

Durchführen von Fahrversuchen
hinsichtlich einer Optimierung von FHTW-
Fahrdynamikfahrzeug

Diplomarbeit

Fikret Sentürk

Durchführen von Fahrversuchen hinsichtlich einer Optimierung von FHTW- Fahrdynamikfahrzeug

Diplomarbeit

Fikret Sentürk, s76900502835

Prüfungskommission

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Stedtnitz, Werner
2. Gutachter: Prof. Atzorn, Hans-Herwig

Berlin, 2005

Studiengang Fahrzeugtechnik
Blankenburger Pflasterweg 102
13129 Berlin
Tel:030 - 47401215

DANKSAGUNG

Hiermit möchte ich mich bei meinen Professoren Prof.Dr.-Ing. Werner Stedtnitz und Prof. Dipl.-Ing. Hans-Herwig Atzorn bedanken die mich während der Diplomarbeit unterstützt haben.

SELBSTSSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit mit dem Thema "Durchführen von Fahrversuchen hinsichtlich einer Optimierung von FHTW-Fahrdynamikfahrzeug" \\selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

.....

Fikret Sentürk

Inhalt

1	Einleitung.....	1
1.1	Überblick	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit	1
1.3	Aufbau der Arbeit	2
2	Grundlagen.....	2
2.1	Koordinatensysteme.....	2
2.1.1	Ortsfestes Koordinatensystem	2
2.1.2	Horizontiertes Koordinatensystem	3
2.1.3	Fahrzeugfestes Koordinatensystem	3
2.1.4	Radfestes Koordinatensystem	3
2.1.5	Fahrzeugkoordinatensystem nach DIN 70020.....	3
2.2	Grundgrößen der Längsdynamik	3
2.2.1	Achslasten.....	3
2.2.2	Fahrzeugschwerpunkt	5
2.3	Grundgrößen der Querdynamik	8
2.3.1	Einspurmodell.....	9
2.3.2	Eigenlenkverhalten	11
2.3.3	Seitenkraft und Schräglaufwinkel.....	12
2.3.4	Gierwinkelgeschwindigkeit	15
2.3.5	Lenkgeometrie	15
2.3.6	Reifenmodelle.....	15
2.4	Grundgrößen der Vertikaldynamik.....	15
2.5	Massenträgheitsmoment	16
2.6	Filtern von Messdaten.....	16
3	Genormte Fahrversuche.....	18
3.1	Stationäre Kreisfahrt	19
3.1.1	Versuchsbedingungen.....	20
3.1.2	Testverfahren	21
3.2	Lenkwinkelsprung	21
3.2.1	Testverfahren	21
3.2.2	Datenanalyse.....	22
3.3	Weitere Testverfahren.....	23
4	Erweiterung des Versuchsfahrzeuges	24

4.1	Ist-Stand des Versuchsfahrzeugs zu Beginn der Diplomarbeit	24
4.2	Erweiterungen am Versuchsfahrzeug (Softwareseitig)	24
4.2.1	Echtzeitanzeige der Messdaten mit der Dasylab-Software	25
4.2.2	Echtzeitanzeige der Messdaten mit der Software Instrunet World	26
4.2.3	Echtzeitanzeige der Messdaten mit der Software iCANView	27
4.3	Konsole für die Aufnahme der einzelnen Massen in der Mitte des vorderen Gestells	28
4.3.1	Zweck der Verschiebung der Einzelmassen	29
4.3.2	Mögliche Konstruktionsvarianten	29
4.3.3	Konstruktive Umsetzung und Festigkeitsberechnung der Konsole und des Hilfgestells	31
5	Vorbereitungen für die Durchführung von Fahrversuchen	36
5.1	Beschreibung des Versuchsfahrzeugs	36
5.2	Beschreibung der Messgeräte und Messaufbau	36
5.2.1	Inertiale Meßsystem iDIS-FMS mit faseroptischen Kreiseln	37
5.2.2	Erfassung der Geschwindigkeit	38
5.2.3	Lenkradwinkelmessung am Versuchsfahrzeug	38
5.3	Bestimmung der Schwerpunktlage am Versuchsfahrzeug	39
5.4	Einstellung des virtuellen Messpunktes	41
5.5	Stationäre Kreisfahrt	42
5.6	Lenkwinkelsprung	42
5.6.1	Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf das Dämpfungsmaß	43
5.6.2	Einfluss der Lenkwinkelrampe	44
5.6.3	Einfluss der Beladung auf das Fahrverhalten	44
6	Ergebnisse von den Fahrversuchen	45
6.1	Ergebnisse der stationären Kreisfahrt	45
6.1.1	Einfluss der Schwerpunktlage	45
6.1.2	Einfluss der Fahrzeugmasse	50
6.2	Ergebnisse der Fahrversuche von Lenkwinkelsprung	54
6.2.1	Ergebnisse der unterschiedlichen Fahrzeuggeschwindigkeiten	54
6.2.2	Ergebnisse der unterschiedlichen Schwerpunktverlagerung	60
6.2.3	Ergebnisse der unterschiedlichen Fahrzeugmassen	64
6.2.4	Ergebnisse der unterschiedlichen Trägheitsmomente um die Hochachse	67
6.2.5	Ergebnisse der unterschiedlich verschobenen einzelnen Massen	71
7	Optimierungsmöglichkeiten an dem Versuchsfahrzeug	76
7.1	Einbau von Pedalkraftsensor und Bremspedalschalter	76

7.2	Messen von Bremsdrücken	78
7.3	Telemetrie Meßlenkrad	79
7.4	Lenkroboter	80
7.5	Schwimm- und Schräglaufwinkel	81
7.6	Variation des Schwerpunktabstandes innerhalb des Radstandes	82
7.7	Software für die Auswertung der Messdaten	82
7.8	Anschlag für das Lenkrad	82
7.9	Weitere Fahrdynamische Versuchsmöglichkeiten	82
7.10	Variation der Schwerpunkthöhe vertikaler Richtung	84
8	Zusammenfassung und Ausblick	85
9	Literatur	87

Bilderverzeichnis

Bild 2-1 Koordinatensysteme nach DIN 70 000 [34]	2
Bild 2-2 Kräfte und Abmessungen zur Bestimmung der statischen Achslastverteilung [7].....	4
Bild 2-3 Dynamische Achslasten beim Beschleunigen und Bremsen [7]	5
Bild 2-4 Bestimmung des vertikalen Schwerpunktabstandes; Fahrzeug an der Vorderachse angehoben [7]	7
Bild 2-5 Bestimmung des vertikalen Schwerpunktabstandes; Fahrzeug an der Hinterachse angehoben [7]	8
Bild 2-6 Die Hauptachsen und die Bewegungsfreiheitsgrade eines Kraftfahrzeuges	9
Bild 2-7 Einspur-Fahrzeugmodell mit den wichtigen Kenngrößen bei schneller Kreisfahrt	10
Bild 2-8 Darstellung der verschiedenen Eigenlenkgradienten	11
Bild 2-9 Rad unter Schräglauf a) Darstellung der Kräfte (von vorn gesehen)	13
Bild 2-10 Seitenkraft – Schräglaufwinkel Diagramm[33].....	14
Bild 2-11 Seitenkraft-Normalkraft-Diagramm [33]	14
Bild 3-1 Übersicht über gebräuchliche Testverfahren zum querdynamischen Testverfahren [4].....	19
Bild 3-2 Definition der Ansprechzeiten der Fahrzeuggierbewegung nach einem Lenkwinkelsprung [34].....	23
Bild 4-1 Bildschirmausdruck der Analogausgabe von der Software Nav-Command ...	25
Bild 4-2 Messdatenerfasser Instrunet 100B.....	26
Bild 4-3 PCMCIA Controller Instrunet 230	26
Bild 4-4 Kennlinie zur Bestimmung der Übertragungsfunktion	27
Bild 4-5 Darstellung der iCANView Software Oberfläche	28
Bild 4-6 Schematische Darstellung der Verschiebung von Einzelmassen in die Mitte des Versuchsfahrzeugs parallel und um den Radius	29
Bild 4-7 Perspektivische Darstellung der Variante 1 mit den Hohlprofil Stahlrohren..	30
Bild 4-8 Mittig der Fahrzeuglängsachse aufgestapelte einzelnen Massen	34
Bild 5-1 Schematischer Aufbau eines Faserkreisel.....	37
Bild 5-2 Einbauort der Imar-Idis Messgerät und der Abstand zur Hinterachse	41
Bild 5-3 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf das Dämpfungsmaß [34].....	43
Bild 5-4 Einfluss der Lenkwinkelrampe auf die Fahrzeugreaktion [16]	44
Bild 6-1 Lenkradwinkelverlauf über die Querschleunigung bei unterschiedlicher Schwerpunktlage.....	47
Bild 6-2 Einfluss der Schwerpunktlage l_y/l auf das Eigenlenkverhalten.[34]	48
Bild 6-3 Wankwinkelverlauf über die Querschleunigung bei unterschiedlichen Fahrzeugmassen.....	49

Bild 6-4 Lenkradwinkel von Bezug- und schwerer Fahrzeugvariation	52
Bild 6-5 Wankwinkelverlauf von Bezug- und schwerer Fahrzeugvariation	54
Bild 6-6 Lenkwinkelrampe des Versuchsfahrzeugs mit den Geschwindigkeiten 20, 40 und 60km/h	55
Bild 6-7 Einfluss von Fahrgeschwindigkeit auf Gierwinkelgeschwindigkeit - Zeitverlauf bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten	56
Bild 6-8 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf das Übertragungsverhalten	57
Bild 6-9 Darstellung der gefilterten Querbeschleunigungsdaten über die Zeit bei unterschiedlichen Fahrzeuggeschwindigkeiten	59
Bild 6-10 Darstellung der Wankwinkel bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten	59
Bild 6-11 Lenkwinkelrampe des Versuchsfahrzeugs mit unterschiedlicher Schwerpunktlage.....	60
Bild 6-12 Einfluss von Schwerpunktlage auf Gierwinkelgeschwindigkeit - Zeitverlauf bei einer Fahrgeschwindigkeit von 40 km/h.....	61
Bild 6-13 Einfluss von Fahrzeugdaten auf Gierwinkelgeschwindigkeit - Zeitverlauf [16].....	62
Bild 6-14 Verlauf der Querbeschleunigung über die Zeit	63
Bild 6-15 Lenkwinkelrampe des Bezugsfahrzeugs und schwerer Fahrzeugvariation... ..	64
Bild 6-16 Einfluss der Fahrzeugmasse auf Gierwinkelgeschwindigkeit - Zeitverlauf bei unterschiedlicher Fahrzeugmasse	65
Bild 6-17 Querbeschleunigungsverlauf des Bezugsfahrzeugs und schwerer Fahrzeugvariation	66
Bild 6-18 Wankwinkelverlauf des Bezugsfahrzeugs und schwerer Fahrzeugvariation	67
Bild 6-19 Lenkwinkelrampe des Bezugsfahrzeug und Fahrzeugkonstellation mit erhöhtem Trägheitsmoment	68
Bild 6-20 Einfluss des Trägheitsmoments auf Gierwinkelgeschwindigkeit - Zeitverlauf bei unterschiedlichem Massenträgheitsmoment	69
Bild 6-21 Querbeschleunigungsverlauf des Bezugsfahrzeugs und Fahrzeugkonstellation mit erhöhtem Massenträgheitsmoment.....	70
Bild 6-22 Wankwinkelverlauf des Bezugsfahrzeugs und Fahrzeugvariation mit erhöhtem Trägheitsmoment	71
Bild 6-23 Lenkwinkelrampe der verschiedenen Fahrzeugvariationen	72
Bild 6-24 Gierwinkelgeschwindigkeit Verlauf der unterschiedlichen Fahrzeugvariationen.....	73
Bild 6-25 Querbeschleunigungsverlauf der verschiedenen Fahrzeugvariationen	74
Bild 6-26 Verlauf der Wankwinkel bei unterschiedlicher Fahrzeugvariation.....	74
Bild 7-1 Bremspedalschalter [25]	76
Bild 7-2 Grundgrößen des Bremsvorganges und zeitlicher Ablauf [4]	77
Bild 7-3 Pedalkraftsensor [25]	77

Bild 7-4 Bremsversuche und die Bremswege mit und ohne Bremsassistent [17]	78
Bild 7-5 Einbau der Drucksensoren nach der ABS-Hydraulik Block [1].....	79
Bild 7-6 Einsatz eines Lenkroboters bei einem Versuchsfahrzeug mit Integrierten Messlenkrad [21]	80
Bild 7-7 - und Sturzwinkels	81
Bild 7-8 Einlenken des Fahrzeugs von einer Geradeausfahrt in die Kreisbahn	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1	Daten von Blocan Profilsystem S-40x40	35
Tabelle 5-1	Fahrzeugdaten von Ford Scorpio.....	36
Tabelle 5-2	Daten von IMAR Messgerät.....	38
Tabelle 5-3	Technische Daten Radlastwaage	39
Tabelle 5-4	Für die Fahrversuche ausgewählte Fahrzeugvariationen	40
Tabelle 5-5	Einstellungsdaten für den virtuellen Messpunkt	42
Tabelle 6-1	Wichtige Zeitgrößen aus der Lenkwinkelrampe	56

1 Einleitung

1.1 Überblick

Zur Verbesserung der Sicherheit im Straßenverkehr werden im Fahrzeug zunehmend intelligente Assistenzsysteme wie Antiblockierungssysteme (ABS), Elektronische-Stabilitäts-Programm (ESP) und Dynamische Stabilitätskontrolle eingesetzt. All diese Erkenntnisse wurden aus den zahlreichen Fahrversuchen herausgearbeitet und nach intensiver Forschungsarbeit auch in die Serienausstattung eines modernen Fahrzeugs implementiert.

Beispielsweise werden Fahrer bei schwierigen Fahraufgaben in extremen Situationen durch Fahrerassistenzsysteme wie ESP bei Kurvenfahrten unterstützt. Durch bestimmte Sensorinformationen werden der Fahrzeuginstabilitäten erkannt und mit radselektiven Bremseneingriff ein Gegenmoment zur Unter- bzw. Übersteuer-Bewegung [5] des Fahrzeugs aufgebaut. Ein Ausbrechen des Fahrzeugs aus der Kurve ist damit verhindert und das Fahrzeug kann den gewünschten Kurs einhalten.

Die umfassenden Software Programme begleiten im Automobilbau in jeder Phase das Produkt Auto. So kommen die bewährte Simulationprogramme im Bereich der Fahrsimulationen in Einsatz

An der Fachhochschule für Wirtschaft und Technik, Berlin, gibt es die Möglichkeit die genormten Fahrversuche mittels der Software ADAMS/Car zu simulieren. Dabei können an dem Fahrzeugmodell, das aus einzelnen Subsystemen aufgebaut ist, verschiedene Parameter variiert werden. Aufbauend auf die virtuellen Fahrversuche wurde ein Fahrzeug konstruktiv so aufgebaut, dass damit die realen Parameter unterschiedlich variiert werden kann.

Das Fahrzeug wurde mit dem von der Fa. IMAR hergestellten optischen Faserkreisell Messgerät iDIS-FMS ausgestattet. Es ist mit dem Messgerät möglich, sämtliche Fahrzeugbewegungen sowie -beschleunigungen zeitlich zu erfassen

Über die Zeit aufgenommenen Messdaten sind in Echtzeit mit dem bisherigen Messaufbau nicht darzustellen. Die Visualisierung der Messdaten in Echtzeit ist bei den Fahrversuchen notwendig und erleichtert die Ermittlung der erforderlichen Lenkwinkel eingabe bei Lenkwinkelsprungversuch.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Das hochschuleigene Versuchsfahrzeug von der Fa. Ford AG, Typ Scorpio 2,5 TD, wurde bereits für das Durchführen von fahrdynamischen Grundlagenuntersuchungen

messtechnisch ausgerüstet. Mit dem Versuchsfahrzeug besteht die Möglichkeit, durch die zusätzlich eingebauten Gestelle, verschiedene Fahrzeugparameter zu variieren.

Das Ziel dieser Arbeit ist die nach der Aufgabenstellung formulierte praktische Überprüfung der unterschiedlichen Variationen, der Analyse von aufgenommenen Messdaten und Vergleich der Messergebnisse mit der Fachliteratur. Außerdem werden Empfehlungen für wichtige Versuchskonstellationen abgeleitet.

Weiterhin werden die Möglichkeiten untersucht, primär mit internen Mitteln eine Anzeige der Messdaten in Echtzeit zu visualisieren.

Darüber hinaus werden Empfehlungen für die Erweiterung des Versuchsfahrzeugs, bezüglich der Aufnahme von weiteren Messgrößen, gemacht.

1.3 Aufbau der Arbeit

In Kapitel zwei werden die Grundlagen für das Verständnis dieser Diplomarbeit erläutert. Besonders hervorgehoben werden die Abschnitte, der Ermittlung des Schwerpunktes eines Fahrzeugs sowie die Querdynamische Grundgrößen werden umfassend erklärt.

Das dritte Kapitel befasst sich mit den theoretischen Grundlagen anlehnend nach ISO Norm. Die Fahrversuche Stationäre Kreisfahrt nach ISO 4138 und der Lenkwinkelsprung nach ISO 7401 werden vorgestellt.

Darauf folgend werden in Kapitel 4 die Erweiterung des Versuchsfahrzeugs mit der Software und mit den Konsolen, die in der Mitte des Versuchsfahrzeugs montiert worden sind, samt mit Konstruktion- und Festigkeitsberechnungen vorgestellt.

In Kapitel fünf werden die Vorbereitungen für die Durchführung von Fahrversuchen erklärt. Unterschiedliche Fahrzeugvariationen werden durch Wägung des Versuchsfahrzeugs ausgewählt. Sämtliche Einstellungen, die an der Software durchgeführt wurden, und die für die Fahrversuche notwendig sind, werden aufgeführt.

In Kapitel sechs werden Ergebnisse von Fahrversuchen die durchgeführt worden sind, mittels Diagrammen dargestellt und diskutiert.

Das siebte Kapitel ist dem Optimierungs- und weiteren Erweiterungsmöglichkeiten des Versuchsfahrzeugs gewidmet. Diese Möglichkeiten werden auf die Realisierbarkeit hin geprüft und daraus Empfehlungen gegeben.

In Kapitel acht werden einige der ausgesuchten Fahrversuche mit dem Mehrkörper Simulationsprogramm ADAMS/Car verglichen.

Die Arbeit endet mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf mögliche weitere Erweiterungen des Versuchsfahrzeugs.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Grundlagen und Grundgrößen erläutert, die in dieser Diplomarbeit vorkommen und zum Verständnis beitragen sollen.

2.1 Koordinatensysteme

Mithilfe eines Koordinatensystems lassen sich die Positionen von Punkten im Raum angeben. Die Position im Raum wird im gewählten Koordinatensystem durch Angabe von Zahlenwerten, Koordinaten genannt, eindeutig bestimmt. Mittels einzelner Punkte lassen sich bestimmte Objekte wie Linien, Abstände, Flächen, Körper angeben. Der Punkt, bei dem alle Koordinaten den Wert 0 annehmen, nennt man den Koordinatenursprung. Das Bild 2-1 zeigt die Koordinatensysteme nach DIN 70 000.

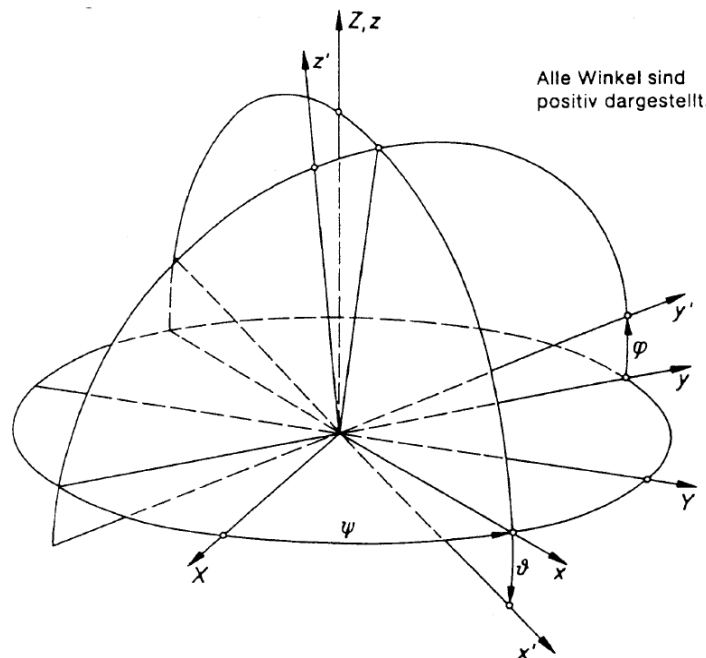


Bild 2-1 Koordinatensysteme nach DIN 70 000 [34]

Nachfolgend werden die Koordinatensysteme, die in der Fahrzeugtechnik verwendet werden, nacheinander kurz erläutert.

2.1.1 Ortsfestes Koordinatensystem

Rechtwinkliges Rechtssystem, das an den Ort gebunden ist. Die X_E - und Y_E -Achsen liegen in einer Horizontalebene (= Fahrbahnebene) und die Z_E -Achse ist nach oben gerichtet. Der Index „E“ bei den jeweiligen Koordinaten (X_E , Y_E , Z_E) bezieht sich auf (aus dem englischen) „earth-fixed axis system“.

2.1.2 Horizontiertes Koordinatensystem

Rechtwinkliges Rechtssystem, dessen XY -Ebene in der $X_E Y_E$ -Ebene liegt. Die X -Achse ist die Projektion der X_V -Achse auf die $X_E Y_E$ -Ebene und die Z -Achse zeigt nach oben.

2.1.3 Fahrzeugfestes Koordinatensystem

Rechtwinkliges Rechtssystem mit einem beliebigen Koordinatenursprung im Fahrzeug (üblicherweise im Schwerpunkt), so dass die X_V -Achse in jedem Fall waagrecht und nach vorne gerichtet ist, und sich in der Fahrzeuglängsmittlebene befindet. Die Y_V -Achse steht senkrecht auf der Fahrzeuglängsmittlebene und zeigt nach links, die Z_V -Achse zeigt nach oben.

Anmerkung: Die Winkellage des fahrzeugfesten Koordinatensystems (X_V, Y_V, Z_V) bezogen auf das ortsfeste Koordinatensystem (X_E, Y_E, Z_E) ergibt sich aus der Reihenfolge von drei Drehungen. Der Index „V“ bezieht sich auf dem englischen vehicle.

2.1.4 Radfestes Koordinatensystem

Rechtwinkliges Rechtssystem, dessen $X_W Y_W$ -Ebene in der $X_E Y_E$ -Ebene liegt. Die X_W -Achse ist die Schnittlinie der Radebene mit der $X_E Y_E$ -Ebene und zeigt nach vorn. Die Z_W -Achse zeigt nach oben und der Ursprung liegt im Radaufstandspunkt. Der Index „W“ bringt den wheel axis aus dem englischen zum Ausdruck.

2.1.5 Fahrzeugkoordinatensystem nach DIN 70020

Bei Konstruktionsgewicht des Fahrzeugs wird durch die beiden Vorderradmitten eine Linie gebildet. Der Durchstoßpunkt dieser Linie mit der vertikalen Karoseriemittlebene bildet den Koordinatenursprung. Die X -Achse verläuft ausgehend von diesem Ursprung auf der vertikalen Karosserieebene, waagrecht mit positiver x -Achse entgegen der Fahrtrichtung. Es handelt sich um ein rechtshändiges Koordinatensystem. Bei den Automobilherstellern gibt es hierzu individuelle Abweichungen. Das Unternehmen Ford mit deren Fahrzeug auch die Fahrversuche durchgeführt worden sind, legt den Ursprung vor das Fahrzeug. Damit werden negative Koordinaten vermieden[Stedtnitz].

2.2 Grundgrößen der Längsdynamik

2.2.1 Achslasten

Bei den Achslasten werden zwischen der statischen und der dynamischen Achslast unterschieden. Während die statischen Achslasten sich auf das stehende Fahrzeug beziehen, werden die dynamischen Achslasten auf das fahrende und beschleunigte Fahrzeug bezogen.

Statische Achslasten

Das Fahrzeugsgesamtgewicht wird aus den statischen Rad- und Achslasten ermittelt. Dabei wird das Fahrzeug nicht bewegt. Bei bekanntem Fahrzeuggewicht ist es möglich,

jeweils die statische Hinterachslast oder statische Vorderachslast zu bestimmen. Das Bild 2-2 zeigt die Kräfte zur Bestimmung der statischen Achslastverteilung.

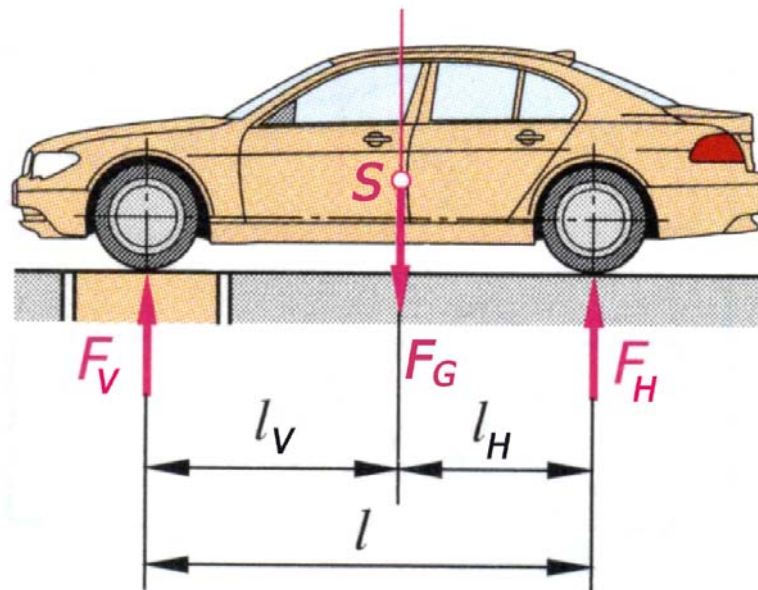


Bild 2-2 Kräfte und Abmessungen zur Bestimmung der statischen Achslastverteilung [7]

Wenn das Fahrzeug um die Hinterachse gedreht wird, ergibt es aus Gleichgewichtsbedingungen:

$$F_G \cdot l_v - F_v \cdot l = 0 \quad 2-1$$

Nach Umstellen der Gleichung 2-1 nach F_v

$$F_v = F_G \cdot \frac{l_v}{l} \quad 2-2$$

ist es möglich die vordere Achslast zu berechnen.

Aus der Beziehung

$$F_G = F_v + F_H \quad 2-3$$

kann auch die hintere Achslast berechnet werden.

Dynamische Achslasten

Die Dynamischen Achslasten werden auf ebenen Fahrbahnen durch folgende Einflüsse verändert:

- Achslastveränderung durch Trägheitskräfte beim Beschleunigen und Bremsen.

Beim Beschleunigen und Bremsen wirken auf das Fahrzeug im Schwerpunkt horizontale Trägheitskräfte, Bild 2-3.

- Achslastveränderung durch Luftwiderstandskraft

Wenn die Luftwiderstandskraft in einer Höhe mit dem Hebelarm das Fahrzeug angreift so wird die Vorderachse entlastet und die Hinterachse belastet[4].

- Achslastveränderung durch Auf- und Abtrieb

Auf- und Abtrieb ergibt sich durch die Umströmung des Fahrzeuges. Bei heutigen Serienfahrzeugen wird konstruktiv angestrebt, diese Umströmungen gleichzuhalten.

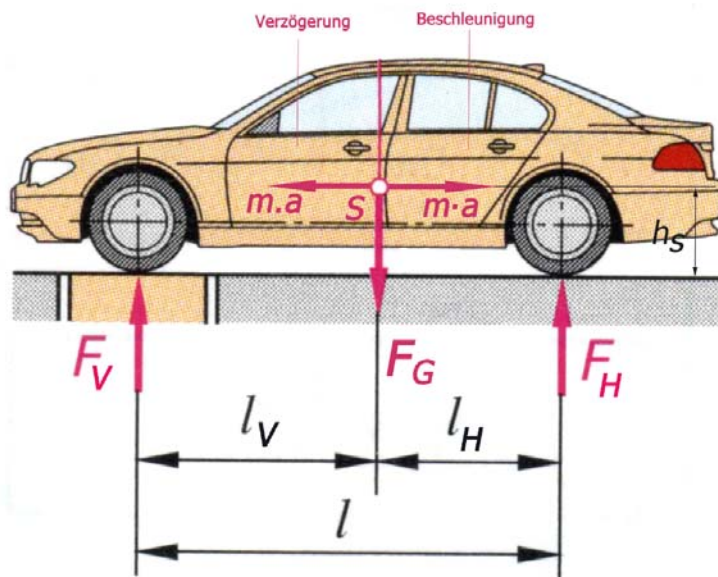


Bild 2-3 Dynamische Achslasten beim Beschleunigen und Bremsen [7]

Aus dem Bild 2-3 kann die Gleichung 2-4 aus den Gleichgewichtsbedingungen abgeleitet werden.

$$F_H \cdot l = F_G \cdot l_V \pm m \cdot a \cdot h_s \quad 2-4$$

Nach der Umstellung kann die hintere dynamische Achslast sowohl beim Bremsen als auch beim Beschleunigen mit der Gleichung 2-5 berechnet werden.

$$F_H = F_G \cdot \frac{l_V}{l} \pm m \cdot a \cdot \frac{h_s}{l} \quad 2-5$$

Der dynamische Anteil entlastet die Hinterachse beim Bremsen und belastet diese beim Beschleunigen. So ist der dynamische Anteil jeweils zu Addieren oder zu Subtrahieren.

2.2.2 Fahrzeugschwerpunkt

Die Berechnung der Schwerpunktlage erfolgt mit der Gleichung 2-6.

$$x_s = \frac{\sum_{k=1}^N m_k x_k}{m} \quad 2-6$$

Die Gleichung 2-6 [11] bezieht sich hier nur auf die X-Achse. Um die Schwerpunktlage der Y- und Z-Achse zu berechnen, müssen, anstelle der X-Werte, die Y- oder Z-Werte eingetragen werden. Die mathematische Berechnung der Schwerpunktlage des Fahrzeugs ist sehr aufwendig. Einfacher und effektiver kann die Ermittlung der Schwerpunktlage durch Wägung erfolgen. Nachfolgend wird beschrieben wie die Wägung durchgeführt wird und daraus die Gleichungen resultieren.

Horizontaler Schwerpunktabstand

Die Bestimmung des horizontalen Schwerpunktabstandes ist einfacher als die Bestimmung des vertikalen Schwerpunktabstandes.

Der Messplatz muss eben sein. Die maximale Neigung in beliebiger Richtung darf bei der Bestimmung des Gesamtgewichtes 5 % nicht überschreiten. Weiterhin ist noch darauf zu achten, dass die Unterlage der Waage (falls mit einer Radlastwaage gewogen wird) sauber und eben sein muss.

Nach Umstellung der Gleichung 2-1 nach Schwerpunktabstand l_v ist es möglich den Schwerpunktabstand l_v auszurechnen.

$$l_v = \frac{F_H}{F_G} \cdot l \quad 2-7$$

Aus dem Bild 2-2 ist der Zusammenhang

$$l = l_v + l_H \quad 2-8$$

leicht zu erkennen.

Vertikaler Schwerpunktabstand

Um den vertikalen Schwerpunktabstand experimentell zu bestimmen, muss das Fahrzeug entweder an der Vorderachse oder an der Hinterachse angehoben werden. Dadurch verlagern die Achslasten. Die Verlagerung der Achslasten ist ein Indikator für die Ermittlung des vertikalen Schwerpunktabstands, Bild 2-4.

Weiterhin spielen die Reifen bei der Ermittlung des Schwerpunktabstandes in vertikaler Richtung eine entscheidende Rolle. Um eine hohe Einfederung der Reifen entgegen zu wirken, müssen die Reifen auf 3,5 bar aufgepumpt werden. Damit ist sichergestellt, dass die Reifen gering einfedern.

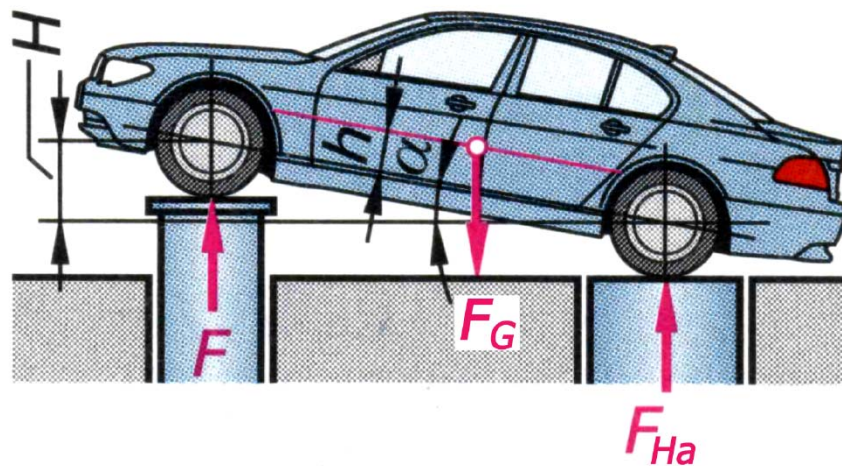


Bild 2-4 Bestimmung des vertikalen Schwerpunktabstandes; Fahrzeug an der Vorderachse angehoben [7]

Aus den geometrischen Zusammenhängen, die hier nicht im Detail erläutert werden, können die folgenden Gleichungen abgeleitet werden. Wenn die Vorderachse angehoben wird gilt:

$$h = l \cdot \frac{F_{Ha} - F_H}{F_G \cdot \tan \alpha}$$

2-9

Das Bild 2-5 zeigt das an der Hinterachse angehobene Fahrzeug.

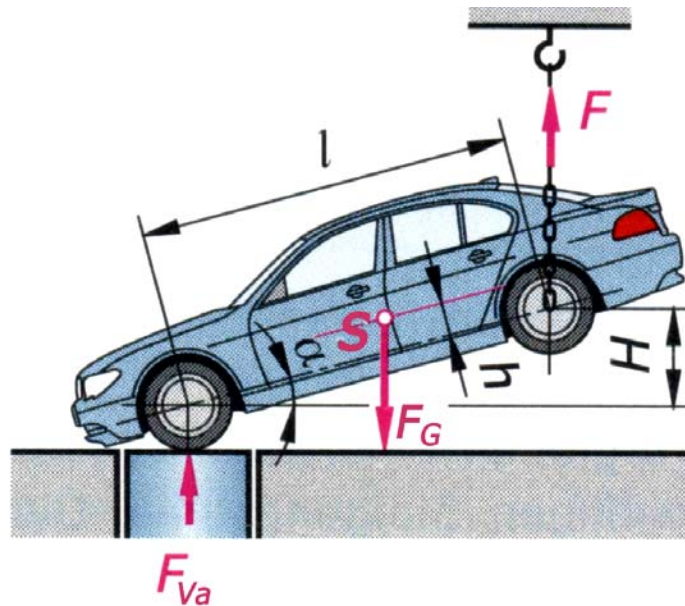


Bild 2-5 Bestimmung des vertikalen Schwerpunktabstandes; Fahrzeug an der Hinterachse angehoben [7]

Wenn die Hinterachse angehoben wird, kann die Schwerpunkthöhe nach der Gleichung 2-10 berechnet werden.

$$h = l * \frac{F_{Va} - F_V}{F_G * \tan \alpha} \quad 2-10$$

Wie es aus dem Bild 2-4 und aus dem Bild 2-5 ersehen werden kann ist die Höhe h der Abstand zwischen dem Schwerpunkt S und dem Radmittelpunkt. Um die Schwerpunkthöhe h_s zu berechnen wird der Reifenhalbmesser dazu addiert.

2.3 Grundgrößen der Querdynamik

Zunächst werden die grundsätzlichen Bewegungen eines Fahrzeugs und die verwendeten Koordinatensystem in Bild 2-6 dargestellt.

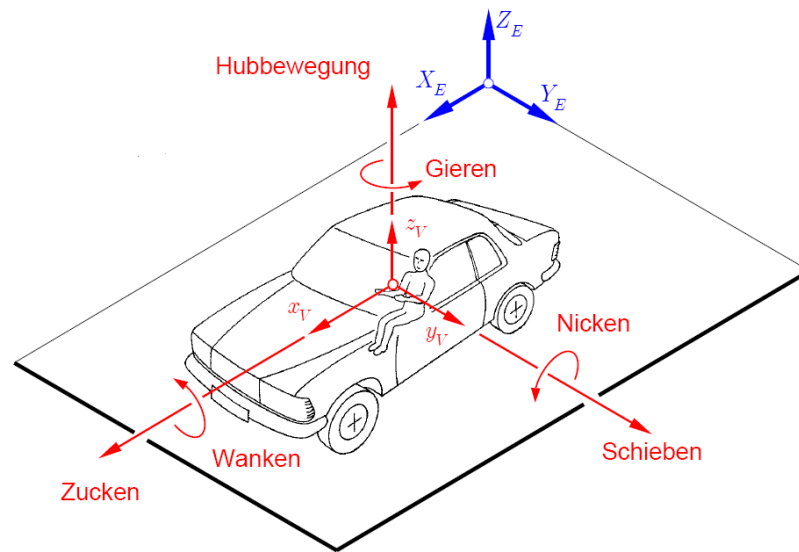


Bild 2-6 Die Hauptachsen und die Bewegungsfreiheitsgrade eines Kraftfahrzeuges

Die folgenden Bewegungen werden definiert.

- Die Drehung um die Längsachse, das so genannte Wanken
- Die Drehung um die Querachse, das Nicken
- Die Drehung um die Hochachse, das Gieren oder auch Schleudern genannt

2.3.1 Einspurmodell

Als vereinfachtes querdynamisches Modell des Fahrdynamik Fahrzeugs wird das Einspurmodell verwendet. Das Einspurmodell entsteht dadurch, dass man sich beide Räder einer Achse in der Mitte vereint denkt. Bild 2-7 zeigt ein Einspurmodell mit den angegebenen Größen, Kräften und Momenten. Die Bezeichnungen sind im Symbolverzeichnis definiert.

Für das Einspurmodell gelten folgende Prämissen

- Der Schwerpunkt des Fahrzeugs liegt in Fahrbahnhöhe. Radlaständerungen treten nicht auf.
- Es tritt kein Wanken des Fahrzeugs auf, da jeweils die Räder einer Achse zu einem Rad zusammengefasst werden.
- Nickbewegungen des Fahrzeugs werden vernachlässigt.
- Das System ist linear, d. h., z. B. ist die Reifenseitenkraft proportional zum Schräglaufwinkel.

2.3.2 Eigenlenkverhalten

Das Eigenlenkverhalten eines Fahrzeugs wird durch eine genormte Kreisfahrt ermittelt. Bis zur Kurvengrenzgeschwindigkeit ist der Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn gewährleistet. Wird der Kreis schneller durchfahren, so können die notwendigen Seitenkräfte nicht mehr übertragen werden. Das Fahrzeug schleudert um seine Hochachse [8].

Wenn bei Kreisfahrt auf einem konstanten Radius die Fahrgeschwindigkeit vom langsamen Rollen aus gesteigert wird, muss der Lenkradeinschlag verändert werden. Der für das Befahren des gleichen Kreisradius erforderliche zusätzliche Radeinschlag zum Ackermannwinkel wird durch das Eigenlenkverhalten des Fahrzeugs bestimmt [3].

Wenn die Schräglaufwinkel der Vorderräder größer sind als die Hinterräder, untersteuert das Fahrzeug. Das Fahrzeug wird dann einen größeren Kreis fahren, als dies den eingeschlagenen Vorderrädern entspricht.

Wenn aber die Schräglaufwinkel der Hinterräder größer sind als die Vorderräder, übersteuert das Fahrzeug. Das Fahrzeug wird dann einen kleineren Kreis fahren, als dies den eingeschlagenen Vorderrädern entspricht.

Die Schräglaufwinkel der Vorderräder können gleich groß sein wie der Hinterräder, dann hat das Fahrzeug ein neutrales Fahrverhalten und fährt einen Kreis, der den eingeschlagenen Vorderrädern entspricht.

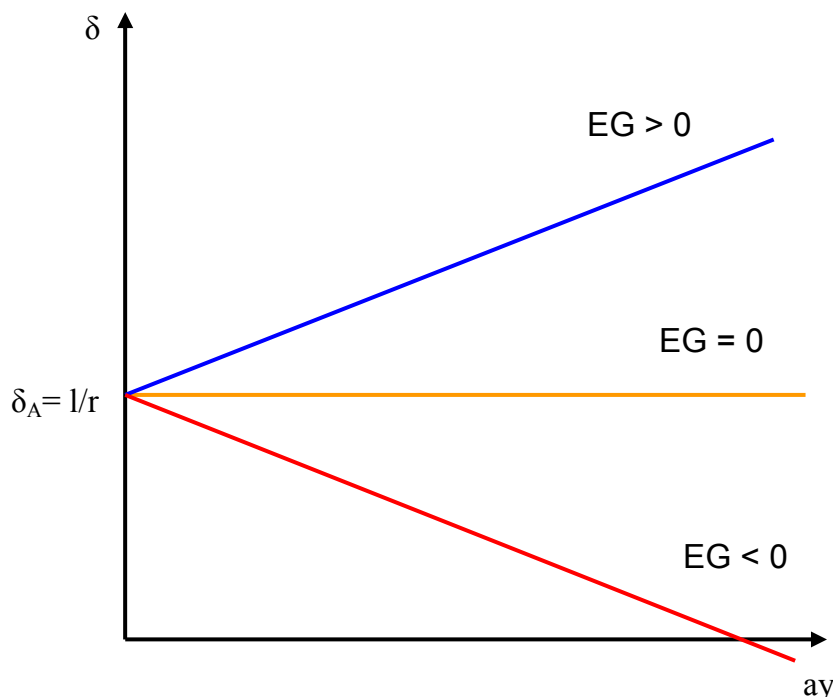


Bild 2-8 Darstellung der verschiedenen Eigenlenkgradienten

In Bild 2-8 sind verschiedene Fahrverhalten des Fahrzeugs dargestellt. Aus den Kurvenverläufen kann eine Geradengleichung zusammengestellt werden.

$$\delta = \delta_A + EG \cdot ay \quad 2-11$$

Der Eigenlenkgradient kann mit der Gleichung 2-13 dargestellt werden.

$$EG = m_F \frac{c_{\alpha H} \cdot l_H - c_{\alpha V} \cdot l_V}{c_{\alpha V} \cdot c_{\alpha H} \cdot l} \quad 2-12$$

Wenn der Eigenlenkgradient (EG) größer Null ist, weist das Fahrzeug ein untersteuerndes Fahrverhalten auf. Ist der EG gleich Null, dann hat das Fahrzeug ein neutrales Fahrverhalten. Das Fahrzeug übersteuert, wenn der EG kleiner als Null ist, daraus folgt:

Ein übersteuerndes Fahrzeug erfordert zum Befahren einer gegebenen Kreisbahn ($r = \text{const}$) einen kleineren Einschlagwinkel als ein untersteuerndes Fahrzeug.

Es wird an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass diese Zusammenhänge ausschließlich im linearen Bereich seine Gültigkeit haben. Verlässt man jedoch den linearen Bereich, so müssen komplexe Gleichungen mit den entsprechenden Reifenmodellen eingeführt werden. Der lineare Bereich und nicht lineare Bereich ist im Bild 2-10 qualitativ dargestellt.

2.3.3 Seitenkraft und Schräglaufwinkel

Zum Kurshalten eines Fahrzeuges und zur Aufnahme der Fliehkraft sind die Seitenführungskräfte [3] von entscheidender Bedeutung. Über die Luftreifen müssen die zur Änderung der Bewegungsrichtung erforderlichen seitlichen Kräfte aufgebracht werden. Bei einer Veränderung des Lenkwinkels wird das Rad zu seiner ursprünglichen Bewegungsrichtung verdreht. Durch diese Verdrehung wird der elastische Reifen im Bereich der Aufstandsfläche seitlich deformiert und es entsteht eine Seitenkraft F_y , Bild 2-10, die von der Reifenaufstandskraft abhängig ist. Wird diese Seitenkraft auf die Normalkraft bezogen, kann eine seitliche Kraftschlussbeanspruchung, oder auch seitliche Reibungszahl genannt, definiert werden:

$$F_y = \mu_y \cdot F_N \quad 2-13$$

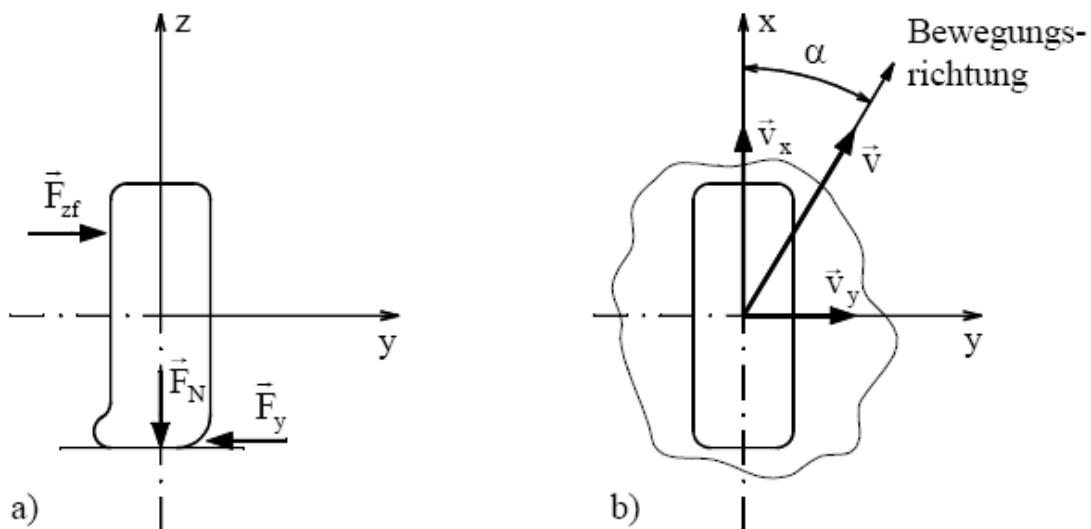


Bild 2-9 Rad unter Schräglauf a) Darstellung der Kräfte (von vorn gesehen)

b) Darstellung der Geschwindigkeiten (von oben gesehen)

Das Rad läuft unter einem Schräglaufwinkel α von der Richtung der Felgenebene x weg. Der Geschwindigkeitsvektor im Radaufstandspunkt schließt im Radmittelpunkt, wie im Bild 2-9 gezeigt, den Schräglaufwinkel ein. In der Reifenaufstandsfläche entsteht eine seitliche Gleitgeschwindigkeit:

$$v_y = v \cdot \sin \alpha$$

2-14

Die Seitenkraft F_y und der Schräglaufwinkel α sind nicht proportional zueinander. Deshalb wird die Seitenkraft direkt über dem Schräglaufwinkel, mit der Normalkraft als Parameter, aufgetragen. Bei einer Vergrößerung des Schräglaufwinkels bleiben nicht mehr alle Punkte der Reifenaufstandsfläche auf der Fahrbahn haften, sondern beginnen zu gleiten. Während des Gleitens wächst die Seitenkraft F_y langsamer an als der Schräglaufwinkel. Es ergibt sich ein degressiver Verlauf im Seitenkraft-Schräglaufwinkel-Diagramm, siehe Bild 2-10. Neben dem Diagramm des Bildes 2-8 ist auch die im Bild xx gezeigte Darstellung der Seitenkraft F_y über der Normalkraft F_N , mit Schräglaufwinkel α als Parameter üblich[33].

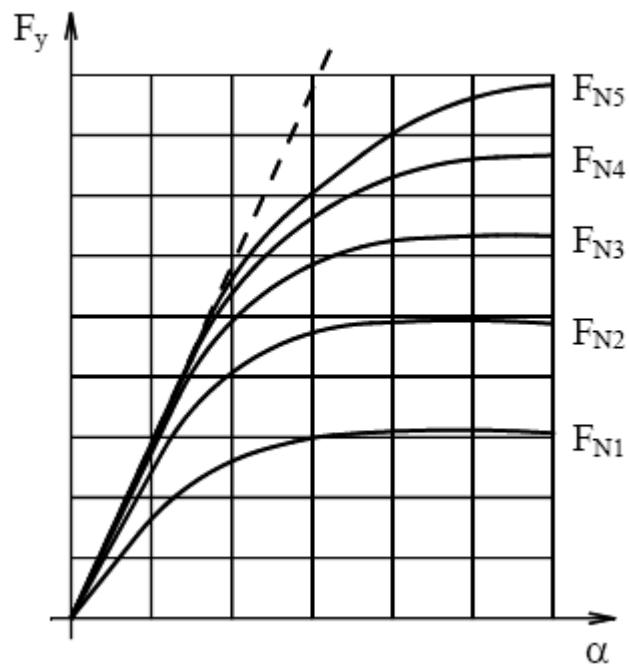


Bild 2-10 Seitenkraft – Schräglaufwinkel Diagramm[33]

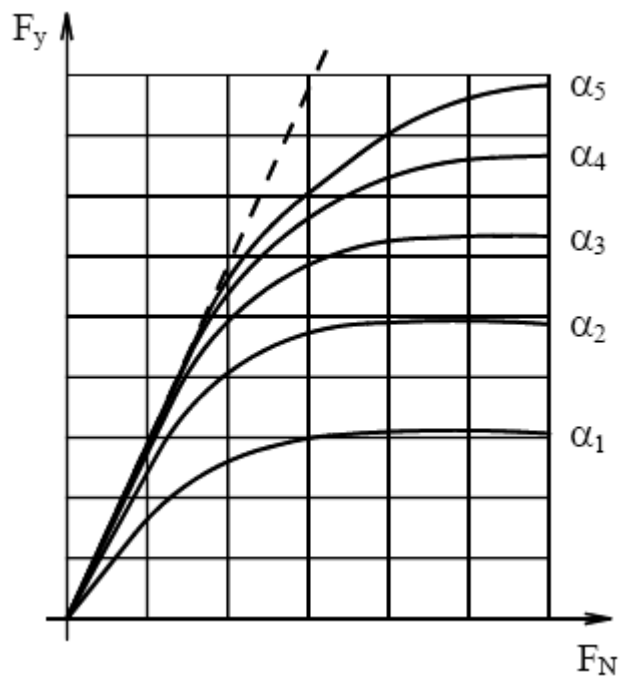


Bild 2-11 Seitenkraft-Normalkraft-Diagramm [33]

Die Übertragung der Seitenkraft, auch Querkraft genannt, erfordert ein Schräglaufwinkel α . Der Schräglaufwinkel ist eine Funktion der Seitenkraft. Mit zunehmender Seitenkraft nimmt auch der Schräglaufwinkel bis ca. 4° (vgl. Hook'sche Gesetz) linear zu. Ab ca. 4° ist die Zunahme der Seitenkraft degressiv.

2.3.4 Gierwinkelgeschwindigkeit

Die stationäre Kreisfahrt beschreibt vorerst eine Kurvenfahrt auf einem konstanten Radius r mit einer konstanten Geschwindigkeit v , somit entsteht eine Gierwinkeländerung in einer bestimmten Zeit. Die sich daraus ergebene Gierwinkelgeschwindigkeit berechnet sich aus der Fahrzeuggeschwindigkeit v und dem Kurvenradius r .

$$\dot{\psi} = \frac{v}{r} \quad 2-15$$

Für kleine Fahrgeschwindigkeiten wurde im Kapitel 2.4 die Lenkgeometrie hergeleitet. Bei höheren Geschwindigkeiten verschiebt sich der Kurvenmittelpunkt aus der gedachten Verlängerung der Hinterachse auf einen momentanen Mittelpunkt MP. Der Kurvenradius r bleibt konstant und beschreibt den Abstand zwischen Fahrzeugschwerpunkt SP und Kurvenmittelpunkt M bzw. MP. Der Fahrzeugführer stellt über die Lenkung den sich aus der Lenkgeometrie ergebenden Vorderradeinschlagwinkel δ_v ein. Auf Grund der momentanen Mittelpunktlage rollen die Reifen unter den Schräglaufwinkeln α_v und α_h in die sich ergebenden Geschwindigkeitsrichtungen. Die kinematischen Größen am Einspurmodell für die stationäre Kurvenfahrt zeigt das Bild 2-7.

2.3.5 Lenkgeometrie

Bei langsamer Kurvenfahrt, z. B. beim Einparken, sind die Fliehkräfte gleich Null und es treten an den Rädern keine Seitenkräfte und somit auch keine Schräglaufwinkel auf. Dabei müssen die Vorderräder so eingeschlagen werden, dass sich die Verlängerung der Achsen in einem gemeinsamen Punkt M auf der Verlängerung der ungelenkten Hinterachsen treffen. Aus dieser klassischen Lenkung, der sogenannten Ackermann-Lenkung, ergeben sich sehr große Radeinschläge mit unterschiedlichen Vorderradeinschlagwinkeln.

2.3.6 Reifenmodelle

Reifenmodelle dienen dazu, Reifeneigenschaften qualitativ oder quantitativ darzustellen und vorherzusagen. Zur Ermittlung der bei der Fahrt auftretenden Reifenkräfte existieren unterschiedliche Reifenmodelle. Man unterscheidet dabei zwischen einer mathematischen und einer physikalischen Herangehensweise. Bei physikalischen Modellen werden die Bauweise und die Materialeigenschaften des Reifens durch Differentialgleichungen nachgebildet. Es ergeben sich sehr umfangreiche Gleichungssysteme. Bei mathematischen Modellen werden die Kennlinien der Reifen durch mathematische Funktionen dargestellt.

2.4 Grundgrößen der Vertikaldynamik

In der Vertikaldynamik wird das Schwingungsverhalten des Fahrzeugs an Hand der Hauptkriterien Fahrsicherheit und Fahrkomfort untersucht.

Hierbei haben unter anderem die Parameter: Aufbaumasse, Radmasse, Aufbaufeder, Aufbaudämpfer den Einfluss. Die Parameter sind für diese Diplomarbeit nicht relevant. Aus diesem Grund wird auf diese Größen nicht weiter eingegangen.

2.5 Massenträgheitsmoment

Das Verhalten eines Körpers bei Translationsbewegungen ist durch die Masse m bestimmt und es gilt das Newtonsche Trägheitsgesetz:

$$F = m * a \quad 2-16$$

bei einer Drehbewegung ist das Verhalten eines Körpers nicht nur von der Masse, sondern auch von ihrer Verteilung bezüglich der Drehachse abhängig. Das Verhalten wird daher durch das Massenträgheitsmoment des Körpers bestimmt. Hier gilt das Newtonsche Trägheitsmoment für die Rotation:

$$M = J * \alpha \quad 2-17$$

Die Massenelemente die sich weit entfernt von der Drehachse befinden, unterliegen großen Beschleunigungsbeträgen, d.h. sie setzen der Bewegungsänderung auch große Teilträgheitskräfte entgegen. Andererseits ergeben sich die Teildrehmomente als Produkte dieser Trägheitskräfte mit den Abständen von der Drehachse. Daher geht der Abstand im Quadrat in die Bewertung der trägen Eigenschaften des einzelnen Massenelements ein. Die Summation über alle Massenelemente führt auf ein Integral:

$$J = \int r^2 * dm \quad 2-18$$

Dieses Integral definiert den Begriff Massenträgheitsmoment. Für unregelmäßig geformte Körper und auch für inhomogene zusammengesetzte Körper hat das Integral theoretische Bedeutung, kann aber mit den normalen analytischen Methoden nicht berechnet werden [11]. Das Massenträgheitsmoment kann in diesen Fällen vorteilhaft durch eine Messung bestimmt werden.

2.6 Filtern von Messdaten

Nur in der Welt der Signaltheorie gibt es die eigentlichen, reinen Signale. In der realen Welt der Messtechnik sehen die aufgenommenen Daten, je genauer man sie betrachtet immer ungleich aus. Das überall vorhandene Rauschen hat die Sachverhalte verzerrt. Die jeweiligen Filter müssen von ihren Kriterien ideal an das Signal angepasst werden.

Der Einsatz von Filtern hat das Ziel, das Signal gegenüber dem Rauschen zu verbessern, durch Ableitung des Signals den Untergrund abzuziehen und durch Integration zu glätten. Inzwischen werden Messdaten praktisch ausschließlich durch Software weiterverarbeitet

Digitale Filter weisen gegenüber analogen Filtern mehrere Vorteile auf:

- Digitale Daten können direkt weiter verarbeitet werden.

- Man erhält kein temperatur- oder zeitabhängiges Rauschen; nur
- Rundungsfehler müssen berücksichtigt werden.
- Sie sind leichter an die Problemstellung anzupassen und zu verändern.
- Die Software ist übertragbar.

Mittelwertfilter

Der einfachste Filter arbeitet nach dem Prinzip gleitender Mittelwerte, bei denen innerhalb eines vordefinierten Fensters mit einer bestimmten Filterbreite der Mittelwert über die Signalwerte gebildet wird. Dabei ist k der Index des benachbarten Datenpunktes,

$$2m+1$$

die Größe des Fensters (Filterbreite) und m die Variable zur Festlegung der Filterbreite. Dieses Fenster wird sukzessive durchgeschoben (boxcar-Filter, aus dem Amerikanischen: geschlossener Güterwagen), die jeweils ersten und letzten Werte werden nicht gefiltert. Es werden äquidistant anfallende Daten vorausgesetzt. Dadurch wird das Rauschen verringert. Vorsicht ist allerdings mit der Wahl der Fensterbreite geboten. Zu große Breite kann Strukturen in Spektren verdecken und Peaks einebnen.

Auswahl von Filterfunktionen

Wendet man einen Filter mehrfach auf Daten an, so wird der größte Effekt im ersten Schritt erzielt (> 95%). Daher ist eine einmalige Glättung in der Regel ausreichend.

Die Filterbreite sollte ungefähr die Halbwertsbreite einer Bande nicht übersteigen. Zu kleine Breite ist unzureichend, zu große sorgt für Verzerrungen. Verzerrungen wirken sich auf die Fläche eines Peaks weniger aus als auf die Höhe. Bei Auswertung über Flächen können relative Filterbreiten von 1, bei Höhen möglichst nur 0,5 gewählt werden. Auch die Form des Peaks wirkt sich auf die Verzerrung aus. So werden z.B. Lorentzkurven weniger verzerrt als Gauss-Peaks.

Ein Mittelwertfilter reduziert immer die Höhe eines lokalen Maximums (peak) und verbreitert es zugleich [30].

3 Genormte Fahrversuche

Bis in die 60er Jahre erfolgte die Beurteilung des Fahrverhaltens nahezu ausschließlich durch den Testfahrer. Er gab sein subjektives Urteil ab und benotete das Verhalten des Fahrzeugs. Mit zunehmendem Einsatz mobiler Messtechnik ergänzten objektive Bewertungen die subjektiven Urteile. Der durch Fahrereingabe hervorgerufenen Fahrzeugreaktion wurden objektiv messbare Zahlenwerte zugeordnet, die aus den Größen der Fahrzeugbewegung abgeleitet waren. Es ist seitdem notwendig, die dazu notwendigen Prüfverfahren nebst ihren zugehörigen Kriterien zu standardisieren

Der Begriff des Fahrverhaltens hat seinen Ursprung in der subjektiven Betrachtung des Fahrzeugs im Bewegungsablauf. Unter dem Begriff Fahrverhalten ist ein Gesamtverhalten von Fahrerhandlungen und den daraus folgenden Fahrzeugreaktionen, einschließlich der Auswirkung von Störungen, zu verstehen.

Das Fahrverhalten ist ein wesentlicher Bestandteil der aktiven Sicherheit. Diese steht für die Eigenschaften eines Fahrzeugs, die zur Vermeidung von Unfällen dienen [29].

Die Fahrversuche sind nach DIN und ISO genormt. Es werden lediglich die Fahrversuche mit den theoretischen Hintergründen vorgestellt mit dem auch die Fahrversuche durchgeführt worden sind. das Bild 3-1 zeigt das gebräuchliche Testverfahren.


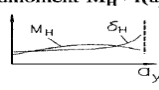
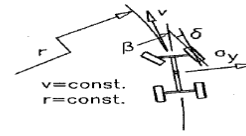
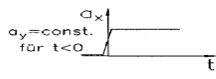
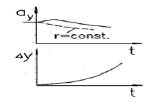
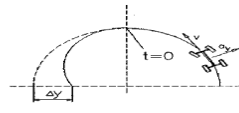
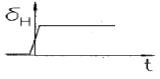
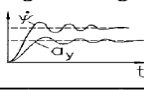
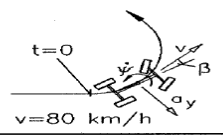
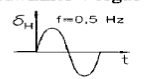
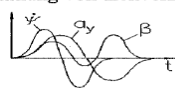
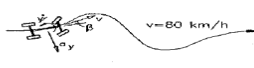
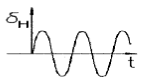
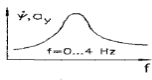

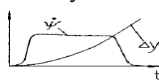
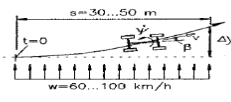
Testverfahren:	Zeitverlauf der Eingangsparameter:	wichtige Ergebnisgrößen und Kennlinien:	Fahrspurverlauf:
Stationäre Kreisfahrt DIN ISO 4138	Querbeschleunigung a_y (wird stufenweise erhöht): 	Schwimmwinkel $\beta = f(a_y)$, Lenk(rad)winkel $\delta_{(H)} = f(a_y)$, Lenkmoment $M_H = f(a_y)$. 	 $v = \text{const.}$ $r = \text{const.}$
Bremsen im Kreis, Lastwechsel DIN ISO 7975	Querbeschleunigung a_y , Längsbeschleunigung a_x : $a_y = \text{const.}$ für $t < 0$ 	Änderung des Kurvenradius, Kursabweichung Δy : 	 $t = 0$
Lenkwinkel-sprung DIN ISO 7401	Sprungfunktion des Lenkradwinkels: 	Querbeschleunigung a_y , Gierwinkelgeschwindigkeit $\dot{\psi}$: 	 $v = 80 \text{ km/h}$
Lenk-Einzel-Sinus DIN ISO 7401	Lenkradwinkel-Vorgabe: δ_H $f = 0,5 \text{ Hz}$ 	(Bestimmung von Zeitverzügen) 	 $v = 80 \text{ km/h}$
Lenk-Sinus DIN ISO 7401	Lenkradwinkel-Vorgabe: δ_H 	(Auswertung im Frequenzbereich)  $f = 0 \dots 4 \text{ Hz}$	 $v = 80 \text{ km/h}$
Seitenwind-Einfluß	konstante Anströmung mit Strömungsgeschwindigkeit w (fahrbahnbezogen)	Querbeschleunigung a_y , Gierwinkelgeschwindigkeit $\dot{\psi}$, Seitenversatz Δy : 	 $s = 30 \dots 50 \text{ m}$ $w = 60 \dots 100 \text{ km/h}$

Bild 3-1 Übersicht über gebräuchliche Testverfahren zum querdynamischen Testverfahren [4]

3.1 Stationäre Kreisfahrt

Das Testverfahren stationäre Kreisfahrt ist nach ISO 4138 genormt. Darin ist das Testverfahren sehr genau beschrieben. Es wird in diesem Abschnitt die wesentlich wichtigen Aussagen für die Durchführung der Fahrversuche erläutert.

Dieses Verfahren zur Bestimmung des stationären Fahrverhaltens erfordert ein Fahrmanöver, bei dem das Testfahrzeug bei verschiedenen konstanten Geschwindigkeiten über eine Kreisbahn mit bekanntem Radius gefahren wird. Die Charakteristik des Fahrverhaltens wird durch Daten bestimmt, die bei der Fahrt des Fahrzeugs mit schrittweise gesteigerter Geschwindigkeit auf einer Kreisbahn mit konstanten Radius (oder einer Bahn mit hinreichender Länge, die ein Erreichen der stationären Fahrt ermöglicht) erfasst werden. Zur Messung ist nur ein relativ kleiner Kreisabschnitt notwendig.

Das Hauptanliegen des Tests ist die Erfassung des Lenkradwinkels als Funktion der Querbeschleunigung und die Beschreibung des Fahrzeugs-Eigenlenkverhaltens (z.B. Untersteuern/Übersteuern) für Rechts- und Linkskurven. Folgende Größen sind unbedingt zu messen:

- Lenkradwinkel
- Querbeschleunigung (diese Größe kann auch von anderen Parametern abgeleitet werden).

Die Messung folgender Größe wird empfohlen:

- Schwimmwinkel

Die folgenden Größen können gemessen werden:

- Giergeschwindigkeit
- Längsgeschwindigkeit
- Lenkradmoment
- Wankwinkel

3.1.1 Versuchsbedingungen

Teststrecke

Alle Versuche sollen auf einer sauberen, gleichmäßig harten Oberfläche mit nicht mehr als durchschnittlich 2% Gefälle, gemessen über eine Distanz von 5 bis 25 m in jeder Richtung, durchgeführt werden.

Als Standard – Testbedingungen wird eine saubere, trockene Fahrbahnoberfläche aus Asphalt oder Beton oder einem anderen Material mit hohen Reibwerteigenschaften empfohlen.

Ein Radius von 30 m wird als Minimum angesehen, und die Umgebungsgeschwindigkeit soll 7 m/s nicht überschreiten. Bei größeren Radien mit entsprechend höheren Geschwindigkeiten ist eine niedrigere Windgeschwindigkeit wünschenswert.

Reifen

Die Tests können mit Reifen in beliebigen Abnutzungszustand durchgeführt werden, unter der Voraussetzung, dass zum Ende des Tests noch eine minimale Profiltiefe von 1,5 mm über der gesamten Reifenlauffläche besteht.

Abgesehen davon sollen für eine gleichmäßige Reifenbeschaffenheit neue Reifen verwendet werden, die nach 150 bis 200 km in der üblichen Anordnung am Fahrzeug ohne übermäßige Beanspruchung, z.B. beim Bremsen, Beschleunigen, Kurvenfahren, Bordsteinüberfahrten usw. eingefahren werden.

Der vom Hersteller für das Fahrzeug vorgeschriebene Luftdruck ist bei kalten Reifen mit einer zulässigen Abweichung von $\pm 0,005$ bar für Luftdrücke bis zu 2,5 bar und einer zulässigen Abweichung von ± 2 % für Luftdrücke über 2,5 bar einzuhalten.

Fahrzeugbauteile

Alle Fahrzeugbauteile, die die Versuchsergebnisse beeinflussen könnten (z.B. Stoßdämpfer, Feder- und Radaufhängungsteile) sollen auf die Festlegungen des Herstellers hin überprüft genau eingestellt werden.

3.1.2 Testverfahren

Die Reifen sind in einem Verfahren aufzuwärmen, das einer 500 m Fahrt bei einer Querbeschleunigung von 3 m/s² auf der Testkreisbahn entspricht. Die Luftdrücke können aufgezeichnet werden.

Das Fahrzeug ist mit der niedrigsten realisierbaren Geschwindigkeit auf dem ausgewählten Kurs zu fahren. Die Meßsignale sind mit fixierter Lenkrad und Drosselklappenstellung aufzuzeichnen.

Danach wird das Fahrzeug mit der nächsten für die Messung relevanten Geschwindigkeit gefahren. Falls die Messgeräte zwischen den Tests neu eingestellt werden müssen, kann zu diesem Zweck angehalten werden. Die Daten sollten in Höchstschriftweiten von 0,5 m/s² aufgenommen werden. Wenn sich große Änderungen in den Messergebnissen in Abhängigkeit von der Querbeschleunigung ergeben, kann es nützlich sein, die Messergebnisse bei kleineren Schrittweiten aufzunehmen.

Zu jeder Querbeschleunigungsstufe sollen die Lenkrad und Drosselklappenstellung während der Messdatenerfassung so konstant wie möglich gehalten werden. Unabhängig vom gewählten Radius ist der vorgegebene Kurs mit einem Spielraum von 0,3 m zu jeder Seite einzuhalten. Die Messdaten sind bei jeder Querbeschleunigungsstufe für mindestens 3 s konstanter Fahrt aufzuzeichnen. Es wird empfohlen, jeweils die höchste bei der Fahrgeschwindigkeit mögliche Gangstufe einzulegen.

3.2 Lenkwinkelsprung

Hauptziel dieser Tests ist das querdynamische Übertragungsverhalten eines Fahrzeugs zu bestimmen. Charakteristische Werte und Funktionen sowohl im Zeit als auch im Frequenzbereich sind zur Beschreibung des Übertragungsverhaltens notwendig.

Wichtige Kriterien im Zeitbereich sind:

- Zeitverschiebungen zwischen Lenkradwinkel, Querbeschleunigung und Giergeschwindigkeit,
- Ansprechzeiten der Querbeschleunigung und der Giergeschwindigkeit,
- Verstärkungsfaktor der Querbeschleunigung (Querbeschleunigung dividiert durch Lenkradwinkel)
- Verstärkungsfaktor der Giergeschwindigkeit (Giergeschwindigkeit dividiert durch Lenkradwinkel)
- Überschwingwerte
- TB-Werte

Die oben aufgeführten Kriterien korrelieren teilweise mit der subjektiven Bewertung bei Straßentests.

3.2.1 Testverfahren

Die Reifen müssen, wie bei stationärer Kreisfahrt beschrieben aufgewärmt werden.

Alle Tests müssen mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h (abhängig von der Fahrzeugleistung) gefahren werden. Wenn höhere oder niedrigere Testgeschwindigkeiten gefahren werden, muss dies in Schritten von 20 km/h erfolgen.

Lenkwinkelsprung

Das Fahrzeug muss mit der Testgeschwindigkeit geradeaus gefahren werden. Beginnend mit einer Giergeschwindigkeit von $(0 \pm 0,5)^\circ/\text{s}$ muss das Lenkrad auf einen vorher bestimmten Wert so schnell wie möglich eingeschlagen werden, der einige Sekunden lang beibehalten werden muss oder so lange, bis die gemessenen Variablen der Fahrzeugbewegung einen Beharrungszustand erreicht haben. Die Stellung des Gaspedals darf nicht verändert werden, auch wenn sich die Fahrgeschwindigkeit verringert.

Daten müssen sowohl für Linkskurven als auch für Rechtskurven ermittelt werden. Alle Daten können erst in einer Richtung, danach in der anderen Richtung aufgezeichnet werden. Alternativ können Daten nacheinander erst in einer Richtung für jede Beschleunigungsebene anfangen von der niedrigsten bis zur höchsten, aufgezeichnet werden. Das angewandte Verfahren muss in den allgemeinen Daten vermerkt werden.

Die Daten müssen über den gewünschten Lenkradwinkelbereich ermittelt werden. Die erforderliche Querbeschleunigung ist 4 m/s^2 . Wahlweise werden Querbeschleunigungen von 2 m/s^2 und 6 m/s^2 empfohlen.

Alle Tests müssen mindestens dreimal durchgeführt werden [18].

3.2.2 Datenanalyse

Ansprechzeit

Die Auswertung der Ansprechzeiten wird wie folgt ausgeführt: Der Ausgangspunkt jeder Bewegungsreaktion ist der Zeitpunkt, bei dem der Lenkradwinkel 50% seines Endwertes erreicht. Dies ist der Bezugspunkt, von dem aus alle Ansprechzeiten gemessen werden. Ansprechzeit wird definiert als die von diesem Bezugspunkt aus gemessene Zeit bis zum Erreichen von 90% des neuen Stationärwertes der jeweiligen Bewegungsreaktion des Fahrzeugs.

Ansprechzeit bis zum Maximum

Die Ansprechzeit bis zum Maximum ist die vom Ausgangspunkt ausgehende Zeit bis zu dem Punkt, in dem die Bewegungsreaktion des Fahrzeugs ihren Spitzenwert erreicht hat.

Überschwingwerte

Die Überschwingwerte werden als Verhältnis definiert: Differenz zwischen Maximalwert und Stationärwert geteilt durch Stationärwert.

Das Bild 3-2 zeigt alle hier aufgeführten Definitionen.

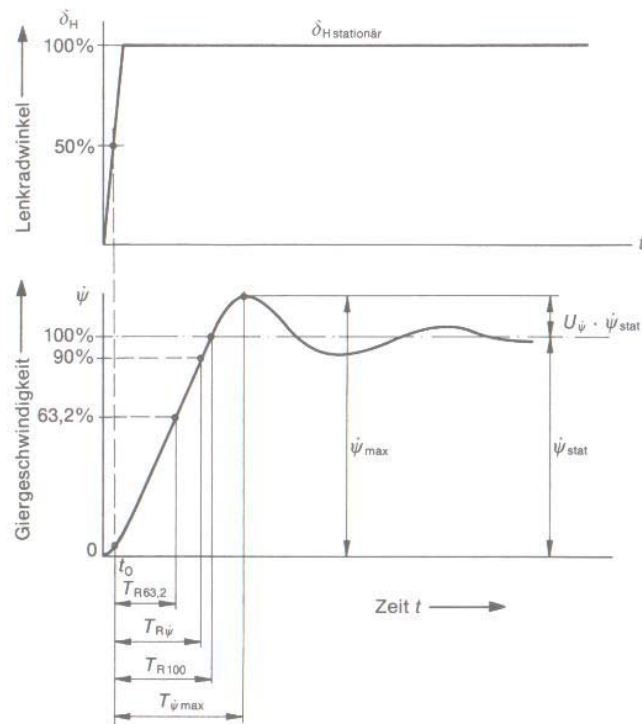


Bild 3-2 Definition der Ansprechzeiten der Fahrzeuggierbewegung nach einem Lenkwinkelsprung [34]

Alle Abkürzungen wurden im Symbolverzeichnis aufgelistet.

3.3 Weitere Testverfahren

Zu den weiteren Testverfahren können

- Bremsen im Kreis Lastwechsel
- Lenk-Einzelsinus
- Lenksinus
- Seitenwindeinfluss

aufgezählt werden. Auf die nähere Beschreibung dieser Testverfahren wird nicht eingegangen. Das Bild 3-1 soll einen ersten Eindruck über diese Testverfahren vermitteln

4 Erweiterung des Versuchsfahrzeuges

Das Fahrverhalten eines Fahrzeuges wird von verschiedenen Parametern wie z.B. Fahrzeugmasse, Fahrzeugschwerpunkt und Trägheitsmoment des Fahrzeugs beeinflusst. Die aufgezählten Parameter können an einem Serienfahrzeug bedingt variiert werden. Um eine gewünschte Fahrzeugvariation zu erzielen, sind verschiedene konstruktive Erweiterungen an dem Fahrzeug notwendig. Die konstruktive Erweiterung des Versuchsfahrzeugs wurde bereits an einem vorangegangenen Diplomarbeit [32] durchgeführt.

4.1 Ist-Stand des Versuchsfahrzeugs zu Beginn der Diplomarbeit

Um verschiedene Parameter die bereits im Einzelnen aufgezählt worden sind zu realisieren, wurde an Stelle der vordere –und hintere Stoßfänger sowie zwischen A –und B-Säule des Versuchsfahrzeuges Gestelle aus Aluminiumprofilen [20] angebracht. Um die Gestelle auf den aufgezählten Stellen zu befestigen, mussten der vordere- und hintere Stoßfänger sowie die vorderen Türen ausgebaut werden. Die Gestelle sind so konzipiert, dass damit eine Aufnahme von Stahlplatten, (die später einzelne Massen benannt wird) die jeweils 10 kg wiegen, möglich ist. Die Stahlplatten sind aufeinander stapelbar und wurden für die Variierung der verschiedene Fahrzeugparameter gefertigt.

Das Messgerät iDIS-FMS ist in die Ersatzradmulde eingebaut. Die Messdaten werden mittels von der Firma Imar gelieferter Software Nav-Command erfasst und in ASCII Format gespeichert. Nach Durchführung der Fahrversuche können die Messdaten mit verschiedenen Programmen eingelesen und graphisch dargestellt werden. Die Visualisierung der Messdaten in Echtzeit ist während der Fahrversuche nicht möglich. Die Online Anzeige der Messdaten ist für die Durchführung der Fahrversuche hilfreich. So kann die Querbeschleunigung bei Lenkwinkelsprung von 4 m/s^2 , die nach ISO 7401 gefordert wird, für den Lenkwinkelsprung während der Fahrt direkt abgelesen werden.

4.2 Erweiterungen am Versuchsfahrzeug (Softwareseitig)

Um die Messdaten in Echtzeit visualisieren zu können sind weitere Erweiterungen am Messaufbau notwendig.

Echtzeit beschreibt das zeitliche Ein- und Ausgangsverhalten eines Systems, sagt aber nichts über dessen Realisierung aus. Ein Echtzeit-System kann ein Rechner mit einer geeigneten Software, kann aber auch eine reine Hardware-Lösung sein. Eine eindeutige Definition von Echtzeit ist umstritten. Die breiteste Zustimmung findet folgende Definition: Echtzeit bedeutet, dass das Ergebnis einer Berechnung innerhalb eines

gewissen Zeitraumes garantiert vorliegt, das heißt bevor eine bestimmte Zeitschranke erreicht ist [32].

4.2.1 Echtzeitanzeige der Messdaten mit der Dasylab-Software

Es ist für die Fahrversuche, vor allem aber für die Durchführung der Lenkwinkelsprung notwendig, momentane Messdaten in Echtzeit auszugeben. So schreibt die ISO 7401 eine Querbesehleunigung von 4 m/s^2 vor (wahlweise aber auch 2 m/s^2 oder 6 m/s^2). Die Messdaten die das iDIS-FMS Messgerät an die Nav Command Software liefert, können nicht sofort abgelesen werden. An dieser Stelle wird das Versuchsfahrzeug mit der Software Dasylab erweitert. Dasylab ermöglicht mit entsprechender Erweiterung eine Echtzeitanzeige der Messdaten.

Das iDIS-FMS Messgerät hat 10 Kanäle für die Analogausgabe mit dieser ist es möglich, beliebige Signale weiter zu verwenden. Die Signale können mit der Software Dasylab in Echtzeit dargestellt werden. Das Bild 4-1 zeigt ein Bildschirmausdruck der Nav Command Konfiguration. Auf dem Reiter Analogausgabe sind die Messgrößen in verschiedene Messkanäle zugeordnet.

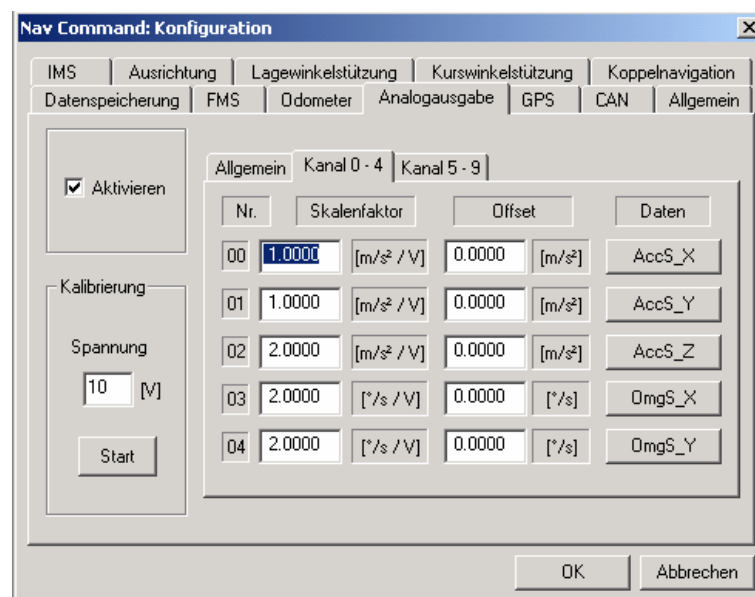


Bild 4-1 Bildschirmausdruck der Analogausgabe von der Software Nav-Command

In Bild 4-1 ist zu sehen, dass der Messkanal 01 für die Ausgabe der Querbesehleunigungsdaten belegt ist. Um die Messdaten in Echtzeit darstellen zu können, muss die Messeinrichtung mit der entsprechenden Hardware erweitert werden.

Die Analogausgabe von iDIS-FMS Messgerät wird mit einem BNC-Kabel (Bayonet Nut Coupling) an Messdatenerfasser Instrunet 100B angeschlossen, Bild 4-2.

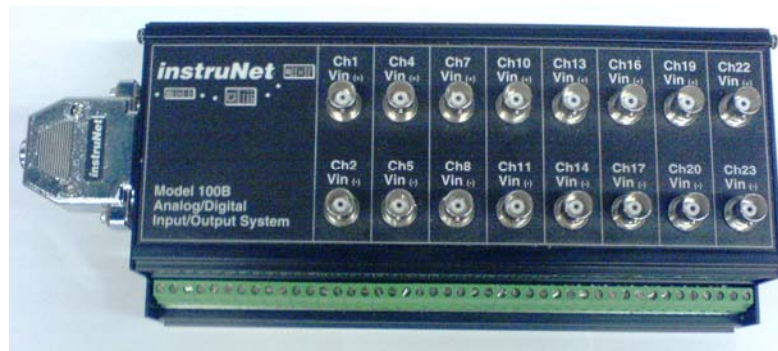


Bild 4-2 Messdatenerfasser InstruNet 100B

Der Messdatenerfasser InstruNet 100B wird mit einem 25-poligen Kabel an PCMCIA Controller angeschlossen, Bild 4-3. Der PCMCIA Controller wird über das Karteneinlesefach mit dem Notebook verbunden.



Bild 4-3 PCMCIA Controller InstruNet 230

Nach Einschalten und Ausrichten des Messgerätes iDIS-FMS mit der Nav Command wird Dasylab aufgerufen und die Messung gestartet. Eine genauere Beschreibung der Messvorbereitung und der Messaufbau ist am Anhang beigefügt.

4.2.2 Echtzeitanzeige der Messdaten mit der Software InstruNet World

Nach gleichem Aufbau, wie bei Dasylab beschrieben ist, kann auch mit InstruNet World Software die Messdaten in Echtzeit dargestellt werden. Mit dieser Software ist es aber nicht möglich, wie bei Dasylab, die Messdaten mit Digital- oder Analoginstrumenten zu visualisieren. Es sind ausschließlich Spannungswerte in Zahlen die das iDIS-FMS Messgerät aufzeichnet und an die Software InstruNet World als Spannungswerte weiterleitet.

Um ein Verhältnis der beiden Software Nav Command und InstruNet World festzustellen, wurde mit dem Fahrzeug zwei Fahrversuche durchgeführt. Dabei wurden zwei Notebooks an das iDIS-FMS Messgerät angeschlossen. Die Messdaten für die Querbeschleunigung wurde von dem ersten Notebook, wo auch die Software Nav

Command installiert ist, aufgenommen. Mit dem zweiten Notebook wurden die Messdaten mit dem DasyLab mittels der Modul Linienschreiber aufgezeichnet und anschließend ausgedruckt. Bei Stillstand des Versuchsfahrzeugs ist keine Querbeschleunigung vorhanden. Die Software Instrunet World zeigt auch eine Anzeige von 0 Volt. Bei einer maximalen Querbeschleunigung von $3,2 \text{ m/s}^2$ zeigt die Software Instrunet World einen Wert von 4,12. Der Verlauf der Querbeschleunigung ist bis ca. 5 m/s^2 als Linear angenommen. Dass der Verlauf auch weitgehend linear ist wird bei den Kreisfahrtversuchen bestätigt. Diese werden im Kapitel 6 ausführlich erläutert.

Aus dem Ansatz der Geradengleichung

$$f(x) = m \cdot x + b$$

4-1

kann ein Verhältnis zwischen Querbeschleunigung und Spannung hergeleitet werden.

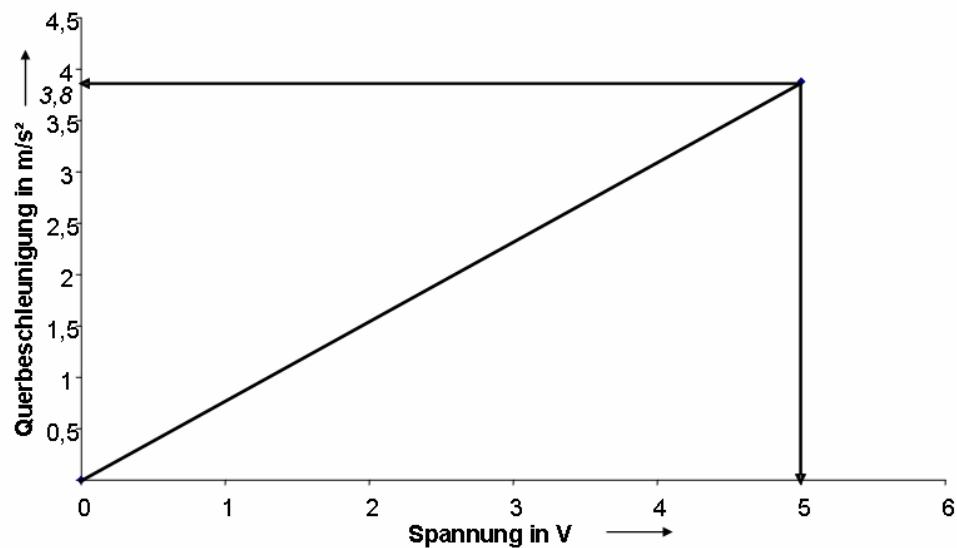


Bild 4-4 Kennlinie zur Bestimmung der Übertragungsfunktion

Wie auch das Bild 4-4 darstellt, schneidet die Gerade der Ordinate bei Ursprung des Koordinatensystem. Aus diesem Grund entfällt der Konstante b . Nach Einsetzen der Werte in die Gleichung 4-1 ergibt sich das Verhältnis für die Übertragungsfunktion:

$$f(x) = 0,776 \cdot x$$

Daraus folgt, dass die Spannungswerte mit dem Faktor m ($0,776$) multipliziert werden müssen damit die entsprechende Querbeschleunigung berechnet werden kann. Die Software Instrunet World zeigt aber eine maximale Spannung von 5 V . Eine softwareseitige Erhöhung der Spannung ist nicht möglich. Daraus resultiert, dass mit der Software eine Querbeschleunigung bis $3,8 \text{ m/s}^2$ visualisiert werden kann.

4.2.3 Echtzeitanzeige der Messdaten mit der Software iCANView

iCANView ist eine auf Windows basierte Software von der Fa. Imar. Im Bild 4-5 ist die Oberfläche der Software dargestellt.

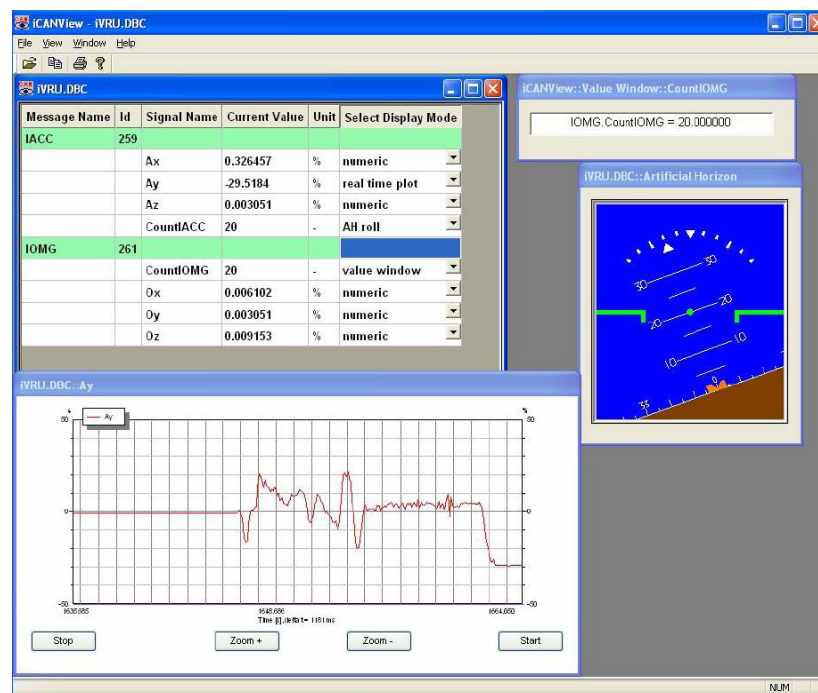


Bild 4-5 Darstellung der iCANView Software Oberfläche

Mit der Software ist es ebenso möglich die Messdaten in Echtzeit zu visualisieren. Der Vorteil dieser Software liegt darin, dass keine weitere Hardware wie bei DasyLab und Instrunet World angeschlossen werden muss. Die Daten können via CAN2USB-Adapter direkt an das Notebook übertragen werden. Die Software bietet die Möglichkeit mehrere Module gleichzeitig anzuzeigen. Wie das Bild 4-5 zeigt, kann y-t Grafik, DBC file und die Position des Fahrzeuges zum Horizontalen visualisiert werden.

Die Fachhochschule ist in Besitz der Software DasyLab und der Software Instrunet World. Für die Software iCANView liegt ein Angebot der Firma Imar vor. Die Software wurde jedoch aus Kostengründen noch nicht gekauft.

4.3 Konsole für die Aufnahme der einzelnen Massen in der Mitte des vorderen Gestells

Für die Fahrversuche die im Zusammenhang mit dieser Diplomarbeit durchgeführt worden sind, ist das Trägheitsmoment um die Z-Achse wichtig. Es ist im Fahrzeugtechniklabor keine Messeinrichtung vorhanden, die das Trägheitsmoment des Versuchsfahrzeuges ermitteln kann. Aus diesem Grund wird das Trägheitsmoment mit eine Annäherungsformel bestimmt. Der Formel darf ausschließlich für die Berechnung des Trägheitsmoments um die Z-Achse verwendet werden [3].

$$J_z = 0,1269 * m_G * l * L_G$$

4-2

Die Gleichung bezieht sich auf ein normal beladenes Fahrzeug. Nach Einsetzen und Ausrechnen der Werte ergeben sich für das Bezugsfahrzeug ein Trägheitsmoment von

$$\underline{J_z = 2867 \text{ kgm}^2}$$

Die Grundlagen des Massenträgheitsmomentes wurden in Kapitel 2 beschrieben.

4.3.1 Zweck der Verschiebung der Einzelmassen

Wenn die einzelnen Massen parallel zu der Y-Achse verschoben werden, ändert sich das Fahrzeuggewicht, nicht aber das Massenträgheitsmoment. Wenn die einzelnen Massen um den Radius verschoben werden, bleibt das Fahrzeuggewicht und das Trägheitsmoment gleich. Um die Auswirkung der unterschiedlichen Verschiebung zu untersuchen wird zunächst eine Konsole mit Hilfsgestell konstruiert und anschließend Fahrversuche gefahren. Das Bild 4-1 zeigt die Verschiebung der einzelnen Massen parallel und um den Radius.

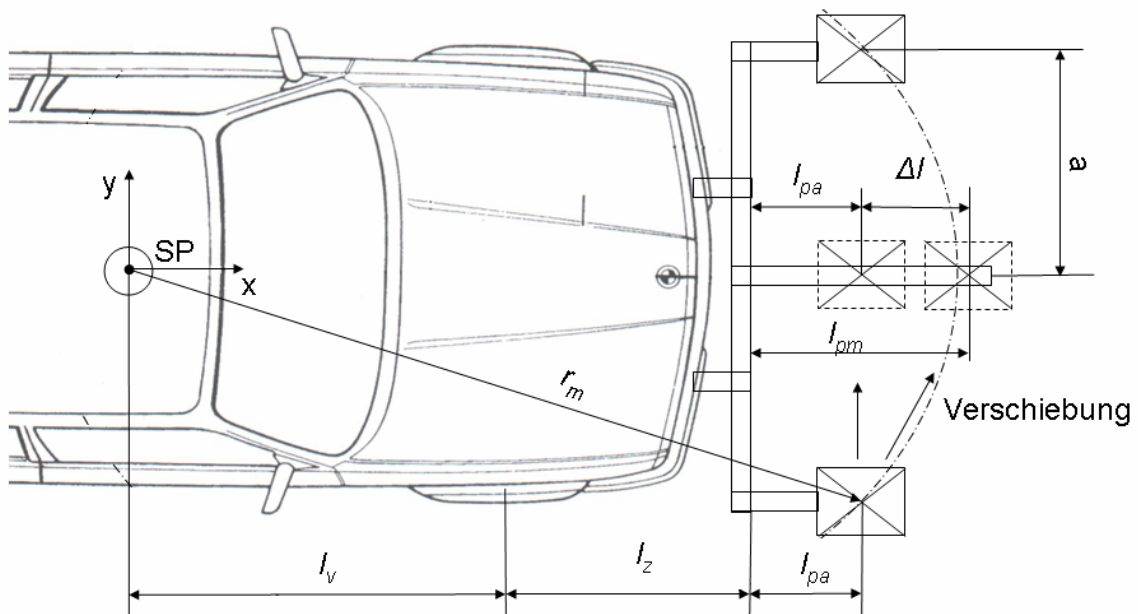


Bild 4-6 Schematische Darstellung der Verschiebung von Einzelmassen in die Mitte des Versuchsfahrzeugs parallel und um den Radius

Die einzelnen Massen können nur durch die rechte oder linke Konsole aufgenommen werden. Um den Einfluss des Trägheitsmomentes bezüglich der Verschiebung darzustellen, muss das vordere Gestell erweitert werden. Die Verschiebung der einzelnen Massen am hinteren Gestell ist nicht möglich, denn das Gestell ist im Bereich der Fahrzeugkarosserie montiert worden ist.

4.3.2 Mögliche Konstruktionsvarianten

Es gibt mehrere Möglichkeiten die einzelnen Massen in der Mitte der Fahrzeugslängsachse aufzunehmen. Wichtig ist die schon vorhandene Lösung aus Kostengründen beizubehalten und das Hilfsgestell an das vordere Gestell zu implementieren.

An das neue Hilfsgestell sind folgende Anforderungen gestellt:

- Einfache Montage und Demontage
- Geringe Anzahl von Bauteilen
- Mehrfachen Einsatz von Bauteilen ermöglichen
- Aufnahme von 6 Einzelmassen a 10 kg insgesamt 60 kg sicherstellen
- Verschiebbar in Richtung der Fahrzeuglängsachse konstruieren.

Variante 1

Bei dieser Variante kann ein Gestell aus Stahlrohr nach DIN 59 410 wie in Bild 4-7 geschweißt und an die Längsträger befestigt werden. Für die Aufnahme der einzelnen Massen wird zusätzlich ein Stahlrohr in der Mitte des Gestells geschweißt und gebohrt, um die Massen in Fahrzeuglängsachse verschieben zu können. Die Abstände der Bohrungen müssen den Verschiebungen entsprechen.

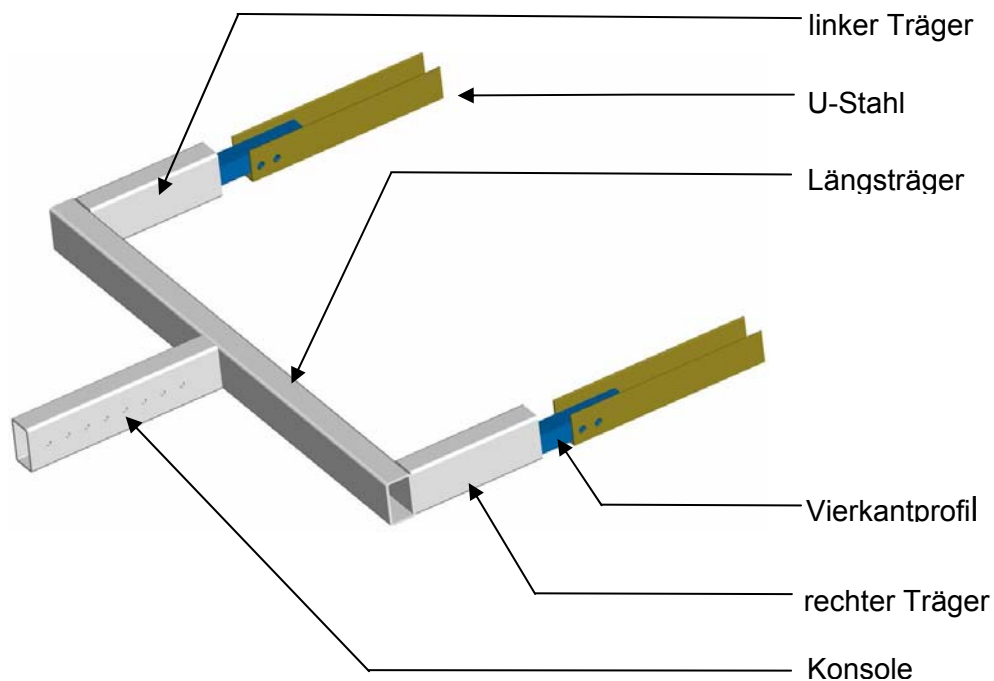


Bild 4-7 Perspektivische Darstellung der Variante 1 mit den Hohlprofil Stahlrohren

Das Hilfsgestell der Variante 1 muss mit Vierkantstahl nach DIN 1014 T1 erweitert werden, um die Aufnahme des Hilfsgestells bereits vorhandenen U-Stahls zu ermöglichen. Für die Anbindung an die vorderen Längsträgern müssen diese seitlich mindestens zweifach mit dem Vierkantstahl gebohrt werden. Der Vierkantstahl kann mit dem Stahlrohr zusammengeschweißt werden. Der Massenhalter wird mit der Konsole zusammengeschraubt. Die Konsole muss mit mehreren Bohrungen mit definierten Abständen versehen werden. Die Bohrungen bieten die Möglichkeit den Massenhalter in Richtung der Fahrzeuglängsachse zu verschieben.

Variante 2

Bei dieser Variante wird der Priorität gesetzt, dass das vorhandene vordere Gestell mit einbezogen wird. Um die Homogenität der vorhandenen Bauteile beizubehalten werden auch Bauteile eingesetzt, die schon einmal verwendet wurden. Der Einsatz aus den gleichen Bauteilen erhöht zudem die Flexibilität der Gesamtkonstruktion.

Die Aufnahme der einzelnen Massen erfolgt über zwei voneinander unabhängigen Konsolen. Das Alu-Profil S-40 [20] wird mit dem Winkelklemmstück an die Querträger des vorderen Gestells verbunden. Der Massenhalter wird mit dem Nutenstein N-M8 und Schrauben M8 x 18 DIN 7984 befestigt. Da der Nutenstein im Schlitz der Alu-Profil S-40 frei verschiebbar ist, sind keine Bohrungen notwendig.

4.3.3 Konstruktive Umsetzung und Festigkeitsberechnung der Konsole und des Hilfgestells

Die Wahl wird wegen des geringeren Aufwands zur Herstellung und der schnellen Montage und Demontage für die Variante 2 getroffen.

Der Radius zum Anbringen der einzelnen Massen kann nicht direkt gemessen werden. Es sind aber geometrische Abstände zum Berechnen des Radius bekannt. Die geometrischen Abstände sind aus dem Bild 4-6 zu entnehmen.

Der Radius r_m ist die Hypotenuse des rechtwinkligen Dreiecks, und kann mit dem Satz von Pythagoras berechnet werden.

$$r_m = \sqrt{a^2 + (l_v + l_z)^2} \quad 4-3$$

Nach Einsetzen und Berechnen der Werte nach Gleichung 4-3 ergibt dies einen Wert für den Radius

$$\underline{r_m = 2350 \text{ mm} .}$$

Der Index m wurde eingeführt um den Radius von dem Kreisradius r für die Kreisfahrt Berechnungen zu unterscheiden. Um die endgültige Länge des Profils zu bestimmen, ist die Differenz Δl zum vorhandenen Profil zu berechnen. Die Länge ergibt

$$\Delta l = r_m - (l_z + l_v)$$

nach Einsetzen der Werte ergibt

$$\underline{\Delta l = 120 \text{ mm} .}$$

Das Profil muss um 120 mm länger sein als das Profil, welches schon für die Aufnahme der einzelnen Massen vorhanden ist. Die Länge des am vorderen Gestell vorhandenen Profils kann unmittelbar gemessen werden und beträgt

$$l_{pa} = 290 \text{ mm} .$$

Die Länge l_{pm} des Profils das in der Mitte des Gestells befestigt wird beträgt:

$$l_{pm} = \Delta l + l_{pa}$$

Nach dem die Länge

$$l_{pm} = 410 \text{ mm}$$

ermittelt wurde, kann die Festigkeitsberechnung durchgeführt werden.

Am Anfang des Abschnitts wurde schon erwähnt, dass jede Konsole eine Masse von 60 kg aufnehmen muss. Dieser Vorgabe ist die für die Berechnung von Biegemoment notwendige Größe F und beträgt

$$\underline{F = 588,6 \text{ N}}$$

nach der Gleichung 4-4

$$F = m \cdot g \quad 4-4$$

Mit der Annahme dass der Querträger von vorderem Gestell starr ist, kann das Biegemoment nach Gleichung xx

$$M_b = F \cdot l \quad 4-5$$

berechnet werden. Wenn die Bauteile auf Biegung beansprucht werden, wie dies hier der Fall ist, treten im Bauteil sowohl Zug- als auch Druckspannungen auf. Die maximale Spannung in der Randzone des Bauteils wird berechnet. Die maximale Spannung in der Randzone darf die zulässige Biegespannung nicht überschreiten. Wenn das Biegemoment M_b bekannt ist kann die Biegespannung mit der Gleichung xx

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \quad 4-6$$

berechnet werden. Das Widerstandsmoment W_b ist nach Angaben vom Hersteller [20] sowie weiteren Kenndaten des Profils in Tabelle 4-1 zusammengestellt. Nach Gleichung 4-6 beträgt die Biegespannung

$$\underline{\sigma_b = 43,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} .}$$

Wechselnde dynamische Belastung wird den Belastungsfall III [10] zugeordnet. Nach Belastungsfall III ist die maßgebende Grenzspannung σ_{lim} der Biegewechsel-
festigkeit σ_{bw} . Für die zulässige Spannung für Bauteile ohne Kerbwirkung kann die Gleichung

$$\sigma_{zul} = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\nu} \quad 4-7$$

herangezogen werden. Die Grenzspannung σ_{lim} ist mit der Streckgrenze R_e gleich groß. Das Material aus dem die Profile sind hat keine ausgeprägte Streckgrenze wie der Stahl. Für die Materialien die keine ausgeprägte Streckgrenze besitzen wird die Dehngrenze bei 0,2 % Dehnung $R_{p0,2}$ für die Berechnung verwendet. Dieser Wert ist in Tabelle 4-1 eingetragen.

Die zulässige Spannung nach dem Belastungsfall III mit einer Sicherheitszahl $\nu=4$ beträgt nach Gleichung 4-7

$$\underline{\underline{\sigma_{zul} = 50 \frac{N}{mm^2}}}$$

Die berechnete Biegespannung $\sigma_b = 43,1 N/mm^2$ bleibt unter diesem Wert. Damit ist die Festigkeit des Bauteils nach Belastungsfall III (wechselnd dynamische Belastung) mit einer 4-fachen Sicherheit gegeben.

Der Querträger vom vorderen Gestell ist jedoch nicht starr und wie das Bild 4-8 zeigt, auf Torsion beansprucht. Um diese Verdrehung des Querträgers zu minimieren wurde ein Hilfsgestell aus Stahl gefertigt. Das Hilfsgestell wird auf die Längsträger des Versuchsfahrzeugs aufgeschraubt. Die detaillierte Zeichnung für das Hilfsgestell wurde mit der Software CATIA V5 als Volumenmodell erstellt und daraus die 2D Zeichnungen erstellt. Sämtliche Zeichnungen zum Hilfsgestell sind am Anhang dieser Diplomarbeit zu finden. Mit der Montage des Hilfsgestells wird die Verdrehung des Querträgers geringer. Um den Übergang auf die mittlere Konsole zu gewährleisten, wurde das Hilfsgestell aus Hohlprofil 40 x 40 zusammengeschweißt.

Das Bild 4-8 zeigt die Konsolen und das Hilfsgestell nach dem Einbau.

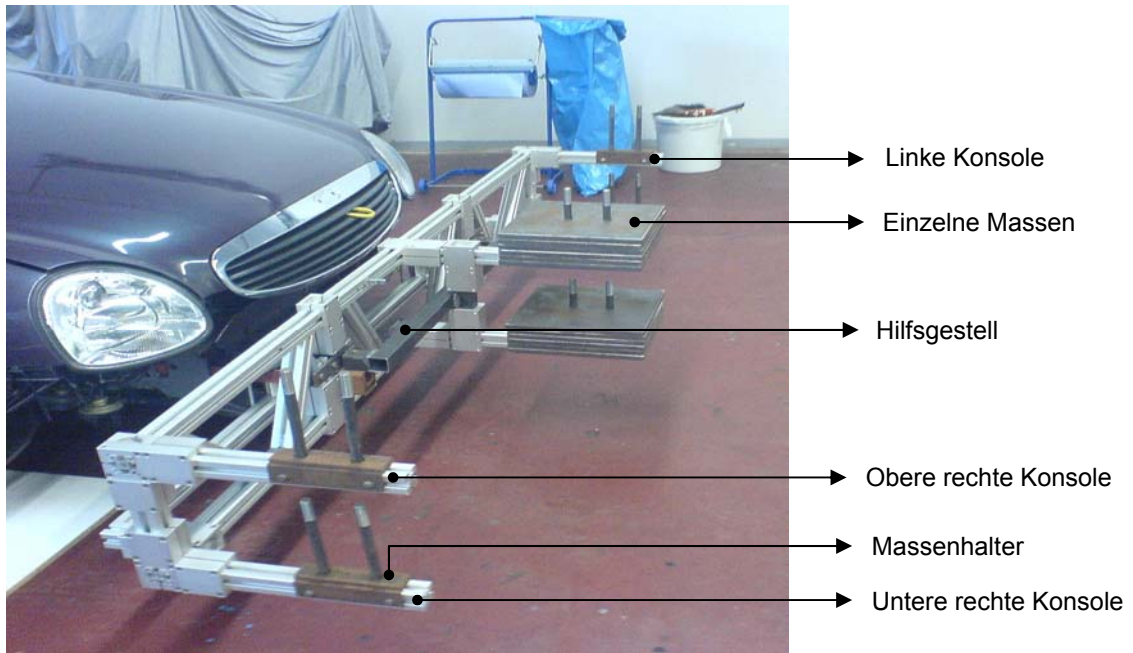


Bild 4-8 Mittig der Fahrzeuglängsachse aufgestapelte einzelnen Massen

Eine Verdrehung des Querträgers ist durch die Montage des Hilfsgestells nicht mehr möglich. Die entstehenden Momente, die eine Verdrehung verursachen, werden weitgehend in die Karosserie eingeleitet.

Die Materialkennwerte von dem Aluminium-Profil sind in der Tabelle 4-1 zusammengetragen.

Tabelle 4-1 Daten von Blocan Profilsystem S-40x40

Beschreibung	Wert	Einheit
Herstellungsart:	warmausgehärtetes Strangpressprofil	
Material:	EN AW 6063 T66	
Materialnummer:	3.3206.72	
Zugfestigkeit:	245	N/mm ²
0,2% - Dehngrenze:	200	N/mm ²
Bruchdehnung A:	8%	
Bruchdehnung A50:	6%	
Elastizitätsmodul:	70000	N/mm ²
Schubmodul:	28000	N/mm
Brinellhärte:	ca. 70	HB
Oberfläche:	Qualität P6 und naturfarben	
Eloxalschicht:	nach DIN 17611	
Eloxalhärte:	250	HV
Fläche	659	[mm ²]
Trägheitsmoment I	11,3	[cm ⁴]
Polares Trägheitsmoment I _t	23,8	[cm ⁴]
Widerstandsmoment Wb	5,6	[cm ³]
Gewicht	1780	[g/m]

Alle Angaben die hier zusammengestellt sind, beziehen sich auf den Hersteller.

5 Vorbereitungen für die Durchführung von Fahrversuchen

In diesem Kapitel werden die Vorbereitungen und die Einstellungen für die Durchführung von Fahrversuchen sowie dem Messaufbau erläutert.

5.1 Beschreibung des Versuchsfahrzeugs

Die geometrischen Daten, welche das Fahrzeug betreffen, wurden direkt an dem Versuchsfahrzeug gemessen. Die Daten über das Fahrzeuggewicht sowie über die Achslasten wurde nach Anfrage beim Kundenzentrum der Fa. Ford AG in Köln erhalten. Diese Angaben sind im Anhang zu finden. Die Fahrzeugdaten sind in der Tabelle 5-1 zusammengestellt.

Tabelle 5-1 Fahrzeugdaten von Ford Scorpio

Beschreibung	Wert
Hersteller	Ford
Typ	Scorpio Limousine
Baujahr	1996
Radstand	$l = 2770$
Reifengröße	205 / 65 R15 94V
Spurweite vorn	$s_v = 1478$
Spurweite hinten	$s_h = 1495$
Achslastverteilung	55,8 / 44,2
Leergewicht	1493 kg
Achslast bei Leergewicht: vorne	832
Achslast bei Leergewicht: hinten	661
Zul. Gesamtgewicht	2125 kg
zul. Achslast vorne:	1050
zul. Achslast hinten:	1150
Lenkübersetzung	15,65 : 1

5.2 Beschreibung der Messgeräte und Messaufbau

Ohne dieser Messtechnik ist nicht möglich, die für die Beurteilung der Fahrzeugcharakter notwendigen Größen zu erfassen.

Das Peiseler Rad für die Geschwindigkeitsaufnahme wird mittig an das hintere Gestell mittels Halteplatte und Zylinderschrauben befestigt. Mit dem iDIS-FMS Messgerät können folgende Messgrößen aufgenommen werden:

- Wank-, Gier-, Nickwinkel
- Wank-, Gier-, Nickgeschwindigkeit
- Längs-, Quer-, Hochbeschleunigung
- Distance

Der Lenkradwinkel wird extern ermittelt und über den Analogeingang in das iDIS-FMS eingespeist. Dadurch ist es möglich die Messdaten von dem Lenkradwinkel als Logdatei mit aufzuzeichnen. Für die Durchführung von Lenkwinkelsprung-Versuchen ist es wichtig, das Lenkrad um den gleichen Winkel innerhalb einer bestimmten Zeit einzuschlagen. Um den Einschlagwinkel bei allen Versuchen annähernd gleich zu halten, wird ein Anschlag an der Tachometerrütze fest, und variabel am Lenkrad montiert. Der Anschlag besteht aus 3 mm dickem Stahlblech und wird bei starkem Lenkradeinschlag verformt sich elastisch. Die elastische Verformung des Anschlagblechs verursacht Schwankungen bis zu 10° bei der Lenkradwinkel Eingabe.

5.2.1 Inertiale Meßsystem iDIS-FMS mit faseroptischen Kreisel

Inertiale Messsysteme ermöglichen das Erfassen von räumlichen Bewegungsvorgängen, z.B. für Fahrdynamikuntersuchungen oder zur Navigation. Je nach Anforderung bestehen inertielle Messsysteme aus bis zu drei Drehratensensoren (Kreisel, Gyroskop) und Beschleunigungsaufnehmern. Um das räumliche Bewegungsverhalten von Objekten in allen 3 Richtungen zu messen, benötigt man ein System mit jeweils 3 rechtwinklig zueinander angeordneten Drehratensensoren und Beschleunigungsaufnehmern. Man unterscheidet zwischen Systemen in Plattformtechnik (sog. kardanisch gelagerte Plattformsysteme) und solchen in Strapdown-Technik. Die Vorteile der in der Strapdown-Technik realisierten Systeme sind die Robustheit und die Wartungsfreundlichkeit, da weder mechanisch empfindliche Rahmenlagerungen noch rotierende Kreiselmassen vorhanden sind [24].

Den optischen Kreiseln liegt der Sagnac-Effekt zugrunde. Dieser kann anhand des Funktionsbildes eines Faserkreisels plausibel gemacht werden: In Bild 5-1 ist schematisch ein faseroptischer Kreisel (FOG) dargestellt.

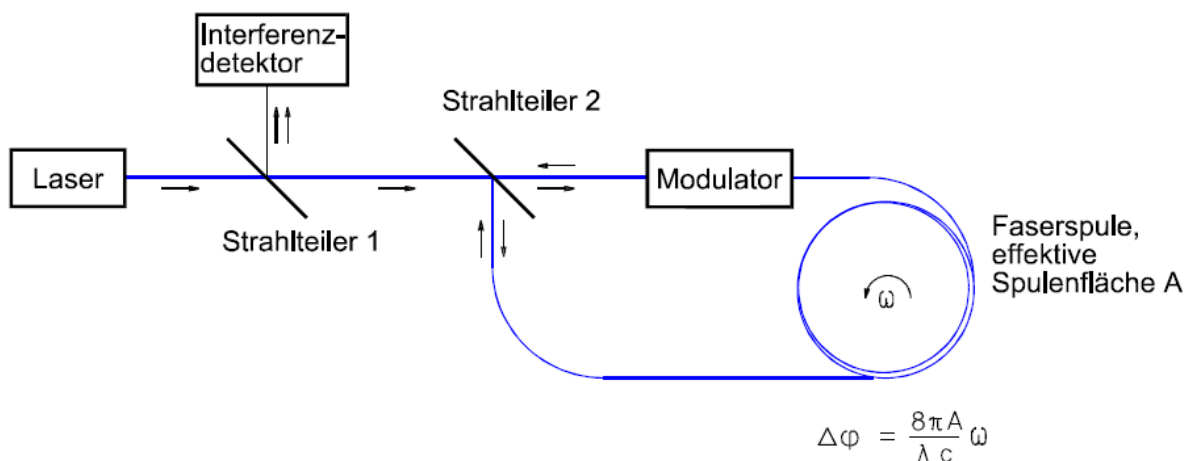


Bild 5-1 Schematischer Aufbau eines Faserkreisels

Er besteht im Prinzip aus einer lichtemittierenden Superluminiszenzdiode (SLD), Strahlteilern, einem Modulator, der Glasfaserspule, die in n Windungen die effektive Fläche A umschließt, und einem Interferenzdetektor. Durch die Anordnung der

Strahlteiler wird erreicht, dass das von der SLD emittierte Licht der Wellenlänge λ in zwei Lichtstrahlen geteilt wird, die beide die Faser durchlaufen, wobei einer im Uhrzeigersinn und der andere entgegen dem Uhrzeigersinn verläuft. Wird nun die gesamte Anordnung um den Normalenvektor der Faserspulenebene mit der Winkelgeschwindigkeit w rotiert, so verkürzt sich der Weg für den einen Lichtstrahl, während er sich für den anderen entsprechend verlängert. Die hieraus aufgrund der unterschiedlichen Laufzeit resultierende Phasenverschiebung zwischen beiden Lichtwellenzügen wird am Interferenzdetektor erkannt und ist ein Maß für die Winkelgeschwindigkeit. Führt man die gemessene Phasenverschiebung darüber hinaus auf ein optisches Phasenschieber-Element zurück, so dass der Sensor intern stets auf konstanter Phase arbeitet, gelangt man zum sog. Closed-loop-Faserkreisel. Die Daten von dem Messgerät sind in Tabelle xx zusammengestellt.

Tabelle 5-2 Daten von IMAR Messgerät

Gerät Inhaber	FHTW Berlin
Typ	iDISFMS
Baujahr	09 / 2003
V	10 – 34 V
Nr	SYS – 151 – 1
kW	35 W

Die Technischen Daten und eine Kurzbeschreibung des Messgerätes sind am Anhang.

5.2.2 Erfassung der Geschwindigkeit

Mit einem Meßrad kann bei Fahrzeugen eine präzise Geschwindigkeitsinformation zur Verfügung gestellt werden. Mit dem Peiseler-Rad, auch fünftes Rad genannt, wird die Geschwindigkeit schlupffrei gemessen. Die Drehbewegung des Rades wird über ein Winkelgetriebe auf einen Impulsgenerator übertragen. Mit der Auswertungseinheit DB-Print wird aus diesen Impulsen die Geschwindigkeit berechnet und über die Anzeige wiedergegeben. Parallel dazu wird der Impuls, der von Impulsgenerator erzeugt wird in iDIS-FMS eingespeist. Wenn die Messung gestartet ist, werden die Geschwindigkeitsdaten in Nav-Command Software gespeichert.

5.2.3 Lenkradwinkelmessung am Versuchsfahrzeug

Für die Messung der Lenkradwinkel wurde am Lenkrad ein Zahnrad montiert. Die Drehbewegung des Lenkrades wird durch die Zahnräder auf die Drehwendel des Potentiometers übertragen. Die Drehbewegung wird mittels des Potentiometers abgegriffen und an das iDIS-FMS Messgerät weitergeleitet. Um den Lenkradwinkel auszurechnen wurde die Gleichung xx hergeleitet.

$$\delta_L = \left[\left(\frac{U_{me\beta}}{U_E} \cdot n_{ges} \cdot 360^\circ \right) - 180 \right] \cdot i \quad 5-1$$

Die Herleitung der Gleichung samt Fehlerabrechnung ist in [13] zu finden. Das Übersetzungsverhältnis kann mit der Gleichung xx

$$i = \frac{z_1}{z_2} \quad 5-2$$

berechnet werden. Bei einer Zähneanzahl von 55 für das Zahnrad z_1 ergibt nach der Gleichung 5-2 einen Verhältnis für die Zahnradpaarung von

$$i = 0,39286.$$

5.3 Bestimmung der Schwerpunktlage am Versuchsfahrzeug

Um verschiedene Fahrzeugvariationen zu realisieren wurden die Gestelle, die am Fahrzeug angebracht worden sind, unterschiedlich beladen. Die Rad- bzw. Achslasten wurden mittels der Radlastwaage der Firma HAENNI ermittelt. Die Bauhöhe der Radlastwaagen beträgt 19 mm. Um die Höhe der nicht gewogenen Räder auszugleichen wurden zwei Unterlagen, die auch 19mm dick sind, unter die nicht gewogenen Räder gestellt. Die Technischen Daten von der Radlastwaage sind in Tabelle 5-3 zusammengefasst.

Tabelle 5-3 Technische Daten Radlastwaage

Hersteller	HAENNI
Typ	Radlastwaage WL 103
Anzeigebereich	0-2 t
Teilung	5 kg
Temperaturbereich	-20 °C bis +60 °C
Gewicht	14 kg
Plattformhöhe	19 mm

In Kapitel 2 wurden die Grundlagen für die Bestimmung der Schwerpunktlage erläutert. An dieser Stelle wird die praktische Umsetzung und die Bestimmung der Schwerpunktlage an dem Versuchsfahrzeug beschrieben.

Nach DIN 70020 beträgt das Gewicht des Fahrzeuginsasses 68 kg [9]. Bei der Wägung des Versuchsfahrzeugs wurde diese Vorgabe bis auf das Gepäck eingehalten. Denn nach DIN 70020 ist für jeden Fahrzeuginsassen ein 7 kg Gepäck zugeordnet.

Bei der Ermittlung der Schwerpunktlage werden der Fahrer und der Beifahrer mitberücksichtigt, denn während der gesamten Fahrversuche werden diese im Fahrzeug sitzen. Der Fahrer fährt das Versuchsfahrzeug und der Beifahrer bedient das Notebook und verwaltet die Daten die über iDIS-FMS aufgenommen wurden. Bei der Schwerpunktlagebestimmung wurden die Sitze von dem Fahrer und Beifahrer mit einer Masse 68 kg belastet. Die Sitze wurden auf die künftige Sitzposition des Fahrers und

Beifahrers gebracht und markiert. Während der gesamten Fahrversuche wurden die Sitze nicht verstellt.

Für die Ermittlung der günstigen Variationen wurde das Versuchsfahrzeug 18-mal unterschiedlich beladen und 7 Variationen wurden davon für die Fahrversuche ausgewählt. Alle Fahrzeugvariationen und die Messwerte sind im Anhang in Tabelle xx zusammengestellt.

Die Schwerpunkthöhe konnte messtechnisch mit den eingebauten Gestellen nicht ermittelt werden, denn das Fahrzeug mit den Gestellen ist zu breit für die Messvorrichtung. Aus diesem Grund wird die Schwerpunkthöhe, die vor dem Einbau der Gestelle durch Messung ermittelt wurden [33], übernommen. Die Tabelle xx gibt die ausgewählten Fahrzeugvariationen wieder. Darin sind auch die Abstände von vorderen und hinteren Achse zum Schwerpunkt berechnet.

Tabelle 5-4 Für die Fahrversuche ausgewählte Fahrzeugvariationen

Fahrzeug	Fahrzeugmasse in kg	Schwerpunktlage l_v/l
Fhzg. 1 (Basisfahrzeug)	1710	0,42
Fhzg. 2 (frontlastig)	1860	0,36
Fhzg. 3 (hecklastig)	1980	0,54
Fhzg. 4 (schweres Fahrzeugvariation)	1885	0,42
Fhzg. 5 (MTM erhöhte Fahrzeugvariation)	2055	0,42
Fhzg. 6 (Massen parallel verschoben)	1860	0,36
Fhzg. 7 (Massen um Radius verschoben)	1860	0,36

Durch die unterschiedliche Beladung kann das Versuchsfahrzeug ziemlich frontlastig variiert werden. Die Grenzen hierfür liegen an der vorderen Achslast. Denn die vom Hersteller angegebenen Achslasten dürfen sowohl hinten als auch vorne nicht überschritten werden. Bei der Variierung des Versuchsfahrzeugs wurde darauf geachtet, vermieden werden konnte dies allerdings nicht bei allen Variationen. So wurde die Achslast vorne um 14 % überschritten. Auf die Räder bezogen beträgt diese 7 %. Bei der Variation der Schwerpunktlage wurde das Versuchsfahrzeugs für die frontlastige Variation mit 30 kg je Konsole und einem Gesamtgewicht von 120 kg beladen. Für die hecklastige Variation wurde das Versuchsfahrzeug vorerst mit 40 kg je Konsole beladen. Damit ist aber ein Verhältnis $l_v/l = 0,5$ möglich. Dieses Verhältnis ist aber eher für mittellastige Fahrzeug und nicht für das hecklastige Fahrzeug relevant. So wurde die Entscheidung getroffen, das hintere Gestell noch mehr zu belasten. An den einzelnen Konsolen wurden dann 50 kg Masse aufgebracht. Damit war ein Verhältnis $l_v/l = 0,55$ gegeben, welches für das hecklastige Fahrzeug spricht. Diese Beladung konnte nur statisch durchgeführt werden. Bei einer dynamischen Belastung des Gestells vor allem bei Fahrversuchen wie Kreisfahrt oder Lenkwinkelsprung könnte das Gestell den Boden berühren.

Die mittlere Konsole für die Aufnahme der einzelnen Massen wurde abnehmbar konzipiert. Mit der Anbringung der mittleren Konsolen in die Mitte des hinteren Gestells kann der Schwerpunkt bei entsprechender Beladung um weitere 110 mm nach hinten verschoben werden. Dieser entspricht ein Verhältnis $l_v/l = 0,54$. Durch die zusätzliche Anbringung der Konsole an das hintere Gestell besteht die Möglichkeit, die Verschiebung der Schwerpunktlage zu erweitern. Die Schwerpunktlage kann somit insgesamt um 500 mm verschoben werden. Wenn der Wert auf den Radstand l des Versuchsfahrzeuges bezogen wird ist es immerhin 18 %.

5.4 Einstellung des virtuellen Messpunktes

Es ist konstruktiv aufwendig das Messgerät in den Schwerpunkt einzubauen. Das Messgerät iDIS-FMS wurde in die Ersatzradmulde im Kofferraum eingebaut. Der Einbau des Messgerätes in die Ersatzradmulde hat den Vorteil der Bedienbarkeit. Sämtliche Ein- und Ausgangsanschlüsse des Messgerätes können bequem erreicht und mit weiteren Messeinrichtungen wie Dasylab erweitert werden. Die Aufnahme der Messdaten müssen sich auf den Schwerpunkt beziehen. Aus diesem Grund ist es notwendig den virtuellen Messpunkt bei verschiedenen Fahrzeugvariationen wie das Bezugsfahrzeug, frontlastiges Fahrzeug und hecklastiges Fahrzeug dementsprechend einzustellen.

Bild 5-2 zeigt den Einbauort des Imar Idis Messgerätes und den Abstand zum Messgerät.

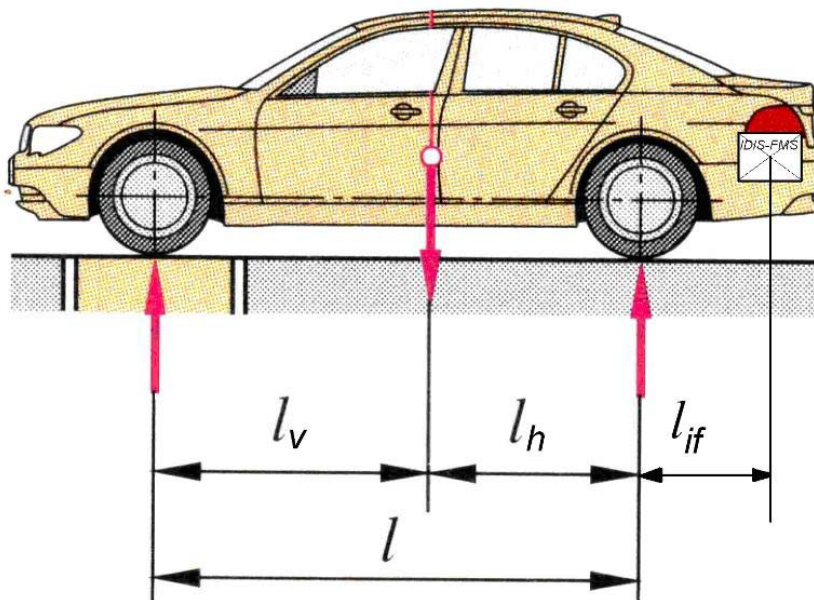


Bild 5-2 Einbauort der Imar-Idis Messgerät und der Abstand zur Hinterachse

Die Einstellungen im Software Nav Command wurden nach der Anleitung der Diplomarbeit [13], die sich mit dem Einbau des Messgerätes befasst hat, durchgeführt. Es wurden drei weitere Fahrzeugvariationen zum Software Nav Command implementiert, die sich in der Schwerpunktlage unterscheiden.

Die Tabelle 4-1 zeigt die Fahrzeuge mit den Namen und virtuellen Schwerpunkten.

Tabelle 5-5 Einstellungsdaten für den virtuellen Messpunkt

Benennung	x-Wert in [m]	y-Wert in [m]	z-Wert in [m]
05bezug_fhzig	x = 2,17	y = - 0,16	z = - 0,072
10hecklastig_fhzig	x = 1,85	y = - 0,16	z = - 0,072
20frontlastig_fhzig	x = 2,35	y = - 0,16	z = - 0,072

Die Nummern wurden vergeben, zum einen damit sich die Software nicht nach Namen sortiert, zum anderen die Möglichkeit besteht, bei Bedarf weitere Fahrzeuge zwischen den bereits vorhandenen Fahrzeugen einzuführen.

Die Einstellungen wurden ausschließlich in der Fahrzeuglängsachse durchgeführt. Das Ermitteln von der Schwerpunkthöhe ist mit den Gestellen trotz der vorhandenen Messeinrichtung nicht möglich, denn das Fahrzeug mit den Gestellen ist breiter als die Messeinrichtung. Die Schwerpunkthöhe wurde bereits [32] experimentell ermittelt, diese Schwerpunkthöhe wird beibehalten.

5.5 Stationäre Kreisfahrt

Die Fahrversuche wurden auf dem Flughafen Finow durchgeführt. Die Gesamtbreite des zur Verfügung gestellten Testgeländes beträgt 65 m. Es wird ein Radius von 30 m gewählt. Dieser ist auch der Mindestradius nach ISO 4138. Für die Markierung der Kreisradius wurde ein Bandmass von 30 m Länge verwendet. In der Mitte des Kreismittelpunktes wurde eine Pinole aufgestellt. Mit dem Bandmass wurde rundum der Pinole ein Kreis mit dem Radius 30 m gezeichnet. Die Linie am Kreisumfang wurden breit genug gezeichnet um von dem Fahrer mühelos erkannt zu werden.

5.6 Lenkwinkelsprung

Wie im Kapitel 3 bereits beschrieben ist das Testverfahren nach DIN ISO 7401 genormt. Darin ist vorgeschrieben, dass der Lenkwinkelsprung mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h durchgeführt werden muss. Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h und eine Querschleunigung von 4 m/s² ist nach der Gleichung xx

$$a = \frac{v^2}{r}$$

5-3

einen Radius von 123,5 m notwendig. Für das Beschleunigen des Versuchsfahrzeugs auf eine Geschwindigkeit von 80 km/h ist eine Strecke von 240 m und 16 Sekunden notwendig. Weiterhin muss eine Strecke für die Justierung der Geschwindigkeit auf 80 km/h gefahren werden. Da das Testgelände eine Breite von 65 m hat, ist eine Durchführung des Lenkwinkelsprungs mit der Geschwindigkeit von 80 km/h nicht möglich. Aus diesem Grund werden die Fahrversuche mit konstantem Lenkradwinkel und drei verschiedene Geschwindigkeiten von 20, 40, 60 km/h durchgeführt.

Auswahl der Lenkradwinkel von ca. 195°:

Mit der Fixierung des Anschlags für das Lenkrad auf den Wert von 195 ist es möglich mit den Geschwindigkeiten von 20 km/h eine Querbeschleunigung 2 m/s^2 und bei 40 km/h eine Querbeschleunigung von 6 m/s^2 zu erzielen. Damit sind zwei Bedingungen nach ISO 7401 erfüllt (Verringerung der Geschwindigkeit in 20 km/h Schritten und Querbeschleunigungen von 2 m/s^2 und 6 m/s^2).

5.6.1 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf das Dämpfungsmaß

Mit zunehmender Geschwindigkeit nimmt das Dämpfungsmaß D_f ab. Die Abnahme des Dämpfungsmaßes ist unter anderem abhängig von der Schwerpunktlage des Fahrzeuges. Je hecklastiger das Fahrzeug, desto langsamer nimmt auch die Dämpfung ab. Den Einfluss der Dämpfung zeigt das Bild 5-3.

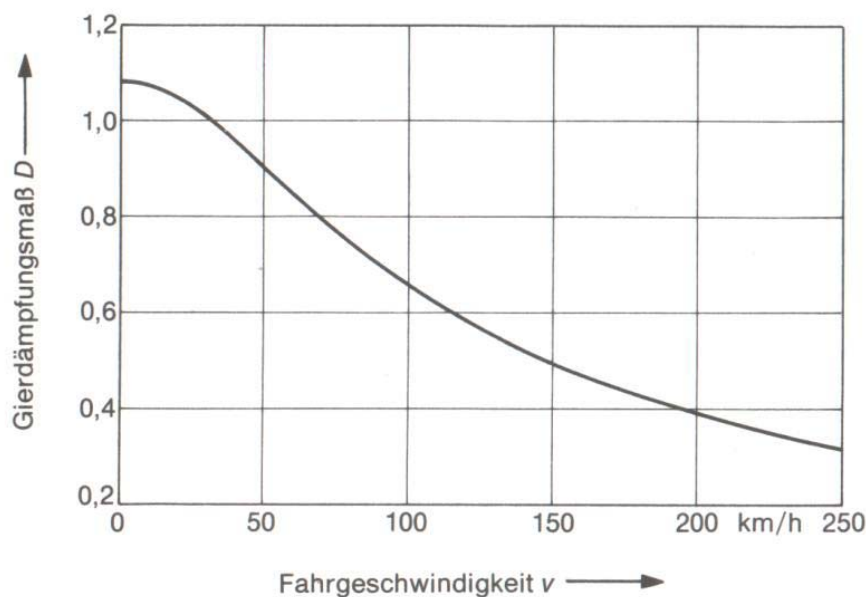


Bild 5-3 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf das Dämpfungsmaß [34]

Die Fahrzeugdaten sind wie folgt

$$m_g = 1550 \text{ kg}$$

$$J_{gz} = 2800 \text{ kgm}^2$$

$$C_v = 75 \text{ kN/rad}$$

$$C_h = 150 \text{ kN/rad}$$

$$l = 2,8 \text{ m}$$

$$l_v/l = 0,48$$

Bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 35 km/h nimmt das Dämpfungsmaß D_f langsam ab. Danach ist die Abnahme des Dämpfungsmaßes D_f größer. Die Abnahmegeschwindigkeit des Gierdämpfungsmaßes ist umso größer, je schneller das Fahrzeug gefahren wird.

5.6.2 Einfluss der Lenkwinkelrampe

Das Bild 5-4 zeigt den Einfluss der Lenkwinkelrampe und der daraus folgende Fahrzeugreaktion. Die Querbeschleunigung beträgt hierbei 4 m/s^2 und der Kreisradius 100 m .

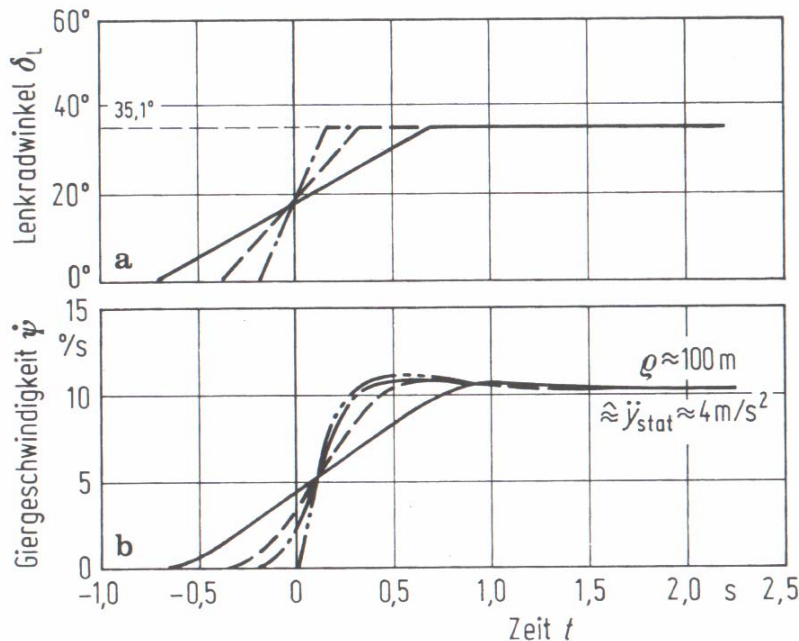


Bild 5-4 Einfluss der Lenkwinkelrampe auf die Fahrzeugreaktion [16]

Je steiler die Lenkwinkelrampe, desto langsamer reagiert das Fahrzeug. Durch den Anstieg der Lenkwinkelrampe wird der Peak-Response-Time $T_{\dot{\psi} \text{ max}}$ sehr stark verändert. Aus diesem Grund ist bei Durchführung von Lenkwinkelsprungversuchen diese Zeit vorgeschrieben und beträgt je nach dem $200^\circ/\text{s}$ oder $500^\circ/\text{s}$.

5.6.3 Einfluss der Beladung auf das Fahrverhalten

Von den für die Kreisfahrt wichtigen Größen ändern sich durch eine veränderliche Beladung drei: die Masse m , die Schwerpunktlage lv/l und die Seitenkraftbeiwerte $c_{\alpha H}$, $c_{\alpha H}$. Bei front- und mittellastigen Pkw, gleich bedeutend mit Motor vorn und Kofferraum hinten, verschiebt sich mit zunehmender Beladung der Schwerpunkt nach hinten. Beim hecklastigen Pkw mit Motor hinten und Kofferraum vorn rückt der Schwerpunkt bei Besetzung der Fondsitze nach hinten und bei Beladung des Kofferraums nach vorn, insgesamt gesehen verändert sich seine Lage relativ wenig.[34]

6 Ergebnisse von den Fahrversuchen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Fahrversuche anlehnend auf die Normen ISO 7401 und ISO 4138 dargestellt, diskutiert und mit den Fachliteraturen [2, 16, 34] verglichen.

6.1 Ergebnisse der stationären Kreisfahrt

Der Lenkwinkel und die Querschleunigung wurden während der Fahrversuche unmittelbar gemessen, so wie auch die ISO Norm vorschreibt.

Das Messen von dem Schwimmwinkel konnte wegen fehlender Messeinrichtung nicht durchgeführt werden. Die Größen wie Giergeschwindigkeit und Wankwinkel wurden ebenso mit dem iDIS-FMS Messgerät gemessen.

Die Durchführung der Kreisfahrt Fahrversuche sind aufwendiger als die Durchführung von Lenkwinkelsprung Fahrversuchen. Die Geschwindigkeit von dem Versuchsfahrzeug muss sukzessive erhöht werden und dabei muss das Lenkrad möglichst konstant gehalten werden. Diese ist eine Herausforderung für einen ungeübten Fahrer. Nach ISO 4138 ist der vorgegebene Kurs mit einem Spielraum von 0,3 m zu jeder Seite einzuhalten. Diese Vorgabe konnte nicht immer eingehalten werden und musste durch Lenkradbewegungen korrigiert werden. Jede Kurskorrektur wird von dem iDIS-FMS Messgerät registriert und bei der Auswertung der Messdaten müssen die Kurskorrekturen berücksichtigt werden. Durch solche Kurskorrekturen ändern sich nicht nur der Lenkwinkel sondern auch die Querschleunigung sowie der Wankwinkel. Gewiss verändern sich weitere Größen mit, aber diese Größen werden nicht im Zusammenhang dieser Diplomarbeit ausgewertet.

6.1.1 Einfluss der Schwerpunktlage

Ausgehend von der Gleichung 6-1

$$\delta = \delta_A + EG \cdot a_y \quad 6-1$$

mit

$$EG = m_g \frac{c_h \cdot l_H - c_v \cdot l_V}{l \cdot c_v \cdot c_h}$$

und

$$\delta_A = \frac{l}{r} \quad 6-2$$

sind 7 Faktoren, die die Gleichung 6-1, und damit auch das Eigenlenkverhalten eines Fahrzeugs beeinflussen. Für ein Fahrzeug ist es schon ein Unterschied ob der Schwerpunkt weiter vorne oder weiter hinten liegt. Denn die Schwerpunktlage des

Fahrzeuges ist ein wichtiger Faktor für das Eigenlenkverhalten. Nachfolgend werden die wichtigen Zusammenhänge nach Auswerten der Messdaten erläutert.

6.1.1.1 Lenkradwinkel bei unterschiedlichen Schwerpunktlagen

Wie auch das Durchführen von Kreisfahrtversuchen, so sind die Auswertung der Messdaten schwierig. Die über die Zeit aufgenommenen Messdaten sind wenig aussagekräftig bezüglich des Eigenlenkverhaltens des Versuchsfahrzeugs. Um eine Aussage über das Eigenlenkverhaltens zu erhalten, muss der Lenkradwinkel über die Querbeschleunigung dargestellt werden. Die Messdaten von Lenkradwinkel und von Querbeschleunigung sind von Rauschen überlagert. Um diese Rauscheffekte zu filtern wurde sorgfältig mit der Software Diadem gearbeitet. Dadurch konnten die Messdaten von den Störgrößen weitgehend gefiltert werden.

In Bild 6-1 sind die Verläufe der Lenkradwinkel über die Querbeschleunigung der verschiedenen Fahrzeugvariationen zu sehen. Dabei sind die **Schwankungen der Messdaten bis zu einer Querbeschleunigung von $0,5 \text{ m/s}^2$ sehr hoch**, so dass keine richtige Aussage getroffen werden kann. Die Verläufe der Kurven fangen deswegen erst bei einer Querbeschleunigung von ca. $0,5 \text{ m/s}^2$ an. Der Ursprung der Kurven sollte nach dem Ackermannkinematik der Gleichung 6-2 und mit einer Lenkübersetzung von $i=15,65$

ca. 85° betragen.

Die Querbeschleunigungsdaten der Abszisse wurden bezogen auf die Erdbeschleunigung dargestellt. D.h. alle Werte wurden durch $9,81 \text{ m/s}^2$ dividiert, dadurch sind auch die Werte dimensionslos.

Einfluss der Schwerpunktlage

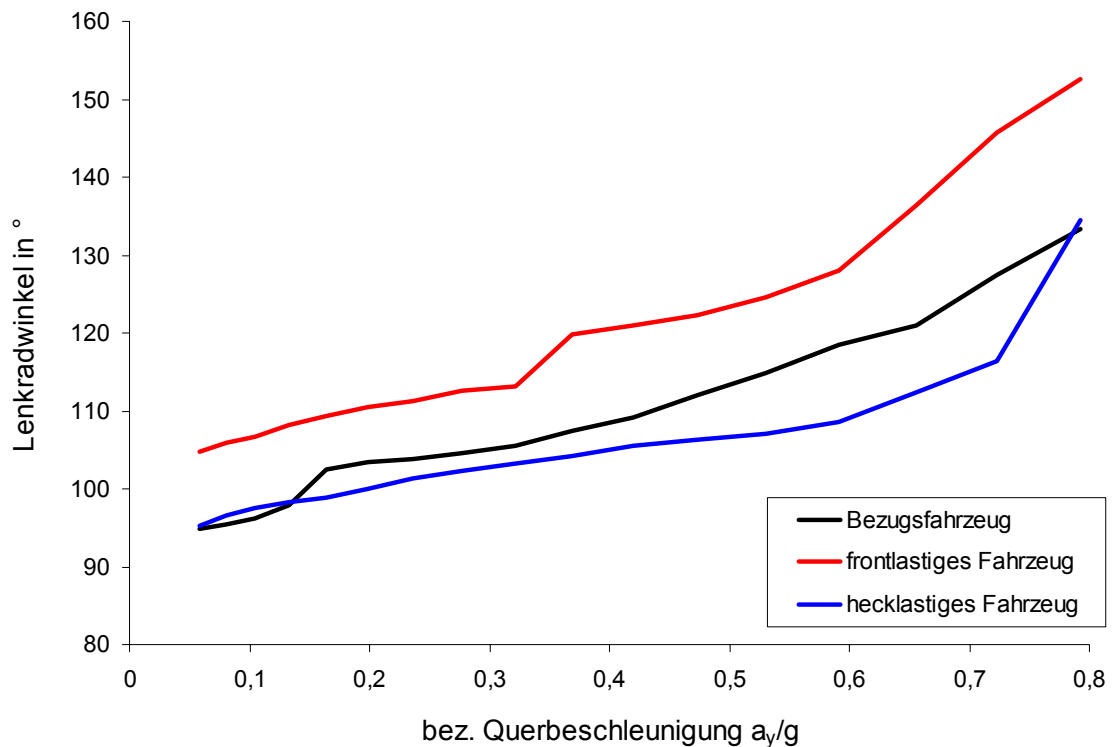


Bild 6-1 Lenkradwinkelverlauf über die Querbeschleunigung bei unterschiedlicher Schwerpunktlage

Die Auswertungen beziehen sich hierbei auf eine Rechtskurve, dabei wird der Lenkradwinkel positiv angezeigt. Für eine Linkskurve ist der Lenkradwinkelverlauf negativ.

Trotz sorgfältiger Auswahl und Analyse der Messdaten sind die Kurvenverläufe nicht frei von Messschwankungen. Die tendenziellen Verläufe der einzelnen Kurven sind jedoch eindeutig voneinander zu trennen.

Deutlich zu erkennen sind die unterschiedlichen Fahrzeugvariationen voneinander. Darin sind die Verläufe der Kurven sehr gut dargestellt worden. Um das hecklastig variierte Fahrzeug mit zunehmender Querbeschleunigung in Kurs zu halten, muss das Lenkrad weniger eingeschlagen werden als die frontlastig variierte und schwere Fahrzeugvariation. Die hecklastige Fahrzeugvariation untersteuert weniger im Vergleich der beiden anderen Fahrzeugvariationen.

Im Grenzbereich werden die Verläufe der Kurven für alle Fahrzeuge steiler. Dieses Phänomen deutet darauf hin, dass der lineare Bereich bereits verlassen worden ist. Bei gleicher Hochkraftzunahme wird der Seitenkraftgewinn aufgrund des degressiven Verlaufs der Schräglaufwinkel α weniger.

Gut zu erkennen ist das Verhalten des hecklastig variierten Fahrzeugs bei Grenzbereich, dort verhält sich das Fahrzeug mehr untersteuernd. Bei frontlastiger Fahrzeugvariation wird das Lenkrad mit zunehmende Querbeschleunigung mehr eingeschlagen, daraus

folgt, dass das frontlastige Fahrzeug mehr untersteuert und das Lenkrad muss immer mehr eingeschlagen werden um den vorgegebenen Kurs einhalten zu können. An dieser Stelle sollte noch hinzugefügt werden, dass das Untersteuern nicht nur durch Schwerpunktverlagerung verursacht wird. Die Fahrzeugvariationen haben unterschiedliche Fahrzeuggewichte. Die Erhöhung des Fahrzeuggewichts, wie im nachfolgenden Abschnitt diskutiert wird, trägt dazu bei, dass das Fahrzeug tendenziell untersteuert.

Die Verläufe der Kurven stimmen mit den [16, 34] diskutierten Varianten überein. Das Bild 6-2 zeigt die Kurvenverläufe der unterschiedlich variierten Scherpunktlage.

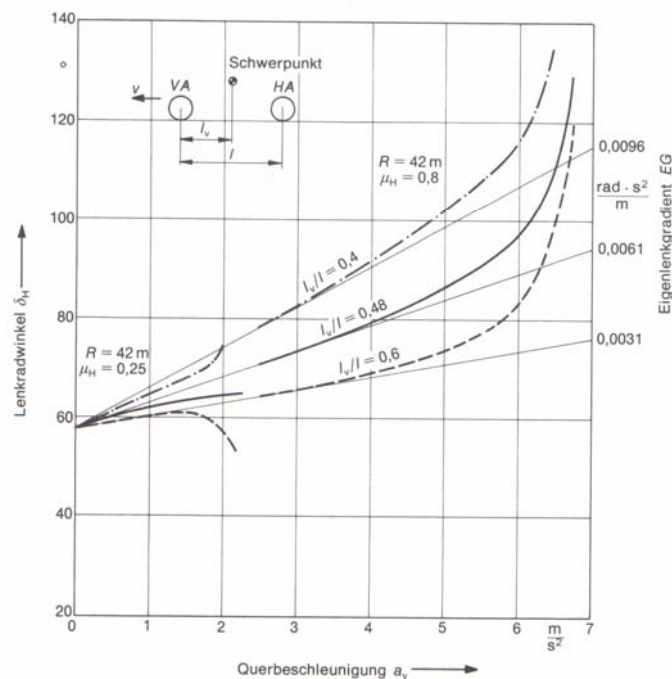


Bild 6-2 Einfluss der Schwerpunktlage I_v/I auf das Eigenlenkverhalten.[34]

Aus dem Bild 6-2 ist zu erkennen, je frontlastiger das Fahrzeug ausgelegt ist, desto mehr untersteuert das Fahrzeug. Darin sind zwei unterschiedliche Versuchskonstellationen zu erkennen. Bei einer beträgt der Oberflächenreibwert $\mu_H = 0,25$, bei der anderen beträgt der Oberflächenreibwert $\mu_H = 0,8$. Auf einer glatten Fahrbahn übersteuert das hecklastige Fahrzeug wobei die anderen beiden Variationen weiterhin untersteuern.

Die Untersuchungen beziehen sich auf einen Kreisradius von 42 m und wurden mit einem Fahrzeug durchgeführt, deren Fahrzeugmasse 1860 kg und der Radstand 2,8 m betrug.

Durch die Fachliteraturen wird bestätigt, dass die Fahrversuche richtig ausgeführt und auch ausgewertet worden sind. Die Verläufe der Kurven[16, 34] stimmen mit den Fahrversuchen überein.

6.1.1.2 Wankwinkel bei unterschiedlichen Schwerpunktlagen

In

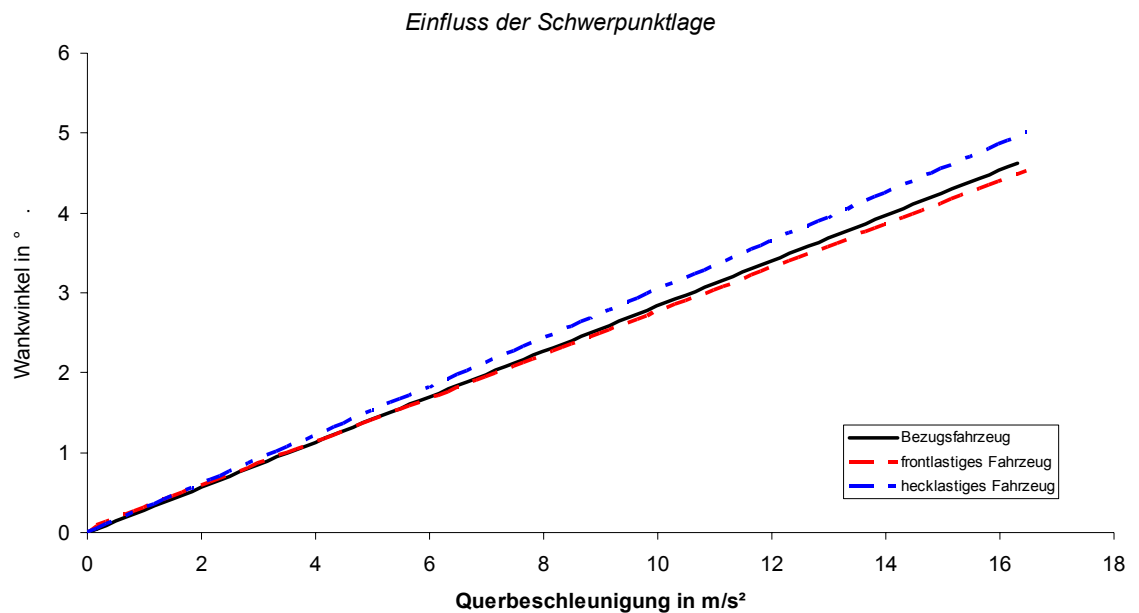


Bild 6-3 sind Verläufe der Wankwinkel über die Querbeschleunigung dargestellt. Mit zunehmender Geschwindigkeit nimmt auch die Querbeschleunigung, so auch der Wankwinkel aufgrund der Zentrifugalkraft zu. Die Messdaten waren wie so oft der Fall ist, auch hier mit Schwankungen überlagert. Die Schwankungen wurden mit einer Regressionsgeraden geglättet. Um die Kurvenverläufe im 1. Quadrant darzustellen wurden die Messdaten mit -1 multipliziert.

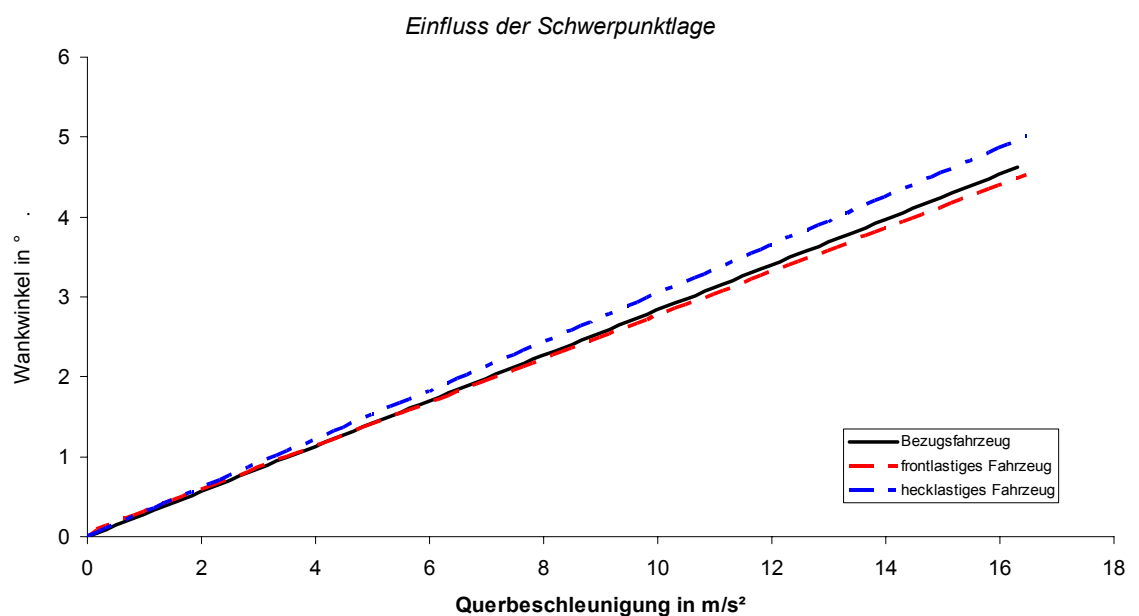


Bild 6-3 Wankwinkelverlauf über die Querbeschleunigung bei unterschiedlichen Fahrzeugmassen

Die Ursprünge der Geraden lagen nicht bei Null. Um die verschiedenen Wankwinkel untereinander vergleichen zu können wurden die Werte auf den Ursprung verschoben.

Dass diese Werte nicht im Ursprung liegen, ist einmal auf die ungleiche Massenverteilung um die X-Achse und einmal auf den Regressionsvorgang zurückzuführen. Um bei den Wägungen um den Schwerpunkt zu verlagern wurde immer wieder festgestellt, dass eine Radlast sich von den anderen unterschieden hat. Dies führt dazu, dass die Z-Achse des Versuchsfahrzeugs zu der Z-Achse des ortsfesten Koordinatensystem nicht parallel steht. Dieses Verhalten wurde auch nach Auswerten der Fahrversuche Lenkwinkelsprung festgestellt.

Das hecklastige Fahrzeug erreicht größere Wankwinkel als die beiden anderen Fahrzeugvariationen. Frontlastiges Fahrzeug wankt zum Vergleich mit dem Bezugsfahrzeug mehr. Das Bezugsfahrzeug wankt am wenigsten. Das unterschiedliche Wankverhalten ist weitgehend auf das Fahrzeuggewicht und auf die Federsteifigkeit der Achsen zurückzuführen, denn alle Fahrzeugvariationen haben unterschiedliche Massen. Alle Verläufe der Kurven sind annähernd linear.

6.1.2 Einfluss der Fahrzeugmasse

Wie in der Gleichung 6-1 zu betrachten, ist eine der Faktoren, die den Eigenlenk-Gradienten beeinflusst, die Fahrzeugmasse. Die Fahrzeugmasse steht im Zähler der Gleichung. Mit größer werdendem Eigenlenk-Gradient untersteuert das Fahrzeug.

6.1.2.1 Lenkradwinkelverlauf bei unterschiedlichen Fahrzeugmassen

Der Vergleich der beiden Fahrzeugvariationen ist in

Einfluss der Fahrzeugmasse

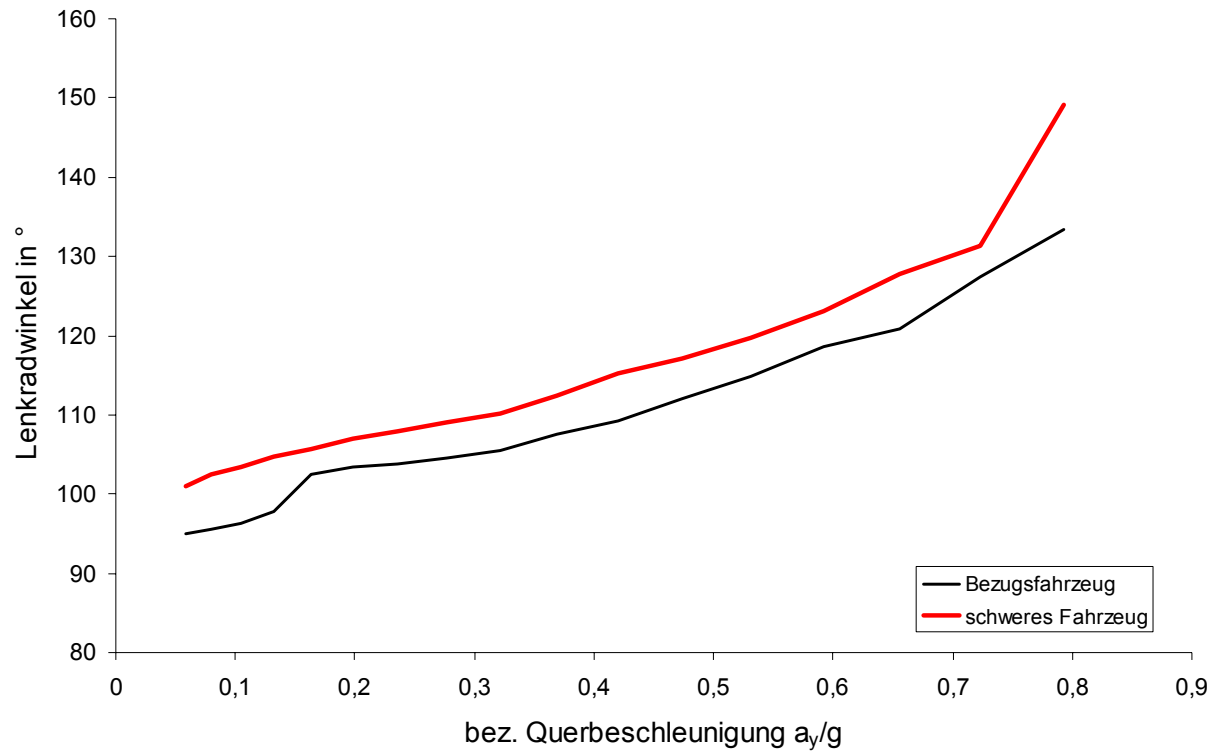


Bild 6-4 dargestellt.

Einfluss der Fahrzeugmasse

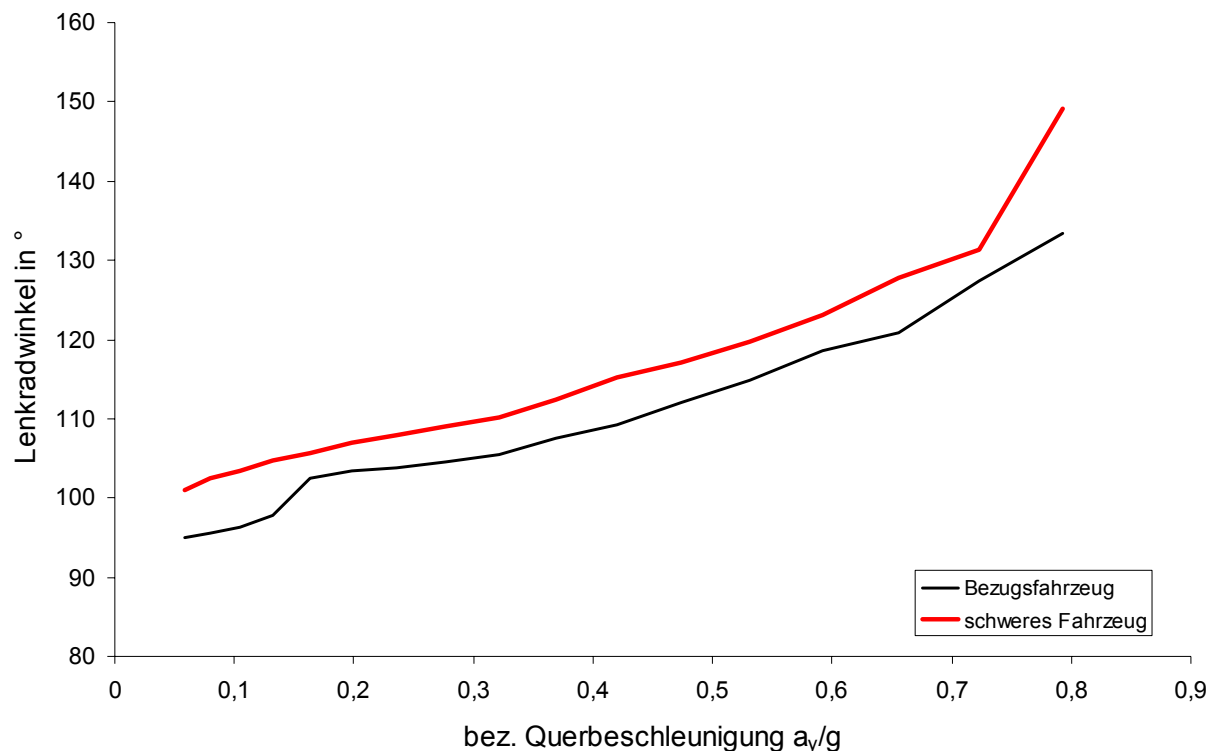


Bild 6-4 Lenkradwinkel von Bezug- und schwerer Fahrzeugvariation

Das Fahrzeug mit der erhöhten Masse untersteuert im Vergleich zu dem Bezugsfahrzeug.

Die Kurven fangen hier wie auch bei dem Vergleich des Schwerpunktlages erst bei einer Querbeschleunigung $0,5 \text{ m/s}^2$ an. Die Messdaten bis zur eine Querbeschleunigung schwanken sehr, aus diesem Grund werden diese weggelassen.

Der Eigenlenkgradient ist wichtig für die Bestimmung der kritischen Geschwindigkeit v_{krit} und der charakteristischen Geschwindigkeit v_{ch} . Da alle heutigen Fahrzeuge untersteuernd ausgelegt sind, haben diese keine kritische Geschwindigkeit [34]. Die kritische Geschwindigkeit hat ausschließlich eine theoretische Bedeutung. Die charakteristische Geschwindigkeit hat dagegen eine praktische Bedeutung. Bei v_{ch} hat das geradeaus fahrende Fahrzeug die maximale Lenkempfindlichkeit. Heutige Fahrzeuge werden so ausgelegt, dass ihre charakteristische Geschwindigkeit im Bereich 65 km/h bis 100 km/h liegt.

Die charakteristische Geschwindigkeit kann mit der Gleichung 6-2 ermittelt werden.

$$v_{ch} = \sqrt{\frac{l}{EG}}$$

6-3

Es besteht jedoch die Möglichkeit die charakteristische Geschwindigkeit graphisch zu ermitteln. Die charakteristische Geschwindigkeit wird bei doppeltem Ackermanwinkel

erreicht. Nach Bestimmung der Ackermannwinkel wird in das Diagramm eine Gerade eingezeichnet, deren Anstieg mit dem Verlauf der Lenkradkurve übereinstimmt. Die Gerade schneidet den doppelten Ackermannwinkel nach einer bestimmten Querschleunigung. Nach Umrechnung der Querschleunigung auf die Geschwindigkeit, kann die charakteristische Geschwindigkeit berechnet werden. Diese beträgt für das Bezugsfahrzeug 85,2 km/h und für die schwere Fahrzeugvariation aufgrund des steileren Eigenlenkgradientens 75,6 km/h. Diese Werte wurden graphisch ermittelt.

In [34] wurden die Fahrzeuge bezüglich der Fahrzeugmasse variiert. Dabei wurde dem Fahrzeug drei unterschiedliche Fahrzeugmassen zugeordnet. Mit zunehmender Masse untersteuert das Fahrzeug.

Die Ergebnisse aus den Fahrversuchen stimmen mit den Ergebnisse [34] überein. Die Kernaussage „mit steigender Fahrzeugmasse untersteuert das Fahrzeug stärker“ [34] stimmt mit den durchgeführten Fahrversuchen überein.

6.1.2.2 Wankwinkelverlauf bei unterschiedlichen Fahrzeugmassen

Die Ergebnisse des Wankwinkelverlaufes von unterschiedlichen Fahrzeugmassen ist in

Einfluss der Fahrzeugmasse

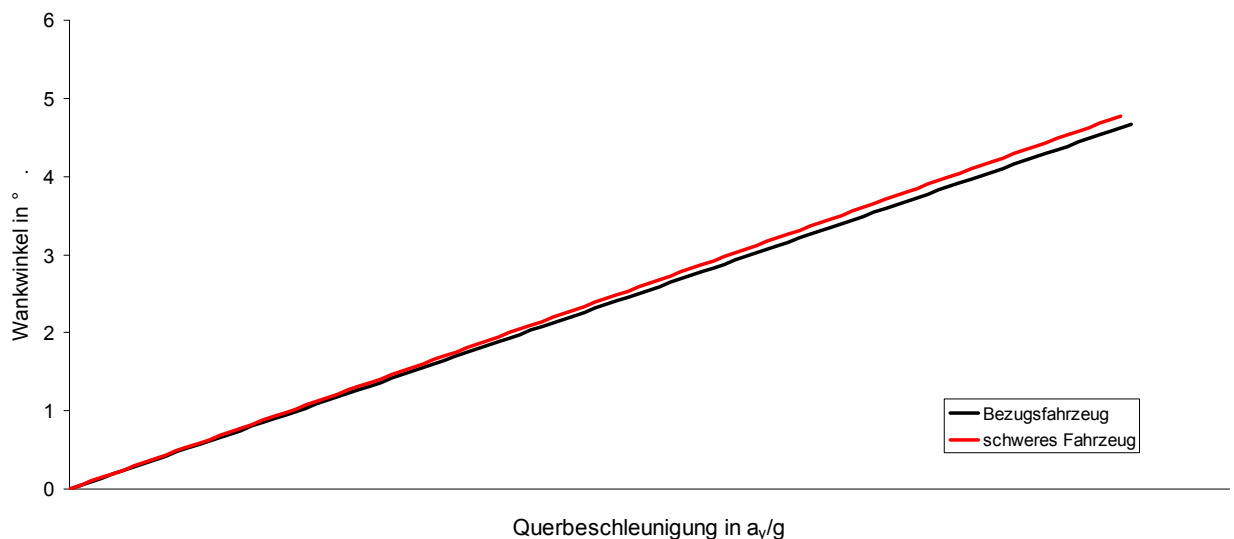


Bild 6-5 dargestellt.

Einfluss der Fahrzeugmasse

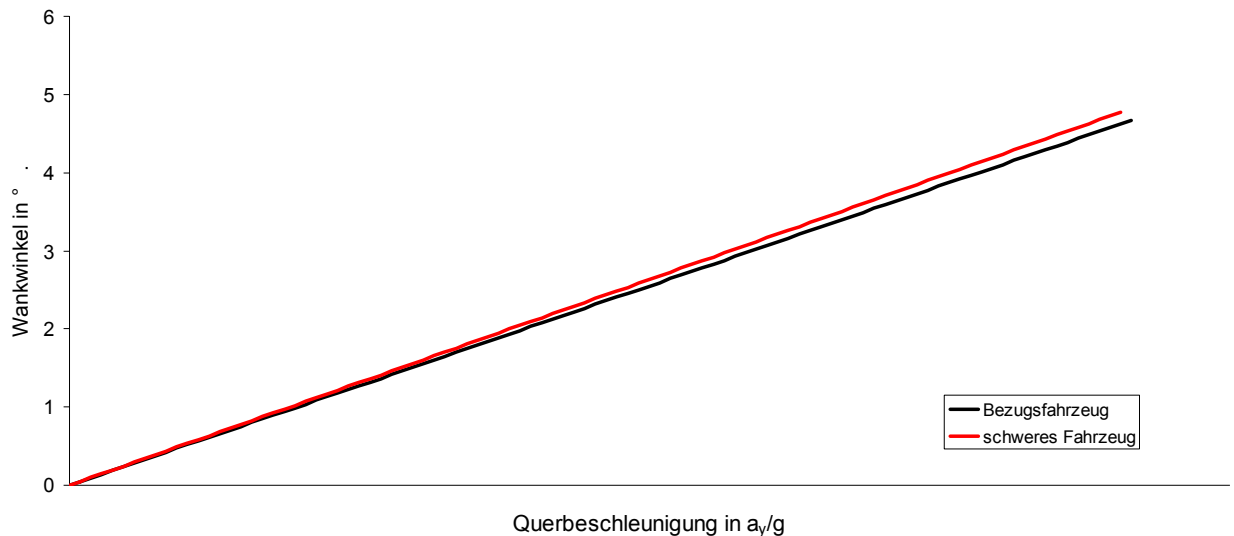


Bild 6-5 Wankwinkelverlauf von Bezug- und schwerer Fahrzeugvariation

Wie auch bei dem vorangegangenen Abschnitt nimmt der Wankwinkel mit zunehmender Masse zu. Die Fahrzeugvariation mit erhöhter Masse erreicht größere Wankwinkel als das Bezugsfahrzeug.

6.2 Ergebnisse der Fahrversuche von Lenkwinkelsprung

Um die Ergebnisse untereinander vergleichen zu können wurden die Messdaten gelegentlich auf die stationären Werte normiert. Zusätzlich wurden einige der Messdaten mit dem Faktor 5 geglättet (gefiltert). Faktor 5 bietet sich an, denn dadurch gehen weniger Informationen verloren und die Charaktere der Kurvenverläufe können gut wiedergegeben werden. Eine Filterung der Daten mit einem größeren Faktor beeinflusst die Messdaten signifikant und es gehen weit mehr Informationen verloren die Ansprechzeit, Peak-Response-Time und Überschwingweite definieren. Die wichtigen Zeiten und die Steigungen der Kurvenverläufe werden dadurch stark verzerrt dargestellt. Aus dem Kurvenverlauf werden allesamt wichtige Zeiten ermittelt die eine Aussage über das Fahrverhalten des Fahrzeugs trifft.

6.2.1 Ergebnisse der unterschiedlichen Fahrzeuggeschwindigkeiten

Das Versuchsfahrzeug wurde mit den Geschwindigkeiten 20, 40 und 60 km/h gefahren. Mit schnellerer Fahrt wird das Überschwingen stärker und demzufolge die Amplitude der Nachschwinger größer. Die Messdaten in diesem Abschnitt wurden absichtlich nicht normiert wie bei dem nachfolgenden Abschnitte, um die unterschiedlichen stationären Werte aufzuzeigen.

6.2.1.1 Verlauf der Lenkwinkelrampe bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

In Bild 6-6 ist der Verlauf der Lenkwinkelrampe dargestellt. Es geht aus dem Bild 6-6 hervor, dass die Lenkwinkelrampen annähernd die gleiche Steigung haben. Die kleineren Abweichungen von den Lenkwinkelrampen sind mit diesem Versuchsaufbau nicht zu vermeiden, denn der Lenkinput wird von dem Fahrer eingeleitet. Nach Einsicht der Tabelle 6-1 wird eindeutig, dass diese Zeiten sich im zehntel Sekunden Bereich befinden und für den ungeübten Fahrer bedingt eingehalten werden können. Dank des eingebauten Anschlags sind die Lenkradeinschläge annähernd gleich. Die kleineren Abweichungen sind auf die Federung der Lenkradanschlag zurückzuführen die im Abschnitt 5-2 erläutert wurden.

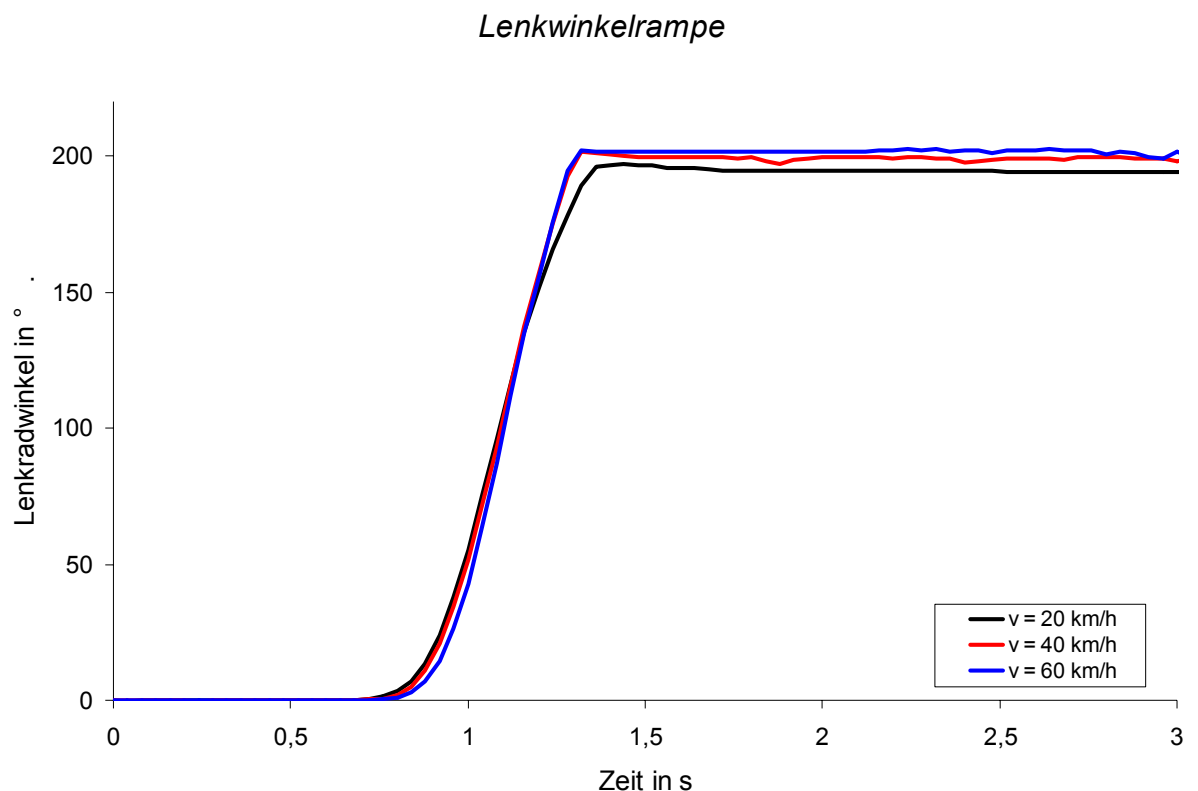


Bild 6-6 Lenkwinkelrampe des Versuchsfahrzeugs mit den Geschwindigkeiten 20, 40 und 60km/h

Die in der Tabelle 6-1 zusammengefassten Zeiten wurden mittels der Software Diadem [19] ermittelt. Mit der Software Diadem besteht die Möglichkeit die Messdaten umfangreich zu analysieren. Die Messdaten können graphisch dargestellt und die Kurvenverläufe mit den unterschiedlichen Tools bearbeitet und analysiert werden.

Tabelle 6-1 Wichtige Zeitgrößen aus der Lenkwinkelrampe

	Fahrgeschwindigkeit 20 km/h	Fahrgeschwindigkeit 40 km/h	Fahrgeschwindigkeit 60 km/h
δ_H	0,67	0,61	0,57
50 % * δ_H	0,38	0,36	0,29

Die Tabelle 6-1 verdeutlicht, dass die Zeiten für die Lenkwinkelrampe nicht sehr viel voneinander abweichen.

6.2.1.2 Gierwinkelgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

In der Fachliteratur werden die Begriffe Gierwinkelgeschwindigkeit [16] und Giergeschwindigkeit [34] für die gleiche Größe verwendet.

Die Fahrgeschwindigkeit hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gierwinkelgeschwindigkeit. Die Anstiege der Lenkwinkelrampe sind für jede Geschwindigkeit, wie das Bild 6-6 zeigt, annähernd gleich.

Gierwinkelgeschwindigkeitsverlauf

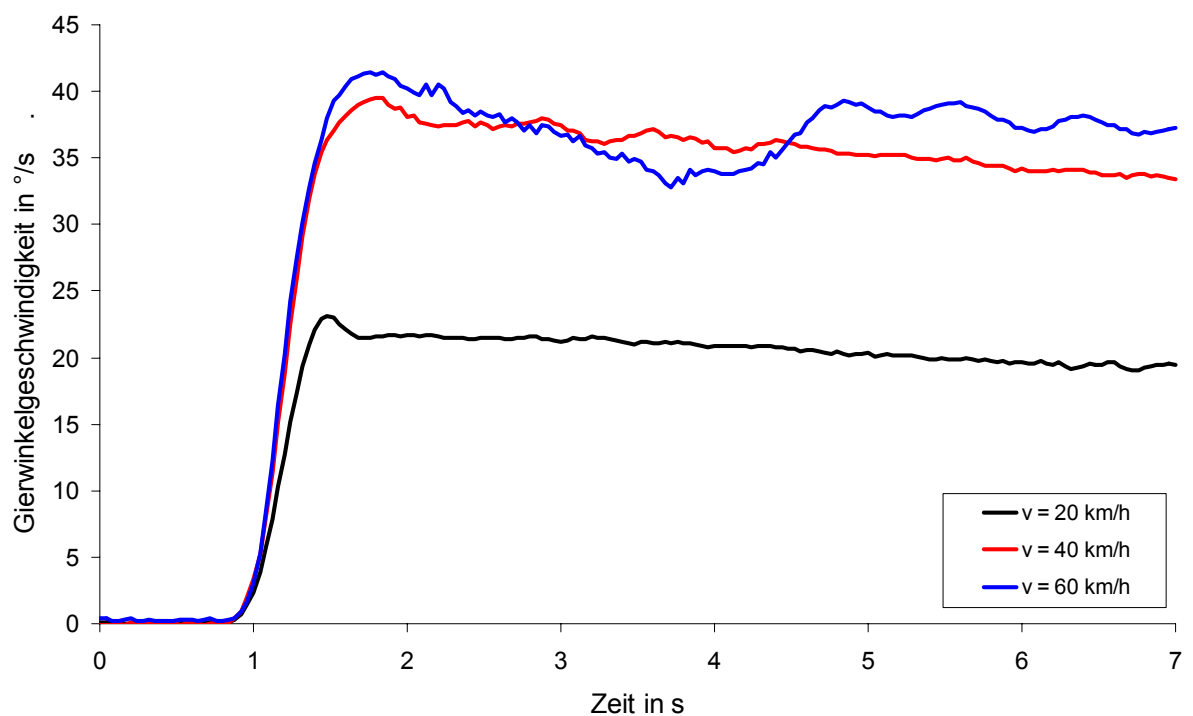


Bild 6-7 Einfluss von Fahrgeschwindigkeit auf Gierwinkelgeschwindigkeit - Zeitverlauf bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten

Drei Merkmale fallen in Bild 6-7 sofort auf:

- Alle drei Kurven haben unterschiedliche Stationärwerte
- Je schneller das Fahrzeug fährt umso größer werden die Überschwingweiten
- Das Ansprechverhalten des Fahrzeug wird mit zunehmende Geschwindigkeit schneller

Die unterschiedlichen Stationärwerte bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten sind erklärbar mit der Gleichung 2-17 aus Kapitel 2, denn die gefahrene Geschwindigkeit ist proportional zur Gierwinkelgeschwindigkeit. Dass das Überspringen größer wird, ist die Folge des Dämpfungsmaßes. Wenn das Fahrzeug schneller gefahren wird, nimmt das Dämpfungsmaß ab, Bild 5-3.

Weiterhin fällt in Bild 6-7 auf, dass die Gierwinkelgeschwindigkeit bei 60 km/h nach Erreichen der Peak-Response-Time stark abnimmt. Bei dieser Geschwindigkeit und der starken Kursänderung können die hinteren Räder nach Gleichung 6-4

$$F_{QH} = F_G \cdot \frac{a_y}{g} \cdot \frac{l_v}{l} \quad 6-4$$

die Querkraft von 10157 N nicht kompensieren. Die Räder verlieren die Haftung und gleiten in Richtung der Zentrifugalkraft. Durch dieses Gleiten werden die Räder stark abgebremst und verlieren massiv an Geschwindigkeit.

Die Ergebnisse aus den Fahrversuchen stimmen mit den Aussagen der Fachliteratur überein. Die Ergebnisse [16] sind im Bild 6-8 dargestellt.

Allerdings sind die Versuchsbedingungen, die in der Fachliteratur durchgeführt wurden anders. Das Fahrzeug [16] wurde mit den Geschwindigkeiten von 10, 22,2 und 40 m/s gefahren. Dabei wurde das Lenkrad immer mit einer Winkel von 35,1° eingeschlagen,

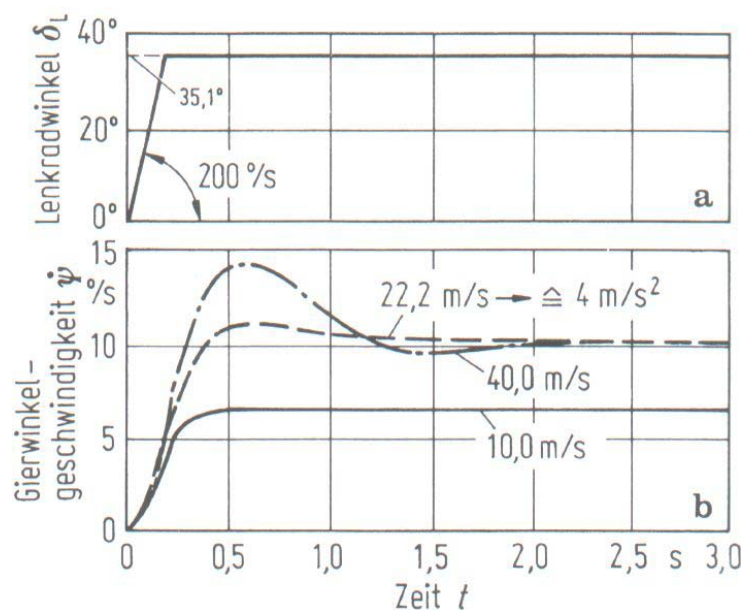


Bild 6-8 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf das Übertragungsverhalten

Der Anstieg der Lenkradwinkelrampe entspricht nach ISO 7401 200°/s. Durch solche Fahrversuche können die Kurvenverläufe und die Merkmale des Übergangsverhaltens genau dargestellt werden.

Die Geschwindigkeitssprünge 10, 22,2 und 40 m/s sind ausreichend groß gewählt worden. Bei einer Geschwindigkeit von 40 m/s nimmt das Dämpfungsmaß D_f bei einem mittellastigem Fahrzeug um ca. 40% ab. Durch die Abnahme der Dämpfungsmaß D_f

werden die Überschwinger größer und das Fahrzeug erreicht den stationären Wert erst nach mehreren Schwingen.

Warum die Fahrversuche nicht mit entsprechenden Geschwindigkeiten wie bei [16] gefahren sind, wurde im Kapitel 5 ausführlich beschrieben. An dieser Stelle wäre zu empfehlen solche Versuche annähernd bei gleichen Geschwindigkeiten [16] zu fahren. Durch Fahrversuche die durchgeführt worden sind, konnte z.B. das typische Herankriechen an die Asymptote (stationären Wert) nicht aufgezeigt werden, denn das Lenkrad musste wegen des nicht ausreichend breiten Testgeländes bei kleineren Geschwindigkeiten mehr eingeschlagen werden.

6.2.1.3 Verlauf der Querbeschleunigung bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Aufgrund der Oberflächenbeschaffenheit des Testgeländes sind die Messdaten nicht frei von Rauschen. Bei einer Fahrt auf schlechten Wegen kommt es bis zu $1,0 \text{ m/s}^2$ Abweichung [6]. Um diese Rauscheffekte zu unterdrücken wurden die aufgenommenen Querbeschleunigungsdaten gefiltert. Die Messdaten wurden mit dem Faktor 5 gefiltert. Dieser bietet sich an, denn damit werden die ursprünglichen Verläufe sehr gut wiedergegeben.

Das Bild 6-9 zeigt den Einfluss der Geschwindigkeit auf die Querbeschleunigung. Die Querbeschleunigung ist proportional zu der gefahrenen Geschwindigkeit nach der Gleichung xx. So werden mit zunehmender Geschwindigkeit größere Querbeschleunigungen erreicht. Das starke Überschwinger bei höheren Geschwindigkeiten entsteht durch die Abnahme des Dämpfungsmaßes D_f .

Einfluss der Geschwindigkeit

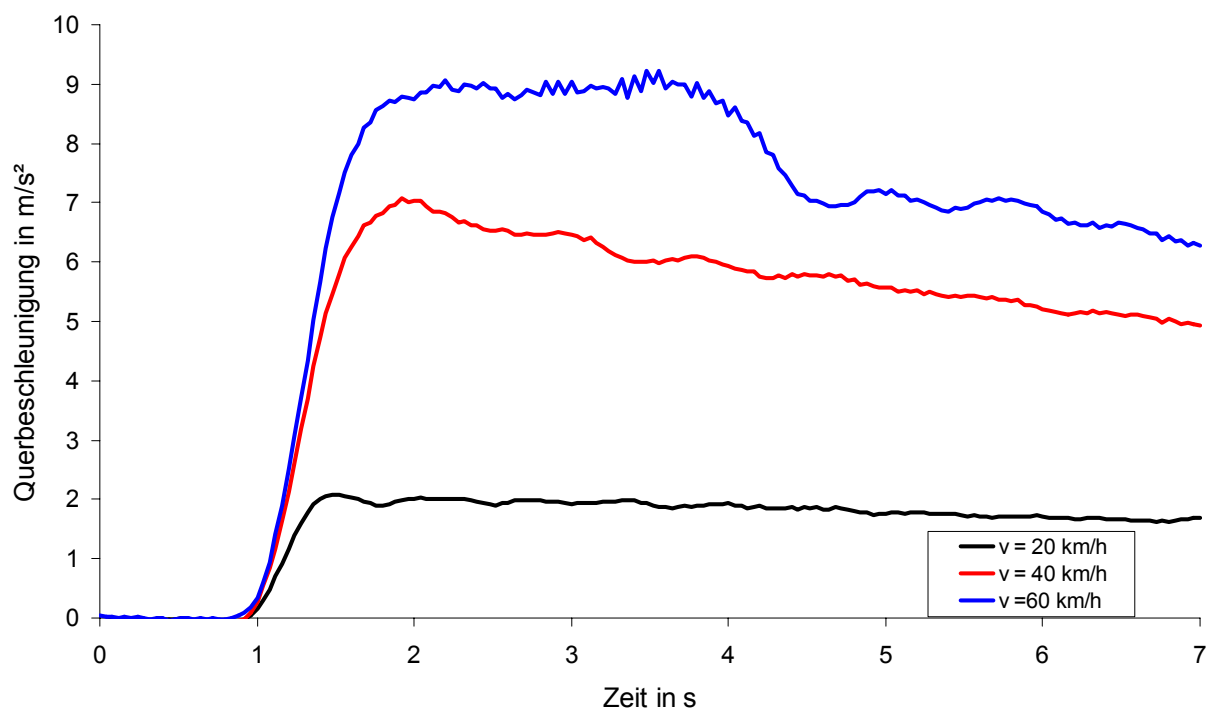


Bild 6-9 Darstellung der gefilterten Querbeschleunigungsdaten über die Zeit bei unterschiedlichen Fahrzeuggeschwindigkeiten

Die Anstiege der Querbeschleunigung sind bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten unterschiedlich. Je langsamer das Fahrzeug fährt desto träger reagiert das Fahrzeug auf den Lenkradeinschlag. Der Einbruch der Geschwindigkeit bei 60 km/h ist hier genauso zu erkennen wie beim Gierwinkelgeschwindigkeitsverlauf.

6.2.1.4 Verlauf der Wankwinkel bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Für die Darstellung der Wankwinkel mussten die Messdaten zunächst auf den Ursprung verschoben werden, denn das Versuchsfahrzeug hatte schon einen geringen positiven Wankwinkel bei der Geradeausfahrt. Diese Messdaten wurden durch Subtraktion auf den Ursprung gebracht. Die Ergebnisse sind auf dem Bild 6-10 zu sehen.

Einfluss der Geschwindigkeit

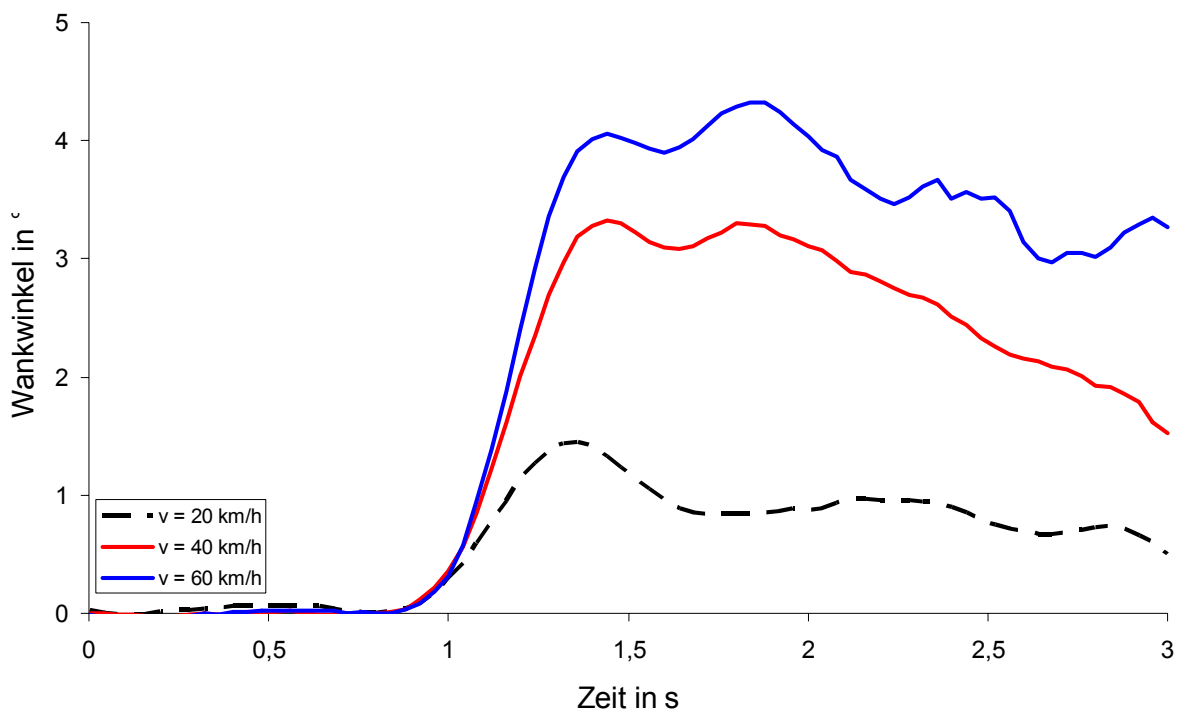


Bild 6-10 Darstellung der Wankwinkel bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten

Auffallend sind zunächst die verschieden großen Wankwinkel. Nach der Gleichung 6-5

$$F_z = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

6-5

wird die Zentrifugalkraft mit zunehmender Geschwindigkeit größer. Diese Kraft verursacht nach der Gleichung 6-6

$$M = F \cdot l$$

6-6

einen Drehmoment. Der Abstand vom Fahrzeugschwerpunkt zur Wankachse sowie die Fahrzeugmasse sind konstant. Da aber der Geschwindigkeit sich ändert, ändert sich auch die Zentrifugalkraft. Die Änderung der Zentrifugalkraft verändert auch den Drehmoment nach der Gleichung 6-3. Ein größeres Drehmoment verursacht einen größeren Wankwinkel. Um den Wankwinkel klein zu halten werden oft Stabilisatoren eingebaut.

6.2.2 Ergebnisse der unterschiedlichen Schwerpunktverlagerung

Bei den Versuchen wurde das Versuchsfahrzeug unterschiedlich beladen. Alle wichtigen Parameter, die für das Durchführen von Fahrversuchen wichtig sind, wurde in der Tabelle xx zusammengefasst.

6.2.2.1 Lenkradwinkel bei unterschiedlicher Schwerpunktlage

Der Einfluss von der Lenkradwinkelrampe wurde im Abschnitt 5.6.2 mit dem Bild 5-4 aufgezeigt und erläutert.

Bei dem Vergleich von unterschiedlichen Fahrzeugvariationen wurde primär auf die gleichen Anstiege der Lenkradwinkelrampe geachtet. Diese hat einen wesentlichen Einfluss auf die Fahrzeugreaktion.

Einfluss der Schwerpunktlage

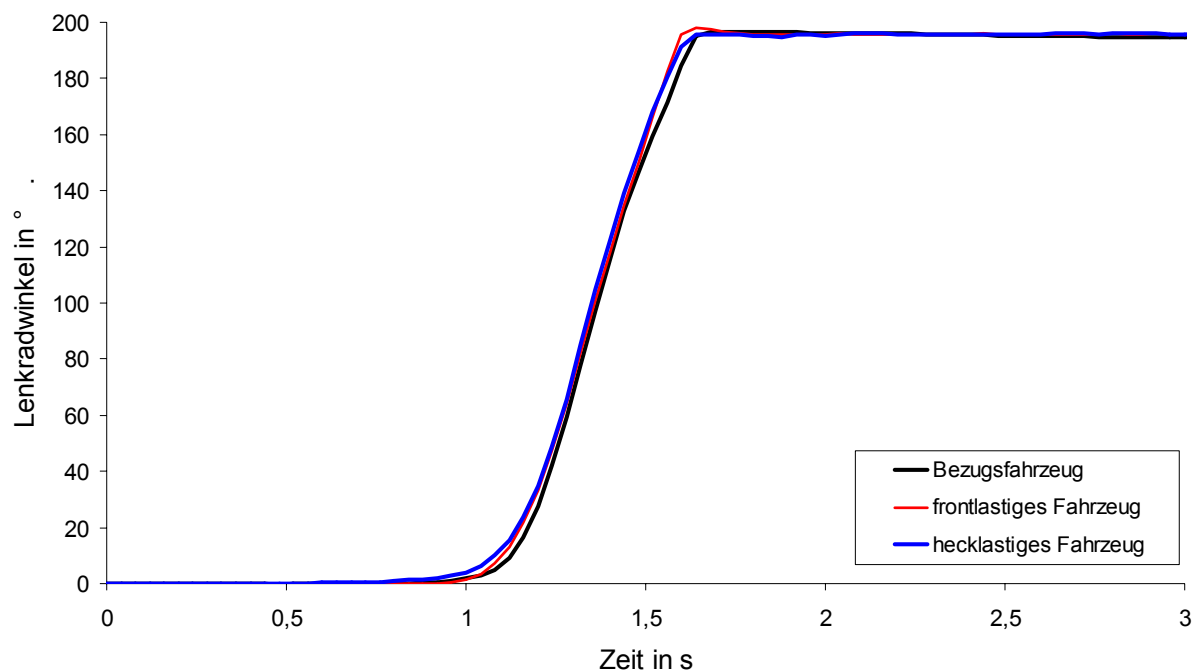


Bild 6-11 Lenkwinkelrampe des Versuchsfahrzeuges mit unterschiedlicher Schwerpunktlage

Die Zeiten wurden hier nicht separat wie im Abschnitt 6.2.1 zusammengestellt. Es ist im Bild verdeutlicht, dass die Anstiege der Lenkwinkelrampen annähernd gleich sind,

so dass ein Beeinflussen der Fahrzeugreaktion durch den Lenkradeinschlag wenig verändert wird.

6.2.2.2 Gierwinkelgeschwindigkeit bei unterschiedlicher Schwerpunktlage

Die Schwerpunktlage des Fahrzeugs hat einen wesentlichen Einfluss auf das Fahrverhalten. Insbesondere wird das Eigenlenkverhalten des Fahrzeugs geändert.

Alle Fahrversuche wurden annähernd mit einer Geschwindigkeit von 40 km/h durchgeführt. Bei der Durchführung der Fahrversuche wurde die Geschwindigkeit durch Handpotentiometer eingestellt. Nach Anreißen des Lenkrads auf die oben dargestellten Lenkradwinkel wurde die Geschwindigkeit auch geringer. Dies wirkt sich hier auch auf den Gierwinkelgeschwindigkeitsverlauf aus. Es ist eine leichte abfallende Tendenz der Kurven zu erkennen.

Nach Aussuchen und Sortieren der Messdaten hinsichtlich der Lenkradwinkel und Geschwindigkeit wurden diese auf die stationären Werte normiert. In Bild 6-12 ist die Einfluss der Schwerpunktlage auf die Gierwinkelgeschwindigkeit dargestellt.

Einfluss der Schwerpunktlage

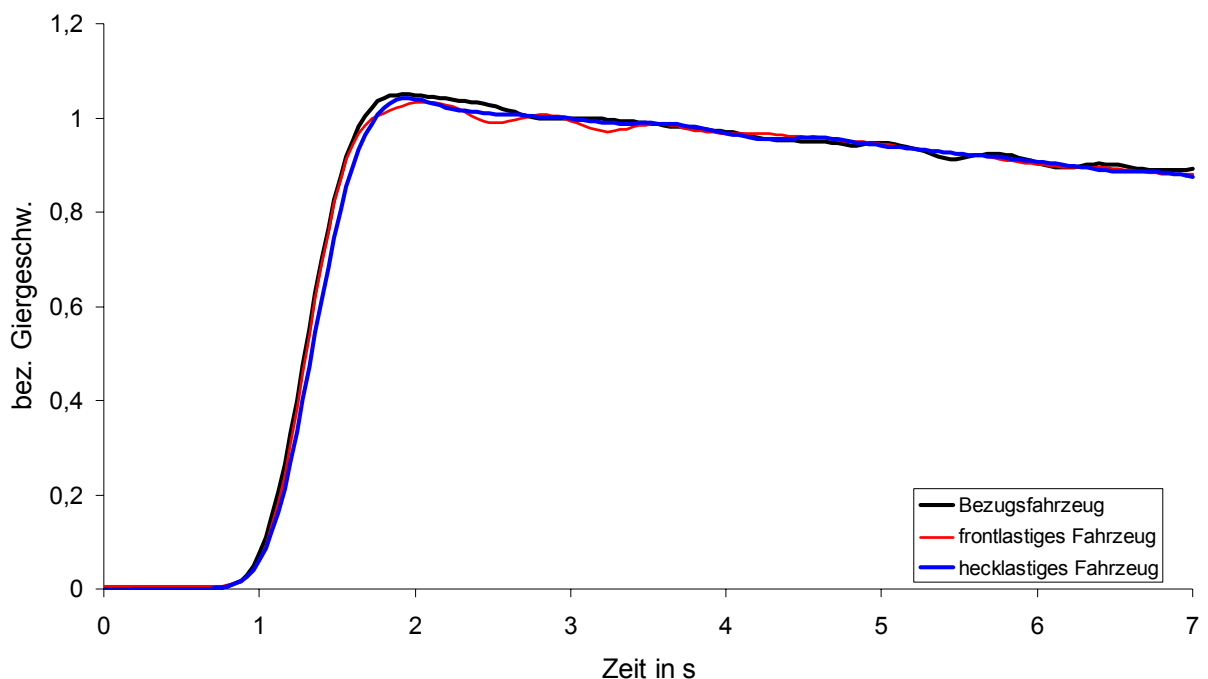


Bild 6-12 Einfluss von Schwerpunktlage auf Gierwinkelgeschwindigkeit - Zeitverlauf bei einer Fahrgeschwindigkeit von 40 km/h

Die Achslasten des Versuchsfahrzeugs ändern sich durch die Verschiebung des Schwerpunktes. So werden bei frontlastigem Versuchsfahrzeug die vorderen Achsen und damit die vorderen Räder mehr belastet als die hinteren Räder und bei hecklastigen Fahrzeugvariation ist es umgekehrt. Die Luftdrücke sind an den Rädern während der gesamten Fahrversuche nicht verändert worden. Das Variieren des Versuchsfahrzeugs frontlastig oder hecklastig ist durch die Verschiebung der einzelnen Massen an den

jeweiligen Gestellen möglich. Das Bezugsfahrzeug in unbeladenen Zustand hat ein Gesamtgewicht von 1710 kg und dabei die Achslastverteilung $l_v/l = 0,42$, d.h., ein frontlastiges Fahrzeug. Das hecklastig variierte Versuchsfahrzeug hat ein Gesamtgewicht von 1980 kg und eine Achslastverteilung $l_v/l = 0,54$. Hierbei entsteht ein Gewichtunterschied von 270 kg zum Bezugsfahrzeug, damit hat eine unerwünschte Gewichtserhöhung stattgefunden. Der Idealfall wäre, das Bezugsfahrzeug auf ein Gesamtgewicht von 1980 kg zu bringen und unter Beibehaltung dieser Masse den Schwerpunkt nach vorne und nach hinten innerhalb des Radstands zu verlagern. Die Grenzen der Machbarkeit hierfür liegen bei zulässigen Achslasten, die nicht überschritten werden dürfen und an den Gestellkonstruktionen.

Das Bild 6-12 zeigt den Verlauf der verschiedenen Schwerpunktlagen. Dabei sind zwei Merkmale hervorzuheben: Der Anstieg der Kurven unterscheiden sich untereinander es soll auch so sein, mit der Verlagerung des Schwerpunktes nach hinten d.h. wenn das Fahrzeug hecklastig ausgelegt ist reagiert auch auf den Lenkradeinschlag träger als das frontlastige Fahrzeug. Das frontlastige Fahrzeug schwingt deutlich mehr nach und die Überschwinger sind größer als die anderen beiden Fahrzeugvariationen. Diese Erkenntnisse wurden mit zahlreichen Fahrversuchen, die in unterschiedliche Richtungen und mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten die gefahren worden sind, bestätigt.

Ein frontlastiges Fahrzeug reagiert schneller aufgrund der Eigenfrequenz als das hecklastige Fahrzeug. In der Literatur [2, 16] wird dieses Ergebnis bestätigt.

Im Idealfall sehen die Kurven nach Bild 6-13 aus.

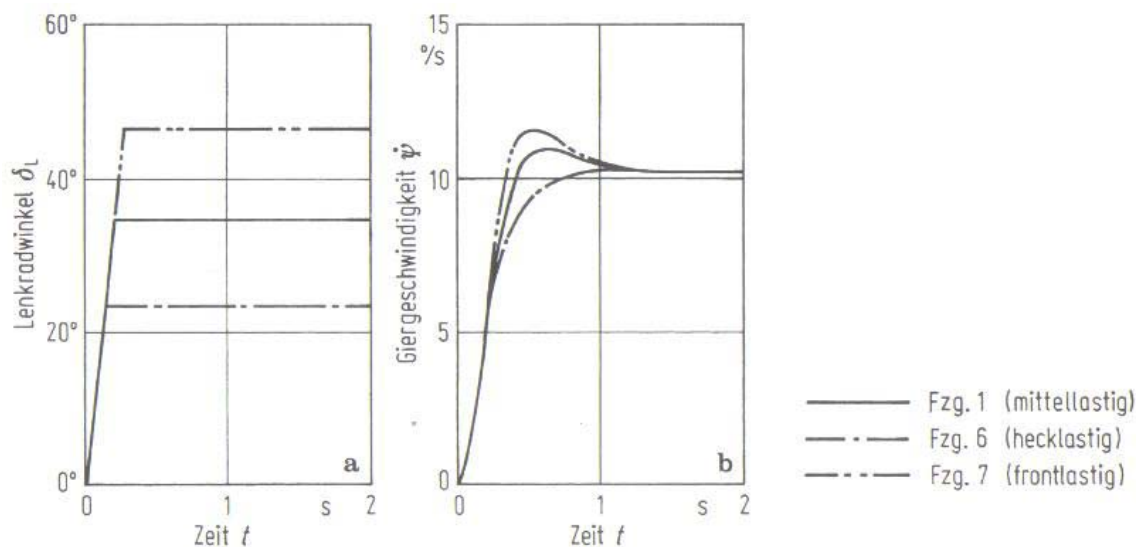


Bild 6-13 Einfluss von Fahrzeugdaten auf Gierwinkelgeschwindigkeit - Zeitverlauf [16]

Darin ist eindeutig zu erkennen dass, das hecklastig ausgelegte Fahrzeug an die Asymptote, in diesem Fall den stationären Wert, herankriecht. Es ist für dieses Fahrzeug kein Überspringen zu erkennen. Weiterhin ist zu ersehen: Um eine Querbeschleunigung von 4 m/s^2 zu erreichen, reicht bei hecklastig ausgelegten Fahrzeugen ein Lenkradeinschlagwinkel von $\delta_l = 23,7^\circ$ aus. Für die beiden mittellastig und frontlastig ausgelegten Fahrzeugen werden weit größere Lenkradwinkeleinschläge

notwendig. Dieses Verhalten wurde in Bezug der Eigenlenkverhalten mit den Stationären Kreisfahrt Fahrversuchen in Abschnitt 6.1.1erörtert. Alle Fahrzeuge haben eine Masse von 1000 kg und die Schwerpunksrücklagen betragen:

- Fzg. 1 (Mittellastig) $l_v/l = 0,5$
- Fzg. 2 (Hecklastig) $l_v/l = 0,6$
- Fzg. 3 (frontlastig) $l_v/l = 0,4$.

Durch die unterschiedliche Schwerpunksrücklage werden die Achsen unterschiedlich belastet. Als Folge werden die Seitenkraftschräglaufbeiwerte verändert.

6.2.2.3 Querbewegung bei unterschiedlicher Schwerpunktlage

Ähnlich sind die Verläufe der Querbewegung die auf die stationären Werte bezogen sind, Bild 6-14.

Einfluss der Schwerpunktlage

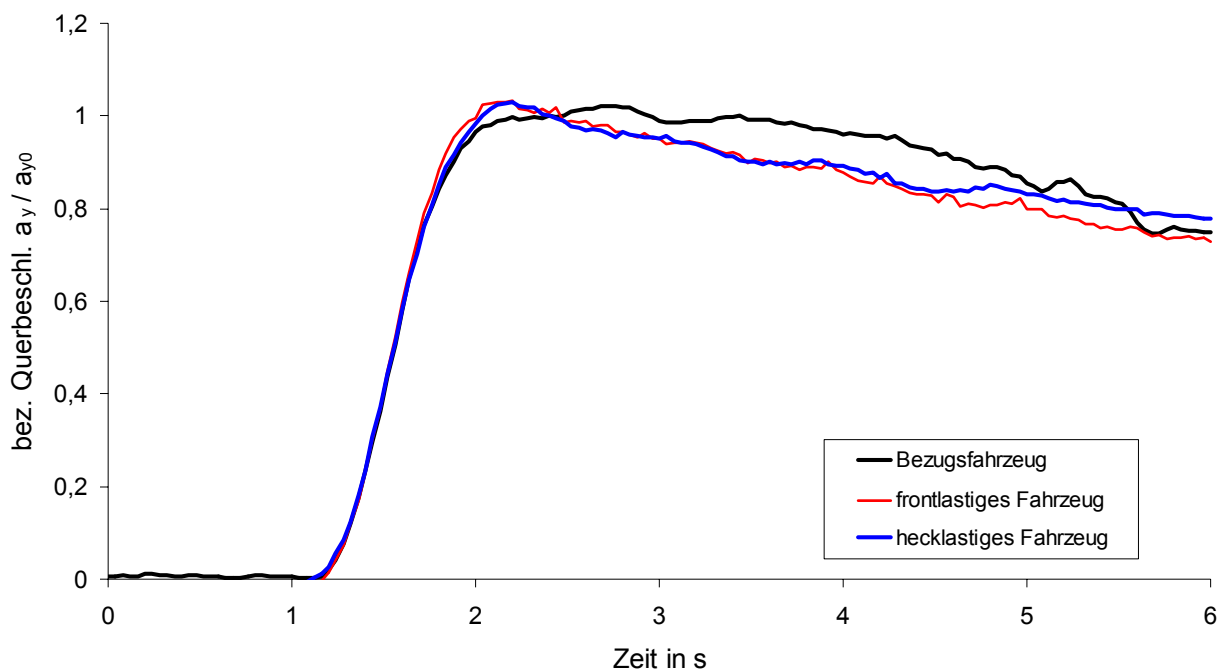


Bild 6-14 Verlauf der Querbewegung über die Zeit

Bei der Auswertung der Messdaten von Querbewegung sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Das Bezugsfahrzeug hat kein Überspringen am Anfang, sonst sind die Anstiege der Kurven annähernd gleich. Auch hier ist die tendenzielle Abnahme der Geschwindigkeit über die Zeit zu erkennen. Diese hat den Nachteil bei der Normierung der Daten bezogen auf den stationären Wert. Denn wo genau der stationäre Wert tatsächlich liegt, kann nur subjektiv ausgewählt werden. Nach Auswerten von mehreren Messdaten fällt eine annähernd richtige Entscheidung zu treffen einfacher.

6.2.3 Ergebnisse der unterschiedlichen Fahrzeugmassen

Je größer die Fahrzeugmasse bei sonst unveränderten Fahrzeugparametern ist, umso stärker untersteuert das Fahrzeug. Diese Eigenschaft ist aus der Gleichung 2-14 für den Eigenlenkgradienten zu ersehen, weil die Masse im Zähler der Gleichung steht. Durch Erhöhung von m_g wird auch EG größer: das bedeutet, dass das Fahrzeug mehr untersteuert [34]. Wenn das Fahrzeug untersteuert, befährt es einen größeren Kreisradius.

6.2.3.1 Verlauf der Lenkwinkelrampe bei unterschiedlichen Fahrzeugmassen

Wie auch bei den anderen Fahrversuchen wurde das Lenkrad schlagartig auf einen stationären Wert eingeschlagen. Dieser Wert beträgt für das Bezugsfahrzeug 196° und wurde innerhalb von 0,68 Sekunden eingeschlagen. Für die Fahrzeugvariation mit erhöhter Masse beträgt der Lenkradeinschlag 191° und wurde innerhalb von 0,71 s Sekunden eingeschlagen. Das Bild 6-15 zeigt den Verlauf der Lenkwinkelrampe.

Einfluss der Fahrzeugmasse

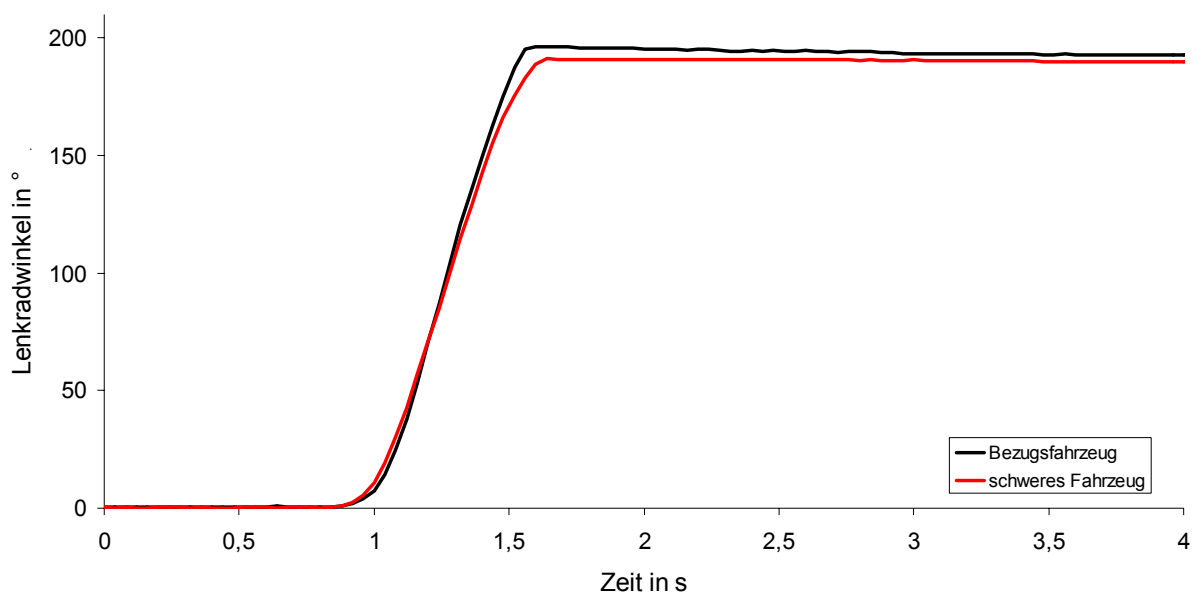


Bild 6-15 Lenkwinkelrampe des Bezugsfahrzeugs und schwerer Fahrzeugvariation

Die Anstiege der Lenkwinkelrampen sind annähernd gleich. Die Messdaten wurden nach dem Anstieg der Lenkwinkelrampen sorgfältig ausgewählt. Denn die Zeit während das Lenkrad eingeschlagen wird, hat einen hohen Einfluss auf die Fahrzeugreaktion.

6.2.3.2 Verlauf der Gierwinkelgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Fahrzeugmassen

Warum das Fahrzeug mit zunehmender Masse untersteuert, wurde Anfang des Abschnitts erläutert. Wenn das Fahrzeug untersteuert, fährt es bei gleichem Lenkradeinschlag in einen größeren Kreis. Aus der Gleichung $a_y = v/r$ geht hervor, dass der Radius umgekehrt proportional zu der Gierwinkelgeschwindigkeit ist. Das Bezugsfahrzeug hat einen stationären Wert von $34,5 \text{ }^\circ/\text{s}$ erreicht wobei die

Fahrzeugvariation mit schwerer Masse einen stationären Wert von 33,1 ‰ erreicht hat. Die Werte wurden bezogen auf die stationären Werte normiert. Bild 6-16 zeigt den Einfluss der Fahrzeugmasse.

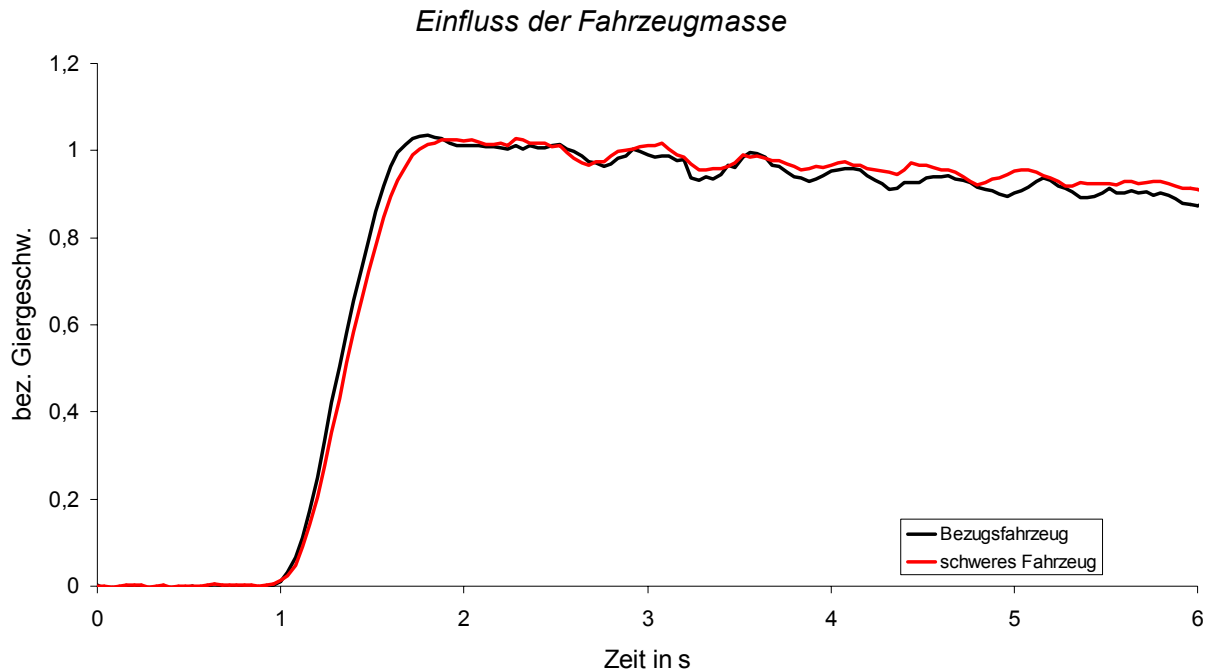


Bild 6-16 Einfluss der Fahrzeugmasse auf Gierwinkelgeschwindigkeit - Zeitverlauf bei unterschiedlicher Fahrzeugmasse

In Bild 6-16 fällt weiterhin auf, dass das Bezugsfahrzeug schneller auf den Lenkbefehl reagiert. Das schwere Fahrzeug reagiert träge auf den Lenkbefehl, trotz des kleinen Lenkradwinkels der eingeschlagen wird. Mit zunehmender Eigenfrequenz reagiert das Fahrzeug schneller. Mit kleiner werdender Eigenfrequenz wird der Anstieg der Gierwinkelgeschwindigkeitsverlauf flacher. Je flacher der Anstieg, umso träger reagiert das Fahrzeug.

Sowohl in [34] als auch in [16] wurde der Einfluss von Fahrzeugmasse mit Lenkwinkelsprung Fahrversuchen nicht untersucht. Aus diesem Grund ist ein Vergleich nicht durchführbar. In [2] ist der Einfluss von unterschiedlichen Fahrzeugmassen graphisch dargestellt. Das Fahrzeug reagiert mit steigender Masse träge auf den Lenkradeinschlag, Das Fahrzeug überschwingt umso mehr mit zunehmender Masse aufgrund der geringeren Dämpfung.

Dass das schwere Fahrzeug träge reagiert, stimmt mit [2] überein. Bezüglich der Überschwingweiten kann an dieser Stelle kein Vergleich durchgeführt werden. Aus den Fahrversuchen die durchgeführt worden sind kann dieser Unterschied nicht erkannt werden.

6.2.3.3 Verlauf der Querb beschleunigung bei unterschiedlichen Fahrzeugmassen

Die Verläufe der Querb beschleunigungen sind ähnlich wie die Verläufe der Gierwinkelgeschwindigkeit. Die Messdaten wurden mit dem Faktor 5 geglättet und auf die stationären Werte normiert. Die graphische Darstellung ist in Bild 6-17 zu finden.

Einfluss der Fahrzeugmasse

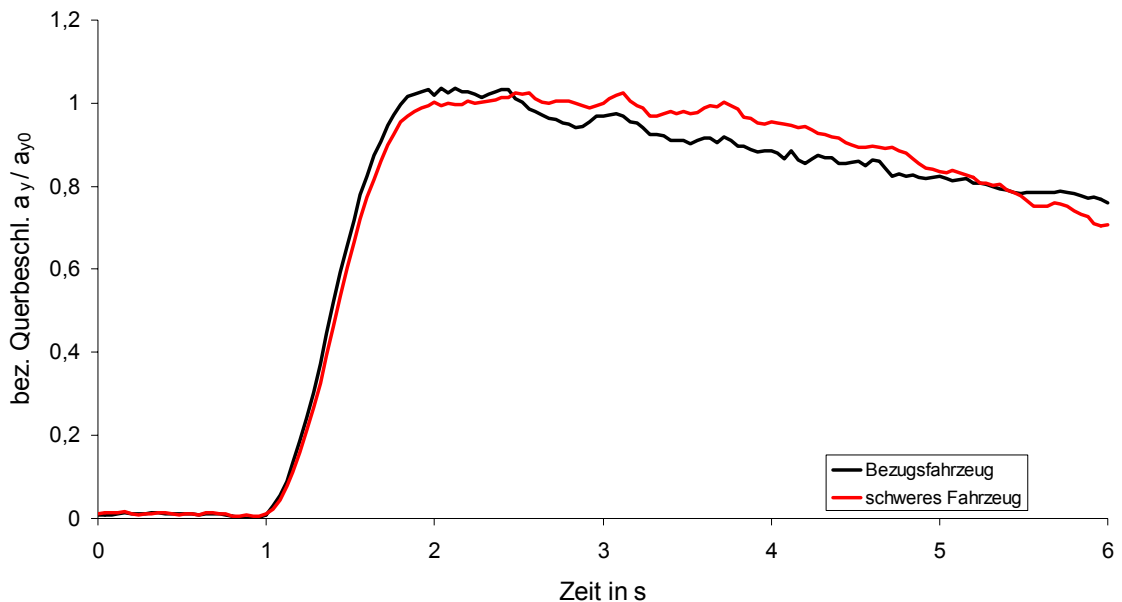


Bild 6-17 Querb beschleunigungsverlauf des Bezugsfahrzeugs und schwerer Fahrzeugvariation

Der stationäre Querb beschleunigungswert von dem Bezugsfahrzeug beträgt ca. 7 m/s^2 . Dieser liegt höher als die schwerer Fahrzeugvariation, ca. 6 m/s^2 . Dieser Sachverhalt ist wieder erklärbar mit den Eigenlenkgradienten des Fahrzeugs. Das Bezugsfahrzeug hat einen kleineren Eigenlenkgradienten aufgrund seiner Fahrzeugmasse. Aus diesem Grund fährt das Fahrzeug auch einen kleineren Kreis bei gleichem Lenkradwinkelschlag. Der Lenkradwinkel bei schwerer Fahrzeugvariation 5° weniger als beim Bezugsfahrzeug. Der Unterschied beeinflusst auch gering die erreichbaren stationären Werte. Aus der Gleichung xx ist zu ersehen, dass der Radius umgekehrt proportional zu der Querb beschleunigung ist.

6.2.3.4 Verlauf der Wankwinkel bei unterschiedlichen Fahrzeugmassen

In Bild 6-18 ist der Verlauf der Wankwinkel für die beiden Fahrzeugvariationen dargestellt. Das Bezugsfahrzeug wankt gegenüber der schweren Fahrzeugvariation um $1,4^\circ$ weniger. Mit Hilfe der Gleichung 6-2 kann die Ursache erklärt werden. Der Radius und die gefahrenen Geschwindigkeiten bleiben annähernd konstant. Die Erhöhung der Masse verursacht eine größere Zentrifugalkraft.

Einfluss der Fahrzeugmasse

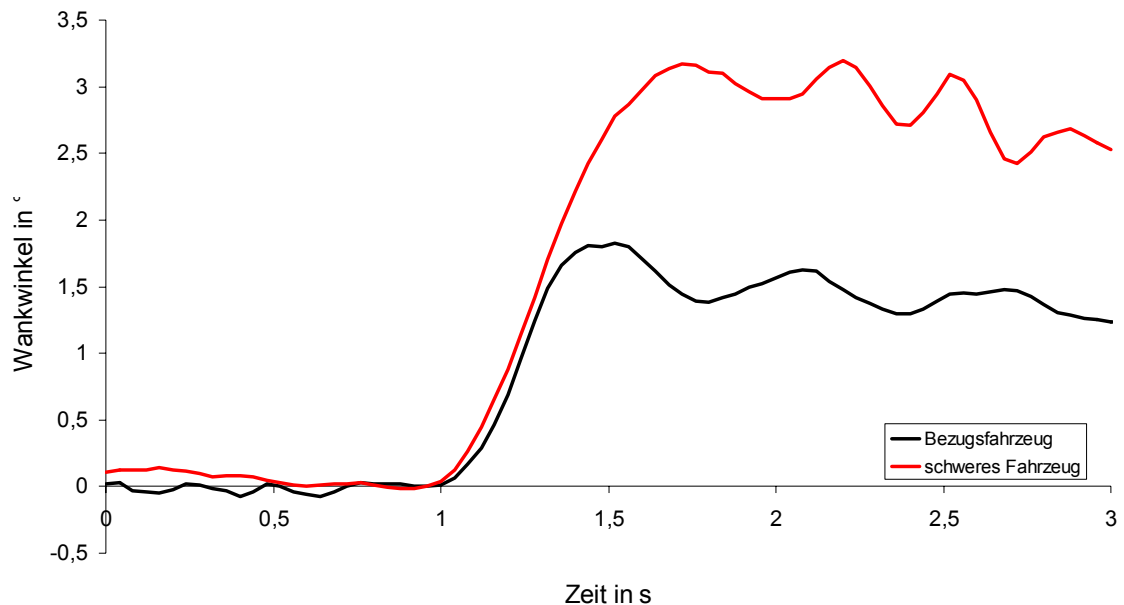


Bild 6-18 Wankwinkelverlauf des Bezugsfahrzeugs und schwerer Fahrzeugvariation

Die Zentrifugalkraft greift im Fahrzeugschwerpunkt an. Mit dem Hebelarm zu der Wankachse entsteht ein Drehmoment. Ein größeres Drehmoment, wie schon erwähnt, verursacht auch einen größeren Wankwinkel.

6.2.4 Ergebnisse der unterschiedlichen Trägheitsmomente um die Hochachse

Zum Erhöhen des Trägheitsmoments wurden auf die vorderen und hinteren Gestelle einzelne Massen aufgeladen. Auf das vordere und auf das hintere Gestell wurden 160 kg aufgeladen. Insgesamt wurde das Versuchsfahrzeug zum Vergleich des Bezugsfahrzeugs um 320 kg schwerer.

6.2.4.1 Verlauf der Lenkwinkelrampe bei unterschiedlichen Trägheitsmomenten

Der stationäre Lenkwinkel beträgt für das Bezugsfahrzeug bei diesem Versuch 200° und wurde innerhalb von 0,71 Sekunden eingeschlagen. Der stationäre Lenkwinkel für die Fahrzeugvariante mit dem erhöhten Massenträgheitsmoment beträgt auch 200° und wurde innerhalb von 0,78 Sekunden eingeschlagen. Die Anstiege der Lenkwinkelrampen sind annähernd gleich. Die Unterschiede der Lenkwinkelrampen entstehen durch die unterschiedliche Lenkgeschwindigkeit, die von dem Fahrer eingeleitet wird. Bei den Autoherstellern und Prüfinstitutionen übernehmen diese Aufgabe weitgehend die Lenkroboter. Dadurch ist möglich, die Versuche beliebig oft mit der gleichen Genauigkeit zu wiederholen.

Einfluss des Trägheitsmomentes

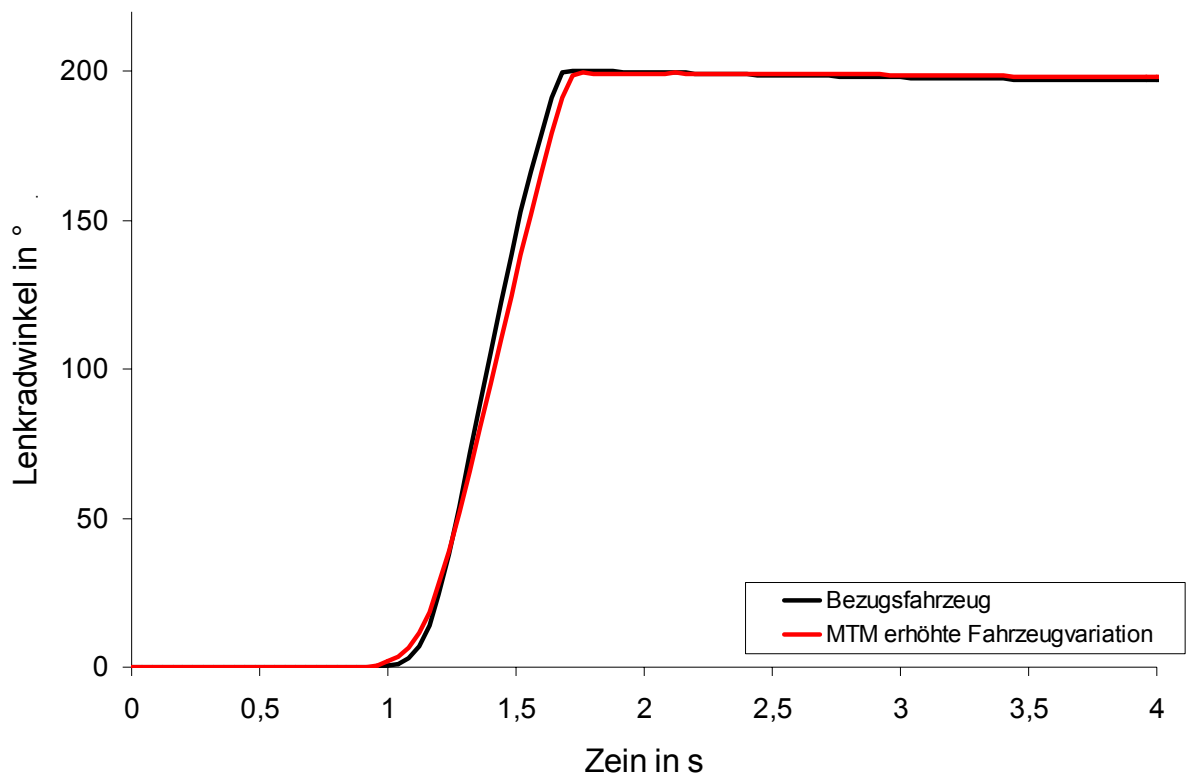


Bild 6-19 Lenkwinkelrampe des Bezugsfahrzeug und Fahrzeugkonstellation mit erhöhtem Trägheitsmoment

Das Bild 6-19 zeigt, dass die Anstiege und die stationären Werte weitgehend übereinstimmen.

6.2.4.2 Verlauf der Gierwinkelgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Trägheitsmomenten

In Bild 6-20 sind die Gierwinkelgeschwindigkeiten zwischen dem Bezugsfahrzeug und den um dem Trägheitsmoment erhöhten Fahrzeug dargestellt. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass das Trägheitsmoment an dem Versuchsfahrzeug nicht isoliert erhöht werden kann. Die Erhöhung des Trägheitsmoments hat auch einen Einfluss auf das Fahrzeuggewicht, so dass dieses sich erhöht. Die Unterschiede der beiden Fahrzeugkonstellationen sind in Bild 6-20 eindeutig zu erkennen.

Einfluss des Trägheitsmomentes

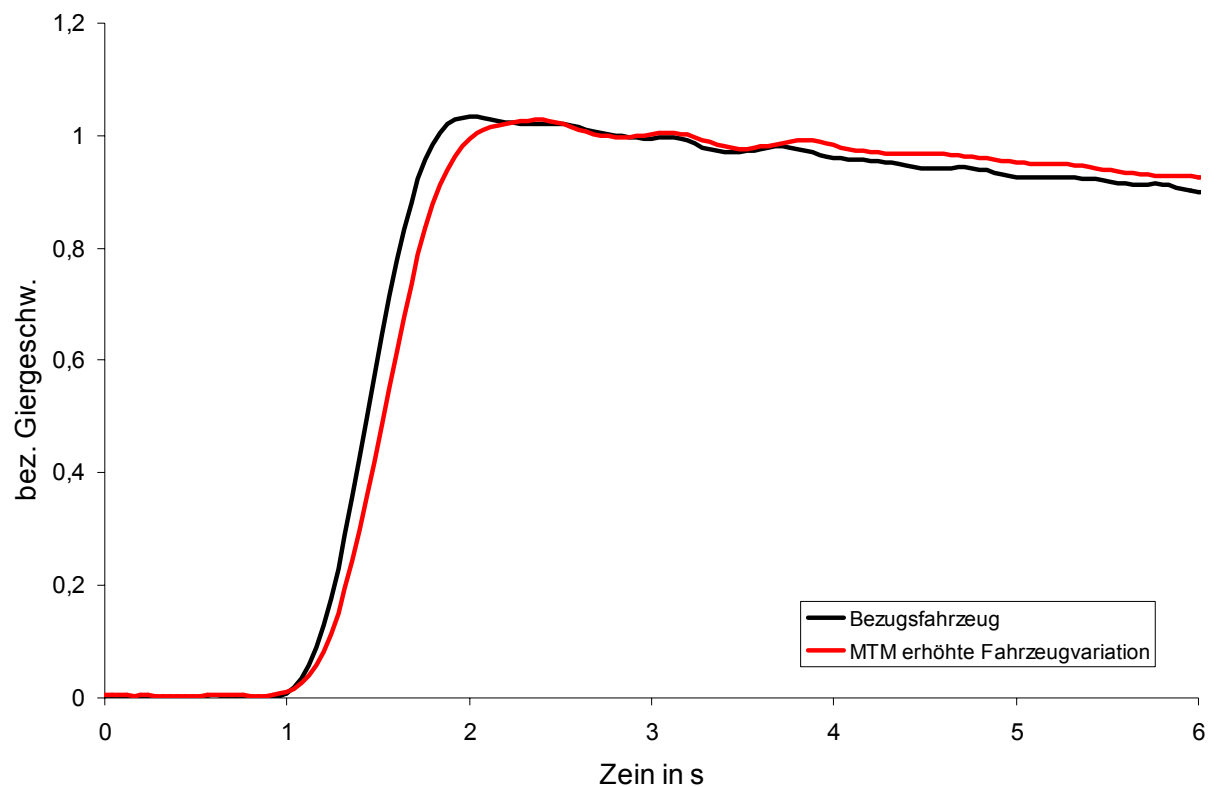


Bild 6-20 Einfluss des Trägheitsmoments auf Gierwinkelgeschwindigkeit - Zeitverlauf bei unterschiedlichem Massenträgheitsmoment

Aus den Fahrversuchen geht hervor, dass das Versuchsfahrzeug mit erhöhtem Trägheitsmoment deutlich träger reagiert als das leichte Bezugsfahrzeug. Die verlangsamte Reaktion der Fahrzeugvariation mit erhöhtem Trägheitsmoment ist nicht allein auf das Trägheitsmoment zurückzuführen, denn die Masse die durch die Erhöhung des Trägheitsmoments mit erhöht wurde, wirkt hier auch massiv ein. Nach gründlicher Untersuchung kann hier kein signifikanter Unterschied bezüglich des Überschwingverhaltens der beiden Fahrzeugvariationen getroffen werden.

Die Fahrzeugreaktionen aus den Fahrversuchen stimmen mit den [2, 34] überein. In [2, 34] reagiert das Fahrzeug mit zunehmendem Trägheitsmoment träger. Auch in der Fachliteratur sind die Aussagen von [2] und [34] hinsichtlich der Überschwingweiten diskrepant. In [2] wird beschrieben, dass die Überschwingweite mit abnehmendem Trägheitsmoment auch geringer wird. In [34] wird beschrieben, dass die Fahrzeugvariante mit dem niedrigsten Gierträgheitsmoment am schnellsten anspricht und stärker überschwingt als die mit den höheren Gierträgheitsmomenten.

6.2.4.3 Verlauf der Querschleunigung bei unterschiedlichen Trägheitsmomenten

In Bild 6-21 ist die Fahrzeugreaktion der unterschiedlich variierten Versuchsfahrzeuge auf den Lenkbefehl dargestellt. Die tendenzielle Abnahme der

Querbeschleunigungswerte ist auf die Geschwindigkeit zurückzuführen, die nach Einschlagen des Lenkrades geringer geworden ist. Das Handpotentiometer wurde während aller Fahrversuche auf den Wert eingestellt und wurde nach Einlenken des Lenkrades auf den stationären Wert nicht nachgestellt.

Einfluss des Trägheitsmomentes

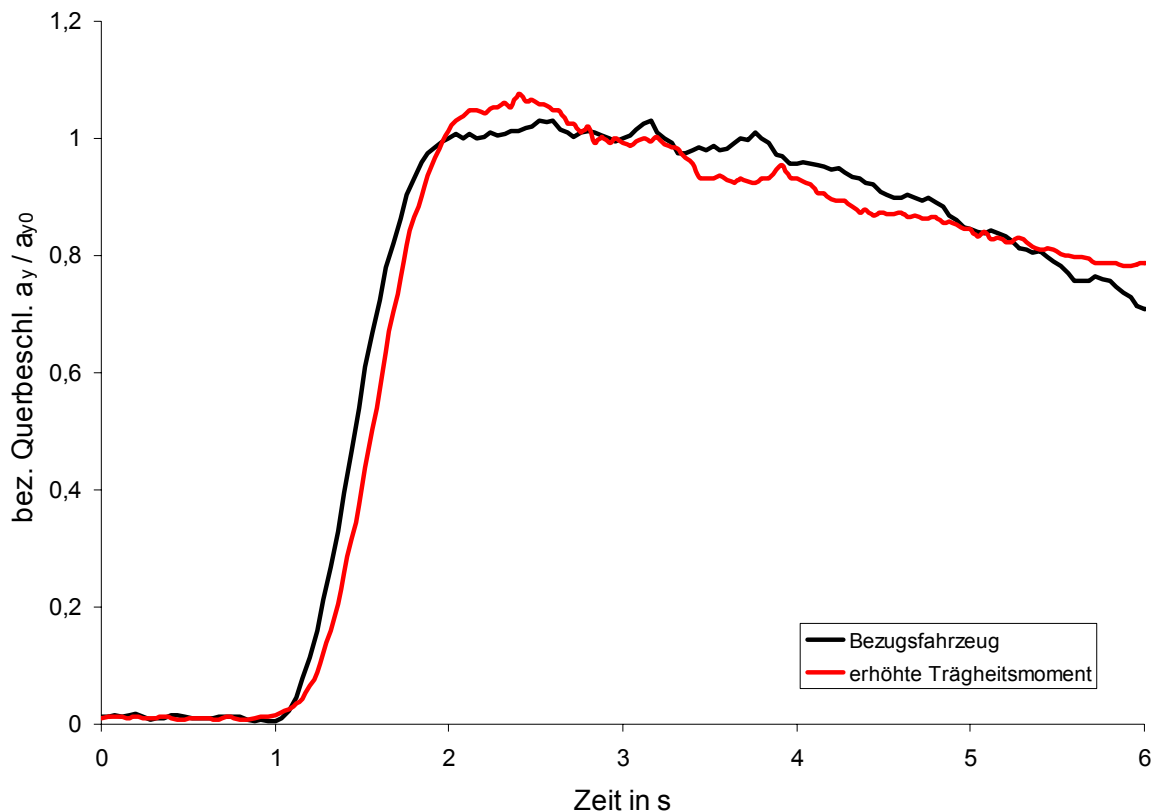


Bild 6-21 Querbeschleunigungsverlauf des Bezugsfahrzeugs und Fahrzeugkonstellation mit erhöhtem Massenträgheitsmoment

Hier ist es auch deutlich zu erkennen, dass der Anstieg des Kurvenverlaufes von dem Bezugsfahrzeug steil und der Fahrzeugvariation mit erhöhtem Massenträgheitsmoment flacher ist und damit die Reaktions- Ansprechzeit sowie Peak-Response-Time unterschiedlich sind. Vorsichtig kann die Aussage getroffen werden, dass die Fahrzeugvariation mit erhöhtem Trägheitsmoment mehr überschwingt als das Bezugsfahrzeug.

6.2.4.4 Verlauf der Wankwinkel bei unterschiedlichen Trägheitsmomenten

Bei der Geradeausfahrt hatte das Bezugsfahrzeug einen Wankwinkel von $0,15^\circ$ und das Fahrzeug mit dem erhöhten Massenträgheitsmoment sogar ein Wankwinkel von $0,25^\circ$. Dies kann von der Fahrbahnoberfläche oder von der Gewichtverteilung um die X-Achse oder von den beiden verursacht werden.

Die Messdaten für den Wankwinkel wurden durch Subtraktion der vorhandenen Wankwinkel auf den Ursprung transformiert.

Einfluss des Trägheitsmomentes

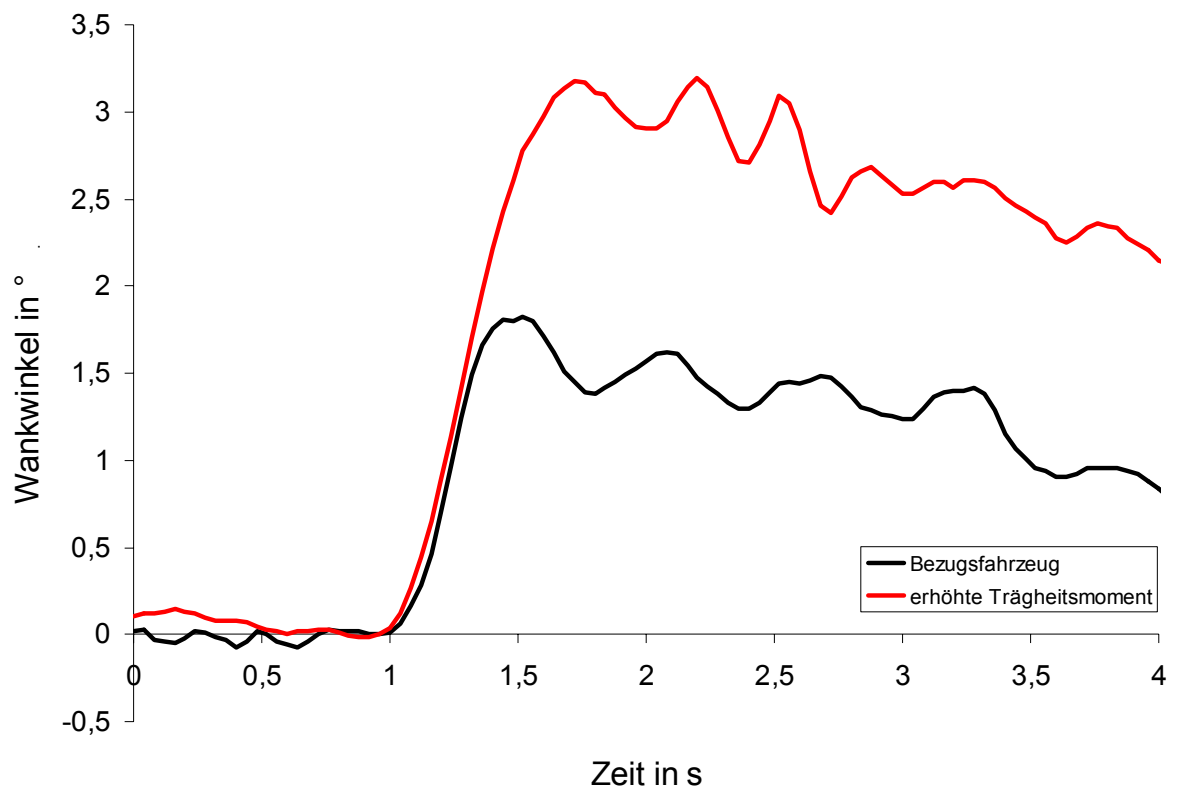


Bild 6-22 Wankwinkelverlauf des Bezugsfahrzeugs und Fahrzeugvariation mit erhöhtem Trägheitsmoment

In Bild 6-22 sind die transformierten Messdaten dargestellt. Deutlich zu sehen ist, dass das Bezugsfahrzeug aufgrund des Fahrzeuggewichts weniger wankt als das Fahrzeug mit dem erhöhten Trägheitsmoment. Die Ursache hierfür wurde im Abschnitt 6.2.1.4 erläutert.

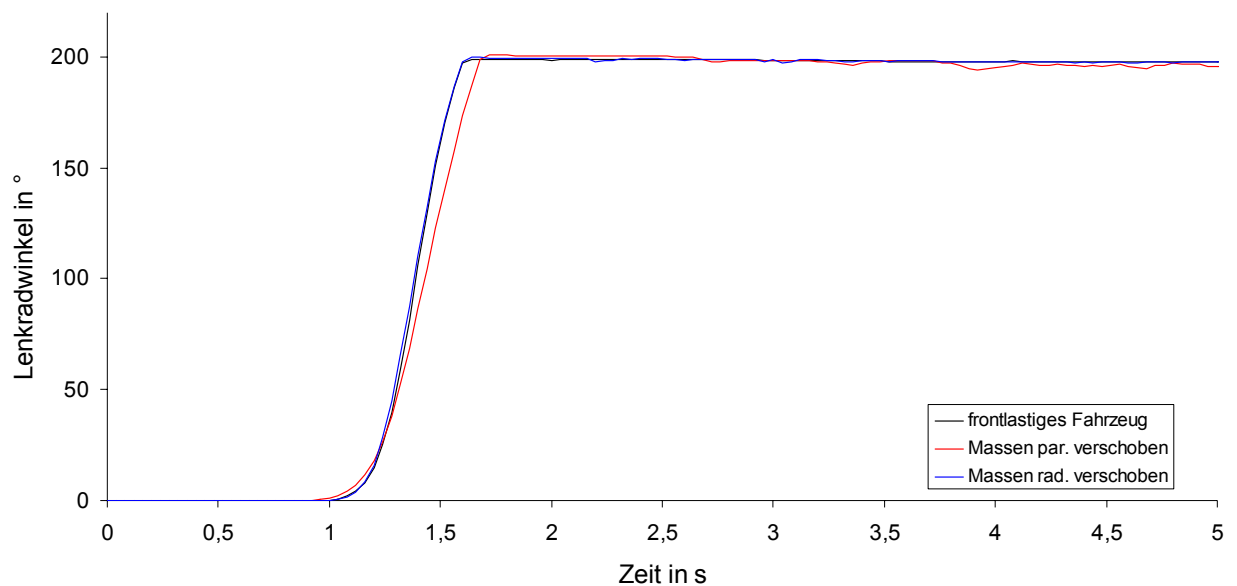
6.2.5 Ergebnisse der unterschiedlich verschobenen einzelnen Massen

Für die Durchführung der Fahrversuche wurden die einzelnen Massen bisher ausschließlich durch die linken und rechten Konsolen aufgenommen. Um die einzelnen Massen in Richtung der Fahrzeuglängsachse zu verschieben wurden zwei weitere Konsolen mit einem Hilfsgestell konstruiert und anschließend montiert. Die Massen werden für die Fahrversuche wie folgt verschoben.

- Verschiebung parallel zur Y-Achse
- Verschiebung um den Radius des Schwerpunktes.

6.2.5.1 Verlauf der Lenkwinkel bei unterschiedlicher Verschiebung

Bei den ausgesuchten Fahrversuchen ist es dem Fahrer gelungen das Lenkrad sehr genau einzulenken. Das Bild 6-23 zeigt den Verlauf der Lenkwinkelrampe.

Einfluss der Verschiebung**Bild 6-23 Lenkwinkelrampe der verschiedenen Fahrzeugvariationen**

Das Lenkrad wurde bei allen Versuchen annähernd in der gleichen Zeit auf einen stationären Wert von 195° eingeschlagen. Aus den Anstiegen der Geraden kann ein Wert von $195^\circ/0,6s$ ermittelt werden.

6.2.5.2 Verlauf der Gierwinkelgeschwindigkeit bei unterschiedlicher Verschiebung

Das Bild 6-24 zeigt den Verlauf der Gierwinkelgeschwindigkeiten. Die stationären Werte waren für alle Fahrzeugvariationen gleich und betrug bei allen Fahrversuchen $36^\circ/s$. Alle Werte wurden bezogen auf den stationären Wert von $36^\circ/s$ normiert. Wie die einzelnen Massen in die Mitte des vorderen Gestells verschoben wurde, wurde in Bild 4-6 schematisch dargestellt. Durch die Verschiebung der einzelnen Massen konnte trotz sehr genauer Betrachtung keine signifikante Veränderung festgestellt werden.

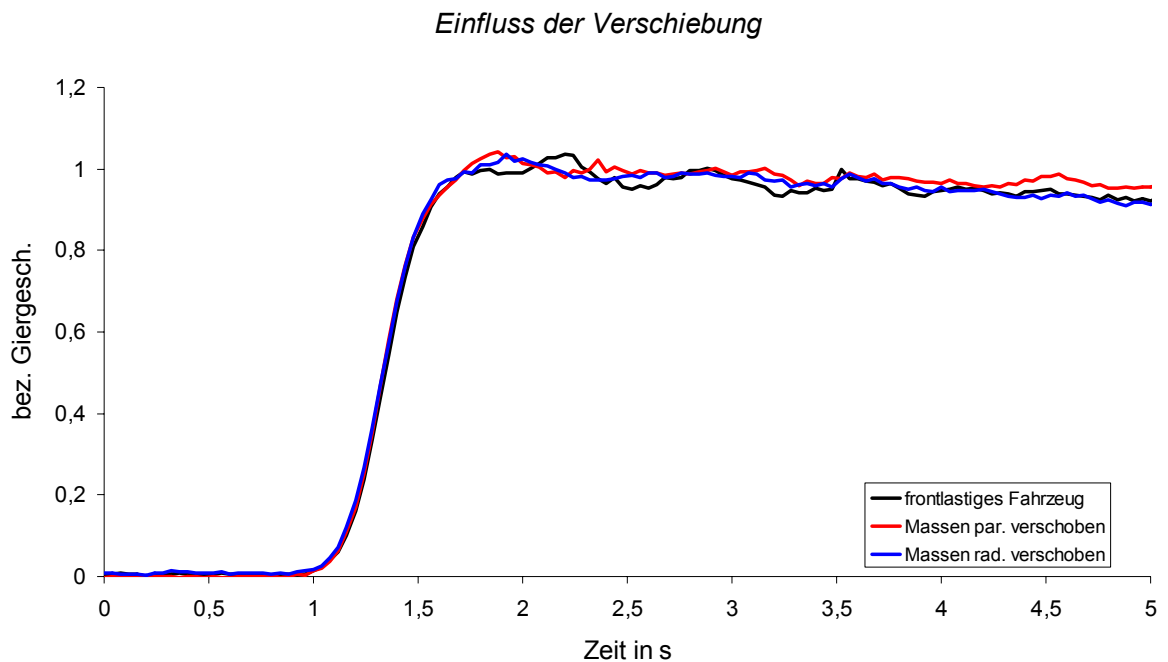


Bild 6-24 Gierwinkelgeschwindigkeit Verlauf der unterschiedlichen Fahrzeugvariationen

Die Anstiege, somit auch die Ansprechzeiten, die Reaktionszeit und der Peak-Response-Time sind bei allen Fahrzeugvariationen annähernd gleich.

Bei allen Versuchen wurde mit einer Geschwindigkeit von 40 km/h gefahren. Die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den Versuchen waren maximal 1 km/h so dass der Geschwindigkeitsunterschied kaum eine Auswirkung auf die Messdaten hat.

6.2.5.3 Verlauf der Querbeschleunigung bei unterschiedlicher Verschiebung

Die Messdaten von Querbeschleunigung wurden mit dem Faktor 5 geglättet und auf den stationären Wert von 6 m/s² normiert. Das Bild 6-25 zeigt die graphische Ausarbeitung der Messdaten.

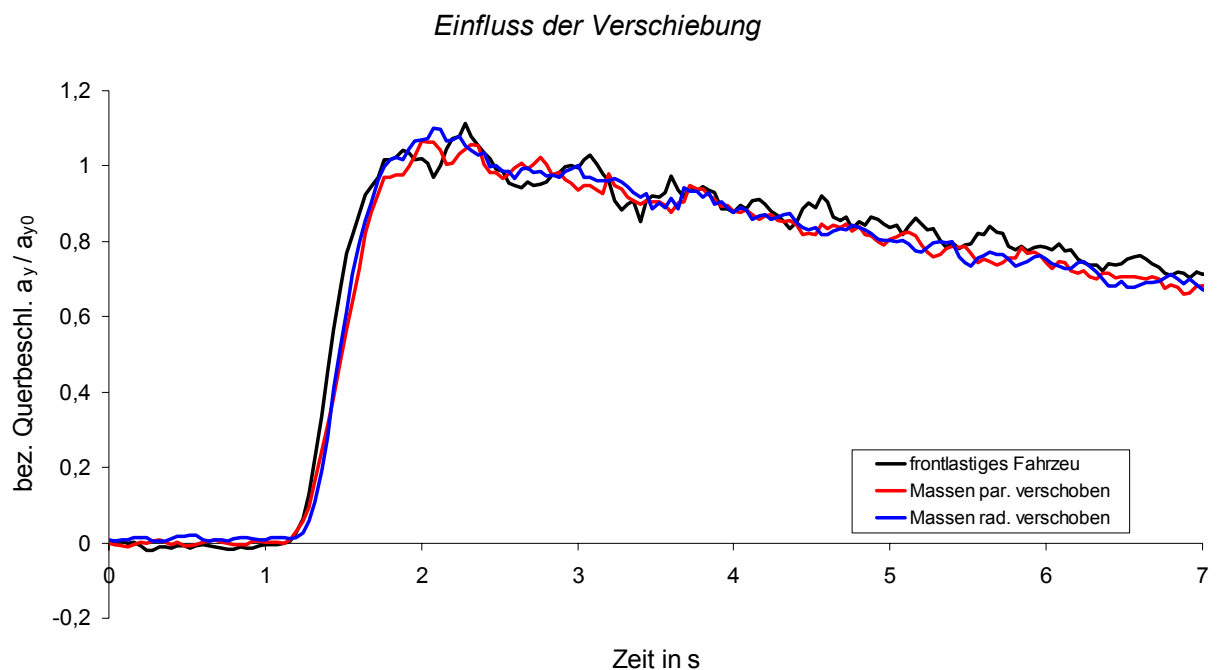


Bild 6-25 Querbeschleunigungsverlauf der verschiedenen Fahrzeugvariationen

Wie bei den Gierwinkelgeschwindigkeiten sind hier auch keine signifikanten Unterschiede aus den Kurvenverläufen festzustellen.

6.2.5.4 Verlauf der Wankwinkel bei unterschiedlicher Verschiebung

Abschließend zeigt das Bild 6-26 den Verlauf von Wankwinkel.

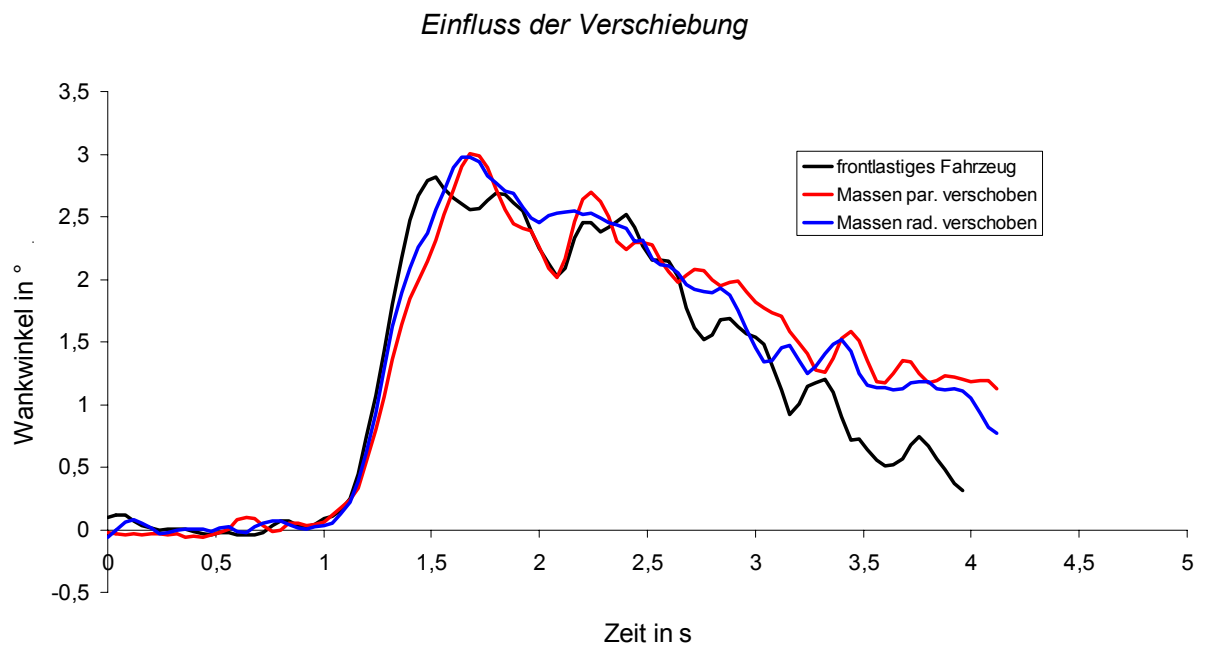


Bild 6-26 Verlauf der Wankwinkel bei unterschiedlicher Fahrzeugvariation

Die kleinen Abweichungen sind eher durch die Bodenunebenheiten entstanden als der Fahrzeugvariation, daher ist kein Rückschluss zu den unterschiedlichen Fahrzeugvariationen zu ziehen.

Abschließend wird ein Versuchergebnis dargestellt wie in der ISO Norm vorgeschrieben ist. Ein originales Loseblatt befindet sich im Anhang.

7 Optimierungsmöglichkeiten an dem Versuchsfahrzeug

Mit der Erweiterung bzw. Optimierung des Versuchsfahrzeugs ist es möglich, weitere Fahrmanöver durchzuführen. In diesem Kapitel werden die weiteren Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt, auf ihre Realisierbarkeit geprüft und eine persönliche Empfehlung abgegeben.

7.1 Einbau von Pedalkraftsensor und Bremspedalschalter

Mit dem Messgerät iDIS-FMS und Peiseler Rad ist es möglich, den zurückgelegten Weg zu messen. Damit ist es möglich Bremsversuche durchzuführen. Mit dem Versuchsfahrzeug können verschiedene Bremsversuche wie Bremsen aus den verschiedenen Geschwindigkeiten mit Beladung, ohne Beladung oder mit exzentrischer Beladung sowie μ -split Bremsversuch untersucht werden. Bei den Bremsversuchen ist es nicht möglich, den genauen Beginn der Bremszeitpunkte festzustellen. Bei einer Aufnahme der Messdaten mit 25 Hertz ist es schwer, den genauen Zeitpunkt der Bremsbetätigung trotz der gesetzten Marker zu finden. Dies ist besonders bei Bremsen aus hohen Geschwindigkeiten schwierig, denn gerade hier werden größere Streckenabschnitte zurückgelegt. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, einen Bremspedalschalter auf das Bremspedal anzubringen.



Bild 7-1 Bremspedalschalter [25]

Der Bremsschalter wird üblicherweise auf das Bremspedal geklebt und dient bei Bremswegmessungen als Signalgeber für Bremse, Bremspedal wird betätigt, Bild 7-1. Zur Ermittlung der Bremskraftwerte bei einer Bremsprüfung kann ein Pedalkraftsensor angebracht werden. Der Sensor misst die aufgebrachte Pedalkraft und kann die Daten über die analogen Eingänge in die iDIS-FMS Messgerät übertragen. Nach Auswerten der Messdaten kann die Kraftaufbaukurve dargestellt werden, Bild 7-2.

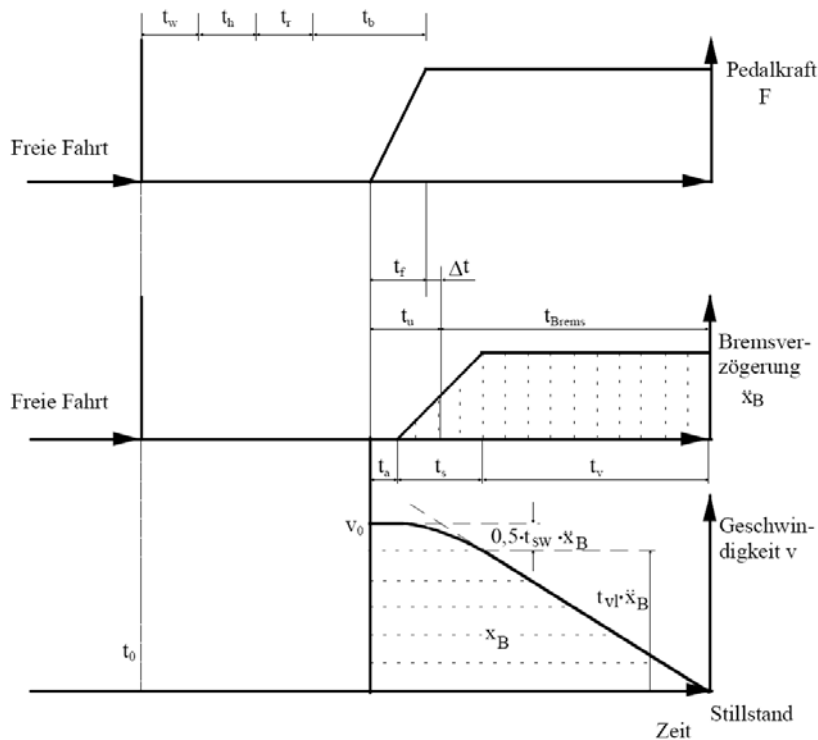


Bild 7-2 Grundgrößen des Bremsvorganges und zeitlicher Ablauf [4]

Die Erklärung der einzelnen Zeiten sind in Symbolverzeichnis zu finden. Das nachfolgende Bild 7-3 zeigt den Pedalkraftsensor.



Bild 7-3 Pedalkraftsensor [25]

Die Pedalkraftsensoren werden in der Regel auf dem Bremspedal montiert. Die Montage ist einfach und wird meistens in der Bedienungsanleitung, die mit dem Pedalkraftsensor geliefert wird, laut Hersteller sehr genau beschrieben.[Tel.gespr]

7.2 Messen von Bremsdrücken

Zur Erfassung der Bremsdrücke vorne und hinten können Druckmesssensoren eingebaut werden. Die Grundgrößen des Bremsvorganges und zeitlicher Ablauf ist in Bild 7-2 dargestellt worden. Bei einer Notbremsung kommt es oft vor, dass das Bremspedal nicht fest genug getreten wird[22]. In Fahrsimulatorversuchen bei Automobilherstellern konnte nachgewiesen werden, dass von 100 Unfällen 84 durch den Einsatz eines Bremsassistenten zu vermeiden gewesen wären [15].

Das Bild 7-4 zeigt den Einfluss des Bremsassistenten aus einer Geschwindigkeit von 100 km/h.

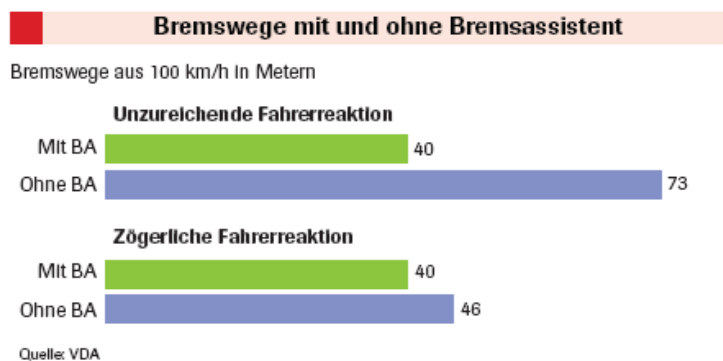


Bild 7-4 Bremsversuche und die Bremswege mit und ohne Bremsassistent [17]

Um diesen Effekt entgegen zu wirken und die Kapazitäten der ABS auszuschöpfen werden neue Fahrzeuge immer mehr mit Bremsassistenten ausgestattet. Dabei unterstützen die Bremsassistenten den Fahrer bei der Notbremsung durch eine automatische Bremsdruckerhöhung.

Mit der Verknüpfung des Pedalkraftsensors und Bremspedalschalter können verschiedene Diagramme erstellt werden, die den Einfluss der Pedalkraft und des Bremsdrucks aufzeigen und die daraus resultierenden Bremswege ermitteln. Das Versuchsfahrzeug hat eine Dreikanal-ABS Einheit. Die Drucksensoren können nach dem ABS-Hydraulik Block eingebaut werden. Für den Einbau der Drucksensoren sind T-Stücke mit Überwurfmuttern notwendig. Die Bremsleitungen können an definierten Stellen getrennt und an diese Stellen können die T-Stücke eingebaut werden. Der Drucksensor kann an das T-Stücks mittels Überwurfmuttern montiert werden. Das Bild 7-5 zeigt den Einbau von zwei Drucksensoren.

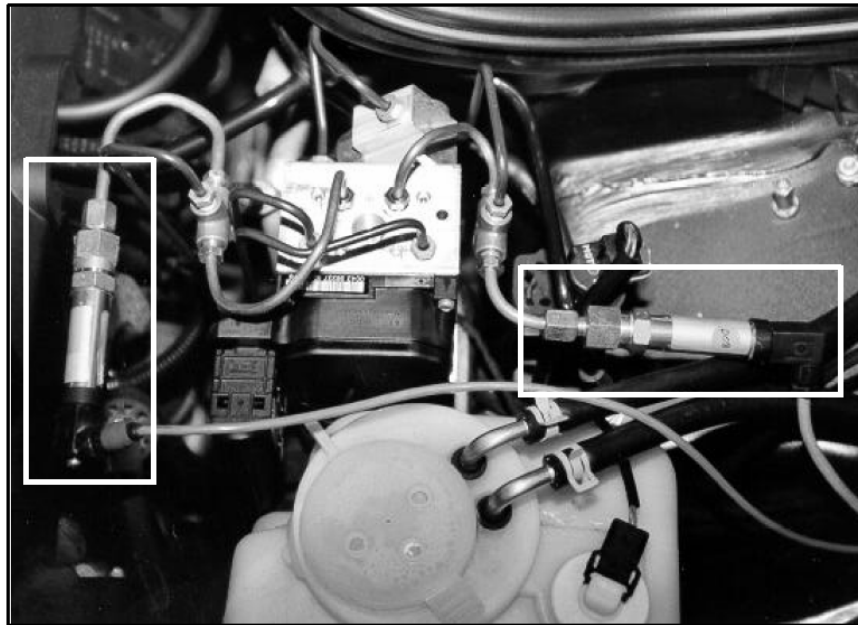


Bild 7-5 Einbau der Drucksensoren nach der ABS-Hydraulik Block [1]

Eine weitere Möglichkeit ist der Einbau gleich nach dem Ausgang des ABS-Hydraulikblocks. An dieser Stelle muss ein Übergang mittels Schraubenverbindungen zum T-Stück geschaffen werden und die Bremsleitungen müssen um die Länge der T-Stücke gekürzt oder zurückgebogen werden. Wenn die Bremsleitungen nicht gekürzt werden, ist es möglich den Originalzustand wieder herzustellen. Der Einbau der T-Stücke hat keinen Einfluss auf den normalen Fahrbetrieb. Wichtig ist nach dem Einbau die Dichtheit zu überprüfen und die Füllmenge der Bremsflüssigkeit zu kontrollieren.

Ein Druckmesssensor, der für die Messung der Bremsdrücke zum Einbau benutzt werden kann, ist im Anhang mit den Technischen Daten zu finden. Die Erweiterung der Ausstattung des Versuchsfahrzeugs mit den Komponenten Bremspedalschalter, Pedalkraftsensor und Druckmesssensoren ist nicht kostenintensiv, einfach zu realisieren und auch zu empfehlen.

7.3 Telemetrie Meßlenkrad

Das Telemetrie Meßlenkrad dient der Ermittlung des Lenkmoments, des Lenkwinkels und der Lenkgeschwindigkeit im realen Fahrbetrieb. Bei den Testversuchen konnte der Lenkradwinkel mittels der integrierten Potentiometer gemessen werden. Die Ermittlung der Lenkgeschwindigkeit musste nach dem Auswerten der Messdaten über die Steigung der Lenkwinkelrampe ermittelt werden. Es besteht keine Möglichkeit das Lenkradmoment zu messen. Die Messung des Lenkradmoments wird von ISO 4148 empfohlen. Nach Erreichen des Maximums über die Querbeschleunigungskurve nimmt das Lenkradmoment ab, dieser kündigt an, dass das Kraftschluß-Potential nahezu ausgeschöpft ist. Für die Durchführung der Fahrversuche nach DIN ISO 4138 und DIN

ISO 7401 wird bei Lenkwinkeln $<180^\circ$ ein Messfehler von $\pm 2^\circ$ erlaubt. Das Messgerät für die Messung der Lenkwinkel hat aber einen Gesamtmessfehler von $3,68^\circ$ [13].

Der Einbau eines Telemetrie-Messlenkrades wäre für das Versuchsfahrzeug ohne weiteres möglich. Das Originallenkrad muss ausgebaut werden. Der Einbau des Telemetrie-Messlenkrades ist abhängig vom Hersteller und eventuell wird ein entsprechender Lenkwellenadapter von unten in den Flansch des Messlenkrades geschoben, das Lenkrad auf die Lenksäule gesteckt und verschraubt. Wegen des hohen Preises wird ein Telemetrie-Messlenkrad nicht gekauft. Die technischen Daten eines beliebig ausgewählten Telemetrie-Messlenkrades sind im Anhang beigelegt.

7.4 Lenkroboter

Der steigende Anspruch an die Leistungsfähigkeit der Fahrwerke von Kraftfahrzeugen führt zu immer qualifizierteren Tests der fahrdynamischen Eigenschaften von LKW und PKW. Gegenwärtig werden diese Tests von vielen Fahrzeugherstellern manuell vorgenommen. Der Testfahrer versucht eine vorgegebene Lenkbewegung möglichst konstant nachzusteuern. Diese Messfahrten sind nicht ausreichend reproduzierbar [27].

Es ist deshalb sinnvoll, diese Lenkvorgaben von einer Maschine realisieren zu lassen.



Bild 7-6 Einsatz eines Lenkroboters bei einem Versuchsfahrzeug mit integrierten Messlenkrad [21]

Der Lenkroboter kann z.B. bei Testversuchen wie Lenkwinkelsprung, Fishhook-Test eingesetzt werden Bild 7-6.

Weiterhin kann der Lenkroboter mit einer Inertial-Plattform (wie das iDIS-FMS Messgerät) für das exakte Path Following integriert werden. Dadurch wird es möglich, ein Fahrzeug selbständig und präzise entlang eines vordefinierten Pfades zu steuern, unabhängig von Fahrbahnelast, Fahrzeugkonfiguration und Witterungseinflüssen.

Der Einbau des Lenkroboters ist für jedes Fahrzeug möglich. Für den Einsatz von dem Lenkroboter ist auch ein Messlenkrad notwendig, allerdings sind die Telemetrie Messlenkräder, wie oben schon erwähnt, teuer.

Die Testgelände auf dem die Fahrversuche durchgeführt worden sind ist in der Breite eng und die Oberfläche entspricht nicht exakt den Anforderungen der bereits in Kapitel 3 beschriebenen Bedingungen. Für den Einsatz eines Lenkroboters für die Fahrversuche ist ein besseres Testgelände notwendig als der Flughafen in Finow. Wenn die Bedingungen hinsichtlich des Testgeländes und Messlenkrades erfüllt sind, ist der Einsatz eines Lenkroboters für die Schulungszwecke denkbar. Anders ist ein Einsatz der Lenkroboter nicht zu empfehlen, denn die Kapazitäten der Lenkroboter können nicht ausgeschöpft werden. Technische Daten von einem ausgesuchten Lenkroboter ist im Anhang zu finden.

7.5 Schwimm- und Schräglaufwinkel

Mit dem iDIS-FMS Messgerät kann die Längsgeschwindigkeit mittels Peiseler-Rad gemessen werden. Es besteht aber keine Möglichkeit die Quergeschwindigkeit zu messen. Schwimm- und Schräglaufwinkel lassen sich aus den gemessenen Längs- und Quergeschwindigkeiten berechnen oder mit einem drehbar aufgehängten Schlepprad nach dem Prinzip eines Nachlaufrades direkt ermitteln. Zur Messung des Schwimmwinkels werden die Geräte an der Karosserie für die Erfassung des Schräglaufwinkels am Rad angebracht [34].



Bild 7-7 - und Sturzwinkels

Das Bild 7-7 zeigt am linken vorderen Rad montierten Schlepprad zur Messung der Schräglaufwinkel. Der Schwimmwinkel kann mittels optoelektronischer Messsysteme gemessen werden. An dieser Stelle wird auf [24] verwiesen indem verschiedene Messsysteme vorgestellt werden.

7.6 Variation des Schwerpunktabstandes innerhalb des Radstandes

Für die frontlastige Fahrzeugvariation muss das vordere Gestell mit den einzelnen Massen beladen werden. Das vordere Gestell ist aber weiter vorne montiert als die vorderen Räder. Dieses bewirkt, dass das Versuchsfahrzeug durch die Massen, die auf dem vorderen Gestell beladen sind, träge reagiert. Es ist eine Ergänzung des Versuchsfahrzeuges, wenn die einzelnen Massen innerhalb des Radstands verschoben werden können. Damit ist möglich, das Versuchsfahrzeug innerhalb des Radstands heck-, front-, oder mittellastig zu variieren. Für die Aufnahme der einzelnen Massen muss das Gestell zwischen A- und B-Säule konstruktiv erweitert werden, denn die Massenhalter müssen frei verschiebbar sein. Für die Erhöhung des Trägheitsmoments um die Hochachse sind die Gestelle vorne und hinten weiterhin notwendig.

7.7 Software für die Auswertung der Messdaten

Die Auswertung der Messdaten können ausschließlich mit dem Microsoft Office Baustein Excel durchgeführt werden. Allerdings ist die Bearbeitung sowie die graphische Darstellung der Messdaten mit Excel sehr aufwendig. Oft müssen die Messdaten hinsichtlich der Normierung oder Umrechnung der Lenkradwinkel weiter verarbeitet werden. Für die Auswertung der Messdaten wäre eine professionelle Software, wie hier für die Auswertung der Messdaten benutzt wurde, zu empfehlen. Mit einer professionellen Software ist es möglich die Messdaten graphisch darzustellen, aber auch die Messdaten untereinander zu vergleichen. Dies erhöht den Überblick und trägt das Verständnis komplexer Vorgänge bei.

7.8 Anschlag für das Lenkrad

Um den Lenkradeinschlag für das Durchführen von Lenkwinkelsprungtests zu realisieren wurde ein Anschlag an das Lenkrad montiert. Nachteil dieses Anschlags ist, dass er sich elastisch verformt und die Begrenzung der stationären Wert bei der Lenkwinkelrampe stark zerstreut. Ein Einbau von einem starren Anschlag würde das starke Zerstreuen verhindern und es werden nahezu gleiche stationäre Werte für die Lenkwinkelrampe erreicht. Bei wiederholten Fahrversuchen ist die Wahrscheinlichkeit, die gleiche Winkel zu erzielen, größer.

7.9 Weitere Fahrdynamische Versuchsmöglichkeiten

- Fishhook-Test, Elchtest

Als Elchtest wurde in der Umgangssprache zunächst ausschließlich ein spezieller Test der Seitenstabilität von Pkws bezeichnet. Mit hoher Geschwindigkeit wird ungebremsst ein Spurwechsel nach links und, nach einer kurzen Geradeausstrecke, ein Spurwechsel nach rechts gefahren. Das Fahrzeug sollte dabei weder ausbrechen noch seitlich

umkippen. Durch diesen Test soll das Ausweichen vor einem plötzlich auf die Straße tretenden Elch simuliert werden, ein in Skandinavien durchaus realistisches Szenario.

Der Elchtest ist inzwischen ein genormtes Fahrmanöver und Bestandteil der Erprobung der Fahreigenschaften neuer Fahrzeuge. Die Beschreibung des Tests erfolgte durch den VDA unter der Bezeichnung 'VDA-Spurwechseltest' und wurde dann in die internationale Norm ISO 3888-2 übernommen.

- Bremsversuche aus den verschiedenen Geschwindigkeiten

Denkbar sind Bremsversuche zur Ermittlung des Bremsweges aus den üblichen Geschwindigkeiten wie 30, 50 und 100 km/h.

- Bremsversuche mit unterschiedlicher Beladung

Durch die unterschiedliche Beladung ändern sich die Achslasten und die Schwerpunktlage. Diese beeinflussen das Bremsverhalten des Fahrzeugs. Um den Einfluss der Beladung auf den Bremsweg zu untersuchen, können aus unterschiedlichen Geschwindigkeiten gebremst und dabei der Bremsweg ermittelt werden.

- Einlenken des Fahrzeugs aus einer bestimmten Geschwindigkeit in einem definierten Kreisradius.

Es geschieht bei diesem Versuch ähnlich wie bei dem Lenkwinkelsprung, dass das Versuchsfahrzeug aus der Geradeausfahrt in eine Kreisbahn eingelenkt wird. Durch diesen Versuch ist es möglich, typische Eigenschaften des Fahrzeugreaktionen aufzuzeigen. Das Bild 7-8 zeigt die Auswertung eines durchgeführten Versuchs.

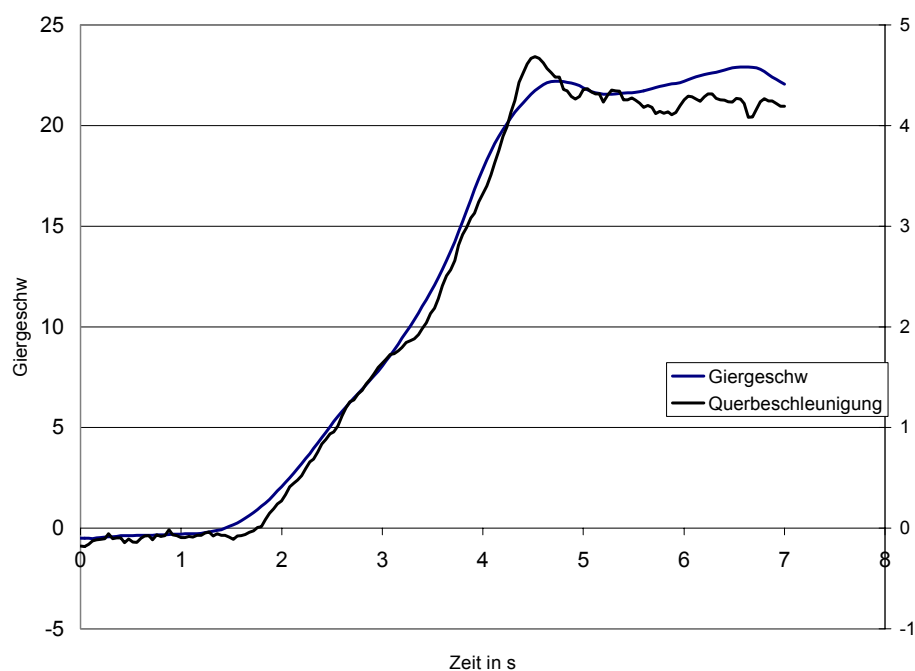


Bild 7-8 Einlenken des Fahrzeugs von einer Geradeausfahrt in die Kreisbahn

Da das Lenkrad nicht sprunghaft auf einen stationären Wert eingelenkt wird, sind die Anstiege der Kurven flacher. Es sind aber alle Eigenschaften einer Sprungantwort zu erkennen und einzuordnen.

7.10 Variation der Schwerpunkthöhe vertikaler Richtung

An dem Versuchsfahrzeug ist es möglich die Schwerpunktlage in der horizontalen Ebene zu variieren, jedoch gering in der vertikalen Ebene. Es ist mit Aluprofilen und sämtlichen Verbindungsteilen [20] möglich, das Gestell konstruktiv so zu erweitern, dass damit eine Variation der Schwerpunkthöhe ohne weiteres möglich ist. Hierbei ist es aber nicht möglich die Schwerpunkthöhe experimentell zu bestimmen. Durch die Breite des Gestells ist es nicht möglich das Versuchsfahrzeug auf die Vorrichtung zum Bestimmen der Schwerpunkthöhe zu fahren.

8 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Diplomarbeit wurden Fahrversuche mit unterschiedlich variiertem Versuchsfahrzeug durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Parameter verändert. So ist die Schwerpunktlage verschoben, die Masse des Versuchsfahrzeugs erhöht, das Trägheitsmoment erhöht und die Massen, die auf der rechten- und linken Konsole aufgenommen waren, wurden unterschiedlich in die Mitte des Versuchsfahrzeugs geschoben. Alle Ergebnisse der Fahrversuche wurden ausgewertet, untereinander verglichen und analysiert.

Die aussagekräftigen Ergebnisse wurden ausgewählt und ausführlich diskutiert. Auf die Fahrzeugvariationen, deren Ergebnisse das charakteristische Verhalten des Fahrzeugs wiedergeben, wurde an den entsprechenden Stellen hingewiesen und diese auch hervorgehoben.

Es werden signifikante Ergebnisse erzielt, wenn das Fahrzeug am vorderen und am hinteren Gestell an jeder Konsole beladen wird. Dadurch wird das Trägheitsmoment um die Z-Achse sowie das Fahrzeuggewicht erhöht. So sind die Unterschiede zwischen dem Bezugsfahrzeug und die Fahrzeugvariante mit dem erhöhten Trägheitsmoment besonders gut zu erkennen, ohne die Messdaten sorgfältig zu analysieren.

Die Ergebnisse der Fahrversuche wurden weitgehend mit der Fachliteratur verglichen, die Unterschiede angedeutet und die Gründe dafür erklärt. Hieraus wurden Empfehlungen für die künftige Durchführung solche oder ähnliche Fahrversuche abgeleitet.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Möglichkeiten untersucht, die Messdaten, die durch das Messgerät aufgenommen sind, in Echtzeit auszugeben. Hierbei sind Drei Möglichkeiten aufgezeigt, mit dem Zwei kann jeder Zeit mit entsprechenden anschließen der notwendigen Hardware, die Messdaten in Echtzeit visualisiert werden. Die dritte Software von der Fa. Imar, von der auch das Messgerät ist, kann bei Bedarf angeschafft werden.

Weiterhin sind zwei weitere Konsolen in der Mitte des vorderen Gestells abnehmbar montiert. Damit sind die Zusammenhänge der unterschiedlichen Verschiebungen in die Fahrzeuglängsachse des Versuchsfahrzeugs untersucht. Die Ergebnisse wurden ebenso graphisch dargestellt und diskutiert.

Wie wichtig das Durchführen von Fahrversuchen ist, genauso wichtig ist es, die Messdaten richtig zu interpretieren und zu analysieren. Die Auswahl der richtigen Filter und deren Auswirkung auf die Messdaten sind hierbei die wichtigen Erkenntnisse.

Die Auswertung der Messdaten kann an der FHTW-Berlin mit der Microsoft Software Tool Excel durchgeführt werden. Wenn aber verschiedene Fahrzeugvariationen untereinander verglichen werden müssen, sind die Grenzen der Excel Software erreicht. Oft müssen die Messdaten, bevor die untereinander verglichen werden, vorher

bezüglich der Anfangszeit aufbereitet werden. Eine professionelle Software Tool zum Auswerten der Messergebnisse bietet die Möglichkeit verschiedene Zusammenhänge verständlich darzustellen. Um einen Testvorgang richtig analysieren zu können, müssen oft verschiedene graphische Verläufe insgesamt betrachtet werden.

Durch die unterschiedlichen Fahrzeugvariationen und nach Durchführung von zahlreichen Fahrversuchen wurden verschiedene Optimierungsmöglichkeiten an dem Versuchsfahrzeug aufgezeigt und diese hinsichtlich der Realisierbarkeit überprüft. In diesem Zusammenhang wurden die Anregungen von vorangegangenen Diplomarbeiten mitberücksichtigt.

Die Grenzen für die Fahrversuche, die im Zusammenhang mit dieser Diplomarbeit durchgeführt worden sind, liegen in der mangelnden Breite und Länge des Testgeländes. Bessere, vor allem genauere Fahrversuche nach ISO Norm, können auf einem entsprechenden Testgelände durchgeführt werden, diese sind aber sehr kostenintensiv.

Im Ausblick sollte das Versuchsfahrzeug so gestaltet werden, dass durch die Verschiebung der einzelnen Massen eine Schwerpunktverlagerung innerhalb des Radstandes möglich ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Möglichkeiten des Einsatzes von dem Messgerät lange nicht ausgeschöpft sind. Mit dem Messgerät iDIS-FMS können alle Winkelbewegungen und Beschleunigungswerten intern aufgenommen werden. Durch die Analogeingänge hat aber das Messgerät das Potential, beliebige externe Messdaten aufzunehmen. Diese Analogeingänge können je nach Bedarf und Schwerpunkt der durchzuführenden Fahrversuche belegt werden.

9 Literatur

- [1] Arreger, Guido Diplomarbeit Untersuchung ABS/ESP, Vauffelin, 1999
Fluri, Patrick
- [2] Atzorn, Hans Herwig Skriptum zur Vorlesung Fahrdynamik II, Berlin, 2000
- [3] Betzler, Jürgen Fahrwerktechnik: Grundlagen 4. Auflage Würzburg
Reimpell, Jörn Vogel Verlag, 2000
- [4] Bill, Karlheinz H. Skriptum zur Vorlesung „Einführung in die
Kraftfahrzeugtechnik“, FHTW-Berlin, Berlin, 2000
- [5] Breuer / Bill Bremsenhandbuch, 2. Auflage, Friedr. Vieweg &
Sohn Verlag / GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden,
- [6] Ding, Eve Neues Konzept zur redundanten Überwachung von
Massel, Thomas Querbeschleunigungssensoren.
In Automobiltechnische Zeitschrift 107 (2005), H. 4,
S. 324-329
- [7] Fischer, Richard Tabellenbuch Kraftfahrzeugtechnik 14. Auflage
et al. Haan- Gruieten, Verlag Europa.Lehrmittel, 1997
- [8] Gerigk, Peter Kraftfahrzeugtechnik 4. Auflage, Westermann
et al. Schulbuchverlag, .Braunschweig, 2002
- [9] Grabner, Jörg Konstruieren von PKW-Karosserien 2. Auflage
Nothaft, Richard Berlin/Heidelberg, Springer Verlag,
2002
- [10] Heinzler, Max Tabellenbuch Metall 40. Auflage, Haan-Gruieten,
et al. Verlag Europa.Lehrmittel, 1997
- [11] Hering, Ekbart Physik für Ingenieure 8. Auflage, Springer Verlag,
Berlin / Heidelberg / New York, 2002

- [12] Hoseus, Karlheinz
Reimpell, JörnSEN Fahrwerktechnik: Fahrzeugmechanik 1. Auflage
Würzburg Vogel Verlag, 1989
- [13] Janz, Thomas
Diplomarbeit Fahrdynamische Untersuchungen unter Verwendung des Inertialmeßsystems, iDIS-FMS' der Firma IMAR-Entwicklung eines Laborversuchs unter fahrdynamischen Gesichtspunkten, FHTW-Berlin, 2004
- [14] Jaschke, Klaus Peter
Dissertation Lenkregler für Fahrzeuge mit hoher Schwerpunktlage, Braunschweig, 12.Juni 2002
- [15] Kiesewetter, W
et al. Bremsassistent, In Automobiltechnische Zeitschrift Heft 99 (1997) S 330 - 339
- [16] Mitschke, Manfred
Wallentowitz, H. Dynamik der Kraftfahrzeuge 4. Auflage
Berlin/Heidelberg/New York, Springer Verlag, 2004
- [17] N.N
Auto Jahresbericht 2005, Verband der Automobilindustrie, 2004
- [18] N.N.
Fakra Handbuch Normen für den Kraftfahrzeugbau Band 1 Allgemeine Kfz-Technik, Stationäre Kreisfahrt ISO 4138, Lenkwinkelsprung ISO 7401, Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 1994ISO 7401
- [19] N.N
National Instruments, DIAdem 9.1 Evaluation Version
- [20] N.N
RK Rose + Krieger BLOCAN® Profilsysteme, Minden, 2004
- [21] N.N
http://www.abd.uk.com/german/fr_index.htm?/german/steering_robot/robot.htm
Seitenaufruf am 20.07.2005 um 19:32
- [22] N.N
http://www.adac.de/Search/SearchResult/RW_HighLight.asp?RWDoc2Show=WLang=de&RWCollectionID=adac&RW

- Query=Bremsen&RWURL=http://www.adac.de/
auto_motorrad/Fahrzeughaltung__nutzung/
so_bremst_der_assistent.asp&RWCookieValue
Seitenaufruf am 21.07.2005 um 19:27
- [23] N.N <http://www.caetel.de/pdf/doku-cl1.pdf>
Seitenaufruf am 20.07.2005 um 22:21
- [24] N.N. http://www.gregory.de/inertiale_messtechnik.htm
Seitenaufruf am 25.07.2005 um 11:43
- [25] N.N <http://www.gregory-technology.de/zubehoer.htm>
Seitenaufruf am 20.07.2005 um 23:38
- [26] N.N [http://www.ifm2005.net/download/
050620_Downloads/Rittenschober_Fahrdynamik
regelung.pdf](http://www.ifm2005.net/download/050620_Downloads/Rittenschober_Fahrdynamikregelung.pdf)
Seitenaufruf am 16.07.2005 um 13:36
- [27] N.N [http://www.rms-estsystems.de/de/produkte/
vehicle/fer100-200/fer100-200.html](http://www.rms-estsystems.de/de/produkte/vehicle/fer100-200/fer100-200.html)
Seitenaufruf am 20.07.2005 um 20:23
- [28] N.N [http://www.uni-due.de/imperia/md/content/
mechatronik/lehre/fahrdynamik_kap2_zusatz.pdf](http://www.uni-due.de/imperia/md/content/mechatronik/lehre/fahrdynamik_kap2_zusatz.pdf)
Seitenaufruf am 16.07.2005 um 13:37
- [29] N.N [http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/auto2002/
auto+normung/n_1.html](http://www.vda.de/de/service/jahresbericht/auto2002/auto+normung/n_1.html)
Seitenaufruf am 07.06.05 um 16:00 Uhr
- [30] N.N [http://www.vs-c.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/
vlu/daten/filter/filtern_glaetten_transformation.
vlu.html](http://www.vs-c.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/daten/filter/filtern_glaetten_transformation.vlu.html)
Seitenaufruf am 19.08.2005 um 10:58
- [31] N.N Wikipedia

-
- Seitenaufruf am
- [32] Reimann, Andre Diplomarbeit Aufbau eines Fahrdynamik Versuchs
fahrzeugs mit Hilfe eines Inertialmeßsystems,
FHTW-Berlin, 2004
- [33] Uhlig, Roland Beitrag zur Erarbeitung von Steuerungsalgorithmen
eines elektrischen Mehrmotorenantriebes für
Fahrzeuge an einem Laborversuchsstand, Cottbus,
2001
- [34] Zomotor, Adam Fahrwerktechnik: Fahrverhalten 1. Auflage Würzburg,
Vogel Verlag, 1987