

## Historie der Dokumentversionen

Version	Datum	Autor	Änderungsgrund / Bemerkungen
0.1	29.09.2021	Alle	Ersterstellung, Stakeholder und Use Cases
0.2	06.10.2021	Alle	Festlegung der Systemgrenzen und Anforderungen
0.3	14.10.2021	Alle	Verbesserungen der Anforderungen
0.4	21.10.2021	Alle	Formulierungen der Anforderungen und dessen Prioritäten wurden angepasst
0.5	27.10.2021	Alle	Aufstellung und Festlegung der Testfälle
0.6	28.10.2021	Alle	Dokumentation und Ausformulierung der Testfälle
0.7	04.11.2021	Alle	Verbesserung und Ergänzung der aufgestellten Testfälle
0.8	10.11.2021	Alle	Entwickeln der Gesamtkonzepte
0.9	11.11.2021	Alle	Erarbeiten und Dokumentieren der Gesamtkonzepte
1.0	18.11.2021	Alle	Ergänzung der Gesamtkonzeptvarianten und Erstellen einer gewichteten Bewertungsmatrix zur Konzeptauswahl
1.1	24.11.2021	Alle	Entwickeln der Dokumentationen bezgl. der gewichteten Bewertungsmatrix
1.2	25.11.2021	Alle	Dokumentation der Entscheidung für eine Konzeptvariante, Erstellen der logischen Systemarchitektur
1.3	30.11.2021	Alle	Erstellen der dynamischen Architektur
1.4	02.12.2021	Alle	Ergänzung der dynamischen Architektur und der Akzeptanzkriterien bei den Testfällen
1.5	08.12.2021	Alle	Korrekturlesen

# Inhaltsverzeichnis

Historie der Dokumentversionen.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	II
1. Einleitung .....	1
1.1 Zweck .....	1
1.2 Anwendungsbereich.....	1
1.3 Abkürzungen .....	1
2. Review-Vermerke und Meeting-Protokolle.....	2
2.1.1 1. Review am 29.09.2021 .....	2
2.1.2 2. Review am 06.10.2021 .....	2
2.1.3 3. Review am 14.10.2021 .....	2
2.1.4 4. Review am 21.10.2021 .....	3
2.1.5 5. Review am 27.10.2021 .....	3
2.1.6 6. Review am 28.10.2021 .....	3
2.1.7 7. Review am 04.11.2021 .....	4
2.1.8 8. Review am 10.11.2021 .....	4
2.1.9 9. Review am 11.11.2021 .....	4
2.1.10 10. Review am 18.11.2021.....	5
2.1.11 11. Review am 24.11.2021.....	5
2.1.12 12. Review am 25.11.2021.....	5
2.1.13 13. Review am 30.11.2021.....	6
2.1.14 14. Review am 02.12.2021.....	6
2.1.15 15. Review am 08.12.2021.....	6
3. Stakeholderanalyse .....	7
4. Anforderungsanalyse.....	10
4.1 Anwendungsfälle .....	10
4.2 Systemgrenzen.....	11
4.3 Anforderungen .....	15
4.3.1 Anforderung 1_1 .....	16
4.3.2 Anforderung 1_2 .....	17
4.3.3 Anforderung 1_3 .....	18
4.3.4 Anforderung 1_4 .....	19
4.3.5 Anforderung 1_5 .....	20
4.3.6 Anforderung 1_6 .....	21
4.3.7 Anforderung 1_7 .....	22
4.3.8 Anforderung 1_8 .....	23
4.3.9 Anforderung 1_9 .....	24
4.3.10 Anforderung 1_10 .....	25
4.3.11 Anforderung 2_1 .....	26
4.3.12 Anforderung 2_2 .....	27
4.3.13 Anforderung 2_3 .....	28
4.3.14 Anforderung 3_1 .....	29
4.3.15 Anforderung 3_2 .....	30
4.3.16 Anforderung 3_3 .....	31
4.3.17 Anforderung 4_1 .....	32
4.3.18 Anforderung 4_2 .....	33
4.3.19 Anforderung 4_3 .....	34
4.3.20 Anforderung 4_4 .....	35
4.3.21 Anforderung 4_5 .....	36

4.3.22	Anforderung 5_1 .....	37
4.3.23	Anforderung 5_2 .....	38
4.3.24	Anforderung 5_3 .....	39
4.3.25	Anforderung 5_4 .....	40
4.3.26	Anforderung 5_5 .....	41
4.3.27	Anforderung 5_6 .....	42
4.3.28	Anforderung 5_7 .....	43
4.3.29	Anforderung 5_8 .....	44
4.3.30	Anforderung 6_1 .....	45
4.3.31	Anforderung 6_2 .....	46
4.3.32	Anforderung 6_3 .....	47
4.3.33	Anforderung 6_4 .....	48
4.3.34	Anforderung 6_5 .....	49
5.	Testfälle .....	50
5.1	Testfall 01 .....	50
5.2	Testfall 02 .....	50
5.3	Testfall 03 .....	51
5.4	Testfall 04 .....	52
5.5	Testfall 05 .....	54
5.6	Testfall 06 .....	55
5.7	Testfall 07 .....	56
5.8	Testfall 08 .....	57
5.9	Testfall 09 .....	59
5.10	Testfall 10 .....	60
5.11	Testfall 11 .....	61
5.12	Testfall 12 .....	61
5.13	Testfall 13 .....	62
5.14	Testfall 14 .....	62
5.15	Testfall 15 .....	63
5.16	Testfall 16 .....	64
5.17	Testfall 17 .....	65
5.18	Testfall 18 .....	66
5.19	Testfall 19 .....	67
5.20	Testfall 20 .....	67
6.	Konzepte .....	69
6.1	Variante 1: Elektromechanische Feder-Dämpfer-Einheit .....	69
6.2	Variante 2: Elektromechanischer Stabilisator .....	70
6.3	Variante 3: Hydraulischer Stabilisator .....	71
6.4	Variante 4: Luftfahrwerk .....	72
7.	Konzeptauswahl .....	74
7.1	Entscheidung über die Gewichtung .....	77
7.2	Konzeptauswahl im Detail und Vergabe der Punkte .....	80
7.2.1	Kosten .....	80
7.2.2	Komfort .....	81
7.2.3	Technik .....	83
7.2.4	Nutzung .....	84
7.2.5	Einbau .....	86
8.	Logische Systemarchitektur .....	88
8.1	Bestandteile .....	89
8.2	Verbindungen .....	93

9.	Dynamische Architektur .....	95
10.	Quellen .....	105
10.1	Abbildung 1 Quelle .....	105
10.2	Quellen zu Funktion und Bildern Variante 1 .....	105
10.3	Quellen zu Funktion und Bildern Variante 2 .....	105
10.4	Quellen zu Funktion und Bildern Variante 3 .....	105
10.5	Quellen zu Funktion und Bildern Variante 4 .....	105

# **1. Einleitung**

## **1.1 Zweck**

Dieses Lastenheft beschreibt die Gesamtheit der Anforderungen an ein System zur aktiven Kontrolle der Wankbewegung eines Fahrzeuges. Genauer bedeutet dies, dass mittels dieses Systems sowohl die Seitenneigung eines Fahrzeuges möglichst gering ausfallen soll, als auch einseitige Anregungen möglichst von der Fahrgastzelle entkoppelt werden.

Fährt ein Pkw mit diesem System in eine Kurve oder über Unebenheiten soll eine hohe Stabilität gewährleistet werden. Es wird ein Fahrwerk, welches in den entsprechenden Situationen nachgiebig ist, benötigt.

## **1.2 Anwendungsbereich**

Dieses System ist ausschließlich für den Einbau in neu konstruierte Fahrzeuge vorgesehen. Diese Fahrzeuge dürfen von dem Kleinstwagensektor bis zur Mittelklasse angehören.

Sowohl die Energieversorgung als auch der Leistungsbedarf sind mit 48V Bordnetzspannung und 1,5 kW begrenzt.

## **1.3 Abkürzungen**

AF - Anwendungsfall

REQ - Anforderung

SH – Stakeholder

TF - Testfall

## 2. Review-Vermerke und Meeting-Protokolle

### 2.1.1 1. Review am 29.09.2021

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Allgemeine Aufgabenstellung, stichpunktartige Notizen der Stakeholder und Use Cases
Aufgaben bis zum nächsten Review	Dokumentation der Stakeholderanalyse (Frederik), Dokumentation der Use Cases (Philine)

### 2.1.2 2. Review am 06.10.2021

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Besprechung der Stakeholderanalyse und Use Cases, stichpunktartige Festlegung der Systemgrenzen und Anforderungen
Aufgaben bis zum nächsten Review	Dokumentation der Systemgrenzen (Luisa), Aufstellung der Anforderungen 1_1, 1_2, 1_7, 5_1-5_3, 5_7-6_3, 6_5 (Markus), Aufstellung der Anforderungen 1_3, 1_8-1_10, 4_3-4_5, 5_4 (Philine), Aufstellung der Anforderungen 1_4, 1_5, 4_1, 4_2, 5_5, 5_6, 6_4 (Luisa), Aufstellung der Anforderungen 1_6, 2_1-3_3 (Frederik)

### 2.1.3 3. Review am 14.10.2021

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Besprechung der Systemgrenzen und aufgestellten Anforderungen, Verbesserungsvorschläge bezüglich der Anforderungen wurden notiert
Aufgaben bis zum nächsten Review	Überarbeitung der Anforderungen 1_1, 1_2, 1_7, 5_1-5_3, 5_7-6_3, 6_5 (Markus), Überarbeitung der Anforderungen 1_3, 1_8-1_10, 4_3-4_5, 5_4 (Philine), Überarbeitung der Anforderungen 1_4, 1_5, 4_1, 4_2, 5_5, 5_6, 6_4 (Luisa), Überarbeitung der Anforderungen 1_6, 2_1-3_3 (Frederik)

#### 2.1.4 4. Review am 21.10.2021

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Besprechung der Anforderungen in Bezug auf die Formulierungen, dessen Trennbarkeit und Prioritäten.
Aufgaben bis zum nächsten Review	Aufstellung von fehlenden funktionalen Anforderungen und von Testfällen (alle).

#### 2.1.5 5. Review am 27.10.2021

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Besprechung der funktionalen Anforderungen und der aufgestellten Testfälle, weitere Unterteilung und Ergänzung der Testfälle.
Aufgaben bis zum nächsten Review	-

#### 2.1.6 6. Review am 28.10.2021

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Testfälle wurden an die Bearbeiter des Lastenheftes verteilt, Beginn der Dokumentation der Testfälle durch die Bearbeiter.
Aufgaben bis zum nächsten Review	Dokumentation der Testfälle 01-02 (Markus), Dokumentation der Testfälle 03-09 (Philine), Dokumentation der Testfälle 10-15 (Frederik), Dokumentation der Testfälle 16-20 (Luisa)

### **2.1.7 7. Review am 04.11.2021**

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Alle aufgestellten Testfälle wurden durchgesprochen und an manchen Stellen ergänzt/verbessert.
Aufgaben bis zum nächsten Review	Alle Bearbeiter des Lastenhefts sollen sich verschiedene Konzepte für das System überlegen und recherchieren.

### **2.1.8 8. Review am 10.11.2021**

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Besprechung und Zusammentragen aller gefundenen Konzeptvarianten inklusive der Quellen.
Aufgaben bis zum nächsten Review	-

### **2.1.9 9. Review am 11.11.2021**

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Konzeptvarianten wurden an die Bearbeiter des Lastenheftes verteilt, Beginn der Dokumentation der Varianten durch die Bearbeiter.
Aufgaben bis zum nächsten Review	Dokumentation der Konzeptvariante 1 (Markus), Dokumentation der Konzeptvariante 2 (Philine), Dokumentation der Konzeptvariante 3 (Frederik), Dokumentation der Konzeptvariante 4 (Luisa).



#### 2.1.10 10. Review am 18.11.2021

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Besprechung der Varianten des Gesamtkonzeptes, Aufstellen einer gewichteten Bewertungsmatrix für die Konzeptauswahl.
Aufgaben bis zum nächsten Review	Dokumentation der Oberkategorien Kosten und Einbau bezgl. Gewichtungseinscheidung und Vergabe der Punkte (Markus), Dokumentation der Oberkategorie Komfort bezgl. Gewichtungseinscheidung und Vergabe der Punkte (Frederik), Dokumentation der Oberkategorie Technik bezgl. Gewichtungseinscheidung und Vergabe der Punkte (Luisa), Dokumentation der Oberkategorie Nutzung bezgl. Gewichtungseinscheidung und Vergabe der Punkte (Philine).

#### 2.1.11 11. Review am 24.11.2021

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Besprechung der Dokumentationen über die Oberkategorien Kosten, Einbau, Komfort, Technik, und Nutzung der Konzeptauswahl, Anpassen der gewichteten Bewertungsmatrix für die Konzeptauswahl.
Aufgaben bis zum nächsten Review	-

#### 2.1.12 12. Review am 25.11.2021

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Entscheidung für eine Konzeptvariante, Erstellen der logischen Systemarchitektur.
Aufgaben bis zum nächsten Review	-

**2.1.13 13. Review am 30.11.2021**

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Auflisten der Bestandteile und Verbindungen der logischen Systemarchitektur, Aufstellen der dynamischen Architektur.
Aufgaben bis zum nächsten Review	-

**2.1.14 14. Review am 02.12.2021**

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Anpassen der logischen Systemarchitektur, Überarbeitung der dynamischen Architektur, Ergänzen der Akzeptanzkriterien bei den Testfällen
Aufgaben bis zum nächsten Review	-

**2.1.15 15. Review am 08.12.2021**

Anwesend	Alle Bearbeiter des Lastenheftes
Besprochene Themen	Es wurde durch das gesamte Lastenheft durchgegangen und Korrekturgelesen.
Aufgaben bis zum nächsten Review	-

### 3. Stakeholderanalyse

In der Stakeholderanalyse sollen die Interessen bzw. Erwartungen, die die einzelnen Stakeholder an das zu entwickelnde System haben, analysiert und verstanden werden. Dabei sind Stakeholder Personen oder Organisationen, die ein begründetes Interesse an einem System haben. Vertragswerkstätten sind beispielsweise ein Stakeholder, da sie in der Zukunft eventuell Reparaturen an einem Fahrwerk mit Wankstabilisierung durchführen müssen. Obwohl ihre Interessen für den Einsatz der Wankstabilisierung von großer Bedeutung sind, entwickeln sie das System nicht aktiv mit. Das Entwicklerteam muss dennoch die Bedürfnisse aller Stakeholder berücksichtigen, um einen erfolgreichen Einsatz des Systems zu gewährleisten. Die verschiedenen Stakeholder werden nun vorgestellt.

SH-1	Entwicklungsabteilung
	<p>Die Entwicklungsabteilung ist für die Entwicklung des Systems verantwortlich. Hier wird die Wankstabilisierung konstruiert, entwickelt und erprobt. Sie muss deshalb die Interessen aller Stakeholder in der Konstruktion und dem Versuch des Systems berücksichtigen. Die Entwicklungsabteilung ist vor allem fachlich für das System verantwortlich.</p> <p>Je nachdem, ob die Entwicklung intern stattfindet oder extern vergeben wird, kann der Auftraggeber bzw. Kunde unterschiedlich sein. Die Stakeholder unterscheiden sich aber nicht grundsätzlich in ihren Interessen, sondern lediglich in der Besetzung.</p>

SH-2	Auftraggeber
	<p>Der Auftraggeber kommt in Form der Unternehmensführung, die erkennt, dass ein System zur Wankstabilisierung nötig ist und entwickelt werden soll. Dies könnte sein, weil Wettbewerber im Markt solch ein System bereits anbieten und man konkurrenzfähig bleiben möchte. Letztendlich soll sich das System finanziell lohnen und dazu beitragen den Gewinn zu maximieren. Der Auftraggeber beauftragt dann die Entwicklungsabteilung mit der Entwicklung eines solchen Systems. Dabei wird meist ein finanzieller und zeitlicher Rahmen abgesteckt. Der Auftraggeber ist für das System ggf. juristisch verantwortlich und muss das System zur Wankstabilisierung gegenüber den Eigentümern des Unternehmens verantworten.</p>

SH-3	Produktion
	Die Produktion ist dafür verantwortlich die Wankstabilisierung herzustellen und in die Fahrzeuge einzubauen. Dabei ist es für die Produktion von Interesse, dass die Wankstabilisierung möglichst kostengünstig ist, einfach herzustellen und auch gut in den normalen Produktionsablauf zu integrieren. Von Interesse ist für die Produktion auch, ob das System in jedem Fahrzeug verbaut wird oder optional verfügbar ist.

SH-4	Fachwerkstätten
	Die Fachwerkstätten sind für die Instandsetzung und ggf. Wartung des Systems verantwortlich. Dafür ist es von Interesse, dass die Wankstabilisierung ohne übermäßigen Aufwand geprüft und austauschbar ist. Auch das Fehlerauslesen oder Anlernen eines neuen Systems sollte möglichst einfach über die Diagnoseschnittstelle funktionieren, um eine fachmännische Reparatur bzw. Instandsetzung zu gewährleisten.

SH-5	Kunde
	Mit dem Kunden ist der Endnutzer bzw. der Besitzer des Fahrzeuges gemeint. Er bezahlt ggf. den Aufpreis oder Mehrpreis und soll von dem System überzeugt werden, damit sich die Entwicklung des Systems für den Hersteller lohnt. Der Kunde erhofft sich durch die Wankstabilisierung ein sportlicheres Fahrverhalten und mehr Komfort und Fahrspaß. Wenn das System zur Wankstabilisierung über Einstellmöglichkeiten verfügt, sollte die Handhabung möglichst einfach sein, um auch während der Fahrt bedient zu werden. Außerdem sollte das System nie defekt oder außer Funktion sein, um auf eine ggf. teure Reparatur zu verzichten.

SH-6	Gesetzgeber
	<p>Der Gesetzgeber stellt regulatorische Maßnahmen auf, die der Hersteller erfüllen muss, um seine Produkte verkaufen zu dürfen. Diese Maßnahmen können beispielsweise Vorgaben sein, welche Materialien für eine Wankstabilisierung verwendet werden dürfen oder welche Testprozeduren erfüllt werden müssen. Der Gesetzgeber hat dabei zwei große Interessen, die er durch diese Vorgaben erreichen möchte. Zum einen soll die Sicherheit der Kunden, anderer Verkehrsteilnehmer oder auch der Umwelt bei der Entsorgung gewährleistet werden. Andererseits soll der Hersteller aber auch möglichst viele Produkte verkaufen, um möglichst viele Abgaben an den Gesetzgeber zu zahlen und auch Arbeitsplätze zu schaffen und erhalten. Daher dürfen die Gesetzesvorgaben auch nicht zu einschränkend sein.</p>

SH-7	Entsorger
	<p>Der Entsorger ist für die Entsorgung des Systems zuständig. Er hat ein Interesse an einem System, an dem mit möglichst wenig Aufwand möglichst viel recycelt werden kann. Außerdem sollte die Entsorgung auch ungefährlich für die Mitarbeiter oder die Umwelt sein.</p>

## 4. Anforderungsanalyse

### 4.1 Anwendungsfälle

#### AF-1: Kurvenfahrt

Szenario	Eine verringerte Wankbewegung durch die maximale Steifigkeit des Fahrwerks ermöglichen Komfort, Sicherheit und Sportlichkeit.
Stakeholder	<ul style="list-style-type: none"><li>• Endnutzer</li><li>• Auftraggeber</li></ul>

#### AF-2: Fahrgeschwindigkeit

Szenario	Die aktive Wankkontrolle agiert in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit. Ausschließlich bei Kurvenfahrten auf Landstraßen und Autobahnen ist das sportliche und steife Verhalten des Fahrwerks erforderlich.
Stakeholder	<ul style="list-style-type: none"><li>• Endnutzer</li><li>• Auftraggeber</li></ul>

#### AF-3: Fahrbahnunebenheit

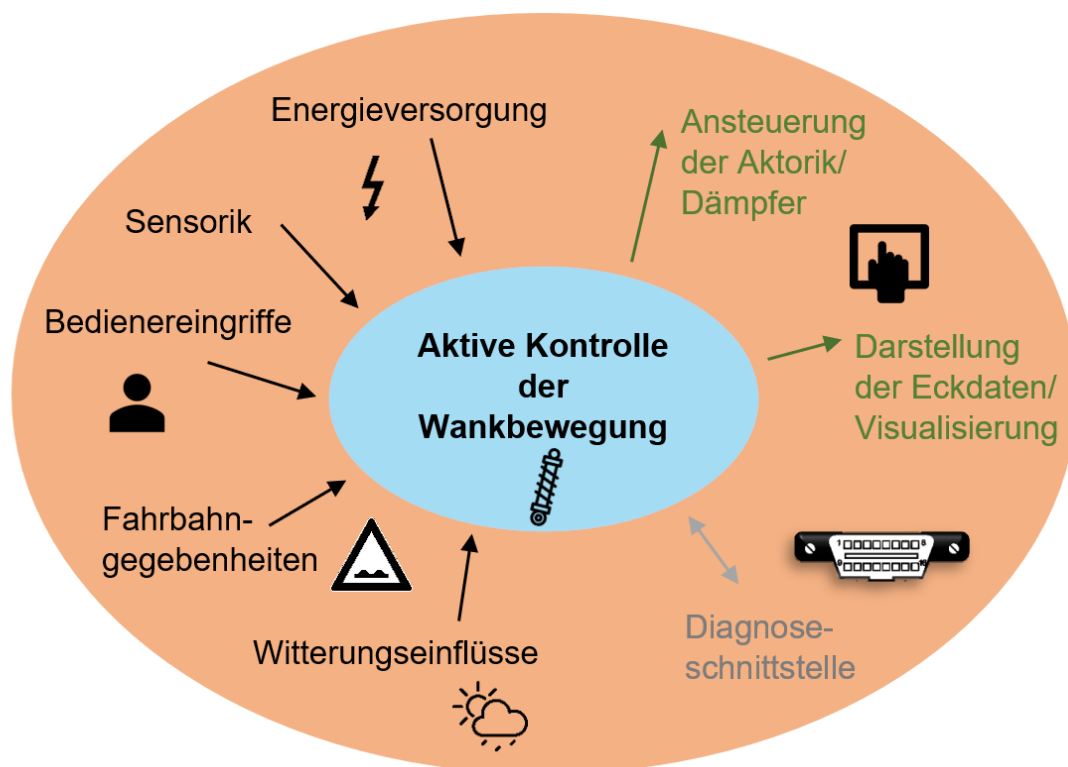
Szenario	Fahrbahnunebenheiten aller Ausprägungen, welche einseitig auf das Fahrzeug einwirken, werden von der Fahrgastzelle entkoppelt. Dabei ist der Grad der Entkopplung und somit der Fahrkomfort abhängig von der Maße und Beschaffenheit der Unebenheit. Hierbei wird unterschieden, ob das Fahrzeug über eine Unebenheit fährt, welche in die Fahrbahn hineinragt (z. B. ein Schlagloch oder ein abgesunkener Gullideckel) oder aus der Fahrbahn herausragt, wie eine Bordsteinkante. Ein weiterer entscheidender Faktor ist die Größe bzw. das Maß der Fahrbahnunebenheit. Verhältnismäßig hohe aus der Fahrbahn herausragende und tiefe in die Straße hereinragende Unebenheiten sind schwerer vom Fahrgastraum zu entkoppeln als niedrigere.
Stakeholder	<ul style="list-style-type: none"><li>• Endnutzer</li><li>• Auftraggeber</li></ul>

## AF-4: Witterung

Szenario	Die aktive Kontrolle der Wankbewegung des PKWs wird bei allen Witterungsbedingungen und Lichtverhältnissen verwendet. Das System ist bei jeglichen witterungsbedingten Bodenbeschaffenheiten wie vereiste, nasse, trockene oder zugeschneite Fahrbahn einsatzfähig.
Stakeholder	<ul style="list-style-type: none"><li>• Endnutzer</li><li>• Auftraggeber</li></ul>

## 4.2 Systemgrenzen

Zu Beginn eines Projektes wird das System mit dessen Grenzen betrachtet, um nachfolgend die Fragestellung nach den Anforderungen bearbeiten zu können. Dazu wurde das System zur aktiven Kontrolle der Wankbewegung graphisch in dessen Umgebung mit allen einwirkenden Faktoren und Schnittstellen abgebildet. Die Schnittstellen geben Auskunft über den Datenaustausch zwischen der Aktiven Kontrolle und dessen Umwelt. Schwarze Pfeile sind in das System hineingerichtet und veranschaulichen die an das System übermittelten Daten. Die grünen Pfeile symbolisieren Informationen, die von der Aktiven Kontrolle an die Umgebung, d.h. an weitere Einheiten übermittelt werden. Zwischen der Diagnoseschnittstelle und dem System erfolgt der Informationsfluss in beide Richtungen.



## Kommunikation nach Innen

Nummer	Benennung	Beschreibung
1	Energieversorgung	Darstellbar mit einem 48V Bordnetz aus Sicherheitsgründen gemäß den Vorgaben.
2	Sensoren	Die Sensorik des Fahrzeuges dient zum Informationstransport von Daten bezüglich des Lenkwinkels, der Geschwindigkeit, der Querbefchleunigung, der Neigung, des Dämpferweges und der Helligkeit, je nach Notwendigkeit.
3	Bedienereingriffe	Auf durch den Fahrer verursachte Anregungen durch Lenkmanöver, Bremsen und Beschleunigen des Fahrzeuges soll das System entsprechend reagieren.
4	Fahrbahngegebenheiten	Zum Einen verfolgt das System die Aufgabe, bei einer Seitenneigung des Fahrzeuges aufgrund von Kurvenfahrten oder Ausweichmanövern diese möglichst gering zu halten, zum Anderem Anregungen durch Überfahrten von konkaven und konvexen Untergründen möglichst von der Karosserie zu entkoppeln.
5	Witterungseinflüsse	Verschiedene Witterungszustände erfordern ein gegen Nässe, Kälte, Hitze, Schnee und Staub beständiges und zu jeder Wetterlage funktionierendes System.
6	Diagnoseschnittstelle	Auslesen/Ermitteln von Daten und Fehlern der elektrischen und elektronischen Komponenten; Ansteuerung mittels einer Stellglieddiagnose.



## Kommunikation nach Außen

Nummer	Benennung	Beschreibung
1	Ansteuerung der Aktoren/ Aktiven Dämpfer	Entsprechend der Gegebenheiten sorgen die Aktoren für eine Umsetzung der Signale in mechanische Bewegungen, um die Wankbewegung zu kontrollieren
2	Darstellung der Eckdaten/ Visualisierung	Für die Veranschaulichung der Wirkung des Systems für den Fahrer werden Informationen/Eckdaten an das Fahrzeug übermittelt, welche für den Fahrer sichtbar auf einem Display gezeigt werden sollen.
3	Diagnoseschnittstelle	Siehe Tabelle „Kommunikation nach Innen“

Nummer	Bezeichnung	Anforderung
Nach Innen		
1	Energieversorgung	REQ_3_1
2	Sensoren	REQ_5_6 REQ_6_4
3	Bedienereingriffe	-
4	Fahrbahngegebenheiten	REQ_1_1 REQ_6_1
5	Witterungseinflüsse	REQ_1_8 REQ_1_9 REQ_6_2 REQ_6_3
6	Diagnoseschnittstelle	REQ_4_3
Nach Außen		
1	Ansteuerung der Aktoren/Aktiven Dämpfer	REQ_5_1 REQ_5_2 REQ_5_8
2	Darstellung der Eckdaten/Visualisierung	REQ_4_2 REQ_5_3
3	Diagnoseschnittstelle	REQ_4_3

### 4.3 Anforderungen

Die Anforderungen wurden für eine bessere Übersicht in sechs verschiedene Bereiche unterteilt. Hierbei wurden zwischen den allgemeinen Anforderungen, den Anforderungen zu Kosten und zur Energie unterschieden. Des Weiteren wurden Anforderungen zu System und Schnittstellen, zum Fahrer und dessen Komfort und zur Umwelt aufgestellt. Die Nummern der Anforderungen geben wie folgt dessen Bereiche wieder:

Allgemeine Anforderungen: REQ\_1

Kosten: REQ\_2

Energie: REQ\_3

System und Schnittstellen: REQ\_4

Fahrer und Komfort: REQ\_5

Umwelt: REQ\_6

#### 4.3.1 Anforderung 1\_1

Nummer	REQ_1_1
Titel	Einsatzbereich
Status	Realisiert
Erläuterung	Die aktive Wankstabilisierung soll in Fahrzeugen bis zur Mittelklasse verwendet werden können. Es soll nur in Neufahrzeugen eingebaut werden und eine Nachrüstbarkeit ist nicht erforderlich.
Einschränkungen	-
Begründung	Durch den begrenzten Einsatzbereich sollen die Entwicklungskosten niedrig gehalten werden.  Stakeholder SH-01  Stakeholder SH-03
Priorität	Normal
Querbezüge	REQ_2_1  REQ_2_2
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_15
Kommentar	-

#### 4.3.2 Anforderung 1\_2

Nummer	REQ_1_2
Titel	Applikation
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Wankstabilisierung muss für jede Modellvariante, in der es verbaut ist, appliziert werden.
Einschränkungen	
Begründung	<p>Da die Funktionalität des Systems zur Wankstabilisierung in jedem verbauten Modell gleichermaßen gewährleistet sein muss, muss das System auf die verschiedenen Fahrzeuge angepasst werden.</p> <p>Je nach Gewicht ist ein verschieden großer Dämpfungsgrad erforderlich. Stellt sich das System zur Kontrolle der Wankbewegung zwar auf die äußeren Gegebenheiten, nicht aber auf die des Fahrzeuges ein, ist kein korrektes Ausführen der Sicherung der Stabilität und der Entkopplung der Anregungen von der Fahrgastzelle möglich. Das Fahrwerk wird dementsprechend zu wenig oder zu sehr nachgeben und für die Insassen nicht zum erhofften Fahrerlebnis führen.</p> <p>Stakeholder SH-1</p> <p>Stakeholder SH-3</p> <p>Stakeholder SH-4</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_09, TF_15, TF_17, TF_18
Kommentar	

#### 4.3.3 Anforderung 1\_3

Nummer	REQ_1_3
Titel	Zulassung
Status	Realisiert
Erläuterung	Vor der Benutzung des Systems von einem Kunden muss dieses vom Gesetzgeber zugelassen werden.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Da das System aktiv in die Fahrzeugbewegung eingreift, kann es bei Unfällen mit Fahrzeugen, welche das System verbaut haben, zu ungeklärten Unfallursachen kommen. Um das System selbst als Unfallursache auszuschließen, ist eine vorherige Zulassung unabdingbar.</p> <p>Stakeholder SH-5</p> <p>Stakeholder SH-6</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_11
Kommentar	-

#### 4.3.4 Anforderung 1\_4

Nummer	REQ_1_4
Titel	Integration in räumliche Gegebenheiten/Positionierung der Komponente
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss in das Fahrzeug integrierbar sein. Es muss im Fahrwerk integriert werden und darf keine Gefahr oder Einschränkung für andere Funktionen und Bauteile darstellen.
Einschränkungen	
Begründung	<p>Ist die Komponente in verschiedene Fahrzeuge dank platzsparender Größe einsetzbar fällt die gesamte Konstruktion trivialer aus. Das System muss einen gewissen Bodenfreigang aufweisen und Raum für weitere vielfältige Komponenten des Fahrzeugunterbodens gewährleisten.</p> <p>Stakeholder SH-1</p> <p>Stakeholder SH-3</p> <p>Stakeholder SH-4</p> <p>Stakeholder SH-5</p> <p>Anwendungsfall AF-1</p> <p>Anwendungsfall AF-3</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_14, TF_20
Kommentar	-

#### 4.3.5 Anforderung 1\_5

Nummer	REQ_1_5
Titel	Design
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System soll unauffällig in das Fahrwerk der Fahrzeuge verbaut werden können.
Einschränkungen	-
Begründung	Die Formgebung der Wankstabilisierung soll von außen nicht sichtbar sein.  Stakeholder SH-1  Stakeholder SH-3
Priorität	Mittel
Querbezüge	REQ_1_4
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_14
Kommentar	Da das System außerhalb des Sichtfeldes des Fahrzeuges liegt spielt das äußere Erscheinungsbild und die Attraktivität dessen keine Rolle.



#### 4.3.6 Anforderung 1\_6

Nummer	REQ_1_6
Titel	Zusatzgewicht durch Wankstabilisierung
Status	Realisiert
Erläuterung	Das Zusatzgewichtgewicht durch den Einbau der aktiven Wankstabilisierung soll weniger als 35 kg betragen.
Einschränkungen	-
Begründung	Das System soll nicht zu schwer werden, um eine Erhöhung des Verbrauchs, eine langsamere Beschleunigung und schlechtere Fahrdynamik zu vermeiden.  Stakeholder SH-05
Priorität	normal
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_01
Kommentar	-

#### 4.3.7 Anforderung 1\_7

Nummer	REQ_1_7
Titel	Wartung
Status	Realisiert
Erläuterung	Bei der jährlichen Inspektion muss das System auf Fehler untersucht werden. Dabei muss das System über die Eigendiagnose ausgelesen und auf mechanische Beschädigungen überprüft werden.
Einschränkungen	-
Begründung	Um eventuell auftretende Schäden frühzeitig erkennen zu können ist es notwendig, dass ein Mechaniker regelmäßig den ordnungsgemäßen Zustand des gesamten Systems sicherstellt. Dazu gehört ein visueller und manueller Check.  Stakeholder SH-04
Priorität	Hoch
Querbezüge	REQ_2_2
Einflüsse/Risiken	Kosten der Inspektion erhöhen sich und könnten den Kunden von einer Wartung bei einer Vertragswerkstatt abschrecken.
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_16
Kommentar	-

#### 4.3.8 Anforderung 1\_8

Nummer	REQ_1_8
Titel	Lebensdauer
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss über den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs voll funktionsfähig sein. Hierbei wird von einer Zeitspanne von 15 Jahren ausgegangen.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Das System ist im Laufe des gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs vielen verschieden stark beanspruchenden Gegebenheiten ausgesetzt. Hierzu zählen sowohl verschieden scharfe Kurven, wechselnde Geschwindigkeiten, unterschiedlich große Fahrbahnunebenheiten als auch jegliche Witterungsbedingungen. Nicht nur der Kunde, sondern auch der Entsorger hofft auf eine anhaltende Funktionsfähigkeit des Systems, um Kosten zu umgehen.</p> <p>Stakeholder SH-5</p> <p>Stakeholder SH-7</p> <p>Anwendungsfall AF-1</p> <p>Anwendungsfall AF-2</p> <p>Anwendungsfall AF-3</p> <p>Anwendungsfall AF-4</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_17, TF_19, TF_20
Kommentar	-

#### 4.3.9 Anforderung 1\_9

Nummer	REQ_1_9
Titel	Korrosion
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss über den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs voll funktionsfähig sein. Dazu zählt unter anderem, dass es innerhalb von 15 Jahren an keiner Stelle zu einem vollständigen Korrodieren der Bauteile kommen darf.
Einschränkungen	
Begründung	<p>Im Laufe eines Lebenszyklus eines Fahrzeuges soll diese verschiedenen Bedingungen standhalten, welche zu Korrosionen führen können. Dazu zählen Niederschlag, Wasserdurchfahrten und Kontakt mit salzhaltigen Gegebenheiten.</p> <p>Stakeholder SH-4</p> <p>Stakeholder SH-5</p> <p>Stakeholder SH-6</p> <p>Anwendungsfall AF-4</p>
Priorität	Normal
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_17, TF_18
Kommentar	-

#### 4.3.10 Anforderung 1\_10

Nummer	REQ_1_10
Titel	Garantie
Status	Noch nicht realisiert
Erläuterung	Die Garantiezeit des Systems soll bei einem Neufahrzeug genau 3 Jahre betragen.
Einschränkungen	Wird ein Fahrzeug, welches das System verbaut hat, gebraucht gekauft, gibt es auf dieses keine Garantie.
Begründung	<p>Bei dem Kauf eines Neufahrzeugs sind die Erwartungen des Kunden an das System sehr hoch. Es sollte somit nicht nach den ersten Fahrten einen Defekt aufweisen, was den Kunden verärgern würde. Um den Kunden jedoch bei eventuell auftretenden Produktionsfehlern zu entschädigen, wird eine Garantie auf das System gegeben.</p> <p>Stakeholder SH-3</p> <p>Stakeholder SH-5</p>
Priorität	Normal
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_20
Kommentar	-

#### 4.3.11 Anforderung 2\_1

Nummer	REQ_2_1
Titel	Kosten für Entwicklung
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Entwicklung eines Systems zur aktiven Wankstabilisierung soll maximal 2 Mio. € kosten.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Die Entwicklung muss sich wirtschaftlich lohnen, da das Unternehmen gewinnorientiert arbeitet und wettbewerbsfähig bleiben muss. Ein Budget für die Entwicklung wird vorgegeben, allerdings handelt es sich dabei nicht um eine harte Grenze, sondern eine grobe Vorgabe.</p> <p>Stakeholder SH-1</p> <p>Stakeholder SH-2</p>
Priorität	Normal
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	Die Anforderungen an das System können für die Anwendungsfälle zu hoch sein, wodurch die Entwicklung eventuell unnötig aufwändig wird. Andererseits kann die Entwicklung auch technologisch so herausfordernd sein, dass der Entwicklungsprozess sehr viel länger dauert und im schlimmsten Fall das Entwicklungsziel nicht erreicht wird.
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_12
Kommentar	-

#### 4.3.12 Anforderung 2\_2

Nummer	REQ_2_2
Titel	Kosten für die Herstellung
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Stückkosten für die benötigten Bauteile sollen bei maximal 3500€ pro Fahrzeug liegen.
Einschränkungen	-
Begründung	Die Herstellung und der Einbau müssen sich wirtschaftlich lohnen, da das Unternehmen gewinnorientiert arbeitet und wettbewerbsfähig bleiben muss.  Stakeholder SH-1  Stakeholder SH-2  Stakeholder SH-3
Priorität	Normal
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_13
Kommentar	-

#### 4.3.13 Anforderung 2\_3

Nummer	REQ_2_3
Titel	Wartungskosten und -aufwand für Fachwerkstätten
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Wartungskosten durch Ersatzteile, Spezialwerkzeuge und benötigte Arbeitszeit sollen maximal 200% höher liegen, als bei einem Fahrzeug ohne aktive Wankstabilisierung.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Es sollen hohe Reparaturkosten für den Kunden vermieden werden, um eine größtmögliche Kundenzufriedenheit zu erreichen. Außerdem sollen auch möglichst viele Fachwerkstätten in der Lage sein, eine Reparatur an dem System vorzunehmen, deshalb sollen möglichst wenig Spezialwerkzeuge nötig sein.</p> <p>Stakeholder SH-4</p> <p>Stakeholder SH-5</p>
Priorität	Niedrig
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_16
Kommentar	-



#### 4.3.14 Anforderung 3\_1

Nummer	REQ_3_1
Titel	Energieversorgung
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Energieversorgung muss mit einem 48V-Spannungsnetz erfolgen.
Einschränkungen	-
Begründung	Aus Gründen der Sicherheit wird ein 48V-Netz benötigt.  Stakeholder SH-05  Stakeholder SH-06
Priorität	Hoch
Querbezüge	REQ_3_2  REQ_3_3
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_04
Kommentar	-

#### 4.3.15 Anforderung 3\_2

Nummer	REQ_3_2
Titel	Energieeffizienz
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System zur aktiven Wankstabilisierung soll möglichst effizient mit der benötigten Energie umgehen. Der elektrische Wirkungsgrad soll größer als 90% sein.
Einschränkungen	-
Begründung	Das System soll sehr effizient sein, um den Verbrauch an Kraftstoff (Verbrenner) oder elektrischer Energie (BEV oder Hybrid im Elektro-Modus) nicht übermäßig zu erhöhen und eine möglichst große Reichweite zu bieten.  Stakeholder SH-05
Priorität	Normal
Querbezüge	REQ_3_1  REQ_3_3
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_04
Kommentar	-

#### 4.3.16 Anforderung 3\_3

Nummer	REQ_3_3
Titel	Leistungsbedarf
Status	Realisiert
Erläuterung	Selbst in Leistungsspitzen muss das System mit maximal 1,5kW elektrischer Leistung auskommen.
Einschränkungen	-
Begründung	Der elektrische Energiebedarf wird limitiert, da ein zu hoher Verbrauch die Reichweite des Fahrzeugs einschränken würde.  Stakeholder SH-5
Priorität	Hoch
Querbezüge	REQ_3_1  REQ_3_2
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_04
Kommentar	-

#### 4.3.17 Anforderung 4\_1

Nummer	REQ_4_1
Titel	Schnittstelle mit CAN-Fahrwerk
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Wankstabilisierung muss mit Busteilnehmern für die Fahrdynamik kommunizieren können.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Das System benötigt Sensorinformationen oder muss sich ggf. mit anderen Systemen „abstimmen“, um entsprechend auf verschiedene Gegebenheiten reagieren zu können. Beispielsweise wäre der Lenkwinkel oder auch die Querschleunigung eine interessante Größe.</p> <p>Stakeholder SH-1</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_05
Kommentar	-


#### 4.3.18 Anforderung 4\_2

Nummer	REQ_4_2
Titel	Schnittstelle für Visualisierung/Eckdaten
Status	Realisiert
Erläuterung	Es sollen Informationen mit dem Inhalt einiger wichtiger Eckdaten an das Fahrzeug übermittelt werden und im Sichtbereich des Fahrers aufgezeigt werden. Siehe Anforderung 5_3.
Einschränkungen	-
Begründung	Ein Display in der Instrumententafel soll dazu dienen, Eckdaten der Wankstabilisierung an den Fahrer zu übermitteln.  Stakeholder SH-1  Stakeholder SH-5  Anwendungsfall AF-1  Anwendungsfall AF-3
Priorität	Normal
Querbezüge	REQ_5_3
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_06
Kommentar	-

#### 4.3.19 Anforderung 4\_3

Nummer	REQ_4_3
Titel	Kfz-Diagnose
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss im verbauten Zustand diagnosefähig sein und über die im Fahrzeug herkömmlich verbaute OBD2-Schnittstelle mithilfe eines geeigneten OBD2-Diagnosegerätes auslesbar sein.
Einschränkungen	Bei einem elektrischen Fehler am System selbst oder an der OBD2-Schnittstelle kann es zu Einschränkungen der Diagnosefähigkeit kommen.
Begründung	<p>Das System ist während dessen Benutzung vielen verschiedenen wechselnden Gegebenheiten ausgesetzt, die dieses beanspruchen wie zum Beispiel den Witterungsbedingungen und Fahrbahnunebenheiten. Diese können im Laufe der Zeit das System derart beschädigen, dass dieses eine eingeschränkte Funktionsfähigkeit ausweist. Den Fachwerkstätten muss es gelingen, die Fehler des Systems mithilfe der OBD2-Schnittstelle auszulesen.</p> <p>Stakeholder SH-4</p> <p>Anwendungsfall AF-3</p> <p>Anwendungsfall AF-4</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_07
Kommentar	-

#### 4.3.20 Anforderung 4\_4

Nummer	REQ_4_4
Titel	Aktion bei Systemdefekt
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Sowohl bei einem elektrischen als auch mechanischen Systemdefekt muss sich eine von den Entwicklern zuvor bestimmte Härte des Feder-Dämpfer Systems einstellen. Anschließend muss die in Abb. dargestellte Warnleuchte dauerhaft aufleuchten und folgende Fehlermeldung im Kombiinstrument erscheinen: „Fehler aktive Kontrolle der Wankbewegungen!“</p> <p>Die Warnleuchte muss bei Zündung oder laufendem Motor dauerhaft leuchten, die Fehlermeldung muss nach jedem erneuten Motorstart für 10s erscheinen und die Härte des Feder-Dämpfer Systems und/oder des Stabilisators bleibt konstant bis der Systemdefekt von einer Fachwerkstatt behoben wird.</p>  <p><b>Abbildung 1: Warnleuchte Wankausgleich</b></p>
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Um dem Fahrer zu signalisieren, dass das System in einer Werkstatt repariert werden muss, ist eine Fehlermeldung im Kombiinstrument notwendig. Das Feder-Dämpfer System stellt sich auf eine konstante Härte ein, um unkontrollierte Fahrzeugbewegungen und daraus resultierende Unfälle zu vermeiden.</p> <p>Stakeholder SH-5</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	REQ_4_5
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_08
Kommentar	-

#### 4.3.21 Anforderung 4\_5

Nummer	REQ_4_5
Titel	Reparatur
Status	Realisiert
Erläuterung	Weist das System einen Defekt auf, muss dieses in einer Fachwerkstatt fachmännisch repariert werden können. Wenn eine Reparatur wirtschaftlich nicht rentabel ist, muss die Fachwerkstatt das System ersetzen können.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Damit der Kunde auch bei einem Systemdefekt weiterhin die Vorteile des verbauten Systems nutzen kann, wofür dieser beim Neukauf einen Aufpreis bezahlt hat, ist eine Reparatur bzw. ein Ersatz des Systems unbedingt notwendig. Zudem ist eine Reparatur des Systems umweltschonender, da dieses nicht sofort entsorgt werden muss.</p> <p>Stakeholder SH-5</p> <p>Stakeholder SH-7</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_16
Kommentar	-



#### 4.3.22 Anforderung 5\_1

Nummer	REQ_5_1
Titel	Wankunterdrückung
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System zur Wankstabilisierung muss bei Kurvenfahrt den Wankwinkel bei weniger als 2° halten.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Durch die Wankstabilisierung soll bei der Kurvenfahrt eine höhere Steifigkeit und damit höhere Fahrstabilität erreicht werden, als bei einem klassischen Feder-Dämpfersystem.</p> <p>Stakeholder SH-2</p> <p>Anwendungsfall AF-1</p> <p>Anwendungsfall AF-2</p> <p>Anwendungsfall AF-3</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	Eine zu starke Wankbewegung könnte das Fahrzeug zum frühzeitigen Kippen oder zum Traktionsverlust der kurveninneren Räder bringen.
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_09, TF_17, TF_18, TF_19
Kommentar	-

#### 4.3.23 Anforderung 5\_2

Nummer	REQ_5_2
Titel	Einseitige Anregungen
Status	Realisiert
Erläuterung	Bei Fahrten über Unebenheiten $\leq 60$ mm Höhe müssen die daraus resultierenden Karosseriebewegungen komplett kompensiert werden, sodass der Fahrer keine spürbaren Bewegungen des Fahrzeugs wahrnimmt.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Die primäre Aufgabe des Systems besteht darin die Fahrgastzelle von der Fahrbahn zu entkoppeln um den Insassen ein Fahrerlebnis zu gewährleisten. Deshalb ist es von enormer Bedeutung auf Unebenheiten entsprechend zu reagieren.</p> <p>Stakeholder SH-05</p> <p>Anwendungsfall AF-3</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_09, TF_17, TF_18, TF_19
Kommentar	-

#### 4.3.24 Anforderung 5\_3

Nummer	REQ_5_3
Titel	Visuelle Darstellung
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System soll dem Fahrer wichtige Eckdaten visuell zur Verfügung stellen. Dazu gehören der aktuelle Energiebedarf und der Wankwinkel. Der Fahrer soll aus verschiedenen Daten auswählen können.
Einschränkungen	-
Begründung	Um dem Fahrer die Wirkung der Wankstabilisierung zu visualisieren, sollen Messwerte angezeigt werden.  Stakeholder SH-05
Priorität	Normal
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	Die auf einem Display gezeigten Daten sollen in einem Blick zu erfassen sein, um den Fahrer möglichst wenig abzulenken.
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_09, TF_10, TF_17, TF_18, TF_19
Kommentar	-

#### 4.3.25 Anforderung 5\_4

Nummer	REQ_5_4
Titel	Fahrzeugsicherheit
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss während der Benutzung im Fahrzeug die vom Gesetzgeber festgelegten Normen bezüglich der Fahrzeugsicherheit einhalten.
Einschränkungen	-
Begründung	Die Fahrzeugsicherheit eines Fahrzeugs ist sowohl für den Fahrer und die weiteren Insassen als auch für alle anderen Verkehrsteilnehmer überlebenswichtig.  Stakeholder SH-5  Stakeholder SH-6
Priorität	Hoch
Querbezüge	REQ_4_5
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_11, TF_17, TF_18
Kommentar	-

#### 4.3.26 Anforderung 5\_5

Nummer	REQ_5_5
Titel	Lautstärke
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System soll für den Fahrer und die Umwelt während der Fahrt akustisch nicht wahrnehmbar sein. Dafür muss die Wankstabilisierung beim Einstellen der jeweiligen Fahrwerksteile leiser als 25 dB sein.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Bei dem Kauf eines Fahrzeugs erwartet der Kunde ein funktionsfähiges und zuverlässiges Auto, deshalb sind übermäßige Fahrwerksgeräusche und vor allem Geräusche durch die Wankstabilisierung zu vermeiden. Störgeräusche des Fahrzeugs können zum Unwohlsein des Fahrers und der Insassen führen. Eine sehr leise Fahrgeräuschkulisse trägt zu einem Gefühl der Wertigkeit bei, welches die Kundenzufriedenheit erhöht. Geringer Straßenverkehr hat einen Schallpegel von circa 30dB, diesen soll die Wankstabilisierung nicht übertönen.</p> <p>Stakeholder SH-1</p> <p>Stakeholder SH-5</p> <p>Anwendungsfall AF-1</p> <p>Anwendungsfall AF-3</p>
Priorität	Normal
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_02, TF_09, TF_19
Kommentar	-

#### 4.3.27 Anforderung 5\_6

Nummer	REQ_5_6
Titel	Reaktionszeit
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss auf Sensorwerte innerhalb von wenigen zehntel Millisekunden reagieren, um Fahrbahnunebenheiten rechtzeitig ausgleichen zu können.
Einschränkungen	-
Begründung	Um ein durchgehendes, hohes Maß an Fahrstabilität und Komfort zu gewährleisten soll sich das System durch die Sensorik in Echtzeit an die Fahrbahngegebenheiten anpassen.  Stakeholder SH-5  Stakeholder SH-7  Anwendungsfall AF-1  Anwendungsfall AF-3
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_09, TF_17, TF_18, TF_19
Kommentar	-

#### 4.3.28 Anforderung 5\_7

Nummer	REQ_5_7
Titel	Mechanische Belastbarkeit
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss auch kritischen Belastungen standhalten und soll nicht das schwächste Glied im Gesamtsystem darstellen. Es muss die zweieinhalbfache Belastung der im Straßenverkehr auftretenden Kräfte aushalten.
Einschränkungen	-
Begründung	Um teure Schäden des Systems zu vermeiden ist es sinnvoll, dass zum Beispiel bei kleineren Unfällen andere defekte Bauteile zur Ursache der Fahruntüchtigkeit des Fahrzeugs bewirken.  Stakeholder SH-5  Stakeholder SH-4  Anwendungsfall AF-1  Anwendungsfall AF-3
Priorität	Normal
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_19
Kommentar	-

#### 4.3.29 Anforderung 5\_8

Nummer	REQ_5_8
Titel	Einstellbarkeit der Steifigkeit des Systems
Status	Realisiert
Erläuterung	Die Steifigkeit des Fahrwerks muss präzise einstellbar sein. Das zeichnet sich aus, indem es Unebenheiten von -6 cm bis +6cm in Zentimeter-Schritten entsprechend ausgleicht.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Die Wankstabilisierung soll möglichst feinfühlig sein, um einen hohen Fahrkomfort bei Überfahrten von Unebenheiten und Kurvenfahrten zu gewährleisten. Verschiedene Fahrzeugmodelle wanken je nach Gewicht und Schwerpunkt unterschiedlich. Das System muss Modellübergreifend bis zur Mittelklasse eingesetzt werden, weshalb eine Einstellbarkeit unabdinglich ist.</p> <p>Stakeholder SH-05</p> <p>Stakeholder SH-01</p> <p>Anwendungsfall AF-1</p> <p>Anwendungsfall AF-3</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_19
Kommentar	-



#### 4.3.30 Anforderung 6\_1

Nummer	REQ_6_1
Titel	Lichtverhältnisse
Status	-
Erläuterung	Das System muss bei allen Lichtverhältnissen und Tageszeiten funktionieren.
Einschränkungen	-
Begründung	Das System muss immer dann funktionieren, wenn das Fahrzeug in Benutzung ist.  Anwendungsfall AF-4
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_09, TF_17, TF_18
Kommentar	Falls das System kamerabasiert arbeitet, muss die Anforderung berücksichtigt werden.

#### 4.3.31 Anforderung 6\_2

Nummer	REQ_6_2
Titel	Temperaturbeständigkeit
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System muss im Bereich von -25°C bis 45°C im Schatten Außentemperatur funktionieren.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Die Fahrzeuge werden weltweit verkauft. In Finnland sinken die Temperaturen auf bis zu -25°C. Solange das Fahrzeug bewegt werden kann, müssen die Wankbewegungen auch unterdrückt werden. In der Wüste Nevada wird es im Sommer bis zu 45°C im Schatten heiß. Bei heißem Motor kann es nach dem Abstellen des Fahrzeugs zu einem Hitzestau im Motorraum kommen, der auf das vordere Feder/Dämpfersystem abstrahlt.</p> <p>Stakeholder SH-05</p> <p>Stakeholder SH-06</p> <p>Anwendungsfall AF-4</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_17, TF_18
Kommentar	-

#### 4.3.32 Anforderung 6\_3

Nummer	REQ_6_3
Titel	Witterungsbedingungen
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System soll bei Regen, Schnee oder Eis die gleiche Fahrstabilität gewährleisten.
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Bei Regen und schmelzendem Schnee/Eis darf durch die aktive Wankstabilisierung die Fahrsicherheit nicht gefährdet werden. Die Wankstabilisierung muss sich im Zusammenspiel mit anderen Fahrwerksregelsystem an die jeweiligen Fahrverhältnisse anpassen. Vor allem darf beim Kunden kein unsicheres oder unberechenbares Fahrverhalten bzw. Fahrgefühl auftreten.</p> <p>Stakeholder: SH-5</p> <p>Anwendungsfall AF-4</p>
Priorität	Normal
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_17, TF_18
Kommentar	-

#### 4.3.33 Anforderung 6\_4

Nummer	REQ_6_4
Titel	IP-Schutzart
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Einzelne Komponenten des Systems müssen nach der nationalen und internationalen Normen DIN EN 60529 bzw. ISO 20653 (für Straßenfahrzeuge) verschiedene IP-Schutzarten aufweisen. Die Bauteile müssen für einen Schutz gegen Fremdkörper mit mindestens 5 (staubgeschützt) und gegen Wasser mit mindestens 7 (geschützt vor zeitweiligem untertauchen) klassifiziert sein.</p> <p>➔ IP 57</p>
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Elektrische und elektronische Bauteile mit deren Gehäuse werden in verschiedene Klassen eingeteilt um dessen Grad des Schutzes gegen Umwelteinflüsse zu manifestieren. Es wird sowohl die Dichtigkeit gegenüber Fremdkörpern, als auch Wasser betrachtet. Dies stellt einen Schutz für die Komponente und somit den Benutzer des Fahrzeuges dar.</p> <p>Stakeholder SH-1</p> <p>Stakeholder SH-5</p> <p>Stakeholder SH-6</p> <p>Anwendungsfall AF-3</p> <p>Anwendungsfall AF-4</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	REQ_6_3
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_03
Kommentar	Fahrzeuge sind auf steinigen und sandigen Untergründen unterwegs, wo Staub aufgewirbelt wird. Außerdem kommt es bei Starkregenfällen oder Geländefahrten zu Durchfahrten von Wasser.

#### 4.3.34 Anforderung 6\_5

Nummer	REQ_6_5
Titel	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Das System muss EMV aufweisen, es darf weder von anderen elektrischen Geräten beeinflusst werden noch diese beeinflussen.</p> <p>Hierzu muss sich auf folgende Normen bezogen werden:</p> <p>ISO 11451</p> <p>ISO 11452</p>
Einschränkungen	-
Begründung	<p>Um den sicheren Betrieb des Systems zu gewährleisten, muss das System elektromagnetischen Einflüssen standhalten. Es dürfen keine Fehler oder Ausfälle auftreten.</p> <p>Stakeholder SH-01</p> <p>Stakeholder SH-05</p> <p>Stakeholder SH-06</p>
Priorität	Hoch
Querbezüge	-
Einflüsse/Risiken	-
Akzeptanzkriterien	⇒ TF_09
Kommentar	-

## 5. Testfälle

### 5.1 Testfall 01

Nummer	TF_01
Titel	Gewicht
Status	Realisiert
Erläuterung	Am Ende der Entwicklung müssen alle Komponenten der aktiven Wankstabilisierung im ausgebauten Zustand gewogen werden.
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Das gesamte System darf ein Gesamtgewicht von 35kg nicht überschreiten.</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_1_6

### 5.2 Testfall 02

Nummer	TF_02
Titel	Lautstärke, geht bei Fahrkomfort und Test im ausgebauten Zustand auf
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System soll während der Entwicklung in Akustikräumen auf seine Lautstärke kontrolliert werden. Bei aktivem System, welches im ausgebauten Zustand getestet wird, soll die Lautstärke mit einem Dezibel Messgerät gemessen werden.
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Die Lautstärke darf nicht lauter als 25dB sein.</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_5_5

### 5.3 Testfall 03

Nummer	TF_03
Titel	IP-Schutzklasse
Status	Realisiert
Erläuterung	Das Fahrzeug mit aktiver Kontrolle der Wankbewegungen wird in speziellen Einrichtungen, welche für die Prüfung der IP-Schutzart ausgerichtet sind, getestet. Anschließend muss ein Prüfsiegel ausgestellt werden.
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Das System muss alle Anforderungen der IP-Schutzart IP57 erfüllen.</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_6_4

## 5.4 Testfall 04

Nummer	TF_04
Titel	Energieversorgung, Energieeffizienz und Leistungsbedarf
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Das Fahrzeug mit verbauter Wankstabilisierung wird an einen Prüfstand der Variante „Hydropuls“ angeschlossen. Dabei werden mithilfe der Diagnoseschnittstelle und somit über den CAN-Bus der Wankwinkel, die Energieversorgung, der Leistungsbedarf und die Leistungsabgabe des Systems am Prüfstand während der gesamten Prüfung ausgelesen und aufgezeichnet.</p> <p>Anschließend wird das Fahrzeug vom Stand ausgehend auf 120km/h beschleunigt, wobei sich das Lenkrad in Geradeausstellung stehen muss. Danach wird das Lenkrad bis zum maximalen linken Lenkeinschlag gedreht und im Anschluss bis zum Anschlag nach rechts. Zum Schluss wird das Lenkrad wieder in Geradeausstellung gebracht und es erfolgen sowohl auf der linken als auch auf der rechten Seite einseitige Anregungen. Es wird zwischen zwei verschiedenen Anregungen unterschieden: Anregungen, welche das Feder-Dämpfer-System einfedern und welche, die dieses ausfedern lassen. Beide Anregungen entsprechen in der Realität Fahrbahnunebenheiten, welche ca. 10cm aus der Fahrbahn heraus- bzw. in die Fahrbahn hineinragen. Auf jeder Seite werden beide Anregungen jeweils zehnmal pro Minute ausgeführt. Nach 20 Minuten wird der Test gestoppt.</p>
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Energieversorgung findet mit 48V statt.</li> <li>• Eine Stromaufnahme des Systems darf eine Obergrenze von 31,25A nicht überschreiten.</li> <li>• Die abgegebene Leistung muss größer als 1,35kW sein, um den geforderten Wirkungsgrad von mehr als 0,9 zu erreichen.</li> </ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_3_1, REQ_3_2, REQ_3_3



Berechnungen	<p>Maximale Stromaufnahme:</p> $P_{Aufwand} \leq 1,5kW$ <p>mit <math>P_{Aufwand} = U \cdot I</math>:</p> $48V \cdot I \leq 1,5kW$ $I \leq \frac{1,5kW}{48V}$ $I \leq 31,25A$ <p>Minimale Leistungsabgabe:</p> $\eta > 0,9$ $\eta = \frac{P_{Nutzen}}{P_{Aufwand}}$ $\frac{P_{Nutzen}}{P_{Aufwand}} > 0,9$ $P_{Nutzen} > 0,9 \cdot 1,5kW$ $P_{Nutzen} > 1,35kW$
--------------	---

## 5.5 Testfall 05

Nummer	TF_05
Titel	Überprüfung der Schnittstelle mit dem CAN-Fahrwerk
Status	Realisiert
Erläuterung	Um die CAN-Schnittstelle des Systems mit dem CAN-Fahrwerk zu überprüfen, wird ein geeignetes Diagnosegerät an die OBD2-Schnittstelle des Fahrzeugs angeschlossen. Anschließend werden die Zündung und das Diagnosegerät eingeschaltet. Ist das Diagnosegerät hochgefahren, wird der Menüpunkt „Datenbus auslesen“ betätigt, woraufhin alle Datenbusse des Fahrzeugs aufgelistet werden. Danach wird das CAN-Fahrwerk ausgewählt. Daraufhin werden die Busbotschaften und dessen Namen dargestellt. So soll die Kommunikation zwischen der aktiven Wankstabilisierung und dem CAN-Fahrwerk Datenbus überprüft werden.
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Auslesen der folgenden Werte als Busnachricht und Klartext: Lenkwinkel, Radumdrehungszahlen, Wankwinkel, Ein- und Ausfederung</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_4_1

## 5.6 Testfall 06

Nummer	TF_06
Titel	Überprüfung der Schnittstelle für die Visualisierung
Status	Realisiert
Erläuterung	Um die Schnittstelle des Systems zur Visualisierung von Eckdaten zu überprüfen, wird ein geeignetes Diagnosegerät an die OBD2-Schnittstelle des Fahrzeugs angeschlossen. Anschließend wird die Zündung und das Diagnosegerät eingeschaltet. Ist das Diagnosegerät hochgefahren, wird der Menüpunkt „Datenbus auslesen“ betätigt, woraufhin alle Datenbusse des Fahrzeugs aufgelistet werden. Danach muss der Datenbus für die Visualisierung ausgewählt werden. Daraufhin werden die Busbotschaften und dessen Namen dargestellt. So soll die Kommunikation zwischen der aktiven Wankstabilisierung und der Schnittstelle für die Visualisierung überprüft werden.
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Auslesen der folgenden Werte als Busnachricht und in Klartext: aktueller Energiebedarf, Wankwinkel</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_4_2

## 5.7 Testfall 07

Nummer	TF_07
Titel	Überprüfung der Schnittstelle für die Diagnose
Status	Realisiert
Erläuterung	Um die Schnittstelle des Systems für die Diagnose zu überprüfen, wird ein geeignetes Diagnosegerät an die OBD2-Schnittstelle des Fahrzeugs angeschlossen. Anschließend werden die Zündung und das Diagnosegerät eingeschaltet. Ist das Diagnosegerät hochgefahren und verbunden, können danach Messwerte und Informationen über verbaute Hard- und Software ausgegeben werden. Auch der Ereignisspeicher kann betrachtet werden. So soll die Kommunikation zwischen der aktiven Wankstabilisierung und dem Diagnosetool geprüft werden.
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mit dem Diagnosetool können Busnachrichten ausgegeben werden</li><li>• Es können Messungen durchgeführt werden</li><li>• Der Ereignisspeicher kann ausgelesen und gelöscht werden.</li><li>• Informationen über verbaute Hard- und Software werden angegeben.</li><li>• Es kann eine Stellglieddiagnose durchgeführt werden.</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_4_3

## 5.8 Testfall 08

Nummer	TF_08
Titel	Systemdefekt
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Nun soll die Reaktion des Systems auf unterschiedliche Defekte geprüft werden. Dazu soll bei stehendem Fahrzeug und abgekühltem Motor jeweils ein Fehler eingebaut werden. Anschließend wird ein OBD2-Diagnosegerät an das Fahrzeug angeschlossen. Danach wird das Fahrzeug gefahren und auf das gewünschte Reaktionsverhalten geprüft, indem unter anderem während der Fahrt die aktuelle Härte des Feder-Dämpfer-Systems ausgelesen wird. Außerdem soll das Kombiinstrument auf Fehlermeldungen sowie der Ereignisspeicher beobachtet werden.</p> <p>Dabei soll das Fahrzeug mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von ca. 90km/h über ein zuvor festgelegtes Prüfgelände gefahren werden, welches zudem einen Abschnitt mit Kopfsteinpflastern enthält. Danach muss das Fahrzeug abgestellt werden und ein Zündungswechsel erfolgen. Nach dem Zündungswechsel muss die Fehlermeldung und Warnleuchte erscheinen. Danach soll bei ausgeschalteter Zündung ein neuer Fehler verbaut werden. Das Ein- und Ausbauen der Fehler muss bei stehendem Fahrzeug und abgekühlten Motor erfolgen. Zwischendurch soll der Fehlerspeicher gelöscht werden.</p> <p>Folgende Fehler sollen nacheinander eingebaut und getestet werden:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mechanische Blockade des Feder-Dämpfer-Systems auf beiden Seiten nacheinander</li><li>• Durchtrennen des CAN-Busses, welcher zur Kommunikation mit dem Fahrwerk dient</li><li>• Abziehen des Steckers am System, worüber die Stromversorgung und jegliche Kommunikation mit anderen Steuergeräten erfolgt</li><li>• Einbau eines Kaltleiters in den CAN-Bus, der für die Kommunikation mit dem Fahrwerk verantwortlich ist</li></ul>

Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei einem Systemdefekt erscheint eine Warnleuchte im Kombi und es wird eine Fehlermeldung für zehn Sekunden angezeigt.</li> <li>• Auch nach einem Zündungswechsel muss die Fehlermeldung für zehn Sekunden erscheinen und die Warnleuchte dauerhaft leuchten.</li> <li>• Nach einem Systemdefekt muss das System eine konstante Härte des Feder-Dämpfer-Systems oder des Stabilisators halten.</li> </ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_4_4

## 5.9 Testfall 09

Nummer	TF_09
Titel	Fahrkomfort
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Um den Fahrkomfort des Systems zu testen, wird hierfür eine Probandenstudie durchgeführt. Um das Ergebnis der Studie auf die Allgemeinheit der Fahrzeugnutzer projizieren zu können, werden Frauen und Männer in gleicher Anzahl und gleichverteiltem Alter ausgewählt.</p> <p>Die Studie wird mit den sechs meistverkauften Fahrzeugmodellen mit aktiver Kontrolle der Wankbewegungen sowohl am Tag als auch bei Nacht durchgeführt. Die von den Probanden zu fahrende Strecke ist standardisiert und enthält mindestens eine 90°-Kurve, Schlaglöcher verschiedener Tiefen und einen Abschnitt mit Kopfsteinpflaster. Einzelne Steine des Kopfsteinpflasters ragen bis zu 60mm aus den umliegenden Steinen heraus und bilden somit eine Fahrbahnunebenheit. Sowohl während der Fahrten als auch danach sollen alle Probanden die Darstellung der Eckdaten des Systems im Kombiinstrument, die akustische Wahrnehmung und die Reaktionszeit des Systems, sich den Fahrbahnunebenheiten anzupassen, bewerten. Zudem sollen sie bewerten, inwiefern sich der Fahrkomfort durch die aktive Kontrolle der Wankbewegungen verändert hat.</p>
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei der Probandenbefragung dürfen höchstens 5% der Befragten angeben, dass der Fahrkomfort „angemessen“ oder „sehr schlecht“ ist.</li> </ul>
Anforderungsbezug	→REQ_1_2, REQ_5_1, REQ_5_2, REQ_5_3, REQ_5_5, REQ_5_6, REQ_6_1, REQ_6_5

## 5.10 Testfall 10

Nummer	TF_10
Titel	Visuelle Darstellung
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Dem Fahrer soll die Wirkung des Systems mithilfe von Eckdaten visualisiert werden. Es soll der aktuelle Energiebedarf und der Wankwinkel dargestellt werden.</p> <p>Für die Prüfung der angezeigten Werte soll zuerst eine einfache Plausibilitätsprüfung der angezeigten Werte in einem Prototypen stattfinden. Danach wird mit einem Prototyp eine Fahrt gemacht und die ausgegebenen Eckdaten des Systems aufgezeichnet. Dabei kann die gleiche Strecke wie für den Testfall TF_09 genutzt werden. Am Fahrzeug ist ein unabhängiges Messsystem anzubringen, dass ebenfalls die Fahrt aufzeichnet. Im Anschluss kann die Korrektheit der ausgegebenen Daten geprüft werden. Dabei soll die Fehlertoleranz kleiner als 2% sein.</p>
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zwischen den angezeigten und gemessenen Werten darf eine maximale Toleranz von 2% eingehalten werden.</li><li>• Die Eckdaten sollen in ihrer Größe und Darstellung für den Fahrer angemessen zu sehen sein.</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_5_3



## 5.11 Testfall 11

Nummer	TF_11
Titel	Sicherheit und Konformität
Status	Realisiert
Erläuterung	Um das Fahrzeug zulassen und verkaufen zu können, muss das Fahrzeug und auch die aktive Wankstabilisierung den gültigen Normen entsprechen. Die Überprüfung der Normen erfolgt durch zertifizierte Unternehmen. Schon während des Entwicklungsprozesses ist es notwendig, dass die Entwicklungsabteilungen in ihrer Arbeit die Normen berücksichtigen.
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Die Einhaltung der Normen wird durch eine Zertifizierung bestätigt.</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_5_4, REQ_1_3

## 5.12 Testfall 12

Nummer	TF_12
Titel	Entwicklungskosten
Status	Realisiert
Erläuterung	Um zu verhindern, dass das Budget zu stark überzogen wird, müssen die Entwicklungskosten beobachtet werden und nachweislich in Entscheidungen einfließen. Am Ende der Entwicklung muss auch eine buchhalterische Zusammenfassung der Kosten stattfinden, um das Einhalten des Budgets zu prüfen.
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Das für die Entwicklung zur Verfügung stehende Budget wird eingehalten.</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_2_1

### 5.13 Testfall 13

Nummer	TF_13
Titel	Stückkosten
Status	Realisiert
Erläuterung	Damit sich die aktive Wankstabilisierung wirtschaftlich lohnt, ist für die Stückkosten in den Anforderungen eine Obergrenze formuliert. Dass die tatsächlichen Stückkosten diesen Anforderungen entsprechen, muss geprüft werden.
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Die vorgegebenen Stückkosten von maximal 3500€ werden eingehalten.</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_2_2

### 5.14 Testfall 14

Nummer	TF_14
Titel	Integration
Status	Realisiert
Erläuterung	Das System der aktiven Wankstabilisierung darf von außen nicht sichtbar sein und darf andere Bauteile oder Funktionsgruppen in ihrer Funktion nicht beeinträchtigen. Beide Punkte müssen kontrolliert werden.
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Für die Sichtbarkeit von außen reicht ein Rundgang um das Fahrzeug, da das System für den Kunden unsichtbar bleiben soll.</li><li>• Die räumliche Integration der Wankstabilisierung soll optisch kontrolliert werden.</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_1_5, REQ_1_4

## 5.15 Testfall 15

Nummer	TF_15
Titel	Einsatz in verschiedenen Fahrzeugen
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Da das System in verschiedenen Modellen eingesetzt wird, muss die Funktion der Wankstabilisierung in allen Modellen, in denen die Wankstabilisierung auch erhältlich ist, getestet werden. Die Modelle können sich bezüglich ihres Gewichts, ihres Schwerpunktes oder ihrer Fahrwerksgeometrie unterscheiden. Dennoch soll die Wirkung des Systems für den Fahrer immer gleich sein. Das heißt auf der gleichen Strecke, die bei gleichen Bedingungen mit der gleichen Geschwindigkeit und den gleichen Lenkwinkeln gefahren wird, muss der Wankwinkel bei den verschiedenen Modellen identisch bzw. innerhalb einer akzeptablen Toleranz sein. Dafür muss die Fahrt, welche auf der gleichen Strecke wie bei Testfall TF_09 stattfindet, mit einem Messprogramm, welches Größen wie u. a. die Geschwindigkeit, den Lenkwinkel oder den Wankwinkel aufzeichnet, absolviert werden. Das Messprogramm wird über die OBD2-Anbindung mit dem Fahrzeug verbunden. Nach den Fahrten sollen die Messwerte der verschiedenen Fahrzeuge verglichen werden und innerhalb der Toleranz liegen.</p>
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Der Wankwinkel muss bei den verschiedenen Modellen auf gleicher Strecke bei gleichen Bedingungen identisch bzw. innerhalb einer akzeptablen Toleranz von 5% sein.</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_1_1, REQ_1_2

## 5.16 Testfall 16

Nummer	TF_16
Titel	Fachwerkstatt
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Für die Inspektion müssen die mechanischen Bauteile des Systems vom Mechaniker visuell und manuell erreichbar sein, um den ordnungsgemäßen Zustand und ggf. den festen Sitz von Bauteilen zu kontrollieren.</p> <p>Dadurch ist es nötig, dass das System nach dem Einbau in einer Werkstatt auf die genannten Ansprüche getestet wird.</p> <p>Für den Vergleich des Reparaturaufwandes, der durch das System zur Wankstabilisierung entsteht, finden zwei Reparaturen (Austausch des kompletten Systems) an beiden Fahrzeugen statt und der Aufwand wird danach verglichen.</p>
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mechanische Bestandteile des Systems müssen visuell und manuell erreichbar sein.</li><li>• Einzelne Bauteile sollen im Schadensfall ausgebaut, geprüft und wieder eingebaut werden können.</li><li>• Der Aufwand für die Reparatur soll maximal doppelt so hoch sein, wie bei dem gleichen Modell ohne Wankstabilisierung.</li></ul>
Anforderungsbezug	→REQ_1_7, REQ_2_3, REQ_4_5,

## 5.17 Testfall 17

Nummer	TF_17
Titel	Einsatz im Heißland
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Zur Überprüfung des Gesamtsystems und dessen Funktionalität unter erschwerten Bedingungen aufgrund hoher Außentemperatur werden die 30 meistverkauften Fahrzeuge bis zur Mittelklasse mit dem System zur aktiven Wankkontrolle ausgewählt.</p> <p>Zunächst müssen die Modelle mit dem verbauten System organisiert werden. Diese werden über eine Dauer von 10 Tagen täglich 500 km auf verschiedenen Fahrstrecken in einer Region, welche Temperaturen bis zu 45°C im Schatten erreicht, bewegt. Alle Fahrzeuge absolvieren dieselben Strecken. Die Streckenprofile weisen verschiedene Gegebenheiten auf. Dazu zählen Kurvenvielfalt, Kopfsteinpflaster, Schlaglöcher, Gullideckel, Regenwasserrillen und weitere Unregelmäßigkeiten. Die Geschwindigkeiten variieren zwischen Schrittgeschwindigkeit und der Höchstgeschwindigkeit der jeweiligen Modelle. Die durchgeführten Fahrmanöver entsprechen dem Verhalten des typischen Kunden.</p> <p>Nach dem Einsatz im Heißland sollen die Bauteile der Wankstabilisierung auf Korrosion und Alterung durch die Hitze geprüft werden. Dazu findet vor und nach dem Einsatz eine Prüfstandsmessung statt.</p>
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein akzeptables Maß an Korrosion ist ein leichter Flugrost.</li> <li>• Eine Alterung der Leitungen durch die Hitze darf nicht nachweisbar sein.</li> <li>• Die Abweichung zwischen beiden Prüfstandsmessungen darf 5% nicht überschreiten.</li> </ul>
Anforderungsbezug	→REQ_6_2, REQ_6_3, REQ_5_1, REQ_5_2, REQ_5_6, REQ_5_3, REQ_6_1, REQ_5_4, REQ_1_2, REQ_1_8, REQ_1_9

## 5.18 Testfall 18

Nummer	TF_18
Titel	Einsatz im Kaltland
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Zur Überprüfung des Gesamtsystems und dessen Funktionalität unter erschwerten Bedingungen aufgrund niedriger Außentemperatur werden die 30 meistverkauften Fahrzeuge bis zur Mittelklasse mit dem System zur aktiven Wankkontrolle ausgestattet.</p> <p>Zunächst müssen die Modelle mit dem verbauten System organisiert werden. Diese werden über eine Dauer von 10 Tagen täglich 500 km auf verschiedenen Fahrstrecken in einer schneereichen Region, welche auf eine Temperatur bis -25°C fällt bewegt. Alle Fahrzeuge absolvieren dieselben Strecken. Die Streckenprofile weisen verschiedene Gegebenheiten auf. Dazu zählen Kurvenvielfalt, Kopfsteinpflaster, Schlaglöcher, Gullideckel, Regenwasserrillen und weitere Unregelmäßigkeiten. Die Geschwindigkeiten variieren zwischen Schrittgeschwindigkeit und der höchstmöglichen bei den entsprechenden Gegebenheiten, der jeweiligen Modelle. Die Durchgeführten Fahrmanöver entsprechen dem Verhalten des typischen Kunden.</p> <p>Nach dem Einsatz im Kaltland sollen die Bauteile der Wankstabilisierung auf Korrosion und Alterung durch Kälte geprüft werden. Dazu findet vor und nach dem Einsatz eine Prüfstandsmessung statt.</p>
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein akzeptables Maß an Korrosion ist ein leichter Flugrost.</li> <li>• Eine Alterung der Leitungen durch die Kälte darf nicht nachweisbar sein.</li> <li>• Die Abweichung zwischen beiden Prüfstandsmessungen darf 5% nicht überschreiten.</li> </ul>
Anforderungsbezug	→REQ_6_2, REQ_6_3, REQ_5_1, REQ_5_2, REQ_5_6, REQ_5_3, REQ_6_1, REQ_5_4, REQ_1_2, REQ_1_08, REQ_1_9

## 5.19 Testfall 19

Nummer	TF_19
Titel	Hardware in the Loop
Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Das System wird dazu auf eine entsprechende Halterung eines Prüfstandes montiert. Der Prüfstand besitzt eine Vorrichtung, um einen realitätsnahen Gebrauch des Systems zu simulieren. In der Software des Prüfstandes sind entsprechende Größen hinterlegt. Diese wurden basierend auf Fahrdaten echter Fahrzeuge ermittelt und berechnet. Die Aktive Wankkontrolle kann nun verschiedenen Belastungen ausgesetzt werden. Die maximale Belastung wäre eine zweieinhalb so starke Wankneigung bzw. Belastung im Vergleich zum üblichen Straßenverkehr, die das System kompensieren soll. Auch sehr feine Belastungen wie zum Beispiel Unebenheiten kleiner als 10cm werden getestet. Dabei protokolliert der Prüfstand zeitgleich unterschiedlichste Daten. Anhand dieser ist eine Auswertung der korrekten Funktionalität möglich. Außerdem soll die Lautstärke des Systems mit einem Dezibelmessgerät gemessen werden.</p> <p>Nachdem das System korrekt montiert wurde, wird der Modus, der geprüft werden soll, gewählt. Das System soll 300.000-mal Ein- und Ausfedern bzw. den vollen Arbeitsweg absolvieren. Ist die Durchführung beendet, müssen die protokollierten Daten auf Exaktheit geprüft werden.</p> <p>Nach dem Einsatz muss das System auf Verschleiß untersucht werden.</p>
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"><li>• Die Lautstärke darf eine Grenze von 25dB nicht überschreiten.</li><li>• Der Verschleiß muss so gering sein, dass die Funktion des Systems nicht eingeschränkt ist.</li><li>• Die Funktionalität darf um maximal 5% abnehmen und es darf kein Fehlverhalten vorhanden sein.</li></ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_5_1, REQ_5_2, REQ_5_6, REQ_5_3, REQ_1_8, REQ_5_5, REQ_5_7, REQ_5_8

## 5.20 Testfall 20

Nummer	TF_20
Titel	Dauerlauf

Status	Realisiert
Erläuterung	<p>Um die Lebensdauer des Systems zu erproben, ist ein Nutzen über lange Zeit notwendig. Zunächst müssen fünf der häufig gekauften Modelle, die das hier entwickelten Wanksystem verbaut haben, organisiert werden.</p> <p>Diese werden auf einem Prüfgelände unter mitteleuropäischen Gegebenheiten getestet. Dazu werden die Fahrzeuge über einen Zeitraum von drei Monaten täglich zehn Stunden mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 120 km/h gefahren. Die Fahrbahn und die Fahrweise gleichen Normalbedingungen, denen ein Fahrzeug typischerweise ausgesetzt ist.</p> <p>Die Funktion benachbarter Bauteile bei einem Fahrzeug mit aktiver Wankkontrolle soll mit einem Fahrzeug ohne ein solches System verglichen werden.</p>
Akzeptanzkriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das System soll mindestens über eine Laufleistung von 100 000 km fehlerfrei funktionieren.</li> <li>• Die Wankstabilisierung darf andere Bauteile oder Funktionsgruppen in ihrer Funktion nicht beeinträchtigen.</li> </ul>
Anforderungsbezug	→ REQ_1_10, REQ_1_8, REQ_1_4



## 6. Konzepte

Nachdem die Anforderungen und Testfällen formuliert wurden, sollen nun Lösungskonzepte entwickelt werden. Die Entwickler stehen dabei vor der Herausforderung ein System mit aktiven Bauteilen zu entwickeln, dass gleichzeitig sehr komfortabel ist und kaum Wanken zulässt. Weiter erschwert wird die Entwicklung durch den knappen Bauraum, ein begrenztes Budget und weitere Anforderungen. Nachfolgend werden mehrere Konzepte vorgestellt, die diese Anforderungen in unterschiedlichem Maße erfüllen.

### 6.1 Variante 1: Elektromechanische Feder-Dämpfer-Einheit

Das Fahrwerkskonzept ist als Einzelradaufhängung an Vorder- und Hinterachse realisiert. Anstatt von Federn und Dämpfer kommen bei diesem System Linearmotoren (in Abbildung zu sehen) an allen vier Rädern zum Einsatz. Eine feine Sensorik erfasst innerhalb einiger Millisekunden jede Bewegung, die der Untergrund auf das Rad und das Fahrzeug ausübt.

Fährt das Fahrzeug eine Kurve, werden die kurveninneren Räder etwas nach Innen eingefahren und im gleichen Moment werden die Räder der kurvenäußeren Seite etwas ausgefahren. Dabei bezieht die Steuereinheit Größen wie z. B. Abstände zwischen Karosserie und Boden oder Federwege mit ein. Somit wird die Wankbewegung nahezu vollständig ausgeglichen.

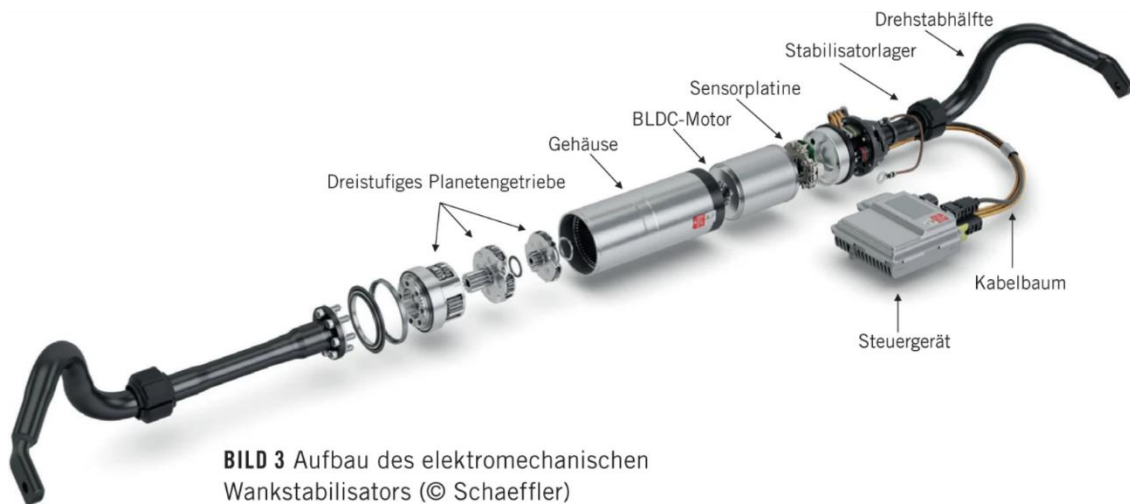
Mit diesem System werden zusätzlich zum Wanken auch die Nickbewegungen des Fahrzeugs beim Beschleunigen und Bremsen entgegengewirkt.

Auch Schlaglöcher oder andere Unebenheiten werden von der Sensorik erkannt und ausgeglichen. Dieses System unterdrückt beinahe alle ungewünschten Karosseriebewegungen.



Abbildung 2: Die Vorderachse des Systems mit Linearmotoren

## 6.2 Variante 2: Elektromechanischer Stabilisator



**BILD 3** Aufbau des elektromechanischen Wankstabilisators (© Schaeffler)

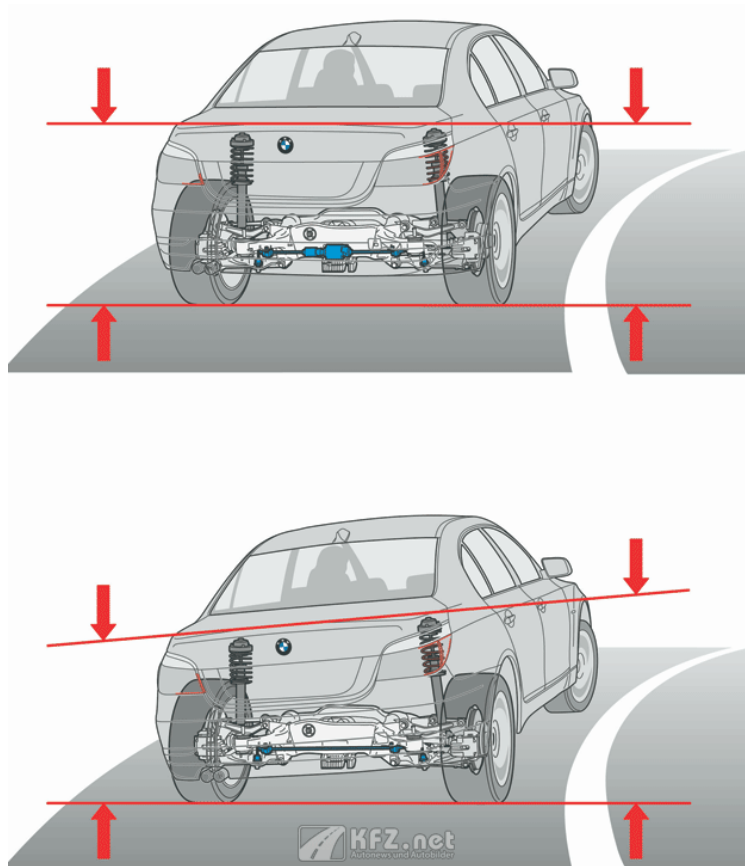
### **Abbildung 3: Elektromechanischer Stabilisator**

Sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterachse wird jeweils ein elektromechanischer Stabilisator verbaut. Die Stabilisatoren werden durch einen kompakten Elektromotor, welcher ein dreistufiges Planetengetriebe besitzt, in jeweils zwei Hälften geteilt. Diese Variante der aktiven Kontrolle der Wankbewegungen basiert auf dem 48-V-Bordnetz. Abhängig von der Fahrsituation verdreht oder entkoppelt der Stellmotor die beiden Stabilisatorhälften. Bei Kurvenfahrten werden die beiden Hälften der Stabilisatoren aktiv gegeneinander verdreht. Dadurch werden Stabilisierungsmomente erzeugt, sodass die Wankbewegungen des Fahrzeugs minimiert oder komplett beseitigt werden. Zudem wird hierdurch eine Steifigkeit des Fahrwerks des Fahrzeugs erreicht und somit ein sportlicheres Fahrverhalten. Das Planetengetriebe und die E-Maschine bringen zusammen stufenlos bis 1200Nm Moment auf, wodurch bei Kurvenfahrten ein straffes und sportliches Handling gewährleistet wird. Wird jedoch auf einer unebenen Fahrbahn ausschließlich geradeaus gefahren, entkoppelt der Stellmotor die Stabilisatorhälften und passt das Dämpfungsmaß an. Dies sorgt für ein weicheres Ansprechen der Federung und somit für einen gesteigerten Fahrkomfort. Folglich ist das Fahrwerk bei einseitigen Anregungen nachgiebig. Das Fahrzeug erhält durch die elektromechanischen Stabilisatoren eine hohe Agilität und Zielgenauigkeit über den gesamten Geschwindigkeitsbereich hinweg. Zudem sind diese in Fahrzeugen der Mittel- und Oberklasse auch mit Hybrid- bzw. Elektroantrieb einsetzbar. Verbaut wurde diese Variante der Wankstabilisierung bereits in Fahrzeugen von Audi, VW, BMW und Mercedes.

### 6.3 Variante 3: Hydraulischer Stabilisator

Als drittes Konzept wären hydraulisch geregelte Stabilisatoren an Vorder- und Hinterachse möglich. Dieses Konzept ähnelt dem zweiten Konzept, da auch hier die Stabilisatoren als Einstellwerkzeug genutzt werden. Allerdings ist die Ansteuerung der aktiven Stabilisatoren unterschiedlich.

Die Grundidee dieses Systems ist es, je nach Fahrsituation die Torsionsfederhärte des Stabilisators so anzupassen, dass bei Geradeausfahrt ein maximaler Komfort gewährleistet wird und bei Kurvenfahrt eine minimale Wankbewegung zugelassen wird. Um solch ein System zu realisieren, muss das Fahrzeug die aktuelle Fahrsituation erkennen können. Dazu benötigt es u. a. Informationen zum Lenkwinkel, Geschwindigkeit und Querbeschleunigung. Mithilfe einer elektronischen Regelung muss es nun die angemessene Härte des Stabilisators bestimmen und mittels eines hydraulischen Aktors einstellen. Bei Geradeausfahrt kann bei einer einseitigen Anregung die Stabilisatorhärte bzw. die Größe des Torsionsmomentes eher weich eingestellt werden, sodass die Feder-Dämpfer-Einheiten auf einer Achse sehr unabhängig voneinander sind. So wird ein hoher Fahrkomfort erreicht. Bei einer Kurve kann der Stabilisator aber sehr hart eingestellt werden, sodass unterschiedliche Bewegungen der jeweiligen Feder-Dämpfer-Einheiten erschwert werden. Dadurch wird auch ein Wanken erschwert, da bei einem sehr harten Stabilisator ein Eintauchen auf der einen und ein Ausfedern auf der anderen Seite fast komplett unterbunden wird. Für die hydraulische Regelung wird ein Kreislauf mit Hydraulikflüssigkeit benötigt, eine Hydraulikpumpe und zwei elektronisch geregelte Druckregelventile. Zwei Schwenkmotoren verdrehen die Hälften des Stabilisators gegeneinander und erzeugen so ein Torsionsmoment. Durch die Druckregelventile kann der Druck je nach Fahrsituation angepasst werden.



**Abbildung 4: Hydraulische Stabilisatorverstellung**

So kann mithilfe des aktiven Stabilisators eine höhere Lenkpräzision und ein stabileres Fahrverhalten erreicht werden. Die Feder-Dämpfer-Einheit muss im Vergleich zu einem Fahrzeug ohne aktive Wankstabilisierung nicht verändert werden. Allerdings müssen je nach Ausführung ein oder zwei zusätzliche Hydraulikkreisläufe ergänzt werden.

## 6.4 Variante 4: Luftfahrwerk

Bei dieser Variante erhält der Wagen die Informationen bezüglich der Fahrbahngegebenheiten, bevor diese erreicht werden. Entgegen der anderen Varianten wird hier mit einer Stereokamera und Laserscannern die Fahrbahn abgetastet, sodass das System genau weiß, was es und die Insassen erwartet. Um konkurrenzfähig im Vergleich zu den drei vorangegangenen Systemen zu bleiben und ein genauso schnelles Reagieren des Systems zu ermöglichen, genügt es hier nicht Sensoren zu verbauen, die Stereokamera und die Laserscanner sind notwendig. Dank dieser Informationen ist ein schnelles Ansteuern der Luftfederung möglich. Dieses System ist so exakt, dass in einer Entfernung bis 17 Metern Unebenheiten auf bis zu einem Millimeter genau erfasst werden können. Gibt es ein

Schlagloch, welches es zu Überfahren gilt, wird die Federung darauf vorbereitet und der Fahrkomfort erhöht. Ebenso wird auch auf Kurvenfahrten präzise reagiert.

Über zwei zusätzliche frequenzabhängige Ventile wird die Dämpfung pro Rad separat reguliert. Es handelt sich um ein geschlossenes System. Das heißt die Luft wird zum Anheben oder Senken nicht aus der Umgebung angesaugt oder an diese abgegeben. Stattdessen befindet sich die verdichtete Luft in einem Kreislauf zwischen den Federn und dem Speicher. In den Federn sind spezielle, mit Luft gefüllte Gummibälge integriert. Je nach Situation wird der Luftinhalt im Balg geändert. Bei rasanter Kurvenfahrt werden die einzelnen Bälge entsprechend abgelassen bzw. mit Luft gefüllt. Dadurch wird die Wankbewegung reduziert und eine stabilere und sichere Fahrt gewährleistet.

Das System enthält an der Vorderachse Luftfederbeine mit integrierten Dämpfern und an der Hinterachse Luftfedern mit separaten Dämpfern. Zudem sind eine Luftpumpe, ein Luftspeicher, eine Ventileinheit, Luftfederventile, ein Steuergerät und Sensoren verbaut. Der Informationsfluss erfolgt vollautomatisch und elektronisch.



**Abbildung 5: Luftfahrwerk**

## 7. Konzeptauswahl

Oberkategorie	Gew.	Unterkategorie	Gew.	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
Kosten	20	Entwicklung	7	8	7	6	5
		Herstellung	8	5	9	7	3
		Werkstatt	5	4	8	6	5
		Punktzahl in der Unterkategorie		116	161	128	84
Komfort	25	Lautstärke	4	6	7	7	3
		Wankunterdrückung	8	9	9	9	10
		Reaktionszeit	5	9	9	6	10
		Einseitige Anregungen	8	8	6	6	10
		Punktzahl in der Unterkategorie		205	193	178	222
Technik	18	Energieversorgung	2	10	10	10	10
		Energieeffizienz	4	9	10	7	5
		Leistungsbedarf	4	1	8	6	5
		Elektromagnetische Verträglichkeit	3	3	4	7	7
		Einstellbarkeit der Steifigkeit	5	9	8	8	8
		Punktzahl in der Unterkategorie		94	124	113	101
Nutzung	22	Temperatur	3	10	10	8	4
		Witterung	3	8	8	8	4
		Lebensdauer	3	7	9	5	5
		Fahrzeugsicherheit	4	8	8	2	6
		Reparatur	2	4	7	3	4
		Verhalten bei Systemdefekten	4	2	6	6	4
		Lichtverhältnisse	3	10	10	10	1
		Punktzahl in der Unterkategorie		153	181	131	90
Einbau	15	Integration	9	3	9	7	5
		Applikation	6	4	6	6	2
		Punktzahl in der Unterkategorie		51	117	99	57
Auswertung		Gesamtpunktzahl		619	776	649	554

Bei der Beurteilung der verschiedenen Varianten wurden mehrere übergeordnete Aspekte des Systems betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind.

- Kosten
- Komfort
- Technik
- Nutzung
- Einbau

Die einzelnen Aspekte gliedern sich in mehrere konkrete Unterkategorien auf, in denen die Variante dann bewertet wird. Die Unterkategorien sind nachfolgend aufgelistet und erläutert.

**Kosten:**

- Entwicklungskosten: Finanzieller Aufwand für die Entwicklung des Systems
- Herstellungskosten: Kosten für die Herstellung des Systems
- Werkstattkosten: Kosten, die bei der Reparatur entstehen

**Komfort:**

- Lautstärke: Lautstärke der Wankstabilisierung
- Wankunterdrückung: Maß für eine genau, sauber arbeitende, komfortable Wankstabilisierung
- Reaktionszeit: Zeit, die das System braucht sich der aktuellen Fahrsituation anzupassen
- Einseitige Anregung: Maß für den Fahrkomfort bei einseitigen Anregungen

**Technik:**

- Energieversorgung: Mit welchem Bordnetz muss das Fahrzeug ausgestattet sein
- Energieeffizienz: Was für ein Energiebedarf hat das System
- Leistungsbedarf: Was für Leistungsspitzen erreicht das System
- Elektromagnetische Verträglichkeit: Beeinflussung des Systems für die Wankunterdrückung durch Elektronik des Fahrzeugs
- Einstellbarkeit der Steifigkeit: Präzision der Wankkontrolle bei verschiedensten Gegebenheiten

**Nutzung:**

- Temperatur: Funktionsfähig trotz unterschiedlichen Temperaturen.
- Witterung: Erbringt bei sämtlichen Witterungsbedingungen eine Wankstabilisierung in gleichem Maße.
- Lebensdauer: Zeitraum in dem das System voll funktionsfähig im Fahrzeug verbaut ist.
- Fahrzeugsicherheit: Gewährleistung von Sicherheit für den Fahrer und Umwelt.
- Reparatur: Komplexität der Reparatur / Tausch von einzelnen Systemkomponenten
- Verhalten bei Systemdefekten: Möglichkeit das Verhalten möglichst komfortabel gestalten zu können.
- Lichtverhältnisse: Funktionsfähigkeit bei allen Tageszeiten, bei Tag und Nacht.

**Einbau:**

- Integration: Räumliche Unterbringung des Systems im Fahrzeug
- Applikation: Anpassung der Software des Systems an verschiedene Modelle

Den einzelnen Oberkategorien wird eine Gewichtung in Prozent zugewiesen. Dabei stehen insgesamt natürlich 100% zur Verfügung. Jeder Oberkategorie wird nun ein Anteil zugewiesen. Schließlich sind nicht alle Oberkategorien gleich wichtig. Beispielsweise ist der Komfort von größerer Bedeutung als der Einbau. Auch die Unterkategorien gehen gewichtet in die Bewertung ein. Dabei orientiert sich die Gewichtung der Unterkategorie an der Gewichtung der Oberkategorie. Wird die Oberkategorie mit 20% gewertet, addiert sich die Gewichtung der Unterkategorien, die zu der jeweiligen Oberkategorie gehören, zu 20%. Wie die einzelnen Kategorien gewichtet werden, wird im Kapitel 6.1 erläutert.



Bei der Bewertung der Varianten wurde eine Skala von eins bis zehn verwendet. Je nachdem wie gut die Varianten in den Unterkategorien abschneiden, werden mehr oder weniger Punkte vergeben. Die Bedeutung der Punktzahlen ist in der nachfolgenden Tabelle aufgeschlüsselt.

Bedeutung	Punktzahl
Sehr gut	10
Annehmbar/Angemessen	5
Sehr schlecht	1

Nachdem alle Varianten beurteilt wurden, werden innerhalb der Unterkategorien die erreichten Punkte zusammengezählt. Dabei wird die erreichte Punktzahl mit der Gewichtung multipliziert und für alle Unterkategorien einer Oberkategorie zusammenaddiert. So kann man erkennen, wie gut die einzelnen Varianten innerhalb einer Oberkategorie abgeschnitten haben. Für die Gesamtpunktzahl werden die erreichten Punkte der Oberkategorien zusammenaddiert und es ergibt sich die Gesamtpunktzahl.

## 7.1 Entscheidung über die Gewichtung

### Kosten

Die Kosten für den Endkunden ist eins der primären Kaufentscheidungen und hat wegen ihres Stellenwerts eine Gewichtung von insgesamt 20 Prozent bekommen. Der Preis, der letztendlich vom Endnutzer bezahlt werden muss, setzt sich aus den Kosten der Entwicklung, zu einem großen Teil der Herstellung und zu einem etwas niedrigeren Teil, den Werkstattkosten zusammen. Die höchste Gewichtung der drei Kategorien hat der Teil der Herstellungskosten mit neun Prozent bekommen. Je günstiger die Kosten der Herstellung, desto günstiger ist der Preis, der an den Kunden weitergegeben werden kann. Je nach Stückzahl haben bereits wenige Cent eine große Auswirkung. Die nächstniedrigere Gewichtung haben die Entwicklungskosten mit sieben Prozent erhalten. Die Entwicklung eines Systems kostet mehrere Millionen Euro, die ebenso vom Käufer getragen werden müssen und entsprechend einen Teil des Kaufpreises ausmachen. Da jede Bestellung aber nur einen Bruchteil der Entwicklungskosten erhält, fällt dieses nicht so sehr in die Gewichtung, wie die

Herstellung. Zuletzt spielen die Werkstattkosten mit vier Prozent eine etwas geringere Rolle, da sie im Normalfall nur bei Ausnahmefällen in Folge von Defekten auftreten.

## **Komfort**

Der Oberkategorie Komfort wurde eine Gewichtung von 25% zugewiesen. Damit hat diese Oberkategorie die höchste Gewichtung. Dies liegt daran, dass zur Oberkategorie Komfort die beiden Unterpunkte Wankunterdrückung und einseitige Anregungen gehören. Beide Unterpunkte stellen den Sinn und Zweck des Systems zur Wankstabilisierung dar und stehen in der Entwicklung im Vordergrund. Andere Kategorien wie z. B. Kosten oder die technische Umsetzung sind auch von Bedeutung, allerdings werden die Systeme schlussendlich danach bewertet ihre Hauptaufgabe zu erledigen. Diese besteht bei einem System zur Wankstabilisierung daraus, auf der einen Seite ein Wanken des Fahrzeugs bei Kurvenfahrt zu verhindern und auf der anderen Seite einen maximalen Komfort bei einseitigen Anregungen durch Fahrbahnunebenheiten zu bieten. Das ist auch der Grund, weshalb die beiden Unterpunkte Wankunterdrückung und einseitige Anregung eine Gewichtung von jeweils 8% erhalten haben. Beide Punkte beeinflussen maßgeblich das Komfortgefühl des Kunden und ob dieser bereit, ist einen Aufpreis für die Wankstabilisierung zu bezahlen. Ebenfalls beeinflusst die Lautstärke das Komfort- und Wertigkeitsgefühl des Kunden. Macht sich die Wankstabilisierung lautstark bei der Fahrt bemerkbar, entsteht kein hochwertiger Eindruck. Leistet das System aber akustisch nicht wahrnehmbar seine Arbeit steigert das den Komfort. Daher wurde die Lautstärke mit 4% gewertet. Als weitere Kategorie wurde die Reaktionszeit des Systems mit 5% gewichtet. Für den Fahrkomfort ist es auch wichtig, dass die Wankstabilisierung sehr schnell auf die aktuelle Fahrsituation reagiert, um ein möglichst gleichmäßiges und stabiles Fahrerlebnis zu vermitteln. Dazu ist eine kurze Reaktionszeit von Interesse.

## **Technik**

An vierter Stelle der Kategorien stehen die technischen Aspekte der Systeme. Diesem wurden 18 % zugewiesen. Für die Realisierung eines Systems und die Zufriedenstellung des Kunden sind Überlegungen bezüglich der Energieversorgung, der Energieeffizienz, des Leistungsbedarf, der elektromagnetischen Verträglichkeit und der Einstellbarkeit der Steifigkeit wichtig. Für die Gewährleistung, sich an verschiedenste Fahrsituationen anzupassen, ist die Einstellbarkeit der Steifigkeit nötig. In dieser Kategorie besitzt sie die höchste Priorität und bekommt fünf Prozent zugewiesen. Mit vier Prozent ist die Energieeffizienz und der Leistungsbedarf gleichwichtig. Im Interesse des Kunden sollen diese beiden Werte immer möglichst gering ausfallen. Für ein störungsfreies Funktionieren des Systems darf es weder umliegende Technik elektrisch oder elektromagnetisch stören noch selbst gestört werden. Die

so genannte elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) erhält drei Prozent. Da unserem System Energie bereitgestellt werden muss, geht diese Unterkategorie mit zwei Prozent ein.

## **Nutzung**

In der gewichteten Bewertungsmatrix für die Konzeptauswahl lässt sich erkennen, dass die Oberkategorie Nutzung eine Gewichtung von 22% erhalten hat. Mit Blick auf die anderen Kategorien hat die Oberkategorie Nutzung nach dem Komfort die zweithöchste Bewertung erhalten. Der Fahrer denkt bei der Entscheidung, ein optionales System verbauen zu lassen zuerst darüber nach, wie gut dieses System funktioniert, den Fahrkomfort steigert und anschließend erst, inwiefern und in welchen Situationen es allgemein nutzbar ist. Da die Wankstabilisierung sowohl bei geringeren als auch bei hohen Geschwindigkeiten aktiv ist und in Fahrsituationen reagiert, welche für den Fahrer nicht ungefährlich sind wie beispielsweise eine Kurvenfahrt mit hoher Geschwindigkeit, spielen hierbei die Fahrzeugsicherheit und das Verhalten im Falle von Systemdefekten gleichermaßen eine sehr große Rolle. Aus diesem Grund erhalten die beiden Unterkategorien jeweils die höchste Gewichtung von vier Prozent. Die Anforderung an das System, dass dieses immer funktioniert und möglichst robust ist, sodass dieses den Lebenszyklus des Fahrzeugs überlebt, kommt bei dem Kunden anschließend auf. Hierbei ist es wichtig, dass das System sowohl zu allen Tageszeiten, bei allen Temperaturen und Witterungsbedingungen gleichermaßen einwandfrei funktioniert und dies möglichst lange. Deshalb haben die Unterkategorien Lichtverhältnisse, Lebensdauer, Temperatur und Witterung dieselbe Gewichtung von drei Prozent erhalten. An eine Reparatur und dessen Komplexität denkt der Kunde bei einer solchen Überlegung, wenn überhaupt, als letztes. Er geht beim Kauf eines Fahrzeugs nicht direkt davon aus, dass das System repariert werden muss. Jedoch sollte dieser Faktor nicht komplett außer Acht gelassen werden, weshalb er eine Gewichtung von zwei Prozent und somit die Niedrigste zugeteilt bekommt.

## **Einbau**

Der Oberkategorie Einbau wurde insgesamt 15 Prozent Gewichtung zugeordnet. Davon bekommt die Integration neun Prozent. Die Integration beschreibt den Raumbedarf des Systems und der Umfang der Eingriffe in bestehende Fahrzeugsysteme. Da Bauraum im Fahrzeug eine begrenzte Ressource ist, ist eine kompakte Bauweise und platzsparende Integration notwendig. Die Applikation beschreibt den Aufwand, der betrieben werden muss, um das System an verschiedene Fahrzeuge und Fahrzeugklassen anzupassen. Dafür ist es meist ausreichend die Software abzuändern, deshalb ist die Applikation mit sechs Prozent gewichtet.

## **7.2 Konzeptauswahl im Detail und Vergabe der Punkte**

### **7.2.1 Kosten**

#### **Entwicklung**

Variante 1 hat an der Stelle von allen vier Systemen mit acht die meisten Punkte erreicht. Linearmotoren werden in vielen Bereichen eingesetzt und es gibt viele Erfahrungswerte. Die Ansteuerung der Motoren erfordert keine Umwege über Pumpen und sie dienen auch als Sensorik. Die Varianten 2 und 3 haben mit sieben und sechs Punkten eine ähnlich hohe Punktzahl bekommen. Sie zeichnen sich durch ihre Einfachheit aus. Die Feder-Dämpfer-Systeme des Serienfahrzeugs können übernommen werden und es benötigt zusätzlich zu dem Steuergerät lediglich neue Stabilisatoren und deren Aufnahmen. Variante 3 hat wegen der Hydraulik etwas schlechter abgeschnitten. Mit fünf Punkten hat das Luftfahrwerk am wenigsten Punkte erhalten. Durch die umfangreiche Sensorik mit der Stereokamera und Laserscannern ist der Aufwand mit Bildverarbeitung, Messung, Adaption und Integration am umfangreichsten.

#### **Herstellung**

Bei den Herstellungskosten hat Variante 2 mit neun Punkten die beste Bewertung erhalten. Es müssen lediglich ein Steuergerät, zwei Elektromotoren und die Stabilisatorhälften hergestellt werden. Mit Variante 3 verhält es sich ähnlich, jedoch benötigt die Hydraulikeinheit eine Pumpe, und diverse Hydraulikschläuche. Daher hat dieses System sieben Punkte bekommen. Mit fünf Punkten folgt darauf das System mit den Linearmotoren. Die Herstellung dieser Motoren ist nicht sehr aufwendig, jedoch steckt ein großer Teil der Sensorik innerhalb dieser Bauteile, was die Produktion komplizierter macht. Außerdem spielt auch die Kalibrierung eine große Rolle. Jeder der vier Linearmotoren muss einzeln sehr präzise seine Position kennen. Mit drei Punkten hat Variante 4 die wenigsten Punkte erhalten. Das aufwendige System, das die Feder und den Dämpfer ersetzt, in Kombination mit dem Luftverdichter, dem Luftspeicher und der Leitungen macht dieses System am teuersten.

#### **Werkstatt**

Variante 2 hat in Bezug auf die Werkstattkosten mit acht Punkten die höchste Punktzahl bekommen. Wegen seiner Kompaktheit und der übersichtlichen Anzahl an Bauteilen ist die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Ausfall kommt geringer. Ein defektes Bauteil kann in akzeptabler Zeit ausgetauscht werden. Variante 3 erhält sechs Punkte, da es ähnlich kompakt ist wie das System von Variante 2, diesem jedoch wegen des Hydrauliksystems benachteiligt ist. Die Pumpe ist im Kurbeltrieb des Motors und der Ein- oder Ausbau kann durch die Enge sehr umfangreich sein. Das System muss nach der Öffnung des Hydraulikkreislaufes entlüftet

werden. Aufgrund seiner einfachen Bauweise erhält Variante 4 insgesamt fünf Punkte. Der Luftverdichter ist elektrisch betrieben, was den Tausch der Pumpe im Vergleich zu Variante 3 vereinfacht, jedoch gibt es viele zusätzliche Teilsysteme, wie den Luftspeicher, dessen Ein- und Ausbau je nach Platzierung im Fahrzeug sehr umständlich sein kann. Sollte einer der Luftbälge an den Federn beschädigt werden, muss das gesamte Federsystem ersetzt werden. Mit vier Punkten hat Variante 1 die schlechteste Bewertung erhalten. Wenn an der Sensorik oder Aktorik ein Defekt festgestellt wird, muss die gesamte Einheit ersetzt werden, was die Reparatur des Fahrzeugs sehr kostenintensiv werden lässt.

## **7.2.2 Komfort**

### **Lautstärke**

Für die Lautstärke haben die Varianten 2 und 3 eine Bewertung von sieben Punkten erhalten und die Variante 1 sechs Punkte. Alle drei Varianten nutzen E-Motoren, wobei die Varianten 2 und 3 nur zwei Stellmotoren für die zwei Stabilisatoren verbaut haben, während Variante 1 insgesamt vier E-Motoren als Feder-Dämpfer Paket einsetzt. Diese vier E-Motoren sind lauter als nur zwei bei Variante 2 und 3, weshalb die Variante 1 auch einen Punkt weniger bekommen hat. Allerdings sind alle drei Varianten während der Fahrt akustisch kaum wahrnehmbar und haben deshalb alle eine relativ hohe Bewertung bekommen. Die Variante 4 dagegen arbeitet mit Luftbälgen, die je nach Fahrsituation aufgepumpt oder abgeblasen werden. Um dies in der nötigen Geschwindigkeit zu erreichen, werden hohe Luftdrücke gebraucht, die wiederum eine starke Pumpe voraussetzen. Sowohl die Regelventile an den Luftbälgen als auch die Pumpe machen sich akustisch durchaus bemerkbar, weshalb nur drei Punkte gegeben wurden.

### **Wankunterdrückung**

Eine gute Wankstabilisierung bei Kurvenfahrt zu gewährleisten, war das Hauptaugenmerk der Entwicklung der verschiedenen Varianten, sodass alle Varianten eine sehr gute Wankunterdrückung bieten und auch allen funktionalen Anforderungen, die direkt die Wankstabilisierung betreffen, entsprechen. Die Varianten 1, 2 und 3 haben deshalb jeweils neun Punkte erhalten und die Variante 4 sogar zehn Punkte. Die Besonderheit von Variante 4 und auch der Grund, warum die volle Punktzahl gegeben wurde, liegen im vorausschauenden Charakter des Systems. Es verfügt über Kameras und Laserscanner, welche die Straße vor dem Fahrzeug erkennen. Das System berechnet mithilfe dieser Daten den angemessenen Luftdruck der Luftbälge im Voraus und kann ihn dann im richtigen Moment einstellen. Dadurch bietet die Variante 4 noch eine etwas bessere Wankstabilisierung als die Varianten 1, 2 und 3, weshalb die volle Punktzahl gegeben wurde.

## **Reaktionszeit**

Für die Reaktionszeit haben die Varianten 1 und 2 eine Bewertung von neun Punkten bekommen. Beide Systeme arbeiten mit E-Motoren, welche sehr schnell auf Sensordaten reagieren. Zwischen den Sensoren, der zentralen Steuereinheit und den Aktoren werden die Informationen mit hoher Geschwindigkeit übertragen und bearbeitet, was eine kurze Reaktionszeit bedeutet. Da die Variante 1 die E-Motoren individuell anspricht, gibt es in Bezug auf die Reaktionszeit keine Nachteile im Vergleich mit Variante 2. Die Variante 3 nutzt zwar auch E-Motoren, diese arbeiten aber mit der Hydraulikflüssigkeit zusammen, was das System im Vergleich zu Variante 2 verlangsamt. Deshalb gab es für diese Variante auch nur sechs Punkte. Die Variante 4 arbeitet mit Luftdruck, welcher individuell in den Luftbälgen eingestellt wird. Würde das System nur auf Sensordaten, die die aktuelle Fahrsituation beschreiben, reagieren, wäre es im Nachteil. Allerdings muss sich das System nicht reaktiv verhalten, da es über Kameras bzw. Laserscanner verfügt und sich so aktiv vorbereiten kann bzw. im richtigen Moment die richtige Federhärte einstellt. Deshalb wurde auch die volle Punktzahl gegeben, denn eine Reaktionszeit gibt es eigentlich nicht, da das System vorrausschaut.

## **Einseitige Anregungen**

Bei den einseitigen Anregungen haben die Varianten 1 und 4 besonders gut abgeschnitten, mit acht Punkten für die Variante 1 und zehn Punkten für die Variante 4. Das liegt an der jeweils räderspezifischen Einstellung der Linearmotoren bzw. Luftbälge. Beide können auf beiden Seiten unterschiedliche Feder-Dämpfer-Härten einstellen und so seitenunabhängig auf Fahrbahnunebenheiten reagieren. Die Variante 4 hat hier die volle Punktzahl erreicht, weil sie die radspezifische Einstellung der Luftbälge mit einem vorrausschauenden Kamera- bzw. Laserscanner System kombiniert und so individuell und vorrausschauend jede Unebenheit antizipieren kann. So bietet das System einen maximalen Fahrkomfort. Die Varianten 2 und 3 haben jeweils sechs Punkte erhalten. Beide Systeme verfügen über aktive Stabilisatoren, die die Fahrzeugseiten voneinander unabhängig machen. Allerdings verfügen sie über klassische Feder-Dämpfer Pakete, die nicht aktiv einstellbar sind. So müssen diese einen Kompromiss zwischen Fahrkomfort und Sportlichkeit finden. Durch den aktiven Stabilisator wird zwar noch mehr Fahrkomfort gewährleistet als ohne aktive Stabilisatoren, allerdings wird nicht der gleiche Fahrkomfort erreicht, wie bei einem System mit räderspezifischen aktiven Systemen, weshalb jeweils nur sechs Punkte erreicht wurden.

## **7.2.3 Technik**

### **Energieversorgung**

Die Systeme der verschiedenen Varianten können alle gemäß der Anforderung mit einem 48V Bordnetz realisiert werden. Dies ist aus Gründen der Sicherheit vorgegeben. Deshalb haben alle vier Systeme die volle Punktzahl erhalten.

### **Energieeffizienz**

Am effizientesten unter den Systemen ist der elektromechanische Stabilisator. Dieser erhält eine Bewertung von zehn Punkten. Dies liegt an den energiesparenden Elektromotoren, welche einen sehr hohen Wirkungsgrad aufweisen. Eine ähnlich hohe Bewertung, neun Punkte erhält aus demselben Grund Variante 1. Da jedoch pro Rad ein Elektromotor notwendig ist, also zwei mehr als bei Variante 2 kommt es zu dem Punktunterschied. Nicht ganz so gut stehen in dieser Unterkategorie Variante 3 und 4 da. Sowohl die Hydraulikpumpe als auch die Luftpumpe besitzen einen weniger guten Wirkungsgrad. Somit ist dessen Energieeffizienz nur ausreichend gut.

### **Leistungsbedarf**

Umso höher die Anzahl elektrischer Verbraucher in einem System ist und umso größer die benötigte Leistung ist, desto schlechter schneiden die Varianten ab. Da bei Variante 1 pro Rad anstatt von Federn und Dämpfern Linearmotoren verbaut sind, welche unabhängig voneinander die entsprechenden Kräfte aufbringen müssen, steigt der Leistungsbedarf. Dies ist der Grund für nur einen Punkt in dieser Unterkategorie. Eine mittelmäßige Bewertung hat Variante 4. Um die Luft zu regeln, wird eine Luftpumpe benötigt. Für dessen Betrieb wird viel Leistung benötigt. Etwas besser steht der hydraulische Stabilisator mit sechs Punkten da. Am besten schneidet Variante 2 mit acht Punkten ab. Variante 2 und 3 haben das ähnliche Funktionsprinzip. Der Unterschied besteht in der Ansteuerung der Stabilisatoren. Eine Hydraulikpumpe in Kombination mit einem Elektromotor arbeitet energieintensiver als ein Elektromotor, weshalb der elektromechanische Stabilisator in dieser Kategorie am besten abschneidet.

### **Elektromagnetische Verträglichkeit**

Gleich gut, mit sieben Punkten schneiden die Varianten 3 und 4 ab. Etwas schlechter sind Variante 2 mit vier Punkten und Variante 1 mit drei Punkten. Da die hauptsächliche Funktionsweise von Variante 3 und 4 nicht elektrisch, sondern hydraulisch bzw. pneumatisch erfolgen, wird die EMV nicht beeinflusst. Lediglich zugehörige Elektronik, welche jedoch in

jeder Variante benötigt werden, ist von Bedeutung. Aufgrund der in Variante 1 und 2 verbauten Elektromotoren als Hauptakteure kann die EMV sehr beeinflusst werden und die Bewertung fällt dementsprechend aus. Da Variante 1 gleich vier Motoren besitzt wurden nur drei Punkte vergeben.

### **Einstellbarkeit der Steifigkeit**

Am besten schneidet in diesem Aspekt Variante 1 mit neun Punkten ab. Gefolgt von den anderen drei Varianten mit einem Punkt Unterschied. Diese gute Bewertung rührt daher, da das Hauptaugenmerk der Systeme darin liegt, die Seitenneigung gering ausfallen zu lassen und somit eine gute Steifigkeit passend der Fahrsituation zu leisten. Dementsprechend weisen alle vier Varianten eine sehr gute Bewertung auf. Die Systeme können alle ihre Härte variieren. Bei Variante 1 geschieht dies separat pro Rad mittels der Linearmotoren. Diese können unabhängig voneinander verschiedene Werte annehmen und arbeiten so sehr präzise. Variante 2 und 3 arbeiten ähnlich genau, da in beiden Fällen mit dem Verdrehen der Stabilisatorhälften die Steifigkeit variiert werden kann. Variante 4 erhält die acht Punkte, da pro Rad durch Luftzufuhr oder Ablassen der Luft verschiedene Einstellungen möglich sind.

## **7.2.4 Nutzung**

### **Temperatur**

Bezüglich der Temperatur lassen sich die Varianten 1 und 2 als sehr gut bewerten. Die erste Variante des Gesamtkonzepts basiert auf vier Linearmotoren, die bei den unterschiedlichsten Temperaturen stets gleichermaßen funktionieren. Auch bei der Variante 2 werden insgesamt zwei Elektromotoren verwendet, um die Wankstabilisierung zu erreichen. Die beiden E-Maschinen arbeiten unabhängig von der Temperatur und lassen sich von dieser nicht beeinflussen. Anders sieht es jedoch bei der Konzeptvariante 3 aus. Da hierbei Hydraulikflüssigkeit verwendet wird und dessen Viskosität von der Temperatur beeinflusst wird, erhält diese Variante eine etwas schlechtere Bewertung als die Varianten 1 und 2. Die Konzeptvariante 4 erhält in dieser Unterkategorie mit vier Punkten die schlechteste Bewertung. Der Grund hierfür ist die Verwendung von Luft. Die Luftdichte wird durch unterschiedliche Temperaturen enorm verändert, was bei der Verwendung von Konzept 4 unbedingt berücksichtigt werden muss. Beispielsweise müsste die Temperatur extra gemessen und bei der Berechnung der benötigten Luft miteinbezogen werden.

### **Witterung**

Sowohl Variante 1, 2 als auch 3 erhalten bei dieser Unterkategorie mit acht Punkten eine gute Bewertung. Die Linearmotoren, die beiden Elektromotoren und die Hydraulik lassen sich durch



verschiedene Witterungen nicht beeinflussen und funktionieren bei jeglichen Witterungsbedingungen in gleichem Maße. Jedoch lässt sich beim Vergleich von beispielsweise trockener zur vereisten Fahrbahn sagen, dass das System bei allen drei Varianten und letzterer Witterung eine schlechtere Wankstabilisierung aufweist, da in dieser Situation weniger Haftung an der Fahrbahnoberfläche vorhanden ist. Dies erklärt die Vergabe von acht statt zehn Punkten. Die Konzeptvariante 4 wurde bezüglich der Witterung mit vier Punkten schlechter als die anderen drei Konzepte bewertet. Da in Variante 4 mit einem Kamerasystem gearbeitet wird, können durch entsprechende Witterungsbedingungen Schwierigkeiten bei der Erkennung von zum Beispiel Fahrbahnunebenheiten auftreten.

### **Lebensdauer**

Bezüglich der Lebensdauer stellt die Konzeptvariante 2 mit neun Punkten die Beste dar. Aufgrund dessen, dass die beiden Stellmotoren ausschließlich die beiden Stabilisatorhälften gegeneinander verdrehen oder entkoppeln, wirkt auf die Motoren keine große Kraft im Vergleich zu den Linearmotoren der Variante 1. Die Linearmotoren müssen beim Ausfahren dem hohen Gewicht des Fahrzeugs entgegenwirken, werden somit stärker beansprucht und haben einen größeren Verschleiß. Werden die Bauteile der mit Luft und Hydraulik betriebenen Konzepte betrachtet, wirken auf diese dauerhaft noch größeren Kräfte und Drücke. Dadurch wird der Verschleiß gesteigert und die Lebensdauer des Systems verringert sich.

### **Fahrzeugsicherheit**

Wird die Unterkategorie Fahrzeugsicherheit betrachtet, lassen sich die Varianten 1 und 2 als gut betrachten. Die verwendeten Spannungen und Ströme gefährden den Fahrer kaum. Jedoch ist die Gefährdung der Umwelt bei der Entsorgung der Elektro- und Linearmotoren nicht unbedeutend, was die acht Punkte erklärt. Die Konzeptvariante 4 ist bezüglich der Fahrzeugsicherheit akzeptabel. Da durch die Speicherung von Luft hohe Luftdrücke herrschen, ist es möglich, dass bei Produktionsfehlern von Bauteilen, die diese Luft speichern, die Luft unkontrolliert entweichen kann, was für den Fahrer oder Passanten eine mögliche Gefährdung darstellt. Die Variante 3 erhält eine schlechte Bewertung, da hierbei Hydraulikflüssigkeit verwendet wird. Diese kann bei Undichtigkeiten der Hydraulikanlage unkontrolliert in die Umwelt gelangen und schadet dieser.

### **Reparatur**

Im Falle einer notwendigen Reparatur lassen sich die beiden Stellmotoren des Konzeptes 2 am leichtesten austauschen. Es müssen nur sehr wenige Komponenten ausgebaut werden, um die Stellmotoren zu wechseln. Zudem ist aufgrund der geringen Stückzahl der Elektromotoren die Reparatur schnell erledigt. Anders sieht es bei den Varianten 1 und 4 aus,

welche nur vier Punkte erhalten haben. Der Ausbau der Linearmotoren ist sehr kompliziert und aufwendig. Zudem gibt es davon vier Stück, die auszubauen sind, wenn das System vollständig defekt ist. Bei der Variante 4 ist die Komplexität ebenfalls hoch, da die Luft vor dem Ausbau entlassen und zum Schluss wieder hineingepumpt werden muss. Aufgrund der hohen Luftdrücke ist die Reparatur zudem nicht ungefährlich. Das Konzept, welches die Hydraulik verwendet, erhält mit drei Punkten die schlechteste Bewertung. Der Grund dafür ist, dass die Hydraulikflüssigkeit mit einem speziellen Gerät gewechselt werden muss und im Falle einer Undichtigkeit, alle Leitungen und Komponenten des Hydrauliksystems ausgetauscht werden müssen. Dies sorgt dafür, dass die Reparatur des Systems viel Zeit in Anspruch nimmt.

### **Verhalten bei Systemdefekten**

Alle Systeme sollten vor einem möglichen Ausfall abgesichert sein. Tritt jedoch einer ein, ist es wichtig, wie sich das System in dieser Situation verhält. Sowohl bei der Verwendung der Stellmotoren in Variante 2 als auch bei der Verwendung von Hydraulikflüssigkeit in Variante 3 lässt sich eine bestimmte Verdrehung der beiden Stabilisatorhälften realisieren, welche bis zur Reparatur konstant gehalten wird. Tritt bei dem Konzept 4 ein Systemdefekt ein, liegt das Fahrzeug dauerhaft auf den Gummibälgen auf, weshalb es eine schlechtere Bewertung erhalten hat. Das Verhalten bei Verwendung der Linearmotoren hat die schlechteste Bewertung erhalten. Grund hierfür ist, dass die Linearmotoren bei Systemdefekt eingefahren werden und anschließend nicht mehr agieren können. Dadurch liegt das Fahrzeug nur knapp über der Fahrbahn auf den Linearmotoren auf. Zudem ist der Komfort stark eingeschränkt, da es keine Federung und Dämpfung gibt.

### **Lichtverhältnisse**

Alle Konzeptvarianten funktionieren bei allen Lichtverhältnissen und somit zu allen Tageszeiten vollständig, bis auf Konzept 4. Die Kamera, welche für die Detektion von Fahrbahnunebenheiten verwendet wird, sieht in der Dämmerung schlechter und in der Dunkelheit nichts. Jedoch verfügt das System über Laserscanner, auf die sich bei Dunkelheit gestützt werden kann. Insgesamt ist die vorrausschauende Funktionsweise dann nur reduziert gegeben, weshalb die Punktzahl niedrig ausfällt.

## **7.2.5 Einbau**

### **Integration**

Für die Integration in das jeweilige Fahrzeug hat Variante 2 neun Punkte bekommen. Durch die geringe Anzahl der Bauteile, die simple Bauweise und Kompaktheit ist es einfach ins Fahrzeug zu integrieren. Die Feder-Dämpfer-Systeme des Serienfahrzeugs können

übernommen werden. Es wird lediglich etwas mehr Raum im Bereich der Mitte des Stabilisators benötigt. Variante 3 hat wegen des Eingriffs in den Motortrieb etwas weniger Punkte erhalten. Die Hydraulikpumpe wird vom Motor angetrieben, und auch die Leitungen benötigen ihren Platz, um das Hydrauliköl zur Steuereinheit zu transportieren. Fünf Punkte hat Variante 4 bekommen. Die Federn und Dämpfer müssen durch andere Bauteile mit Luftbälgen ersetzt werden. Der Luftverdichter und der Luftspeicher nehmen viel Raum in Anspruch und auch die Kameras und Laserscanner müssen an geeigneten Orten platziert werden. Wegen des großen Umfangs der Linearmotoren hat Variante 1 lediglich drei Punkte bekommen. Die Durchmesser der Domlager müssen im Vergleich zu klassischen Feder-Dämpfer-Systemen deutlich vergrößert werden. Außerdem ist die Recheneinheit für das System sehr groß.

### **Applikation**

Der Aufwand für die Applikation ist bei den Varianten 2 und 3 etwa gleich groß. Es kann lediglich der Stabilisator verdreht werden, weshalb es nur eine eindimensionale Variable gibt. Die Applikation für Variante 1 ist wegen der vier Linearmotoren etwas aufwendiger. Auf die Sensorwerte kann sehr genau reagiert werden und die Variablen, wie Fahrzeuggewicht spielen eine untergeordnete Rolle. Die Applikation für Variante 4 gestaltet sich am schwierigsten. Wegen der veränderten Kamerapositionen und dem Fahrzeuggewicht, was bei der Applikation berücksichtigt werden muss, wird das Einstellen des Fahrwerks komplex.

### **Entscheidung**

Nachdem in verschiedenen Unterkategorien die verschiedenen Varianten beurteilt wurden, hat sich die Variante 2 mit 776 Punkten bei der Konzeptauswahl als Sieger herauskristallisiert.

## 8. Logische Systemarchitektur

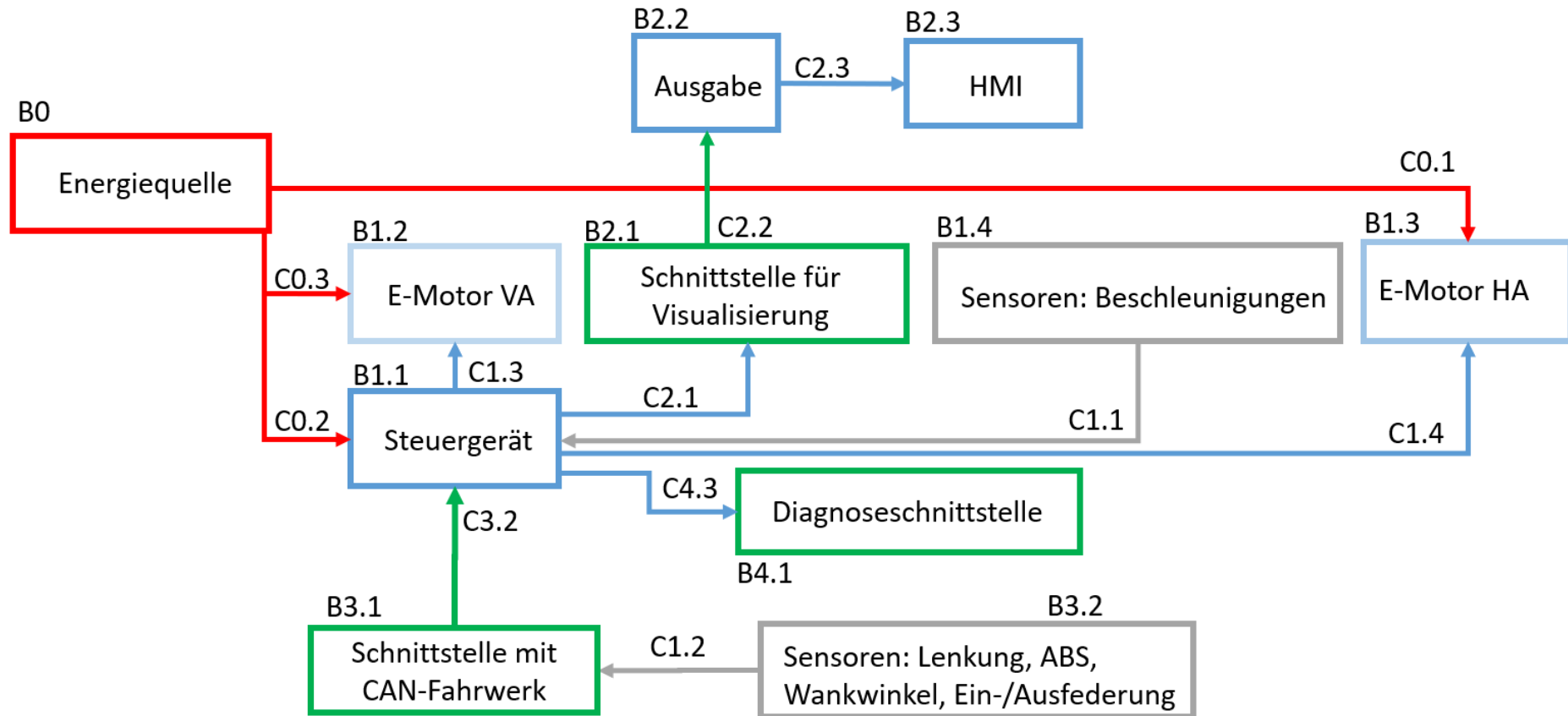


Abbildung 6: Logische Systemarchitektur

## 8.1 Bestandteile

Nr.	Name	Funktion	Anforderungen
B0	Energiequelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ist im Fahrzeug verbaut</li> <li>Beliefert die Komponenten des Systems mit Energie</li> </ul>	REQ-3_1  REQ-3_3
B1.1	Steuergerät	<ul style="list-style-type: none"> <li>Empfängt und verarbeitet die Informationen der Sensoren</li> <li>Steuert die Aktoren an</li> <li>Gibt Informationen für die Visualisierung weiter</li> <li>Kommuniziert über eine Kommunikationsschnittstelle mit dem CAN-Fahrwerk-Bus</li> <li>Wird auch für die Diagnose verwendet</li> </ul>	REQ-1_2 REQ-3_2 REQ-4_3 REQ-4_4 REQ-5_1 REQ-5_2 REQ-5_4 REQ-5_6 REQ-5_8 REQ-6_5

B1.2	E-Motor VA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empfängt Informationen von der Steuereinheit</li> <li>• Mechanische Einstellung der Torsionsfederhärte</li> </ul>	REQ-1_7 REQ-3_2 REQ-3_3 REQ-5_1 REQ-5_2 REQ-5_4 REQ-5_5 REQ-5_6 REQ-5_7 REQ-5_8 REQ-6_2 REQ-6_3 REQ-6_4 REQ-6_5
------	------------	--	--

B1.3	E-Motor HA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empfängt Informationen von der Steuereinheit</li> <li>• Mechanische Einstellung der Torsionsfederhärte</li> </ul>	REQ-1_7 REQ-3_2 REQ-3_3 REQ-5_1 REQ-5_2 REQ-5_4 REQ-5_5 REQ-5_6 REQ-5_7 REQ-5_8 REQ-6_2 REQ-6_3 REQ-6_4 REQ-6_5
B1.4	Sensoren: Beschleunigungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Messen die momentan wirkenden Beschleunigungen</li> </ul>	REQ-4_4 REQ-5_6 REQ-6_2 REQ-6_3 REQ-6_4 REQ-6_5
B2.1	Schnittstelle für Visualisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empfängt Daten von der Steuereinheit</li> <li>• Verarbeitet die Daten</li> <li>• Sendet Daten an die Ausgabe</li> </ul>	REQ-4_2 REQ-5_3 REQ-6_5

B2.2	Ausgabe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gibt die Daten über das HMI aus</li> </ul>	REQ-4_2 REQ-5_3
B2.3	HMI	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visualisiert Daten</li> <li>Schnittstelle zwischen System und Mensch</li> </ul>	REQ-4_2 REQ-5_3
B3.1	Schnittstelle mit CAN-Fahrwerk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dient als Gateway zwischen CAN-Fahrwerk Bus und Steuereinheit</li> </ul>	REQ-4_1 REQ-4_4 REQ-5_4 REQ-6_4 REQ-6_5
B3.2	Sensoren: Lenkung, ABS, Wankwinkel, Ein- und Ausfederung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Messen den momentanen Lenkwinkel</li> <li>Sensoren aus dem ABS-System</li> </ul>	REQ-4_4 REQ-5_6 REQ-6_2 REQ-6_3 REQ-6_4 REQ-6_5
B4.1	Diagnoseschnittstelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dient als Schnittstelle zwischen Steuereinheit und dem Diagnose-Tool</li> </ul>	REQ-1_7 REQ-4_3 REQ-4_5 REQ-6_5



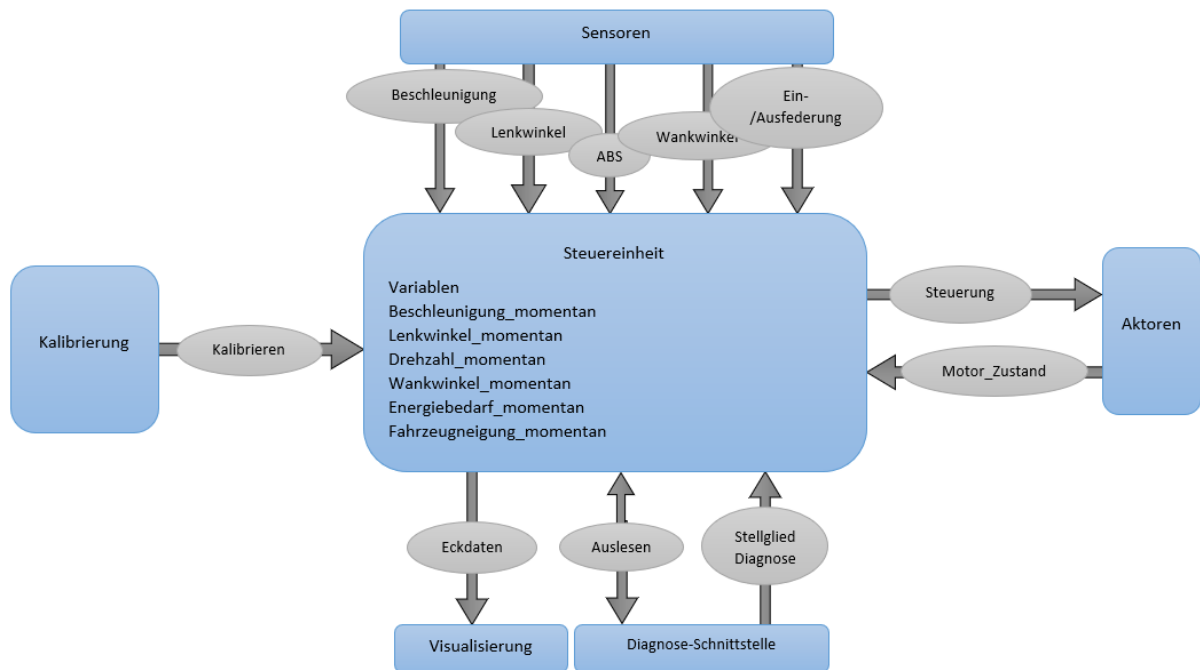
## 8.2 Verbindungen

Alle Verbindungen werden als elektronische Leitungsverbindung realisiert.

Nr.	Name	Funktion	Anforderungen
C0.1	Energieversorgung → E-Motor HA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dient als Energieversorgung für den E-Motor VA</li> </ul>	REQ-3_1 REQ-6_4
C0.2	Energieversorgung → Steuereinheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dient als Energieversorgung für die Steuereinheit</li> </ul>	REQ-3_1
C0.3	Energieversorgung → E-Motor VA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dient als Energieversorgung für den E-Motor HA</li> </ul>	REQ-3_1 REQ-6_4
C1.1	Sensoren, Beschleunigung → Steuereinheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Signalleitung für Sensordaten</li> </ul>	REQ-6_4 REQ-6_5
C1.2	Steuereinheit → E-Motor VA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Steuerleitung für den E-Motor VA</li> </ul>	REQ-6_4
C1.3	Steuereinheit → E-Motor HA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Steuerleitung für den E-Motor HA</li> </ul>	REQ-6_4
C2.1	Steuereinheit → Schnittstelle für Visualisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leitet Daten für die Visualisierung an Schnittstelle für Visualisierung</li> </ul>	REQ-4_2 REQ-5_3 REQ-6_5

C2.2	Schnittstelle für Visualisierung → Ausgabe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leitet Daten für die Visualisierung an die Ausgabe</li> </ul>	REQ-4_2 REQ-5_3 REQ-6_5
C2.3	Ausgabe → HMI	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leitet visualisierbare Daten an das Interface</li> </ul>	REQ-4_2 REQ-5_3 REQ-6_5
C3.1	Steuereinheit → Schnittstelle CAN-Fahrwerk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Signalleitung für Sensordaten</li> </ul>	REQ-4_1 REQ-6_5
C3.2	Schnittstelle CAN-Fahrwerk → Sensoren Lenkung + ABS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leitet Sensordaten an Steuereinheit</li> </ul>	REQ-4_1 REQ-6_5
C4.1	Steuereinheit → Diagnose	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leitet Diagnosedaten an die Diagnose Schnittstelle</li> </ul>	REQ-4_3

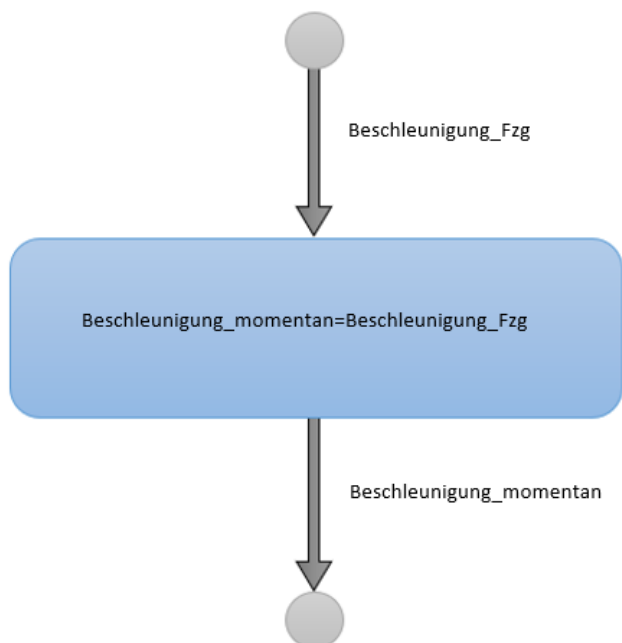
## 9. Dynamische Architektur



**Abbildung 7: Dynamische Architektur**

### Beschleunigung-Funktion:

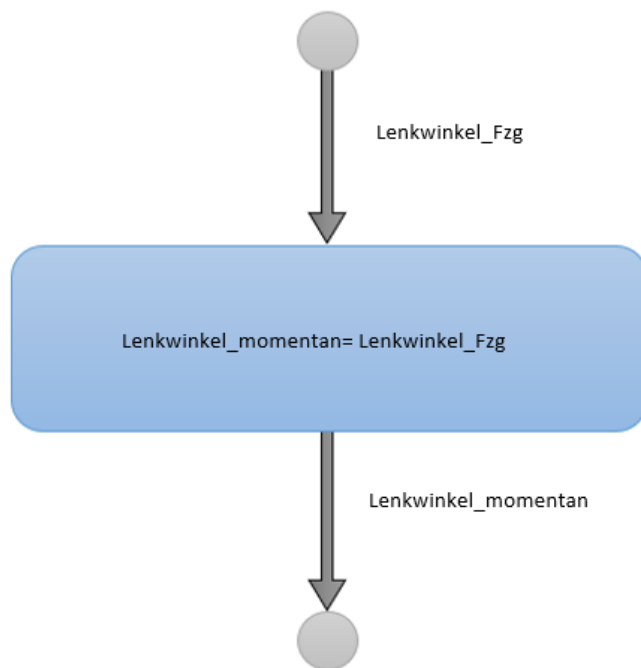
Die Funktion Beschleunigung wird zyklisch alle 50ms aufgerufen. Ein bereits im Fahrzeug integrierter Sensor misst die Querbeschleunigung. Über das Bussystem wird die Information bezüglich der aktuellen Beschleunigung des Fahrzeuges von dem Sensor abgerufen.



**Abbildung 8: Beschleunigungs-Funktion**

### Lenkwinkel-Funktion:

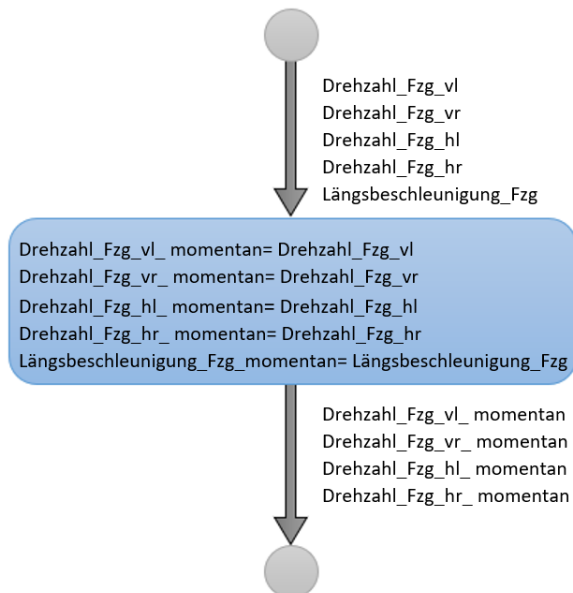
Die Funktion Lenkung wird zyklisch alle 25ms aufgerufen. Da das Fahrzeug für die Fahrerassistenz-Systeme und die Lenkunterstützung bereits über einen Lenkwinkelsensor verfügt, wird der aktuelle Lenkeinschlag über das Bussystem CAN-Fahrwerk an die Steuereinheit weitergeleitet.



**Abbildung 9: Beschleunigungs-Funktion**

### ABS-Funktion:

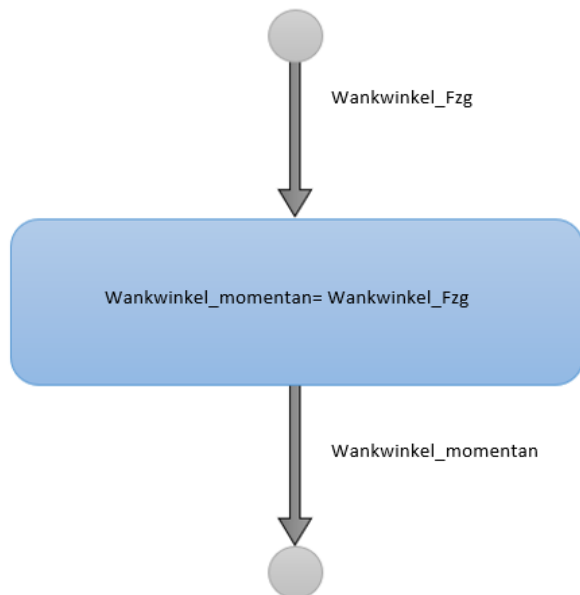
Die Funktion ABS wird zyklisch alle 50ms aufgerufen. Über eine Verbindung mit dem ABS-Steuergerät durch den CAN-Fahrwerk werden die Messwerte der Radumdrehungssensoren der vier Räder an die Steuereinheit geleitet. Mithilfe der gemessenen Längsbeschleunigung wird auch die momentane Geschwindigkeit des Fahrzeugs berechnet.



**Abbildung 10: ABS-Funktion**

### Wankwinkel-Funktion:

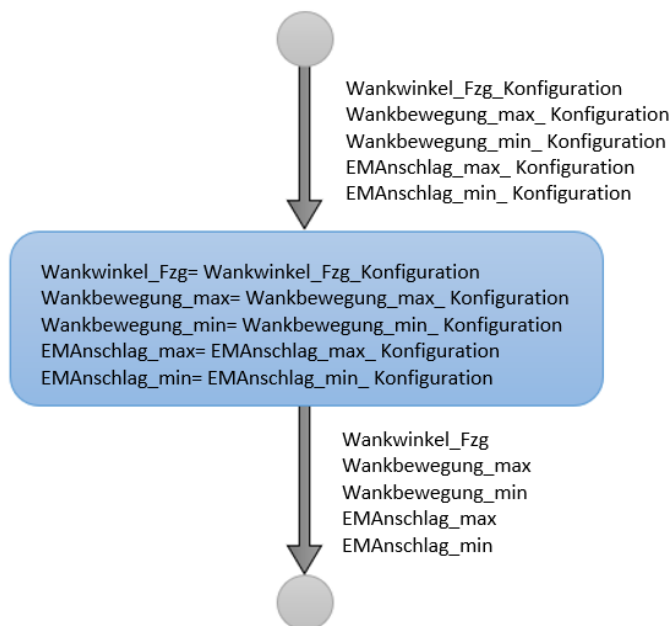
Die Funktion Wankwinkel wird zyklisch alle 100ms aufgerufen. Ein bereits im Fahrzeug integrierter Sensor misst die Größe des Winkels. Über das Bussystem CAN-Fahrwerk wird die Information bezüglich des Winkels des Fahrzeuges von dem Sensor abgerufen.



**Abbildung 11: Wankwinkel-Funktion**

### Kalibrieren-Funktion:

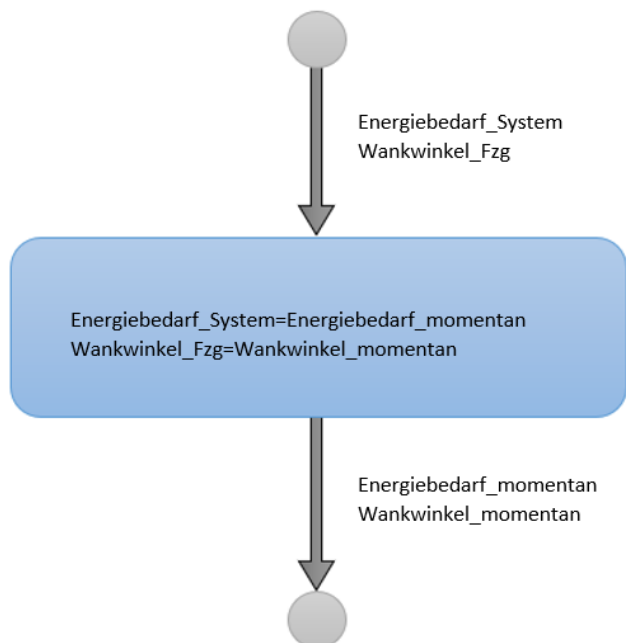
Die Funktion Kalibrieren wird zur Kalibrierung der Kontrolle der Wankbewegung benötigt. Wird diese aufgerufen, werden verschiedene Parameter definiert. Dazu zählen die maximalen und minimalen Wankbewegungen und die maximalen und minimalen Endanschläge der E-Motoren an Vorder- und Hinterachse. Auch der aktuelle Wankwinkel muss einmal gesetzt sein. Fahrzeugspezifische Werte, wie das Gewicht etc., fließen bereits bei der Applikation in die Software ein.



**Abbildung 12: Kalibrieren-Funktion**

### Eckdaten-Funktion:

Die Funktion Eckdaten wird zyklisch alle 150ms aufgerufen. Dabei werden die Informationen bezüglich des aktuellen Energiebedarfs und Wankwinkel aktualisiert und dem Fahrer visuell zur Verfügung gestellt.

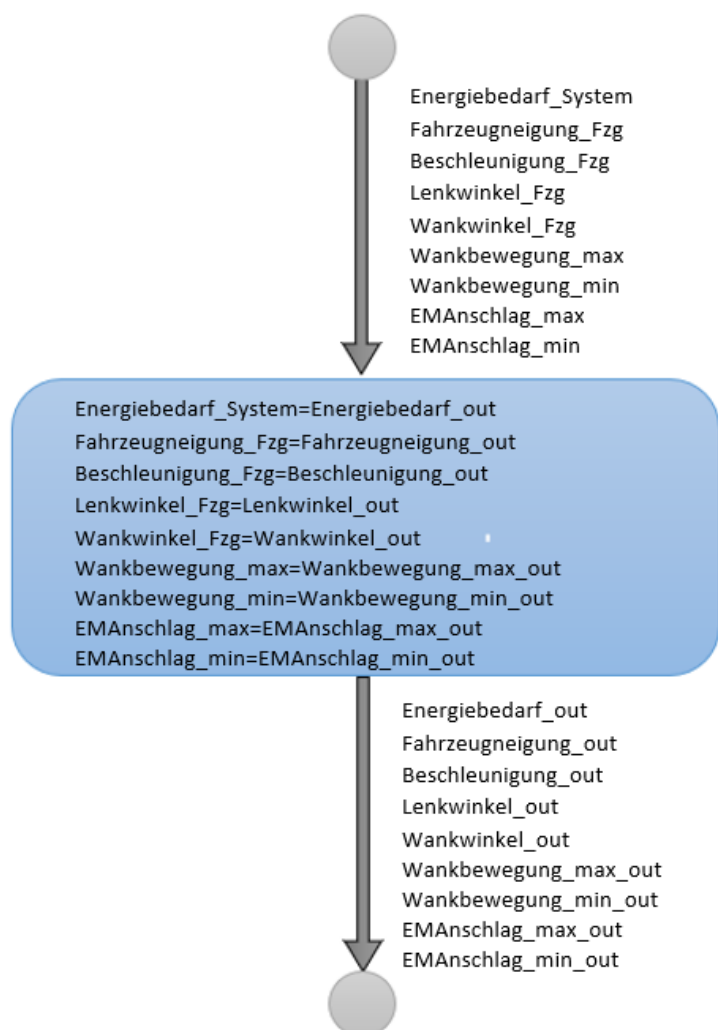


**Abbildung 13: Eckdaten-Funktion**



### Auslesen-Funktion:

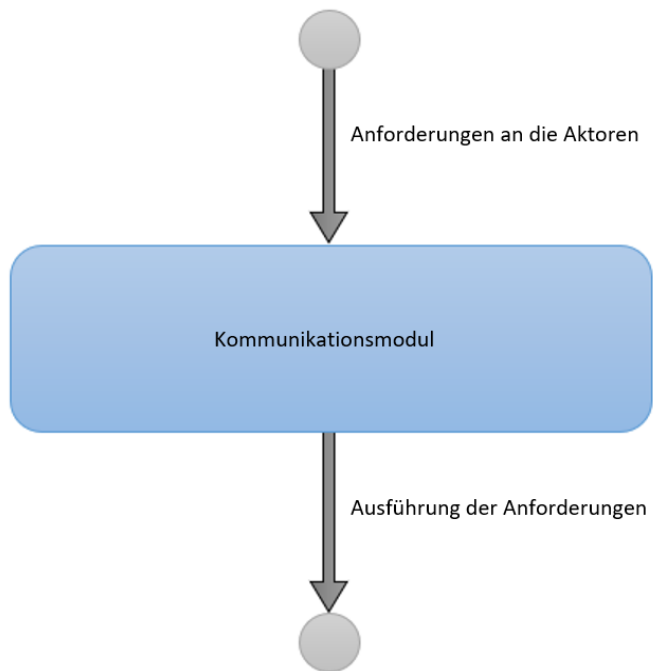
Die Funktion Auslesen wird aufgerufen, sobald die Steuereinheit an der Diagnoseschnittstelle ein angeschlossenes Servicegerät erkennt und die Zündung betätigt oder der Motor gestartet ist. Es können beispielsweise Daten bezüglich der Geschwindigkeit, Zustand der Stellmotoren, des Wankwinkels, der Federwege und des Batteriezustandes ausgelesen werden. Außerdem werden Informationen über die verbauten Hard- und Software ausgegeben. Zudem kann der Ereignisspeicher ausgelesen und gelöscht werden.



**Abbildung 14: Auslesen-Funktion**

### **Stellglied Diagnose-Funktion:**

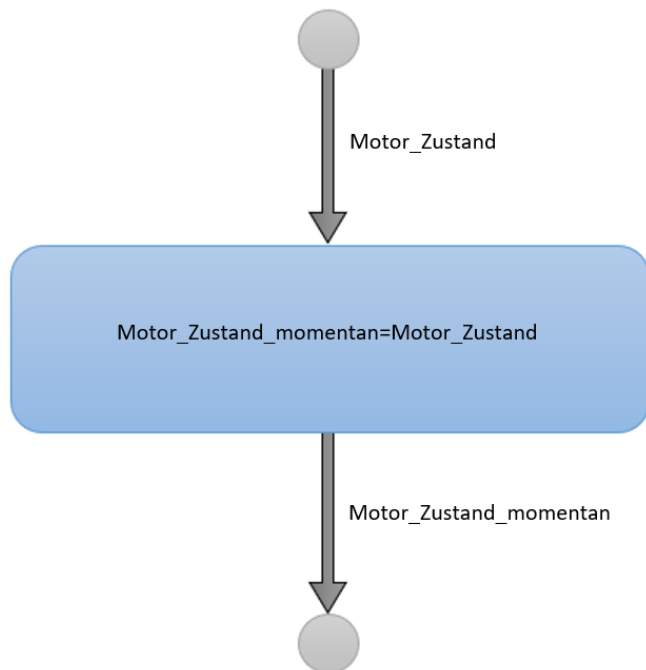
Mittels der Funktion Stellglied Diagnose ist die Ansteuerung der Aktoren möglich. Es können die Elektromotoren separat verstellt werden. Die Funktion wird über das Servicegerät aufgerufen.



**Abbildung 15: Stellglied-Diagnose-Funktion**

### Motorzustand-Funktion:

Die Funktion Motor Zustand gibt Auskunft bezüglich des aktuellen Status des Motors und übergibt diese an die Steuereinheit. Der Status beinhaltet sowohl die aktuelle Verdrehung der Stabilisatorhälften, als auch die aufgewendete Kraft bzw. Spannung. Das Abrufen dieser Information erfolgt zyklisch alle 100ms. Mithilfe dieser Informationen, welche die Funktion liefert, kann die Steuereinheit den aktuellen Wankwinkel und die aktuelle Ein-/Ausfederung berechnen.



**Abbildung 16: Motorzustand-Funktion**

## Steuerung-Funktion:

Die Funktion Steuerung wird mit einer Zykluszeit von 50ms aufgerufen. Zu Beginn müssen alle Sensorwerte über die Steuereinheit verarbeitet werden und die entsprechenden Werte für die Aktoren ermittelt werden. Im Anschluss werden den Aktoren die entsprechenden Befehle übergeben. Nun werden die Stabilisatorhälften der Situation passend verdreht bzw. entkoppelt.

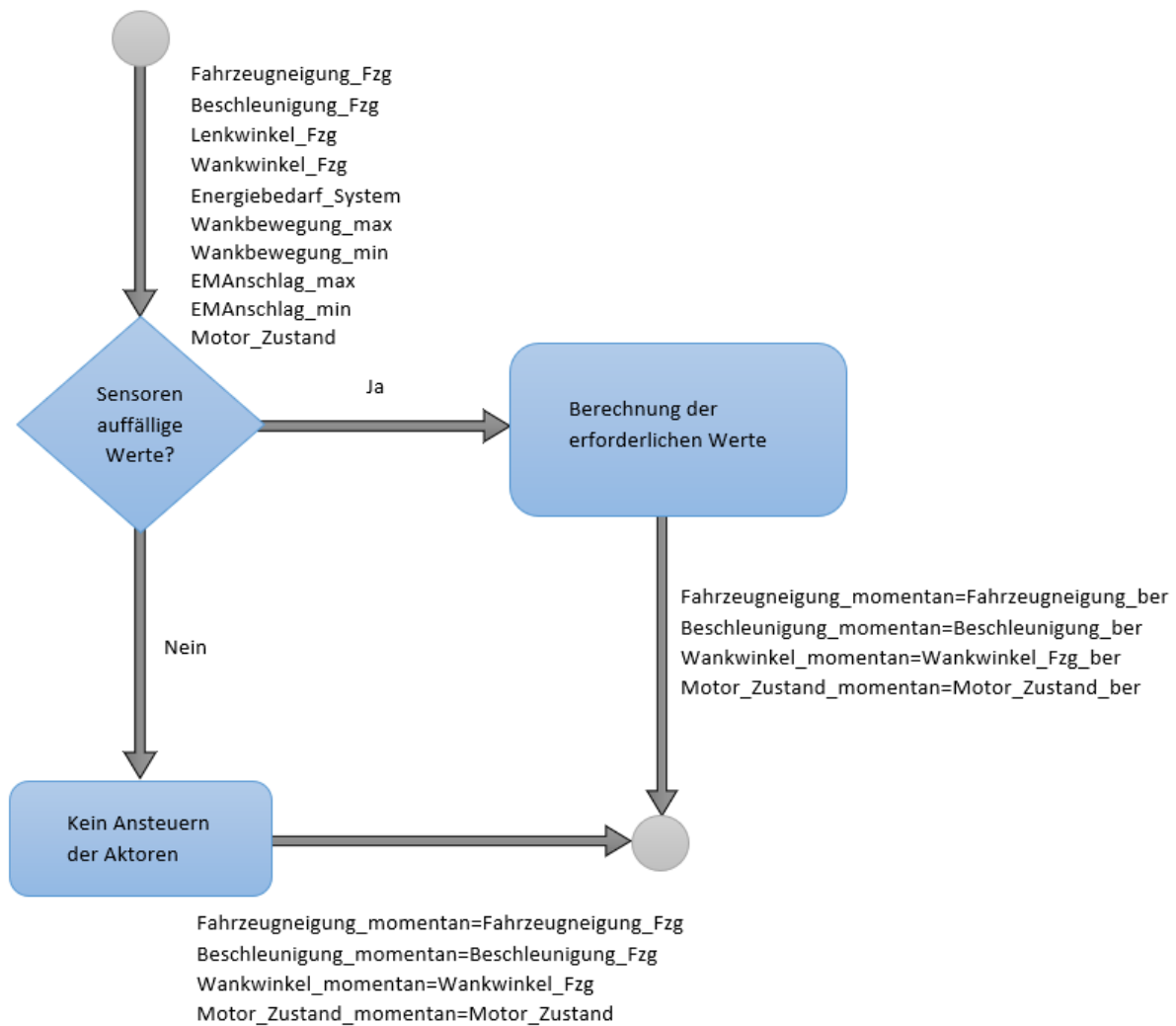


Abbildung 17: Steuerung-Funktion

## 10. Quellen

### 10.1 Abbildung 1 Quelle

[https://www.bedienungauto.org/audi\\_q7\\_bedienungsanleitung\\_kontrollleuchten-89.html](https://www.bedienungauto.org/audi_q7_bedienungsanleitung_kontrollleuchten-89.html)

### 10.2 Quellen zu Funktion und Bildern Variante 1

<https://www.youtube.com/watch?v=LGXp1Re4gZo>

<https://www.youtube.com/watch?v=z3gX2HwFf5I>

<https://www.youtube.com/watch?v=eSi6J-QK1lw> ,

[https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-8348-9493-9\\_7.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-8348-9493-9_7.pdf)

### 10.3 Quellen zu Funktion und Bildern Variante 2

<https://link.springer.com/article/10.1007/s35778-017-0006-3/figures/3>

<https://www.audi-technology-portal.de/de/fahrwerk/fahrwerksregelsysteme/audi-sq7-tdi-48-volt-teilbordnetz-mit-elektromechanischer-aktiver-wankstabi> Audi und VW

<https://www.volkswagen-newsroom.com/de/aktiver-wankausgleich-3944> und ZF

[https://www.zf.com/products/de/cars/products\\_38976.html](https://www.zf.com/products/de/cars/products_38976.html) bei BMW und Mercedes

[https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/\\_shared\\_media/08\\_media\\_library/01\\_publications/schaeffler\\_2/technicalpaper\\_1/download\\_1/ATZ\\_Mechatronische-Wankstabilisierung.pdf](https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/technicalpaper_1/download_1/ATZ_Mechatronische-Wankstabilisierung.pdf)

### 10.4 Quellen zu Funktion und Bildern Variante 3

<https://www.auto.de/magazin/autofahren-ohne-schraeglage-durch-die-kurve/> ,

<https://www.kfz.net/autolexikon/dynamic-drive/> , <https://newsroom.kues.de/2003/08/20/aktive-wankstabilisierung-von-zf-im-bmw-5-er/> BMW und Mercedes

### 10.5 Quellen zu Funktion und Bildern Variante 4

<https://mbpassion.de/2019/12/blick-auf-das-e-active-body-control-fahrwerk/>

<https://www.fuenfkommasechs.de/magic-body-control-fahrwerk-w222/>

<https://www.fuenfkommasechs.de/magic-body-control-die-zukunft-des-fahrens/>

<https://www.kunzmann.de/de/services/lexikon/airmatic/>

<https://motorblock.at/mercedes-v-klasse-airmatic-auf-wolken-gebettet/>

<https://www.autobild.de/artikel/fahrwerktechnik-45191.html>

[https://emmaret.daimler.com/vo/navon/dcvdaussenorg\\_reg/R0xFX1cxN](https://emmaret.daimler.com/vo/navon/dcvdaussenorg_reg/R0xFX1cxN)

[https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-8348-9493-9\\_7.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-8348-9493-9_7.pdf) S.535