



Ostfalia
Hochschule für angewandte
Wissenschaften

FAKULTÄT MASCHINENBAU

Bachelorarbeit

ENTWURF EINES DEMONSTRATIONSMODELL EINER DOPPELQUERLENKERACHSE

AUTOR:

Álvaro Aguilar Carot

Wolfenbüttel 2021-2022

1. Zusammenfassung

Die Doppelquerlenkerachse ist eine Art unabhängige Fahrzeugaufhängung, die aus zwei Querlenker und einer Feder-Dämpfer-Baugruppe besteht, die das Fahrwerk mit der Radachse verbinden und eine vertikale Bewegung zwischen ihnen ermöglicht. Die Geometrie der Lenker und ihre relative Position bestimmen fahrdynamisch wichtige Parameter wie Sturz-, Spur-, Spreizung- und Nachlaufwinkel. In dieser Bachelorarbeit wird über den Entwurf und die Konstruktion eines Demonstrationsmodells einer Doppelquerlenkerachse zu didaktischen Zwecken berichtet. Ziel ist es, der Universität ein Modell zur Verfügung zu stellen, um die Funktionsweise dieses Mechanismus und den Einfluss der Position und Morphologie der Lenker auf die Aufhängungsweg zu demonstrieren. Dazu muss es bei diesem Modell möglich sein, die Länge und die Koordinaten der Ankerpunkte zum Chassis der Lenker zu variieren, um zu demonstrieren, wie der Sturzwinkel abnimmt oder zunimmt, indem man diese Parameter wechselt. Abgesehen von diesen Anforderungen müssen weitere Designparameter wie Gewicht, maximale Abmessungen, Verwendung von Normteilen und Sicherheit berücksichtigt werden, um zu einem Design zu gelangen, das all diese Eigenschaften erfüllt.

2. Abstract

The double wishbone suspension is a type of independent vehicle suspension consisting of two wishbones arms and a spring-damper assembly that connects the chassis to the wheel axle and allows vertical movement between them. The geometry of the arms and their relative position determine parameters that are important in terms of driving dynamics, such as camber, output, toe-in and caster angles. This bachelor thesis reports on the design and construction of a demonstration model of a double wishbone suspension for didactic purposes. The aim is to provide the university with a model to demonstrate how this mechanism works and how the position and morphology of the arms affect suspension travel. To do this, with this model, it must be possible to vary the length and coordinates of the anchor points to the chassis of the arms, in order to demonstrate how the camber angle decreases or increases by changing these parameters. In addition to these requirements, other design parameters such as weight, maximum dimensions, use of standard parts and safety must be taken into account in order to arrive at a design that meets all of these characteristics.

Index

1. Zusammenfassung	2
2. Abstract.....	3
3. Einleitung	6
4. Hintergrund.....	7
4.1 Was ist eine Aufhängung?.....	7
4.2 Geschichte der Aufhängung	9
4.3 Hauptelemente von Aufhängungssystemen	12
4.4 Arten von Aufhängungen	13
4.5 Achswinkel	14
4.6 Doppelquerlenkerachse.....	17
4.7 Andere Arten unabhängigen Aufhängungssysteme	19
5. Vorläufiger Entwurf des Modells	22
5.1 Zielsetzung.....	22
5.2 Lastenheft	23
5.3 Vorläufige Studie	24
5.4 Entwurfsvorschläge für variable Geometrie und Ausrichtung.....	25
5.5 Rechtfertigung und Beschreibung der gewählten Lösungen.....	30
5.6 Modell-Simulation	32
6. Endgültige Entwurf des Modells.....	34
6.1 Karrosserie.....	35
6.1.1 Fahrgestell	35
6.1.2 Verankerungen	36
6.2 Artikulationen	38
6.2.1 Kugelgelenk.....	39
6.2.2 Radträger	40
6.3 Räder	40
6.4 Lenksystem.....	41
6.5 Federbein	43
7. Überprüfung der Ergebnisse	45
7.1 Konfiguration von gleich langen und parallelen Lenkern	45
7.2 Konfiguration Kurzer Lenker-Langer Lenker	47
7.3 Konfiguration von gleich langen nicht parallelen Lenkern	48

7.4 Verschiebung des Federbeines.....	50
7.5 Bewegung des Lenksystems.....	52
7.6 Berechnung der Masse.....	54
7.7 Endgültige Dimensionen.....	55
7.8 Sicherheit.....	58
8. Schlussfolgerungen.....	59
9. Informationsquellen.....	60
9.1 Abbildungen Index.....	60
9.2 Tabellen Index.....	62
9.3 Bibliographie.....	63

3. Einleitung

Wie bereits erwähnt, soll in diesem Beitrag der Aufbau einer Doppelquerlenkeraufhängung im Detail erläutert werden. Dieses Modell sollte nicht nur in der Lage sein, zwischen verschiedenen Aufhängungsgeometrien zu wechseln, sondern auch einen Lenkmechanismus enthalten, der es ermöglicht, das Sturz zu verändern beim Drehen der Räder. Zunächst werden die Hintergründe erläutert, damit der Leser versteht, was eine Doppelquerlenkerachse ist, welche Funktion sie hat und welche Eigenschaften sie haben sollte. Dann werden die Leitlinien, die bei der Gestaltung zu beachten sind, und alle zu erreichenden Ziele im Einzelnen aufgeführt. Schließlich wird der bereits in der Software Creo Parametric ausgeführte Entwurf vorgestellt und die Kinematik der im Modell vorhandenen Mechanismen untersucht, sowie die Berechnung der Masse und die Messung der endgültigen Abmessungen, um zu sehen, ob die Ziele erreicht wurden.

4. Hintergrund

4.1 Was ist eine Aufhängung?

Unter Aufhängung versteht man die Elemente, die sich zwischen dem Fahrgestell und den Rädern eines Fahrzeugs befinden und die Relativbewegung zwischen den beiden Teilen ermöglichen.



Abbildung 1 Aufhängungssystem eines Kraftfahrzeugs

Die Räder der Fahrzeuge fahren mit hoher Geschwindigkeit über die Fahrbahn und erleiden plötzliche Stöße und Verschiebungen beim Überfahren von Unebenheiten im Gelände. Das Aufhängungssystem enthält einer Feder, die die Übertragung dieser Bewegungen auf das Fahrgestell erweicht und so mögliche Stöße während der Fahrt minimiert. Um Schwingungen der Federn zu vermeiden, verfügt dieser Mechanismus auch über Stoßdämpfer, die diese zyklischen Bewegungen abfedern und die kinetische Energie in Wärmeenergie umwandeln. Auf diese Weise werden bei Aufhängungssystemen drei Hauptziele erreicht:

- Das Fahrzeug so lange wie möglich in Kontakt mit der Straße zu halten: Das ist die Hauptaufgabe der Aufhängung. Das Fahrzeug kann nur geführt werden, wenn die Räder Kontakt zur Straße haben, ansonsten hat die Lenkung des Fahrzeugs keine Auswirkung auf das Fahren. Die Aufhängung unterstützt dies, indem sie die Relativbewegung zwischen dem Fahrzeug und der Straße beim Überfahren von Schlaglöchern und anderen Unebenheiten des Geländes reduziert und so nicht nur die Kontrolle, sondern auch die Stabilität erhöht. Diese Faktoren sind heute für alle Arten von Fahrzeugen von so großer Bedeutung, dass eine sichere Nutzung von Autos und anderen Verkehrsmitteln ohne Aufhängungssysteme praktisch nicht mehr möglich ist.
- Verhinderung des Versagens oder der Verschlechterung von Fahrwerkselementen: Durch die geminderte Übertragung der Radbewegungen auf den Rest des Fahrzeugs werden auch die Spannungen, denen die Fahrwerksteile ausgesetzt sind, verringert, wodurch die Bruchgefahr verringert, und ihre Lebensdauer verlängert wird.
- Verbesserung des Komforts und der Sicherheit der Fahrzeuginsassen: Ein weiteres Ziel ist die Isolierung der Insassen der starken Stöße und Vibrationen, denen das Fahrzeug während der Fahrt ausgesetzt ist. Ohne das Aufhängungssystem wäre es sehr unangenehm, mit dem Auto zu fahren, selbst wenn die Straßenverhältnisse gut wären.

4.2 Geschichte der Aufhängung

Die Aufhängung wird in der Regel mit dem Automobil in Verbindung gebracht, aber dieser Mechanismus wurde bereits vor der Erfindung des Automobils in rudimentärer Form entwickelt.

Die ersten Kutschen gehen auf das 15. Jahrhundert zurück. Damals war es ein Durchbruch, denn es ermöglichte die Beförderung mehrerer Passagiere in einem Fahrzeug und schützte sie auf monatelangen Fahrten vor dem Wetter. Statt auf asphaltierten Straßen, wie es heute der Fall ist, waren sie auf Pfaden unterwegs, auf denen sie auf alle möglichen Unebenheiten des Geländes stoßen konnten. Damals entstand die Notwendigkeit, ein System einzuführen, das die Fahrgäste oder, im Falle von Gütern, die Waren vor den großen Erschütterungen schützt, die sie aufgrund des Zustands der Straße erleiden.



Abbildung 2: Pferdekutsche mit Aufhängung

Der erste Schritt bestand darin, die Sitze zu polstern. Diese Lösung war nicht sehr effektiv und hat das Problem nicht gelöst. Man erkannte, dass die Lösung zur Verbesserung der Leistung dieser Fahrzeuge nicht in der Isolierung von Fahrgästen und Gütern gegen Radaufprall besteht, sondern in der vollständigen Isolierung der Karosserie. Das erste Aufhängungssystem wurde im 18. Jahrhundert gebaut und bestand aus einem System von Seilen und Riemen, mit denen die Kutsche an Metallstützen aufgehängt wurde, die an den Achsen der Räder befestigt waren. Diese Lösung ersetzte ein Problem durch ein anderes, denn obwohl die Erschütterung des

Körpers erheblich reduziert wurde, schwankte die Kutsche immer noch ständig in alle Richtungen, so dass den Fahrgästen schwindelig wurde.

Im Zuge der Neuentwicklungen wurde erkannt, dass Aufhängungssysteme nicht nur den Inhalt der Fahrzeuge schützen, sondern auch die Fahreigenschaften verbessern, indem sie den Kontaktverlust zwischen den Rädern und dem Boden verringern. Der nächste große Durchbruch war die Längs- und Querblattfeder in der Mitte des 18. Jahrhunderts. Dieses System bestand aus einer Gruppe von Metallplatten (in der Regel Stahl), die durch einen Bolzen verbunden und in einer konkaven Form von der größten zur kleinsten angeordnet waren. Die Zusammensetzung der Bleche sowie die Schmiede- und Härtingsbedingungen ermöglichen eine elastische Verformung des Ganzen, wodurch das Aufhängungssystem entsteht. Dieses System wird auch heute noch in schweren Fahrzeugen verwendet. 1898 wurden die ersten Einzelradaufhängungen von der Firma Decauville entwickelt. Im selben Jahr entwickelt J.M.M.Truffaut den ersten Stoßdämpfer für sein Fahrrad. Dieser Mechanismus war eine Lösung, um die ständigen Schwingungen zu vermeiden, denen die Fahrzeuge aufgrund der elastischen Elemente ausgesetzt sind. Im Jahr 1901 wurde Truffauts Erfindung auf Automobile übertragen. Dieser rudimentäre Stoßdämpfer bestand aus zwei Hebeln, die mit einem Gummipuffer an der Drehachse gelenkig verbunden waren.

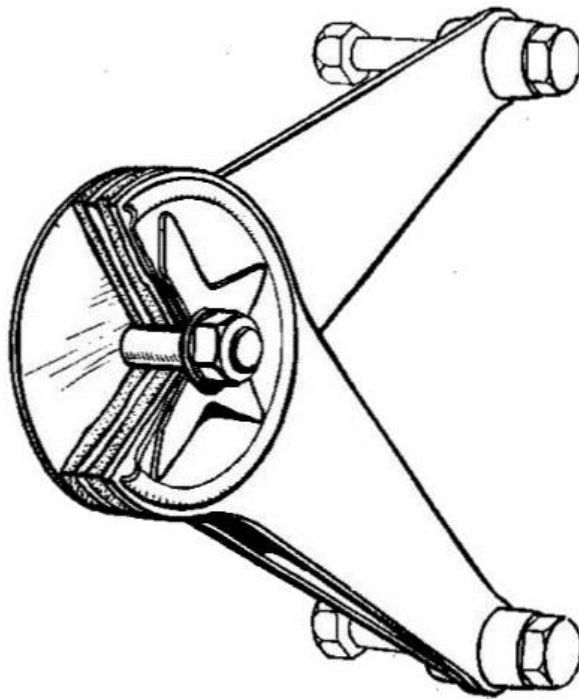


Abbildung 3: Gummipuffer Stoßdämpfer

Diese Entdeckung revolutionierte die Welt der Aufhängungen und es wurden Prototypen aller Art entwickelt, wie z. B. das System der Ausgleichsfeder, das aus zwei Federn mit unterschiedlichen harmonischen Frequenzen bestand, so dass die Schwingungen der einen die Schwingungen der anderen aufhoben. Leider erhöhte die Ausgleichsaufhängung die Steifigkeit des Fahrzeugs während der Fahrt, so dass sie bald vom Markt verschwanden. Im Jahr 1908 wurde von M. Houdaille der erste hydraulische Stoßdämpfer entwickelt. Dieser Stoßdämpfertyp bestand hauptsächlich aus zwei Elementen: einem Kolben mit kleinen Löchern, der sich in einem zylindrischen, mit Öl gefüllten Behälter bewegen konnte. Der Kolben war am Fahrgestell und der Zylinder an der Aufhängung befestigt. Bei entsprechenden Verschiebungen zwischen dem Fahrgestell und der Aufhängung bewegte sich der Kolben durch den Zylinder und ließ das Öl durch die kleinen Löcher im beweglichen Teil zirkulieren. Das Ergebnis war ein hydraulischer Widerstand, der die Schwingungsbewegungen der Feder begrenzte. Dieses Dämpfungssystem war das vorherrschende Dämpfungssystem, und ähnliche Versionen werden in den meisten Fahrzeugen heutzutage verwendet.

Im Jahr 1930 wurde die Doppelquerlenkeraufhängung eingeführt. Die französische Firma Citroën führte dieses System bei den Modellen "Rosalie" und "Traction Avant" ein.



Abbildung 4: Citroën Rosalie

Im Jahr 1940 entwickelte der Ingenieur Earle S. McPherson das gleichnamige Aufhängungssystem, das 1953 von Ford patentiert und in den Modellen Ford Consul und Ford Zephyr eingeführt wurde. Das McPherson-Aufhängungssystem übertraf alle anderen aufgrund der geringeren gefederten Masse und des geringeren Gesamtvolumens, was einen Vorteil darstellte, der es bis heute zum einer der am weitesten verbreiteten Fahrwerke machte.

Heutzutage schreitet die Entwicklung der Federung weiter voran. Ein Beispiel ist das aktive Federungssystem von Lotus, das Federn und Stoßdämpfer durch computergesteuerte Hydraulikzylinder ersetzt. Das System erkennt Unebenheiten auf der Straße und passt das Fahrverhalten den Straßenverhältnissen an. Es kann die Ventilstellung bis zu 250-mal pro Sekunde ändern.

4.3 Hauptelemente von Aufhängungssystemen

-Blattfeder: normalerweise bei großen Fahrzeugen zu finden. Es handelt sich um eine elastische Baugruppe, die aus übereinander liegenden Stahlplatten besteht. Ihre Funktion ist ähnlich wie die einer Schraubenfeder: Sie verformt sich, wenn eine Kraft auf sie einwirkt, und kehrt in ihre Position zurück, wenn die Kraft nachlässt.

-Feder: ein spiralförmig gewickeltes Stück Stahl.

-Torsionsstab: Wie die beiden vorhergehenden ist dies ein Federmechanismus, der dazu dient, die vom Rad aufgenommenen Stöße zu dämpfen. Die Funktionsweise dieses Systems basiert auf der Torsionsenergie, die in einem Metallstab gespeichert wird, wenn er sich um seine Hauptachse dreht, und die zurückgegeben wird, wenn keine Kraft mehr ausgeübt wird.

-Stabilisator: Ein Element, das für die Übertragung der Kräfte zwischen den beiden Seiten der Aufhängung verantwortlich ist und unverhältnismäßige ungleichmäßige Bewegungen begrenzt.

-Stoßdämpfer: Dieser Mechanismus eliminiert die Pendelbewegungen der Federn. Es gibt zwei Haupttypen: Reibung und Hydraulik, wobei letztere in der Automobilindustrie am häufigsten verwendet wird.



Abbildung 5: Blattfeder eines Fahrzeuges

4.4 Arten von Aufhängungen

Es gibt drei Arten der Aufhängung: starr, halbstarr und unabhängig.

Starre Aufhängung: Diese besteht aus einem einzigen Block, der vom linken zum rechten Rad durch das Fahrzeug verläuft. Die auf ein Rad wirkenden Kräfte werden auf das gegenüberliegende Rad übertragen, und wenn ein Rad eine vertikale Auslenkung durchfährt, wird das gesamte Fahrzeug dadurch geneigt. Obwohl diese Art der Aufhängung in Bezug auf die Fahreigenschaften nicht die beste Wahl ist, ist sie sehr robust und wird daher häufig in Transportfahrzeugen wie Liefer- und Lastwagen eingesetzt. Außerdem hat es eine längere Lebensdauer, da es weniger bewegliche Teile gibt. Schließlich ist der Preis dieser Aufhängungssysteme auch niedriger, so dass sie häufig an den hinteren Radaufhängungen vieler Autos angebracht werden, wo die Wirkung der Aufhängung nicht so stark spürbar ist.

Halbstarre Aufhängung: Ähnlich wie bei der obigen Aufhängung, aber mit einem zusätzlichen Lenker, der Vibrationen und Fahrzeugsneigung reduziert. Sie ist in Fahrzeugen der unteren Preisklasse enthalten, da unabhängige Aufhängungen teurer sind.

Unabhängige Aufhängung: Bei dieser Art der Aufhängung werden die Bewegungen eines Rades nicht auf das gegenüberliegende Rad übertragen, wodurch die Stabilität verbessert, und ein idealer Neigungswinkel des Fahrzeugs beibehalten wird. Das unabhängige Radverhalten verbessert auch das Handling und das Kurvenverhalten. Aufgrund dieser Eigenschaften ist die unabhängige Aufhängung ein Favorit, sollte aber wegen der vielen Teile und Gelenke bei robuster Fahrweise mit hohem Bruchrisiko weggelassen werden. Der Preis dieses Systems ist auch höher und erhöht daher auch den Endpreis der damit ausgestatteten Fahrzeuge.

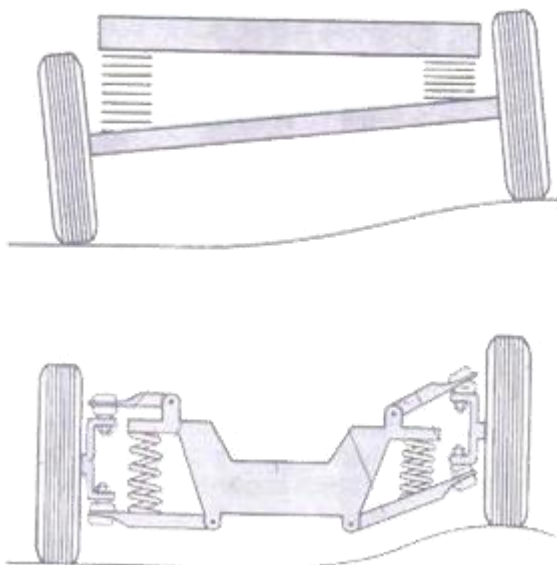


Abbildung 6: Unterschied zwischen abhängiger und unabhängiger Aufhängung

4.5 Achswinkel

Die Gestaltung von Aufhängung und Lenkung bestimmt Parameter, die für die Fahrzeugdynamik von großer Bedeutung sind, darunter die Achswinkel. Die richtige Kombination dieser Winkel hat einen großen Einfluss auf die Fahrdynamik eines Fahrzeugs, und ihre Einstellung ist entscheidend für das richtige Fahrverhalten, da sie unter anderen, Parameter wie die Stabilität, die Leichtgängigkeit der Lenkung und den Reifenverschleiß bestimmt. Diese Winkel sind: Sturz, Spreizung, Vorspur und Nachlauf. Die Kombination der Werte dieser Winkel wird als Achsgeometrie bezeichnet, und ihre optimale Einstellung ist für jedes Fahrzeug unterschiedlich. Die Achsgeometrie eines Autos wird vom Hersteller angegeben und sollte regelmäßig überprüft werden, da sie sich mit der Zeit verstellen kann.

Sturzwinkel: Wenn Sie ein geparktes Fahrzeug betrachten, fällt Ihnen vielleicht auf, dass die Räder in der Frontalebene nicht senkrecht zum Boden ausgerichtet sind, sondern leicht nach innen geneigt sind. Dieser Versatz wird als Sturzwinkel bezeichnet und ist praktisch vernachlässigbar, da die typischen Werte zwischen 0° und 2° liegen, obwohl sie beim Einschlagen der Räder in Kurven verstärkt werden. Kurz gesagt ist der Sturzwinkel die Abweichung zwischen der vertikalen Achse des Reifens von der Vorderseite des Fahrzeugs aus gesehen und der Senkrechten zum Boden. Die Einstellung eines Sturzwinkels hat große Auswirkungen auf das Fahrverhalten des Fahrzeugs und kann mit entsprechenden Werten deutlich verbessert werden.

Es gibt drei Sturzwinkelkonfigurationen:

-Neutral: Der Reifen ist in Bezug auf die Vertikale ausgerichtet. Diese Konfiguration eignet sich am besten für den Geradeauslauf und gewährleistet eine maximale Aufstandsfläche der Reifen bei Traktion und Bremsen. Diese Konfiguration ist bei Kurvenfahrten weniger vorteilhaft, da die Zentrifugalkraft den Druck auf die Innen- oder Außenseite der Reifen je nach Kurvenrichtung erhöht, was den Verschleiß in der Kurve erhöht und die Haftung verringert.

-Positiv: Das Rad ist so geneigt, dass das obere Ende des Reifens weiter von der Karosserie entfernt ist als das untere Ende. Diese Konfiguration verschärft nur das im vorigen Abschnitt erwähnte Problem, weshalb sie nur selten in Fahrzeuge eingebaut wird.

-Negativ: die gegenteilige Wirkung. Die Wahl eines leicht negativen Sturzes ist bei den meisten Fahrzeugen am gebräuchlichsten, da er die Wirkung der Fliehkräfte bei Kurvenfahrten kompensiert, indem er das Fahrverhalten verbessert, obwohl er zu ungleichmäßigem Verschleiß auf der Geraden führt. Bei einigen Rennwagen wird der Sturzwinkel oft verstärkt, da der gleichmäßige Reifenverschleiß weniger wichtig ist und es darauf ankommt, Kurven bei hoher Geschwindigkeit zu fahren, ohne die Kontrolle über das Fahrzeug zu verlieren.

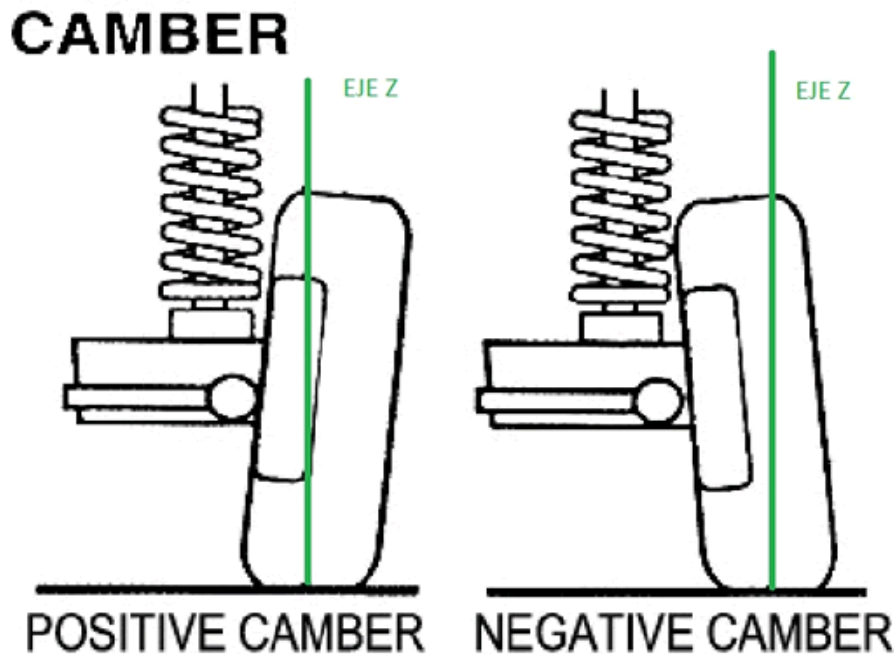


Abbildung 7: Sturzwinkel

Spreizungswinkel: Dies ist der Winkel zwischen der Achse, um die sich die Räder beim Abbiegen drehen, und der Linie, die von vorne gesehen senkrecht auf dem Boden steht. Der Wert dieses Winkels liegt in der Regel zwischen 5° und 10° und führt zu einem geringeren Kraftaufwand des Fahrers beim Einschlagen der Räder und zu einer Selbstzentrierung der Lenkung während der Fahrt.

Spurwinkel: wird durch den Wert des Versatzes zwischen der Längsachse der Räder und der Längsachse des Fahrzeugs in der Draufsicht bestimmt. Dieser Parameter kann auch in Millimetern durch den Längenunterschied zwischen den vorderen Enden der Vorderräder und den hinteren Enden der Hinterräder ausgedrückt werden. Man spricht von positiver Vorspur, wenn die Vorderräder zur Innenseite des Fahrzeugs zeigen, und von negativer Vorspur, wenn die Vorderräder zur Außenseite des Fahrzeugs zeigen. Eine negative Vorspur trägt zu einer größeren Stabilität des Fahrzeugs auf gerader Strecke bei, da die Räder immer dazu neigen, in Bezug auf die Bewegungsrichtung des Fahrzeugs zentriert zu sein. Dieser Effekt führt jedoch zu Untersteuern bei Kurvenfahrten. Bei negativer Vorspur tritt der gegenteilige Effekt ein: Das Auto verliert an Stabilität auf der Geraden, verbessert aber sein Fahrverhalten in der Kurve. In jedem Fall sollte der Wert dieses Winkels klein sein, da sein Vorhandensein beim Geradeausfahren einen Reifenwiderstand verursacht, der zu Reifenverschleiß, erhöhtem Kraftstoffverbrauch, Vibrationen und Traktionsverlust führt.

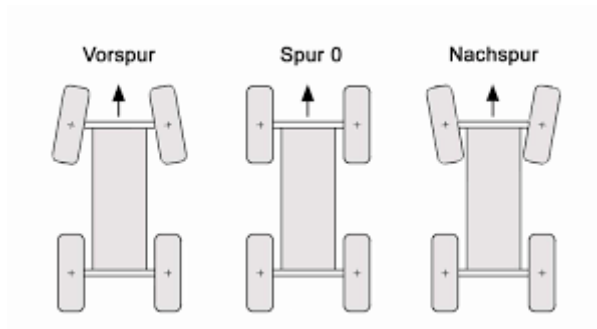


Abbildung 8: Spurwinkel

Nachlaufwinkel: Dies ist die Differenz zwischen der Drehachse der Vorderradlenkung und der Senkrechten zum Boden in der Seitenansicht. Er ist positiv, wenn der obere Drehpunkt vor der Senkrechten liegt, und negativ, wenn er umgekehrt liegt. Eine positive Konfiguration erzeugt eine Zugkraft, die die Richtungsstabilität beim Geradeausfahren verbessert, indem sie das Fahrzeug in Fahrtrichtung selbst ausrichtet. Dieses Phänomen ist bei Einkaufswagen zu beobachten, bei denen sich die Räder automatisch in die Richtung ausrichten, in die der Wagen geschoben wird, so dass sich die Räder ohne Lenkrad oder ein anderes Lenksystem drehen können. Ein negativer Nachlaufwinkel erleichtert das Einschlagen des Lenkrads und verbessert den Kurveneingang, verringert aber die Geradeauslaufstabilität.

Die interessanteste Auswirkung des Nachlaufwinkels besteht darin, dass der positive Versatz der Drehachse beim Drehen der Räder eine negative Sturzwinkeländerung bewirkt. Auf diese Weise kann ein kleinerer statischer Sturzwinkel für das Fahrzeug gewählt werden, so dass er bei Geradeausfahrt nahe Null liegt, was die Traktion und das Bremsverhalten verbessert und eine gleichmäßige Abnutzung des Reifens begünstigt, während gleichzeitig ein negativer Sturz beim Einlenken der Räder in Kurven erreicht wird, um den Fliehkräften entgegenzuwirken. Auf diese Weise können die Vorteile des neutralsturzes und des negativen Sturzes am selben Fahrzeug genutzt werden, je nachdem, ob es auf einer geraden Linie oder in einer Kurve gefahren wird. Aus diesem Grund ist der Nachlaufwinkel bei Autos immer größer als null.

4.6 Doppelquerlenkerachse

Dieser Mechanismus besteht hauptsächlich aus zwei A-förmigen Lenkern, die übereinander angeordnet sind. Das eine Ende des Lenkers ist über Scharniergelenke am Chassis befestigt, das andere Ende über ein Kugelgelenk am Radträger. So sind die beiden Lenker und der Radträger so angeordnet, dass sie ein gedankliches Parallelogramm bilden. Zwischen dem Fahrgestell und dem unteren Lenker befindet sich eine Feder-Dämpfer-Baugruppe, die die vertikale Verschiebung der Karosserie im Verhältnis zu den Rädern steuert.



Abbildung 9: Doppelquerlenkerachse

Die Geometrie dieser Aufhängung steuert den Weg des Fahrgestells relativ zum Rad, wenn es eingefedert wird. So entscheiden die Länge und die relative Position des Lenkers über den Sturz-, Spur-, Nachlauf- und Spreizungswinkel. Je nach Länge und Ausrichtung des Lenkers lassen sich drei Hauptanordnungen der DoppelquerlenkerAufhängung unterscheiden:

Gleiche und parallele Lenker: Die Lenker sind überlappend und gleich lang. Wenn sich die Aufhängung vertikal bewegt, ändert sich der Sturzwinkel nicht. Dies ist ein großer Vorteil, da der Reifen senkrecht zum Boden bleibt, wenn sich die Aufhängung vertikal bewegt, wodurch die maximale Rollfläche erhalten bleibt. Diese Anordnung ist jedoch bei Kurvenfahrten problematisch, wenn sich das Fahrgestell aufgrund der Fliehkraft nach außen neigt. An diesem Punkt nimmt der Sturzwinkel an den inneren Rädern stark zu und an den äußeren Rädern stark ab. Diese Veränderung führt zu einer Dekompensation der beiden Räder und damit zu Stabilitätsproblemen.

Gleiche, nicht parallele Lenker: Diese Anordnung hat den Nachteil, dass der Sturzwinkel mit den vertikalen Bewegungen des Fahrgestells variiert, aber die Veränderung des Winkels beim Einlenken in die Kurve deutlich verringert.

Kurzer Lenker - langer Lenker: Dies ist die am häufigsten verwendete Konfiguration, da die Sturzwinkelveränderung sowohl bei vertikaler Bewegung als auch bei Kurvenfahrt in Schräglage geringer ist.

Der Hauptvorteil der Doppelquerlenkeraufhängung liegt in der großen Anzahl von Parametern, die durch Variation der Geometrie gewählt werden können. Dies ermöglicht eine einfache Anpassung des Achswinkels an die Erfordernisse des Fahrzeugs, im Gegensatz zu anderen Aufhängungen, deren Design weniger flexibel ist. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, im Gegensatz zu anderen Aufhängungssystemen einen negativen Sturz über den gesamten Federweg zu erzeugen.

Die Nachteile dieser Art von Aufhängung sind das höhere Volumen und Gewicht sowie die höheren Konstruktions- und Herstellungskosten im Vergleich zu anderen Typen.

4.7 Andere Arten unabhängigen Aufhängungssysteme

Gleitendes Abutment

Dieses Fahrwerk war das erste Modell einer Einzelradaufhängung für die Vorderräder eines Fahrzeugs. Es wurde 1898 von Decauville erfunden und erstmals bei einem Lancia-Firmenfahrzeug eingesetzt. Diese Aufhängung ist jedoch heute veraltet, das letzte Serienfahrzeug, bei dem dieses System eingesetzt wurde, war der Lancia Appia im Jahr 1950. Dieses Aufhängungssystem funktioniert, indem der Achszapfen und die Radeinheit an einer vertikalen Säule befestigt werden. Diese Säule kann über eine Buchse im Fahrzeugchassis nach oben und unten bewegt werden. Durch die Lenkbewegung des Fahrzeugs kann sich diese Säule sowohl drehen als auch vertikal bewegen.



Abbildung 10: Gleitendes Abutment

Dubonnet Aufhängung

Er wurde von André Dubonnet erfunden, der ihn in sein Auto Hispano-Suiza einbaute. Später verkaufte er das Patent an General Motors. Dieses System bestand aus einer starren Achse, an deren Enden die Lenk- und Aufhängungsgelenke drehbar gelagert waren. Bei dieser Aufhängung wurden die traditionellen Blattfedern durch Längsfedern mit Stoßdämpfern ersetzt. Das Dubonnet-System hatte Probleme mit der Haltbarkeit und wurde durch andere, effizientere Modelle ersetzt.

Querliegende Blattfeder

Dieses System ist eine Weiterentwicklung der Doppelquerlenkeraufhängung. Die Lenker werden durch eine querliegende Blattfeder ersetzt, die sowohl als Lenker als auch als Feder dient. Das spart Gewicht und Volumen.

McPherson Aufhängung

Sie ist eine der am weitesten verbreiteten Federungsmechanismen und wird sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterachse von Fahrzeugen eingesetzt. Das System besteht aus einem Schwenklenker, der den Fahrzeugrahmen mit dem Radträger verbindet. Der Radträger ist wiederum über eine Feder-Dämpfer-Einheit mit dem Gehäuse verbunden. Diese bildet ein Aufhängungsdreieck zwischen dem Lenker, dem Rahmen und der Feder-Dämpfer-Baugruppe. Die McPherson-Federung dient als Drehpunkt für die Lenkung und als Drehpunkt für das Rad.

Multilink-Achse

Diese Lenkung, die zum ersten Mal im Mercedes-Benz C111 eingeführt wurde, entwickelt den Doppelquerlenker-Mechanismus weiter, indem sie bis zu drei zusätzliche Lenker einführt, die das Rad entlang des Federwegs präziser führen können. Auf diese Weise sind Multilink-Aufhängungen in der Lage, die Bewegung des Rades dreidimensional zu steuern und ersetzen damit die traditionellen Doppelquerlenkerachsen.

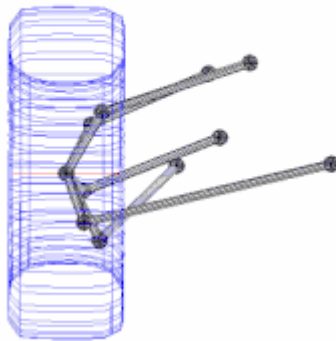


Abbildung 11: Multilink-Achse

Vergleich von Doppelquerlenkern mit McPhersonsachse

Abschließend wird die Doppelquerlenkerachse mit einem ihrer historischen Konkurrenten, der McPherson-Federbeinachse, verglichen. Zunächst werden die Vor- und Nachteile der McPherson-Aufhängung gegenüber der Doppelquerlenkerachse erörtert, dann die umgekehrte Richtung.

McPherson-Aufhängungen sind leichter als doppelte Querlenker, wodurch mehr Platz für andere Zwecke genutzt werden kann, z. B. zur Vergrößerung des Fahrgastraums. Die Wahl dieses Systems reduziert auch den Wert der ungefederten Massen, was ein leichteres Fahrverhalten und eine stärkere Beschleunigung ermöglicht. Nicht alles an diesem Modell ist positiv, denn bei dieser Aufhängung werden die Vibrationen direkt auf das Fahrgestell übertragen, so dass Silentblocks notwendig sind, um unerwünschte Geräusche zu vermeiden.

Der Hauptvorteil der Doppelquerlenkerachse besteht darin, dass sie vielseitiger ist als die McPherson-Aufhängung und auf verschiedene Weise konfiguriert werden kann, so dass sie die Sturzwinkel der Räder bei Kurvenfahrten steuern kann, was bei ihrem Konkurrenten nicht möglich ist. Dies und die selbsteinstellende Lenkung bedeuten, dass diese Option den Fahrzeugen mehr Stabilität und Beständigkeit verleiht, was sie zu einem Favoriten für Fahrzeuge macht, bei denen die Fahreigenschaften wichtiger sind. Die Hauptnachteile dieses Systems im Vergleich zu den anderen Modellen sind die Komplexität der Konstruktion und die große Anzahl beweglicher Teile, wodurch es teurer und konstanter zu warten ist.



Abbildung 12: McPherson Aufhängung

5. Vorläufiger Entwurf des Modells

5.1 Zielsetzung

Bevor mit dem Entwurf des Modells begonnen wird, müssen die Funktion und die Anforderungen, die das Modell erfüllen muss, festgelegt werden; dafür wird zunächst der Zweck des Modells definiert. Ziel ist es, ein Demonstrationmodell einer Doppelquerlenkerachse eines Autos zu bauen, bei dem die Länge und Position der Lenker variabel sind, um den Federweg und die Veränderung des Sturzwinkels für verschiedene Aufhängungsgeometrien beobachten zu können. Der Zweck des Systems ist rein didaktisch, da es an der Universität eingesetzt wird, um den Studenten die Funktionsweise des Systems zu vermitteln. Daher wird sich das Design hauptsächlich auf visuelle Aspekte und eine komfortable und ergonomische Handhabung des Modells konzentrieren, ohne dem Aspekt der Funktionalität und der Optimierung der Schnitte für die Lastberechnung viel Aufmerksamkeit zu schenken.

5.2 Lastenheft

Im Folgenden sind die Anforderungen aufgeführt, die das Modell erfüllen muss. Bei dem Entwurf müssen diese Bedingungen berücksichtigt und eine Option gewählt werden, die alle diese Bedingungen erfüllt.

Tabelle 1: Lastenheft

Nr	Beschreibung	Festforderung- F Mindestforderung- M Wunsch- W
1	Maximale Maße; Länge*Breite*Höhe; ca. 80*60*50 cm	M
2	Gewicht so, dass eine Person die Achse anheben kann	M
3	Links und rechts unterschiedliche Ausprägungen der Achsgeometrie, z.B auf einer Seite parallele Lenker, auf der anderen Seite eine andere Geometrie	W
4	Die "Karosserie" kann von Hand eingefedert werden	F
5	Der Einfederweg beträgt ca. 10 cm	M
6	Sichtbare Sturzänderungen beim Einfedern (>5 Grad?), außer bei einer Achse mit parallelen Lenkern	M
7	Die "Karosserie" kann von Hand einseitig eingefedert werden (Wanken).	F
8	Die Räder können jeweils gelenkt werden.	F
9	Die Lenkerachse steht nicht senkrecht, sodass sich beim Lenken der Sturz sichtbar verändert.	F
10	Die Anlenkpunkte mindestens eines Querlenkers an der "Karosserie" sind einfach veränderbar.	F
11	Der Sturz kann verstellt werden, so dass er in der Nullage der Achse auch bei Veränderung der Lenkerlänge oder Position Null beträgt.	F
12	Die Länge mindestens eines Querlenkers kann einfach verstellt werden.	F
13	Es sollen möglichst viele Kaufteile Verwendung finden.	W
14	Keine Verletzungsgefahr, d.h. keine Scharfen Kanten und keine Gefahr sich einzuklemmen	F
15	Robuste Konstruktion, die auch unsanfte Behandlung aushält	W

5.3 Vorläufige Studie

Bevor mit dem Entwurf des Modells begonnen wird, wird recherchiert, ob es ähnliche Modelle wie das zu bauende gibt. Ziel ist es, Ideen und Alternativen von Systemen zu sammeln, die von anderen Universitäten oder Einrichtungen, die ein ähnliches Projekt in Angriff genommen haben, gebaut wurden. Nach einer gründlichen Recherche findet man mehrere Modelle, die demjenigen, dass man bauen möchte, ähnlich sind. Die meisten davon sind virtuelle CAD-Entwürfe, einige sind reale Modelle für Spielzeugautos.



Abbildung 13: Beispiele für Modelle mit Doppelquerlenkerachse

Wie auf die *Abbildung 13* zu sehen ist, ähneln sich alle Designs und haben zwei Querenker und eine Feder-Dämpfer-Baugruppe, die vom unteren Lenker mit dem Fahrgestell verbunden ist. Manchmal sind die Modelle mit Rädern ausgestattet, damit sie sich bewegen können, manchmal sollen sie nur den Weg zeigen, den die Baugruppe beim Ein- und Ausfedern nimmt. Anhand dieser Studie lässt sich eine erste Vorstellung davon gewinnen, wie das Modell gestaltet werden könnte, allerdings zeigt keines der im Internet gefundenen Modelle, dass die Geometrie und Position des Lenkers verändert werden kann. Deshalb muss ein Mechanismus entwickelt werden, mit dem dies möglich ist, und es können nur Ideen aus früheren Modellen als kleine Inspiration verwendet werden.

5.4 Entwurfsvorschläge für variable Geometrie und Ausrichtung

Wie in den Zielvorgaben erläutert, sollte das Modell die Unterschiede im Federweg und Sturzwinkel bei verschiedenen Geometrien aufzeigen. Dies könnte durch den Bau verschiedener Modelle erfolgen, die jeweils eine andere Konfiguration der Lenker aufweisen, oder durch den Bau eines Modells, bei dem die Länge und die Befestigungspunkte der Lenker am Fahrgestell variiert werden können. Als Voraussetzung wird nur die zweite Option in Betracht gezogen.

Bei allen in der Vorstudie betrachteten Modellen haben die Lenker eine feste Länge. Wenn in dem zu bauenden Modell auch die Lenker auf diese Weise ausgeführt würden, müssten verschiedene austauschbare Lenker zur Verfügung stehen, um das Verhalten jeder Geometrie zu zeigen. Dies würde das Gewicht des Modells und auch die Montagezeit für jede Geometrie erhöhen, was ein unerwünschter Aspekt für den Entwurf ist. Eine andere Möglichkeit, bei der die Länge der Lenker nicht variabel ist, wäre eine unterschiedliche Geometrie des imaginären Parallelogramms auf der linken und rechten Seite des Modells, diese Option würde jedoch nicht alle Anforderungen korrekt erfüllen.

Die dritte Möglichkeit besteht darin, das Modell so zu gestalten, dass die Länge der Lenker variabel ist und die Koordinaten der Ankerungspunkte in Bezug auf das Fahrgestell ebenfalls gewählt werden können. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte werden mehrere Prototypen entworfen und zu Papier gebracht, so dass die verschiedenen Alternativen gekauft werden können.

Option 1

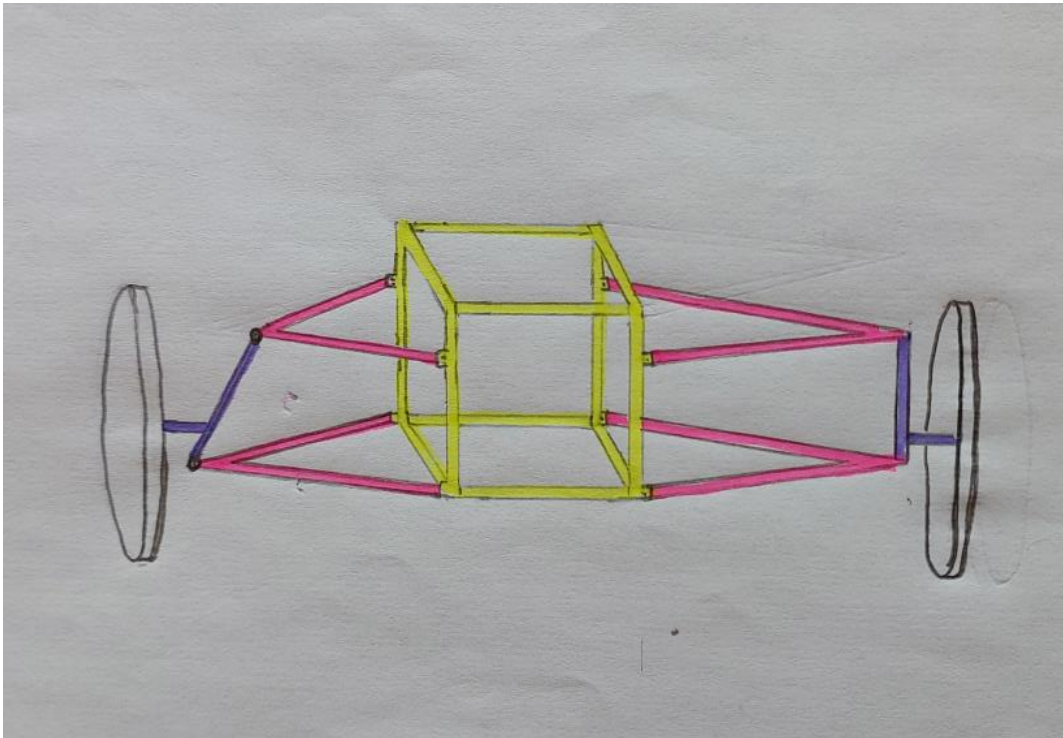


Abbildung 14: Entwurfsalternative Nummer 1

Option 1 bietet eine Aufhängung mit unterschiedlicher Geometrie auf jeder Seite des Fahrgestells. Auf der linken Seite ist die Konfiguration kurze Lenker-lange Lenker und auf der rechten Seite sind die Lenker gleich lang und parallel, obwohl verschiedene Konfigurationen gewählt werden können. Diese Option erfüllt eigentlich nicht die Anforderungen 10 und 11. Sie wurde vor der Erstellung des Lastenheftes als realisierbare Option untersucht und nur hinzugefügt, um den gesamten Entwurfsprozess korrekt zu gestalten.

Vorteile:

-Montagezeit ist Null

Nachteile:

-Nur zwei Arten von Geometrien können analysiert werden, nämlich die für jede Seite gewählt.

Option 2

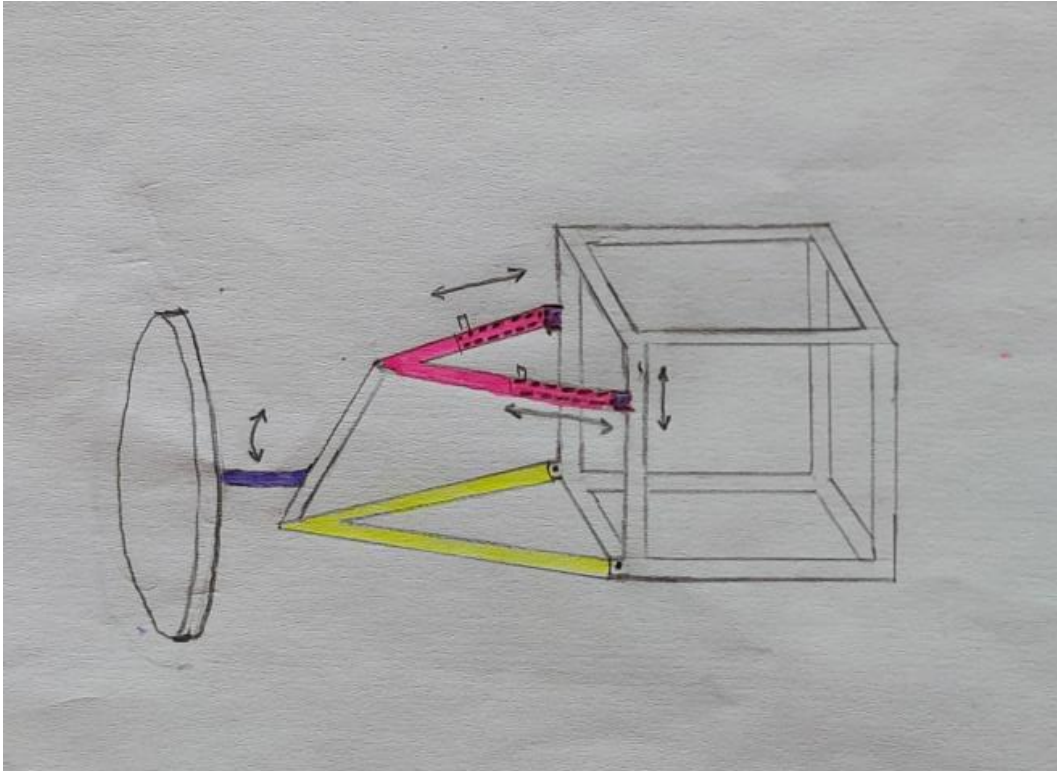


Abbildung 15: Entwurfsalternative Nummer 2

Bei diesem Modell ist der obere Lenker ausziehbar und kann durch einen Mechanismus in der Länge verändert werden, ähnlich wie bei den Griffen von Koffern oder bei der Längenverstellung von Krücken. Die Verankerungspunkte können auch vertikal verschoben werden. Bei dieser Option ist es erforderlich, dass die Radachse so eingestellt werden kann, dass bei ausgefahrenem oder eingeklapptem Oberlenker ein statischer Null-Sturz-Winkel eingehalten wird. Auf diese Weise lassen sich unendlich viele Geometrien konstruieren, so viele, wie innerhalb des Bereichs liegen, den der Oberlenker mit seinen verschiedenen Ankerpunkten erreicht.

Vorteile:

-Möglichkeit, eine große Vielfalt an Geometrien zu bauen.

Nachteile:

-Viele Teile müssen bei jeder Änderung angepasst werden (Oberlenker, Verankerungspunkt, Radachse), so dass die Montagezeit sehr lang ist.

Option 3

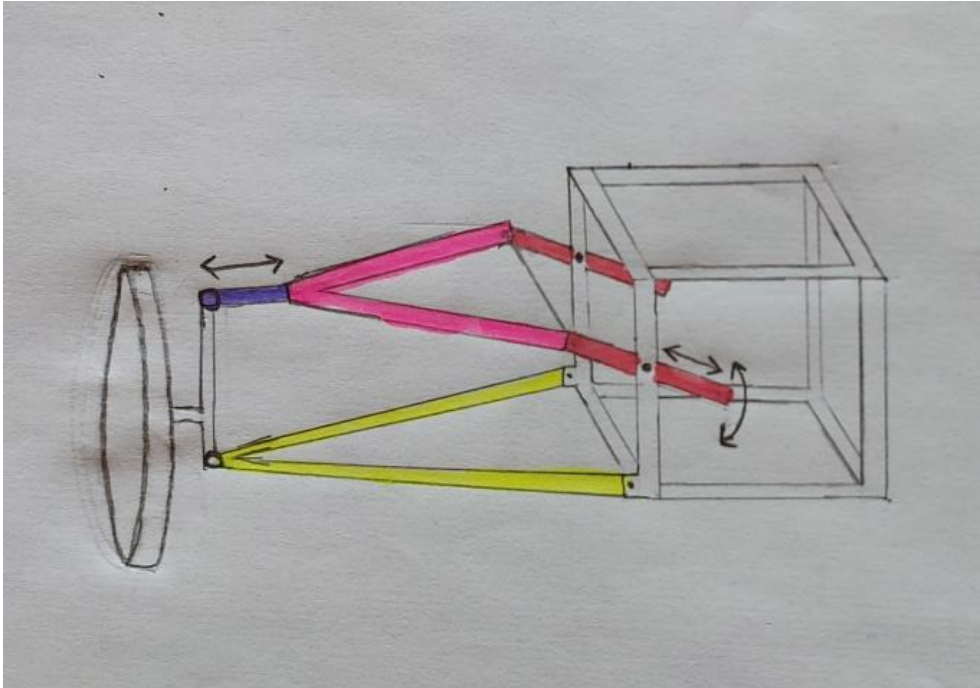


Abbildung 16: Entwurfsalternative Nummer 3

Option drei hat eine Stange, die mit dem Fahrgestell gelenkig verbunden ist. Dieser Stange kann gedreht und horizontal verschoben werden und wird fixiert, wenn der Punkt, an dem er positioniert werden soll, festgelegt wurde. An einem Ende ist diese Stange am Oberlenker angelenkt und bildet den Ankerpunkt. Der Oberlenker kann ausgefahren oder eingeklappt werden.

Vorteile:

-Konfiguration einer Vielzahl von Geometrien

Nachteile:

-Komplex und zeitaufwendig zu montieren

Option 4

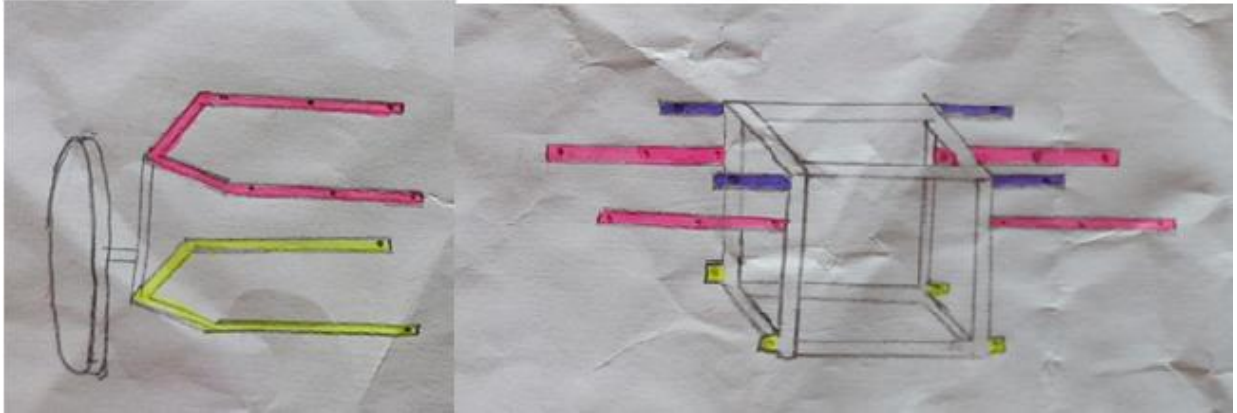


Abbildung 17: Entwurfsalternative Nummer 4

Bei Modell Nummer vier hat das Fahrgestell zwei Paar Stangen mit konzentrischen Löchern und ein kleines Gestänge für den Unterlenker, das immer fest befestigt wird. Auch die Aufhängungslenker haben ähnliche Löcher. Der Drehpunkt der lenker im Verhältnis zum Fahrgestell kann durch Einführen eines Bolzens durch die Löcher im Fahrgestell und im Lenker gewählt werden. Auf diese Weise kann das Verhalten für verschiedene Befestigungspunkte und verschiedene Oberlenkerlängen untersucht werden, ohne dass die Oberlenkerabmessungen tatsächlich verändert werden.

Vorteile:

-Sehr schnelle und einfache Montage.

Nachteile:

-Geringe Vielfalt an Geometrien möglich.

5.5 Rechtfertigung und Beschreibung der gewählten Lösungen

Um die beste Option auszuwählen, wird eine Studie über den gewichteten technischen Wert (WTP) durchgeführt. In dieser Studie werden die Bedürfnisse, die das Modell haben muss, ermittelt und nach ihrer Wichtigkeit gewichtet. Anschließend werden diese Funktionen mit ihrer Punktzahl in jeder der Alternativen in Beziehung gesetzt. Schließlich wird die beste Option entsprechend ihrer Endnote ausgewählt.

Tabelle 2: Anforderungen WTP

ANFORDERUNGEN	
F1	KOMPLEXITÄT DER MONTAGE
F2	ANZAHL DER IN DER MONTAGE ZU KONFIGURIERENDEN ELEMENTE
F3	VORZEIGBARE GEOMETRIEN
F4	GEWICHT

Tabelle 3: Wert der Bedeutung WTP

WERT DER BEDEUTUNG	
1	SEHR WICHTIG
0,75	RECHT WICHTIG
0,50	EBENSO WICHTIG
0,25	UNMITTELBAR
0	ÜBERHAUPT NICHT WICHTIG

Tabelle 4: Gewichtung WTP

	F1	F2	F3	F4	Wichtigkeit (G)	RANGO
F1	1	0,5	0,25	0,75	2,5	0-4
F2	0,5	1	0,25	0,75	2,5	0-4
F3	0,75	0,75	1	0,75	3,25	0-4
F4	0,25	0,25	0,25	1	1,75	0-4

Die folgende Formel wird zur Berechnung des WTP für jeden der Vorschläge verwendet:

$$VTP = \frac{\sum_{i=1}^n p_i g_i}{p_{max} \sum_{i=1}^n g_i}$$

Tabelle 5: Auswahl an Alternativen

AUSWAHL AN ALTERNATIVEN							
Kriterien	Wichtigkeit	Option 4		Option 3		Option 2	
	G	P	P*G	P	P*G	P	P*G
F.1 KOMPLEXITÄT DER MONTAGE	2,5	4	10	1	2,5	1	2,5
F.2 ANZAHL DER IN DER MONTAGE ZU KONFIGURIERENDEN ELEMENTE	2,5	4	10	1	2,5	2	5
F.3 VORZEIGBARE GEOMETRIEN	3,25	2	6,5	4	13	4	13
F.4 GEWICHT	1,75	2	3,5	4	7	4	7
SUMME	10	12	30	10	25	11	27,5
WTP			0,300		0,250		0,275

Das Ergebnis der WTP ist, dass die Option 4 für das Modell am besten geeignet ist. Bei diesem Auswahlssystem wurden die Einfachheit und die schnelle Montage der verschiedenen Konfigurationen mehr belohnt als das Gewicht und die vorzeigbaren Geometrien. Das liegt daran, dass das Gewicht zwar ein sehr wichtiger Aspekt für die Gestaltung des Modells ist, die Gewichtsunterschiede zwischen den verschiedenen Optionen aber nicht sehr groß sind. Was die Vielfalt der darstellbaren Geometrien betrifft, so wäre es am besten, wenn man die gewünschte Geometrie konfigurieren könnte, wie es bei den Optionen 2 und 3 möglich ist, aber bei Option 4 kann man die drei Haupttypen darstellen, was ja das Endziel des Modells ist. Kurz gesagt, was am meisten geschätzt wird, ist die Möglichkeit, zwischen den verschiedenen Arten der Aussetzung zu wechseln, ohne lange Wartezeiten, die die Demonstration behindern könnten.

5.6 Modell-Simulation

Um eine erste Schätzung der Abmessungen des Modells vorzunehmen, wird die Software Racing Aspirations verwendet. Dieses Programm ist ein virtueller Simulator einer Doppelquerlenkerachse, bei man dem die Breite des Fahrgestells, die Länge der Querlenker, die Koordinaten der Ankerpunkte und den Abstand zwischen den Rädern wählen kann. Sobald diese Parameter ausgewählt werden, kann man das Fahrgestell vertikal bewegen oder kippen, und der Simulator gibt die Veränderung des Sturzwinkels aus.

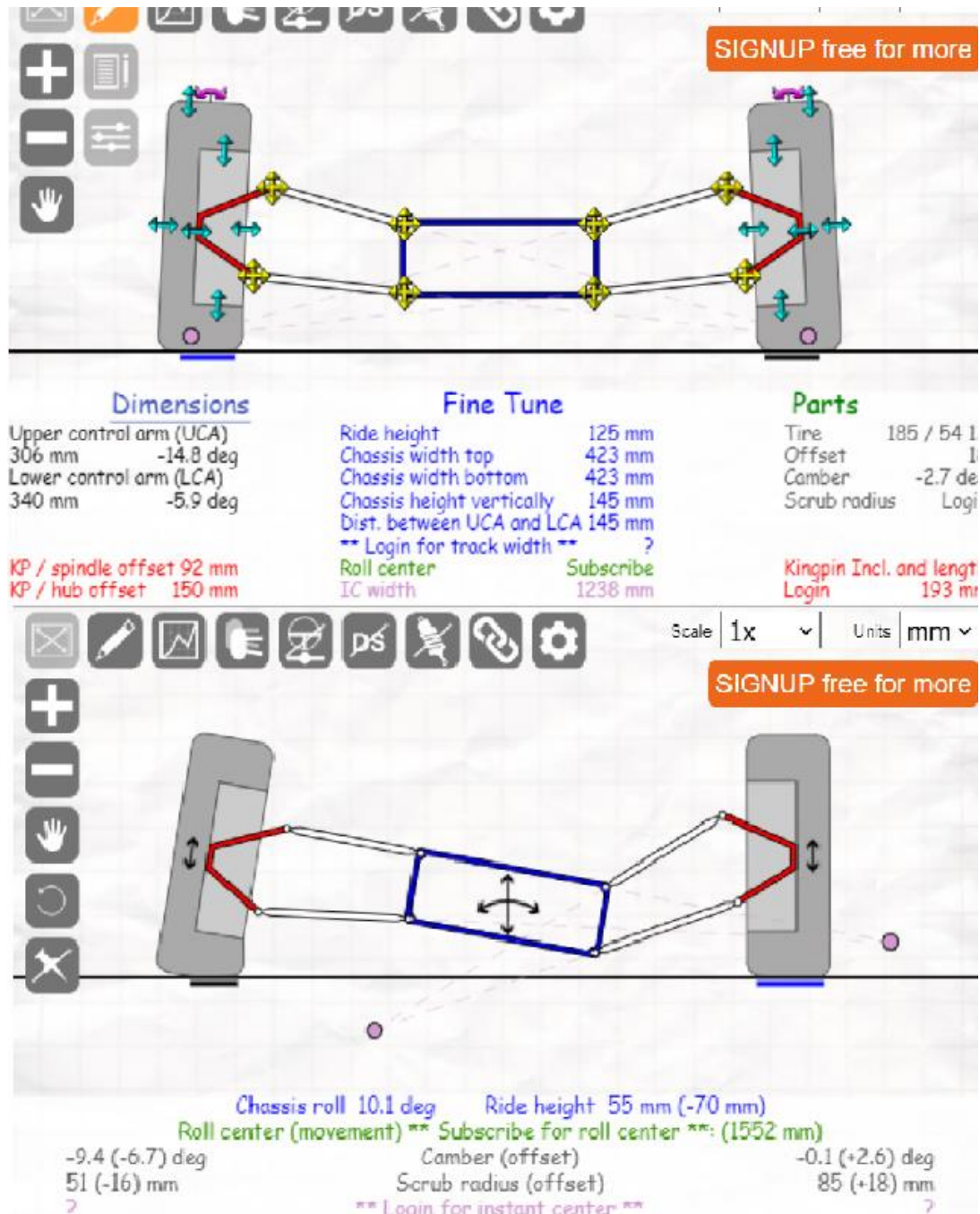


Abbildung 18: Racing Aspirations

Ziel ist es, experimentell Informationen darüber zu gewinnen, wie sich der Sturzwinkel in Abhängigkeit von der Länge des Lenkers und der relativen Neigung verändert. Unter Berücksichtigung der in des Lastenheftes beschriebenen Abmessungen ist es möglich, eine sehr ungenaue Schätzung der Abmessungen vorzunehmen, die die Aufhängungselemente haben könnten. Bei einer Gesamtbreite von 80 cm kann eine Breite der Räder von 10 cm, eine Länge des Lenkers von 20 cm und eine Breite des Fahrgestells von 20 cm angegeben werden. Bei der Konfiguration kurzer Lenker – langer Lenker wird die Länge des oberen Lenkers um 5 cm verringert, und bei der Konfiguration nicht paralleler Lenker wird der obere Lenker einer Neigung von 5° unterworfen. Diese Daten werden in die Software eingegeben und das Fahrgestell wird einem Druck von 10 cm und einer Neigung von 10° ausgesetzt. Die Ergebnisse sind wie folgt:

Tabelle 6: Änderung des Sturzwinkels bei der Simulation

	Parallele gleiche Lenker	Nicht parallele gleiche Lenker	kurzer Lenker – langer Lenker
Sturzänderung bei 10 cm Kompression	0°	8°	7.5°
Sturzänderung bei 10° Neigung	10.4°	7.2°	6.5°

Wie man sieht, liegen die Werte über den Anforderungen, die besagen, dass die Veränderung größer als 5° sein muss, daher kann der Entwurf mit einer Geometrie mit diesen Eigenschaften fortgesetzt werden.

6. Endgültige Entwurf des Modells

Im Folgenden wird der endgültige Aufbau des Modells beschrieben. Das Modell kann in verschiedene Teile zerlegt werden, die später zusammengesetzt werden müssen. Diese sind:

- Karosserie
- Artikulationen
- Lenksystem
- Räder
- Federbeine

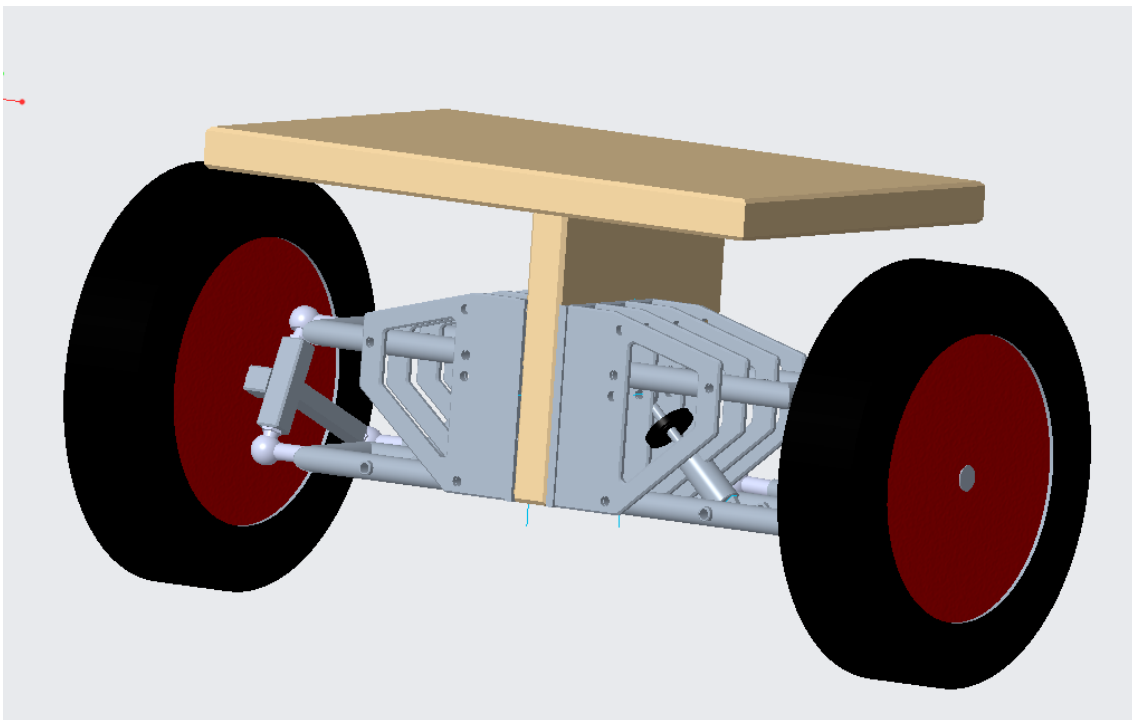


Abbildung 19: Endgültige Entwurf des Modells

6.1 Karosserie

Die Karosserie des Modells besteht aus dem Fahrgestell und den Verankerungen. Um Gewicht zu sparen und die Abmessungen zu verringern, sind in diesem Modell nur die für die Aufhängung notwendigen Elemente dargestellt, weshalb es einem echten Auto nicht sehr ähnlich sieht.

6.1.1 Fahrgestell

Das Fahrgestell ist das zentrale Element des Modells, an dem die übrigen Bauteile befestigt werden. Es besteht aus zwei rechtwinklig zueinanderstehenden Platten. Das Fahrgestell hat drei Löcher in der unteren Platte, zwei davon zur Verbindung der Verankerungen und das dritte zur Führung der Lenkung. Bei der Auswahl des Materials für das Chassis ist zu berücksichtigen, dass der wichtigste Aspekt dieses Teils seine Leichtigkeit ist, da es am stärksten beansprucht wird, wenn eine der Seiten gedrückt wird, um das Chassis zu kippen. Vor diesem Hintergrund wird leichtes Holz aufgrund seiner relativ geringen Dichte und einfachen Verarbeitung als Material gewählt.

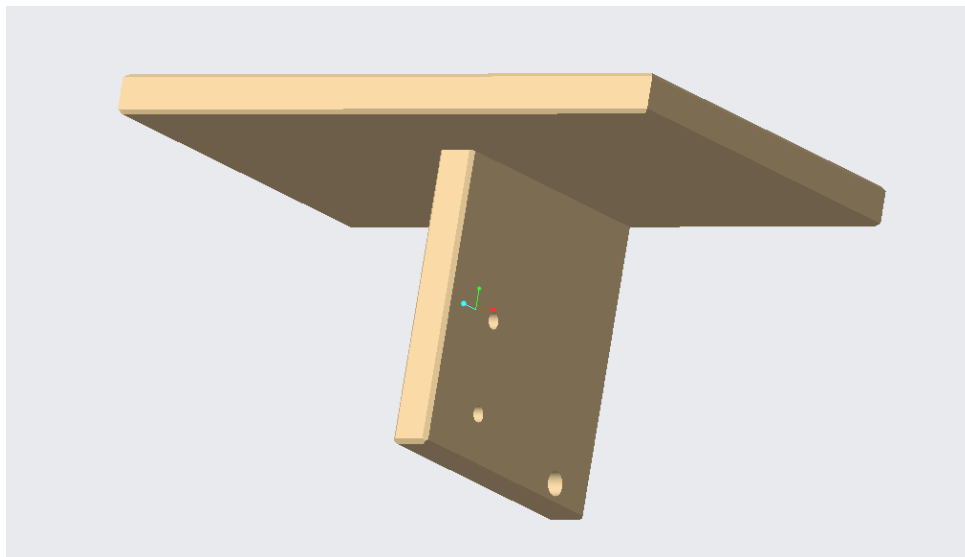


Abbildung 20: Fahrgestell

6.1.2 Verankerungen

Im Abschnitt mit den Vorschlägen für die variable Geometrie und Ausrichtung wurde die Option 4 gewählt, bei der das System aus zwei paaren Stangen und einem Paar Gestänge besteht, an denen die Lenker angelekt werden. Um die Festigkeit zu erhöhen und die Ästhetik des Entwurfs zu verbessern, wurden diese Elemente, wie in der *Abbildung 21* gezeigt, zu einer einzigen Platte zusammengefügt. Anstelle einer einzelnen Platte an jedem Ende wurden auch zwei Zwischenhalterungen angebracht. Wie zu sehen ist, befinden sich in jeder Platte fünf Löcher:

- 1) Unteres Lenkergelenk.
- 2) Verbindung der Feder mit dem Rest der Karosserie.
- 3) Oberes Lenkergelenk für die Konfiguration kurzer Lenker - langer Lenker.
- 4) Obere Lenkergelenk für nicht parallele, gleiche Lenkerkonfiguration.
- 5) Oberes Lenkergelenk für gleiche und parallele Lenkerkonfiguration.

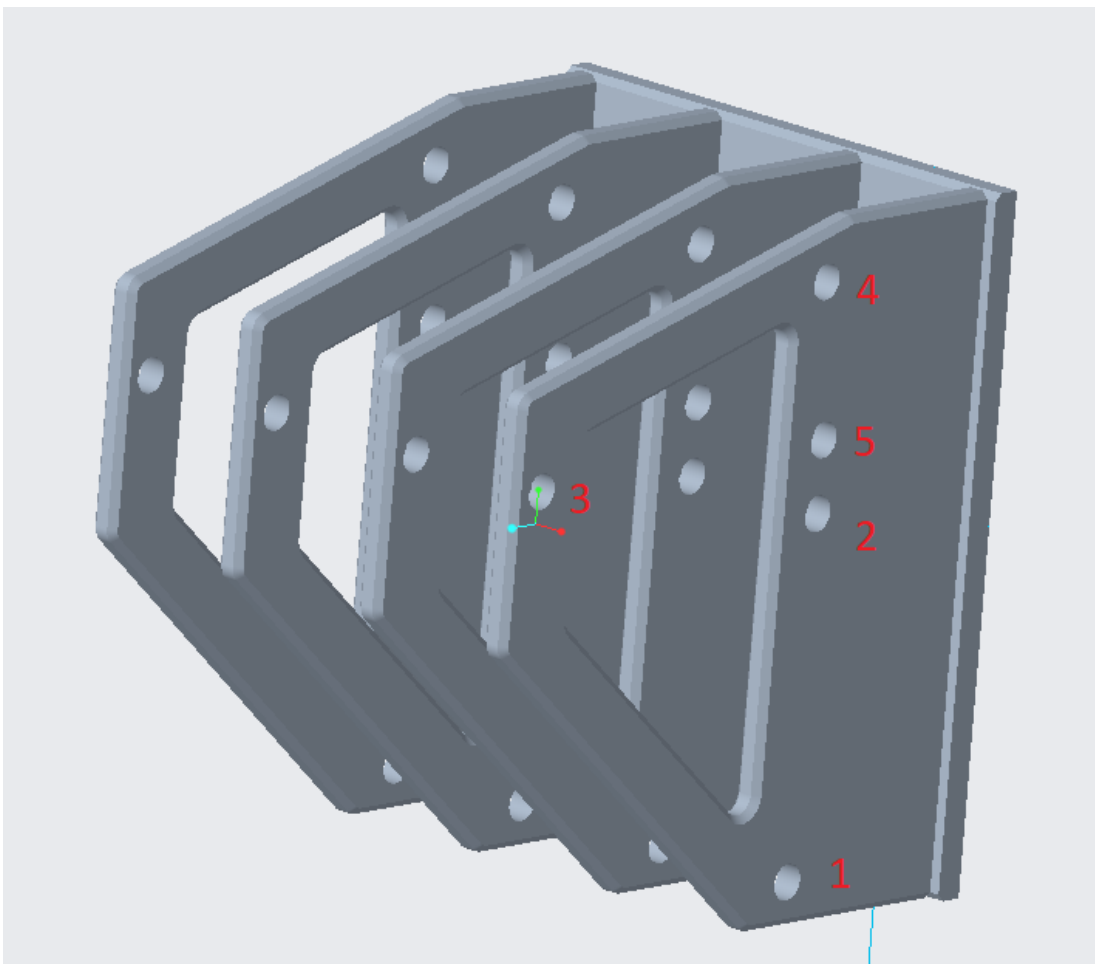


Abbildung 21: Verankerungen

Wie man sieht, haben die Platten in der Mitte ihres Querschnitts einen großen Materialausschnitt als Fenster. Diese ist so konstruiert, dass die Bewegung der Lenker sehen kann, wenn die Aufhängung ein- und ausgefedert wird. Die Spannplatten sind mit einer Hilfsplatte so verschraubt, dass sie alle zusammenstehen. In *Abbildung 19* kann man sehen, dass es zwei Verankerungen gibt, eine auf jeder Seite des Fahrgestells. Die Verankerungen werden mit Schrauben durch zwei Bohrungen im Fahrgestell miteinander verschraubt. Das Material der Wahl für diese Strukturen ist Aluminium aufgrund der dünnen Profile, die in vielen Teilen der Verankerungen vorhanden sein werden, und der großen Anzahl von Befestigungselementen, die zu einem Bruch führen könnten, wenn ein anderes Material wie Holz oder ein Polymer gewählt würde.

6.2 Artikulationen

Die Artikulationen bestehen aus zwei Lenker, zwei Kugelgelenken und dem Radträger. Es ist der bewegliche Teil des Mechanismus und überträgt die Bewegung des Fahrgestells auf die Räder und umgekehrt. Es ist auch das Element, das den Aufhängungsweg in Abhängigkeit von der Bohrung in der Platte steuert, in der es aufgehängt ist.

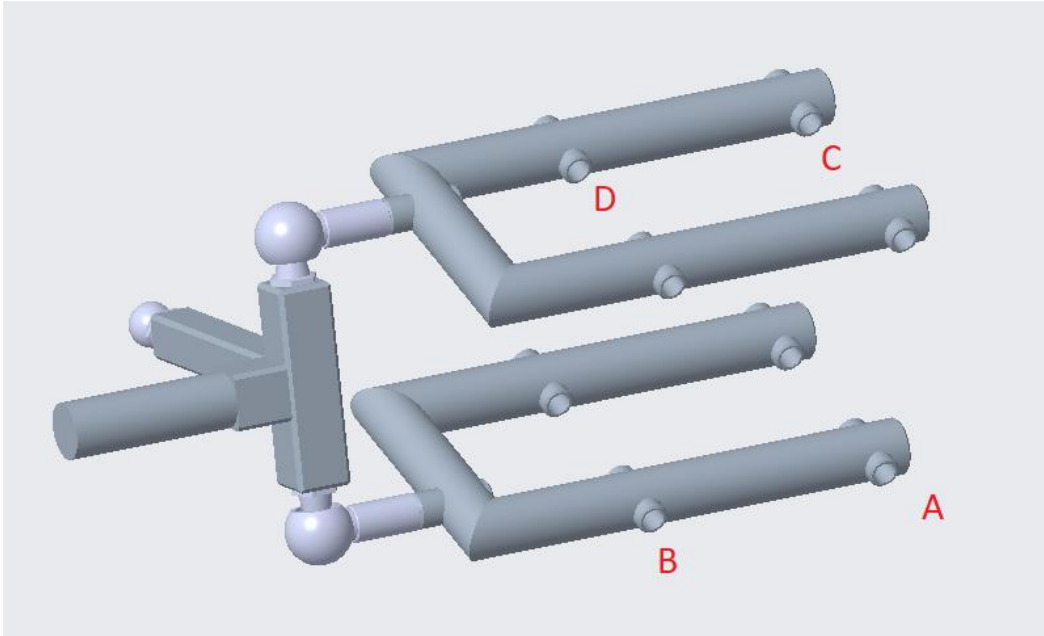


Abbildung 22: Artikulation Rechts

- A) Verbindung mit Loch 1 (Unterlenker)
- B) Verbindung des Federbeins mit dem Unterlenker
- C) Verbindung mit den Löchern 4 und 5 je nach Konfiguration (parallel bzw. nicht-parallel)
- D) Verbindung mit Loch 3 (kurzer Lenker - langer Lenker)

So kann man die Konfiguration dann je nachdem, wo der Bolzen in den Oberlenker und die Klemmplatte eingesetzt wird, verändert werden und kann zwischen drei verschiedenen Möglichkeiten variieren.

Die Querlenker sind die Verbindung zwischen dem Fahrgestell und dem restlichen System und beschreiben den Federweg. Sie bestehen aus drei Röhren, von denen zwei gleich lang und die dritte kürzer ist. Zwei Buchsen werden in die langen Rohre und eine in das kurze Rohr eingeführt. Die Buchsen der langen Lenkern fungieren als Gelenk mit dem Chassis und mit dem Federbein, während die Buchsen des kurzen Rohres dazu bestimmt sind, die Lenkern mit dem Kugelgelenk mittels einer Schraube zu verbinden.

6.2.1 Kugelgelenk

Das Kugelgelenk ist ein mechanisches Element mit drei Freiheitsgraden. Es ermöglicht die Drehung in drei Ebenen, wobei die Bewegung in zwei davon eingeschränkt ist.



Abbildung 23: Kugelgelenk

Im Modell dienen die Kugelgelenke zur Anlenkung der Lenker am Radträger und des Radträgers an der Lenksystem. Beim Lenker-Radträger-Paar ermöglicht das Kugelgelenk zwei unterschiedliche Bewegungen:

1) die Relativbewegung der beiden Lenker durch den Radträger bei ein und ausfedern. Wenn sich Unter- und Oberlenker parallel drehen, ihre Drehpunkte aufeinander ausgerichtet sind und sie den gleichen Drehradius haben, bilden die Kugelgelenke einen Winkel von 0° zur Vorderansicht während des gesamten Federwegs. Das bedeutet, dass der Radträger während der gesamten Fahrt parallel zum Boden und das Rad senkrecht zum Boden bleibt. Dies ist der Fall bei der Fahrwerkskompression für parallele gleiche Lenker, bei der der resultierende Sturzwinkel 0° beträgt, wie in der *Tabelle 6* zu sehen ist. Bei den anderen Konfigurationen erfüllen der Ober- und der Unter Lenker eine dieser Bedingungen nicht, und der Weg beide Lenker ist nicht gleich, was dazu führt, dass sich der Radträger während des Weges und damit das Rad neigt, wodurch sich der Sturzwinkel ändert. Wie bereits erläutert, ist dieses Phänomen manchmal erwünscht und manchmal nicht, so dass die richtige Einstellung der Konfiguration einen großen Einfluss auf die Fahreigenschaften des Fahrzeugs hat.

2) Drehung um die Längsachse des Rades, das das Lenksystem steuert. Das Kugelgelenk ermöglicht es dem Radträger auch, sich in einer Ebene praktisch parallel zum Boden zu drehen, wie es bei Autos der Fall ist, wenn das Lenkrad gedreht wird. Man kann nur praktisch sagen, denn diese Bewegung ist nicht ganz parallel zum Boden, wie weiter unten erklärt wird. Wie im obigen Abschnitt angegeben, ist der Nachlaufwinkel die Differenz zwischen der Lenkdrehachse der Vorderräder und der Senkrechten zum Boden in der Seitenansicht. In der *Abbildung 22* ist zu erkennen, dass die Kugelgelenke nicht vertikal ausgerichtet sind, sondern einen Winkel mit der Senkrechten zum Boden bilden. Dieser Versatz der Drehachse führt zu einer Änderung des Sturzwinkels, der bei geraden Rädern 0° beträgt und sich bei Drehung der Räder vergrößert. Wie bereits erwähnt, ist dieser Sturz bei Kurvenfahrten, d. h. beim Einschlagen der Räder, wünschenswert, um die auf das Fahrzeug wirkende Fliehkraft zu kompensieren.

6.2.2 Radträger

Der Radträger ist das Teil, das die Räder mit der Lenkung und der Aufhängung verbindet. Es besteht aus drei Stangen, eine für jedes der oben genannten Teile. Die erste Stange ist diejenige, die das Oberlenker-Kugelgelenk mit dem Unterlenker-Kugelgelenk verbindet. Die zweite Stange ist für die Aufnahme des Rades zuständig. Wie Sie sehen können, hat es einen zylindrischen Teil, der die Achse des Rades sein wird. Die dritte Stange wird die Verbindung zum Lenksystem sein, diese Verbindung wird ebenfalls ein Kugelpaar sein, wie in diesem Punkt erklärt wird.

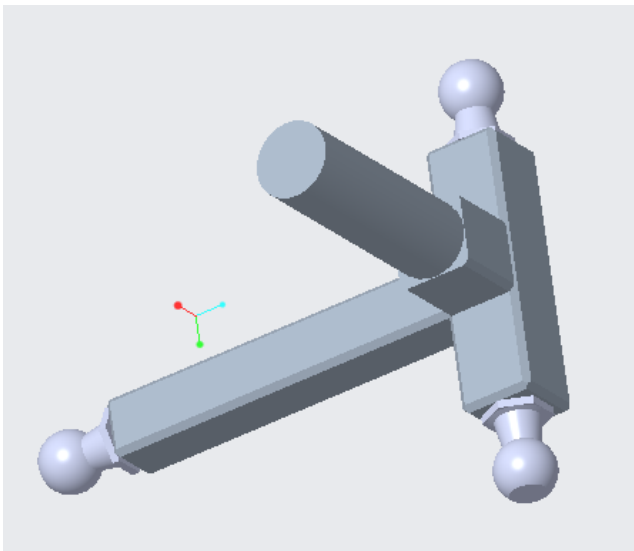


Abbildung 24: Radträger

6.3 Räder

Die Räder sind die Elemente, die die Bewegung vom Getriebe des Fahrzeugs auf den Boden übertragen. Bei diesem Modell sollen sich die Räder nicht drehen, da es sich nicht bewegen soll, sie dienen nur zur Veranschaulichung der Variation der Achswinkel. Die Räder sitzen auf der zylindrischen Achse des Radträgers und werden durch eine Mutter auf dem Gewinde der Stange gegen Abrutschen gesichert.

6.4 Lenksystem

Die Lenkung überträgt die Bewegungen des Lenkrads auf die Räder. Bei diesem Modell ist kein Lenkrad erforderlich, so dass die Räder durch manuelle Betätigung der Lenkstange seitlich gedreht werden.

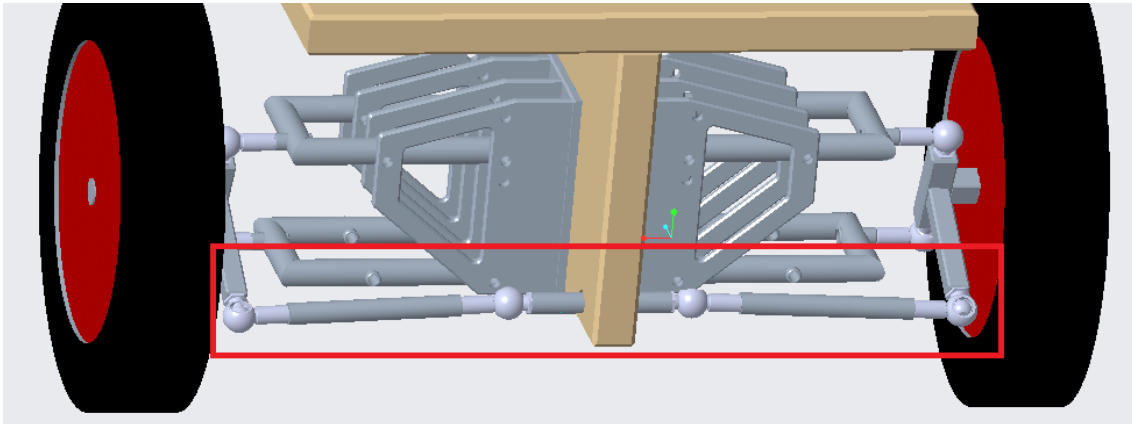


Abbildung 25: Lenksystem

Wie auf der *Abbildung 25* zu sehen ist, besteht die Lenkung aus drei Stangen und vier Kugelgelenken. Die zentrale Stange läuft durch das Fahrgestell, konzentrisch zu einer Buchse, die die Bewegung der Stange so führt, dass sie sich nur horizontal bewegen kann. Auf diese Stange wird in Autos die Bewegung des Lenkrads übertragen. Die Seitenstangen übertragen die Bewegung auf das linke bzw. rechte Rad. Während Einfedern des Fahrzeugs findet eine relative vertikale Verschiebung zwischen den Rädern und dem Fahrgestell statt. Der Mittelträger bleibt gegenüber dem Fahrgestell immer auf gleicher Höhe, die Seitenträger sind jedoch an einem Ende an der Radachse angelenkt. Um ein Blockieren der Aufhängung zu verhindern, sind zwischen den drei Stangen Kugelgelenke angebracht, die eine Drehung der Seitenträger in der vertikalen und horizontalen Ebene ermöglichen, während die linearen Verschiebungen nach links und rechts übertragen werden. Diese Kugelgelenke sind frontal zu den Unterquerlenker-Ankerpunkten ausgerichtet, wie in der *Abbildung 26* zu sehen ist. Wäre dies nicht der Fall, würde die Aufhängung beim Ein- und Ausfedern mit der Lenkung interferieren, da sie nicht den gleichen Drehradius haben. Die äußeren Kugelgelenke hingegen übertragen die Lenkbewegung auf den Radträger und bewegen sich in einer bogenförmigen Bewegung, um die Kugelgelenke Räder nach rechts oder links zu drehen.

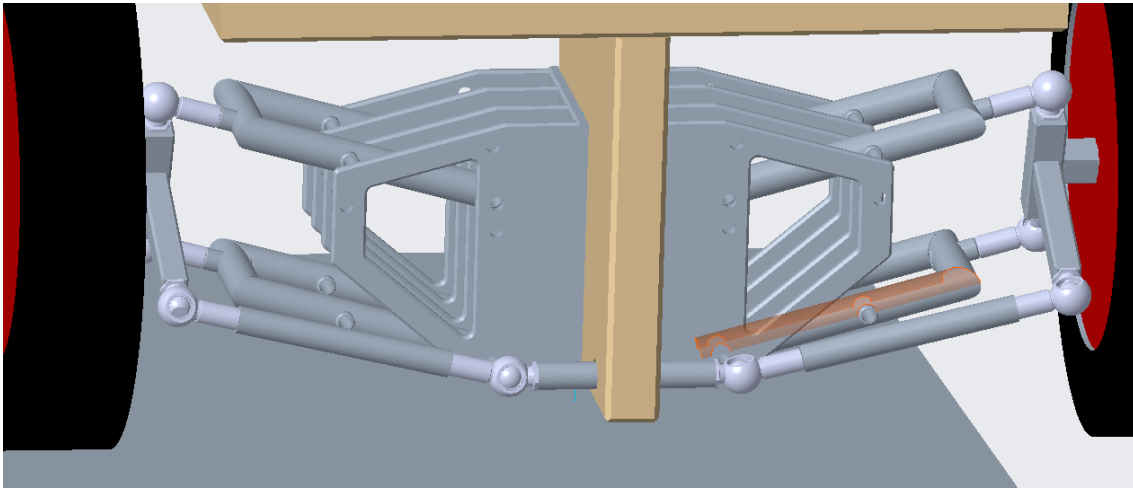


Abbildung 26: Lenksystem eingefert

6.5 Federbein

Das Federbein ist ein Mechanismus, der aus einer Feder und einem Dämpfer besteht. Wenn Druck in entgegengesetzter Richtung auf sie ausgeübt wird, wird die Feder zusammengedrückt und der Dämpfer verschiebt sich. Bei diesem Modell erfolgt die Kompression mit der relativen Verschiebung des Fahrgestells und des Rades während des Federwegs.

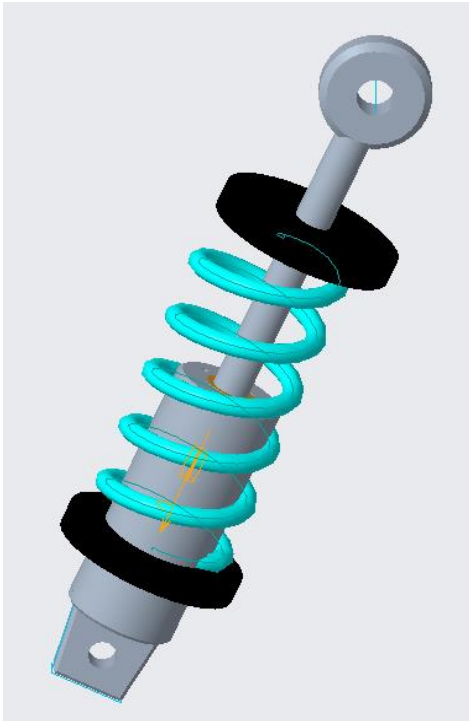


Abbildung 27: Federbein

Am oberen Ende des Federbeines befindet sich ein kreisförmiges Element mit einem Loch in der Mitte und am unteren Ende ein trapezförmiges Blech, das ebenfalls ein Loch in der Mitte hat. Durch diese Löcher wird das Federbein am Loch 2 der Platte bzw. an der Buchse B des Unterlenkers angelenkt.

Der Dämpfer besteht aus einer Stange, die konzentrisch durch eine Führung aus einem gleitenden Material in der Mitte des Rohrs bewegt werden kann. Am unteren Ende der Stange befindet sich eine Halterung, die aus einem Metallteil und einem PTFE-Ring besteht (*Abbildung 36*). Diese Teile haben die Aufgabe, zwei isolierte Luftkammern im Dämpferrohr zu schaffen. Auf diese Weise wird beim Zusammendrücken und Ausfahren des Federbeins ein hydraulischer Widerstand erzeugt, der den gewünschten Dämpfungseffekt bewirkt. Da es sich bei dem Modell nicht um ein echtes Modell handelt, ist der Dämpfungseffekt nicht notwendig, erzeugt aber einen Widerstand, der das Ein- und Ausfedern von Hand erschwert. Um dies zu verhindern, werden zwei Löcher in die untere Abdeckung der Röhre und zwei Löcher in die obere Abdeckung gebohrt, so dass die Luft ungehindert ein- und ausströmen kann. Kurz gesagt, der Dämpfungseffekt wird eliminiert und das Dämpfungssystem bleibt rein optisch.

Andererseits ist die Federwirkung für das Modell notwendig, da sie das Gewicht des Fahrgestells trägt, wenn die Aufhängung im Ausgangs- oder Nullpunkt gehalten wird. Wie in der Abbildung zu sehen ist, ist die Feder in zwei speziellen Halterungen untergebracht, die an der Federstange und am Rohr befestigt sind, so dass sie der gleichen Bewegung ausgesetzt ist, die das Dämpfungssystem beim Ein- und Ausfedern erfährt.

7. Überprüfung der Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Konstruktion durch die Darstellung der Bewegungen des Modells in der Creo Parametric Software gezeigt. Damit soll nachgewiesen werden, dass der Entwurf die Ziele erreicht hat und dass alle Mechanismen des Modells korrekt funktionieren. Die drei Konfigurationen werden einem Druck- und Kipptest unterzogen, die Route des Federbeins, und auch, die Drehung der Räder des Lenksystems wird analysiert.

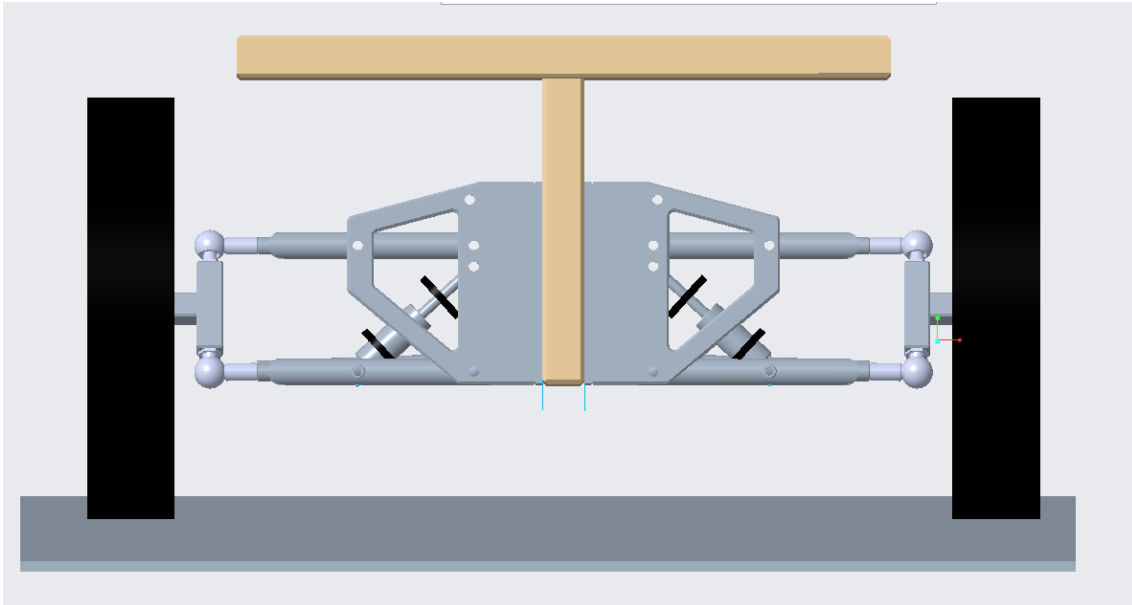


Abbildung 28: Ruhezustand des Modells

So sieht das Modell aus, wenn es sich im Ruhezustand befindet, wenn man den Bolzen durch die Löcher 5-C oder 3-D steckt. Die Bewegung dieser Mechanismen wird mit diesem Bild verglichen.

7.1 Konfiguration von gleich langen und parallelen Lenkern

Zielsetzungen:

- Der Sturzwinkel variiert nicht während des Kompressionshubs
- Der Sturzwinkel ist sichtbar, wenn die Karosserie geneigt ist.

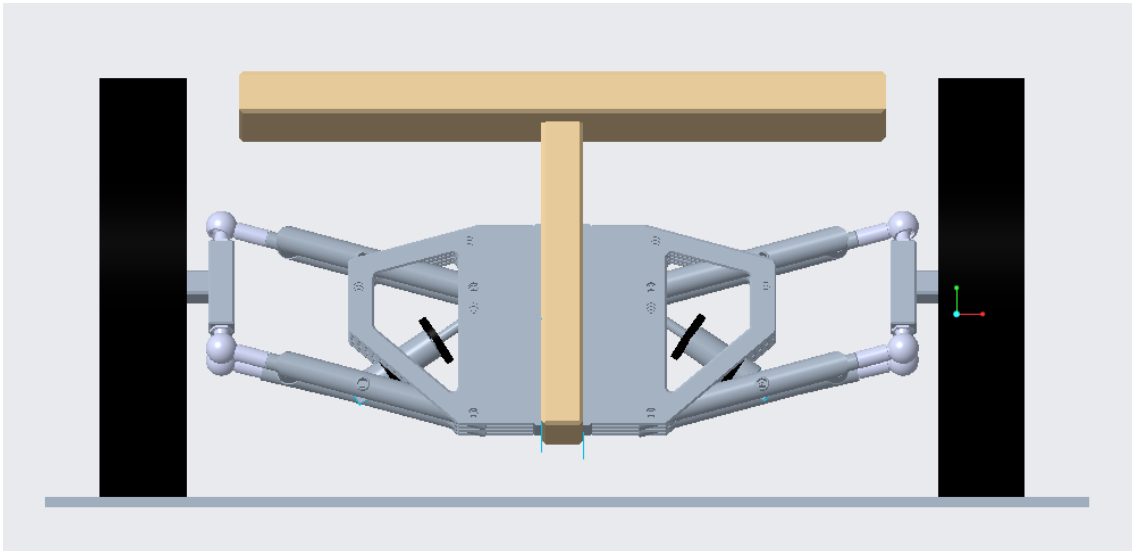


Abbildung 29: Konfiguration parallelen gleichen Lenkern, Fahrwerkskompression

Wie man sieht, bleiben die Räder während des gesamten Federwegs senkrecht zum Boden. Wie im *Abschnitt 6.2.1* erläutert, bilden die Kugelgelenke einen Winkel von 0° zur Vorderansicht während des gesamten Federwegs und die Achse des Radträgers und des Rades bleiben parallel bzw. senkrecht zum Boden. Die Variation des Sturzwinkels beträgt 0° .

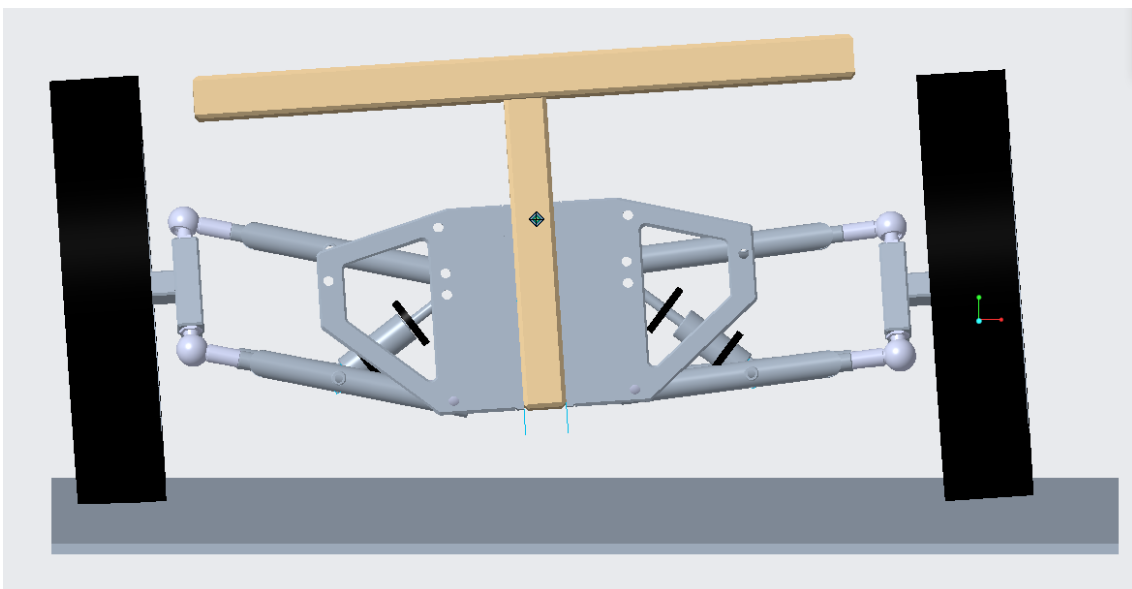


Abbildung 30: Konfiguration parallelen gleichen Lenkern, Fahrwerksneigung

Bei Schräglage der Karosserie ist die Sturzwinkeländerung spürbar. Das Verhalten ist wie erwartet.

7.2 Konfiguration Kurzer Lenker-Langer Lenker

Zielsetzungen:

-Der Sturzwinkel ist sowohl beim Einfedern als auch bei der Karosserieneigung sichtbar.

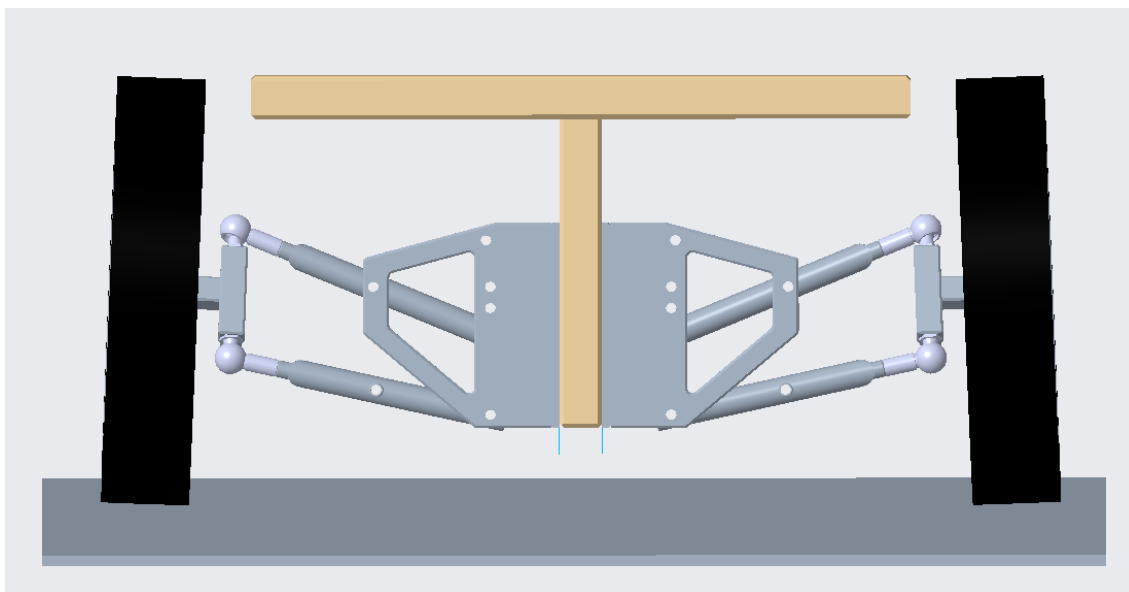


Abbildung 31: Konfiguration Kurzer Lenker-Langer Lenker, Fahrwerkskompression

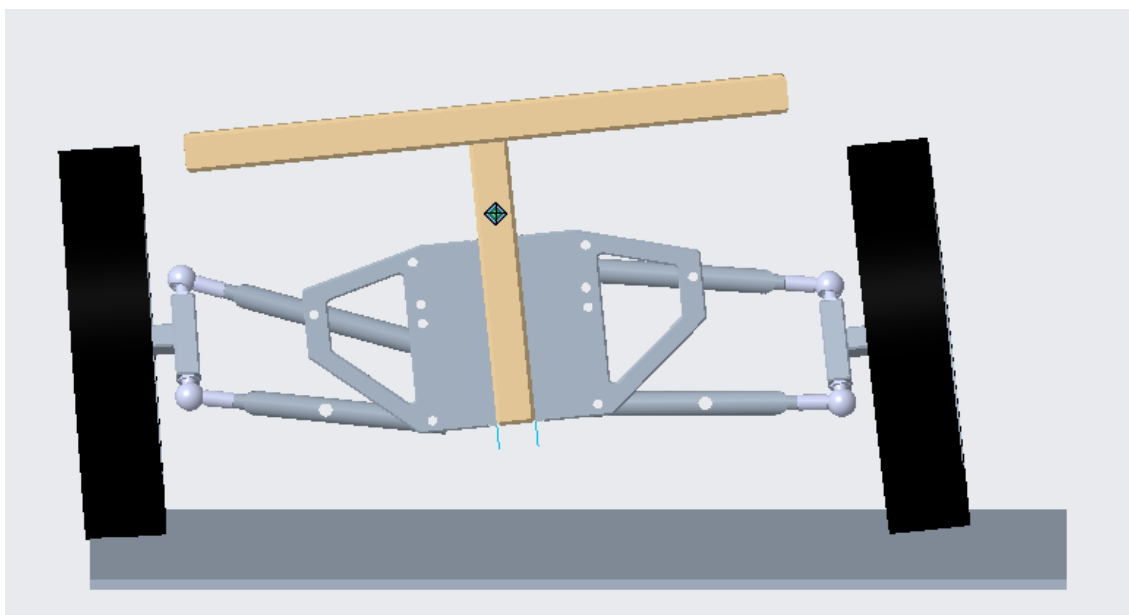


Abbildung 32: Konfiguration Kurzer Lenker-Langer Lenker, Fahrwerksneigung

Die Ziele sind in beiden Proben erreicht

7.3 Konfiguration von gleich langen nicht parallelen Lenkern

Zielsetzungen:

-Der Sturzwinkel ist sowohl beim Einfedern als auch bei der Karosserieneigung sichtbar.

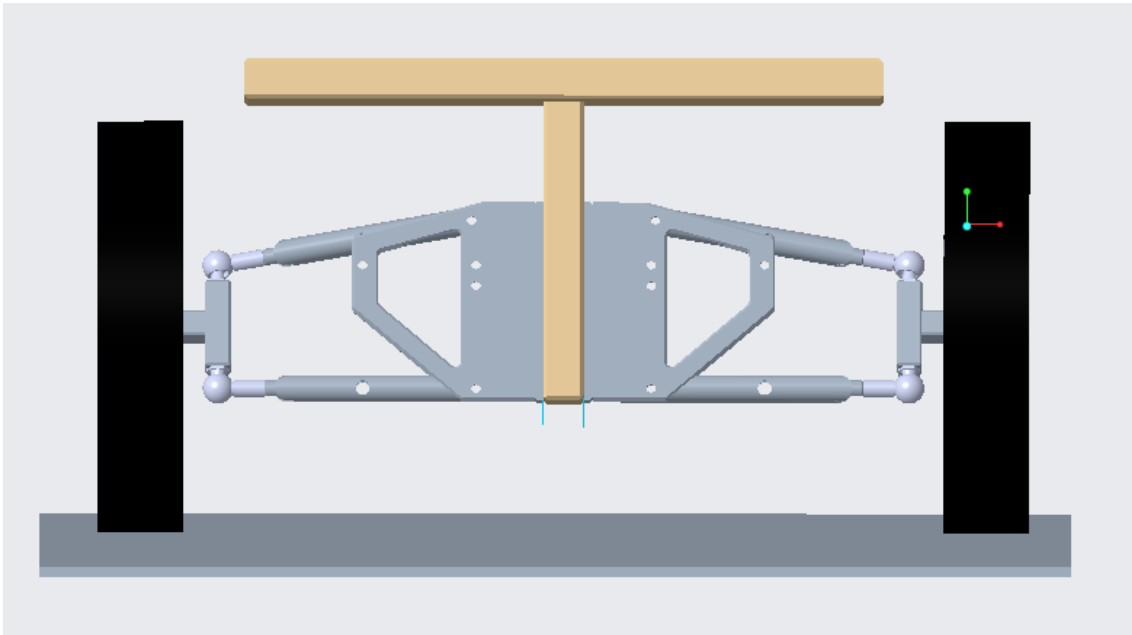


Abbildung 33: Konfiguration gleich langen nicht parallelen Lenkern Ruhestand

Dies ist der Ruhezustand der nicht parallelen, gleich langen Lenker Konfiguration. Das Bolzen wird in die Löcher 4-C eingesetzt.

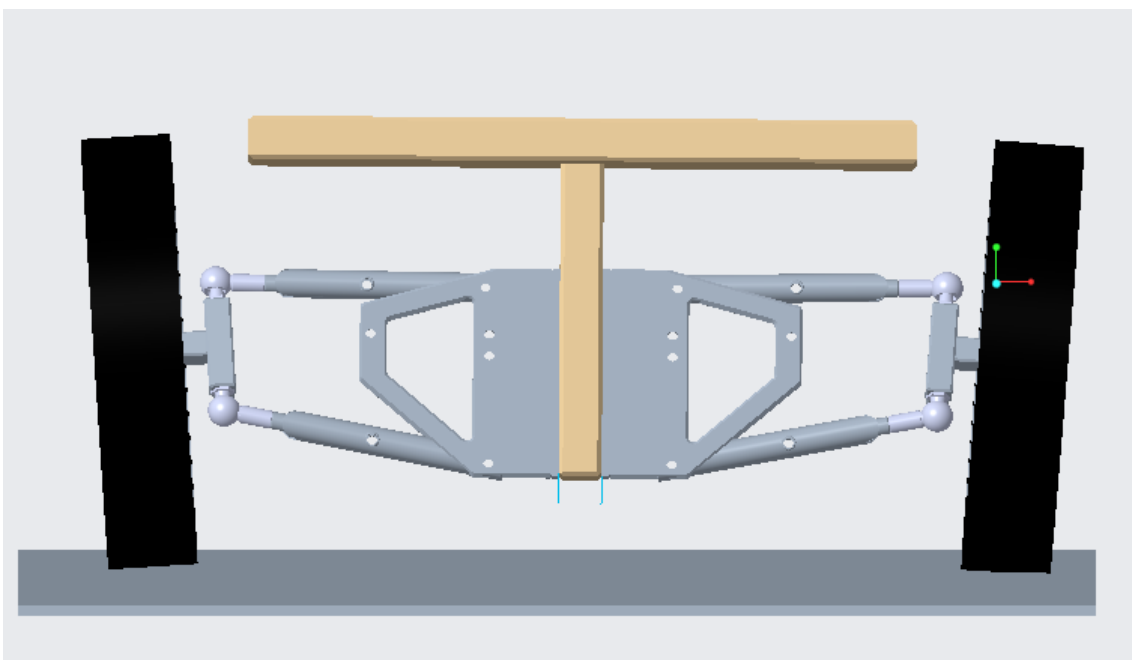


Abbildung 34: Konfiguration Konfiguration gleich langen nicht parallelen Lenkern, Fahrwerkskompression

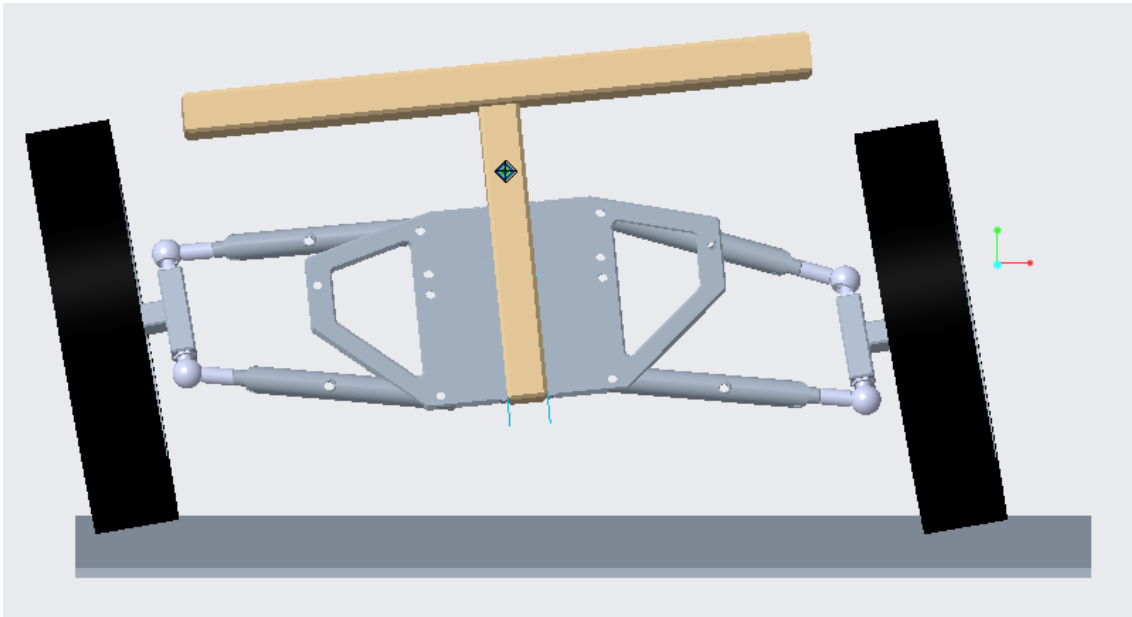


Abbildung 35: Konfiguration gleich langen nicht parallelen Lenkern, Fahrwerksneigung

Wie man sieht, werden die Ziele in beiden Fällen erreicht.

7.4 Verschiebung des Federbeines

Zielsetzungen:

-Das Federbein berührt weder die obere noch die untere Abdeckung.

Das Federbein muss einen so langen Federweg haben, dass er die Bewegung der Aufhängung nicht behindert. Um herauszufinden, ob die Entwurfsziele erreicht werden, wird der Federbein vom Rest des Modells wegbewegt, so dass die Ankerpunkte gleich bleiben und der Verfahrweg derselbe ist wie in seiner normalen Position, aber seine Verschiebung ebenfalls deutlich sichtbar ist. Das Federrohr ist unsichtbar gemacht und die Aufhängung ist maximal eingefedert.

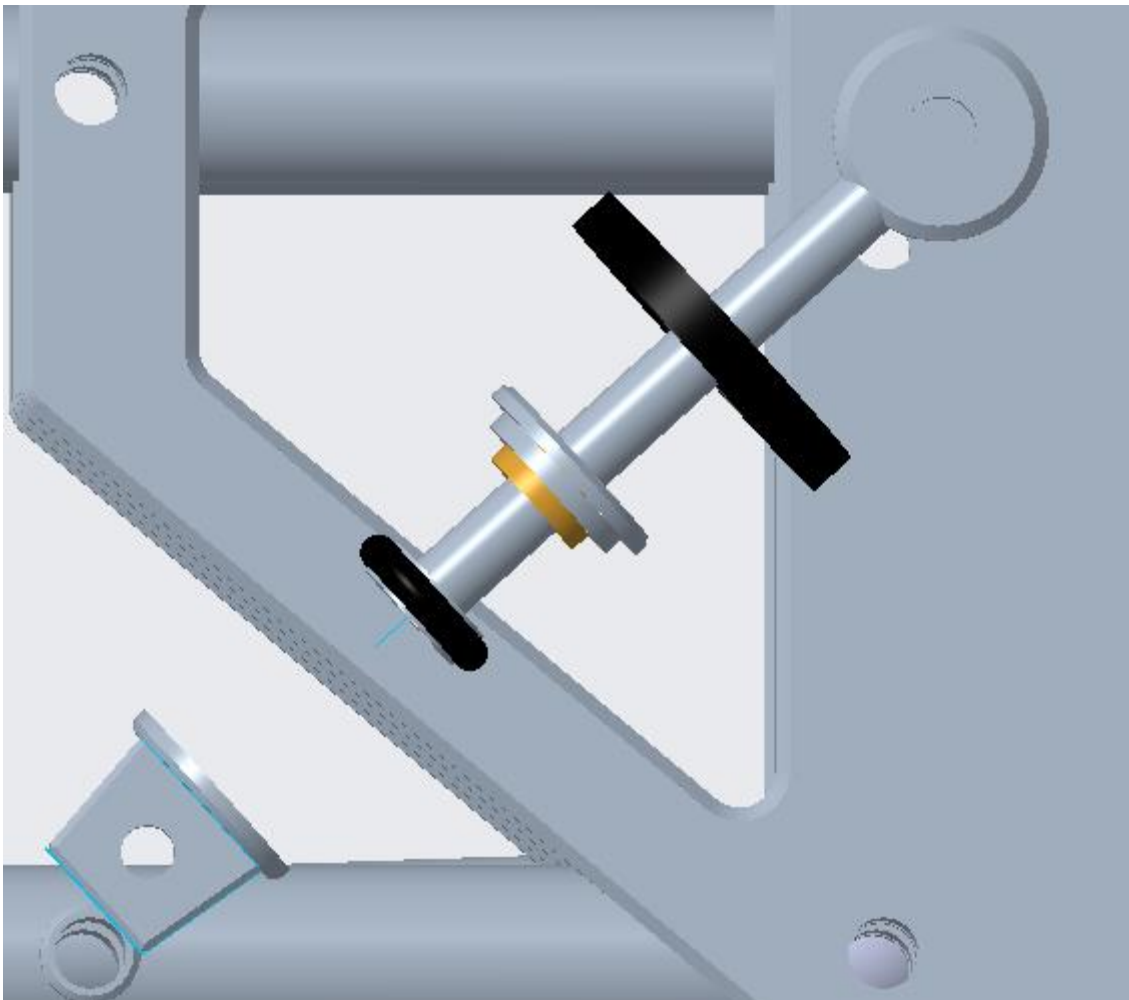


Abbildung 36: Federbein, Ruhestand

Dies ist die Position des Federbeins, wenn die Aufhängung in Bereitschaft ist.

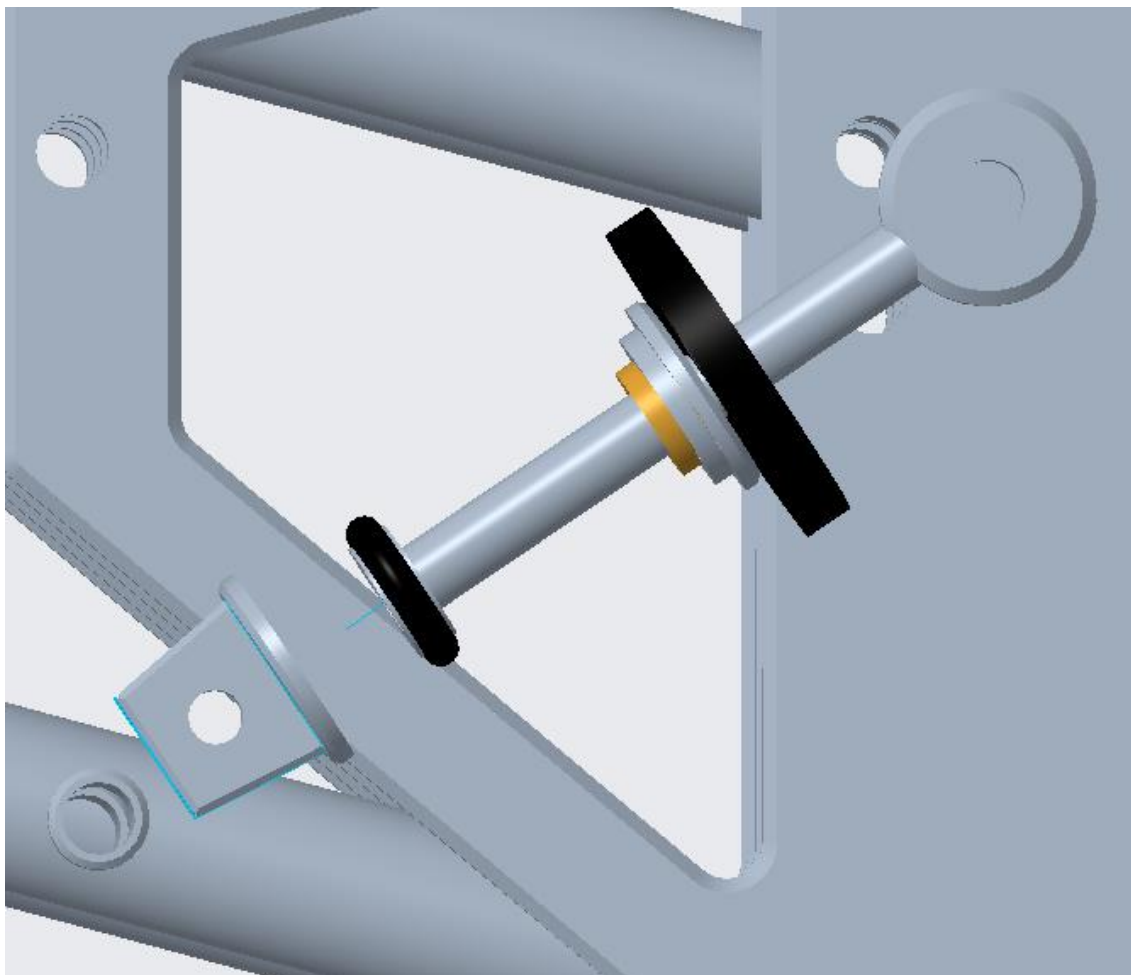


Abbildung 37: Federbein, Kompression

Wie auf dem Bild zu sehen ist, erreicht die Federbeinstange nicht die Grenzen des Weges, wenn das Modell eingefedert ist. Der Mechanismus erfüllt die Ziele.

7.5 Bewegung des Lenksystems

Zielsetzungen:

- Der Sturzwinkel wird beim Drehen der Räder sichtbar.
- Das System verriegelt nicht beim Absenken der Aufhängung.

Schließlich wird die Bewegung des Lenksystems analysiert. Der Nachweis, dass das System nicht blockiert, wenn die Aufhängung einfedern soll, ist in der *Abbildung 26* zu sehen.

Dies ist die Draufsicht auf das Modell im Ruhezustand.

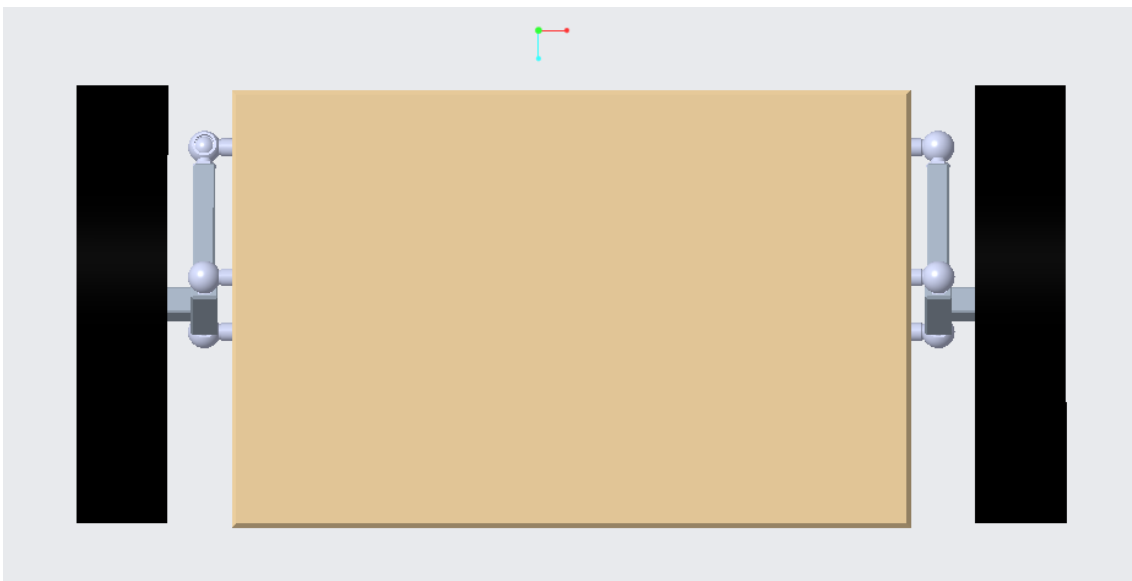


Abbildung 38: Draufsicht auf das Modell in seinem Ruhezustand

Das folgende Bild zeigt die Draufsicht des Modells, wenn die Räder ganz nach links gedreht sind. Die Variation des Sturzwinkels ist spürbar.

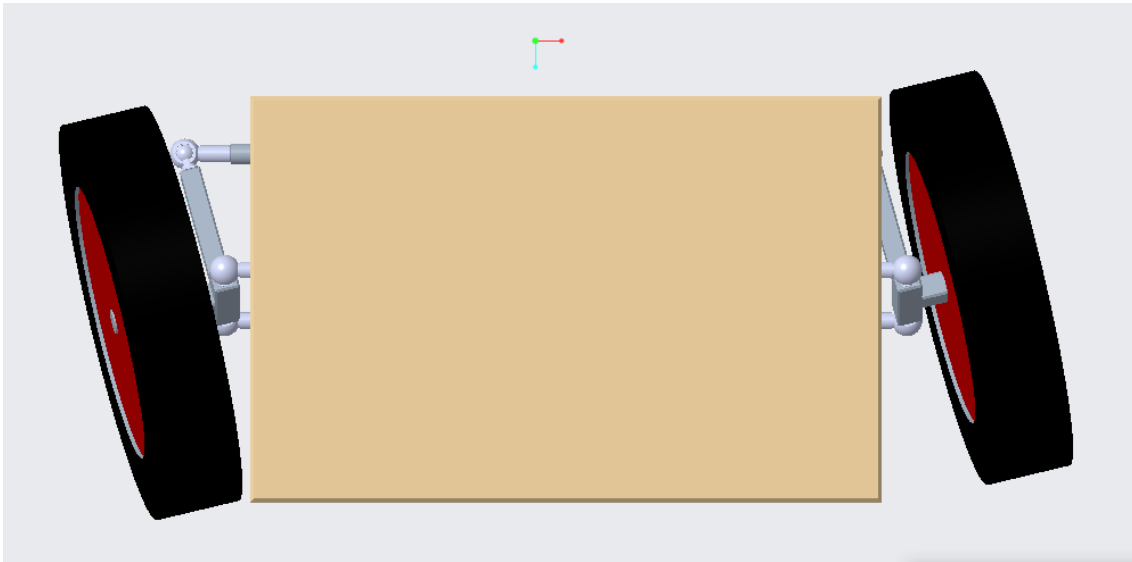


Abbildung 39: Draufsicht des Modells, Räder gedreht

7.6 Berechnung der Masse

Zielsetzungen:

- Gewicht so, dass eine Person die Achse anheben kann

Die Berechnung der Masse des Modells ist unten dargestellt. Um zu prüfen, ob es den Anforderungen entspricht, wird davon ausgegangen, dass eine Person maximal 15 kg bequem heben kann. Das Gewicht der Schrauben und die sehr kleiner Elemente wurde durch eine Masse von 0,5 kg ersetzt, um die Komplexität der Berechnungen zu verringern.

Tabelle 7: Berechnung der Masse

Teil	Material	Volumen (mm ²)	Dichte (kg/m ³)	Anzahl	Masse (kg)
Brett 1	Leich. Holz	3125468	450	1	1,404
Brett 2	Leich. Holz	9898892	450	1	4,451
Deckeoben	Aluminium	2471	2700	2	0,013
Deckeunten	Aluminium	2053	2700	2	0,011
Federstange	Aluminium	10302	2700	2	0,056
Federhang	Aluminium	3180	2700	2	0,017
Platte1	Aluminium	150247	2700	8	3,245
Platte2	Aluminium	229132	2700	2	1,241
Lenker	Aluminium	1,22878	2700	4	1,321
Radträger	Aluminium	173375	2700	2	0,936
Reifen					0,8
Stange.L.S.1	Aluminium	36622	2700	2	0.198
Stange.L.S.2	Aluminium	24833	2700	1	0.067
Schrauben					0,5
				Summe	13,451

Berechnung der Masse des Modells

Die Gesamtmasse des Modells beträgt 13.451 kg und entspricht damit den Anforderungen des Lastenheftes.

7.7 Endgültige Dimensionen

Zielsetzungen:

- Länge*Breite*Höhe; ca. 80*60*50 cm

Unten sind Die Maße der Höhe, Breite und Länge des Modells angegeben.

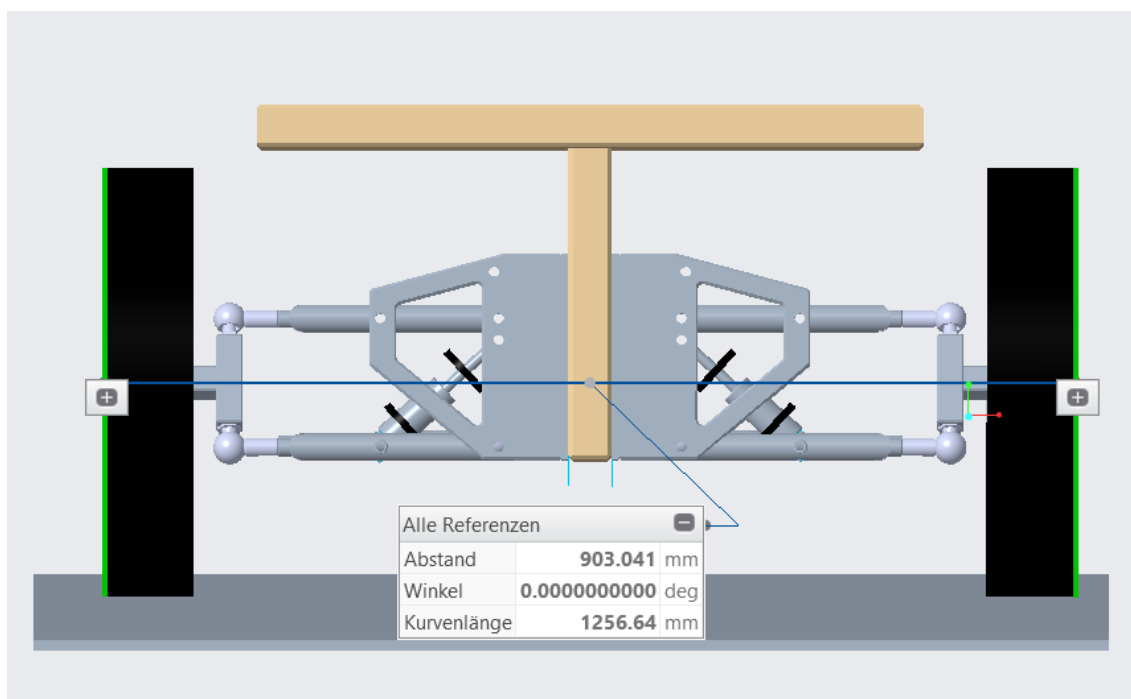


Abbildung 40: Länge des Modells

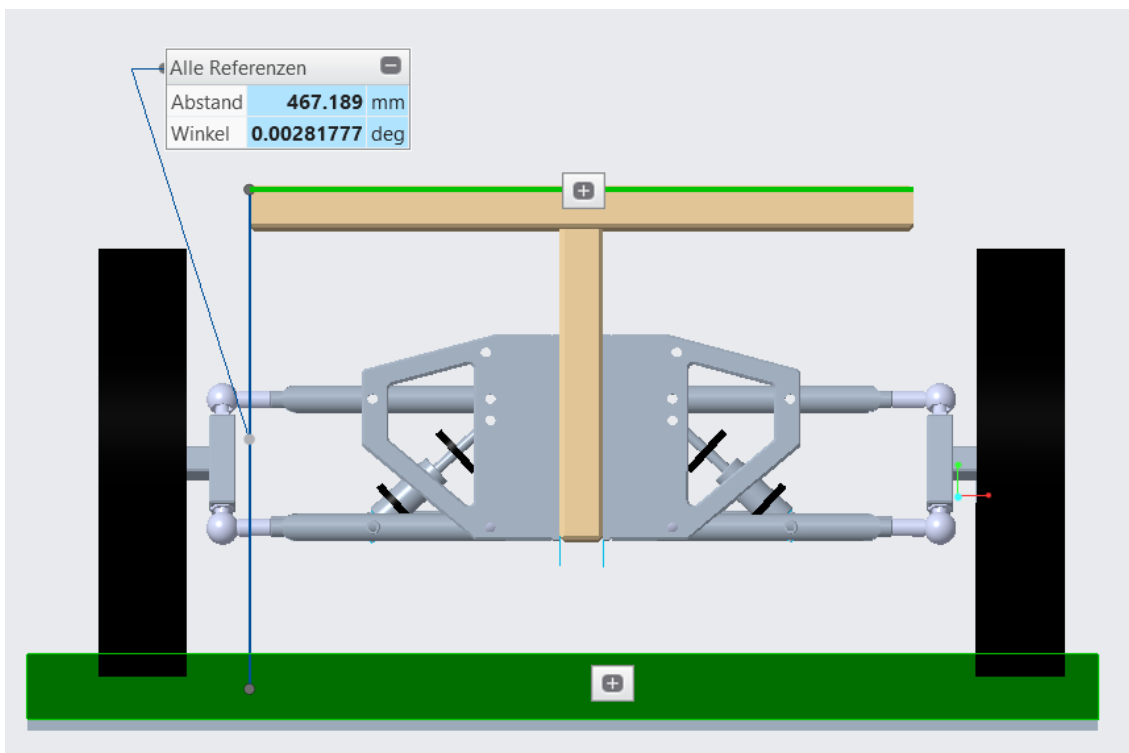


Abbildung 41: Höhe des Modells

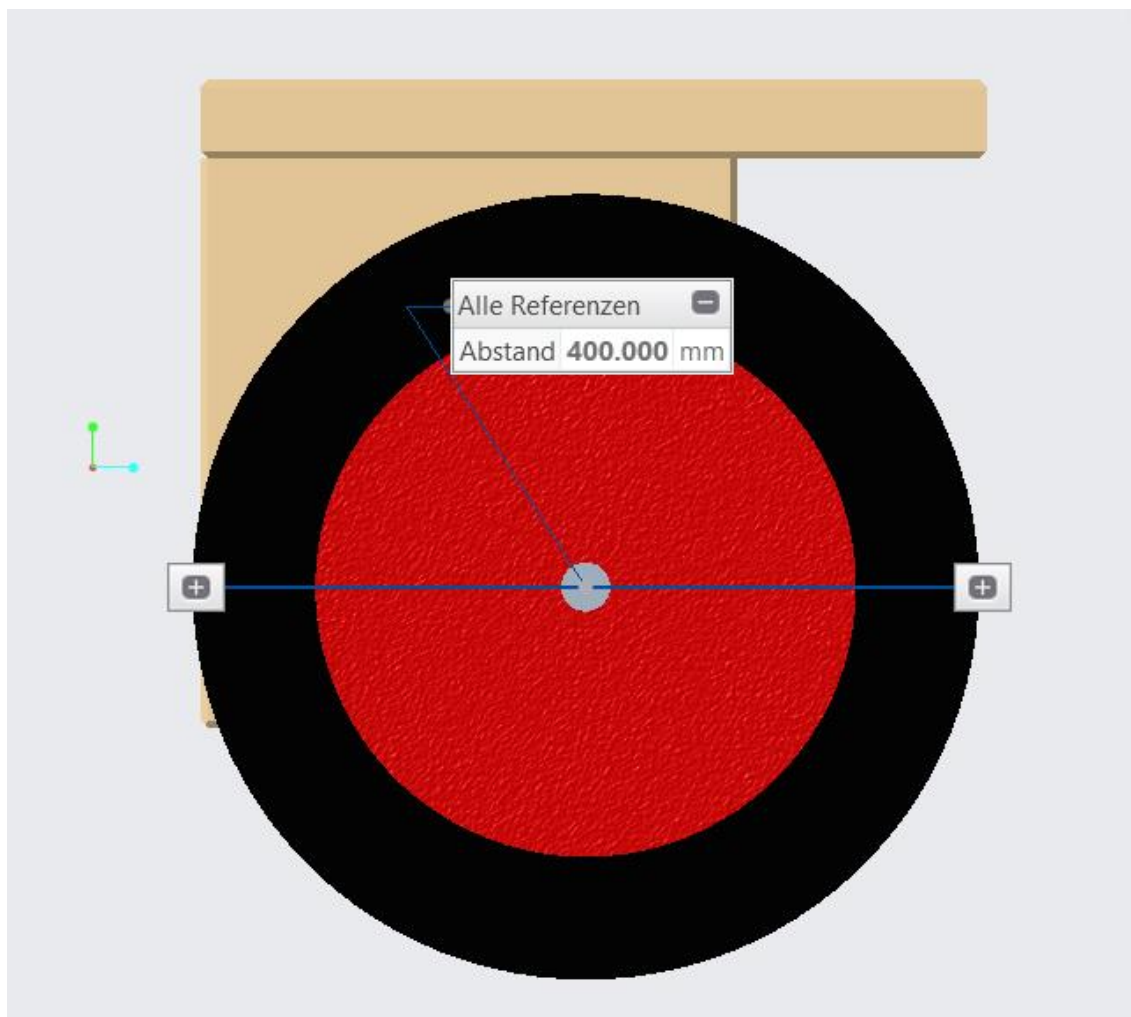


Abbildung 42: Breite des Modells

Wie man sieht, ist das Modell 10 cm länger als im Lastenheft gewünscht, aber da es sich bei diesen Maßen nur um eine Schätzung handelt, kann man zu dem Schluss kommen, dass die Maßenforderungen im Großen und Ganzen erfüllt sind.

7.8 Sicherheit

Um den Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden, wurden alle scharfen Kanten des Modells, sowohl aus Metall als auch aus Holz, mit einer Phasenfräsung versehen. Um das Risiko zu vermeiden, sich an einem Aufhängungselement einzuklemmen, wurde die ursprüngliche Idee, zwei Bolzen für die Löcher der Platte und des Lenkers zu verwenden, durch einen Bolzen ersetzt, der von einem Ende zum anderen des Mechanismus verläuft. Auf diese Weise gerät die Hand nicht zwischen die Aufhängungselemente und kann sie gefahrlos manipulieren.

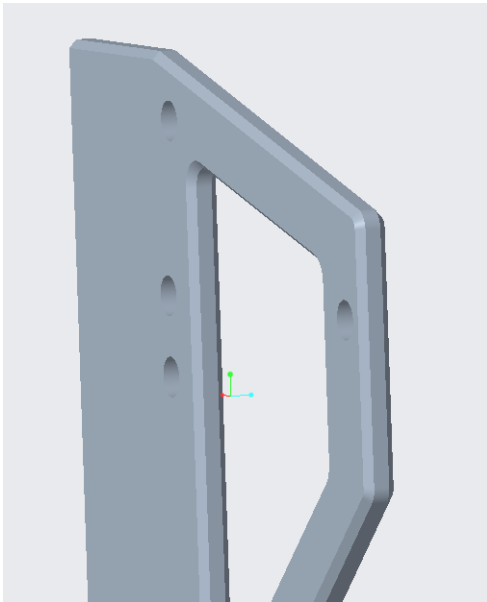


Abbildung 43: Phasenfräsung von scharfen Kanten

8. Schlussfolgerungen

Der vorangegangene Abschnitt hat gezeigt, dass die Entwurfsanforderungen erfüllt wurden. Alle Winkelabweichungen sind deutlich sichtbar, und die Anforderungen an die maximalen Abmessungen und das Gewicht sind erfüllt. Ein weiterer wichtiger Aspekt war die Wahl der Option 4 als Alternative. Obwohl dies in der Anforderungstabelle nicht angegeben ist, ist die Geschwindigkeit der Montage wichtig. Bei Option 4 wird die Position des Bolzen einfach geändert, um die Konfiguration zu ändern, was eine Menge Zeit spart.

Daraus lässt sich schließen, dass der Entwurf des Modells erfolgreich abgeschlossen wurde.

9. Informationsquellen

9.1 Abbildungen Index

Abbildung 1 Aufhängungssystem eines Kraftfahrzeugs	7
Abbildung 2: Pferdekutsche mit Aufhängung.....	9
Abbildung 3: Gummipuffer Stoßdämpfer	10
Abbildung 4: Citroën Rosalie.....	11
Abbildung 5: Blattfeder eines Fahrzeuges	12
Abbildung 6: Unterschied zwischen abhängiger und unabhängiger Aufhängung	13
Abbildung 7: Sturzwinkel	15
Abbildung 8: Spurwinkel.....	16
Abbildung 9: Doppelquerlenkerachse	17
Abbildung 10: Gleitendes Abutment.....	19
Abbildung 11: Multilink-Achse	20
Abbildung 12: McPherson Aufhängung	21
Abbildung 13: Beispiele für Modelle mit Doppelquerlenkeraufhachse	24
Abbildung 14: Entwurfsalternative Nummer 1	26
Abbildung 15: Entwurfsalternative Nummer 2	27
Abbildung 16: Entwurfsalternative Nummer 3	28
Abbildung 17: Entwurfsalternative Nummer 4	29
Abbildung 18: Racing Aspirations	32
Abbildung 19: Endgültige Entwurf des Modells	34
Abbildung 20: Fahrgestell.....	35
Abbildung 21: Verankerungen.....	36
Abbildung 22: Artikulation Rechts	38
Abbildung 23: Kugelgelenk.....	39
Abbildung 24: Radträger	40
Abbildung 25: Lenksystem	41
Abbildung 26: Lenksystem eingefert.....	42
Abbildung 27: Federbein	43
Abbildung 28: Ruhestand des Modells	45
Abbildung 29: Konfiguration parallelen gleichen Lenkern, Fahrwerkskompression	46
Abbildung 30: Konfiguration parallelen gleichen Lenkern, Fahrwerksneigung	46
Abbildung 31: Konfiguration Kurzer Lenker-Langer Lenker, Fahrwerkskompression ..	47
Abbildung 32: Konfiguration Kurzer Lenker-Langer Lenker, Fahrwerksneigung	47
Abbildung 33: Konfiguration gleich langen nicht parallelen Lenkern Ruhestand.....	48
Abbildung 34: Konfiguration Konfiguration gleich langen nicht parallelen Lenkern, Fahrwerkskompression	48
Abbildung 35: Konfiguration gleich langen nicht parallelen Lenkern, Fahrwerksneigung	49
Abbildung 36: Federbein, Ruhestand	50
Abbildung 37: Federbein, Kompression.....	51
Abbildung 38: Draufsicht auf das Modell in seinem Ruhezustand	52
Abbildung 39: Draufsicht des Modells, Räder gedreht	53
Abbildung 40: Länge des Modells	55

Abbildung 41: Höhe des Modells	56
Abbildung 42: Breite des Modells.....	57
Abbildung 43: Phasenfräsung von scharfen Kanten	58

9.2 Tabellen Index

Tabelle 1: Lastenheft.....	23
Tabelle 2: Anforderungen WTP.....	30
Tabelle 3: Wert der Bedeutung WTP	30
Tabelle 4: Gewichtung WTP.....	30
Tabelle 5: Auswahl an Alternativen.....	31
Tabelle 6: Änderung des Sturzwinkels bei der Simulation	33
Tabelle 7: Berechnung der Masse	54

9.3 Bibliographie

- ActualidadMotor.* (kein Datum). Abgerufen am 31. August 2022 von www.actualidadmotor.com
- AUTODOC.* (kein Datum). Abgerufen am 28. August 2022 von <https://club.autodoc.es/magazin/que-es-la-suspension-definicion-funcion-tipos>
- CARNOVO.* (kein Datum). Abgerufen am 28. August 2022 von <https://carnovo.com/es/guias/suspension-neumatica-coche/>
- CarTreatments.* (kein Datum). Abgerufen am 31. August 2022 von cartreatments.com
- ComoFunciona.* (kein Datum). Abgerufen am 31. August 2022 von <https://comofunciona.co/sistema-de-suspension-independiente/>
- DiarioMotor.* (kein Datum). Abgerufen am 29. August 2022 von <https://www.diariomotor.com/que-es/mecanica/angulos-de-la-direccion-coche/>
- FtShockAbsorber.* (kein Datum). Abgerufen am 30. August 2022 von de.fyshockabsorber.com
- HELLOAUTO.* (kein Datum). Abgerufen am 28. August 2022 von <https://helloauto.com/glosario/suspensiones>
- HNMONG.* (kein Datum). Abgerufen am 30. August 2022 von hmong.es
- MevoTech.* (kein Datum). Abgerufen am 1. September 2022 von www.mevotech.com
- MIMECANICA.* (kein Datum). Abgerufen am 28. August 2022 von <https://www.mimecanicapopular.com/verautos.php?n=126>
- TimeToast.* (kein Datum). Abgerufen am 28. August 2022 von <https://www.timetoast.com/timelines/historia-de-la-suspencion-automotriz>
- Wikipedia.* (kein Datum). Abgerufen am 31. August 2022 von https://es.wikipedia.org/wiki/Suspensi%C3%B3n_de_doble_horquilla