Entwicklung technischer Produkte und Systeme“ [40] definiert. Ausgehend von der Anforderungsliste wurde eine allgemeine Funktionsstruktur erstellt, die wiederum als Grundlage für die Ermittlung von Lösungskonzepten mithilfe einer Kreativ-Methode, einer Marktanalyse und einer Entwicklungsmatrix dient. Zur Analyse und Bewertung der daraus entstandenen Lösungskonzepte wurde eine Nutzwertanalyse durchgeführt, die mithilfe von definierten Bewertungskriterien zu einer geeigneten Lösung führt [40], [41]. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte erläutert und gegebenenfalls durch Abbildungen ergänzt. Unvollständige Abbildungen der Vorgehensweisen sind im Text kenntlich gemacht und vollständig dem Anhang beigelegt.

6.1 Funktionsstruktur

Um möglichst viele unterschiedliche Lösungsprinzipien zu erlangen, sollten zu Beginn einer Produktentwicklung die Teilfunktionen des zu lösenden Problems erfasst und in einem Funktionsablauf dargestellt werden. Hierbei ist es wichtig, nicht nur die Funktionen aufzuzeigen, die das Produkt durchlaufen soll, sondern auch diejenigen, die ungewollt auftreten könnten und somit den Funktionsfluss beeinflussen würden. Die Betrachtung der Fehlfunktionen dient als Präventionsmaßnahme, um mögliche Probleme zu reduzieren oder zu vermeiden.[40]

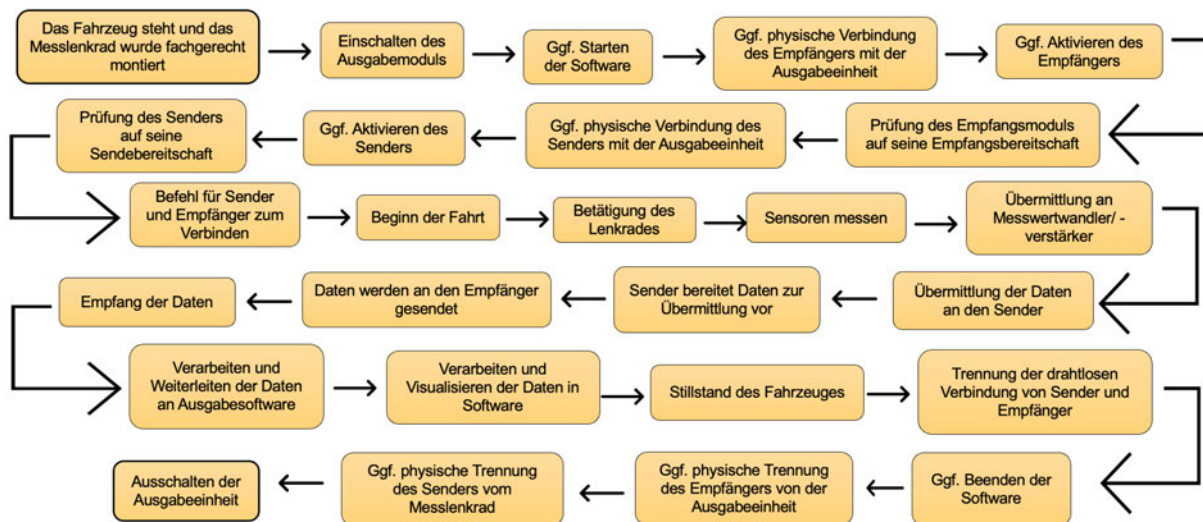


Abb. 11: Funktionsstruktur, eigene Darstellung

Die auf diese Arbeit bezogene Funktionsstruktur ist in Abbildung 11 zu sehen. Begonnen ab dem Zeitpunkt, zu dem das Messlenkrad fachgerecht im Fahrzeug angebracht ist, muss als nächstes das Ausgabemodul aktiviert und falls notwendig die Ausgabesoftware gestartet werden. Gegebenenfalls muss als nächstes das Empfängermodul physisch mit dem Ausgabemodul verbunden, aktiviert und anschließend auf seine Empfangsbereitschaft geprüft werden. Die letzten drei Schritte müssen ebenso für den Sender durchgeführt werden – gegebenenfalls muss er

physisch mit dem Messlenkrad verbunden, aktiviert und anschließend auf seine Sendebereitschaft überprüft werden. Vor Prüfungsbeginn muss ein Befehl des Nutzers abgegeben werden, damit sich Sender und Empfänger verbinden. Nach Fahrtbeginn, bei Betätigung des Lenkrades messen die Sensoren die zu erfassenden Größen und übermitteln diese an einen Messverstärker. Dieser wandelt die Signale von analog in digital um, verstärkt sie und übermittelt sie an den Sender. Der Sender bereitet die Daten für den Datentransfer vor und übermittelt sie drahtlos an den Empfänger. Der Empfänger verarbeitet die eingegangenen Daten und gibt sie an die Ausgabeeinheit weiter. Hier werden die Daten weiterverarbeitet und für den Nutzer auf einem Bildschirm visualisiert. Ist die Prüfung vorbei, müssen alle drahtlosen und alle physischen Verbindungen getrennt werden sowie alle eingeschalteten Einheiten wieder ausgeschaltet werden.

Mögliche Fehlfunktionen können bezüglich der drahtlosen Verbindung auftreten. So kann der Verbindungsaufbau fehlschlagen oder die aufgebaute Verbindung abbrechen. Eine Möglichkeit dem entgegenzuwirken, könnte eine Kontrolleinheit in Form eines akustischen oder Leucht-Signals über die bestehende Verbindung darstellen. Für den Fall, dass der Sender oder der Empfänger physisch und extern mit dem Messlenkrad oder der Ausgabeeinheit verbunden sein müssen, besteht die Gefahr, dass sie bei zu großer Belastung beschädigt werden. Somit sollte bei der Wahl der Module auf Materialien und Konstruktionen geachtet werden, die entsprechenden Belastungen standhalten können.

6.2 Ermittlung von Lösungskonzepten

Für die zuvor aufgestellten Teilfunktionen werden anschließend Lösungskonzepte aufgestellt. Hierzu bietet es sich an, zu Beginn durch Kreativ-Methoden jegliche Möglichkeiten zur Lösung festzuhalten und diese anschließend auf sinnvollen Wegen zu kombinieren. Hierzu wird ein morphologischer Kasten verwendet, der das Entstehen verschiedener Gesamtkonzepte ermöglicht. Vor der Erstellung des morphologischen Kastens wurde eine Marktanalyse durchgeführt, um herauszufinden, welche Lösungsideen bereits auf dem Markt existieren.

6.2.1 Kreativworkshop

Mit der Brainstorming-Methode wurden für wesentliche Teilfunktionen Ideen gesammelt, die eine mögliche Lösung darstellen. Nachfolgend werden die Cluster vorgestellt. Einige Cluster sind bildlich dargestellt, das gesamte erarbeitete Brainstorming ist dem Anhang B dieser Arbeit beigelegt.

Zuerst wurde ein Cluster für die drahtlosen Übertragungstechniken erstellt. Hier wurden alle potenziell geeigneten Techniken gesammelt. Es wurden sowohl Funktechniken wie WLAN, NFC oder Bluetooth aufgenommen als auch Lichtübertragungstechniken wie VLC oder Infrarot.

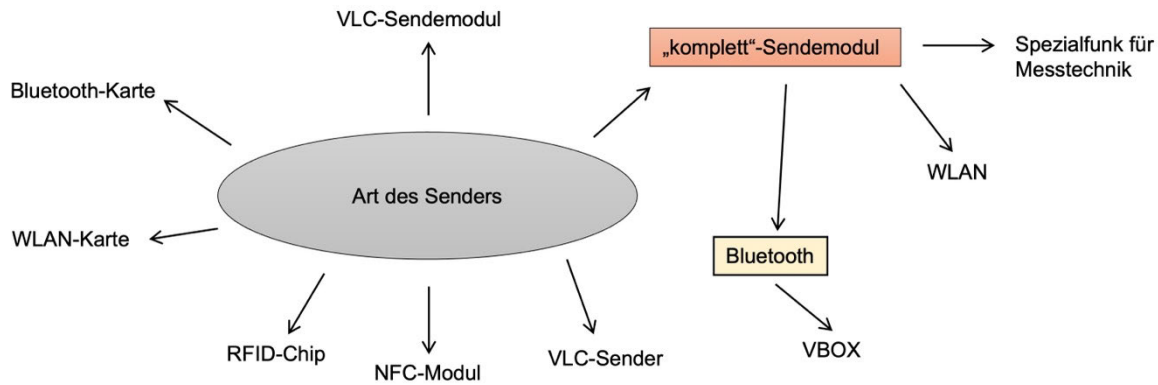


Abb. 12: Mögliche Arten des Senders, eigene Darstellung

Die Art des Senders stellt ein weiteres Cluster dar und ist in Abbildung 12 zu sehen. Mögliche Lösungen stellen hier einzelne Sendemodule dar, die selbst programmiert und konfiguriert werden könnten. Beispielhaft sind hierfür WLAN- oder Bluetooth-Karten zu nennen. Vorteilhaft ist die Möglichkeit der Selbstkonfiguration des Senders. Eine weitere Möglichkeit wäre es, ein bereits auf dem Markt existierendes Sendemodul wie beispielsweise die in Kapitel 2.3 vorgestellte VBOX zu verwenden, welche neben der drahtgebundenen Datenübertragung auch die drahtlose Datenübertragung über Bluetooth ermöglicht. Andererseits gibt es die Möglichkeit, Module zu verwenden, die mit speziellen Funktechniken und Eigenschaften für die Messtechnik ausgestattet sind.

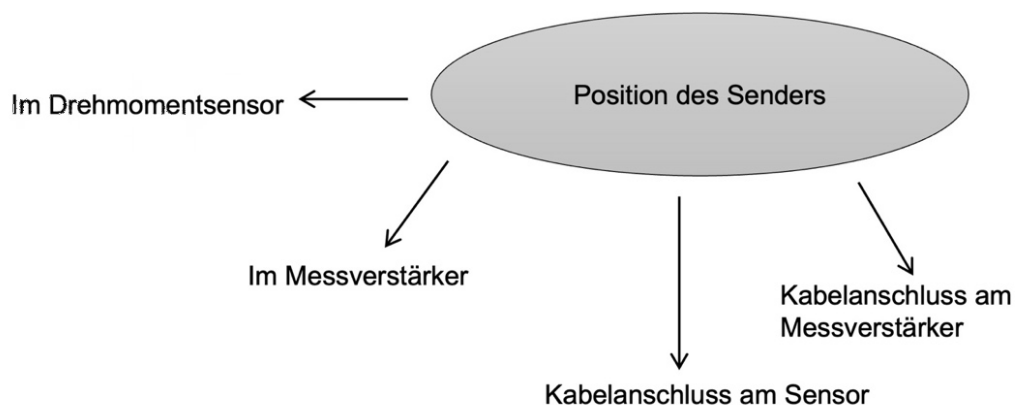


Abb. 13: Mögliche Positionen des Senders, eigene Darstellung

Die gesammelten Ideen für die Position des Senders sind in Abbildung 13 zu sehen. Eine Möglichkeit stellt die Positionierung des Senders im Drehmomentsensor dar. Hierfür ist ein Drehmomentsensor mit integriertem Messwertverstärker und digitaler Datenausgabe nötig. Dies bedeutet somit eine vollständige Neuauslegung des Messlenkrades. Eine weitere Möglichkeit stellt die Positionierung des Senders im Messverstärker dar. Mit dieser Möglichkeit bleibt der aktuelle Drehmomentsensor und somit der prinzipielle Aufbau des Messlenkrades bestehen. Jedoch bedeutet diese Lösung, dass die Kabelverbindung zum Messverstärker bestehen bleiben muss und erst ab dem Messverstärker zum Ausgabemodul eine drahtlose Übertragung möglich ist. Den gleichen Nachteil stellt die Positionierung eines Sendemoduls direkt an der Sensorschnittstelle dar. Hierzu dient ein Kabel als Schnittstelle zwischen Sensor und

Sender. Ebenso wie bei der Integration des Senders in den Drehmomentsensor setzt diese Lösung voraus, dass ein Drehmomentsensor verbaut wird, der das analoge Signal direkt in ein digitales Signal umwandelt und es anschließend verstärkt ausgibt. Die letzte Idee zur Lösung ist der Anschluss des Senders über ein Kabel am Messverstärker. Dies bedeutet, dass ein Messverstärker nötig ist, der das analoge DMS-Signal in ein digitales Signal umwandelt und verstärkt. Somit resultiert ein Messaufbau mit mindestens zwei Kabelverbindungen aus diesem Lösungsansatz. Für die Art des Empfängers wurden die Gegenstücke zu den Sender-Arten aufgeführt. So kann der Empfänger beispielsweise in Form einer Bluetooth-Karte oder eines „komplett“-Moduls mit Bluetooth, WLAN oder speziellem Funk für die Messtechnik realisiert werden. Als Ausgabemodul bieten sich die Möglichkeit eines Datenloggers, mit einem entsprechenden Empfänger oder eines Rechners mit kompatibelem Empfänger und geeigneter Software zur Ausgabe der Daten an. Bezüglich einer Ausgabesoftware kann auf eine Software zurückgegriffen werden, die bereits auf dem Markt besteht und mit potenziellen Sende- und Empfängermodulen kompatibel ist oder es muss auf die Entwicklung einer eigenen Software zurückgegriffen werden.

6.2.2 Marktanalyse

Um herauszufinden, ob und welche Lösungsideen bereits auf dem Markt existieren, wird vor der Aufstellung möglicher Konzepte und der Auswertung dieser eine Marktanalyse durchgeführt. So soll ein Überblick über Lösungsideen geschaffen werden, die eine Eigenkonstruktion erfordern und Lösungsideen, die als Zukaufteile realisiert werden können.

Position des Senders

Im Drehmomentsensor

Die Marktanalyse hat ergeben, dass der Markt keine Drehmomentsensoren mit einem integrierten Sendemodul bietet, die zur Verwendung in Messlenkrädern geeignet sind. Sie sind für kleine Drehmomente ausgelegt, die beispielsweise bei Verschraubungen entstehen [1]. Daraus resultiert der Ausschluss eines Drehmomentsensors mit integriertem Sender als Lösungsidee.

Im Messverstärker

Die Lösung eines Messverstärkers mit integriertem Sender stellt eine bereits vielfach existierende Lösung dar. So haben sich drei Hersteller aufgezeigt, die Messverstärker für DMS-Sensoren anbieten, in denen Sendemodule zur Datenübertragung mit Bluetooth oder anderen, speziell entwickelten Funktechniken verbaut sind.

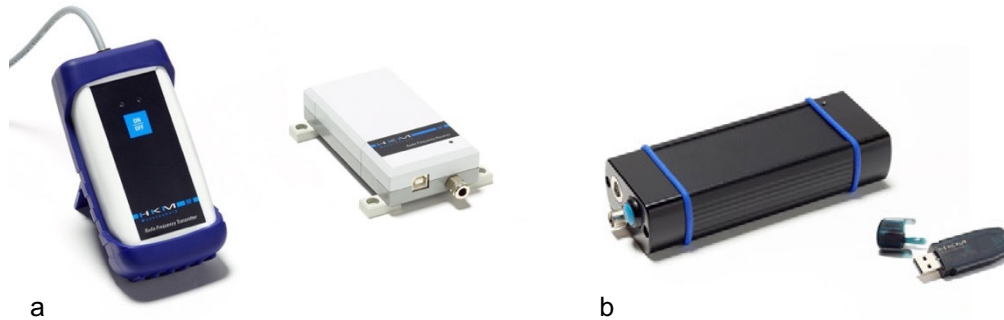


Abb. 14: a) Verstärker mit integriertem Sender und Empfänger mit optionalem digitalem Ausgang, [9]
b) Verstärker mit Sender und digitalem Ausgang über einen USB-Stick [10]

Die Firma HKM Messtechnik bietet zwei Varianten von Messverstärkern mit drahtloser Datenübertragung an, die mit DMS-Sensoren kompatibel sind. Abbildung 14 a) - b) zeigt die beiden Varianten. Die erste Variante gibt die Daten analog als Stromsignal am Empfänger aus, jedoch besteht die Möglichkeit, dass der Empfänger über eine USB-Schnittstelle die Daten digital in Form von Newton oder Kilogramm ausgibt. Das Funkmodul ist über ein Kabel mit dem Sensor verbunden und wird wahlweise über austauschbare Batterien oder aufladbare Akkus versorgt. Die Funkübertragung verläuft über das lizenzfreie 2,4 GHz Frequenzband und beinhaltet eine Reichweite von 25 Metern. Die zweite Variante gibt ausschließlich digitale Messwerte über einen USB-Stick an einen Rechner aus. Für den Rechner stellt HKM Messtechnik eine mit den Funkgeräten kompatible Software zur Auswertung der Messwerte zur Verfügung. Versorgt wird der Sender über aufladbare Akkus. Die Übertragung verläuft bei dieser Variante ebenso wie bei der ersten Variante über das lizenzfreie ISM-Band mit 2,4 GHz und die Übertragungreichweite beträgt 40 Meter.[9], [10]

Da der Hersteller für die zweite Variante wenige Informationen zur Verfügung stellt, wird die Variante bei der weiteren Konzeptentwicklung vernachlässigt. Aufgrund zu weniger Informationen stellt es sich als schwierig heraus, aussagekräftige Analysen und Bewertungen bezüglich eines möglichen Entwurfs mit diesem Modell aufzustellen.

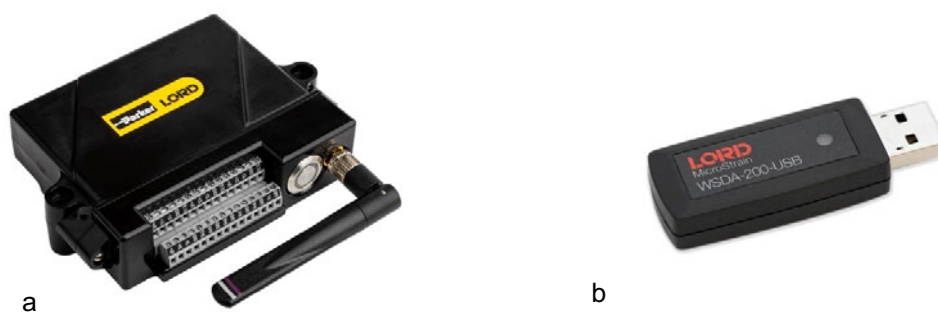


Abb. 15: a) V-Link-200 Messmodul mit integriertem Sender, [27] b) WSDA-200 USB-Empfänger,[28]

Der zweite Anbieter ist die amerikanische Firma Parker-Lord Micro Strain Sensing mit dem V-Link-200 Datenlogger, welcher in Abbildung 15 a) zu sehen ist. Das Modul ist mit einer Wandler- und Verstärkerfunktion sowie einem integrierten Funksender ausgestattet. Die Funkübertragung basiert auf der selbst entwickelten Micro Strain

Technik, die im lizenzfreien Frequenzbereich von 2,4 GHz auf Basis des „Standard for Low Rate Wireless Networks“ (IEEE 802.15.4) arbeitet. Analoge Signale werden in dem V-Link-Modul in digitale Signale umgewandelt, verstärkt und gespeichert. Nach Bedarf können die gespeicherten Messdaten über einen Rechner von der Auswertsoftware angefordert werden. Darüber hinaus ist es möglich die Messdaten in Echtzeit an den Empfänger zu senden, welcher in Abbildung 15 b) zu sehen ist. Er ist durch einen USB-Stick realisiert, der direkt an einen Rechner angeschlossen wird. Mit der zugehörigen Software werden die Daten parallel zur Messung verarbeitet und ausgegeben. Das V-Link-200-Modul ist mit verschiedenen Messsystemen mit Analogausgang kompatibel. Unter anderem ist es möglich, DMS-Vollbrücken oder weitere DMS-Brücken mit dem V-Link-200 zu verbinden. Die maximale Reichweite liegt unter idealen Bedingungen bei 1500 Metern. Die Abmessungen des Sendemoduls ohne Antenne liegen bei 128,8x89,9x31 mm (BxTxH). Ist die Antenne mitberechnet, vergrößert sich die Tiefe des Moduls auf 117,6 mm und die Höhe auf 94 mm. [29], [28]

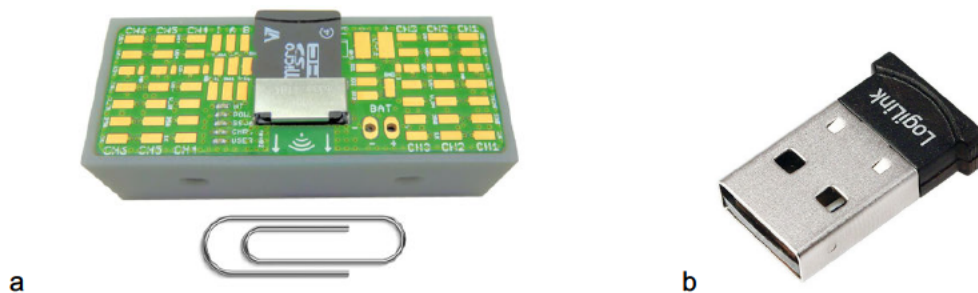


Abb. 16: a) GSV 6BT Messmodul mit integriertem Bluetooth-Sender, [23] b) Bluetooth USB-Empfänger, [25]

Die in Deutschland ansässige Firma ME Messsysteme bietet einen Messverstärker mit Bluetooth-Datenübertragung für DMS-(Voll-)Brücken an, welcher mit einem Akku ausgestattet ist, der den Messverstärker und die angeschlossenen DMS versorgt. Der GSV 6BT weist mit 50x20x17 Millimetern geringe Abmessungen auf. In Abbildung 16 a) ist der Messverstärker zur Größeneinordnung neben einer Büroklammer dargestellt. Neben der Verstärkerfunktion kann das Modul durch eine Speicherkarte als Datenlogger genutzt werden. Der Anschluss des Messlenkrades und der Stromversorgung an den Verstärker erfolgt über Lötverbindungen an der Leiterplatte des Messverstärkers. Die Reichweite ist stark abhängig von den Umgebungsbedingungen, kann jedoch bei guter Sichtverbindung bis zu 400 Meter betragen. Ähnlich wie bei den anderen beiden vorgestellten Modulen, wird der Empfänger mittels eines USB-Steckers (Abbildung 16 b)) realisiert, der an einen Rechner angeschlossen wird. Darüber hinaus bietet die Firma ME Messsysteme eine eigens entwickelte Software zum Auswerten der Daten an. [23], [25]

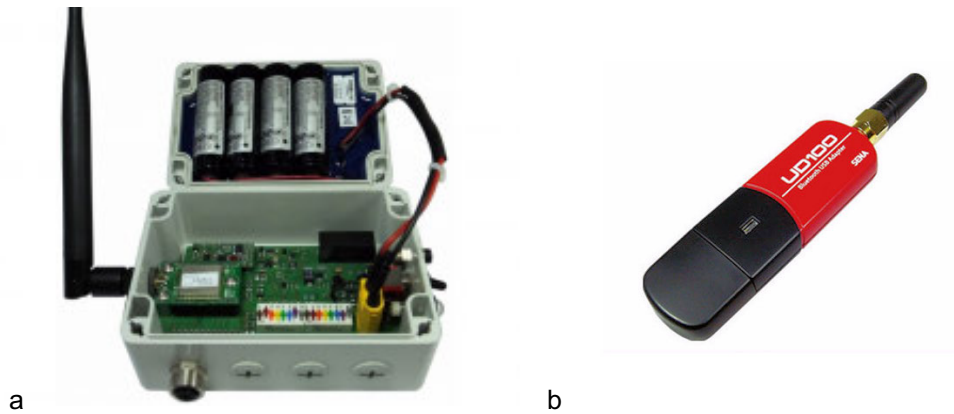


Abb. 17: a) GSV 3BT Messverstärker mit integriertem Sender, [24] b) Bluetooth USB-Empfänger, [26]

Der Hersteller ME Messsysteme bietet über den GSV 6BT hinaus den GSV 3BT zur drahtlosen Datenerfassung und -übertragung an. Dieses Modul stellt ebenso einen Messverstärker mit integriertem A/D-Wandler sowie Datenlogger dar. Die Einheiten sind durch ein robustes Kunststoffgehäuse geschützt, welches zur drahtlosen Datenübertragung mit einer Antenne versehen ist (Abbildung 17 a)). Der Anschluss an das Messlenkrad erfolgt über eine Kabelverbindung, die seitens des GSV 3BT über einen schirmbaren fünfpoligen Steckverbinder der Serie 713 angeschlossen wird [2]. Durch das robuste Gehäuse zeigt das Sendemodul Abmessungen von 120x80x55 mm auf, hier sind die Antenne und die Steckverbindungen nicht mit einberechnet. Wie in der Abbildung zu erkennen, ist das Sendemodul mit bis zu vier Akkus ausgestattet, die für eine Versorgung des Moduls sowie auch der DMS-Sensoren sorgen. Der Empfänger ist durch einen USB-Stick mit einer kleinen Antenne realisiert (Abbildung 17 b)), welcher an einen Rechner angeschlossen wird.[24]

Kabelanschluss am Messverstärker

Ein Kabelanschluss am Messverstärker ist mit der Funkmodullösung ISM Wireless von IBR Messtechnik mit Sitz in Deutschland möglich. Die Datenübertragung wird durch eine eigens entwickelte Funktechnik (IBR-Funk) realisiert, welche in einem Frequenzbereich von 434 MHz arbeitet [12]. Mithilfe von zugeordneten Adressnummern für das jeweilige Messgerät, können bis zu 500 Messgeräte pro Rechner angeschlossen werden. Der Sender wird durch Batterien mit Energie versorgt, die eine Laufzeit von bis zu einem Jahr aufweisen. Die Reichweite des Senders beträgt je nach den Gegebenheiten bis zu 300 Meter. Das Sendemodul kann herstellerseitig mit der benötigten Steckverbindung ausgestattet werden. Für den Fall, dass es keine kompatible Steckverbindung gibt, bietet der Hersteller entsprechende Adapter zur Verbindung der Geräte an. So besteht die Möglichkeit, das Sendemodul an den RS232-Anschluss des bestehenden analogen Messverstärkers des Messlenkrades anzuschließen. Der Empfänger wird über eine USB-Schnittstelle an einen Rechner angeschlossen, auf dem wiederum die kompatible SimKey Software der Firma installiert werden kann, um die Daten auszuwerten und den Sender sowie den Empfänger einzurichten. Sowohl die erfolgreiche Übertragung als auch eine fehlerhafte Übertragung der Daten werden über Licht- und Tonsignale dem Benutzer gemeldet.[11], [12]

Der Hersteller gibt wenig detaillierte Informationen, Datenblätter oder Produktabbildungen bekannt.



Abb. 18: VBOX Messmodul, [38]

Eine weitere Möglichkeit zur drahtlosen Datenübertragung besteht darin, die bereits vorhandene VBOX (Abbildung 18) wie gewohnt mit dem Messlenkrad und der entsprechenden Stromversorgung zu verbinden. Da die VBOX die Möglichkeit der Datenübertragung über Bluetooth bietet, können die Messwerte drahtlos an einen Bluetooth-fähigen Rechner gesendet werden [38]. Die Kabelverbindungen zwischen der VBOX, dem Display und dem Rechner würden entfallen. Das Zwischenschalten des LCV Interface der Firma Lorenz oder einer vergleichbaren Komponente bleibt jedoch bestehen.

Ausgabemodul und -software

Die zuvor vorgestellten möglichen Lösungen der Messdatenerfassung und -übertragung bieten alle eine vom Hersteller eigens entwickelte Ausgabesoftware für einen Rechner an, wie in den vorigen Sätzen aufgeführt ist. Dies sind speziell entwickelte Computerprogramme, die auf die jeweiligen Mess- und Übertragungsmodule abgestimmt sind und die Messdaten in verschiedenen Formen ausgeben. So bieten sich Möglichkeiten wie eine Live-Messdatenübertragung, die Bildung von Kurven oder Tabellen mit allen oder speziell ausgewählten Messdaten. Die Messdaten können auf verschiedene Arten direkt am Rechner verarbeitet und visualisiert werden. Eine weitere Möglichkeit bieten Datenlogger mit Anzeigefunktion. Sie sind jedoch nicht geeignet für die langfristige Verarbeitung der Messdaten in Form von Graphen oder Tabellen, wie es bei einem Rechner mit installierter Software möglich wäre. Vielmehr dienen sie als Momentaufnahme der Messwerte, da meist nur ein Wert angezeigt werden kann, welcher vor der Verwendung ausgewählt werden muss. Darüber hinaus dienen Datenlogger als Speichermedium, von welchem die Daten an einen Rechner für die Auswertung aller erfassten Messwerte weitergeleitet werden müssen. Somit wäre die Verwendung eines Rechners zusätzlich nötig, um aussagekräftige Messwerte zu erhalten. Dies kann sich bezüglich der Komplexität sowie der Handhabung des Testaufbaus tendenziell als kontraproduktiv darstellen. Darüber hinaus ist in der Anforderungsliste der Wunsch definiert, dass die Messwerte direkt an einem Rechner ausgegeben werden.

Fazit der Marktanalyse

Aus der Marktanalyse geht hervor, dass auf dem Markt bereits verschiedene Lösungen für die drahtlose Datenübertragung von Messdaten existieren. Überdies haben einige der Hersteller ihre Produkte zur Datenübertragung speziell für DMS-Sensoren ausgelegt. Andere Produkte eignen sich für die Anbindung an verschiedene Sensorarten. Beinahe alle der vorgestellten Produkte übernehmen die Funktion eines Messwertwandlers sowie eines Messwertverstärkers und könnten somit alle Schnittstellen zwischen dem Sensor und dem Rechner ersetzen. Das ISM Wireless Modul bietet die Möglichkeit des Ersatzes aller zwischengeschalteten Einheiten nicht. Es könnte jedoch über eine geeignete Steckverbindung an den RS232-Stecker des vorhandenen LCV Interface mithilfe eines entsprechenden Adapters angeschlossen werden.

Aufgrund der Tatsache, dass bereits verschiedene Lösungen für die drahtlose Datenübertragung von Messgeräten zu einem Ausgabemodul existieren, wird in der weiterführenden Konzeptentwicklung der Fokus auf diese vorhandenen Lösungen gelegt. Die Entwicklung eigener Übertragungskonzepte wird nicht weiterverfolgt, da dies den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit aufgrund zu geringer Kenntnisse im Bereich der Elektro- sowie Datenübertragungstechnik überschreiten würde.

6.2.3 Morphologischer Kasten

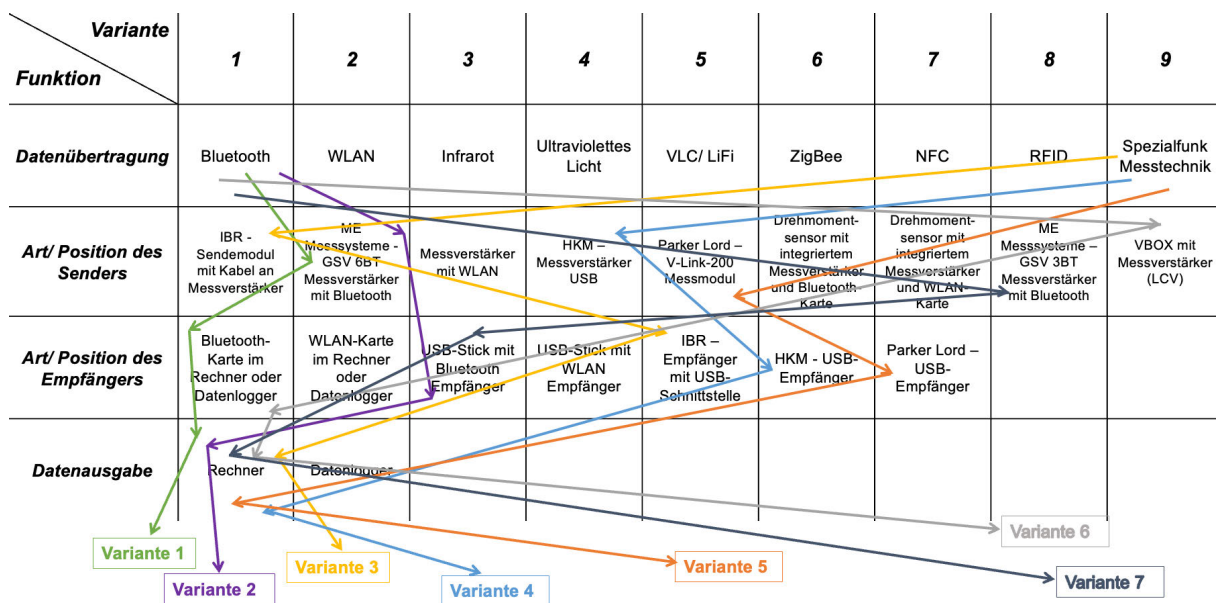


Abb. 19: Der morphologische Kasten, eigene Darstellung

Zur Verbindung der Teilkonzepte zu verschiedenen möglichen Gesamtkonzepten wurde die Methode des morphologischen Kastens gewählt. Hierbei werden die erarbeiteten Teilkonzepte in einer Matrix aufgelistet und anschließend in verschiedenen sinnvollen Varianten miteinander kombiniert. Durch die zuvor durchgeführte Marktanalyse bezüglich der Lösungsideen, konnten einige Ideen im morphologischen Kasten bereits spezialisiert oder ausgeschlossen werden. Die ausgeschlossenen Ideen sind dennoch im morphologischen Kasten mit aufgeführt.

Insgesamt haben sich fünf Lösungskonzepte entwickeln lassen, welche im Folgenden genauer vorgestellt werden. Abbildung 19 stellt den morphologischen Kasten dar, zur besseren Lesbarkeit ist er zusätzlich dem Anhang C beigelegt. Links sind die Teilfunktionen aus dem Brainstorming aufgeführt, wobei die Parameter Art des Senders und Position des Senders zusammengefasst worden sind.

Für alle Entwürfe wird zur Sicherung EMV an der Quelle an der 7-poligen Schnittstelle des Drehmomentsensors wie bisher der geschirmte Steckverbinder der Serie 712 der Firma Binder mit dem entsprechenden Kabel verwendet [3]. Dies dient als vorbeugende Maßnahme, um mögliche elektromagnetische Störungen zu verhindern. Für Entwurf 1 (grün) und Entwurf 2 (lila) ist als Datenübertragungstechnik Bluetooth gewählt worden. Hierfür bietet sich als Sendemodul für beide Varianten der Messverstärker GSV 6BT der Firma ME Messsysteme an, da dieser mit der Bluetooth-Technik ausgestattet ist. Bezüglich der Art des Empfängers unterscheiden sich die beiden Entwürfe. Entwurf 1 beinhaltet als Empfängermodul eine Bluetooth-Karte, die entweder bereits im Rechner oder im Datenlogger verbaut sein kann, wobei die Platzierung in einem Rechner sinnvoller ist, um die Komplexität des Testaufbaus so gering wie möglich zu halten. Daher wurde sich für einen Rechner als Ausgabemodul entschieden. Ein weiterer Grund hierfür ist, dass in den meisten modernen Rechnern bereits Bluetooth-Karten integriert sind. Bei Entwurf 2 hingegen ist der Empfänger, durch den von ME Messsysteme optional angebotenen und auf den Sender abgestimmten USB-Stecker realisiert, der an einen Rechner angeschlossen werden kann. Somit ergibt sich für diese Variante automatisch der Rechner als Ausgabemodul. Entwurf 3 (gelb), Entwurf 4 (blau) und Entwurf 5 (orange) basieren auf speziell entwickelten Funkübertragungstechniken im Bereich der Messtechnik. Für Entwurf 3 wird die Übertragung durch die Funkeinheit ISM des Herstellers IBR Messtechnik realisiert. Aufgrund der speziellen Funktechnik bietet die Wahl des Empfängers keinen Spielraum und fällt auf das entsprechend zugehörige Empfangsmodul des Herstellers. Dieses wird über eine USB-Schnittstelle an einen Rechner angeschlossen, auf dem die mitgelieferte Software installiert sein muss, um die Messdaten auslesen zu können. Ebenso wie bei Entwurf 2 stellt der Rechner somit automatisch das Ausgabemodul dar. Entwurf 4 beruht auf den Messeinheiten der Firma HKM Messtechnik, bestehend aus einem Messverstärker mit integriertem Funksender und einem Empfänger in Form eines USB-Sticks. Wie bei Entwurf 3 zuvor erfordert die spezielle Funktechnik den zum Sender zugehörigen spezifischen Empfänger. Da der Hersteller eine eigene Auswertsoftware mitliefert und der Empfänger in Form eines USB-Sticks realisiert ist, bietet sich hier als Ausgabemodul erneut der Rechner an. Der letzte Entwurf umschließt das Messmodul V-Link-200 des Herstellers Parker-Lord Micro Strain Sensing. Es wird über eine Kabelverbindung an das Messlenkrad angeschlossen und sendet von dort die Daten an den Empfänger. Durch die eigens entwickelte Micro Strain Funktechnologie ist als Empfänger der zugehörige USB-Stick zu verwenden. Darüber hinaus bietet sich für eine optimale Nutzung des V-Link-200-Moduls ein Rechner als Ausgabemodul an, auf welchem die zugehörige Software zum Auswerten der Daten installiert werden kann.

In Entwurf 6 (grau) ist die drahtlose Datenübertragung über Bluetooth definiert. Als Sender dient die VBOX, welche an den bestehenden Messverstärker VLC der Firma

Lorenz wie bisher angeschlossen wird. Als Empfänger dient ein Rechner, welcher mit einer Bluetooth-Karte ausgestattet sein muss.

Entwurf 7 (blaugrau) beinhaltet als Sendemodul den GSV 3BT der Firma ME Messsysteme. Die Datenübertragung ist über Bluetooth realisiert. Der Sender ist, wie beim GSV 6BT mit einem Messverstärker und Datenlogger vereint, der Empfänger ist in einen USB-Stick mit Antenne implementiert. Somit ergibt sich der Rechner mit der entsprechenden Software zum Auswerten der Daten als Ausgabemodul

6.3 Analyse und Bewertung der Lösungskonzepte

Kriterium	Gewichtung in %
Abmessungen gering	0,08
EMV gegeben	0,12
Echtzeitübertragung	0,06
Handhabung	0,08
kompatible Software	0,07
Komplexität gering (Aufbau)	0,05
Messgenauigkeit	0,12
Reichweite groß	0,05
Robust	0,08
Signal über bestehende Verbindung	0,04
Stromversorgung des Senders mobil	0,06
Störungsfreier Lenkvorgang	0,15
Stromverbrauch gering	0,04
Summe	1

Abb. 20: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Parameter, eigene Darstellung

Eine Nutzwertanalyse dient dazu, einen Überblick darüber zu schaffen, wie prädestiniert die einzelnen Konzepte als Lösung sind. Hierzu werden bewertungsfähige Parameter aufgestellt und in Prozent gewichtet. Anschließend werden die verschiedenen Lösungsansätze nach den aufgestellten Parametern durch ein definiertes Punkteranking bewertet. Die Abbildung 20 zeigt die Parameter und deren Gewichtung. Bewertet wurde mit einem Punkteranking von 1-10, wobei eine 1 bedeutet, dass der Lösungsansatz den Parameter sehr schlecht bis gar nicht erfüllt und die 10 hingegen den Parameter sehr gut erfüllt.

Die Gewichtung der Parameter wurde der Wichtigkeit nach so aufgeteilt, dass sie in Summe 100% ergeben. Die höchste Gewichtung haben mit 10% die Parameter „EMV“, „Messgenauigkeit“ und „störungsfreier Lenkvorgang“ bekommen, da sie wichtige Faktoren im Hinblick auf eine adäquate Prüfung der Lenkung darstellen. Ebenfalls wichtig für eine störungsfreie Prüfung ist die Stabilität der drahtlosen Verbindung der Geräte. Bricht die Verbindung während des Messvorgangs ab, so werden die Messergebnisse verfälscht und sind nicht mehr aussagekräftig. Daher ist der Parameter „Verbindung stabil“ mit einem Gewicht von 9% versehen worden. Mit 4% am geringsten gewichtet wurden das gewünschte Signal über die bestehende Verbindung sowie der geringe Stromverbrauch. Diese Parameter sind in der

Anforderungsliste definiert, haben jedoch keinen großen Einfluss auf die fehlerfreie und ordnungsgemäße Prüfung der Lenkanlage.

Der Großteil der Hersteller gibt Informationen zu Datenraten, Übertragungsraten, Messraten oder Abtastraten an. Jedoch geben alle Hersteller unterschiedliche Referenzdaten an, sodass keine Basis für einen Vergleich bezüglich dieser Parameter gegeben ist.

Nachfolgende Abbildungen sind Auszüge aus der Nutzwertanalyse, die vollständige Nutzwertanalyse ist dem Anhang D beigelegt.

Entwurf 1 (grün) GSV 6BT mit Bluetooth-Karte als Empfänger

Entwurf 1 - GSV 6BT (1)	
Bewertung	Gewichtet
10	0,8
3	0,39
10	0,6
9	0,72
10	0,7
10	0,6
9	1,17
8	0,4
5	0,4
10	0,3
8	0,48
10	1,3
6	0,24
108	8,1

Abb. 21: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 1, eigene Darstellung

Der größte Vorteil des ersten Entwurfs (Abbildung 21) ist der geringe Platzbedarf und der damit einhergehende störungsfreie Lenkvorgang. Grund hierfür sind zum einen die geringen Abmessungen des Messverstärkers [23], die einen geringen Platzbedarf des Entwurfs zur Folge haben und daher mit 10 Punkten bewertet worden sind. Zum anderen befindet sich der Empfänger im Rechner in Form einer Bluetooth-Karte. So besteht der Aufbau aus drei Teilen – dem Messlenkrad, dem Messverstärker mit Sendemodul und dem Rechner mit dem Empfänger. Die Messgenauigkeit ist für den Entwurf mit dem GSV 6BT ebenfalls hoch bewertet, da sie mit 0,1% [23] denselben Wert wie die aktuell verwendeten Messverstärker besitzt [21]. Darüber hinaus ist die Möglichkeit der Echtzeitübertragung der Messdaten an die mitgelieferte Software sowie das Signal über die bestehende Verbindung in Form einer LED-Leuchte am Sender hervorzuheben. Weiter ist eine mobile Stromversorgung des Aufbaus durch den Anschluss eines Akkus möglich [23]. Aufgrund dessen, dass die Verbindung des Messlenkrades sowie der Spannungsversorgung über den Akku zum GSV 6BT über eine offene Leiterplatte erfolgt [23], ist die EMV des Entwurfs mit lediglich drei Punkten eingestuft. Hier muss besonderes Augenmerk auf das Erreichen der EMV des Gesamtsystems gelegt werden, sollte dieser Entwurf Anwendung finden.

Entwurf 2 (lila) GSV 6BT mit USB-Bluetooth-Empfänger

Entwurf 2 - GSV 6BT (2)	
Bewertung	Gewichtet
10	0,8
3	0,39
10	0,6
10	0,8
10	0,7
10	0,6
9	1,17
8	0,4
5	0,4
10	0,3
8	0,48
10	1,3
6	0,24
109	8,18

Abb. 22: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 2, eigene Darstellung

Entwurf 2 (Abbildung 22) unterscheidet sich zu Entwurf 1 lediglich durch ein Bewertungskriterium. Die Handhabung stellt sich im zweiten Entwurf als einfacher dar, da die Verbindung des Senders und des zugehörigen Empfängers lediglich einmalig durch die Bedienperson gesetzt werden muss. Werden nachfolgend dieselben Geräte verwendet, muss die Verbindung nicht erneut manuell hergestellt werden [22]. Hervorzuheben ist der geringe Platzbedarf, der für beide Entwürfe gleich bewertet wurde. Zwar besteht bei Entwurf 2 der Empfänger aus einem USB-Stecker, der am Rechner angeschlossen wird. Dies bedeutet, dass der Testaufbau ein Teil mehr aufweist als der des ersten Entwurfs. Da der USB-Stecker jedoch sehr klein ist [23], nimmt er im Vergleich zu Entwurf 1 nicht erheblich mehr Platz ein oder stört den Testvorgang stark.

Entwurf 3 (gelb) ISM-Modul mit USB-Empfänger

Entwurf 3 - ISM Module	
Bewertung	Gewichtet
6	0,48
5	0,65
8	0,48
4	0,32
10	0,7
6	0,36
5	0,65
8	0,4
7	0,56
3	0,09
9	0,54
6	0,78
10	0,4
87	6,41

Abb. 23: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 3, eigene Darstellung

Der dritte Entwurf (Abbildung 23) hat die schlechteste Gesamtwertung bekommen. Positiv bei diesem Entwurf sind die vorhandene kompatible Software zur Auswertung der Daten sowie der vom Hersteller angegebene geringe Stromverbrauch [12]. Dadurch, dass der Sender und der Empfänger aufeinander abgestimmte Einheiten darstellen, lässt sich aus demselben Grund wie bei Entwurf 2 auch die Stabilität der Verbindung als gut bewerten. Eine Live-Übertragung der Messwerte kann laut Hersteller bei Bedarf über die entsprechende Software eingestellt werden, standardmäßig läuft die Übertragung jedoch nur nach einem Knopfdruck durch die Bedienperson am Sendemodul [12]. Der Testaufbau dieses Entwurfs ist komplex, da der Sender nicht direkt an den Sensor angeschlossen wird, sondern ein Messverstärker dazwischengeschaltet werden muss. Darüber hinaus ist die USB-Verbindung des Empfängers zum Rechner über ein Kabel realisiert, wodurch der Empfänger nicht fest mit

dem Rechner verbunden ist. Aufgrund der Notwendigkeit des Zwischenschaltens eines Messverstärkers zwischen Sensor und Sender wäre das Messlenkrad von mehreren Kabelverbindungen umgeben, welche den Lenkvorgang potenziell behindern. Somit resultiert aus dem dritten Entwurf ein komplexer Aufbau, welcher wiederum die Handhabung dessen sowie den störungsfreien Lenkvorgang negativ beeinflusst. Die Messgenauigkeit wurde vom Hersteller nicht quantitativ definiert, was

eine Bewertung dieses Punktes erschwert, da er nicht vergleichbar mit den Messgenauigkeiten der anderen Entwürfe ist. Da der Großteil der zuletzt erwähnten Parameter hoch gewichtet und somit wichtig für die Lösung ist, stellen die negativen Bewertungen dieser einen großen Einfluss auf die Gesamtwertung des Entwurfs 2 dar.

Entwurf 4 (blau) RFT 2.x mit USB-Empfänger

Entwurf 4 - RFT 2.x	
Bewertung	Gewichtet
6	0,48
5	0,65
5	0,3
7	0,56
9	0,63
8	0,48
5	0,65
7	0,35
8,5	0,68
3	0,09
10	0,6
6	0,78
5	0,2
84,5	6,45

Abb. 24: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 4, eigene Darstellung

Entwurf 4 (Abbildung 24) hat ähnlich schlechte Bewertungen bekommen, wie Entwurf 3. Positiv hervorzuheben ist unter anderem die Tatsache, dass eine kompatible Software zur Datenauswertung und -visualisierung vom Hersteller zur Verfügung gestellt wird. Darüber hinaus ist durch die Integration des Messverstärkers und des Empfängers in ein Kunststoffgehäuse eine Robustheit der Module gegeben und durch die Realisierung eines zum Sender zugehörigen Empfängers ein stabiler Verbindungsaufbau zwischen Sender und Empfänger möglich [9]. Die am höchsten gewichteten Parameter sind für diesen Entwurf nur mäßig gut bewertet worden. So gibt es zur der EMV der Module sowie zu den vorhandenen Schnittstellen keine Angaben des Herstellers. Ebenso verhält es sich mit der Messgenauigkeit des Messverstärkers. Potenzielle Störungen durch die Kabelverbindung zwischen Sensor und Sender könnten den Lenkvorgang beeinflussen, da das Sendemodul den angegebenen

Maßen nach schwer in das Messlenkrad integrierbar ist und somit auf der Armaturentafel abgelegt oder im besten Fall dort befestigt werden kann.

Entwurf 5 (orange) V-Link-200 mit USB-Empfänger

Entwurf 5 - V-Link-200	
Bewertung	Gewichtet
8	0,64
8	1,04
10	0,6
9	0,72
10	0,7
9	0,54
9	1,17
10	0,5
8,5	0,68
4	0,12
9	0,54
8	1,04
6	0,24
108,5	8,53

Abb. 25: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 5, eigene Darstellung

Im fünften Entwurf (Abbildung 25) ist ein Vorteil die Möglichkeit des störungsfreien Lenkvorgangs. Zwar ist auch bei dieser Lösungsvariante der im Messverstärker integrierte Sender über ein Kabel mit dem Sensor verbunden, jedoch ist das Gehäuse flach genug, um es beispielsweise zwischen den zwei Lenkrädern des neuen Messlenkrades zu platzieren. Darüber hinaus bietet das Messmodul dieselbe Messgenauigkeit wie der aktuell verwendete Testaufbau sowie eine sehr hohe Reichweite. Weiter bietet es die Möglichkeit der Echtzeitübertragung an die Software, wodurch eine direkte Visualisierung der Daten für die Testpersonen bestehen bleibt, obwohl der Testaufbau weniger Geräte aufweist. Der Hersteller des V-Link-200 gibt an, dass das Modul zur Messdatenerfassung in Fahrzeugen geeignet ist. Daraus lässt sich schließen, dass die elektromagnetische Verträglichkeit des Moduls in Fahrzeugen gegeben ist.[29]

Entwurf 6 (grau) VBOX mit Messverstärker und Rechner

Entwurf 6 - VBOX	
Bewertung	Gewichtet
3	0,24
9	1,17
10	0,6
3	0,24
10	0,7
4	0,24
9	1,17
7	0,35
8	0,64
5	0,15
0	0
5	0,65
5	0,2
78	6,35

Abb. 26: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 6, eigene Darstellung

Entwurf sechs (Abbildung 26) befindet sich der Punkteverteilung nach im unteren Bereich. Grund hierfür ist die Stromversorgung, welche nicht über Batterien oder aufladbare Akkus realisiert ist [38], der hohe Platzbedarf durch das notwendige Zwischenschalten eines Messverstärkers, die hohe Komplexität sowie die vergleichsweise schlechte Handhabung des Aufbaus. Die letzten drei genannten Punkte sind in der Notwendigkeit des Messverstärkers und der daraus resultierenden Menge an Kabelverbindungen begründet. Es müssten viele Komponenten sowie deren Kabelverbindungen in den Aufbau integriert werden, sodass sie die Betätigung des Lenkrades, nicht stören aber dennoch für die Bedienperson gut erreichbar sind. Der störungsfreie Lenkvorgang ist dementsprechend mit wenig Punkten bewertet worden, dennoch hat der Parameter durch die hohe Gewichtung einen großen Einfluss auf die Gesamtwertung des Entwurfs. Positive Aspekte des Entwurfs sind die gegebene Echtzeitübertragung aufgrund geringer Latenz, die hohe Messgenauigkeit und das Vorhandensein einer kompatiblen Software zur Auswertung der Daten [38]. Darüber

hinaus ist die elektromagnetische Verträglichkeit des Entwurfs mit einer hohen Punktzahl bewertet worden, weil die Produkte von VBOX Automotive für Tests in und an Fahrzeugen ausgelegt sind und daher mit einer hohen Wahrscheinlichkeit auch im Hinblick auf die EMV ausgelegt worden sind. Weiter können für die Steckverbindungen vom Sensor bis zur VBOX für die EMV geschirmte Steckverbinder, wie beispielsweise die der Serie 712 der Firma Binder, verwendet werden. Der letzte positive Parameter ist die Robustheit des Aufbaus. Der bereits verwendete Messverstärker LCV der Firma Lorenz Messtechnik ist prädestiniert für raue Umgebungen, ebenso ist es die VBOX.

Entwurf 7 (blaugrau) GSV 3BT mit USB-Empfänger

Entwurf 7 - GSV 3BT	
Bewertung	Gewichtet
6	0,48
7	0,91
8	0,48
8	0,64
10	0,7
9	0,54
9	1,17
7	0,35
9	0,72
8	0,24
9	0,54
7	0,91
6	0,24
103	7,92

Abb. 27: Auszug aus der Nutzwertanalyse - Entwurf 7, eigene Darstellung

Der siebte Entwurf ordnet sich hinsichtlich der Punkteverteilung im Mittelfeld ein (Abbildung 27).

Bezüglich der Bewertung besonders hervorzuheben sind die hohe Messgenauigkeit [24], der mögliche störungsfreie Lenkvorgang sowie die elektromagnetische Verträglichkeit des Entwurfs. Letztere ist mit sieben Punkten bewertet und dadurch begründet, dass die beiden Steckverbindungen zwischen Messlenkrad und Messverstärker die Möglichkeit der Schirmung bieten [2], [3]. Trotz der großen Abmessungen des Moduls sollte der Lenkvorgang wenig von dem Testaufbau durch Entwurf 7 gestört werden. Da das Modul aufgrund seiner Abmessungen jedoch nicht in das Messlenkrad integrierbar ist [24], muss es außerhalb des Lenkrades angebracht werden. Daraus resultiert eine längere Kabelverbindung, welche wiederum den Lenkvorgang bei schlechter Lage beeinflussen könnte. Daher ist der Entwurf bezüglich des störungsfreien Lenkvorgangs mit sieben Punkten bewertet worden, was durch den Einfluss

der hohen Gewichtung des Parameters einen hohen Einfluss auf die Gesamtwertung darstellt. Darüber hinaus gut bewertet, jedoch aufgrund der geringeren Gewichtung mit einem weniger großen Einfluss auf das Ergebnis ist die geringe Komplexität des Aufbaus, die Robustheit des Entwurfs sowie die Möglichkeit der mobilen Stromversorgung durch integrierte Akkus. Die geringe Komplexität des Aufbaus wird als sehr gut bewertet, da das Messmodul die Verstärker-/ Wandlerfunktion, die Speicherfunktion sowie die Übertragungsfunktion übernimmt [24]. Darüber hinaus dient der Rechner sowohl zur Datenverarbeitung als auch zur Visualisierung der Daten während und nach der Messung. So bietet dieser Entwurf die Möglichkeit, mehrere Funktionen des aktuellen Testaufbaus miteinander in einem Gerät zu vereinen.

7 Der Lösungsvorschlag im Detail

Der Entwurf 5 stellt sich in Folge der Nutzwertanalyse als am besten geeignet heraus. Ausschlaggebende Parameter für dieses Ergebnis waren die EMV, die Genauigkeit der Datenübertragung und die Möglichkeit einer stabilen Verbindung zwischen Sender und Empfänger sowie die vorhandene kompatible Software zur Datenauswertung und der eminent wichtige störungsfreie Lenkvorgang. Im Folgenden wird im Detail auf das Konzept eingegangen. Es soll ein Überblick über die Eigenschaften geschaffen sowie die Vor- und Nachteile des Konzeptes aufgezeigt werden.

Der Testaufbau besteht aus vier Teilen – dem Messlenkrad, dem Messwertwandler/ -verstärker mit integriertem Sender, dem USB- Empfänger für den Rechner und dem Rechner selbst. Bis einschließlich zur Ausgabe der analogen Messdaten durch die Sensoren bleibt der in Kapitel 4 beschriebene Vorgang gleich. An die Datenausgabe ist das V-Link-200 Messmodul angeschlossen, welches die analogen Daten in digitale Daten umwandelt, sie verstärkt und anschließend über Funk an den USB-Empfänger sendet. Der USB-Empfänger ist an einen Rechner angeschlossen, auf welchem die Software Sensor Connect installiert ist. Diese wertet die Daten aus und stellt sie in der vom Benutzer gewünschten Form dar.

Zur Vermeidung von elektromagnetischen Störungen sowohl von außerhalb kommend als auch von der Verbindung ausgehend, erfolgt der Anschluss des Messmoduls am Sensor über den Steckverbinder der Serie 712 der Firma Binder in der für die EMV geschirmten Variante. Da das Messmodul nicht nur als Wandler und Verstärker dient, sondern auch eine Datenlogging-Funktion besitzt, speichert es mehr als 5 Millionen Messdaten. So sind diese nicht nur zum Zeitpunkt der Messung abrufbar, sondern zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt. Der USB-Empfänger bietet die Möglichkeit, sich mit anderen konfigurierten Messsystemen zu verbinden, so besteht die Möglichkeit, dass in der Software Sensor Connect zusätzlich zu den Daten des Messlenkrades auch weitere Daten verarbeitet werden. Die Oberfläche der Software ist personalisierbar und mithilfe von verschiedenen Dashboards und Widgets nach Belieben einstell- und gestaltbar. Die Messdaten können in CSV-Dateien exportiert werden, um sie in Tabellenkalkulations- oder Textverarbeitungsprogrammen zu importieren.

Den Abmessungen des V-Link-200 nach, kann das Messmodul zwischen den beiden Lenkrädern des neuen Messlenkrades der GTÜ positioniert werden. Im alten Messlenkrad bieten die Hohlräume des Lenkrades oder die Griffaussparungen Platz zur Montage des Moduls.

7.1 Details zum V-Link-200

Die Kabelverbindung inklusive des Messverstärkers sowie des Datenloggers werden durch das V-Link-200 Messmodul der Firma Parker-Lord Micro Strain Sensing ersetzt. Das Modul bietet acht analoge Messkanäle zum Anschluss verschiedener Sensoren, wobei vier der Kanäle für DMS-Sensoren ausgelegt sind. Somit kann es über eine kurze Kabelverbindung an den DMS-Sensor des Messlenkrades angeschlossen werden. Darüber hinaus verfügt es über einen Analog/Digital-Wandler sowie einen 16 MB Speicher für die Messwerte. Somit kann die Funktion des vorigen Interface der

Firma Lorenz Messtechnik durch das V-Link-200 Modul ersetzt werden. Das analoge DMS-Signal wird über die Kabelverbindung an das V-Link-200 Modul weitergeleitet und in ein verstärktes, digitales Signal übersetzt. Um für eine erforderliche Temperaturkompensation der Dehnungsmessstreifen sorgen zu können, hat der Hersteller das Modul mit einer Temperaturmesseinheit versehen, welches mit einer Genauigkeit von $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ misst.

Die drahtlose Übermittlung der Daten erfolgt mithilfe der Micro Strain Technologie, welche durch das offene LXRS Protokoll definiert ist und im lizenzfreien ISM-Band von 2,4 GHz arbeitet. Das LXRS Protokoll basiert auf der IEEE 802.15.4, durch welche ebenfalls die Protokolle anderer Netzwerktechnologien wie beispielsweise ZigBee definiert sind. Die maximale, ideale Reichweite im Außenbereich liegt bei 1,5 km, repräsentative Werte liegen bei 800 Metern im Außen- und 250 Metern im Innenbereich. Der Wunsch aus der Anforderungsliste bezüglich der Echtzeitübertragung der Daten wird mit dem V-Link-200 erfüllt, darüber hinaus ist ein synchrones Streaming der Messwerte über die Ausgabesoftware auf dem Rechner möglich. Die Messdaten werden im V-Link-200 gespeichert und können auch nach dem Messvorgang über den Rechner angefordert werden.

Die Stromversorgung des Messmoduls ist über vier 3,6 V Batterien gewährleistet, die trotz der Mitversorgung der DMS aufgrund eines sparsamen Energieverbrauchs des V-Link-200 eine Laufzeit von mehreren Jahren gewährleisten können. Der tatsächliche Energieverbrauch und die damit einhergehende Batterielaufzeit ist von den Einstellungen abhängig die für das Messmodul getroffen werden und kann dementsprechend stark variieren. Eine Anzeige gibt dem Benutzer Auskunft über das Energielevel der Batterien sowie darüber zu welchem Zeitpunkt ein Austausch erforderlich ist.

Der Empfänger in Form eines USB-Sticks wird an einen Rechner angeschlossen, auf welchem die frei verfügbare Software Sensor Connect als Desktopversion zum Auswerten und Ausgeben der Messdaten installiert ist. Über die Software kann das Messmodul beliebig konfiguriert werden. Die Daten können entweder parallel zur Messung oder zu späteren Zeitpunkten durch verschiedene Funktionen analysiert und visualisiert werden. Somit ist während der Testfahrt bei Bedarf eine Live-Übertragung der Messwerte möglich, wie es aktuell durch den GM80 beziehungsweise der VBOX mit dem zugehörigen Display realisiert wird.

Das Datenblatt des V-Link-200 ist in Anhang E zu finden.

7.2 Vor- und Nachteile des Konzeptes

Der Nutzwertanalyse nach ist der Entwurf 5 mit dem V-Link-200 Messmodul für die drahtlose Datenübertragung im Messlenkrad zu bevorzugende Lösung. Betrachtet man die Nutzwertanalyse für diesen Entwurf wird deutlich, dass er neben vielen Vorteilen ebenfalls gewisse Nachteile aufweist. Im Folgenden sollen die Vor- und Nachteile des Konzeptes genauer betrachtet werden. Tabelle 2 zeigt die Vor- und Nachteile des Entwurfs.

Da das Ziel dieser Arbeit darin besteht, das vorhandene Messlenkrad der GTÜ mit einer drahtlosen Datenübertragung auszustatten, ist bei der Betrachtung der Nachteile

evident, dass nicht alle Kabelverbindungen ersetzt werden konnten. Zwischen Messlenkrad und Messmodul mit integriertem Sender besteht weiterhin eine Kabelverbindung. Sofern der prinzipielle Aufbau des Messlenkrades bestehen bleibt, muss diese Kabelverbindung ebenfalls bestehen bleiben. Grund dafür ist die analoge Datenausgabe des Sensors, welche es nicht ermöglicht, ein Sendemodul im oder am Sensor zu integrieren. Hieraus ergibt sich der weitere Nachteil, dass das Messmodul mit dem integrierten Sender bestenfalls im Messlenkrad und mindestens am Messlenkrad oder der Armaturentafel des Fahrzeuges befestigt werden muss, damit der störungsfreie Lenkvorgang gegeben ist. Weiter stellt die Position des Empfängers am Rechner einen Nachteil dar, da er leicht beschädigt werden kann, sobald er zu hohe mechanische Belastungen erfährt. Ähnlich verhält es sich mit der Antenne am Sendemodul. Sie könnte bei zu hohen Belastungen schnell beschädigt werden oder abbrechen. Eine Beschädigung der zuvor genannten Bauteile würde den Testvorgang erheblich behindern oder unmöglich machen, daher muss hier stark auf den Schutz des USB-Sticks und der Antenne vor mechanischer Beanspruchung geachtet werden. Darüber hinaus stellt der Empfänger in Form des USB-Sticks eine Notwendigkeit dar, da aufgrund der speziellen Funktechnik nur dieser als Empfänger kompatibel ist. Da sich die Datenübertragung im ISM-Frequenzband bewegt, welches von vielen weiteren Funktechniken und -geräten genutzt wird, kann es zu Interferenzen während der Datenübertragung kommen. Dies könnte die Ergebnisse verfälschen und zu Übertragungsproblemen führen, weshalb bei der Nutzung darauf zu achten ist, dass sich keine anderen, sich in der Nähe befindlichen Geräte ungewollt in die Funkverbindung einschalten.

Im Vergleich zu dem aktuellen Testaufbau mit der VBOX, der vier Geräte und fünf Kabelverbindungen umfasst, bietet dieses Konzept deutliche Vorteile. So vereint der V-Link-200 sowohl Messwertwandler, Messverstärker sowie den Datenlogger, wodurch der Testaufbau deutlich kompakter wird. Zwischen dem Messlenkrad und dem Rechner befindet sich ein Gerät mit einer Kabelverbindung anstelle von drei Geräten mit fünf Kabelverbindungen. Ein weiterer Vorteil ist das Bestehenbleiben der bisherigen Funktionen. Es gibt eine kompatible Software zum Auswerten der Daten, Live-Streaming der Daten ist möglich, die Dehnungsmessstreifen werden durch den V-Link-200 mitversorgt und die auftretenden Temperaturen in den DMS werden mit dessen Hilfe kompensiert.

Tab. 2: Vor- und Nachteile Entwurf 5, eigene Darstellung

Entwurf 5 - V-Link-200 mit USB-Empfänger und Rechner	
Vorteile	Nachteile
+ vereint Messverstärker/-wandler mit Datenlogger	- Kabelverbindung am Messlenkrad bleibt
+ zur Integration in Fahrzeuge geeignet → EMV	- Sender muss im/am Messlenkrad montiert werden, um nicht zu stören
+ Aufbau eines Netzwerks mit verschiedenen Messeinrichtungen möglich	- USB-Stick stellt potenzielle Schwachstelle dar
+ kostenlose Software	- Antenne am Sender stellt potenzielle Schwachstelle dar

+ kostenloser Cloud-Zugang	- USB-Stick stellt Notwendigkeit dar (wegen eigener Funktechnik von Parker LORD)
+ kostenloser Bibliothekszugang	- Risiko von Interferenzen mit anderen Funksystemen durch Nutzung des ISM-Bandes
+ Übertragungstechnik nach Norm (IEEE 802.15.4)	- Abhängigkeit von Parker LORD bzgl. Funktechnik
+ Live-Streaming möglich	
+ für DMS ausgelegt	
+ DMS Temperaturkompensation	
+ DMS-Speisung	
+ fahrzeugexterne, mobile Spannungsversorgung	
+V-Link-200 auch anderweitig verwendbar	
+ große Reichweite	
+ lizenzfreies, kostenloses ISM-Band	
+ USB-Stick kann mit mehreren Funkmessmodulen von Parker LORD verbunden werden	
+ Kompakter Testaufbau	
+ Robustes Gehäuse des Senders	

7.3 Stückliste und Kostenrechnung

Die Kosten für das V-Link-200 Modul liegen im europäischen Raum bei 1052,80 €. Hinzu kommen der USB-Empfänger mit 582,40 €, der Steckverbinder für den Anschluss am Messlenkrad mit 13,11 € sowie die Konstruktion der Halterung mit geschätzt 40 €. Softwarebestandteile des Entwurfs wie die Ausgabesoftware, der Cloud-Zugang sowie der Library Zugriff zur Programmierung des Moduls sind im Lieferumfang des Messmoduls enthalten.

Tab. 3: Stückliste und Kostenrechnung Entwurf 5, eigene Darstellung

Bezeichnung	Kosten	Stk.
V-Link-200	1052,80 €	1
USB-Stick	582,40 €	1
Software	Inkl.	1
Cloud-zugang	Inkl.	1
Library Zugriff	Inkl.	1
Halterung (geschätzt)	40 €	1
Steckverbinder 7-polig	13,11 €	1
Summe	1688,31 €	

7.4 Konstruktive Machbarkeit

Zur Prüfung des Packages des Messlenkrades bezüglich der zu integrierenden drahtlosen Datenübertragung wurde ein CAD-Modell erstellt, in welches die CAD-Dateien des V-Link-200 sowie die des GSV 6BT importiert worden sind. In dem Modell wurde das neue Messlenkrad anhand gegebener Abmessungen seitens der GTÜ konstruiert, für das alte Messlenkrad sind keine verwendungsfähigen Daten verfügbar, um dieses als virtuelles aufzubauen.

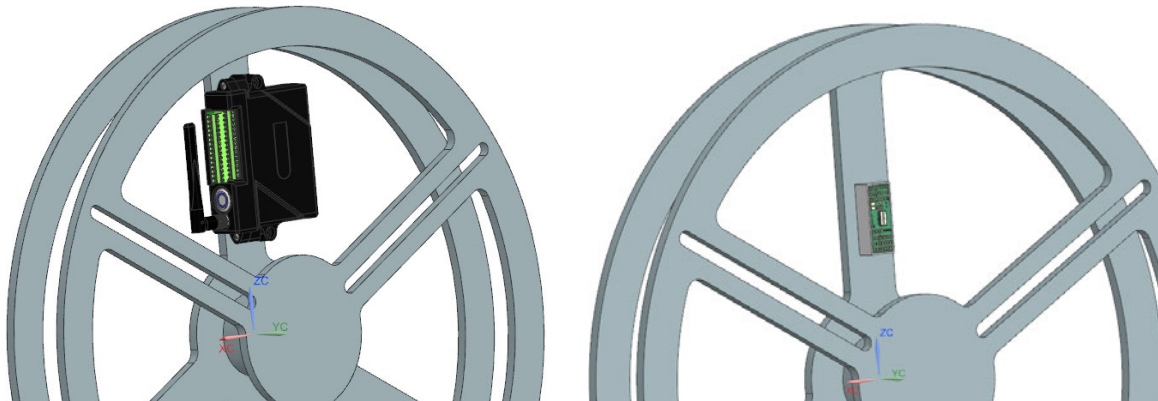


Abb. 28: Implementierung des a) V-Link_200 und b) GSV 6BT, eigene Darstellung

Das Modell wurde auf die Platzierung der Sendemodule hin analysiert. Dies hat ergeben, dass beide Module bezüglich des Packages, wie in Abbildung 28 a und b) zu sehen ist, ohne größere Platzprobleme in das neue Messlenkrad der GTÜ implementiert werden können. Sinnvoll ist eine Anbringung des jeweiligen Moduls im oberen Bereich des Messlenkrades, da sich hier die Übertragungsschnittstelle des Sensors befindet, an der das Modul angeschlossen werden muss. Darüber hinaus muss die Befestigung am oberen Lenkrad durchgeführt werden, da eine Befestigung am unteren Lenkrad die Führungsschienen zur Befestigung des Messlenkrades am Fahrzeug behindern würde. Der V-Link-200 sollte zusätzlich so positioniert sein, dass die Antenne aus dem Lenkrad heraus zeigen kann, ohne den Lenkvorgang dabei zu stören. Die Befestigung des V-Link-200 könnte aufgrund der Größe des Moduls eine Schwierigkeit darstellen.

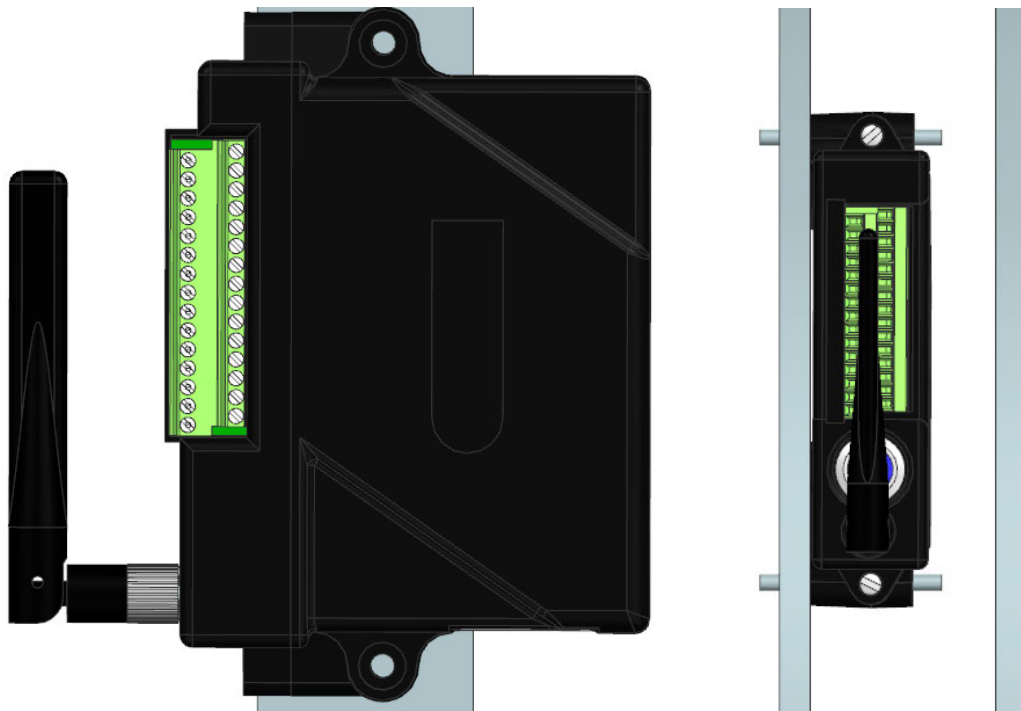


Abb. 29: a) V-Link-200 im CAD-Modell, b) V-Link-200 mit Platzhaltern, eigene Darstellung

Seitlich hat das Modul zwei Bohrungen, wie in Abbildung 29 a) zu sehen. An diesen bietet sich eine Befestigung am Messlenkrad beispielsweise durch eine Verschraubung am oberen Lenkrad an. Abbildung 29 b) zeigt beispielhaft, wie dies realisiert werden könnte, hierbei sind die sichtbaren Bolzen als Platzhalter für Verschraubungen zu sehen.

8 Fazit

8.1 Zusammenfassung

Das Ziel der Arbeit bestand in der Entwicklung einer drahtlosen Datenübertragung hinsichtlich eines von der GTÜ zur Verfügung gestellten Messlenkrades. Durch die Anwendung verschiedener Methoden aus der technischen Produktentwicklung (VDI2221) konnte dieses Ziel erreicht werden. Die verschiedenen Methoden zur Ideenfindung und -sammlung, zur Konzeptentwicklung sowie zur Analyse und Bewertung dieser Konzepte haben dazu geführt, dass ein geeigneter Lösungsvorschlag entwickelt werden konnte. Die Herausforderungen bestanden besonders zu Beginn in der Einarbeitung in die Datenübertragungs-, Kommunikations- und Netzwerktechnik. Da hierzu keine bis wenig Grundlagenkenntnisse durch das Studium bestanden, stellte sich das Einarbeiten in die Thematik sowie das Ausarbeiten der entsprechenden Grundlagenkapitel als eine persönliche Herausforderung dar. Darüber hinaus gestaltete sich die Recherche über den Stand der Messlenkradtechnik als anfänglich schwierig, da sowohl die Literatur als auch die Hersteller der Messlenkräder lediglich begrenzt verwertbare Informationen bereitstellen. So wurden grundlegende Informationen beispielsweise zum Aufbau von Messlenkrädern und deren Zubehör aus der Untersuchung des vorhandenen Messlenkrades sowie aus den Praxisbeispielen der Hersteller abgeleitet und zusammengefasst.

Zu Beginn wurden grundlegende Kenntnisse über die Aufbauweise, die Funktionsweise von Messlenkrädern sowie über die drahtgebundene und drahtlose Datenübertragung festgehalten. Das Erstellen einer Anforderungsliste und einer Funktionsstruktur zu Beginn der Entwicklung haben geholfen, wichtige Randbedingungen sowie Wünsche unvoreingenommen und ohne konkrete Lösungsvorstellungen zu definieren. Darüber hinaus konnten bereits im Anfangsstadium mögliche Fehlerquellen herausgearbeitet und während der nachfolgenden Entwicklung berücksichtigt werden. Anschließende Kreativmethoden führten unter Berücksichtigung der zuvor definierten Anforderungen, Wünsche und Funktionen sowie Fehlfunktionen zu Lösungsideen und weiter zu verschiedenen Lösungskonzepten. Um die Anwendung des morphologischen Kastens möglichst übersichtlich zu gestalten, wurde vor der Erstellung dessen eine Marktanalyse auf Basis des zuvor durchgeführten Brainstormings und den daraus entstandenen Teillösungen durchgeführt. So stellte sich heraus, dass auf dem Markt bereits Lösungen existieren, die in das bestehende Messlenkrad zur drahtlosen Datenübertragung implementiert werden können und somit eine Eigenentwicklung der Übertragungstechnik nicht notwendig ist. Im morphologischen Kasten konnten so bereits die verschiedenen Möglichkeiten aufgeführt und auf unterschiedlichen Wegen miteinander kombiniert werden. Die daraus entstandenen Konzepte wurden mithilfe der Nutzwertanalyse bewertet, sodass hieraus ein geeignetes Konzept herausgearbeitet werden konnte.

Dieses Konzept umfasst das bisherige Messlenkrad mit dem integrierten Drehmomentsensor der Firma Lorenz Messtechnik zur Ermittlung des Lenkmoments, eine Kabelverbindung über zwei schirmbare Steckverbinder vom Sensor zum

Messverstärker V-Link-200 mit integriertem Datenlogger und Funksender. Darüber hinaus beinhaltet das Konzept einen Empfänger in Form eines USB-Sticks und einen Rechner, an den der USB-Stick angeschlossen ist, mit der Sensor Connect Software zum Auswerten der Daten.

Über die Konzeptentwicklung hinaus wurden die CAD-Dateien des Messlenkrades und des V-Link-200 zu einem CAD-Modell zusammengefügt, um die konstruktive Machbarkeit zu prüfen. So konnten verschiedene mögliche Positionierungen des Sendemoduls erfasst werden und erste Konzepte für mögliche Halterungen des Moduls entworfen werden.

8.2 Kritische Betrachtung des Lösungsvorschlags

Wie in Kapitel 7.3 zu sehen, bietet die vorgestellte Lösung viele Vorteile. Der V-Link-200 ermöglicht eine drahtlose Datenübertragung des DMS-Sensors an entsprechende Rechnersysteme, ohne dass ein Verlust essenzieller Funktionen wie das Umwandeln, Verstärken und Speichern der Messwerte damit einhergeht. Darüber hinaus bieten Platzeinsparungen und Verbesserungen des Handlings während der Nutzung des Messlenkrades aufgrund einer geringeren Anzahl von Kabelverbindungen, weitere Vorteile.

Führt man sich das Ziel „drahtlose Datenübertragung“ vor Augen und betrachtet den Lösungsvorschlag, so stellt sich heraus, dass nicht alle Kabelverbindungen ersetzt werden können. Die Kabelverbindung zwischen Sensor und Sendemodul stellt sich nach aktuellem Stand der Technik als unerlässlich für die Implementierung eines Sendemoduls heraus. Der Sensor gibt analoge, schwache Signale aus, die somit vor der Datenübertragung an das Ausgabemodul zunächst umgewandelt und verstärkt werden müssen. Die Kabelverbindung und die Größe des Moduls können zu Störungen des Lenkvorgangs führen. Daher ist das Modul durch eine sichere Anbringung in das Messlenkrad zu integrieren. So kann vermieden werden, dass es sich während der Fahrt bewegt und den Lenkvorgang direkt oder durch die Kabelverbindung zum Sensor stört. Bezüglich des Packages des Testaufbaus erweist sich der Lösungsvorschlag im Vergleich zu anderen Entwürfen als weniger effizient. Hier bietet der GSV 6BT deutliche Vorteile aufgrund der sehr geringen Abmessungen des Verstärker- und Sendemoduls.

Ein weiterer möglicher Nachteil ist die Datenübertragung über Funk. Das ISM-Band befindet sich aufgrund steigender Nachfragen nach drahtlosen Datenübertragungstechniken in ansteigender Verwendung. Demnach besteht das Risiko durch Interferenzen, die sowohl die Datenübertragung beeinflussen als auch Ergebnisse verfälschen können. Wie in Kapitel 3.2 erwähnt, wirken optische Übertragungssysteme basierend auf LiFi oder VLC dem entgegen, da sie die Daten nur bei Sichtverbindung über eine geeignete Lichtquelle übertragen. Darüber hinaus kann die optische Datenübertragung eine optimale Grundlage bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit bieten. Ebenso wie in anderen Bereichen, ist es im Fahrzeugbau wichtig auf die EMV des gesamten Fahrzeuges zu achten. Sowohl die Systeme innerhalb des Fahrzeuges als auch die Systeme von außerhalb des Fahrzeuges können sich gegenseitig stören und somit Fehlfunktionen in der

Fahrzeugelektronik auslösen. So kann es sich auch mit dem V-Link-200 verhalten, da dieser seine Daten mithilfe einer Funktechnik überträgt und somit elektromagnetische Wellen erzeugt. Zwar ist das Modul laut dem Hersteller für Fahrzeugmessungen geeignet. Dennoch kann es, wie bereits in Kapitel 3 erwähnt, im Gesamtsystem zu Problemen hinsichtlich der EMV kommen. Optische Datenübertragungsverfahren minimieren das Risiko der Störungen durch elektromagnetische Wellen und können somit für mehr Sicherheit im Fahrzeug hinsichtlich der EMV sorgen. Jedoch sind diese Techniken bisher unzureichend weit entwickelt, sodass hierzu noch keine effizienten Lösungen für die Anwendung in der Praxis existieren.

Durch die spezielle Funktechnik des Herstellers besteht außerdem eine gewisse Abhängigkeit vom Hersteller Parker Lord Micro Strain Sensing. Möchte man Netzwerke aus mehreren Messmodulen aufbauen, so sind hierfür ausschließlich Micro Strain Produkte geeignet. Mit einem Modul, das die Daten per Bluetooth überträgt, ist die Einrichtung eines Netzwerks unkomplizierter, da die Bluetooth-Technik weitverbreitet und darüber hinaus herstellerunabhängig in Geräte implementiert wird. Daher bietet sich gegebenenfalls die Verwendung des GSV 6BT statt des V-Link-200 in Form des zweiten Entwurfs (lila) an. Einerseits besteht bei diesem Konzept ein größerer Aufwand im Hinblick auf die Integration in das Messlenkrad sowie die Gewährleistung der EMV, andererseits ist das Sendemodul mit der Bluetooth-Technik ausgestattet, weist deutlich geringere Abmessungen auf und wird von einer deutschen Firma hergestellt und vertrieben. Darüber hinaus ließe sich hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit mit Kosten in Höhe von etwa 1030€ für den zweiten Entwurf eine Kosteneinsparung von 39% erzielen.

8.3 Ausblick

In Bezug auf den Lösungsvorschlag durch Realisierung des fünften Entwurfs, könnte zur sicheren Anwendung des Entwurfs vor der Umsetzung eine geeignete Halterung für den V-Link-200 konstruiert werden. Ein Lösungsansatz zur Realisierung der Halterung ist durch das CAD-Modell bereits gegeben. Eine detailliertere Ausarbeitung des Modells ist jedoch nötig, um sicherzugehen, dass die Halterung den Belastungen während des Lenkvorgangs standhält und der V-Link-200 sicher befestigt ist. Darüber hinaus ermöglicht der V-Link-200 die Erfassung und Übertragung der Messdaten verschiedener Sensoren. Besteht der Bedarf, könnte somit ein neuer Sensor mit weiteren Funktionen in das Messlenkrad integriert werden ohne, dass der restliche Testaufbau verändert werden muss.

Besteht der Wunsch mit einer allgemeingültigen Funktechnik wie beispielsweise Bluetooth zu arbeiten, könnte statt des V-Link-200 auch der GSV 6BT der Firma ME Messsysteme verwendet werden. Hier muss jedoch zusätzlich zu einer geeigneten Halterung ein robustes Gehäuse zum Schutz der Leiterplatte konstruiert werden, besonders im Hinblick auf die Lötanschlussstellen des Sensor- sowie des Versorgungskabels. Außerdem muss insbesondere auf die elektromagnetische Verträglichkeit der Lötstellen geachtet werden. Die Anschlussstellen müssen den Anforderungen entsprechend geschirmt sein, beispielsweise durch das Auftragen eines speziellen Schutzlackes.

In der weiteren Zukunft könnte über eine Datenübertragung mithilfe des sichtbaren Lichts, wie in Kapitel 3.2 vorgestellt, nachgedacht werden. So ließe sich die Datenübertragung sicher gegen Abhören und Manipulation gestalten. Darüber hinaus wäre dies eine EMV-sichere Möglichkeit. Eine Bedingung zur Umsetzung wäre eine direkte und ungestörte Sichtverbindung des Senders und des Empfängers sowie das Vorhandensein einer geeigneten Lichtquelle. Wie bereits in Kapitel 3.2 erwähnt, ist diese Technologie zurzeit unzureichend erforscht, um in der Praxis angewandt zu werden. Jedoch stellt sie eine vergleichbare Alternative zur Datenübertragung über Funk dar, sodass sich zum Abschluss dieser Arbeit die Empfehlung aussprechen lässt, diese Technologie in ihrer Weiterentwicklung zu verfolgen.

IV Literaturverzeichnis

- [1] **Andilog Force Measurement Technologies: Kabelloser Drehmomentsensor WLC TRD.** URL <https://www.andilog.de/Kabelloser-Drehmomentsensor-WLC-TRD.html>. — Andilog Force Measurement Technologies. — (Letzter Zugriff: 18.02.2022)
- [2] **binder Steckverbinder: Produktdatenblatt Automatisierungstechnik.** URL <https://www.me-systeme.de/produkte/connectors/anleitungen/binder/datenblatt-5p-m-m12.pdf>. — (Letzter Zugriff: 21.02.2022)
- [3] **binder Steckverbinder: Serie 712.** URL <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/gl/000738877DS01/datenblatt-738877-binder-99-0413-00-05-rundstecker-stecker-gerade-serie-rundsteckverbinder-712-gesamtpolzahl-5-1-st.pdf>. — (Letzter Zugriff: 15.02.2022)
- [4] **Bratvogel, Karsten; Dehn, Siegmund; HERDT-Verlag für Bildungsmedien GmbH: Netzwerke, Netzwerktechnik - (Stand 2019) HERDT BuchPlus.** Bodenheim, 2020 — ISBN 978-3-86249-929-8
- [5] **Fraunhofer IPMS: LI-FI Development Journey.** URL <https://www.ipms.fraunhofer.de/content/dam/ipms/common/products/WMS/Li-Fi-2018-e-Mail.pdf>. — (Letzter Zugriff: 17.02.2022)
- [6] **Gessler, Ralf; Krause, Thomas: Wireless-Netzwerke für den Nahbereich.** Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015 — ISBN 978-3-8348-1239-1
- [7] **Goßlau, Dirk: Fahrzeugmesstechnik.** Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020 — ISBN 978-3-658-28478-7
- [8] **Grobe, Liane; Paraskevopoulos, Anagnostis; Hilt, Jonas; Schulz, Dominic; Lassak, Friedrich; Hartlieb, Florian; Kottke, Christoph; Jungnickel, Volker; u. a.:** High-speed visible light communication systems. In: *IEEE Communications Magazine* Bd. 51 (2013), Nr. 12
- [9] **HKM Messtechnik: Funkübertragungs-System RFT 2.x und RFR 2.0 Produktinfo.** URL https://www.hkm-messtechnik.de/fileadmin/user_upload/07_Downloads/02_Products/02_Measurung_amplifier/4_Radio_wireless_analog_output/HKM-Funkuebertragungs-System-RFT2-x-RFR2-0.pdf. — Messverstärker. — (Letzter Zugriff: 19.01.2022)
- [10] **HKM Messtechnik: Messverstärker.** URL <https://www.hkm-messtechnik.de/de/produkte/messverstaerker#>. — HKM Messtechnik. — (Letzter Zugriff: 14.02.2022)

- [11] **IBR Messtechnik GmbH & Co. KG:** *Interface Technik*. URL https://www.messtechnik-store.de/images/ISM-usbFCC_D.pdf. — (Letzter Zugriff: 19.02.2022)
- [12] **IBR Messtechnik GmbH & Co. KG:** *ISM Wireless*. URL https://www.ibr.com/IBR_D.htm. — IBR. — (Letzter Zugriff: 19.02.2022)
- [13] **IEEE:** *IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks Amendment 3: Advanced Encryption Standard (AES)-256 Encryption and Security Extensions*: IEEE, 2021 — ISBN 9781504475587
- [14] **imc Test & Measurement GmbH:** *Präzise Messlenkräder: Die CLS-Lenksensoren*. URL <https://www.imc-tm.de/produkte/sensorik-loesungen/messlenkraeder/>. — imc an Axiometrix Solution Brands. — (Letzter Zugriff: 14.02.2022)
- [15] **imc Test & Measurement GmbH:** *CLSx - Lenksensor*. URL <https://www.caemax.de/lenksensor-clsx/>. — caemax imc group. — (Letzter Zugriff: 19.01.2022)
- [16] **Keil, Stefan:** *Dehnungsmessstreifen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017 — ISBN 978-3-658-13611-6
- [17] **Kistler Instrumente GmbH:** *MSW DTI Sensoren Universell einsetzbare Messlenkräder*. URL <https://www.kistler.com/de/produkt/type-5612a/>. — MSW DTI Sensoren: Messlenkräder für Pkw oder Lkw. — (Letzter Zugriff: 19.01.2022)
- [18] **Langmann, Reinhard:** *Vernetzte Systeme für die Automatisierung 4.0: Bussysteme – Industrial Ethernet – Mobile Kommunikation – Cyber-Physical Systems*. München: Carl Hanser Verlag, 2021 — ISBN 978-3-446-46984-6
- [19] **Lorenz Messtechnik GmbH:** *Reaktiver Drehmomentmessflansch D-2553 mit Nenndrehmoment von 10 ... 200 N·m*. URL <https://www.lorenz-messtechnik.de/deutsch/produkte/statisch/d-2553.php>. — (Letzter Zugriff: 14.02.2022)
- [20] **Lorenz Messtechnik GmbH:** *DMS-Sensor-Interface LCV*. URL https://www.lorenz-messtechnik.de/pdfdatbl/elektron/deutsch/080986_lcv_de.pdf. — (Letzter Zugriff: 16.02.2022)
- [21] **Lorenz Messtechnik GmbH:** *Gleichspannungsmessverstärker mit Datenlogger GM80*. URL https://www.lorenz-messtechnik.de/pdfdatbl/elektron/deutsch/081020_gm80_de.pdf. — (Letzter Zugriff: 16.02.2022)

- [22] **ME-Messsysteme GmbH:** *6-Kanal Messverstärker GSV-BT Bedienungsanleitung*. URL <https://www.me-systeme.de/produkte/elektronik/gsv-6/gsv-6bt/anleitungen/ba-gsv6bt.pdf>. — (Letzter Zugriff: 21.02.2022)
- [23] **ME-Messsysteme GmbH:** *GSV-6BT GSV-6BT*. URL https://www.me-systeme.de/product-pdf?product_id=2884&lang=de. — (Letzter Zugriff: 14.02.2022)
- [24] **ME-Messsysteme GmbH:** *GSV-3BT M12*. URL https://www.me-systeme.de/product-pdf?product_id=1152&lang=de. — (Letzter Zugriff: 19.01.2022)
- [25] **ME-Messsysteme GmbH:** *Bluetooth-USB-Adapter*. URL <https://www.me-systeme.de/shop/de/elektronik/zubehoer1/bluetooth-usb-adapter>. — ME Messsysteme. — (Letzter Zugriff: 14.02.2022)
- [26] **ME-Messsysteme GmbH:** *Bluetooth USB-Dongle UD100*. URL <https://www.me-systeme.de/shop/de/elektronik/zubehoer/bluetooth-usb-dongle-ud1001>. — ME Messsysteme. — (Letzter Zugriff: 14.02.2022)
- [27] **Parker Lord Micro Strain Sensing:** *V-LINK-200 Wireless Strain/Analog Sensor Node, 8-Channel*. URL <https://www.microstrain.com/wireless-sensors/V-LINK-200>. — Parker Lord. — (Letzter Zugriff: 14.02.2022)
- [28] **Parker Lord Micro Strain Sensing:** *WSDA-200-USB Wireless USB Gateway*. URL <https://www.microstrain.com/wireless-sensors/WSDA-200-USB>. — Parker Lord. — (Letzter Zugriff: 14.04.2022)
- [29] **Parker Lord Micro Strain Sensing:** *MicroStrain Sensing Product Datasheet V-Link®-200 Wireless 8 Channel Analog Input Sensor Node*. URL <https://www.microstrain.com/wireless-sensors/V-LINK-200>. — (Letzter Zugriff: 19.01.2022)
- [30] **Pfeffer, P.; Harrer, M.** (Hrsg.): *Lenkungshandbuch: Lenksysteme, Lenkgefühl, Fahrdynamik von Kraftfahrzeugen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013 — ISBN 978-3-658-00976-2
- [31] **Rainer Thomas Messtechnik:** *Telemetrie Messlenkrad für PKW Typ Z1 / Z3 Telemetrie Messlenkrad für LKW/Bus Typ Z5 / Z7*. URL <https://rtm.de/de/steering-measurement/item/28-lenkradz>. — RTM Rainer Thomas Messtechnik. — (Letzter Zugriff: 14.02.2022)
- [32] **Rainer Thomas Messtechnik:** *Steering Wheel Z1. Z3. Z5. Z7*. URL <https://rtm.de/de/downloads>. — (Letzter Zugriff: 19.01.2022)
- [33] **Rainer Thomas Messtechnik:** *Steering Module Z9*. URL <https://rtm.de/de/downloads>. — (Letzter Zugriff: 19.01.2022)

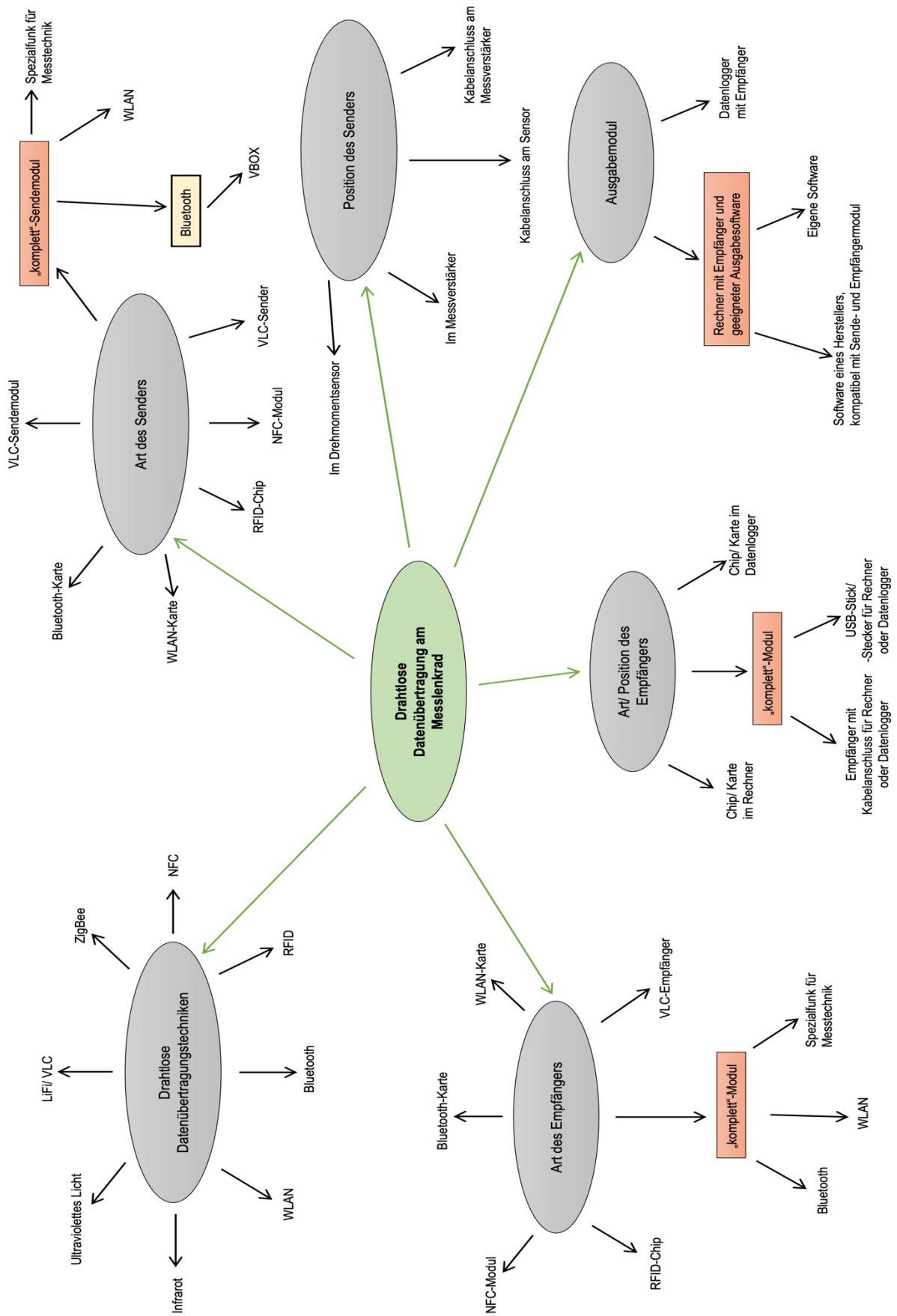
- [34] **Reif, K.** (Hrsg.): *Sensoren im Kraftfahrzeug*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016 — ISBN 978-3-658-11210-3
- [35] **RMS Dynamic Test Systems:** *FEL 30 MESSLENKRAD*. URL <https://rms-testsystems.de/produkte/inertial-neigungsmesstechnik/rms-fel30-messlenkrad-dient-in-fahrdynamikuntersuchungen-wie-zum-beispiel-iso-3888-iso-4138-oder-iso-7975-zum-aufmessen-vonlenkmomentlenkwinkellenkgeschwindigkeit/>. — (Letzter Zugriff: 19.01.2022)
- [36] **Tränkler, Hans-Rolf; Fischerauer, Gerhard:** *Das Ingenieurwissen: Messtechnik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014 — ISBN 978-3-662-44029-2
- [37] **UNECE:** *Regelung Nr. 79 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Lenkanlage [2018/ 1947]*, 2018
- [38] **VBOX Automotive:** *VBOX 3i Single Antenna 100 Hz GPS Data Logger (RLVB3i-V5)*. URL <https://vboxautomotive.co.uk/index.php/en/products/data-loggers/vb3i>. — (Letzter Zugriff: 14.02.2022)
- [39] **VBOX Automotive:** *RACELOGIC Steering Torque Sensor*. URL https://www.racelogic.co.uk/_downloads/vbox/Datasheets/Sensors/RLSTSENSOR_Data.pdf. — (Letzter Zugriff: 17.02.2022)
- [40] **Verein Deutscher Ingenieure:** *VDI 2221 Part 1 - Entwicklung technischer Produkte und Systeme Modell der Produktentwicklung*: Beuth Verlag, 2019
- [41] **Verein Deutscher Ingenieure:** *VDI 2221 Part 2 - Entwicklung technischer Produkte und Systeme Gestaltung individueller Produktentwicklungsprozesse*: Beuth Verlag, 2019
- [42] **Wallentowitz, H.; Reif, K.** (Hrsg.): *Handbuch Kraftfahrzeugelektronik: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen; mit zahlreichen Tabellen, ATZ-MTZ-Fachbuch*. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg, 2006 — ISBN 978-3-528-03971-4

Anhang A – Anforderungsliste

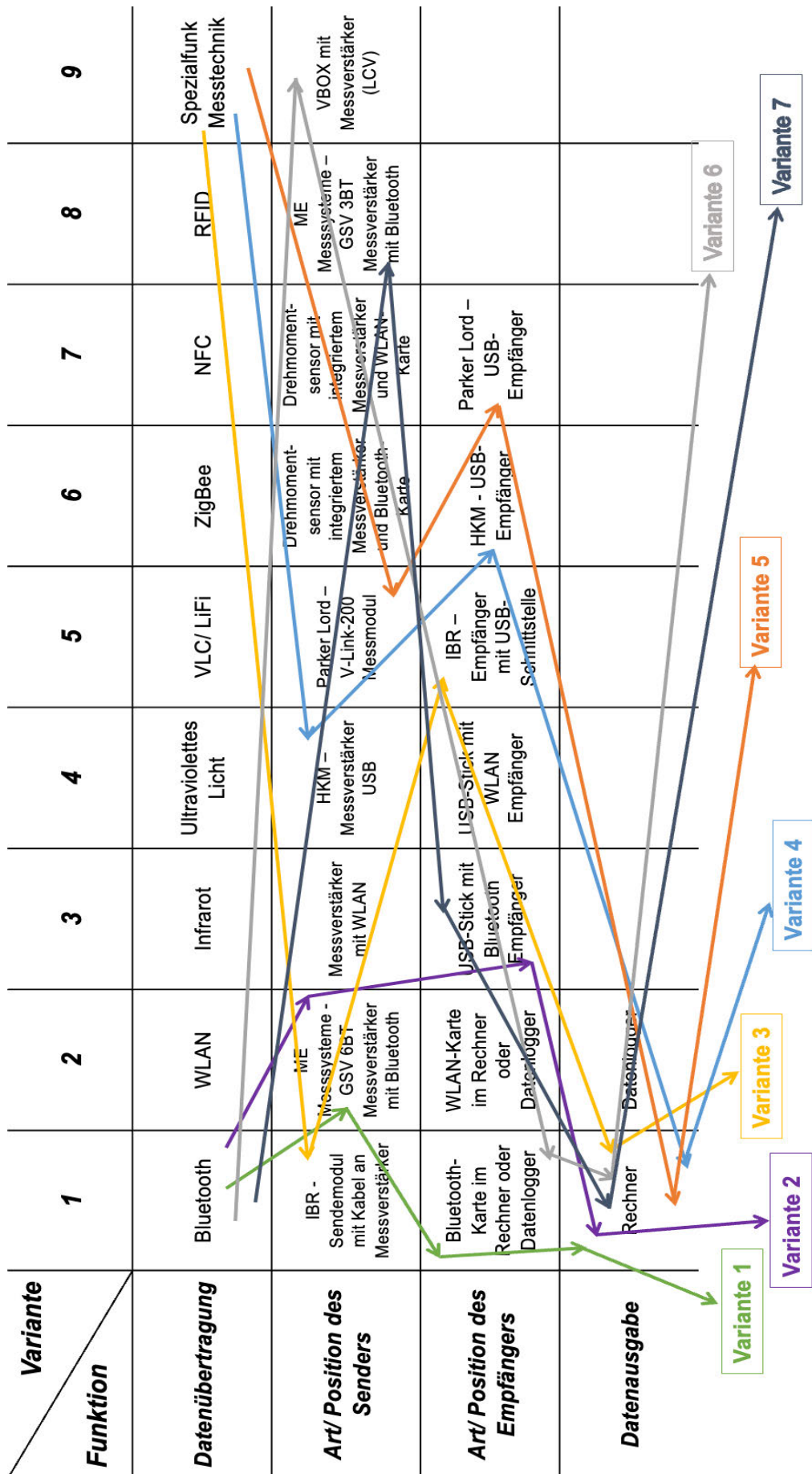
Bachelorarbeit Manda Jacob		Anforderungsliste		F - Festanforderung M - Mindestanforderung W - Wunsch
Datum: 30.12.2021		drahtlose Datenübertragung in einem Messlenkrad		
Nr.	F / M / W	Bezeichnung	Erläuterungen Änderungen Werte Daten	Verantwortlich
1		Datenübertragung		
	F	drahtlos	Sender- und Empfängermodul nötig	M.J.
	F	Messgrößen	Lenkmoment/ -kraft	M.J.
	F	EMV	keine Beeinflussung der bzw. durch die elektromagnetischen Einheiten im Fahrzeug	M.J.
	F	Messgenauigkeit	mindestens 0,1% oder besser	M.J.
	F	Übertragungsrage	mindestens wie bei Kabelverbindung	M.J.
	F	Reichweite	> 1m	M.J.
	W	Verbindungsaufbau	automatisch oder per Klick	M.J.
	W	Endgerät	Rechner mit Software	M.J.
	W	Echtzeitübertragung	Live-Übertragung der Messdaten	M.J.
2		Geometrie		
	F	Sendemodul am Sensor	darf Lenkbewegung nicht behindern	M.J.
	W	Empfängermodul am Rechner	≤ USB Stick	M.J.
3		Messwertaufnahme		
	F	Max. Lenkmoment	≥ 200 Nm	M.J.
	F	Max. Lenkkraft	≥ 60 daN	M.J.
	F	Ausgabemodul/ -software	muss die benötigten physikalischen Einheiten anzeigen können	M.J.
4		Beanspruchung		
	F	Robustes Gehäuse	Korrosionsbeständig, Stoßfest, Bruchfest	M.J.
	F	Dynamische Lasten	In alle Richtungen (Vibrationen, Stöße)	M.J.
5		Energie		
	F	Spannungsversorgung	Fahrzeugextern, mobil (Akku, Batterie)	M.J.
6		Handhabung		
	F	Steuerung	über Rechner	M.J.

7		Nutzung		
	M	Nutzungsdauer	> 10 Jahre	M.J.
	F	Zuverlässigkeit der Verbindung	hoch, ggf. zusammengehörenden Sende- und Empfangsmodule	M.J.
	W	Verschleiß	gering	M.J.
	W	physische Verbindung der Geräte	< 1 Minute	M.J.
	W	Verbindungsaufbau	< 1 Minute	M.J.
8		Sicherheit		
	F	Vorschriften/Gesetze	ECE R79	M.J.
9		Montage		
	W	Verbinden der Geräte bei Inbetriebnahme	maximal Steckverbindungen, keine Aufwändige Installation	M.J.
10		Instandhaltung		
	F	Kabelverbindungen	regelmäßige Überprüfung auf Beschädigungen	M.J.
	F	Antennen, Sender und Empfänger	regelmäßige Überprüfung auf Beschädigungen	M.J.
11		Kommunikation		
	W	Bestätigung der bestehenden Verbindung	Z.B. durch Leuchte oder Signal in Software	M.J.
	F	Fehlermeldung bei Verbindungsabbruch	z.B. akustisches Signal	M.J.
12		Nachhaltigkeit		
	W	Langlebigkeit		M.J.
	W	geringer Stromverbrauch		M.J.
13		Kosten		
	W	Möglichst geringe Kosten		M.J.
14		Abgabe	25. Februar 2022	M.J.
ersetzt Version:		2	Version:	3
Datum:		15.12.21	Datum:	30.12.21

Anhang B – Brainstorming



Anhang C – Morphologischer Kasten



Anhang D – Nutzwertanalyse

Kriterium	Gewichtung in %	Entwurf 1 - GSV 6BT (1)		Entwurf 2 - GSV 6BT (2)		Entwurf 3 - ISM Module	
		Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet
Platzbedarf gering	0,08	10	0,8	10	0,8	6	0,48
EMV gegeben	0,13	3	0,39	3	0,39	5	0,65
Echtzeitübertragung	0,06	10	0,6	10	0,6	8	0,48
Handhabung	0,08	9	0,72	10	0,8	4	0,32
kompatible Software	0,07	10	0,7	10	0,7	10	0,7
Komplexität gering (Aufbau)	0,06	10	0,6	10	0,6	6	0,36
Messgenauigkeit	0,13	9	1,17	9	1,17	5	0,65
Reichweite groß	0,05	8	0,4	8	0,4	8	0,4
Robust	0,08	5	0,4	5	0,4	7	0,56
Signal über bestehende Verbindung	0,03	10	0,3	10	0,3	3	0,09
Stromversorgung des Senders mobil	0,06	8	0,48	8	0,48	9	0,54
Störungsfreier Lenkvorgang	0,13	10	1,3	10	1,3	6	0,78
Stromverbrauch gering	0,04	6	0,24	6	0,24	10	0,4
Summe	1	108	8,1	109	8,18	87	6,41

Entwurf 4 - RFT 2.x		Entwurf 5 - V-Link-200		Entwurf 6 - VBOX		Entwurf 7 - GSV 3BT	
Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet	Bewertung	Gewichtet
6	0,48	8	0,64	3	0,24	6	0,48
5	0,65	8	1,04	9	1,17	7	0,91
5	0,3	10	0,6	10	0,6	8	0,48
7	0,56	9	0,72	3	0,24	8	0,64
9	0,63	10	0,7	10	0,7	10	0,7
8	0,48	9	0,54	4	0,24	9	0,54
5	0,65	9	1,17	9	1,17	9	1,17
7	0,35	10	0,5	7	0,35	7	0,35
8,5	0,68	8,5	0,68	8	0,64	9	0,72
3	0,09	4	0,12	5	0,15	8	0,24
10	0,6	9	0,54	0	0	9	0,54
6	0,78	8	1,04	5	0,65	7	0,91
5	0,2	6	0,24	5	0,2	6	0,24
84,5	6,45	108,5	8,53	78	6,35	103	7,92

Anhang E – Datenblatt V-Link-200

MicroStrain Sensing Product Datasheet

V-Link®-200

Wireless 8 Channel Analog Input Sensor Node



The V-Link-200 is a versatile wireless sensor with 4 differential and 4 single-ended analog input channels. It includes onboard PGA's, filtering, and a high-resolution ADC for precise measurement of a large range of sensor types, including strain gages, load cells, pressure transducers, and accelerometers.

Lord wireless sensor networks eliminate the time and complexity of running long sensor wires. They are fast to deploy and provide reliable, lossless data throughput. These networks have been proven to work in demanding industries where reliable data acquisition is critical.

SensorConnect software can be used for device configuration, live data monitoring, and data analysis. SensorCloud is Lord's optional cloud-based platform that optimizes data aggregation, analysis, and alerts for sensor data collected from remote networks.



HIGH PERFORMANCE SENSING

- 4 differential input channels (+/- 156mV)
- 4 single-ended input channels (+/- 10.24V)
- Onboard temperature sensor
- Configurable gain and anti-aliasing filter
- Low noise
- Onboard shunt calibration for strain gages.
- Onboard bridge offset balancing
- Factory installed bridge completion available

RELIABLE DATA COLLECTION

- Lossless, synchronized and scalable networks using LXRS or LXRS+ protocol
- Remotely configure nodes and view sensor data using SensorConnect (PC), SensorCloud (web), or MSCL (API library)

CONFIGURABLE FOR MANY APPLICATIONS

- Report mV or calibrated engineering units
- Continuous, periodic, or event-triggered operation
- Transmit data real-time and/or save to onboard memory
- Up to 4KHz continuous sampling
- Up to 8KHz data logging periodic, or event-triggered sampling

RUGGED

- Polycarbonate enclosure
- Bolt down or DIN rail mounting
- -40C to +85C operating temperature
- 4kV ESD protection

APPLICATIONS

- Strain, load, force, pressure, acceleration, vibration, displacement, or torque sensing
- Condition-based monitoring (CBM)
- Structural load and stress monitoring
- Test and measurement
- Strain gage rosettes



ENGINEERING YOUR SUCCESS.

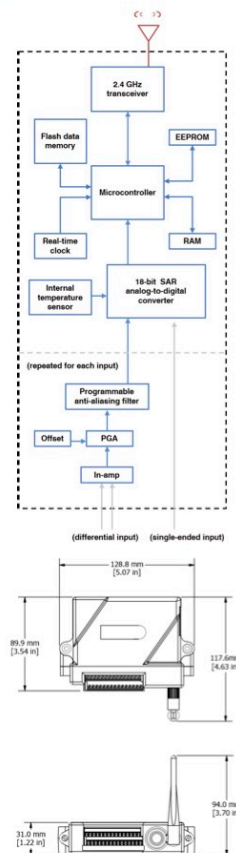
©2020 Parker Hannifin MicroStrain Sensing. | Document 8400-0097 Revision K. | Subject to change without notice.

Wireless 8 Channel Analog Input Sensor Node

Specifications

Analog Input Channels	
Sensor input channels	4 differential 4 single-ended
Integrated sensors	1 temperature sensor
Sensor excitation	4.096V (up to 150 mA)
ADC Resolution	18 bit
Accuracy	± 0.1 % full scale typical
Noise	± 0.02 % full scale
Temperature stability	< 0.1 % full scale over temperature range
Sensor Input bandwidth	DC to 4KHz
Differential Input Channels	
Adjustable Gain	16 to 2048
Sensor Input Range	+/- 1.22 mV to 156 mV
Anti-aliasing Filter	128 Hz to 4 KHz, 2nd order Butterworth
Strain Calibration	Onboard shunt resistor used for deriving linear strain calibration coefficients
Shunt Calibration	499k Ohm (+/- 0.1%)
Single-ended Input Channels	
Sensor Input Ranges	±2.56Vdc, ± 5.12Vdc, ±10.24Vdc, 0-5.12Vdc, 0-10.24Vdc
Anti-aliasing filter	-3dB @ 15KHz
Input Impedance	1M Ohm
Integrated Temperature Sensor	
Anti-aliasing filter	-3dB, 15KHz
Resolution	0.10 deg. C
Sampling	
Output Options	mV, ADC counts, or calibrated engineering units
Sampling Modes	Continuous, periodic, and event triggered
Sampling Rates	Continuous sampling: 1 sample/hr to 4 KHz Periodic burst sampling: 32 Hz to 8 kHz Event triggered: 32 Hz to 8 kHz
Network capacity	Up to 128 nodes per gateway LXRS: 4096 Samples/second per gateway LXRS+: 16k Samples/second per gateway https://www.microstrain.com/configure-your-system
Data Storage Capacity	16MB (5M data points with 18 bit data type)
Node Sync	± 50 uSec
Operating Parameters	
Battery Power	+6.0 to +18.9Vdc. Recommend 4x 3.6Vdc, 2.4Ah Lithium
External Power	+7.5 to +36 Vdc
Battery Lifetime	https://www.microstrain.com/wireless/v-link-200
Wireless Range	External antenna: 1.5km max, 800m typical. Indoor/obstructed: 100m typical
Radio Frequency Transceiver Carrier	2.405 to 2.480 GHz, 16 channels, license-free
RF Transmit Power	User-settable: 0dBm to 20dBm (regional restrictions may apply)
Operating Temp Range	-40 to +85°C

ESD Withstand	4kV
Mechanical Shock Limit	250g/1.5mS with batteries; 500g/1.5mS without batteries installed
Physical Specifications	
Dimensions	129 mm x 117.6 mm x 31 mm (including antenna)
Weight	283 grams (with batteries), 217 grams (without batteries)
Interface	Screw terminal
Integration	
Compatible gateways	All WSDA gateways
Software	SensorCloud, SensorConnect, Windows 7, 8, or 10
(SDK) Software development kit	https://www.microstrain.com/software/mscl
Regulatory compliance	FCC (U.S.), IC (Canada), MIC(Japan), CE (European Union), ROHS, IMDA (Singapore)



Parker Hannifin Corporation
MicroStrain Sensing
459 Hurricane Lane
Williston, VT 05495 · USA

phone: +1.802.862.6629
email: sensing_sales@LORD.com
sensing_support@LORD.com
www.microstrain.com
www.parker.com



Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Jacob

Vorname: Manda

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Entwicklung eines Messlenkrades nach ECE R79 mit drahtloser Datenübertragung

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Hamburg

Ort

23.02.2022

Datum

 Unterschrift im Original