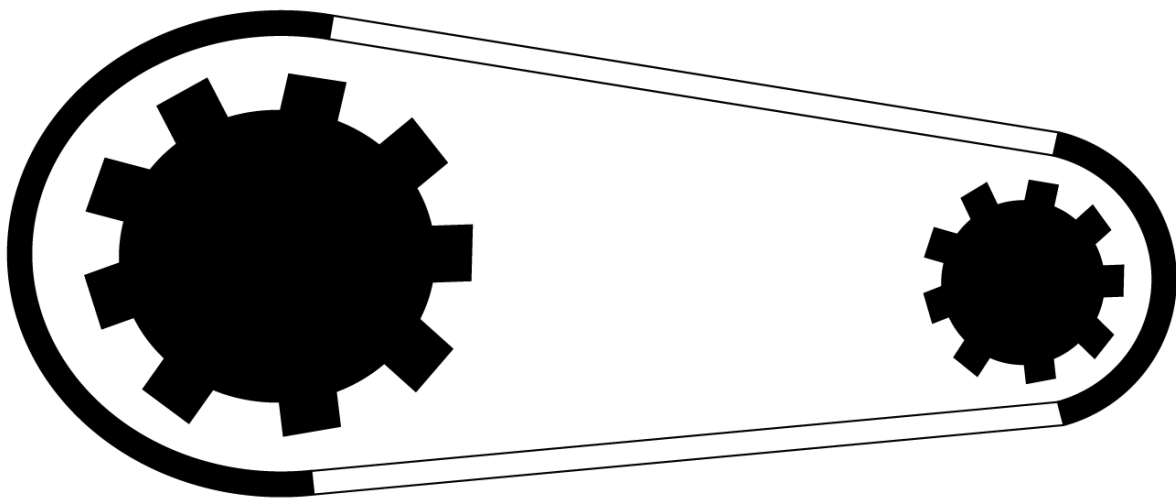


Lastenheft

Version 1.4



<Automatische Gangschaltung für Pedelec>

Bearbeiter

Name	Matr. Nr.	E-Mail	Rolle
			Entwickler
			Entwickler
			Entwickler
			Entwickler
			Entwickler

Historie der Dokumentversionen

Version	Datum	Autor	Änderungsgrund / Bemerkungen
0.1	12.10.2020	Alle Bearbeiter	Initiale Ersterstellung // Use Cases und Szenarien
0.2	19.10.2020	Alle Bearbeiter	Review der Use Cases und Szenarien // Anforderungsanalyse
0.3	20.10.2020	Alle Bearbeiter	Review der Anforderungen
0.4	24.10.2020	Alle Bearbeiter	Konsistenzprüfung der Anforderungen
0.5	26.10.2020	Alle Bearbeiter	Rücksprache mit den Stakeholdern und Analyse der Systemgrenzen
0.7	02.11.2020	Alle Bearbeiter	Erste Ausarbeitung der Testfälle
0.8	09.11.2020	Alle Bearbeiter	Ausformulieren der Stakeholder-Analyse, Einbinden der Systemgrenzen, Bearbeiten der Testfälle
0.9	16.11.2020	Alle Bearbeiter	Bearbeitung der Anforderungen, Erstellen einer Ist-Analyse, Erarbeiten der Konzepte
1.0	23.11.2020	Alle Bearbeiter	Systematische Entwicklung von Gesamtkonzepten und Ausarbeitung von Bewertungskriterien
1.1	30.11.2020	Alle Bearbeiter	Systematische Konzeptauswahl, Erstellung zweier Gesamtkonzeptzeichnungen, Erzeugung einer dynamischen Systemarchitektur, Komplettierung der Systemarchitektur
1.2	07.12.2020	Alle Bearbeiter	Begründung zur Auswahl der Konzepte
1.3	14.12.2020	Alle Bearbeiter	Finale Fertigstellung des Dokumentes
1.4	16.12.2020	Alle Bearbeiter	Abgabe

Inhaltsverzeichnis

Bearbeiter	1
Historie der Dokumentversionen	2
1. Einleitung	5
1.1 Zweck	5
1.2 Anwendungsbereich	5
1.3 Definitionen und Abkürzungen	5
1.3.1 Definitionen	5
1.3.2 Abkürzungen	5
2. Stakeholderanalyse	6
Kunde	6
Auftraggeber	6
Hersteller	6
Entsorger	6
Fachwerkstätten	7
Gesetzgeber	7
3. Anforderungsanalyse	8
3.1 Anwendungsfälle und Beispielszenarien	8
3.1.1 Anwendungsfälle	8
3.1.2 Betriebskonzepte	11
3.2 Systemgrenzen:	13
3.3 Anforderungen	15
4. Testfälle	54
4.1 Testfall 1	54
4.2 Testfall 2	54
4.3 Testfall 3	55
4.4 Testfall 4	56
4.5 Testfall 5	57
4.6 Testfall 6	58
4.7 Testfall 7	59
4.8 Testfall 8	59
4.9 Testfall 9	60
4.10 Testfall 10	61
4.11 Testfall 11	62
4.12 Testfall 12	62
4.13 Testfall 13	63
4.14 Testfall 14	63
4.15 Testfall 15	64
4.16 Testfall 16	65
4.17 Testfall 17	66
4.18 Testfall 18	67
5. Konzepte	68
5.1 Einzelkonzepte	69
5.1.1 Bedienung	69
5.1.1.1 Taster	69
5.1.1.2 Zwei Schalthebel	69
5.1.1.3 Ein Taster	70
5.1.1.4 Bedienung mit 3 Tastern	70

5.1.1.5	Keine Taster, Bedienung übers Display	71
5.1.2	Visualisierung	72
5.1.2.1	Ohne Touchscreen	72
5.1.2.2	Mit Touchscreen.....	72
5.1.3	Kommunikationsmodul.....	73
5.1.4	Schaltrealisierung.....	74
5.1.4.1	Elektromotor mit Gewindestange	74
5.1.4.2	Linearmotor.....	74
5.1.4.3	Hydraulik.....	75
5.2	Gesamtkonzepte	76
5.2.1	Variante 1	76
5.2.2	Variante 2	77
5.2.3	Variante 3	78
5.2.4	Variante 4	79
6.	Konzeptauswahl.....	80
7.	Funktionale Systemarchitektur	91
7.1	Struktur	91
7.1.1	Bestandteile.....	92
7.1.2	Verbindungen	93
8.	Dynamische Architektur	96
8.1	Verhalten	96
8.2	Zustände.....	96
9.	Projektorganisation.....	105
9.1	Projektbeteiligte.....	105
9.2	Stakeholder - Information	105

1. Einleitung

1.1 Zweck

Diese Lastenheft beschreibt ein System zur Automatisierung von Schaltvorgängen bei herkömmlichen Pedelecs. Der Nutzen für den Kunden spiegelt sich daran wider, dass für den Fahrer eines Pedelecs mit automatischer Gangschaltung der Fahrkomfort erheblich erhöht wird. Weitere Aspekte sind ein verringerter Energieverbrauch und eine materialschonende Schaltweise durch den automatisierten Schaltvorgang zur Verlängerung der Lebenszeit des Pedelecs.

1.2 Anwendungsbereich

Das System soll als Komfortsystem den Fahrer des Pedelecs in seiner Schaltaufgabe entlasten. Hierfür automatisiert das System den vorhandenen, manuellen Schaltvorgang. Das System stellt eine Option für Pedelecs dar und kann durch eine Fachwerkstatt in das herkömmliche System des Pedelecs integriert werden.

1.3 Definitionen und Abkürzungen

1.3.1 Definitionen

SH: Stakeholder

AF: Anwendungsfall

BK: Betriebskonzept

ID: Anforderung

TF: Testfall

1.3.2 Abkürzungen

CAN: Controller Area Network

2. Stakeholderanalyse

Die Stakeholderanalyse befasst sich mit den Interessenten des Systems. Für diese Analyse werden verschiedene Sichtweisen betrachtet. Im Folgenden sind unter anderem die Stakeholder „Kunde“ und „Auftraggeber“ genannt. Diese Interessengruppen sind nicht immer eindeutig voneinander zu trennen, da der Kunde auch als Auftraggeber auftreten kann.

Kunde

Nummer	SH-1
Erläuterung	Der Kunde meint in dem Zusammenhang des Systems den eigentlichen Anwender, also den Fahrer des Pedelecs selbst. Dieser verfolgt mit der Hilfe des Systems das Ziel, den Fahrkomfort bei seiner Fahrt mit dem Pedelec zu erhöhen. Die Erhöhung des Komforts resultiert dabei daraus, dass keine manuellen Schaltvorgänge mehr durchgeführt werden müssen und dass das System gewährleistet, dass stets der richtige Gang eingelegt ist. Weiterhin hat der Kunde Interesse daran, die Reichweite des Pedelecs durch das System zu erhöhen, um in der Folge längere Fahrten mit der Unterstützung des Motors durchführen zu können. Ebenfalls ist der Kunde daran interessiert, auf Grund der schonenden Schaltweise die Lebenszeit des Pedelecs zu erhöhen.

Auftraggeber

Nummer	SH-2
Erläuterung	Der Auftraggeber stellt in diesem Fall ein Unternehmen dar, welches das System entwickeln lassen möchte, um es anschließend auf dem expandierenden Markt der elektrisch unterstützten Fahrräder etablieren zu können. Der Auftraggeber ist explizit an einem wettbewerbsfähigen Produkt interessiert, welches mit bereits vorhandenen Lösungen des Marktes durchaus konkurrieren und somit einen Gewinn erzielen kann.

Hersteller

Nummer	SH-3
Erläuterung	Für die Herstellung des Produktes ist es vorteilhaft, wenn das System leicht herzustellen ist. Dies bedeutet, dass die Kosten, die Zeit und der Aufwand zur Herstellung des Produktes gering sein sollten.

Entsorger

Nummer	SH-4
Erläuterung	Ebenso wie der Hersteller bekundet auch der Entsorger ein Interesse an einem System, welches mit mäßigem Aufwand entsorgt werden kann. Hierbei spiegelt sich der Aufwand ebenfalls in Kosten, Zeit und Aufwand wider.

Fachwerkstätten

Nummer	SH-5
Erläuterung	Die Fachwerkstätten integrieren und warten das System, weshalb Sie an einem mäßig komplizierten System interessiert sind. Ebenfalls sollte das System mit wenig Aufwand integrier- und kalibrierbar sein.

Gesetzgeber

Nummer	SH-6
Erläuterung	Der Gesetzgeber stellt einige Regularien, welche das System erfüllen muss, auf. So kann es unter anderem sein, dass das System bezüglich der Herstellung und der Entsorgung im Produkt als auch im Produktentstehungsprozess bestimmte Stoffe (wie z.B. Blei) nicht enthalten darf. Weiterhin könnte ein Interesse der Gesetzgebung darin bestehen, den zurzeit stark wachsenden Markt der elektrisch unterstützten Fahrräder zu unterstützen, so dass auf Grund des Systems die Nachfrage an solchen Produkten steigt. Ebenfalls regelt die Gesetzgebung Vorschriften zu Gewährleistung und Garantien.

3. Anforderungsanalyse

3.1 Anwendungsfälle und Beispielszenarien

3.1.1 Anwendungsfälle

Hochschalten

Nummer	AF-1
Erläuterung	Überschreiten Trittfrequenz und Geschwindigkeit des Fahrrades einen Schwellenwert, schaltet die Gangschaltung in den nächsthöheren Gang.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Runterschalten

Nummer	AF-2
Erläuterung	Unterschreiten Trittfrequenz und Geschwindigkeit des Fahrrades einen Schwellenwert, schaltet die Gangschaltung in den nächstniedrigeren Gang.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Schaltvorgang

Nummer	AF-3
Erläuterung	Der Wechsel in einen benachbarten Gang vermindert den Fahrkomfort des Fahrers nicht. Das System verharrt nicht in einem Zwischengang.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Energieeffizienz und Preis

Nummer	AF-4
Erläuterung	Die automatische Schaltung realisiert in jeder Fahrsituation und jedem Betriebsmodus einen möglichst geringen Energieverbrauch des Systems (Pedelec + automatische Gangschaltung). Der Preis der automatischen Gangschaltung ist wettbewerbsfähig.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Berg- und Tal-Fahrt

Nummer	AF-5
Erläuterung	Der Operator erlebt auch in bergigen Regionen den maximalen Fahrkomfort des Pedelecs. Die Fahrt kennzeichnet sich durch ständige abwechselnde Drehmomentanforderungen, die sich durch häufige Gangwechsel äußert. Schnell wechselnde Fahrsituationen (wechselnde Steigungen) benötigen ebenfalls viele Gangwechsel, um die gewünschte Trittfrequenz zu erreichen bzw. einzuhalten.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Benutzerfreundlichkeit

Nummer	AF-6
Erläuterung	Die Bedienung der Gangschaltung erfolgt über ein am Lenker montiertes Display und ist durch maximal zwei Untermenüs und eine einhändige Bedienung sehr komfortable für den Operator gestaltet. Die Auswahl von Fahrprofilen und die Umschaltung des Modus (Manuell/Automatisch) erfolgt wiederum einhändig und ist auch während des Fahrens sicher möglich. Der Operator wird über die Inhalte des aktuellen Ganges und der Trittfrequenz informiert.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Stadtfahrt /Stop-and-Go

Nummer	AF-7
Erläuterung	Der Operator bewegt das Pedelec auch im Stadtverkehr. Die Fahrt ist geprägt durch viele schnelle Verzögerungen (viele Kreuzungen und Ampelstopps) und häufiges Anfahren (Start von der Ampel). Durch ständig wechselnde Drehmomentanforderungen führen zu häufigen Gangwechseln. Ein Gangwechsel ist auch im Stand möglich.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Überlandfahrt

Nummer	AF-8
Erläuterung	Der Operator bewegt das Pedelec auf längeren, ebenen Streckenabschnitten. Die Fahrt kennzeichnet sich durch eine geringe Anzahl von Gangwechseln. Durch die automatische Gangschaltung wird hierbei ein zu häufiges Schalten verhindert. Es kann somit zu unterschiedlicher Belastung von einzelnen Ritzeln kommen.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Witterung

Nummer	AF-9
Erläuterung	Das Pedelec wird bei allen Witterungsbedingungen genutzt.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Individuelle Nutzer

Nummer	AF-10
Erläuterung	Das Pedelec wird von unterschiedlichen Typen von Operatoren (z.B. sportlich, bequem) verwendet. Es muss eine große Bandbreite an Gängen realisiert werden, damit sowohl sportliche als auch der bequeme Fahrer ihre Wunschtrittfrequenz erreichen/einhalten können. Zudem kann der Fahrer zur Erhöhung des Fahrkomforts den gewünschten Gang zum Anfahren konfigurieren.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Anwendbarkeit und gesetzliche Voraussetzung

Nummer	AF-11
Erläuterung	Das System ist mit den gesetzlichen Anforderungen des Pedelecs konform. Die Norm ISO7045 (Fantasienorm) wird eingehalten. Das System ist zudem von Links- und Rechtshändern nutzbar.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-3- SH-4- SH-6

Integration und Gewicht

Nummer	AF-12
Erläuterung	Das System ist unauffällig in das Designkonzept des Pedelecs integrierbar. Es ist von außen nicht offensichtlich erkennbar. Das System soll die bestehende manuelle Schaltung automatisieren. Das Gesamtgewicht der beiden Systeme (Pedelec und automatische Gangschaltung) erhöht sich nur geringfügig.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

3.1.2 Betriebskonzepte

Anfahren und Erreichen der Wunschgeschwindigkeit

Nummer	BK-1
Erläuterung	Beim Anfahren erhält der Operator die optimale Unterstützung durch das System. Bis zum Erreichen der Wunschgeschwindigkeit nimmt das System intelligente Gangwechsel unter Berücksichtigung des Fahrkomforts vor.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Bremsen bis Stillstand

Nummer	BK-2
Erläuterung	Dem Operator wird auch bei starken Geschwindigkeitsreduzierungen bis zum Stillstand sofort und zuverlässig der optimale Gang eingelegt.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Manuelles Schalten

Nummer	BK-3
Erläuterung	Befindet sich der Operator in einer Fahrsituation wieder, in der er den aktuell gewählten Gang als unangenehm empfindet, ändert der Operator den Gang manuell. Ab diesem Zeitpunkt erfolgen Schaltvorgänge lediglich manuell über den Fahrer. Um zur Automatikfunktion zurückzukehren, muss der Fahrer eine Aktion ausführen.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Wartung

Nummer	BK-4
Erläuterung	Zur Wartung des Systems wird dem Fachhandel ein breites Spektrum an Ersatzteilen und Servicedienstleistungen geboten.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-3- SH-5

Reaktion im Fehlerfall

Nummer	BK-5
Erläuterung	Auch im Fehlerfall/beim Ausfall des Systems/Batterie leer ist die Weiterfahrt mit Einschränkungen möglich.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Konfiguration

Nummer	BK-6
Erläuterung	Der Operator legt ein eigenes Nutzer-Profil an und nimmt individuelle Anpassungen vor. Die vollständige Aktivierung oder Deaktivierung der automatischen Gangschaltung ist jederzeit möglich.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Aufsteigen und Losfahren

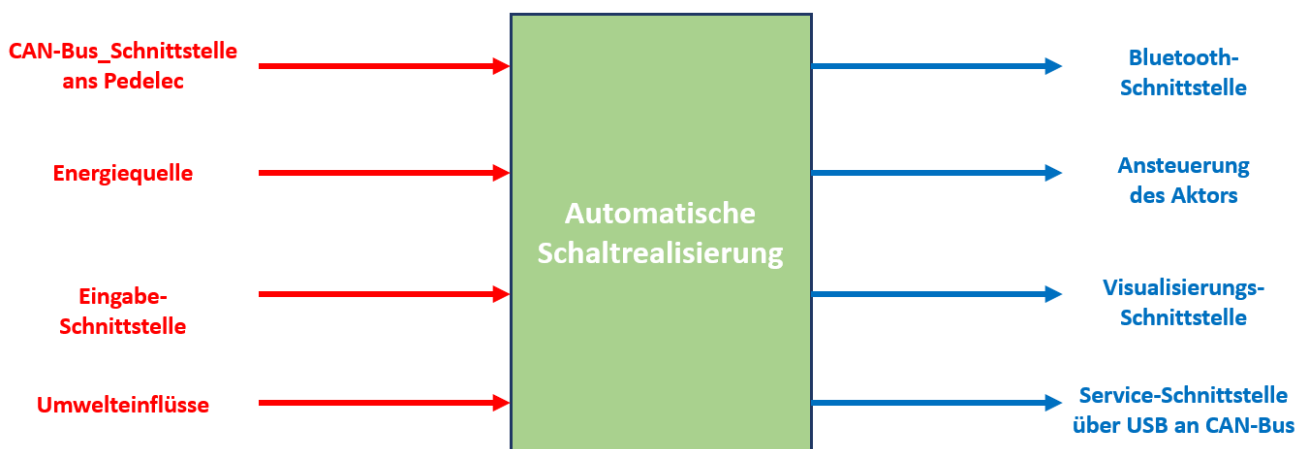
Nummer	BK-7
Erläuterung	Der Operator kann an einem Schalter die automatische Schaltunterstützung de-/aktivieren. Der Operator erfährt sofort die volle Schaltunterstützung.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2

Einbau und Kalibrierung

Nummer	BK-8
Erläuterung	Die Installation des Systems ist durch eine Fachwerkstatt umsetzbar und ist für großes Spektrum an Pedelec-Herstellern anwendbar. Nach dem Einbau erfolgt die Kalibrierung des Systems, so dass dem System die Information über die Ganganzahl und den Schaltweg der jeweiligen Schaltung, sowie der Schaltungsart (Naben- oder Kettenschaltung) zur Verfügung stehen.
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- SH-1- SH-2- SH-5

3.2 Systemgrenzen:

Für die Analyse der Systemgrenzen wurde das System der automatischen Gangschaltung als Black-Box-Modell herangezogen. Da die Beschreibung einiger interner Systemgrenzen hierbei ebenfalls relevant ist, versteht sich die automatische Gangschaltung als ein Teil des Gesamtsystems, welches mit anderen Teilsystemen kommuniziert. Das verwendete System in der Black-Box spiegelt das Herzstück des Systems wider. Auf der linken Seite (rot) sind die Eingaben zu sehen. Auf der rechten Seite (blau) befinden sich die Ausgaben.



Nr.	Eingabe	Ausgabe	Bezeichnung	Hintergrund
1	x		CAN-Bus-Schnittstelle am Pedelec	- Über die CAN-Schnittstelle werden Informationen wie Geschwindigkeit und Trittfrequenz von den Sensoren und vom Pedelec bereitgestellt.
2	x		Energiequelle	- Strom-/Spannungsversorgung für die Automatikschaltung.
3	x		Eingabe-Schnittstelle	- Eingabebereich des Operators zur Automatikschaltung (Umschaltung der Fahrmodi und des Betriebsmodi, manueller Gangwechsel bspw.).
4	x		Umwelteinflüsse	- Wind, Regen, Staub sind Umwelteinflüsse, die bei der Automatikschaltung Schäden verursachen könnten.
5		x	Visualisierungs-Schnittstelle	- Über ein Display erfährt der Operator die Trittfrequenz, den momentanen Gang, den Fahr- und Betriebsmodi sowie die aktuell gefahrene Geschwindigkeit.
6		x	Bluetooth-Schnittstelle	- Über die Bluetooth-Schnittstelle wird das Display am Rad mit unserer Automatikschaltung verbunden.

7		x	Ansteuerung des Aktors	- Der Automatikschaltung steuert den Aktor zum Umlegen des Schaltwerks für den Gangwechsel an.
8		x	Service-Schnittstelle über USB an CAN-Bus	- Über eine USB-Schnittstelle können die wichtigen Informationen wie Drehmoment, Geschwindigkeit, etc. ausgelesen werden. Ebenso ist eine Ansteuerung des Aktors über eine Stellglieddiagnose möglich.

Die Schnittstellen wurden hierbei in den folgenden Anforderungen bedacht:

Nr.	Eingabe	Ausgabe	Bezeichnung	Anforderung(en)
1	x		CAN-Bus-Schnittstelle am Pedelec	- ID 1 - ID 2 - ID 3 - ID 4
2	x		Energiequelle	- ID 10
2	x		Eingabe-Schnittstelle	- ID 12 - ID 21
4	x		Umwelteinflüsse	- ID 28 - ID 29
5		x	Visualisierungs-Schnittstelle	- ID 12
6		x	Bluetooth-Schnittstelle	- ID 4
7		x	Ansteuerung des Aktors	- ID 40 - ID 41 Ist nicht als explizite Anforderung aufgeführt, da dies die Grundvoraussetzung für die Existenz des Systems ist.
8		x	Service-Schnittstelle über USB an CAN-Bus	- ID 36

3.3 Anforderungen

Anforderung 1

Nummer	ID 1
Titel	Trittfrequenz als Businformation
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Trittfrequenz muss als Businformation ausgelesen und interpretiert werden. Die Information muss zyklisch aktualisiert vorliegen.
Einschränkungen	
Begründung	Die Information wird für die Bestimmung des richtigen Schaltpunktes benötigt.
Priorität	Normal
Querbezüge	Schnittstelle der Kommunikation: ID 4 Andere Businformationen: ID 2, ID 3
Einflüsse/Risiken	Störeinflüsse elektromagnetischer Felder dürfen die Nachricht nicht verfälschen bzw. die Kommunikation behindern.
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-1- TF-3- TF-4
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-1- AF-2- AF-3

Anforderung 2

Nummer	ID 2
Titel	Fahrtgeschwindigkeit als Businformation
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Trittfrequenz muss als Businformation ausgelesen und interpretiert werden. Die Information muss zyklisch aktualisiert vorliegen.
Einschränkungen	
Begründung	Wird für die Bestimmung des richtigen Schaltpunktes benötigt.
Priorität	Normal
Querbezüge	Schnittstelle der Kommunikation: ID 4 Andere Businformationen: ID 1, ID 3
Einflüsse/Risiken	Störeinflüsse elektromagnetischer Felder dürfen die Nachricht nicht verfälschen bzw. die Kommunikation behindern.
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-1- TF-3- TF-4
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-1- AF-2- AF-3

Anforderung 3

Nummer	ID 3
Titel	Drehmoment als Businformation
Status	Realisiert
Erläuterung	Das durch den Fahrer aufgebrachte Drehmoment muss als Businformation ausgelesen und interpretiert werden. Die Information muss zyklisch aktualisiert vorliegen.
Einschränkungen	
Begründung	Wird für die Bestimmung des richtigen Schaltpunktes benötigt.
Priorität	Normal
Querbezüge	Schnittstelle der Kommunikation: ID 4 Andere Businformationen: ID 1, ID 2
Einflüsse/Risiken	Störeinflüsse elektromagnetischer Felder dürfen die Nachricht nicht verfälschen bzw. die Kommunikation behindern.
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-1- TF-3- TF-4
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-1- AF-2- AF-3

Anforderung 4

Nummer	ID 4
Titel	Schnittstelle – Kommunikation mit dem Pedelec
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss mit Bussystemen und über Bluetooth-Schnittstellen kommunizieren können. (Spezifikation: CAN-Schnittstelle (Low-Speed))
Einschränkungen	
Begründung	Das System benötigt Informationen vom Pedelec selbst, damit das Schalten in Abhängigkeit der Fahrtbedingungen geschehen kann. Ebenfalls muss das System mit seinen Teilkomponenten kommunizieren können, um alle relevanten Informationen zu erhalten und darstellen zu können.
Priorität	Normal
Querbezüge	Botschaften, welche durch die Schnittstelle übertragen werden: ID 1, ID2, ID 3
Einflüsse/Risiken	Die Eigenschaften und Grenzbedingungen der Schnittstelle müssen mit den Spezifikationen der Schaltung kompatibel sein.
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-1- TF-3- TF-4
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-1- AF-2- AF-3- AF-6

Anforderung 5

Nummer	ID 5
Titel	Sequenzieller Schaltvorgang
Status	Realisiert
Erläuterung	Der Schaltvorgang muss sequenziell erfolgen. Das Überspringen eines Ganges ist nicht möglich.
Einschränkungen	
Begründung	Um die Kompatibilität zu den verschiedensten Schaltungen zu wahren und den Verschleiß der Schaltung gering zu halten, werden nur sequenzielle Schaltvorgänge vorgenommen. Ebenfalls wird hierdurch verhindert, dass ein Schaltvorgang zu viel Zeit benötigt und somit der Fahrkomfort verringert wird.
Priorität	Hoch
Querbezüge	Gangerkennung: ID 6 Schaltzeit: ID 11
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-7
Herkunft	- AF-1 - AF-2

Anforderung 6

Nummer	ID 6
Titel	Gangerkennung
Status	Realisiert
Erläuterung	Der aktuelle Gang muss vom System erkannt werden.
Einschränkungen	
Begründung	Um dem Operator den momentanen Gang visuell darzustellen, wird die Information des aktuell eingelegten Ganges benötigt.
Priorität	Hoch
Querbezüge	Die Information „aktueller Gang“ wird über die Schnittstelle dem Bus zur Verfügung gestellt.
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-1- TF-3- TF-4
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-1- AF-2- AF-6

Anforderung 7

Nummer	ID 7
Titel	Schaltvorgang
Status	Realisiert
Erläuterung	Beim Schaltvorgang des Systems muss das Verharren in ein einem Zwischengang verhindert werden. Die Genauigkeit der Schaltungsumsetzung muss im Wertebereich von 2/10mm liegen.
Einschränkungen	
Begründung	Das Verharren in Zwischengängen mindert den Fahrtrkomfort.
Priorität	Hoch
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-6
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-1- AF-2- AF-3

Anforderung 8

Nummer	ID 8
Titel	Energieverbrauch
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Gangschaltung muss beim Schalten weniger als 500mA verbrauchen. Wird kein Schaltvorgang vorgenommen muss der Stromverbrauch weniger als 100mA betragen.
Einschränkungen	
Begründung	Das System soll dem Kunden neben dem Fahrkomfort einen weiteren Nutzen bieten, welcher sich darin widerspiegelt, dass die Reichweite des Pedelecs erhöht wird. Dieser Nutzen setzt voraus, dass der Energieverbrauch gering ist.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-4- TF-10
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-4

Anforderung 9

Nummer	ID 9
Titel	Preis
Status	Realisiert
Erläuterung	Es soll ein maximaler Preis von 70,00 € nicht überschritten werden.
Einschränkungen	
Begründung	Der Preis muss wettbewerbsfähig sein, damit das Produkt einen Gewinn erzielen kann.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-10- TF-16
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-4

Anforderung 10

Nummer	ID 10
Titel	Energieversorgung
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Energieversorgung muss über das vom Pedelec bereitgestellte Energiesystem realisiert werden. Die bereitgestellte Spannung vom System liegt im Bereich von 12-48V.
Einschränkungen	
Begründung	Höchstmögliche Universalität gegenüber verschiedenster Pedelec-Systemen.
Priorität	Hoch
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	Das Energiesystem des Pedelecs muss die Anbindung einer elektrischen Schaltung ermöglichen. Das System muss im angegebenen Spannungsbereich arbeiten können.
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-10
Herkunft	- AF-4

Anforderung 11

Nummer	ID 11
Titel	Schaltzeit
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss den Wechsel zwischen zwei benachbarten Gängen in maximal 200 ms durchgeführt haben.
Einschränkungen	
Begründung	Zur Wahrung des Fahrkomforts muss der Gangwechsel schnell erfolgen, so dass dieser zeitlich nahezu nicht bemerkbar ist.
Priorität	Hoch
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-4- TF-6- TF-16
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-5- AF-7

Anforderung 12

Nummer	ID 12
Titel	Visualisierung der Pedelec-Information
Status	Realisiert
Erläuterung	Es muss ein Display am Lenker als Schnittstelle zum Fahrer verbaut werden. Ebenfalls sollen Eingaben im Bereich des Displays möglich sein.
Einschränkungen	
Begründung	Dem Fahrer des Pedelecs mit dem eingebauten System müssen Informationen über die Trittfrequenz, etc. bereitgestellt werden. Ebenfalls muss der Fahrer mit dem System kommunizieren können.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-3- TF-4- TF-16
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-6- AF-10- BK-6

Anforderung 13

Nummer	ID 13
Titel	Position des Displays
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Darstellung der Systeminformationen für den Nutzer soll im Sichtfeld des Fahrers liegen.
Einschränkungen	
Begründung	Durch die Platzierung des Displays wird der Fahrer nicht vom Fahren abgelenkt und in der Folge werden Unfälle verhindert. Ebenfalls erhöht sich der Fahrkomfort als auch der generelle Komfort für den Nutzer bei der Interaktion mit dem Produkt.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-3- TF-4- TF-16
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-6

Anforderung 14

Nummer	ID 14
Titel	Darstellung der Systeminformationen
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss Angaben über die Trittfrequenz und über den Gangzustand im Display darstellen.
Einschränkungen	
Begründung	Der Fahrer bekommt visuelle Rückmeldung des Systems durch die Darstellung der relevantesten Informationen. Diese Informationen sind vor allem dann wichtig, wenn der Fahrer die Schaltung manuell bedient.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-3- TF-4- TF-16
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-1- AF-2- AF-6

Anforderung 15

Nummer	ID 15
Titel	Begrenzte Anzahl an Untermenüs
Status	Realisiert
Erläuterung	Im Display sollen lediglich zwei Untermenüs vorhanden sein.
Einschränkungen	
Begründung	Der Fahrer muss sich in keinem Moment mit einem unübersichtlichen Display auseinandersetzen. Dies mindert die Ablenkungen des Fahrers durch die Interaktion mit dem System und verhindert somit Unfälle.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-2- TF-16
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-6- BK-6

Anforderung 16

Nummer	ID 16
Titel	Einhändige Bedienung
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Bedienung des Gesamtsystems soll einhändig erfolgen können.
Einschränkungen	
Begründung	Dem Operator soll die Interaktion mit dem System/dem Display auch während der Fahrt möglich sein.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-5- TF-16
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-6

Anforderung 17

Nummer	ID 17
Titel	Bedienung während der Fahrt
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Bedienung des Systems muss während der Fahrt möglich sein.
Einschränkungen	
Begründung	Der Operator soll durch die Interaktion mit dem System nicht vom Straßenverkehr abgelenkt werden.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-5- TF-16
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-6

Anforderung 18

Nummer	ID 18
Titel	Bedienung für Rechts-/Linkshänder
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Bedienung des Systems muss sowohl für Rechts- als auch Linkshänder ohne Einschränkungen möglich sein.
Einschränkungen	
Begründung	Der Operator soll durch die Interaktion mit dem System nicht vom Straßenverkehr abgelenkt werden. Hierbei soll die Maßnahme die Individualisierung und die Anpassung des Systems auf den Kunden ermöglichen/verbessern.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-5- TF-16
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-11

Anforderung 19

Nummer	ID 19
Titel	Fahrprofile
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Dem Fahrer müssen Fahrprofile zur Auswahl stehen.</p> <p>ECO: Ein möglichst geringer Stromverbrauch in der gefahrenen Situation ist Voraussetzung für den zu wählenden Gang. Es wird nicht exakt auf die gewünschte Trittfrequenz des Nutzers des Operators eingegangen. Es muss eine maximale Abweichung von 15% von der gewünschten Trittfrequenz gewährleistet werden.</p> <p>Komfort: In diesem Modus wird der für die Fahrsituation angemessene Gang, um die vom Operator eingestellte Trittfrequenz zu erreichen. Es muss eine maximale Abweichung von 2% von der gewünschten Trittfrequenz gewährleistet werden.</p> <p>Sportlich: In diesem Modus werden die gewünschten Geschwindigkeiten durch angepasstes Schalten, abhängig von Trittfrequenz und Drehmoment, möglichst zügig erreicht. Vor allem kennzeichnet sich dieser Modus durch deutlich erhöhte Trittfrequenzen mit einer Abweichung von bis zu +30%.</p>
Einschränkungen	
Begründung	Die geforderte Individualisierung/Anpassung des Systems auf den Fahrer geschieht unter anderem durch verschiedenen Fahrprofile.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-4- TF-17
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-6- AF-10- BK-6

Anforderung 20

Nummer	ID 20
Titel	Auswahl der Fahrprofile
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Auswahl der Fahrprofile muss über das Display erfolgen.
Einschränkungen	
Begründung	Die Fahrprofil müssen auswählbar sein. Das Display stellt hierbei die einzige Möglichkeit dar, als Fahrer mit dem System bezüglich der Fahrmodi bidirektional zu kommunizieren.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-5
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-6- BK-6

Anforderung 21

Nummer	ID 21
Titel	Manuelles Schalten
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss das manuelle Schalten durch den Fahrer zulassen.
Einschränkungen	
Begründung	Das System muss gewährleisten, dass das Schalten der Gänge auch vom Fahrer des Pedelecs selbst durchgeführt werden kann.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-4
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-6- BK-3- BK-6- BK-7

Anforderung 22

Nummer	ID 22
Titel	Drehmomentminderung während eines Gangwechsels
Status	Realisiert
Erläuterung	Während eines Schaltvorganges soll das durch den Motor unterstützende Drehmoment vermindert werden.
Einschränkungen	
Begründung	Zur Erhöhung des Fahrkomforts und zur Schonung der Schaltung muss das System erreichen, dass das vom Motor erzeugte Drehmoment während eines Schaltvorganges gemindert wird.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-17
Herkunft	- AF-6

Anforderung 23

Nummer	ID 23
Titel	Fahrt mit geringer Energie im Akkumulator
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss in den niedrigsten Gang schalten, wenn der verbleibende Prozentsatz an Energie unter 10 % fällt.
Einschränkungen	
Begründung	Diese Funktion gewährleistet die Weiterfahrt mit dem Pedelec in einem Gang, welcher den Fahrer in keiner Situation dazu zwingt, vom Pedelec abzustiegen.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-9
Herkunft	- BK-5

Anforderung 24

Nummer	ID 24
Titel	Reaktion im Fehlerfall
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss im Fehlerfall nach einer Warnung an den Operator in den niedrigsten Gang schalten, sofern die Systemfunktion dies zulässt.
Einschränkungen	
Begründung	Diese Funktion gewährleistet die Weiterfahrt mit dem Pedelec in einem Gang, welcher den Fahrer in keiner Situation dazu zwingt, vom Pedelec abzustiegen.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-9
Herkunft	- BK-5

Anforderung 25

Nummer	ID 25
Titel	Einstellen eines Start-Ganges
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss bei Stillstand, den im Fahrprofil vorkonfigurierten Gang, einlegen.
Einschränkungen	
Begründung	Die geforderte Individualisierung/Anpassung des Systems auf den Fahrer. Verschiedene Fahrer fahren in verschiedenen Gängen an. Dies ist eine Erweiterung der Fahrprofile.
Priorität	Normal
Querbezüge	Fahrprofile: ID 19
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-8
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-10- BK-2- BK-6

Anforderung 26

Nummer	ID 26
Titel	Gang-Wahl im Automatikmodus
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Gang-Wahl muss innerhalb einer Hysterese erfolgen, welche sich aus der Kombination von Geschwindigkeit, Trittfrequenz, Drehmoment und Fahrprofil ergibt. Hierbei wird auf eine Tabelle bzw. ein Kennfeld referenziert, welche(s) die Schaltpunkte in Abhängigkeit der zuvor genannten Faktoren beinhaltet. Es existiert für jedes Fahrprofil ein eigens angepasstes Kennfeld.
Einschränkungen	
Begründung	Zur Realisierung des maximalen Fahrkomforts und der Fahrprofile muss eine intelligente Schaltung im Automatik-Modus realisiert werden.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-17
Herkunft	- AF-1 - AF-2 - AF-3 - AF-8 - BK-2

Anforderung 27

Nummer	ID 27
Titel	Durabilität
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss 70.000 Schaltvorgänge gewährleisten.
Einschränkungen	
Begründung	Das System soll zuverlässig sein und einen geringen Verschleiß aufweisen. Das System soll die Wünsche des Fahrers erfüllen und somit nicht bereits nach einigen Schaltvorgängen defekt sein.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-11
Herkunft	- AF-11

Anforderung 28

Nummer	ID 28
Titel	Temperaturbereich
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss im Temperaturbereich von -25 bis 60°C nutzbar sein.
Einschränkungen	
Begründung	Fahrräder werden in verschiedenen Regionen zu verschiedenen Jahreszeiten benutzt. Auch unter diesen Umständen soll das Pedelec mit dem System voll funktionsfähig sein.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-11
Herkunft	- AF-9

Anforderung 29

Nummer	ID 29
Titel	IP-Schutzklasse
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss eine IP-Schutzklasse von IP68 realisieren.
Einschränkungen	
Begründung	Pedelecs werden im Normalfall draußen verwendet. Dort wirkt die Witterung auf das System ein. Diese soll keinen Einfluss auf das System nehmen, damit die Funktionsfähigkeit und somit die Schaltbarkeit des Systems bei jeglichen Witterungsbedingungen bestehen bleibt.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-11- TF-14
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- AF-9

Anforderung 30

Nummer	ID 30
Titel	Integrationsfähigkeit
Status	Realisiert
Erläuterung	Die automatische Gangschaltung muss in das bestehende Schaltkonzept integriert werden. Die spätere Umschaltung des Ganges soll über eine SHIFT BY WIRE-Lösung realisiert werden.
Einschränkungen	
Begründung	Zur Vermeidung von vielen Leitungen am Rad wird eine SHIFT BY WIRE-Lösung angestrebt. Dies unterstützt die unauffällige Integration des Systems in das Pedelec.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-16
Herkunft	- AF-12

Anforderung 31

Nummer	ID 31
Titel	Konformität
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss mit Garantieren und Regularien des Pedelec-Herstellers konform sein. Das System muss die Norm ISO7045 (Fantasienorm) einhalten.
Einschränkungen	
Begründung	Gesetzliche Vorgaben bedingen dies.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-18
Herkunft	- AF-11

Anforderung 32

Nummer	ID 32
Titel	Einbau
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss durch eine Fachwerkstatt installierbar sein.
Einschränkungen	
Begründung	Der Einbau des Systems muss gewährleistet sein.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-16
Herkunft	- BK-8

Anforderung 33

Nummer	ID 33
Titel	Gewicht
Status	Realisiert
Erläuterung	Das Gewicht des Systems soll maximal 200g betragen.
Einschränkungen	
Begründung	Da das System den Fahrkomfort erhöhen und die Reichweite des Pedelecs erweitern soll, muss das Gewicht gering sein.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-12
Herkunft	- AF-12

Anforderung 34

Nummer	ID 34
Titel	Design
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss unauffällig in das Design des Pedelecs integrierbar sein. Typische Durchmesser der Rahmen betragen 25mm.
Einschränkungen	
Begründung	Das Design hat Einfluss auf die Meinung des Kunden gegenüber dem System.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-16
Herkunft	- AF-12

Anforderung 35

Nummer	ID 35
Titel	Lautstärke
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss Schaltvorgänge unter 25 dB durchführen.
Einschränkungen	
Begründung	Die Lautstärke der Schaltvorgänge und des Gesamtsystem haben Einfluss auf den Fahrkomfort. Ein lautes System kann zu Unwohlsein des Kunden während der Fahrt führen und soll deshalb vermieden werden.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none">- TF-13- TF-16
Herkunft	<ul style="list-style-type: none">- BK-1

Anforderung 36

Nummer	ID 36
Titel	Service-Schnittstelle
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss über eine Schnittstelle zum Auslesen der Systeminformationen verfügen. Hierzu sollen die Werte des CAN-Busses in Klartext, verschiedene Messwerte und der Fehlerspeicher zählen. Des Weiteren soll die Möglichkeit einer Stellglieddiagnose existieren. Die Schnittstelle soll durch das Display und als weitere Möglichkeit durch einen USB-Anschluss realisiert werden.
Einschränkungen	
Begründung	Die Schnittstelle wird zur Wartung und Kalibrierung des Systems benötigt.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-1
Herkunft	- BK-4

Anforderung 37

Nummer	ID 37
Titel	Kalibrierung
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss eine Kalibrierungsverfahren realisieren, welches die Parameter der Ganganzahl und des Schaltweges kalibriert. Außerdem erfolgt auch die Unterscheidung und Kalibrierung auf den verwendeten Schaltungstyps. Zu unterscheiden sind zwei Varianten – Nabenschaltung bzw. Kettenschaltung. Das Kalibrierungsverfahren muss ebenfalls durch eine Fachwerkstatt durchführbar sein.
Einschränkungen	
Begründung	Das Kalibrierverfahren ermöglicht die Anpassung des Systems auf verschiedene Schaltungen.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-16
Herkunft	- BK-8

Anforderung 38

Nummer	ID 38
Titel	Schaltvorgang während der Fahrt
Status	Realisiert
Erläuterung	Ein Gangwechsel muss während der Fahrt (Geschwindigkeit $\geq 2\text{km/h}$) durchgeführt werden, sofern eine Kettenschaltung am Pedelec verbaut ist. Eine entsprechende Unterscheidung ist in der Kalibrierung vorgenommen worden.
Einschränkungen	
Begründung	Das Schalten im Stillstand könnte die (Ketten-)Schaltung beschädigen.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-6
Herkunft	- BK-8

Anforderung 39

Nummer	ID 39
Titel	Schaltvorgang im Stand
Status	Realisiert
Erläuterung	Ein Gangwechsel muss im Stand durchgeführt werden können, sofern eine Nabenschaltung am Pedelec verbaut ist. Eine entsprechende Unterscheidung ist in der Kalibrierung vorgenommen worden.
Einschränkungen	
Begründung	Ein Schalten im Stillstand ist für eine Nabenschaltung unproblematisch da lediglich die Übersetzung (Verzahnung des Planetengetriebes) angepasst wird.
Priorität	Normal
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-6
Herkunft	- BK-8

Anforderung 40

Nummer	ID 40
Titel	Maximale Schaltwege
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Schaltung muss einen maximalen Schaltweg, d.h. von höchsten bis in den niedrigsten Gang, von 100mm realisieren. Darüber hinaus muss das System einen maximalen Weg von 10mm zwischen zwei benachbarten Gängen unterstützen. Der minimal auftretende Weg zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gängen muss im Bereich von 2 bis 3mm ebenfalls umsetzbar sein.
Einschränkungen	
Begründung	Verschiedene Ritzelpakete benötigen unterschiedliche Längen an Zugbewegungen und somit Gängen. Mit 100mm Schaltweg sollen die meisten herkömmlichen Pedelec Gangkombinationen abgedeckt werden.
Priorität	Hoch
Querbezüge	
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-6
Herkunft	- AF-5 - AF-7

Anforderung 41

Nummer	ID 41
Titel	Schaltgeschwindigkeiten
Status	Realisiert
Erläuterung	Aufgrund der maximalen Schaltdauer und des maximalen Schaltweges muss die Schaltung eine Schaltgeschwindigkeit von mindestens 50mm/s erreichen.
Einschränkungen	
Begründung	Aufgrund des maximalen Schaltweges zwischen von zwei Gängen (10mm) und einer vorgegeben maximalen Schaltdauer für einen Gang muss eine Schaltgeschwindigkeit von 50mm/s erreicht werden um die angegebenen Bedingungen zu erfüllen und somit den Anforderungen der Stakeholder nachzukommen.
Priorität	Hoch
Querbezüge	ID 11 und ID 40
Einflüsse/Risiken	
Aufwand	
Akzeptanzkriterien	- TF-6
Herkunft	- AF-5 - AF-7

4. Testfälle

4.1 Testfall 1

Nummer	TF-1
Titel	Ausgabe der spezifischen Informationen über das Servicemenü auf dem Display
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfung der Datenbus -Schnittstelle
Durchführung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Einschalten des Pedelecs 2. Öffnen des Service-Menüs über Tastenkombination oder Anschließen eines Computers mit Service-Software 3. Öffnen des Unterpunkts: Datenbus auslesen 4. Überprüfen der Ausgabe
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ablesen folgender Werte als Busnachricht und Klartext: <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Geschwindigkeit 1.2. Trittfrequenz 1.3. Gang 1.4. Fahrmodus 1.5. Betriebsmodus
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none"> - ID 1 - ID 2 - ID 3 - ID 4 - ID 6 - ID 36

4.2 Testfall 2

Nummer	TF-2
Titel	Ausführliche Bedienung des Displays
Status	Realisiert
Ziel	Erreichbarkeit aller Menüs und Messung der Ebenen im Menübaum
Durchführung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Tester schaltet das Pedelec ein 2. Aus dem Hauptmenü navigiert dieser in den ersten Menüpunkt. 3. Jeder Menüpunkt wird schriftlich in einem Baumdiagramm erfasst. Jeder Menüpunkt stellt einen Knoten dar. Über den Pfeiloperator wird die Zugehörigkeit zur oberen bzw. unteren Ebene verdeutlicht. 4. Im nächsten Schritt werden alle weiteren Untermenü-Punkte durchlaufen und ebenfalls dokumentiert. 5. Diese Schrittfolge wird wiederholt, bis alle Menüpunkte inklusive aller Unterpunkte aufgerufen und dokumentiert worden sind.
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jeder Pfad muss bis in die tiefste Ebene durchlaufen werden. 2. Das Baumdiagramm darf nicht mehr als zwei Unterebenen besitzen.
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none"> - ID 15

4.3 Testfall 3

Nummer	TF-3
Titel	Überprüfung des User Interfaces auf Visualisierung
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfung der Ablesbarkeit der Visualisierungs-Schnittstelle bei verschiedenen Bedingungen
Durchführung	<ol style="list-style-type: none">1. Der Tester startet das Pedelec2. Er befindet sich im Hauptmenü3. Tageslicht-Test<ol style="list-style-type: none">3.1. Anstrahlen des Displays mit einer Taschenlampe (10000 lux)3.2. Abstand der Taschenlampe zum Display 10 cm3.3. Im Winkel von 90°4. Dunkelheit-Test<ol style="list-style-type: none">4.1. Das Pedelec befindet sich in einem abgedunkelten, geschlossenen Raum.4.2. Beleuchtung des Pedelecs ist deaktiviert.
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none">1. Ablesbarkeit folgender Werte feststellen:<ol style="list-style-type: none">1.1. Geschwindigkeit1.2. Trittfrequenz1.3. Gang1.4. Fahrmodus1.5. Betriebsmodus2. Kein Blenden des Displays bei Dunkelheit
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none">- ID 1- ID 2- ID 3- ID 4- ID 6- ID 12- ID 13- ID 14

4.4 Testfall 4

Nummer	TF-4
Titel	Überprüfung des User Interfaces auf Richtigkeit der ausgegebenen Werte
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfung der visualisierten Werte auf Korrektheit
Durchführung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Einschalten des Pedelecs 2. Der Tester bringt das Pedelec in Betriebszustand (Er fährt 25 km/h auf einer geraden Strecke) 3. Testen der Geschwindigkeit <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Der Tester fährt konstant die Geschwindigkeit 25 km/h. Ein zweiter Tester nutzt eine geeichte Geschwindigkeitspistole zum Messen der Geschwindigkeit. Beide Angaben werden verglichen. 4. Testen des gewählten Betriebsmodus <ol style="list-style-type: none"> 4.1. Der Tester befindet sich im Modus Automatisch. Anschließend verlangsamt er sein Tempo bis ein automatischer Gangwechsel erfolgt 4.2. Anschließend beschleunigt er das Pedelec wieder bis ein Zurückschalten erfolgt 4.3. Der gleiche Versuch wird nun im Fahrmodus manuell durchgeführt (kein Gangwechsel darf erfolgen) 5. Überprüfung des angezeigten Ganges <ol style="list-style-type: none"> 5.1. Der Tester wählt den höchsten Gang 5.2. Überprüfung der Angabe auf dem Display 5.3. Sequenziell jeden Gang manuell herunterschalten und visuell mit dem Display vergleichen
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none"> 1. Geschwindigkeitsabweichung von +/- 5% ist legitim. 2. Im Automatik-Modus muss ein automatisierter Gangwechsel erfolgen 3. Im manuellen Modus darf kein Gangwechsel erfolgen 4. Der angezeigte Gang muss dem eingelegten Gang entsprechen
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none"> - ID 1 - ID 2 - ID 3 - ID 4 - ID 6 - ID 8 - ID 11 - ID 12 - ID 13 - ID 14 - ID 19 - ID 21

4.5 Testfall 5

Nummer	TF-5
Titel	Überprüfung des User Interfaces auf Bedienbarkeit
Status	Realisiert
Ziel	Prüfen der Bedienbarkeit des Displays während der Fahrt, sowohl mit der linken als auch mit der rechten Hand
Durchführung	<ol style="list-style-type: none">1. Einschalten des Pedelecs2. Der Tester bringt das Pedelec in Betriebszustand (Er fährt 25 km/h auf einer geraden Strecke)3. Der Tester bedient das Display zunächst mit der rechten Hand.<ol style="list-style-type: none">3.1. Er schaltet alle Fahrmodi während des Fahrprozesses durch.3.2. Er schaltet beide Betriebsmodi während des Fahrprozesses durch.3.3. Der Tester bedient das Display jetzt mit der linken Hand.3.4. Punkt 3.1 und 3.2 werden ebenfalls für die linke Hand umgesetzt.
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none">1. Komfortable (subjektiv) Bedienung sowohl mit der rechten als auch der linken Hand
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none">- ID 16- ID 17- ID 18- ID 20

4.6 Testfall 6

Nummer	TF-6
Titel	Überprüfung des Schaltvorgangs
Status	Realisiert
Ziel	Ein korrekter Gangwechsel soll überprüft werden.
Durchführung	<p>Voraussetzung: zwei Pedelecs, eines mit Nabenschaltung, eines mit Kettenschaltung</p> <ol style="list-style-type: none"> Der Tester startet das Pedelec mit der verbauten Kettenschaltung. Über die Service-Schnittstelle wird die Zeit des Schaltvorgangs ermittelt (Ausgabe der Zeit von Beginn des Schaltvorgangs und Ausgabe der Zeit von Ende des Schaltvorgangs) Überprüfen des Schaltweges <ol style="list-style-type: none"> Das Pedelec wird aufgebockt, so dass das Hinterrad freisteht. Anschrauben eines Messschiebers mittels einer Vorrichtung ans Pedelec. Der Schaltweg wird 10-mal pro Gang rauf und runtergeschaltet. Es wird bei jedem Wechsel der Schaltweg aufgeschrieben. Anschließend erfolgt eine Mittelwertberechnung zur Überprüfung des Schaltweges. Berechnung der maximalen Schaltgeschwindigkeit aus dem maximal gemessenen Schaltweg und der maximalen Schaltzeit von 200ms. Zur Berechnung kann der lineare Zusammenhang $\text{Schaltgeschwindigkeit} = (\text{maximal aufgetretener Schaltweg zwischen zwei Gängen}) / (200\text{ms})$ verwendet werden. Umschalten des Betriebsmodi in manuellen Modus. Anschließend wird das Fahrrad auf 2km/h beschleunigt. Ein Gangwechsel soll durchgeführt werden. Anschließend wird das Pedelec auf eine Geschwindigkeit von 1km/h abgebremst. Ein erneuter Gangwechsel wird angefordert. Wechseln zum Pedelec mit der verbauten Nabenschaltung und Starten dieses. Die Schritte 2. bis 9. werden anschließend ebenfalls mit diesem Pedelec durchgeführt.
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none"> Ein Gangwechsel darf nicht länger als 200 ms dauern Die Schaltung darf in keinem Zwischengang verharren Die Schaltumsetzung darf einen Wert 2/10 mm nicht überschreiten. Die berechnete maximale Schaltgeschwindigkeit muss im Bereich $> 50\text{mm/s}$ liegen. Ein Schaltvorgang muss ab der Geschwindigkeit von 2km/h umgesetzt werden im Falle der Kettenschaltung. Ein Schaltvorgang im Stand darf nur bei Verwendung einer Nabenschaltung möglich sein.
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none"> - ID 7 - ID 11 - ID 38 - ID 39 - ID 40 - ID 41

4.7 Testfall 7

Nummer	TF-7
Titel	Testen der Sequenziellen Schaltung
Status	Realisiert
Ziel	Testen, inwiefern das Prinzip einer sequenziellen Schaltung umgesetzt worden ist.
Durchführung	<ol style="list-style-type: none">1. Einschalten des Pedelecs2. Der Tester startet im ersten Gang3. Anschließend setzt er das Pedelec auf gerader Strecke in Bewegung4. Durch kontinuierliche Beschleunigung muss jeder Gang eingelegt werden5. Kontinuierliche Verlangsamung, um jeden Gang beim Runterschalten zu erfassen
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none">1. Jeder Gang muss nacheinander eingelegt werden2. Ein Überspringen eines Gangs darf nicht erfolgen
Anforderungsbezug	- ID 5

4.8 Testfall 8

Nummer	TF-8
Titel	Vordefinierter Gang
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfen des vorkonfigurierten Gangs
Durchführung	<ol style="list-style-type: none">1. Einschalten des Pedelecs2. Wechsel in den Automatikmodus.3. Pedelec muss bis zur Betriebsgeschwindigkeit von 25 km/h beschleunigt werden.4. Verzögerung des Pedelecs bis Stillstand5. Überprüfung des eingelegten Ganges mit dem vordefinierten Gang6. Änderung des vordefinierten Gangs im Menü7. Wiederholung der Schritte 3-5
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none">1. Wurde ein vordefinierter Gang festgelegt, soll dieser nach Stillstand des Pedelecs eingelegt werden.2. Ist dieser nicht angewählt, soll im Stand in den ersten Gang geschaltet werden.
Anforderungsbezug	- ID 25

4.9 Testfall 9

Nummer	TF-9
Titel	Reaktion im Fehlerfall
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfung des Eintretens der für den Fehlerfall definierten Aktionen
Durchführung	<p>Voraussetzung: 10% Füllgrad der Batterie</p> <ol style="list-style-type: none">1. Einschalten des Pedelecs2. Bewegung des Pedelecs auf ebener Strecke (Beobachtung der Prozentangabe) <p>Voraussetzung: Energiespeicher hat weniger als 10%</p> <ol style="list-style-type: none">1. Beobachten des Displays2. Eine Warnung über den niedrigen Akkustand muss dem Tester übers Display mitgeteilt werden3. Pedelec schaltet automatisch in den niedrigsten Gang
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none">1. Warnung auf dem Display erst bei unter 10% Batterieladung2. Umschalten in den niedrigsten Gang
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none">- ID 23- ID 24

4.10 Testfall 10

Nummer	TF-10
Titel	Energieverbrauch und Energieversorgung
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfen, dass die vorgegebenen Energieverbrauchswerte nicht überschritten werden.
Durchführung	<ol style="list-style-type: none">1. Pedelec wird auf Einfahrstand festverzurrt2. Einschalten des Pedelecs3. Pedelec wird auf Betriebsgeschwindigkeit 25km/h gebracht4. Über Service-Schnittstelle des CAN's wird momentaner Energieverbrauch der Schaltung abgelesen im höchsten Gang5. Überprüfen, ob ein Ruhestrom von weniger als 100mA fließt6. Manuell wird ein Gang runtergeschaltet7. Während des Schaltvorganges wird der Energieverbrauch über die Service-Schnittstelle des CAN's abgelesen8. Überprüfen, ob ein Strom von weniger als 500mA während des Schaltens fließt
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none">1. Während des Schaltens darf ein Strom von 500 mA nicht überschritten werden.2. Wenn ein Gang eingelegt ist, darf ein Strom von mehr als 100 mA nicht fließen.
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none">- ID 8- ID 9- ID 10

4.11 Testfall 11

Nummer	TF-11
Titel	Widerstandsfähigkeit
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfung der Betriebsgewährleistung bei unterschiedlichen Temperaturbereichen (Widerstandsfähigkeit der Schaltung)
Durchführung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kälte: <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Pedelec wird in Kältekammer auf Einfahrstand verzurrt 1.2. Pedelec wird gestartet 1.3. Motor wird über Stellglieddiagnose zyklisch angesteuert, sodass Gangschaltung alle 2 Sekunden einen Schaltvorgang vornimmt 1.4. Ein Zyklus entspricht einmal alle Gänge hochgeschaltet und alle Gänge einmal runter geschaltet 1.5. Zyklus wird 35.000-mal wiederholt 2. Wärme: <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Pedelec wird in Wärmekammer auf Einfahrstand verzurrt 2.2. Pedelec wird gestartet 2.3. Motor wird über Stellglieddiagnose zyklisch angesteuert, sodass die Gangschaltung alle 2 Sekunden einen Schaltvorgang vornimmt 2.4. Ein Zyklus entspricht einmal alle Gänge hochgeschaltet und alle Gänge einmal runter geschaltet 2.5. Zyklus wird 35.000-mal wiederholt 3. Zerlegen der Schaltung und ermitteln des Verschleißes
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none"> 1. Korrektes durchschalten aller Gänge in jedem Temperaturbereich 2. Maximale Anzahl fehlgeschlagener Schaltwechsel darf den Wert von 500 sowohl im hohen sowie im niedrigen Temperaturbereich nicht überschreiten
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none"> - ID 27 - ID 28 - ID 29

4.12 Testfall 12

Nummer	TF-12
Titel	Gewicht
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfung des zulässigen Maximalgewichts
Durchführung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die automatische Schaltung wird auf eine Waage gelegt
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none"> 1. Schaltung darf einen Wert von 200g nicht überschreiten
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none"> - ID 33

4.13 Testfall 13

Nummer	TF-13
Titel	Lautstärke
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfung der zulässigen Lautstärke
Durchführung	<ol style="list-style-type: none">1. Pedelec wird auf Einfahrstand festverzurrt2. Positionierung eines geeichten DB-Messgerätes<ol style="list-style-type: none">2.1. 30 cm vor dem Aktor der automatischen Schaltung positionieren2.2. Messgerätspitze zeigt im Winkel von 90° zur Mitte des hinteren Rades3. Einschalten des Pedelecs4. Motor wird über Stellglieddiagnose zyklisch angesteuert, sodass Gangschaltung alle 2 Sekunden einen Schaltvorgang vornimmt5. Es werden verschiedene Belastungsstufen realisiert.6. Während des Schaltens wird übers Messgerät der maximale Peak beim Schalten abgelesen
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none">1. Die Schaltung darf den Wert von 25 dB nicht überschreiten
Anforderungsbezug	- ID 35

4.14 Testfall 14

Nummer	TF-14
Titel	IP-Schutzklassen
Status	Realisiert
Ziel	Erhalt des IP-Schutzklassen-Zertifikat
Durchführung	<ol style="list-style-type: none">1. Pedelec wird nach den Bestimmungen der IP-Schutzklassenverordnung getestet.2. Alle Bedingungen der Klasse 68 müssen erfüllt sein.3. Zertifiziertes Prüfsiegel muss vorliegen.
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none">1. Die Ergebnisse müssen der Definition einer IP 68-Klassifizierung nach DIN 40050 und der IEC-Publikation 144 entsprechen
Anforderungsbezug	- ID 29

4.15 Testfall 15

Nummer	TF-15
Titel	Fahrkomfort
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfung der Komfortabilität der automatischen Schaltung
Durchführung	<ol style="list-style-type: none">1. Die Anwendungsfälle AF-5, AF-7 und AF-8 müssen getestet werden.2. Der Operator sollte sich in jeder Fahrsituation mit dem ausgewählten Gang wohlfühlen.3. Auswahl eines Testpublikums bestehend aus 100 Testpersonen4. Benutzung des Pedelects auf einer definierten Teststrecke<ol style="list-style-type: none">4.1. 5 km Länge4.2. Höhenmeterunterschied 35m / Steigung von 7%4.3. Stadtverkehr mit mindestens 3 Kreuzungen (3-mal Bremsen und Anfahren)
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none">1. Benutzerbefragung: mindestens 95% der Befragten bewerten den Komfort mit mindestens 8 von 10 Punkten
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none">- AF-5- AF-7- AF-8

4.16 Testfall 16

Nummer	TF-16
Titel	Gesamtsystemtest
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfung der Integration und der Verwendung des Systems in verschiedenen Pedelects. Für direkt getestete Pedelects, welche alle Akzeptanzkriterien erfüllen, kann das System als vollständig kompatibel beworben werden.
Durchführung	<p>Für die Überprüfung der Integration und der Verwendung des Systems in verschiedenen Pedelects werden zunächst die meistverkauften Modelle des Marktes geprüft.</p> <p>Die Durchführung gestaltet sich derart, dass einige der meistverkauften Modelle des Marktes zunächst erworben werden. Anschließend wird eine realistische Abfolge an Handlungen durchgeführt, welche dem Normverhalten eines typischen Kunden entsprechen. Es ergibt sich folgende Abfolge:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kauf eines Pedelects (beide Arten an Schaltungstypen) 2. Beauftragung einer zufällig ausgewählten Fachwerkstatt zur Integration des Systems im Pedelect. In diesem Zuge muss auch die Kalibrierung durchgeführt werden. 3. Durchführung einer Probandenstudie durch eine externe Firma. Die Skala der Bewertung erstreckt sich auf dem Bereich von 0 (schlecht) bis 10 (sehr gut). Die Befragung der Probanden gliedert sich in die Unterpunkte: <ol style="list-style-type: none"> a. Unauffällige Integration des Systems b. Preis c. Bedienung d. Fahrkomfort e. Ruckfreies Schalten f. Schaltzeiten g. Lautstärke der Schaltung h. Alltagstauglichkeit i. Gesamteindruck
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Integration und Kalibrierung des Systems muss im Pedelect durch die Fachwerkstatt möglich sein. 2. Die Auswertung der Probandenstudie ergibt im Durchschnitt einen Wert > 8.
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none"> - ID 9 - ID 11 - ID 12 - ID 13 - ID 14 - ID 15 - ID 16 - ID 17 - ID 18 - ID 30 - ID 32 - ID 34 - ID 35 - ID 37

4.17 Testfall 17

Nummer	TF-17
Titel	Schaltsschwellen/Schaltzeitpunkte, Fahrprofile und Drehmomentminderung
Status	Realisiert
Ziel	Überprüfung auf Korrektheit der Schaltsschwellen und Schaltzeitpunkte der Schaltung, auch in Abhängigkeit der Fahrprofil. Überprüfen der Drehmomentminderung beim Gangwechsel
Durchführung	<ol style="list-style-type: none">1. Das Pedelec wird aufgebockt, so dass das Hinterrad freisteht2. Der Tester startet das Pedelec3. Über die Service-Schnittstelle wird eine Simulation von diversen Fahrten und möglichen Szenarien durchgeführt. Es werden nacheinander die Fahrprofile gewechselt. Diesbezüglich werden über die Serviceschnittstelle die Daten der Geschwindigkeit, der Trittfrequenz, des Drehmomentes und des Fahrprofils an das System übergeben.4. Der aus den übergebenen Werten resultierende Schaltvorgang wird mit den angegebenen Werten aus das Fahrprofil spezifischen Kennfeld verglichen. <p>Die Simulation erfolgt über einen externen Rechner, der über die Service-Schnittstelle des Pedelecs angeschlossen wird. Die Simulation kennzeichnet sich durch unterschiedliche Drehmomentanforderungen und Geschwindigkeitsänderungen, die die unterschiedlichsten Fahrsituationen simulieren, wie bspw. Bergan- und -abfahrten, Stadtverkehr sowie Landstraßen.</p>
Akzeptanzkriterien	<ol style="list-style-type: none">1. Die maximale Abweichung von im Kennfeld angegebenen Schaltpunktes des eingeleiteten Schaltvorgangs darf den Wert von 1% nicht überschreiten.
Anforderungsbezug	<ul style="list-style-type: none">- ID 19- ID 22- ID 26

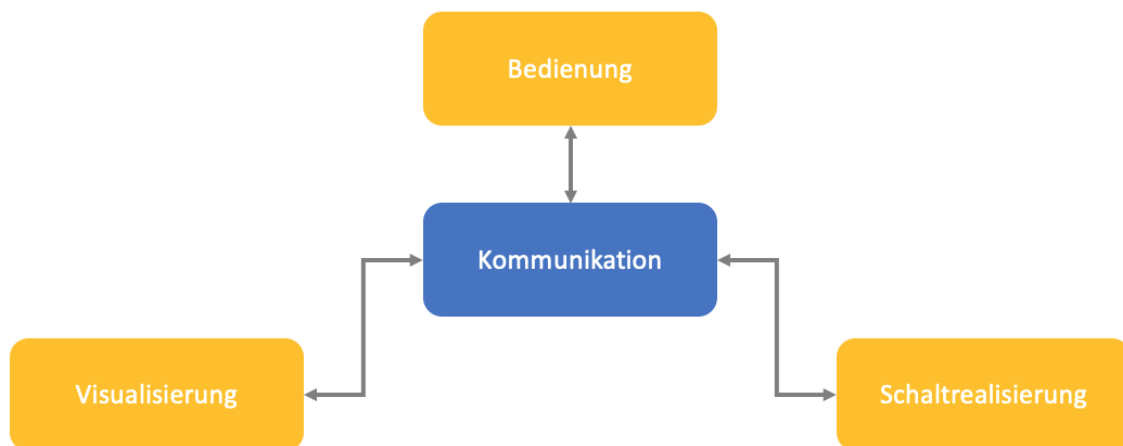
4.18 Testfall 18

Nummer	TF-18
Titel	Konformitätsprüfung
Status	Freigegeben
Ziel	Überprüfung auf Einhaltung aller Regularien und der ISO-Norm ISO7045.
Durchführung	1. Beauftragung von Institutionen, die zertifiziert sind, eine Überprüfung dieser Norm durchzuführen.
Akzeptanzkriterien	1. Alle gesetzlichen Bestimmungen müssen mit den Kriterien der Normen übereinstimmen.
Anforderungsbezug	- ID 31

5. Konzepte

Für die Erarbeitung verschiedener Lösungskonzepte wurde zunächst die aktuelle Ist-Situation analysiert. Die Durchführung der dafür vorgesehenen, systemorientierten Betrachtung führte zu dem Schluss, dass das System und dessen Wirkung im Umfeld des Pedelecs bereits ausführlich in den Anforderungen und den Systemgrenzen definiert wurde. Zusammenfassend ergibt sich die Erkenntnis, dass die eigentliche Wirkung des Systems auf die Beeinflussung des Ganges vom Pedelec abzielt. Die Einflussgrößen auf das System sind hierbei der Fahrer des Pedelecs, der durch seine Eingaben das Verhalten des Systems beeinflussen kann, Witterungsbedingungen, welche von außen auf das System einwirken und die Funktion und Integration des Systems im Umfeld des Pedelecs.

Auf Grund der Tatsache, dass die Beschreibung des Systems und die daraus resultierenden Anforderungen (z.B. die Anforderung an den Preis) bereits sehr konkret sind, ergibt sich eine im Folgenden gezeigte, grobe Architektur des Systems, welche sich als funktionelle Dekomposition darstellt:



Die gezeigte Architektur setzt sich aus den folgenden Komponenten zusammen:

- Bedienung
- Visualisierung
- Schaltrealisierung
- Kommunikation

Die Tatsache, dass es sich bei den Einzelkomponenten um bereits existierende Lösungen handelt, führt zu dem Vorgehen, eine Gesamtlösung aus der Kombination dieser zu generieren. Diese Vorgehensweise startet im Detail des Systems und gewährleistet eine gute Einschätzung der Realisierbarkeit, welche sich auf Grund des Zeitdrucks positiv ausdrückt.

Für die jeweiligen Einzelkomponenten werden im Folgenden einige Varianten ausgearbeitet. Die Konzepte der Einzelkomponenten werden in der Folge im Zuge einer morphologischen Analyse miteinander kombiniert und somit Varianten von Gesamtlösungen erzeugt. Zusätzlich zu dem gewählten Vorgehen wird sich auf die preislichen als auch die funktionalen Anforderungen konzentriert, um ein qualitativ hochwertiges, aber dennoch preislich wettbewerbsfähiges Gesamtprodukt zu erhalten.

5.1 Einzelkonzepte

Die Variantenbildung der einzelnen Komponenten ist im Zuge eines Brainstormings und Recherche geschehen. Die Funktion der einzelnen Komponenten als auch deren Varianten sind im Folgenden aufgeführt.

5.1.1 Bedienung

5.1.1.1 Taster

Zunächst werden Bedienkonzepte für die Bedienung der Schaltung betrachtet. Die Bedienung realisiert hierbei den manuellen Wechsel der Gänge und den Wechsel in den Automatik-Modus.

5.1.1.2 Zwei Schalthebel

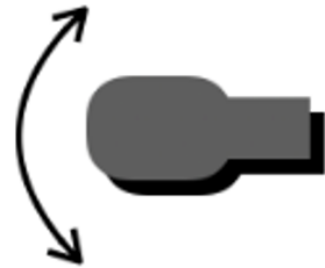
Als erstes Bedienkonzept werden Schalthebel verwendet. Es gibt jeweils einen Hebel zum Hoch- bzw. Herunterschalten. Bei der Betätigung



einer der Hebel wird in den manuellen Modus geschaltet. Über den Taster „Up“ wird in den nächsthöheren Gang geschaltet. Betätigt man den Taster „Down“, wird ein Gang heruntergeschaltet. Zum Umschalten in den Automatikmodus müssen beide Hebel gleichzeitig für eine Zeit von 2 Sekunden gezogen werden. Die Nachrichten der Taster werden bei Betätigung über eine Bluetooth-Schnittstelle an ein Kommunikationsmodul gesendet.

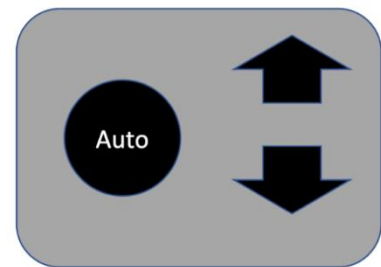
5.1.1.3 Ein Taster

Eine zweite Variante mit lediglich einem Taster funktioniert ähnlich zu dem Bedienkonzept mit zwei Schalthebeln. Wird der Taster nach oben gedrückt, schaltet das System einen Gang hoch. Äquivalent wird beim Herunterdrücken des Tasters ein Gang heruntergeschaltet. Bei der erwähnten, kurzzeitigen Betätigung schaltet das System in den manuellen Modus um. Wenn der Taster für 2s nach oben oder unten gedrückt wird, wechselt das System in den Automatik-Modus. Die Kommunikation geschieht über eine Bluetooth-Schnittstelle mit einem Kommunikationsmodul.



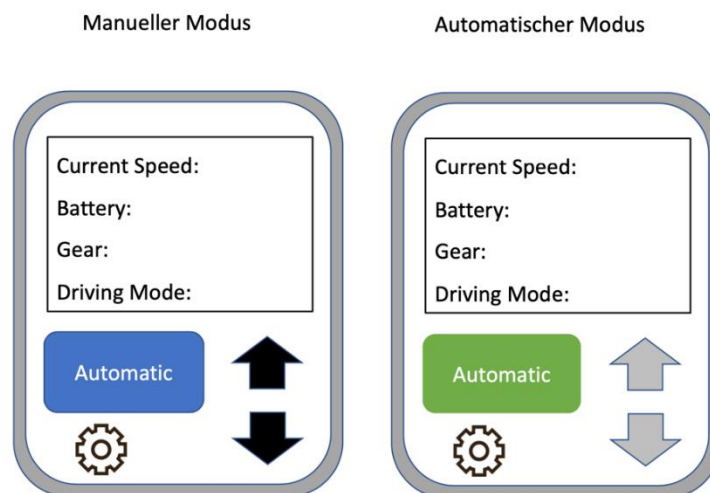
5.1.1.4 Bedienung mit 3 Tastern

Als eine dritte Variante wäre ein dreifacher Taster möglich. Über den dritten Taster wird der Automatikmodus eingeschaltet. Möchte man wieder in den manuellen Modus umschalten, ist lediglich das Betätigen einer der anderen beiden Taster („Up“ und „Down“) nötig. Über den Taster „Up“ wird in den nächsthöheren Gang geschaltet. Betätigt man den Taster „Down“, wird ein Gang heruntergeschaltet. Die Kommunikation geschieht über eine Bluetooth-Schnittstelle mit einem Kommunikationsmodul.



5.1.1.5 Keine Taster, Bedienung übers Display

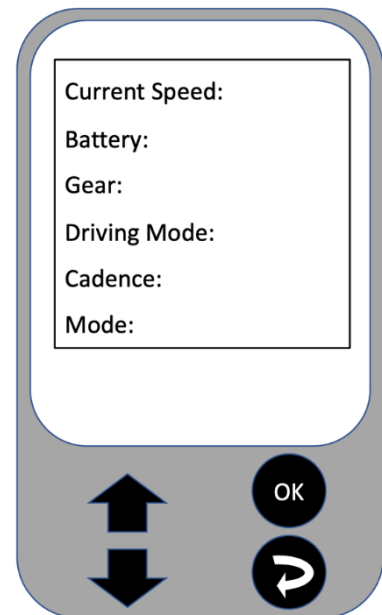
In einem letzten Bedienkonzept wird auf einen Wahlhebel gänzlich verzichtet. Hier erfolgt eine Auswahl des Modus allein über ein Display. Es stehen Schaltflächen auf dem Display bereit, die den automatischen bzw. manuellen Modus aktivieren. Beim Start des Pedelects steht der letzte ausgewählte Modus bereit. Es sind die drei vorhandenen Taster „Up“, „Down“ und „Automatic“ anwählbar. Wird der Taster „Up“ betätigt, wird ein Gang hochgeschaltet. Über den Taster „Down“ wird ein Gang heruntergeschaltet. Wird der Button „Automatic“ betätigt, stehen die Tasten „Up“ und „Down“ nicht mehr zur Verfügung und werden grau hinterlegt. Nun ist der Automatik-Modus aktiv. Wird der Button „Automatic“ nochmals betätigt, ist der manuelle Modus wieder aktiv und die Tasten „Up“ und „Down“ stehen wieder zur Verfügung. Sie sind somit auch nicht mehr ausgegraut. Die Nachrichten werden ebenfalls über Bluetooth an ein Kommunikationsmodul gesendet.



5.1.2 Visualisierung

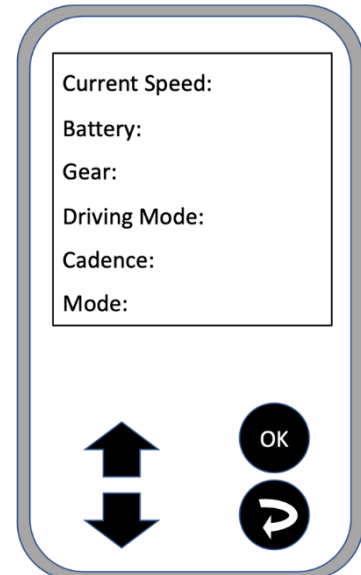
5.1.2.1 Ohne Touchscreen

Zur Darstellung der Informationen kann ein Display verwendet werden, das lediglich Daten ausgibt. Ausgegeben werden soll neben der Trittfrequenz (Cadence) die aktuelle Geschwindigkeit (Current Speed), der Batterieladezustand (Batterie), der gewählte Gang, der Betriebsmodus, als auch der aktuelle Fahrmodus (Driving Mode). Das Navigieren im Menü ist lediglich über vier darunter befindliche Buttons realisiert. Neben einen „Hoch“ bzw „Runter“- Button lassen sich noch die Buttons „Bestätigen“ und „Zurück“ finden. Mittels dieser Buttons kann durch die verschiedenen Untermenüs navigiert werden. Die Kommunikation geschieht über eine Bluetooth-Schnittstelle mit einem Kommunikationsmodul.



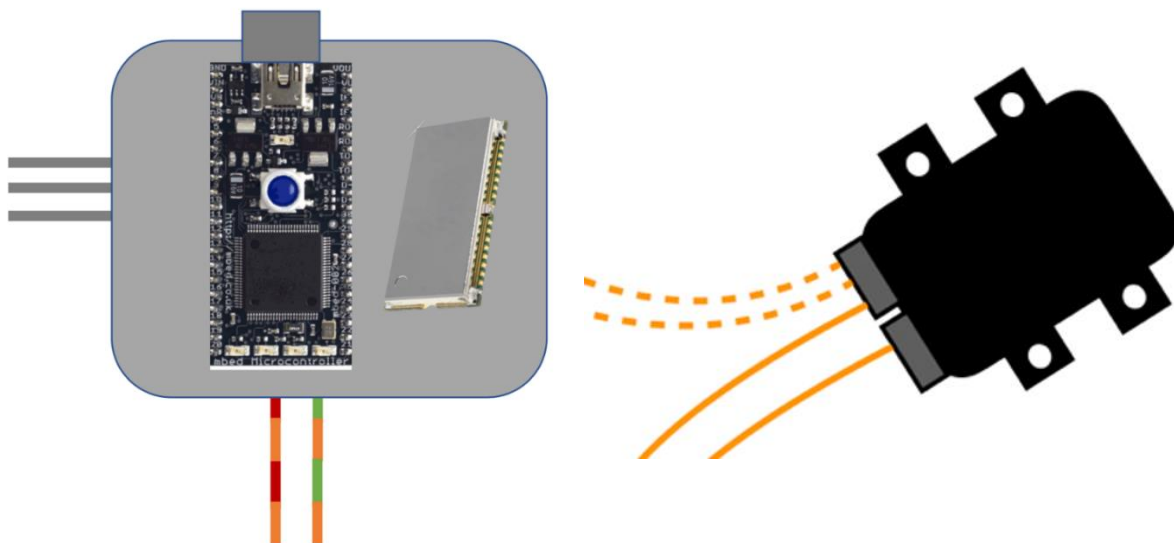
5.1.2.2 Mit Touchscreen

Zur Darstellung der Informationen kann ein Display verwendet werden, welches lediglich Daten ausgibt. Ausgegeben werden soll neben der Trittfrequenz (Cadence), die aktuelle Geschwindigkeit (Current Speed), der Batterieladezustand (Batterie), der gewählte Gang, der Betriebsmodus, als auch der aktuelle Fahrmodus (Driving Mode). Die zweite Variante stellt diese Navigationsfunktionen nicht als physische Buttons bereit, lässt den Benutzer über auf den Touchdisplay befindliche Buttons navigieren. Die Kommunikation geschieht über eine Bluetooth-Schnittstelle mit einem Kommunikationsmodul.



5.1.3 Kommunikationsmodul

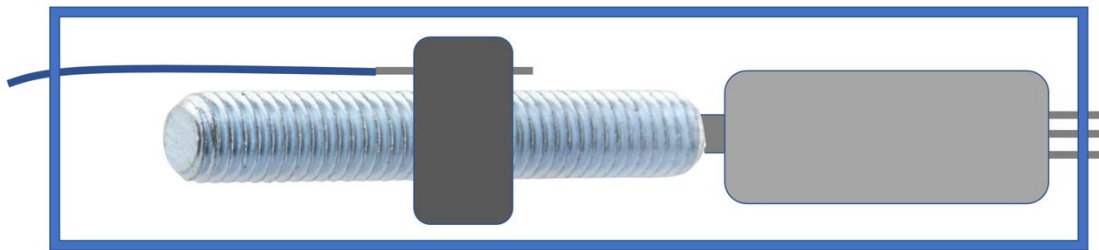
Das Kommunikationsmodul bildet die Schnittstelle zwischen dem Display, der Bedienung und dem eigentlichen Schaltmechanismus. Das Kommunikationsmodul besteht aus Kommunikationsbausteinen (CAN, Bluetooth), welche mit einer Steuereinheit verbunden sind. Das Kommunikationsmodul empfängt über Bluetooth die Daten, welche vom Display und der Bedienung gesendet werden. Zu empfangene Daten sind neben dem ausgewählten Fahrmodus auch der Betriebsmodus und weitere Informationen. Im Falle, dass der Betriebsmodus „Manuell“ ausgewählt ist, werden zusätzlich noch die Hoch- bzw. Herunterschaltbefehle empfangen. Je nachdem, welcher Fahrmodus ausgewählt wurde, stellt das Kommunikationsmodul das entsprechende Kennfeld bereit. Die Bluetooth-Kommunikation läuft in diesem Fall über den BTM-222 (<https://www.mikrocontroller.net/articles/BTM-222>). Die empfangenen Daten werden anschließend verarbeitet und entsprechend der Nachrichteninhalte agiert (Kennfeldanpassung bei Wechsel des Fahrmodus, Ansteuern des Aktors bei Gang-Wahl). Über die CAN-Verbindung werden dem Kommunikationsmodul die Trittfrequenz, die Geschwindigkeit und das anliegende Drehmoment zyklisch gesendet. Über interne Algorithmen, welche unter anderem die Kennfelder zur Berechnung des Ganges heranziehen, wird der entsprechend errechnete Gang an den Schaltmechanismus übergeben. Der Schaltmechanismus wird hierbei ebenfalls vom Kommunikationsmodul über Steuerleitungen bedient. Über eine Service-Schnittstelle, über die auch der Programmcode geflasht wird, können Informationen vom Bus abgegriffen werden.



5.1.4 Schaltrealisierung

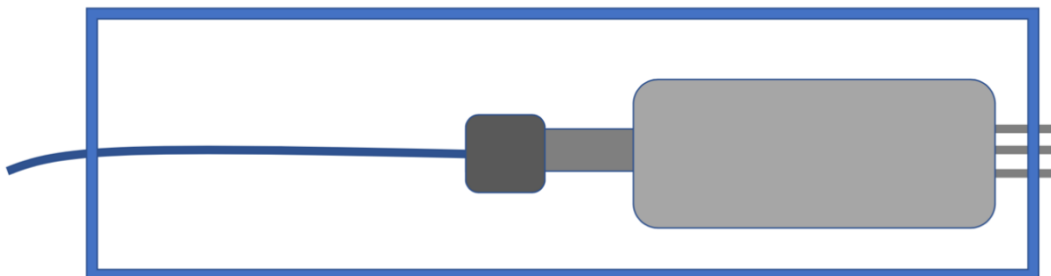
5.1.4.1 Elektromotor mit Gewindestange

Der erste Schaltmechanismus wird über einen Elektromotor realisiert. Dieser Motor ist an einer Schnecke befestigt und dreht diese in bzw. gegen den Uhrzeigersinn. Auf der Schnecke befindet sich ein einer Mutter ähnelndes Konstrukt. An diesem Konstrukt ist der Bowdenzug befestigt. Dieser Bowdenzug ist dann mit der Schaltung verbunden (Nabenschaltung bzw. Kettenschaltung). Je nachdem, in welche Richtung der Elektromotor bewegt wird, wandert das Konstrukt auf der Welle auf und ab. Diese Bewegung führt dazu, dass der Bowdenzug gespannt bzw. entlastet wird. Dies führt wiederum zu einem Gangwechsel am Schaltwerk. Die Ansteuerung erfolgt über das Kommunikationsmodul.



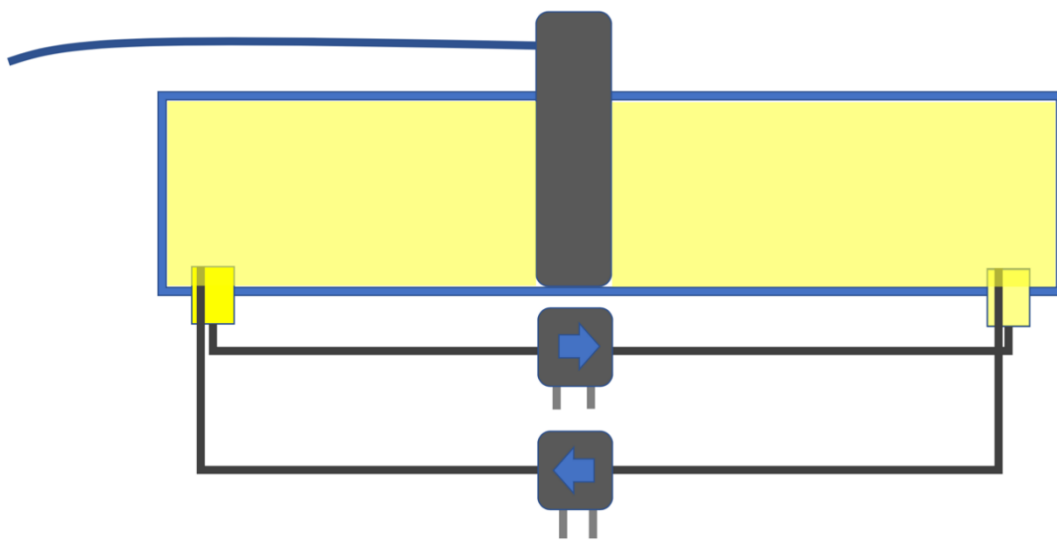
5.1.4.2 Linearmotor

Der zweite Schaltmechanismus wird über einen Linearmotor realisiert. Im Gegensatz zum Elektromotor wird keine Dreh-, sondern eine lineare Bewegung durch den Aktor ausgeführt, welche den Bowdenzug bewegen kann. In diesem Falle kann der Linearmotor direkt mit dem Bowdenzug verbunden werden, der dann die lineare Bewegung umsetzt und somit den Schaltvorgang realisiert. Die Ansteuerung erfolgt über das Kommunikationsmodul.



5.1.4.3 Hydraulik

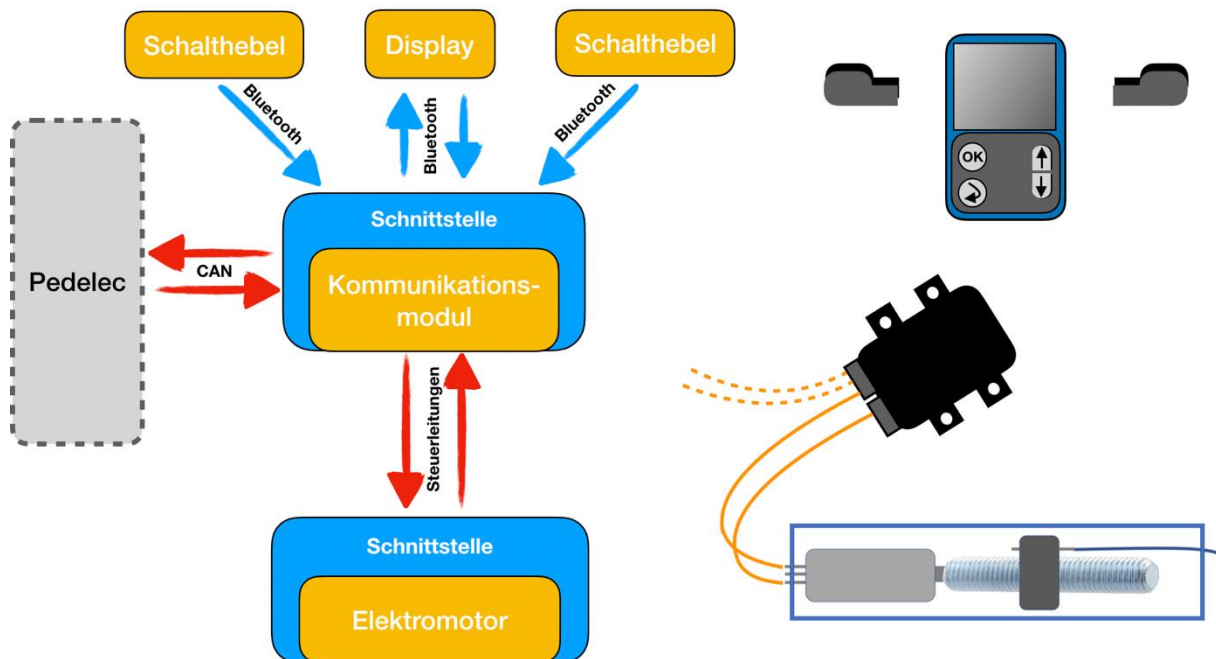
Die Umsetzung des Schaltvorgangs könnte zudem auch über eine Hydraulik erfolgen. Über zwei Magnetventile kann die Schaltung zwischen zwei getrennten Kammern Hydraulikflüssigkeit hin- und herbewegen. Diese Bewegung, welche auf Druck basiert, sorgt dafür, dass ein Bolzen nach rechts bzw. nach links verschoben wird. Dieser Bolzen ist mit dem Bowdenzug verbunden. Entsprechend der Bewegung des Bolzens kann der Bowdenzug somit in horizontaler Richtung bewegt werden. Die Ansteuerung erfolgt über das Kommunikationsmodul.



5.2 Gesamtkonzepte

5.2.1 Variante 1

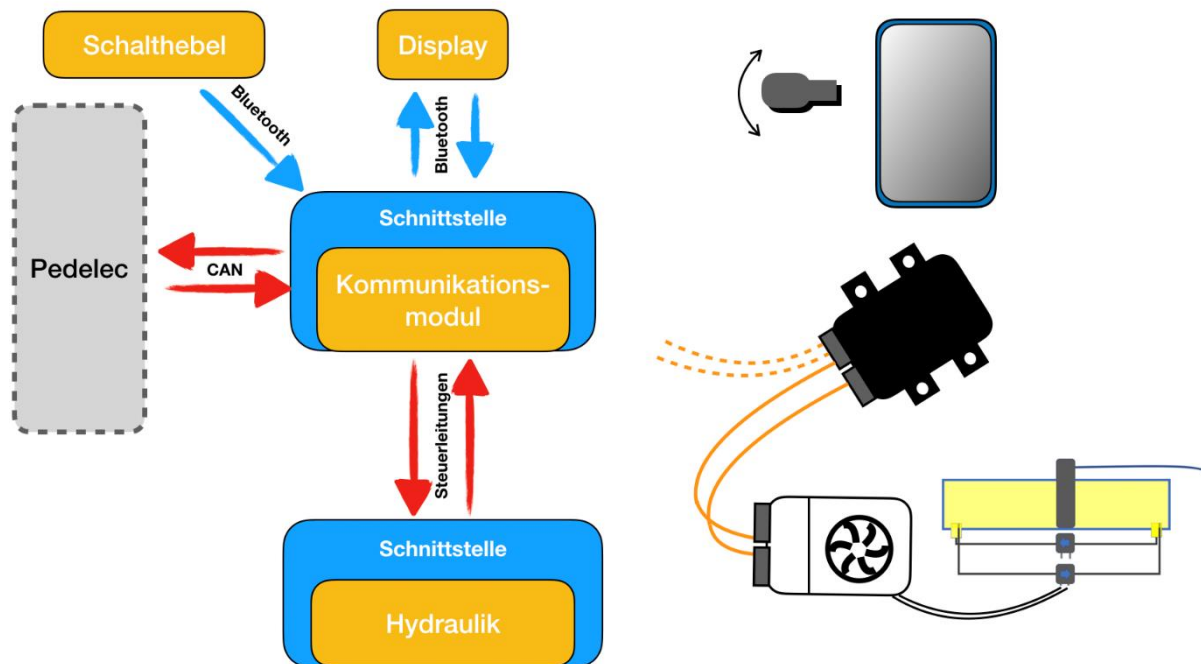
Zwei Schalthebel, Display mit Wahlknöpfen und Elektromotor.



Die automatische Gangschaltung besteht aus einem Elektromotor. Die Ansteuerung erfolgt über Steuerleitungen, welche die zentralen Informationen aus dem Kommunikationsmodul an die Schnittstelle transportiert. Der Elektromotor schafft es, Schaltwege bis zu 10 cm zu realisieren. Die Spannungsversorgung des Kommunikationsmodul und des Aktors erfolgt über das Bordnetz des Pedelects. Ein interaktives Display ermöglicht es dem Operator, manuell die Fahrmodi und weitere Einstellungen vorzunehmen. Durch ein auf dem Display befindliches Tastenfeld mit 4 Tastern kann sich der Operator problemlos durch das Menü bewegen. Über zwei Schalthebel kann der Operator manuell die Gänge wechseln. Der linke Schalthebel ermöglicht das Hochschalten, der rechte Schalthebel das Herabschalten. Werden beide Schalthebel gezogen, befindet sich das Pedelec im automatischen Schaltmodus bzw. wechselt in diesen. Wahlhebel und Display kommunizieren über Bluetooth mit dem Kommunikationsmodul.

5.2.2 Variante 2

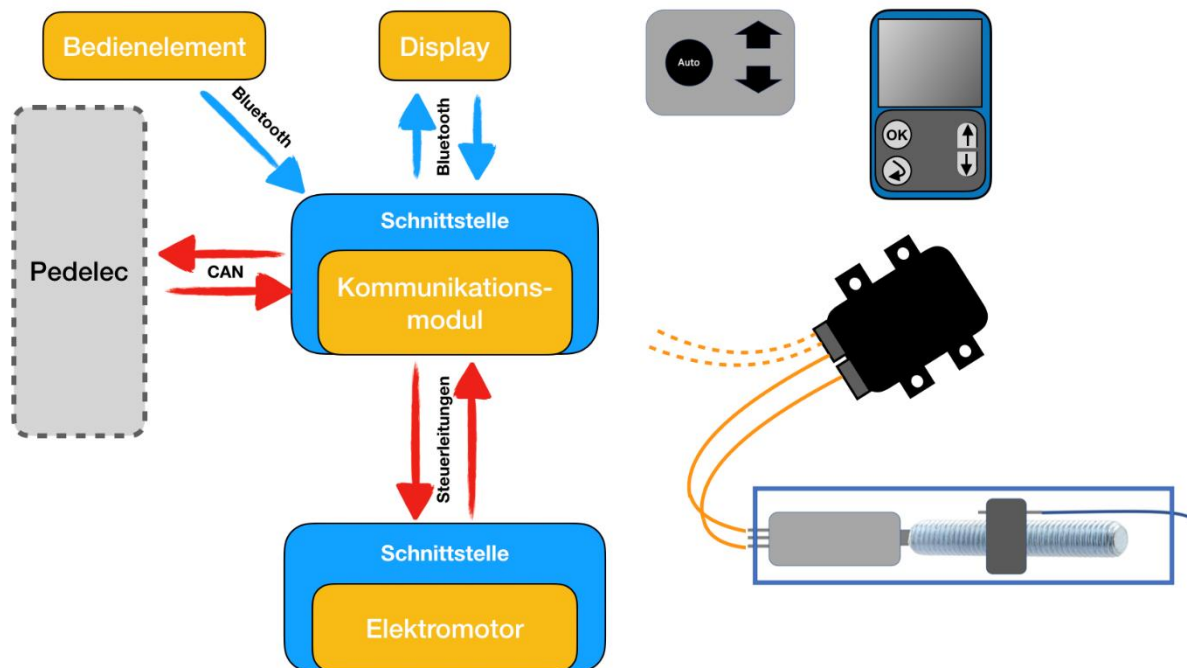
Ein Wahlhebel, Display mit integriertem Touchscreen und Hydraulikschaltung.



Die Schaltautomatik nutzt eine hydraulische Schaltwegverstellung. Dafür wird eine Hydraulikpumpe verwendet. Die Spannungsversorgung für die Pumpeneinheit und das zentrale Kommunikationsmodul erfolgt über das Pedelec. Die manuelle Ansteuerung der Schaltung erfolgt über einen Schalthebel, der aufwärts und abwärts betätigt werden kann, um manuell hoch- bzw. runterzuschalten. Über diesen Schalter wird ebenfalls der Wechsel zwischen dem manuellen und dem Automatik-Modus realisiert. Ein Display mit integriertem Touchscreen ermöglicht es dem Operator, sich durch die Untermenüs zu klicken. Schaltwege lassen sich beliebig konfigurieren, bis zu einem maximalen Schaltweg von 10 cm. Display und Schalthebel kommunizieren über Bluetooth mit dem Kommunikationsmodul.

5.2.3 Variante 3

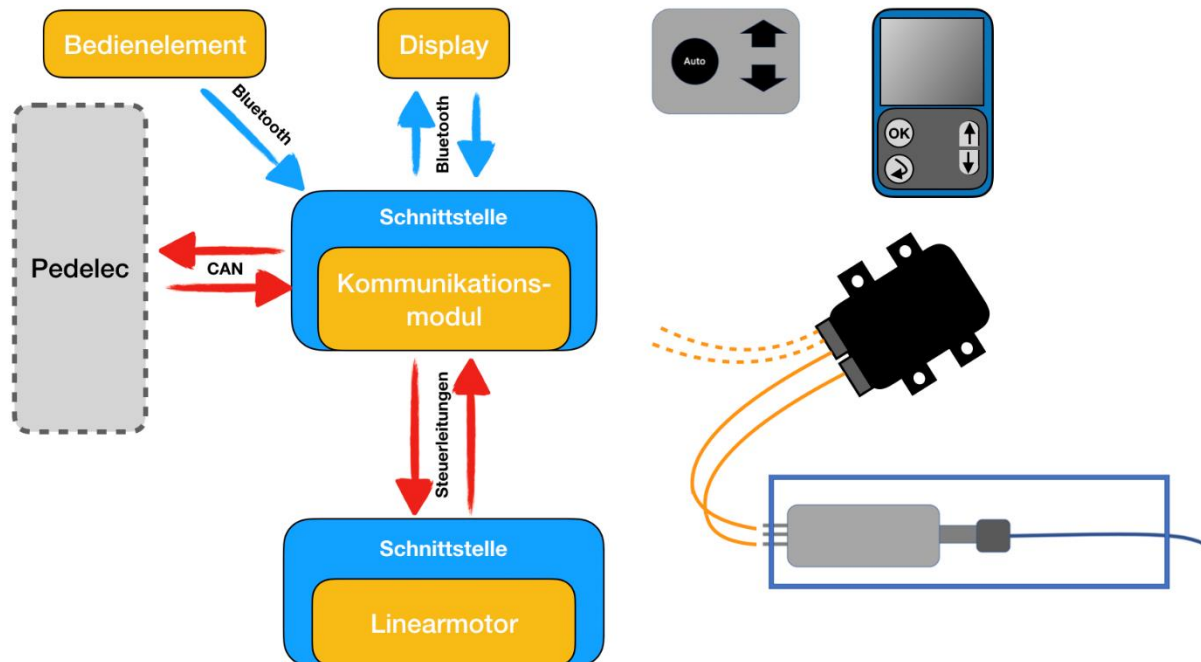
Ein Wahlhebel mit drei Tasten, Display mit Tasten zum Navigieren, Elektromotor.



Die automatische Gangschaltung besteht aus einem Elektromotor. Die Ansteuerung erfolgt über Steuerleitungen, welche die zentralen Informationen aus dem Kommunikationsmodul an die Schnittstelle transportiert. Der Elektromotor schafft es, Schaltwege bis zu 10 cm zu realisieren. Die Spannungsversorgung des Steuergeräts und des Aktors erfolgt über das Bordnetz des Pedelec. Ein interaktives Display ermöglicht es dem Operator, manuell die Fahrmodi und weitere Einstellungen vorzunehmen. Durch ein auf dem Display befindliches Tastenfeld mit 4 Tastern kann sich der Operator problemlos durch das Menü bewegen. Die manuelle Ansteuerung der Schaltung erfolgt über ein Bedienelement, welches sowohl links als auch rechts am Lenker befestigt werden kann. Das Hoch- bzw. Runterschalten erfolgt über sich auf dem Bedienelement befindliche Tasten. Neben den beiden Tasten zum Hoch- und Runterschalten existiert ebenfalls ein dritter Knopf zum Aktivieren der Automatik-Funktion der Gangschaltung. Display und Bedienelement kommunizieren über Bluetooth mit dem Kommunikationsmodul.

5.2.4 Variante 4

Ein Wahlhebel mit drei Tasten, Display mit Tasten zum Navigieren, Linearmotor.



Die automatische Gangschaltung besteht aus einem Linearmotor. Die Ansteuerung erfolgt über einen Steuerleitungen, welche die zentralen Informationen aus dem Kommunikationsmodul an die Schnittstelle transportiert. Der Linearmotor schafft es, Schaltwege von mindestens 10 cm zu realisieren. Die Spannungsversorgung des Steuergeräts und des Aktors erfolgt über das Bordnetz des Pedelegs. Ein interaktives Display ermöglicht es dem Operator, manuell die Fahrmodi und weitere Einstellungen vorzunehmen. Durch ein auf dem Display befindliches Tastenfeld mit 4 Tastern kann sich der Operator problemlos durch das Menü bewegen. Die manuelle Ansteuerung der Schaltung erfolgt über ein Bedienelement, welches sowohl links als auch rechts am Lenker befestigt werden kann. Das Hoch- bzw. Runterschalten erfolgt über sich auf dem Bedienelement befindliche Tasten. Neben den beiden Tasten zum Hoch- und Runterschalten existiert ebenfalls ein dritter Knopf zum Aktivieren der Automatik-Funktion der Gangschaltung. Display und Bedienelement kommunizieren über Bluetooth mit dem Kommunikationsmodul.

6. Konzeptauswahl

Oberkategorie	Gewichtung	Unterkategorie	Gewichtung	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Kosten	25	Material	8	7	5	8	8
		Produktion	8	6	4	8	9
		Entwicklungskosten	5	8	2	8	5
		Folgekosten	4	7	4	8	8
		Punktzahl in der Unterkategorie		172	98	200	193
Komfort	25	(Einhändige) Bedienung	10	4	6	9	9
		Lautstärke	5	6	2	6	8
		Schaltgeschwindigkeit	10	6	8	6	7
		Punktzahl in der Unterkategorie		130	150	180	200
Nutzung	20	Wartungsintensität	2	7	1	8	9
		Reparaturmöglichkeit	4	8	6	8	8
		Ausfallsicherheit	8	9	4	9	8
		Witterungsunabhängigkeit	6	9	6	9	9
		Punktzahl in der Unterkategorie		172	94	174	168
Einbau	10	Integrierfähigkeit	6	9	4	9	9
		Installation	4	7	3	8	9
		Punktzahl in der Unterkategorie		82	36	86	90
Technik	20	Energieverbrauch des Aktors	10	9	5	9	6
		Energieverbrauch der Bedienung	5	8	6	9	9
		Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	5	6	8	7	6
		Punktzahl in der Unterkategorie		160	120	170	135
Auswertung	Gesamtpunktzahl			716	498	810	786

Zur Auswahl des Konzeptes wurden zunächst die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale der konzipierten Varianten herausgestellt. Es ergaben sich mehrere Überkategorien, die sich aus den folgenden Merkmalen zusammensetzen:

- Kosten
- Komfort
- Nutzung
- Einbau
- Technik

Jede einzelne Oberkategorie wurde im Anschluss genauer spezifiziert und aufgeschlüsselt, so dass sich eine Reihe an Unterkategorien ergab. Eine Erläuterung der Unterkategorien soll zum allgemeinen Verständnis beitragen und die Eindeutigkeit jeder Kategorie manifestieren.

Kosten:

1. Materialien: Die benötigten Materialien zur Herstellung des Gesamtkonzeptes.
Aufschlüsselung aller Kosten der Materialien.
2. Produktion: Kostenaufschlüsselung der Herstellungsverfahren und Produktionstechniken, sowie der Abschreibung der Maschinen.
3. Entwicklungskosten: Prototypenbau, Testprozeduren, Gehälter der Entwickler,
 $\text{Entwicklungskosten} = \text{Gesamtkosten} - \text{Materialkosten} - \text{Produktionskosten}$.
4. Folgekosten: Wartungs- und Reparaturkosten abhängig von der Komplexität.

Komfort:

1. Einhändige Bedienung: Die Bedienung der Schaltung muss einhändig erfolgen, auch während der Fahrt.
2. Lautstärke: Lautstärke beim Schalten der Gänge mittels des jeweiligen Schaltkonzepts.
3. Schaltgeschwindigkeit: Geschwindigkeit zur Realisierung eines Ganges. Wie agil und schnell ist sie?

Nutzung:

1. Wartungsintensität: Häufigkeit und Komplexität (Aufwand) der Wartung.
2. Reparaturmöglichkeit: Komplexität der Reparatur, Möglichkeit Komponenten zu tauschen.
3. Ausfallsicherheit: Beständigkeit der Schaltung gegenüber Witterungsbedingungen und grober Bedienung.
4. Witterungsunabhängigkeit: Trotz sämtlicher Witterungsbedingungen und Temperaturen.

Einbau:

1. Integrierfähigkeit: Unauffällige Integration in ein bestehendes Pedelec (Optik).
2. Installation: Komplexität der Unterbringung und Montage der automatischen Schaltung im Pedelec.

Technik:

1. Energieverbrauch des Aktors: Benötigte Energie des Aktors (für einen Schaltvorgang).
2. Energieverbrauch der Bedienung: Durchschnittlich benötigte Energie des Displays zur Anzeige der zu visualisierenden Daten, sowie der Schalter zur Bedienung der automatischen Gangschaltung.
3. Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV): Beeinflussbarkeit der Schaltung durch die Elektronik des Pedelecs.

Im Anschluss wurden den einzelnen Oberkategorien verschiedene Gewichtungen zugewiesen, um die Bedeutsamkeit einzelner Kategorien in der Konzeptauswahl hervorzuheben. Als Basis wurde eine Punktzahl von 100 gewählt. Die Unterkategorien sind ebenfalls spezifisch und ungleich gewichtet. Der Erfolg der automatischen Gangschaltung ist nicht simultan von allen Unterkategorien im gleichen Maße abhängig, sodass eine Gewichtung auch in den Unterkategorien als sinnvoll erachtet wurde. Als Bepunktungsgrundlage wurde die Gewichtung der Oberkategorie verwendet.

Die Bewertung jeder Kategorie wurde im Anschluss mit einer Bewertungsskala von 1 bis 10 realisiert, wobei je höher die vergebene Punktzahl ist, umso besser ist die Variante in der Unterkategorie. Die Bedeutung wird in der folgenden Tabelle verdeutlicht.

Bedeutung	Punktzahl
Sehr gut	10
akzeptabel	5
Sehr schlecht	1

Entscheidung über die Gewichtung

In diesem Abschnitt wird die Entscheidung über die Vergabe der Gewichtungspunkte in den einzelnen Kategorien näher erläutert.

Kosten

Da das Unternehmen, welches das spätere System produzieren wird, wirtschaftlich handelt, machen die Kosten, welches das Produkt mit sich bringt einen großen Teil in der Entscheidungsfindung aus. Dementsprechend wird diese Kategorie mit 25% gewichtet. In den Unterkategorien stellen die Material- und Produktionskosten, jene dar, welche so lange existieren, wie das Produkt hergestellt und vertrieben wird. Aus diesem Grund erhalten sie eine solch hohe Gewichtung von jeweils 8%. Die Entwicklungskosten sind ebenfalls für das Unternehmen relevant, bestehen jedoch nur vor der Markteinführung des Produkts und werden somit mit 5% bewertet. Die Folgekosten hingegen betreffen weniger das Unternehmen als am Ende den Kunden. Trotzdem möchte sich dieses die Zufriedenheit ihrer Kunden sichern, weswegen die Unterkategorie Folgekosten mit 4% bewertet wird.

Komfort

Wie zuvor erwähnt ist die Kundenzufriedenheit dem Unternehmen neben der Wirtschaftlichkeit ebenfalls wichtig. Dementsprechend wird diese Kategorie mit 25% bewertet. Da ein Pedelec auch während der Fahrt ohne das System bereits einen gewissen Geräuschpegel, vor allem während der Schaltvorgänge, besitzt, ist dieser Punkt zwar wichtig, weswegen er auch bewertet wird, erhält jedoch nur eine Bewertungsgewichtung von 5%. Die

Bedienung und die Ansteuerung der Schaltung stellen in Sachen Komfort jedoch einen sehr wichtigen Punkt dar. Aus Grund diesem erhalten beide Unterkategorien jeweils eine Gewichtung von 10%.

Nutzung

Neben dem Komfort stellt die allgemeine Nutzbarkeit eines Produkts, einen weiteren Pfeiler in der Kundenzufriedenheit dar, wobei der Kunde in der Regel in diesem Punkt kulanter ist als beim Thema Komfort. Aus diesem Grund ist die Nutzung mit 20% bewertet. Da der Kunde sein Pedelec mit Automatikschaltung genauso nutzen können soll wie zuvor ohne, spielen vor allem Ausfallsicherheit und Witterungsunabhängigkeit eine sehr große Rolle, wobei die Ausfallsicherheit natürlich überwiegt. Somit wurden diese Unterkategorien mit 8% und 6% bewertet. Im eventuellen Schadens- oder Fehlerfall des Systems soll sich der Kunde jedoch auch nicht in Unkosten stürzen, beziehungsweise zur Konkurrenz wechseln. Aus diesem Grund spielt auch die Reparaturmöglichkeit eine gewisse Rolle und wird mit 4% gewichtet. Die Wartungsintensität der Automatikschaltung soll von der eigentlichen Wartungsintensität des Pedelecs nicht abweichen und mit dem jährlichen Service ebenfalls erledigt werden. Somit können hier bis zu 2% vergeben werden.

Einbau

Den dritten Pfeiler der Kundenzufriedenheit stellt die Optik und Einfachheit eines Produkts dar. Da diese Kategorie im Vergleich zu Komfort und Nutzung einen untergeordneten Punkt darstellt, wird der Einbau lediglich mit 10% bewertet. Hierbei stellt die unauffällige Integrierbarkeit der Automatikschaltung in das bestehende System eine größere Rolle als die eigentliche Installation. Aus diesem Grund wurden hier mehr Punkte vergeben und die Integrierfähigkeit wird mit 6% bewertet. Da die Installation einhergeht mit der Integrierfähigkeit muss diese ebenfalls bewertet werden und erhält 4%.

Technik

Ein wichtiger Punkt, welcher sich sowohl auf Wirtschaftlichkeit als auch auf Kundenzufriedenheit auswirkt ist die Technik eines Systems. Aus diesem Grund werden die übriggebliebenen 20% auf diese Kategorie aufgeteilt. Hierbei spielt vor allem der

Energieverbrauch des Gesamtsystems eine sehr große Rolle. Da der Aktor über die Batterie des Pedelects versorgt wird und sich somit auf die Reichweite auswirken kann, wird diese Unterkategorie entsprechend hoch mit 10% gewichtet. Die Versorgung des Displays erfolgt über eine externe Energiequelle, weswegen der Verbrauch dieses auch nicht zu verachten ist. Jedoch stellt hier der Aktor eine größere Relevanz dar, weswegen der Energieverbrauch des Displays nur mit 5% bewertet wird. Bei technischen Systemen wie dem hier gezeigten ist neben dem Energieverbrauch auch immer die elektromagnetische Verträglichkeit relevant. Da keines der gezeigten Konzepte bereits existiert, ist es nicht möglich auf gemessene, reale Werte zu referenzieren. Dies betrifft sowohl den Stromverbrauch als auch die elektromagnetische Verträglichkeit. Dementsprechend ergibt sich für diesen Punkt ebenfalls eine Bewertung von 5%.

Konzeptauswahl im Detail und Vergabe der Punkte

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die Vergabe der Punkte in den einzelnen Kategorien begründet ist und worauf sich diese zurückführen lässt.

Kosten

Materialkosten

Bei den Materialkosten unterscheiden sich die Konzepte 1, 3 und 4 nicht all zu sehr. Lediglich Konzept 1 erhält eine geringere Bepunktung, da die Bedienung zum manuellen Schalten aus zwei, und nicht wie in Konzept 3 und 4 aus einem Bauteil besteht. Konzept 2 hingegen ist aufgrund der Hydraulik-Schaltrealisierung verhältnismäßig schlecht bewertet.

Produktionskosten

Bezüglich der Produktionskosten schneidet Konzept 2 aufgrund der Hydraulik erneut am schwächsten ab. Weiterhin wird ein Touchscreen zur Bedienung verwendet, weswegen die Produktionskosten ebenfalls höher als bei den anderen Konzepten sind. Konzept 1 schneidet etwas schlechter ab als Konzept 3, da dieses schlichtweg mehr Bauteile besitzt und

dementsprechend die Produktionskosten höher ausfallen. Als Sieger aus dieser Partie geht Konzept 4 hervor, da hier ein Linearmotor verwendet wird, welcher bereits fertig geliefert werden kann, was ein mühsames Zusammensetzen wie bei den anderen Konzepten ausschließt.

Entwicklungskosten

Bei den Entwicklungskosten sind Konzept 1 und 3 genau gleich bewertet, da die Entwicklung eines Spindelsystems gut machbar erscheint. Bei einem Linearmotor hingegen ist sehr viel experimentelle Arbeit notwendig, was sich auf die Entwicklungskosten ausübt. Fernab davon begeben sich die Entwicklungskosten des zweiten Konzepts. Aufgrund der Hydrauliksteuerung, müssen neben funktionalen ebenfalls Tests bezüglich der Dichtigkeit und Sicherheit des Systems durchgeführt werden. Außerdem benötigt die Entwicklung einer Touchscreen-Bedienung ebenfalls mehr Kosten.

Folgekosten

Bei den Folgekosten wurde die Bewertung hauptsächlich nach den verbauten Verschleißteilen vorgenommen. In Konzept 1 sind zwei Schalthebel mit jeweils einer Batterie vorhanden. In den letzten drei Konzepten ist jeweils nur ein Hebel, beziehungsweise Bedienelement mit einer Batterie verbaut, weswegen die Kosten hier günstiger sind. In Konzept 2 kommt jedoch die Hydraulikflüssigkeit hinzu, welche regelmäßig gewechselt werden sollte. Bezüglich der Bedieneinheiten stellen Displays mit Knöpfen im Schadensfall eine einfachere Reparatur dar als Touchscreen-Displays. Hier muss in der Regel die gesamte Einheit gewechselt werden.

Komfort

(Einhändige) Bedienung

Konzept 1 stellt aufgrund der zwei verwendeten Schalthebel eine relativ schlechte Einhandbedienung dar. Anders sieht es bei Konzept 2 aus. Hier ist die Bedienung mit nur einer Hand ohne Probleme möglich. Jedoch stellt die „blinde“ Bedienung, vor allem während der Fahrt, bei einem Touchscreen-Display ein großes Problem dar. Diese in Konzept 1 und 2

auftretenden Probleme umgehen Konzept 3 und 4 mit einer Bedieneinheit und Knöpfen am Display.

Lautstärke

Bezüglich der Lautstärke fließt vor allem die Lautstärke des Aktors in die Bewertung ein. Da bei einer Hydraulikeinheit kontinuierlich Druck im System bestehen muss läuft, ebenfalls durchgängig, ein Kompressor, welcher störende Geräusche machen kann. Dementsprechend fällt auch die Bewertung für Konzept 2 in diesem Punkt aus. Eine Mutter, welche auf eine Spindel läuft, kann ebenfalls, je nach Verschleiß und Qualität der Bauteile, störende Geräusche machen. Somit ist Konzept 4, was diesen Punkt angeht der Gewinner, da ein Linearmotor zwar auch Geräusche macht, diese jedoch nur beim Schaltvorgang auftreten und relativ leise sind.

Schaltgeschwindigkeit

Vorweg muss gesagt sein, dass alle Konzepte, die in der Anforderung ID 41 geforderte Schaltgeschwindigkeit erreichen und einige diese sogar übersteigen. Wie beispielsweise Konzept 2. Auf Grund der verbauten Hydraulik sind enorm hohe Schaltgeschwindigkeiten zu realisieren. Vergleichbar ist dieses Konzept mit dem ABS im Auto. Etwas langsamer, aber trotzdem sehr schnell ist der in Konzept 4 verwendete Linearmotor. Hinter diesem liegen Konzept 1 und 3.

Nutzung

Wartungsintensität

Wie bereits in den Folgekosten erwähnt, muss die in Konzept 2 verwendete Hydraulikeinheit regelmäßig gewartet werden, was die schlechte Bewertung in diesem Punkt erklärt. Weiterhin kann der mechanische Schalthebel verschleifen und muss möglicherweise ebenfalls ausgewechselt werden. Dasselbe gilt für Konzept 1, wobei es sich hier sogar um zwei Hebel handelt. Bezüglich des Aktors muss vermutlich die verbaute Spindel nach langjähriger Benutzung ausgetauscht werden, was relativ aufwändig ist, aber für eine geübte Hand kein Problem darstellt. Gleiches gilt für den Aktor in Konzept 3. Der Linearmotor aus Konzept 4

hingegen kann, beziehungsweise muss in einem Stück gewechselt werden, was jedoch sehr selten vorkommt und sich somit positiv auf die Wartungsintensität auswirkt.

Reparaturmöglichkeit

Bezüglich der Reparaturmöglichkeiten stellen die Konzepte 1, 3 und 4 weniger Probleme dar, da alles gut erreichbar und ersetzbar ist. Konzept 2 hingegen stellt aufgrund der Hydraulik möglicherweise Probleme dar. Im Falle eines Fehlers im System ist dieser in der Regel nicht so leicht festzustellen wie in den anderen Konzepten. Weiterhin muss die Hydraulikflüssigkeit abgelassen werden und eine entsprechende Dichtigkeit nach der Reparatur wiederhergestellt werden.

Ausfallsicherheit

Alle Systeme sollten vor einem eventuellen Ausfall abgesichert sein. Kommt es dennoch zu solch einem, ist es wichtig, wie sich das System in diesem Fall verhält. Bei Konzept 1 und 3 verhindert der Spindelmechanismus bei Ausfall des Elektromotors ein Bewegen des Bowdenzugs und blockiert diesen. Anders sieht es bei Konzept 2 und 4 aus. Hier wird der Schaltmechanismus bei Ausfall des Systems vom Umwerfer des Pedels überstimmt und dementsprechend herausgezogen. Bei Konzept 2 kommt sogar möglicherweise der Aspekt eines Umweltvergehens bei auslaufender Hydraulikflüssigkeit mit ins Spiel. Diese ist hygroskopisch und wirkt somit für Organismen austrocknend.

Witterungsunabhängigkeit

Bezüglich der Witterungsunabhängigkeit schlagen sich alle Schaltungen aufgrund der vorgeschriebenen IP-Schutzklasse gut. Jedoch das in Konzept 2 verwendete Touch-Display stellt vor allem bei Regen ein Problem dar, da hier die Bedienung schwer oder gar nicht mehr ausüben ist.

Einbau

Integrierfähigkeit

Die Schaltungen aus den Konzepten 1, 3 und 4 lassen sich aufgrund der kompakten Größe gut in das vorhandene Pedelec integrieren, beispielsweise in das Sattelrohr. Das Konzept 2 hingegen stellt aufgrund der eher klobigen Bauform und den Hydraulikleitungen eine schwächere Integrierfähigkeit dar. Das System muss an dem Pedelec angebracht werden und ist sehr wahrscheinlich von außen zu sehen.

Installation

Die Installation des zweiten Konzepts ist aufgrund der Hydraulik und der damit vorausgesetzten Erfahrung im Einbau vermeidlich schwierig. Konzept 4 hingegen lässt sich aufgrund der sehr kompakten Bauweise relativ einfach installieren. Auf Konzept 1 und 3 trifft, trotz der etwas längeren Bauform als Konzept 4, ähnliches zu. Bei Konzept 1 stellen die doppelten Schalthebel eine kleine Einbuße in der Installationszeit dar, weswegen es hierbei einen Punkt Abzug gibt.

Technik

Energieverbrauch des Aktors

Aufgrund des in dem Punkt Lautstärke angesprochenen Fakts der kontinuierlichen Förderung der Hydraulikflüssigkeit, schneidet das Konzept 2 bezüglich des Energieverbrauchs des Aktors am schlechtesten ab. Einen zwar während des Schaltens hohen, aber ansonsten geringen Energieverbrauch stellt der in Konzept 4 verbaute Linearmotor dar. Dieser wird lediglich von den in Konzept 1 und 3 verwendeten Spindel-Mechanismus geschlagen.

Energieverbrauch der Bedienung

Bezüglich des Energieverbrauchs der Bedienung schneiden die Konzepte 1, 3 und 4 im Vergleich zu Konzept 2 relativ gut ab. Dies lässt sich auf die Verwendung eines Touchscreens

und den damit einhergehenden höheren Energieverbrauch erklären. Weiterhin benötigt der Schalthebel ebenfalls Energie. Von diesem existieren im ersten Konzept sogar zwei, was die Bewertung dieses erklärt. Den geringsten Energieverbrauch haben die Bedienungen von Konzept 3 und 4, da hier ein Schaltmodul und ein Display mit Knöpfen verwendet wird.

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

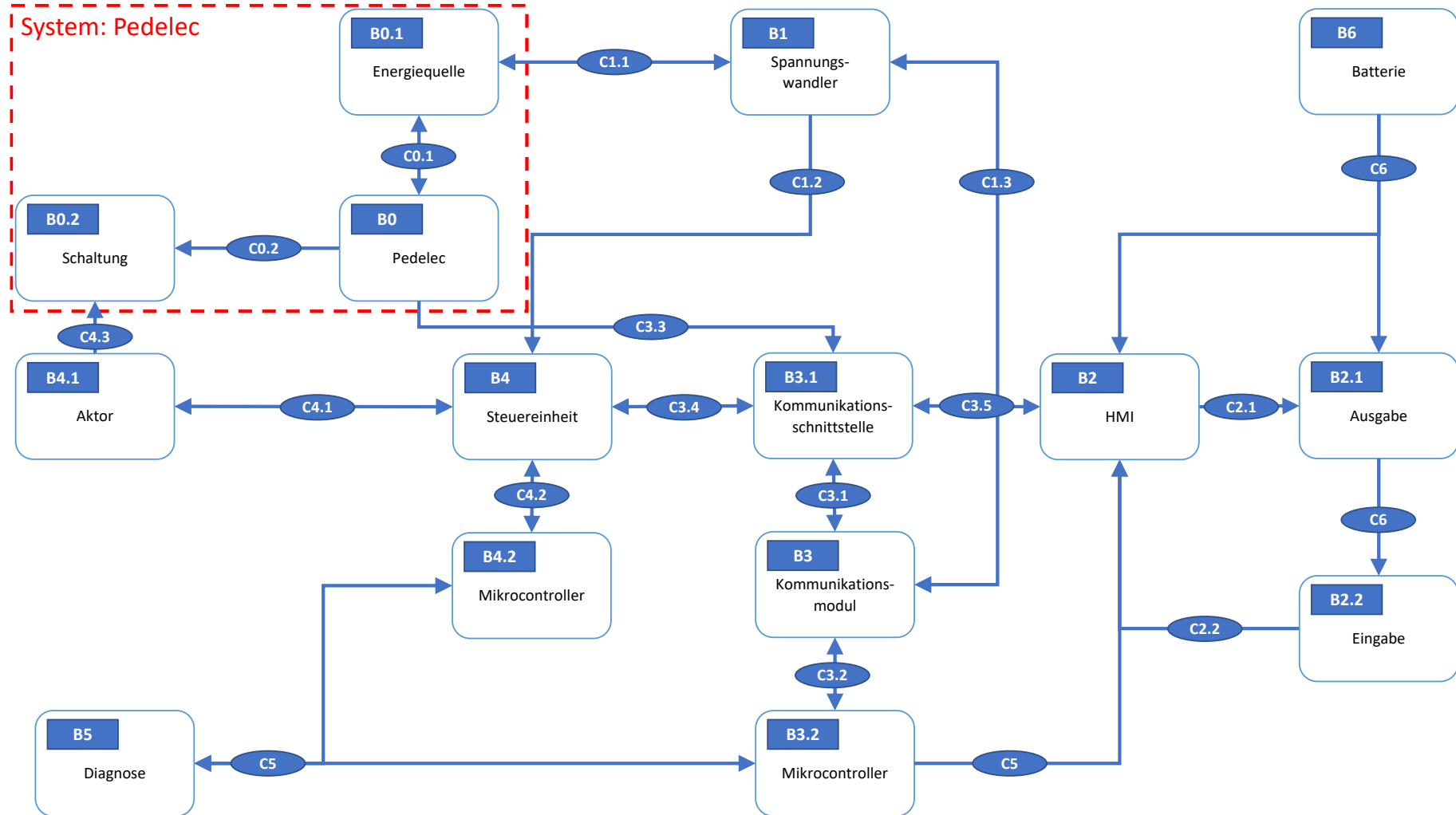
Aufgrund der kontinuierlichen, gleichmäßigen Rotation der Hydraulikpumpe, stellt sich das Konzept 2 als elektromagnetisch sehr verträglich heraus. Wohingegen der Spindelmotor aus Konzept 1 und 3 bereits anfälliger auf elektromagnetische Wellen ist. Hierbei stellt der zweite Schalthebel aus dem ersten Konzept eine weitere Einflussgröße auf die Verträglichkeit dar. Der Linearmotor ist von allen drei Ansteuerungsmöglichkeiten am anfälligsten.

Entscheidung

Aufgrund der oben genannten Auswertungen und Beurteilungen hat sich das Konzept 3 mit 810 von 1000 erreichbaren Punkten als Sieger der Konzeptauswahl herausgestellt.

7. Funktionale Systemarchitektur

7.1 Struktur



7.1.1 Bestandteile

B0	Pedelec		
B0.1	Energiequelle	<ul style="list-style-type: none"> - Bestandteil des Pedelecs - Beliefert Pedelec und Bestandteile der Automatikschaltung mit Energie 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 8 - ID 10 - ID 23
B0.2	Schaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Fester Bestandteil des Pedelecs - Schaltet Gänge des Pedelecs 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 5 - ID 6 - ID 7 - ID 11 - ID 21 - ID 22 - ID 26 - ID 30 - ID 38 - ID 39 - ID 40 - ID 41
B1	Spannungswandler	<ul style="list-style-type: none"> - Wandelt Spannung von 12-48V in Betriebsspannung für Automatikschaltung 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 10
B2	Human-Machine-Interface	<ul style="list-style-type: none"> - Schnittstelle zwischen Automatikschaltung und Mensch 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 12 - ID 13 - ID 15 - ID 16 - ID 17 - ID 18
B2.1	Ausgabe	<ul style="list-style-type: none"> - Bestandteil der HMI - Gibt Information zum aktuellen Gang, Geschwindigkeit und Trittfrequenz an 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 12 - ID 14 - ID 15 -
B2.2	Eingabe	<ul style="list-style-type: none"> - Gibt Eingaben des Bedieners an Automatikschaltung weiter - Eingabe zum Wählen des Fahrmodus, für manuelle Schaltung, zum Tätigen von Einstellungen 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 15 - ID 19 - ID 20 - ID 21 - ID 25
B3	Kommunikationsmodul	<ul style="list-style-type: none"> - Modul zur Kommunikation mit anderen Bestandteilen 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 1 - ID 2 - ID 3 - ID 4 - ID 6 - ID 36 - ID 37
B3.1	Kommunikationsschnittstelle	<ul style="list-style-type: none"> - Bestandteil des Kommunikationsmoduls - Schnittstelle zur Kommunikation zwischen Pedelec, Spannungswandler, HMI und Steuereinheit 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 23 - ID 24 - ID 36
B3.2	Mikrocontroller	<ul style="list-style-type: none"> - Bestandteil des Kommunikationsmoduls 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 1 - ID 2

		<ul style="list-style-type: none"> - Senden, Empfangen und Übersetzen von Nachrichten 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 3 - ID 4 - ID 6 - ID 12
B4	Steuereinheit	<ul style="list-style-type: none"> - Verarbeitet die Information des Kommunikationsmoduls 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 25 - ID 26
B4.1	Aktor	<ul style="list-style-type: none"> - Erhält Ansteuerungsinformationen von Steuereinheit - Mechanische Betätigung der Schaltung über eine Verbindung 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 7 - ID 11 - ID 22 - ID 27 - ID 35 - ID 40 - ID 41 -
B4.2	Mikrocontroller	<ul style="list-style-type: none"> - Steuert/Regelt die Ansteuerungsbefehle auf Aktor - Übersetzt die Nachrichten vom Kommunikationsmodul 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 11 - ID 21 - ID 22 - ID 23 - ID 24 - ID 26 - ID 38 - ID 39
B5	Diagnose	<ul style="list-style-type: none"> - Anschluss eines Diagnosegeräts an Mikrocontroller - Diagnosefunktion in HMI 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 36
B6	Batterie	<ul style="list-style-type: none"> - Spannungsversorgung für einzelne Komponenten 	<ul style="list-style-type: none"> - Konzept 5.1.1 - Konzept 5.1.2

7.1.2 Verbindungen

C0.1	Pedelec \rightleftharpoons Energiequelle	<ul style="list-style-type: none"> - Mechanisch - Elektronisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Energiequelle (Akku) ist mechanisch am Pedelec verbaut - Dient als Energieversorgung für Pedelec 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 10
C0.2	Pedelec \rightarrow Schaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Mechanisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Schaltung ist fest am Pedelec verbaut 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 30
C1.1	Spannungswandler \rightleftharpoons Energiequelle	<ul style="list-style-type: none"> - Elektronisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Energieversorgung und Spannungsregelung für Automatikschaltung - Abfrage der übrigbleibenden Energie (Akkustand) 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 10
C1.2	Spannungswandler \rightarrow Steuereinheit	<ul style="list-style-type: none"> - Elektronisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Energieversorgung für Steuereinheit 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 10 - ID 23 - ID 24

C1.3	Spannungswandler \rightleftharpoons Kommunikationsmodul	<ul style="list-style-type: none"> - Elektronisch - Signalleitung 	<ul style="list-style-type: none"> - Energieversorgung für Kommunikationsmodul - Informationen über aktuelle Spannung und Akkustand 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 8 - ID 10 - ID 23 - ID 24
C2.1	HMI \rightarrow Ausgabe	<ul style="list-style-type: none"> - Mechanisch - Elektronisch - Signalleitung 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausgabegerät fest in HMI integriert - Energieversorgung des Ausgabegeräts durch HMI - Übermitteln der Informationen an Bediener 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 12 - ID 13 - ID 14 - ID 15
C2.2	HMI \leftarrow Eingabe	<ul style="list-style-type: none"> - Signalleitung 	<ul style="list-style-type: none"> - Übermitteln der Eingabeinformationen des Benutzers an HMI 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 16 - ID 17 - ID 18 - ID 19 - ID 20 - ID 21 - ID 25
C3.1	Kommunikationsmodul \rightleftharpoons Kommunikationsschnittstelle	<ul style="list-style-type: none"> - Mechanisch - Elektronisch - Signalleitung 	<ul style="list-style-type: none"> - Kommunikationsschnittstelle fest in Kommunikationsmodul integriert - Spannungsversorgung der Kommunikationsschnittstelle durch Kommunikationsmodul - Übertragen von Informationen zwischen Kommunikationsschnittstelle und Mikrocontroller 	
C3.2	Kommunikationsmodul \rightleftharpoons Mikrocontroller	<ul style="list-style-type: none"> - Mechanisch - Elektronisch - Signalleitung 	<ul style="list-style-type: none"> - Mikrocontroller fest in Kommunikationsmodul integriert - Spannungsversorgung des Mikrocontrollers durch Kommunikationsmodul - Übertragen von Informationen zwischen Kommunikationsschnittstelle und Mikrocontroller 	
C3.1.1	Kommunikationsschnittstelle \leftarrow Pedelec	<ul style="list-style-type: none"> - CAN-Bus 	<ul style="list-style-type: none"> - Auslesen des CAN-Bus des Pedelecs zum Ermitteln der Geschwindigkeit, Trittfrequenz, Akkustand 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 1 - ID 2 - ID 3 - ID 4
C3.1.2	Kommunikationsschnittstelle \rightleftharpoons HMI	<ul style="list-style-type: none"> - Bluetooth 	<ul style="list-style-type: none"> - Übertragen der Anzuzeigenden Daten an HMI - Empfangen der Eingaben 	<ul style="list-style-type: none"> - ID 6

C3.1.3	Kommunikationsschnittstelle ⇔ Steuereinheit	- Signalleitung	- Senden der Ansteuerungsbefehle - Empfangen von Ansteuerungskräften und Fehlern	- ID 23 - ID 24
C4.1	Steuereinheit ⇔ Aktor	- Elektronisch	- Ansteuern des Aktors durch elektronische Signale - Messen des fließenden Stroms und daraus folgender Kraftberechnung	- ID 5 - ID 7 - ID 11 - ID 22 - ID 23 - ID 24 - ID 37 - ID 40 - ID 41
C4.1.1	Aktor → Schaltung	- Mechanisch durch Bowdenzug	- Betätigung der Schaltung durch Anziehen und Lösen eines angebundenen Bowdenzugs	- ID 5 - ID 7 - ID 11 - ID 22 - ID 23 - ID 24 - ID 25 - ID 35 - ID 37
C4.2	Steuereinheit ⇔ Mikrocontroller	- Mechanisch - Elektronisch - Signalleitung	- Mikrocontroller ist fest in Steuereinheit integriert - Energieversorgung des Mikrocontrollers durch Steuereinheit - Mikrocontroller berechnet Steuersignale für Steuereinheit	- ID 8 - ID 23 - ID 24 - ID 37
C5	Diagnose ⇔ Mikrocontroller/HMI	- USB - Integriert	- Anschluss von Computer mit Service-Software an USB-Schnittstelle des Mikrocontrollers - Diagnose/Service-Menü über HMI aufrufbar	- ID 36
C6	Batterie ⇔ HMI/Eingabe/Ausgabe	- Elektronisch	- HMI, Ein- und Ausgabe werden durch externe Energiequelle versorgt	- Konzept 5.1.2

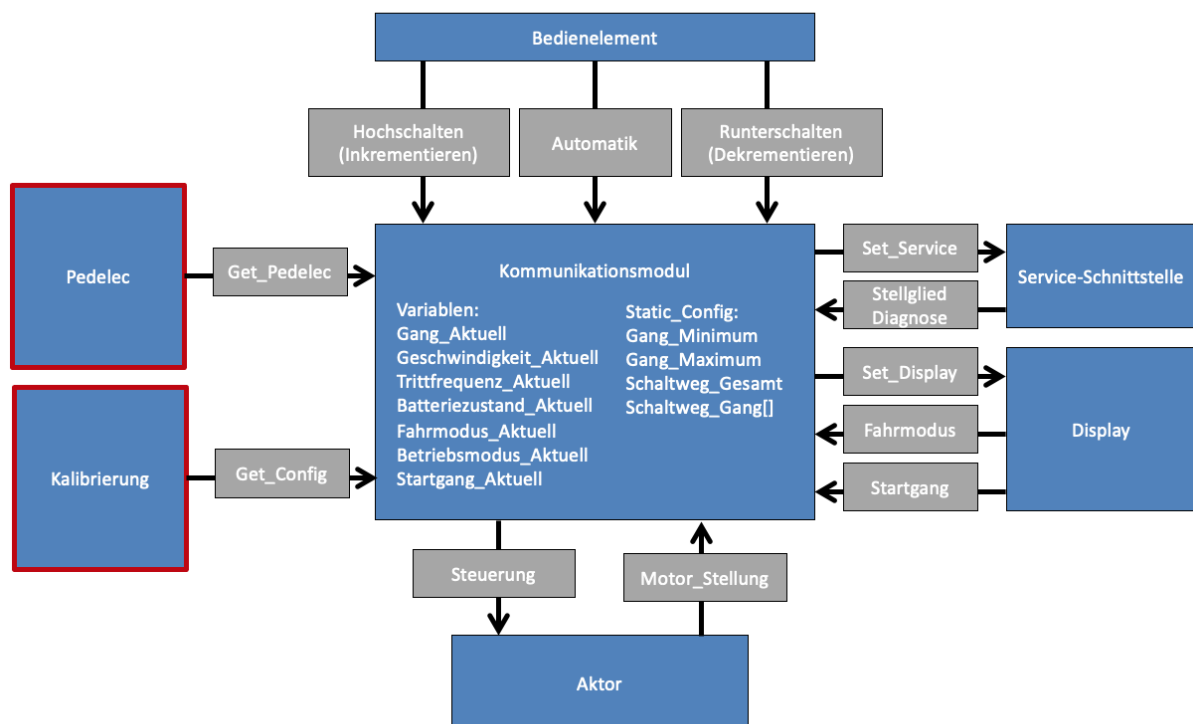
8. Dynamische Architektur

8.1 Verhalten

Siehe 8.2.

8.2 Zustände

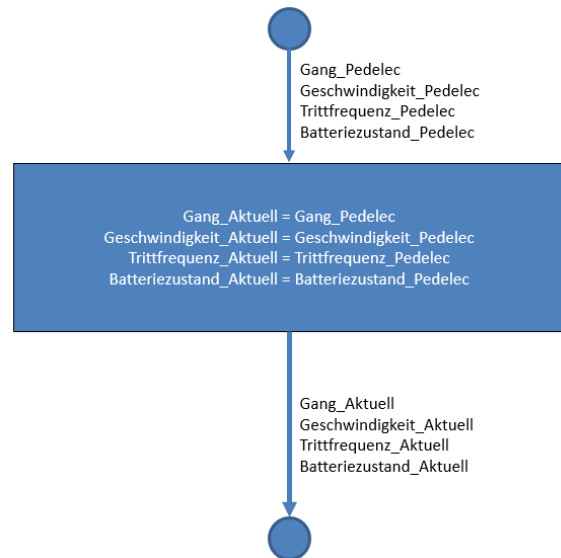
Im Folgenden wird ein Ausschnitt bzw. werden die wichtigsten Bestandteile der dynamischen Architektur gezeigt und erläutert. Die einzelnen Funktionen werden in Form von (Aktivitäts-) Diagrammen und einer Erläuterung näher spezifiziert. In der folgenden Abbildung ist eine Übersicht über die wichtigsten Funktionen und deren Interaktion mit den Hardwarekomponenten zu sehen.



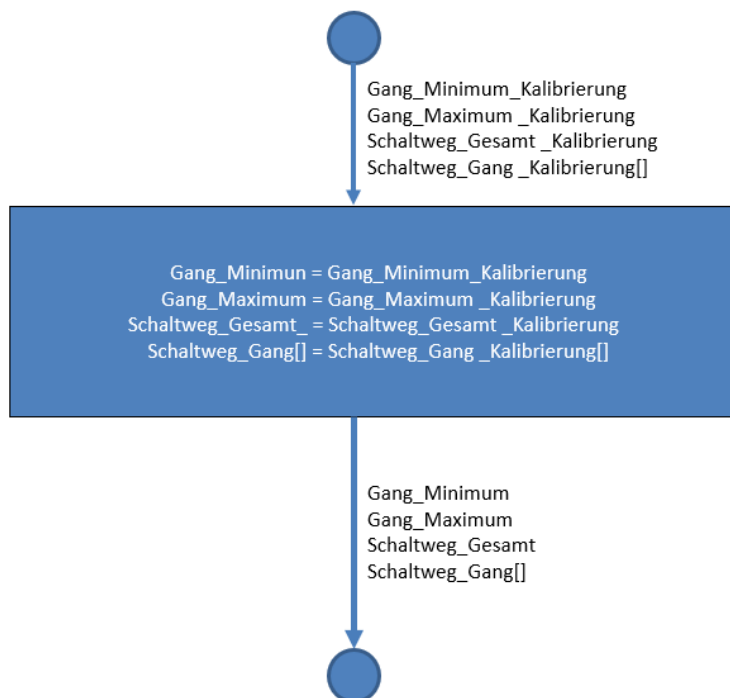
Das Kommunikationsmodul steht in Verbindung mit allen weiteren Komponenten des Systems. Zur Speicherung des Systemzustandes werden interne Variablen im Kommunikationsmodul verwendet.

Get_Pedelec-Funktion:

Die Get_Pedelec-Funktion wird zyklisch aufgerufen und greift die Systeminformationen des Pedelecs ab, welche über das Bussystem geliefert werden. Aktualisiert werden die Trittfrequenz, das Drehmoment, die Geschwindigkeit und der Batterieladezustand.

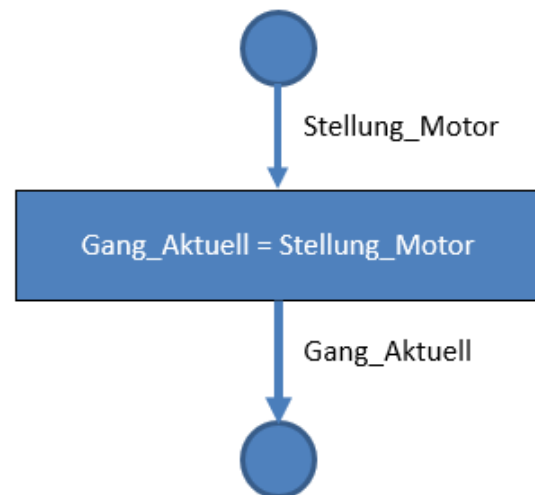
**Get_Config-Funktion:**

Die Get_Config-Funktion wird während der Kalibrierung aufgerufen und setzt die festen Parameter der Schaltung. Die Parameter sind hierbei der niedrigste, sowie der höchste Gang, die gesamte Schaltweglänge als auch die Schaltwege zwischen den einzelnen Gängen.

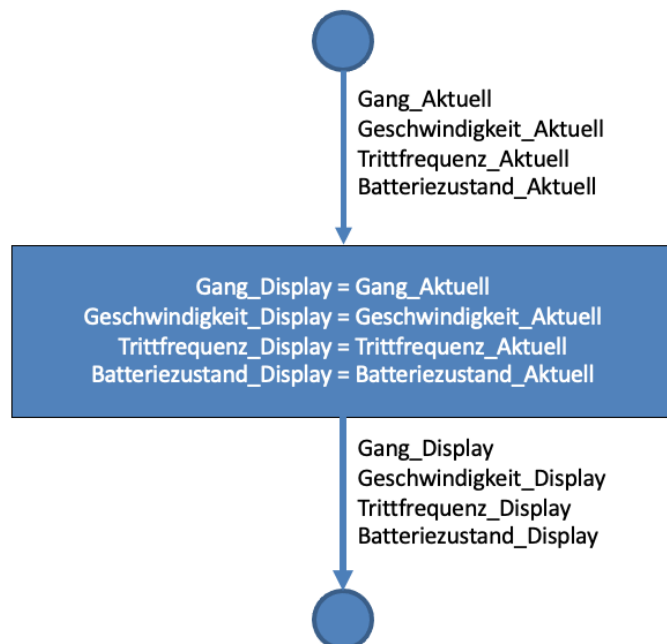


Motor_Stellung-Funktion:

Die Motor_Stellung-Funktion wird zyklisch aufgerufen und erhält die Positionsinformationen des Motors. Aus diesen Informationen kann das System durch die zuvor gesetzten Static_Config-Variablen den aktuellen Gang errechnen.

**Set_Display-Funktion:**

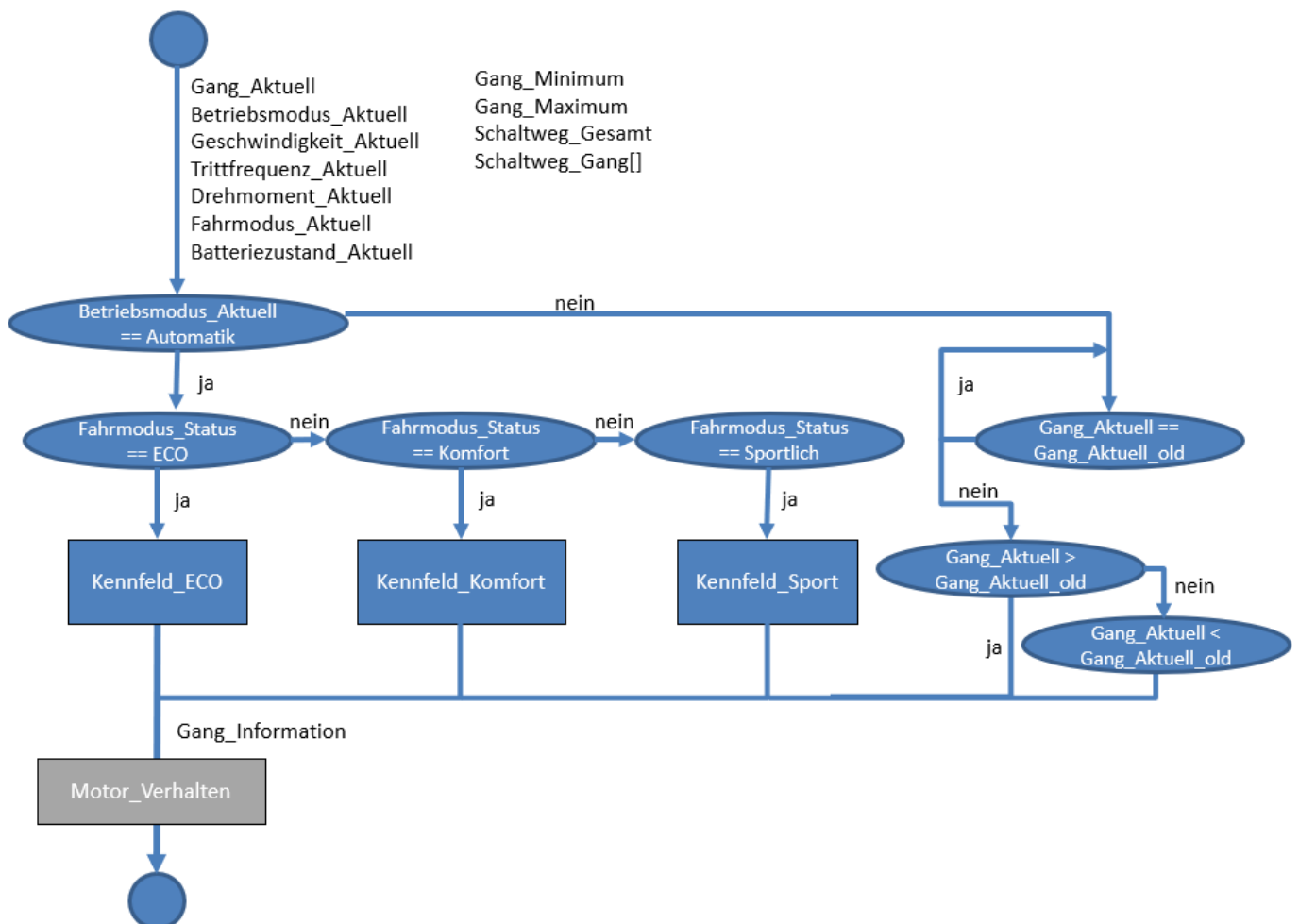
Die Set_Display-Funktion wird zyklisch aufgerufen und aktualisiert die Systeminformationen des Displays. Aktualisiert wird der aktuelle Gang, die Trittfrequenz, das Drehmoment, die Geschwindigkeit, der Batterieladezustand.



Steuerung-Funktion:

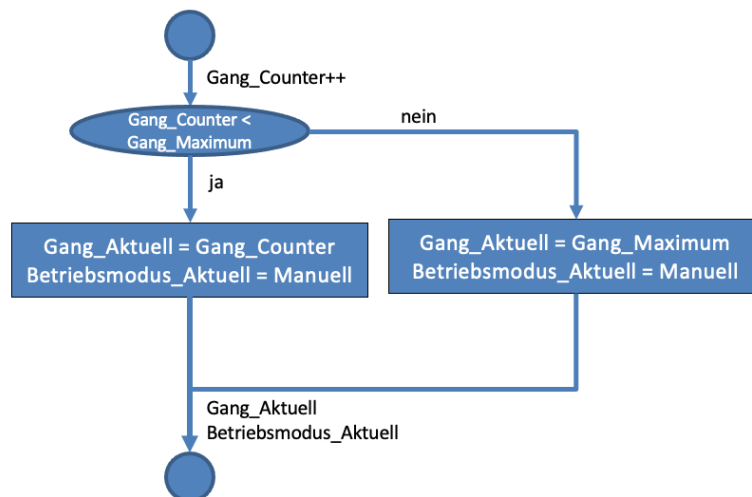
Die Steuerung-Funktion wird zyklisch aufgerufen. Zunächst wird der angeforderte Betriebsmodus überprüft. Im automatischen Betrieb wird das zum Fahrmodus gehörende Kennfeld herangezogen und entsprechend alle Parameter der automatischen Gang-Wahl berücksichtigt. In diesem Modus entscheidet der kennfeldbasierte Algorithmus, welcher Gang gewählt wird.

Im manuellen Modus, welcher die Wünsche des Nutzers direkt an die Schaltung weitergibt, wird anhand der internen Variablen überprüft, ob ein Gang gewechselt werden soll oder nicht. In beiden Fällen wird anschließend die Information des Ganges, welcher eingelegt sein/werden soll, an das Verhalten des Motors weitergegeben, welches den geforderten Gang realisiert.

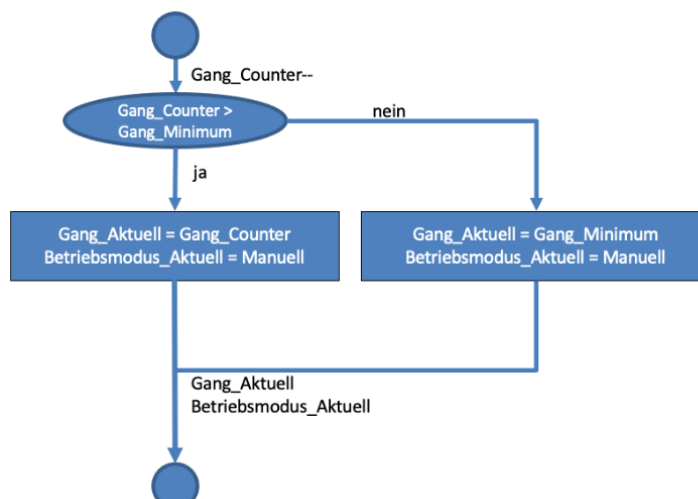


Hochschalten-Funktion:

Die Hochschalten-Funktion wird bei Betätigung des Bedienelements zum Hochschalten aufgerufen. Bei Aufruf wird über eine if-else-Anweisung überprüft, ob sich die Schaltung schon im maximalen Gang befindet oder nicht. Kann ein weiterer Gang hochgeschaltet werden, wird der Gang_Counter gleich dem neuen Gang gesetzt. Der Betriebsmodus wird jeweils auf Manuell gestellt.

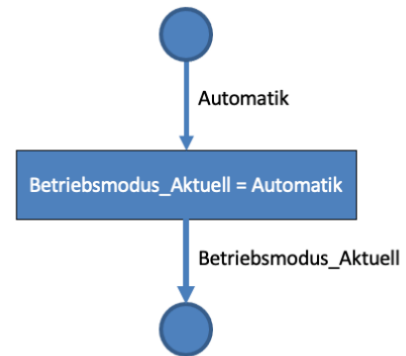
**Herunterschalten-Funktion:**

Die Herunterschalten-Funktion wird bei Betätigung des Bedienelements zum Herunterschalten aufgerufen. Bei Aufruf wird über eine if-else-Anweisung überprüft, ob sich die Schaltung schon im minimalen Gang befindet oder nicht. Kann ein weiterer Gang heruntergeschaltet werden, wird der Gang_Counter gleich dem neuen Gang gesetzt. Der Betriebsmodus wird jeweils auf Manuell gestellt.

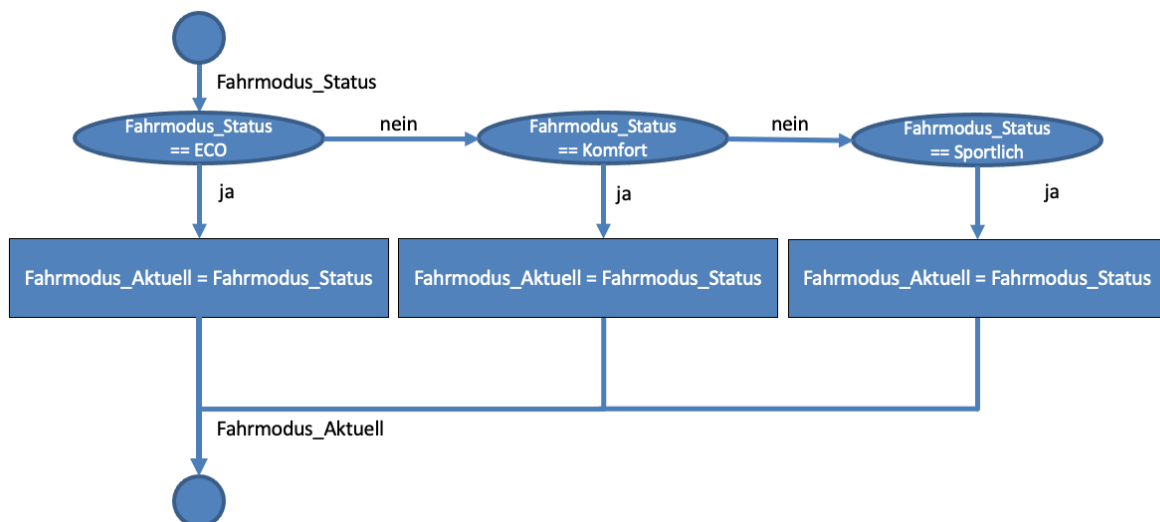


Automatik-Funktion:

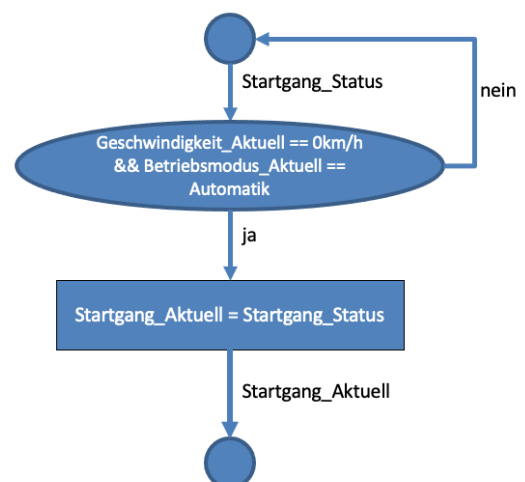
Die Automatik-Funktion wird bei Betätigung des Bedienelements „Auto“ aufgerufen. Bei Aufruf wird der Betriebsmodus auf Automatik umgestellt.

**Fahrmodus-Funktion:**

Die Fahrmodus-Funktion wird entweder bei der Auswahl eines neuen Fahrmodus durch den Nutzer oder einer expliziten Anfrage des Kommunikationsmoduls aufgerufen. Bei Aufruf wird über eine if-else-Anweisung überprüft, welcher der drei Fahrmodi eingelegt wurde. Dieser wird als neuer Fahrmodus ausgegeben bzw. übernommen.

**Startgang-Funktion:**

Die Startgang-Funktion wird lediglich aufgerufen, wenn eine Geschwindigkeit gleich 0 km/h vorherrscht und der Betriebsmodus auf Automatik steht. Der Aufruf erfolgt ereignisgesteuert bei der Wahl eines neuen Startgangs durch den Nutzer oder der expliziten Anfrage durch das Kommunikationsmodul. Der eingestellte Startgang wird anschließend als Ausgabewert übergeben und im Kommunikationsmodul gesetzt.

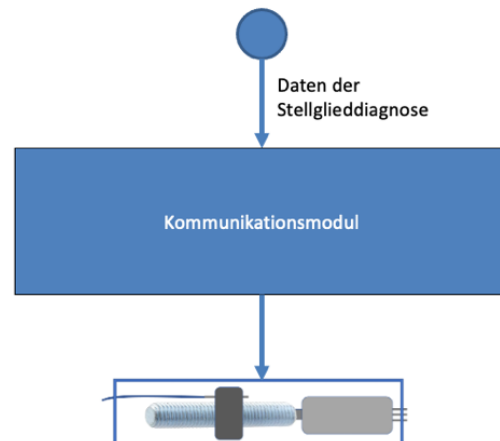


Set_Service-Funktion:

Diese Funktion wird aufgerufen, wenn das Kommunikationsmodul detektiert, dass an der Service-Schnittstelle ein Device zum Auslesen von Systeminformationen angeschlossen wurde. Es werden der aktuelle Gang, die Geschwindigkeit, die Trittfrequenz, der Batteriezustand, der Fahrmodus, der Betriebsmodus und der Startgang an das Device übermittelt.

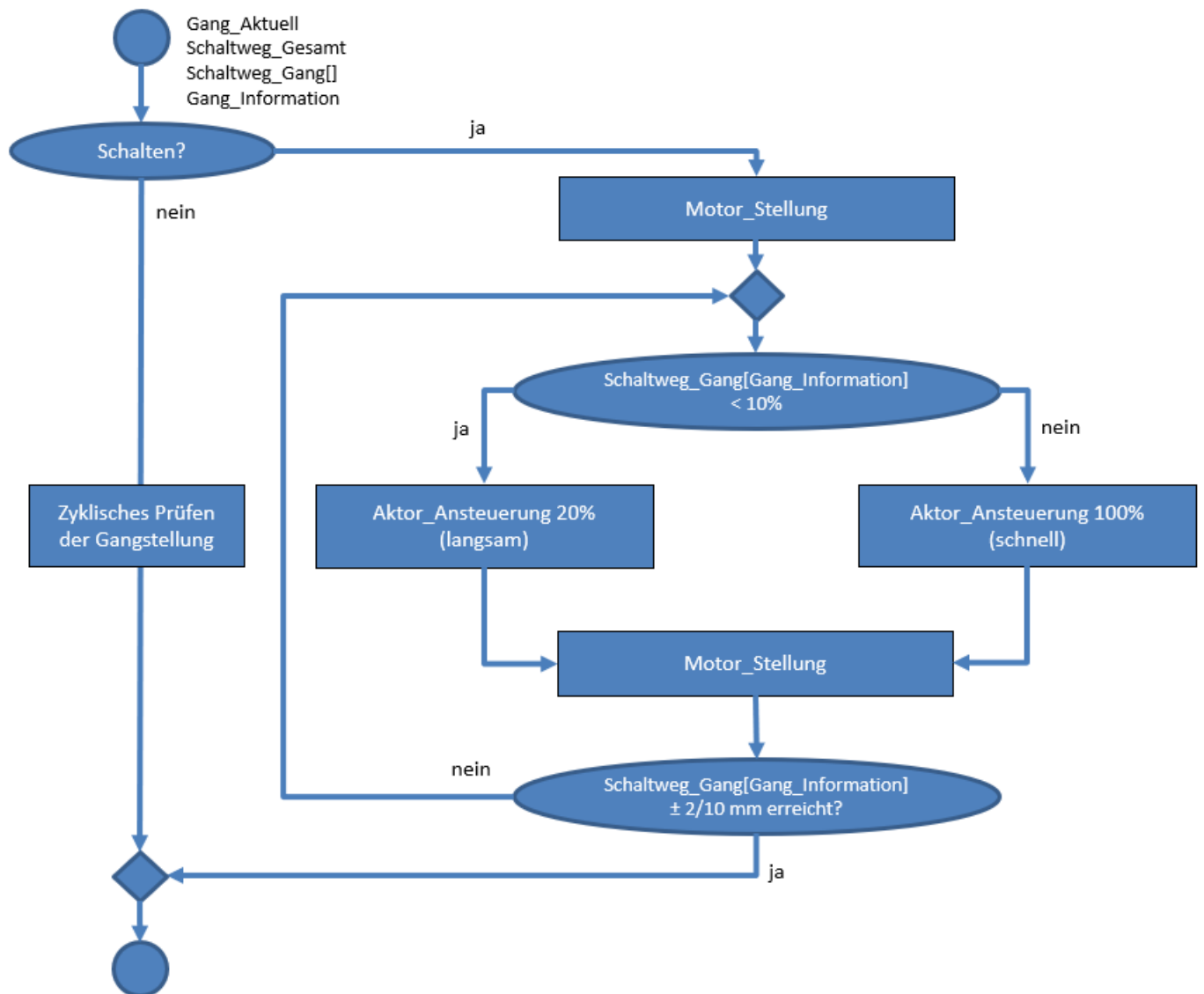
**Stellglied Diagnose:**

Wenn die Stellglieddiagnose aufgerufen wird, ermöglichen interne Prozesse, dass die Daten der Stellglieddiagnose die Aktoransteuerung direkt beeinflussen können. Die Steuerungsentscheidungen des Kommunikationsmoduls werden somit durch die Daten der Stellglieddiagnose überschrieben.



Motor_Verhalten-Funktion:

Die Motor_Verhalten-Funktion ist eine Unterfunktion der Steuerung und dient der Realisierung der Schaltvorgänge. Neben den für einen Schaltvorgang benötigten Informationen erhält die Funktion die Gang_Information, in welcher der von der Steuerung angeforderte Gang abgelegt ist. Zunächst entscheidet die Logik, ob ein Gangwechsel erforderlich ist. Falls dies der Falls ist, wird der Schaltvorgang realisiert. Hierzu wird die Stellung des Motors abgefragt, der Aktor angesteuert und die Ist-Position mit der Soll-Position verglichen. Falls die Ist-Position der Soll-Position mit einer Abweichung von $\pm 2/10$ mm entspricht, wird der Vorgang beendet. Zur Schonung der Schaltung und Vorspannung des Seilzuges, wird der Aktor auf den ersten 10% des Schaltweges nur mit $1/5$ der Leistung angesteuert. Auf den restlichen 90% des Schaltweges wird zur Realisierung schneller Schaltzeiten die volle Leistung abgerufen, ohne dabei die Schaltung zu beschädigen oder zu zerstören. Falls kein Gangwechsel vom System angefordert wird, erfolgt eine Überprüfung, ob der aktuell eingelegte Gang mit der benannten Toleranz weiterhin eingelegt ist. Im Falle einer Abweichung wird die Stellung des Aktors entsprechend beeinflusst. Somit erfolgt eine zyklische Überprüfung der Gangstellung. Das zu der Funktion zugehörige Diagramm befindet sich auf der nachfolgenden Seite.



9. Projektorganisation

9.1 Projektbeteiligte

Name, Vorname	Rolle	Verantwortung	Hintergrund- information	Verfügbarkeit	Kontaktdaten
	Entwickler				
	Entwickler				
	Entwickler				
	Entwickler				
	Entwickler				

9.2 Stakeholder - Information

Die Stakeholder werden an dieser Stelle zusammenfassend und in Ergänzung einiger Informationen aufgeführt.

Name, Vorname	Rolle	Verantwortung	Hintergrund-information	Verfügbarkeit	Kontaktdaten
Herr Kolbus	Auftraggeber (Pedelec- Hersteller)		<ul style="list-style-type: none">• Ist Auftraggeber des Systems		
	Hersteller		<ul style="list-style-type: none">• Gewinnorientierung• Einfache Herstellung		
	Entsorger		<ul style="list-style-type: none">• Entsorgungen können sehr teuer bzw. sogar verboten sein (Rohstoffe)		
	Fachwerkstätten		<ul style="list-style-type: none">• Sind für den Einbau und die Wartung des Pedelegs verantwortlich		
	Gesetzgeber		<ul style="list-style-type: none">• Gesetzliche Regelungen / Anforderungen zu Rohstoffen• Garantien und Gewährleistungen		
	Endnutzer		<ul style="list-style-type: none">• Möchte nicht mehr schalten• Einstellung eines Fahrkomforts		