



DIETER SCHARPE
UNTERNEHMEN UND BERATEN

Durchführung einer fahrdynamischen Fahrzeuguntersuchung

Autor: Dieter Scharpe



Ablauf der Untersuchung

1. Subjektive Bewertung

Fahrversuch aller Fahrzeuge

1.1 Subjektiv Unterschiede erkennen

1.2 Festlegung der Notenunterschiede der verschiedenen Fahrzeuge

1.3 Messung der Federwege bei Kurvenfahrt

(Werte für die Untersuchung der Rollfederung und Rollkinematik erforderlich – mindestens ein Fahrzeug)

2. Voraussetzungen

2.1 Statische Achsvermessung aller Fahrzeuge

2.2 Prüfung, bzw. Vergleiche von verschiedenen Komponenten anhand Ausstattungsliste bzw. Stückliste.

2.3 Vergleich Federraten

(Ausstattungsliste bzw. Vermessung)

2.4 Vergleich Standhöhen

(auf Kinematik-Meßstand)

2.5 Vergleich der Reifenfabrikate

3. Fahrwerksuntersuchung Kinematik

Versuchsdurchführung (siehe Anlage)

Bem: Vergleich aller Fahrzeuge sinnvoll

4. Fahrwerksuntersuchung Federung

Versuchsdurchführung (siehe Anlage)



5. Elastokinematik

5.1 Spur- und Sturzänderung bei Bremskraft Vorder-/Hinterachse im Radaufstandspunkt

5.2 Spur- und Sturzänderung bei Beschleunigung im Radmittelpunkt

5.3 Spur- und Sturzänderung bei Seitenkraft im Radaufstandspunkt
(über den Nachlaufwinkel korrigiert)

5.4 Gleichzeitige Messung der Nachgiebigkeit verschiedener Anlenkpunkte (Anzahl und Ort der relevanten Punkte können frei festgelegt werden) z.B.:

- Querlenkeranbindung
- Federbeindom
- Lenkungsanbindung etc.
- Längsträger
- Hilfsrahmen etc.

Bem. Zur Untersuchung empfehlen wir einen vereinfachten Versuchsaufbau, der jedoch ebenso genaue und aufschlußreiche Ergebnisse liefert.

Die Kräfte werden mit einem Hydraulikzylinder aufgebracht. Der Angriffspunkt der Kraft richtet sich nach dem Belastungsfall.

Der Adapter wird an dem geometrisch richtigen Punkt (Radmitte oder Radaufstandspunkt) mit den Kräften beaufschlagt.

Die eingebaute Kraftmesseinrichtung zeigt die aufgebrachten Kräfte an; hierzu werden die Spur- und Sturzwerte mit dem Achsmesscomputer aufgezeichnet.

Die Verformung der Karosserieanlenkpunkte und –träger werden mit der 3-D-Meßmaschine oder separaten Wegaufnehmern aufgezeichnet.

5.5 Lenksteifigkeit

Bei festgesetzter Lenkung wird im Radaufstandspunkt hydraulisch eine Verdrehung erzeugt.

Das Drehmoment, die Vorspur und die Sturzwerte werden aufgezeichnet. Die Verschiebung vom Lenkgestänge, der Lenkung und deren Aufnahme werden mit der 3-D-Meßmaschine aufgenommen. Zusätzlich wird die Nachgiebigkeit der Lenkung bzw. deren Spiel als Versatz im Nulldurchgang definiert.



5.6 Torsionssteifigkeit der Karosserie

Für die Vermessung der Torsionssteifigkeit verwenden wir ein relativ einfaches aber sehr aussagefähiges Verfahren.

Bei der Messung wird die Hinterachse starr über die Federbeindome (ww. Federauflage) oder über die äußeren Anlenkpunkte an der Meßplatte aufgenommen. Über eine Wippe wird in die beiden Federdome der Vorderachse oder ww. über die starr angebundenen Achsführungsgelenke wechselseitige und gleichzeitige Hebe- und Senkkkräfte eingeleitet.

Über die installierte Kraftmeßeinrichtung wird das Torsionsmoment ermittelt und mit den angebrachten Wegaufnehmern die Torsionsteifigkeit der Karosserie bestimmt.

Mit der 3-D-Meßmaschine können beliebig viele verschiedene Karosseriepunkte unter Torsion vermessen werden



Federungsuntersuchung

Die Untersuchung dient der Ermittlung der Federungsraten einer PKW-Federung und der relevanten Fahrzeugdaten. Durch entsprechend angebrachte Weg- und Kraftsensor bietet sie die Möglichkeit Federwegübersetzungen (Feder zu Rad) versuchstechnisch zu ermitteln.



Durchführung einer Untersuchung der Federung von Personenkraftwagen

A. Untersuchungsaufgabe

0. Gesamtfahrzeug

0.0 Datenzusammenfassung

0.01 Daten Gesamtfahrzeug

0.02 Daten Fahrwerk

0.03 Daten Federung

0.1 Ermittlung der Gesamtfahrzeugdaten

0.21 Lastverteilung als Limousine (bei CW, DW, GVW)

0.25 Lastverteilung als Kombilimousine (bei CW, DW, GVW)

0.31 Ermittlung des Fahrzeugschwerpunktes (bei CW, DW, GVW)

0.51 Berechnung des Aufbauschwerpunktes

5. Federung

5.1 Vorderachse gleichseitig

5.11 Kennlinie Radlast als Funktion des Radweges

Hysteresis des linken Rades

5.12 Kennlinie Radlast als Funktion des Radweges

Hysteresis des rechten Rades

5.21 Mittelwert - Federungskurve mit Radlast- und Radwegbemaßung

5.22 Berechnung der Aufbaugeschwindigkeitszahl n

5.3 Hinterachse gleichseitig

5.31 Kennlinie Radlast als Funktion des Radweges

Hysteresis des linken Rades

5.32 Kennlinie Radlast als Funktion des Radweges

Hysteresis des rechten Rades

5.41 Mittelwert - Federungskurve mit Radlast- und

Radwegbemaßung

5.42 Berechnung der Aufbaugeschwindigkeitszahl n



5.5 Vorderachse wechselseitig

Radrate, Kennlinie Radlast als Funktion des Radweges

5.51 linkes Rad ohne Stabilisator

5.52 linkes Rad mit Stabilisator

5.53 rechtes Rad ohne Stabilisator

5.54 rechtes Rad mit Stabilisator

5.7 Hinterachse wechselseitig :

Radrate, Kennlinie Radlast als Funktion des Radweges

5.71 linkes Rad ohne Stabilisator

5.72 linkes Rad mit Stabilisator

5.73 rechtes Rad ohne Stabilisator

5.74 rechtes Rad mit Stabilisator

5.78 Ermittlung von i_w bei Starr- und Torsionslenkerachsen

5.79 Berechnung der wechselseitigen Federung bei Starr- und
Torsionslenkerachsen



B. Allgemeines

Nach Durchführung der Messung wird in einem entsprechenden Versuchsbericht zusammenfassend Besonderheiten, typische Vor- und Nachteile mit Angabe der gemessenen Werte herausgestellt, auch werden mögliche Auswirkungen auf den praktischen Fahrbetrieb beschrieben.

C. Grundlagen zur Messungsdurchführung

1. Beladungszustände

Bei SUB werden sämtliche Messungen ausgehend von der Normallage nach ISO / IS 2958 durchgeführt. Diese „0“ – bzw. Normallage DW bedeutet bei 4 – bis 5 – sitzigen PKW eine Besetzung des Fahrzeuges mit zwei Personen zu je 68 kg auf den in Fahrstellung befindlichen Vordersitzen und einer Person auf der Rücksitzbank. Die Vorderlehnen werden dabei, wenn sie verstellbar sind, in eine 25° - Neigung zur Senkrechten gebracht.

Das Fahrzeug muß bei allen Messungen voll getankt sein und die vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Gegenstände – Warndreieck und Verbandskasten – mitführen.

Diese Normallage entspricht der auf den verschiedenen Formblättern festgelegten Nulllinie. Andere Beladungszustände sind dann durch Pfeile zu kennzeichnen.

Dabei gilt: CW – Leerzustand, DW – Normallage, GVW – Lage bei zulässigem Gesamtgewicht. Als Bezugsmaß für die Beladungszustände sind die entsprechenden Höhenmaße aufzunehmen. Das Höhenmaß definiert als Abstand zwischen Radmitte zu Radhausausschnitt, ergibt sich aus dem gemessenen Radlippenmaß abzüglich des halben Felgendurchmessers.

Beim Anbringen der Lineale ist auf eine ausreichende Beweglichkeit in vertikaler Richtung zu achten. Vor der Aufnahme der Werte ist das Fahrzeug leicht durchzuschwingen, um Verklebungen zu lösen.

2. Wegkompensation

Bei Einzelradaufhängungen mit mehr als 4° Sturzänderung bezogen auf den gesamten Federweg, ist der Fehler zu kompensieren, der sich durch das Anbringen der Meßlineale am Felgenhorn – also außerhalb der Radmitte – ergibt. Diese Wegkompensation kann auf dem vorbereiteten Formblatt durchgeführt werden.



Der gleiche Fehler entsteht beim Krängen des Aufbaus zur Bestimmung der wechselseitigen Federrate. Zusätzliche Fehlerquellen ergeben sich noch durch die Neigung der am Aufbau befestigten Lineale beim wechselseitigen Ein- und Ausfedern der Karosserie und durch das eventuell auftretende seitliche Versetzen relativ zur Achse.

Hierbei bietet sich die Möglichkeit an, die Federwege direkt als Bewegung der Dämpfer bzw. der Federn selbst aufzunehmen und mit den Wegübersetzungen i_{w_D} bzw. i_{w_F} auf den Radaufstandspunkt umzurechnen.

D. Durchführung

0.0 Datenzusammenfassung

0.01 Daten Gesamtfahrzeug

In das Formblatt 0.01 werden die vorderen und hinteren Achs- und Radlasten eingetragen, die in der Messung 0.21 ermittelt werden, hierbei sind die verschiedenen Belastungszustände zu unterscheiden. Die Reifen und Felgendaten werden den entsprechenden technischen Unterlagen (Reifenhandbücher usw.) entnommen.

0.02 Daten Fahrwerk

Auf dem Formblatt für die Fahrwerkdaten 0.02 sind vorab die Sollwerte einzutragen, wie sie vom Hersteller angegeben werden.

0.03 Daten Federung

Das Datenblatt enthält die wichtigsten Werte der Federung. Einige Angaben über den technischen Aufbau müssen am Fahrzeug bestimmt werden oder können den Unterlagen der Hersteller entnommen werden. Die Wegübersetzung wird am Fahrzeug abgemessen und berechnet.

Die Federwege sind den Mittelwert – Federungskurven zu entnehmen.

Berechnung der Schwingungszahl :

$$n_{v,h} = 9,55 \sqrt{\frac{C_{2v,h}}{m_{2v,h}}} \quad [\text{min}^{-1}]$$

C₂ in N / m

m₂ in kg



0.1 Ermittlung der Gesamtfahrzeugdaten

0.21 Lastverteilung als Limousine

a. Erläuterung:

Beim unbeladenen PKW hängt die Achslastverteilung in erster Linie von der Antriebsart ab. Bei zunehmender Beladung ändert sich diese Verteilung mehr oder weniger stark je nach Lage des Kofferraums und je nach Größe des Radstandes. Wichtig für die Beurteilung eines Fahrzeugs ist also die Beladungsempfindlichkeit. Bei leichteren PKW mit etwa 900 kg Leergewicht spielt eine heute übliche Zuladung von 900 kg im Verhältnis zum Fahrzeuggewicht eine weit größere Rolle, als bei schweren, deren Gewicht über 1500 kg liegt. Aufgabe der Messung ist es nun festzustellen, ob bei dem untersuchten Fahrzeug die Lastverteilungen im Leerzustand und bei voller Beladung in, für den Fahrbetrieb vertretbaren Bereichen liegen. Auch ist festzustellen, ob bei Ausnutzung der gesamten Zuladung keine Überschreitung der zulässigen Achslasten auftritt.

b. Versuchsaufbau :

Meßstand – PKW Federung und Schwerpunkt ZM1 in Verbindung mit den Einzelwaagen Nr. 71 und 72.(wahlweise vier Waagen verwenden)

c. Versuchsablauf :

Vorbereitende Maßnahmen siehe unter Punkt C.

Während der Wägung muß beachtet werden, daß die Handbremse gelöst und das Getriebe in den Leerlauf geschaltet ist.

Zuerst wird das Leergewicht über die Radlasten des Fahrzeugs festgestellt, in dem Vorderachse und Hinterachse nacheinander auf die Waageplatten gestellt werden.

Die am Fahrzeug befestigten Lineale ergeben nun die Höhenmaße. Diese sind aufzunehmen und in das Formblatt 0.02 als Leermaß (CW) einzutragen. Hat das Fahrzeug einen hinten liegenden Kofferraum, so bleibt die Hinterachse auf den Waageplatten und zwei Personen mit beliebigem Gewicht setzen sich zuerst auf die Vorder- und dann auf die Hintersitze.



In beiden Fällen wird die Hinterachse ermittelt, um hieraus die Achslasterhöhung Δm und die Lastverteilung bei Besetzung mit Normalpersonen (68 kg) bestimmen zu können. Anschließend wird das leere Fahrzeug mit Gepäck beladen, das in der Mitte des Kofferraums angeordnet wird. Die Kofferraumlast ergibt sich aus folgender Beziehung:

zulässiges Gesamtgewicht minus gewogene Achslasten
minus Gewicht der zulässigen Personenzahl.

(siehe auch Formblatt „Lastverteilung“)

Auch bei dieser Wägung sind die Radlasten aufzunehmen.

d. Versuchsauswertung :

Mit den im Formblatt 1 aufgenommenen Werten ist erstens die prozentuale Achslastverteilung zu berechnen und aufzutragen und zweitens die Achslasten in Abhängigkeit des jeweiligen Beladungszustandes graphisch darzustellen.

0.25 Lastverteilung als Kombilimousine :

wie 0.21 unter Berücksichtigung der anderen Zuladungen.

0.31 Ermittlung des Fahrzeugschwerpunktes :

bei folgenden Belastungszuständen:

Leer, 2 Personen und 4 Personen

a. Erläuterung :

Zur Berechnung des Bremsverhaltens und des Steigvermögens eines Fahrzeugs wird die Lage des Fahrzeugschwerpunktes S in x – y – z Richtung bezogen auf die Bodenebene, Mitte Vorderachse und seitlich zur Mitte Fahrzeug benötigt. Die Lage des Schwerpunktes ist von der Beladung abhängig, beim Einsteigen von Menschen bzw. beim Zuladen von Gepäck verlagert sich der für das Leerfahrzeug ermittelte Schwerpunkt nicht nur in Längsrichtung, sondern wandert auch geringfügig nach oben. Da ein Berechnen der Schwerpunktlage fast nicht möglich ist, wird die Ermittlung durch Wägung erreicht, was ausreichend genau ist.



b. Versuchsaufbau :

Maßstand – PKW Federung und Schwerpunkt Z M1 in Verbindung der Einzelwaagen Nr. 71 und 72, einem Höhenausgleich zur Hebebühne einer Arretierung gegen Rollen des Fahrzeugs und einer Blockierung, die das Einfedern des Aufbaus verhindert.

c. Versuchsablauf :

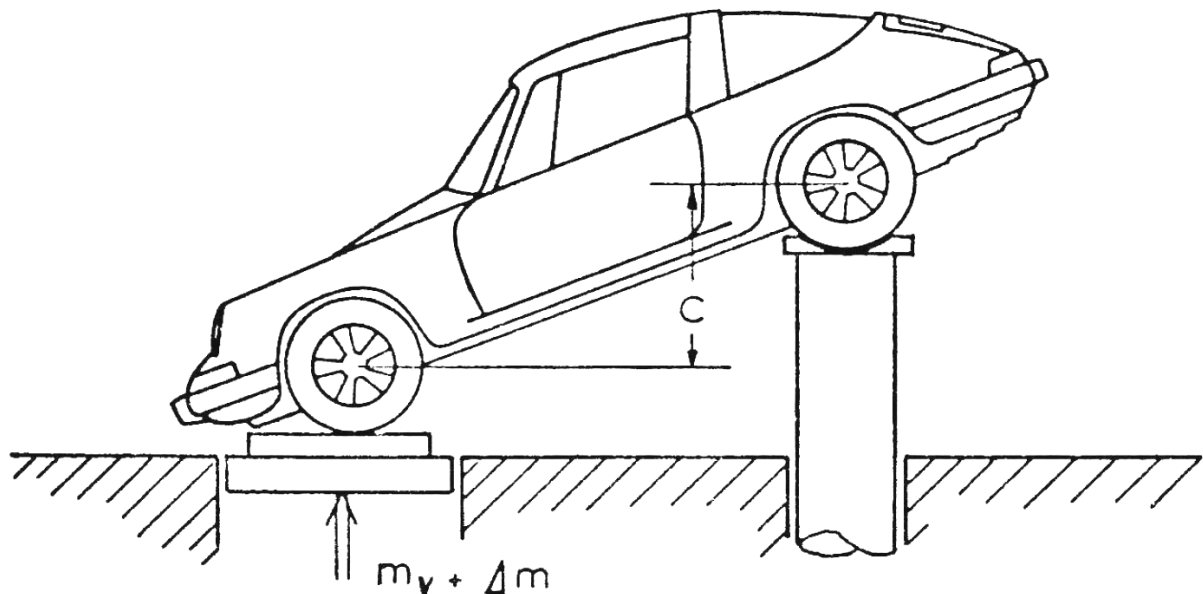
Zuerst ist die Vorderachse und anschließend die Hinterachse mit der Hebebühne so hoch wie möglich anzuheben, wobei die andere Achse in der Mitte der Waageplatten stehen muß.

An der anzuhebenden Achse ist das Fahrzeug von Außen gegen Abrollen zu sichern. Die Bremse muß gelöst und das Getriebe in den Leerlauf geschaltet sein. Beide Achsen sind gegen Aus- bzw. Einfedern zu blockieren. Die Blockiereinrichtung ist verstellbar auszuführen, damit das Einsinken des Aufbaus bei anderen Beladungszuständen berücksichtigt werden kann.

Um auch die Reifenfederung auszuschalten, empfiehlt es sich, den Reifendruck an beiden Achsen auf 3,5 bar zu erhöhen.

Von der horizontalen Lage ausgehend, wird die Hebebühne um jeweils 20 mm bis zum höchsten erreichbaren Wert angehoben, hierbei darf der Aufbau nicht aufsetzen.

Fünf Messungen je Reihe sind für die sich anschließende Berechnung ausreichend. Bei den einzelnen Stufen sind die Anhebe Wege C und die jeweiligen Achslasten, sowohl bei angehobener Hinterachse und Vorderachse in das Meßblatt „Schwerpunkt“ aufzunehmen.



d. Versuchsauswertung :

Die Achslastdifferenzen Δm aller Wägungen (3 Belastungs-zustände) werden dann als Funktion von $\tan \alpha$ getrennt für Vorder- und Hinterachse aufgetragen. Es ergeben sich auf diese Weise streuende Meßpunkte, durch die zur Auswertung vom Nullpunkt kommend, ausmittelnd eine Gerade zu legen ist. Bei der Bezugsgröße für $\tan \alpha = 0,5$ und den entsprechenden Achslastdifferenzen ist die Schwerpunkthöhe h_g für alle Belastungs-zustände nach folgender Formel zu berechnen.

$$h_g = \frac{L_R}{m_g} * \frac{\Delta m}{\tan \alpha} + r_{dyh}$$

Die Schwerpunktlage und deren Abstände $L_V + L_h$ von den Achsmitten ist dann graphisch darzustellen.

$$L_V = \frac{m_h}{m_g} * L_R \qquad L_h = L - L_V = \frac{m_v}{m_g} * L_R$$

Treten bei der Wägung an den Achsen verschieden große Radlasten auf, so ist auch der Abstand der Schwerpunktlage von der Mitte Fahrzeug nach folgender Formel zu berechnen.

Diese Rechnung ist nur im Leerzustand (CW) durchzuführen, da davon ausgegangen werden kann, daß das Fahrzeug symmetrisch beladen wird.



Für die Vorderachse gilt :

$$b_v = \frac{Fn_{RV}}{m_v} * b_V$$

Für die Hinterachse gilt:

$$b_{hr} = \frac{Fn_{Rh}}{m_h} * b_h$$

Die für diese Berechnung des Kurvenverhaltens wichtige Lage des Aufbauschwerpunktes ergibt sich aus folgender Beziehung.

$$m_w = m_g - (U_v + U_h)$$

und die Abstände Lw_v bzw. Lw_h zu den Achsmitten:

$$Lw_v = \frac{W_h}{W} * L \qquad Lw_h = \frac{W_v}{W} * L$$

dabei ergibt sich W_h aus $G_h - U_h$

und analog dazu W_v aus $G_v - U_v$

5. Federung

5.1 Vorderachse gleichseitig

5.1.1 Kennlinie Radlast als Funktion des Radweges.

a. Erläuterung

Die Federung selbst, jedoch meist in Verbindung mit der Dämpfung sind bei einem Straßenfahrzeug hauptverantwortlich für Fahrkomfort, Fahrsicherheit und Kurvenverhalten. Weiche Federn und große Federwege sind die eigentliche Voraussetzung für hohen Fahrkomfort. Härtere Federn sind für eine ausreichende Nicktschwingungsfreiheit und



gute Bodenhaftung der Räder notwendig, letzteres entspräche also auch der Forderung nach Fahrsicherheit.

Nachteilig bei einer weichen Federung ist jedoch die stärkere Rollneigung des Aufbaus in Kurven, dem jedoch durch Einbau von Stabilisatoren begegnet werden kann. Als weiterer Vorteil einer weichen Federung ist die hieraus resultierende niedrige Schwingungszahl. Der Mensch nimmt bei niedrigen Schwingungszahlen ($n_{II} \sim 30 \text{ min}^{-1}$) die Schwingwege um 80 % weniger wahr, als bei üblichen harten Federungen mit Schwingungen von 100 min^{-1} .

Eine weitere Einflussgröße auf die Federung ist die Eigenreibung der Gelenke. Diese liegt im Normalfall bei etwa 25 bis 90 Kg und vergrößert die Schwingungszahl um ca. 5 bis 15 %, wirkt also federungsverhärtend. Da den Federwegen konstruktive Grenzen gesetzt sind, müssen sogenannte Druck- und Zuganschläge verwendet werden, um zu hartes Durchschlagen der Achsen bei stoßartiger Belastung zu verhindern. Um deren Federrate bestimmen zu können, ist es erforderlich das Fahrzeug über die zulässigen Achslasten hinaus zu belasten. Da heute allgemein mit einem Stoßfaktor 2 bis 2,5 gerechnet wird, gilt die doppelte zulässige Achslast als erforderlich, in den meisten Fällen aber auch als ausreichend.

Heute häufig verwendete progressive Federn haben ebenfalls die Aufgabe, das starke Absinken des Aufbaus bei Beladung durch größer werdende Federkraft zu verringern, mit dem zusätzlichen Vorteil, bei größer werdender Achslast, die Schwingungszahl möglichst konstant zu halten.

b. Versuchsaufbau

Messstand Federung und Schwerpunkt ZM 1 in Verbindung der Einzelwaagen 71 und 72.

Außerdem benötigte Geräte: Höhenausgleich der Waagen zur Hebebühne, Zusatzgewichte zur Beladung des Fahrzeugs, Schiebe- bzw. Drehplatten zum Ausgleich von Vorspur- und Spurweitenänderungen.



c. Versuchsablauf

Zugvorrichtung zur Fahrzeugaus- und -einfederung

Bei dieser Messung sind ebenfalls die Grundlagen zur Messungsdurchführung (siehe unter Punkt C) zu beachten. Das Fahrzeug wird mit den zu messenden Achsen auf die Einzelwaagen gestellt, wobei darauf zu achten ist, dass die Radaufstandspunkte vorne und hinten auf der gleichen Höhe liegen.

Um ein Verklemmen der Achsaufhängung durch eventuell auftretende Vorspur- oder Spurweitenänderungen auszugleichen, sind Dreh- bzw. Schiebepplatten unter die Räder zu legen.

Das Fahrzeug wird nun mit den beiden Stellmotoren (Zug- Druckvorrichtung) eingefedert, bis die Waagen die doppelte Achslast anzeigen. An den angebrachten Linealen bzw. an den Wegsensoren angezeigten Werte wird das Höhenmaß abgelesen und mit der entsprechenden Achslast in das Messblatt eingetragen. Hieraus ergibt sich der Radweg als Funktion der Achs- bzw. Radlast.

Durch beidseitiges Anheben des Aufbaus wird die Radlast zunehmend verringert, bis die Räder abheben, die Radlasten also den Wert Null erreicht haben.

Jetzt wird der Aufbau abgesenkt, bis die Waagen wieder die doppelte Achslast anzeigen.

Um einen genauen Kurvenverlauf zu erhalten, ist es erforderlich, die Ablesestufen möglichst klein zu halten. Für den mittleren Bereich (zwischen dem Einsetzen von Druck- und Zuganschlag) sind die Stufenabstände in der Größe von ~10 mm Federweg zu wählen. Bedingt durch die geringen Federwege, sind nach Einsetzen der Anschläge Lastsprünge von 15 Kg zu wählen, um deren Federhärte genau ermitteln zu können.

Für die genaue Auswertung dieser Wägung ist es besonders wichtig, dass sowohl beim Be- als auch Entlasten der Aufbau nur immer in einer Richtung bewegt wird, damit keine Lastdifferenzen, bedingt durch die Klemmwirkung der Gelenke, die Messwerte verfälschen.



d. Versuchsauswertung

Von Radlast und Federweg Null ausgehend sind die Lastangaben und die Federwege in das Formblatt für die Kennlinie „Radlast zu Radweg“ zu übertragen. Die hierbei entstehenden Hysteresis-Kurven sind für alle Räder zu erstellen.

Die Lastreibung, die von der Eigenreibung der Gelenke her resultiert, ist beim Federweg für zwei Personen-Besetzung der Kurve zu entnehmen. Aus diesen Hysteresis-Kurven ist nun die sogenannte „Mittenwert-Federungskurve mit Radlast und Radwegbemaßung“ für eine Achse zu erstellen.

Die notwendigen Werte für die Federwegbemaßung sind den Messungen der Lastverteilung zu entnehmen. Außerdem sind die Einsatzpunkte der Anschläge einzutragen.

Anschließend sind dem Diagramm die Federwege zu entnehmen und nach dem vorgegebenen Schema in das Formblatt 0.003 einzutragen. Zur Berechnung der Schwingungszahl n ist sowohl die auf den Radaufstandspunkt bezogene Federrate als auch die Achslast bei Nulllage an der Kurve abzulesen.

5.3 Hinterachse gleichseitig

5.31 Kennlinie Radlast als Funktion des Radweges

Hysteresis des linken Rades

5.32 Kennlinie Radlast als Funktion des Radweges

Hysteresis des rechten Rades

5.41 Mittenwert-Federungskurve mit Radlast- und Radwegbemaßung

5.42 Berechnung der Aufbauschwingungszahl

(Wie Punkt 5.1 Vorderachse gleichzeitig)

5.5 Vorderachse wechselseitig

Radrate, Kennlinie Radlast als Funktion des Radweges.

5.7 Hinterachse wechselseitig

Radrate, Kennlinie Radlast als Funktion des Radweges.



a. Erläuterung

Während die Federung selbst die Aufgabe hat, für guten Fahrkomfort und eine ausreichende Bodenhaftung zu sorgen, so beeinflusst die sogenannte "wechselseitige" Federung in entscheidendem Maße das Kurvenverhalten eines Fahrzeugs. Durch hohe Federraten C 2 und noch zusätzliche Stabilisatoren lassen sich große Radlaständerungen bei gleichgebliebenen Rollmoment hervorrufen. Eine geringe Seitenneigung und ein provoziertes Abbau der Über- und Untersteuertendenzen sind der Erfolg dieser Maßnahme. Auf diese Art und Weise lassen sich auch kinematische Nachteile einer Achskonstruktion ausgleichen.

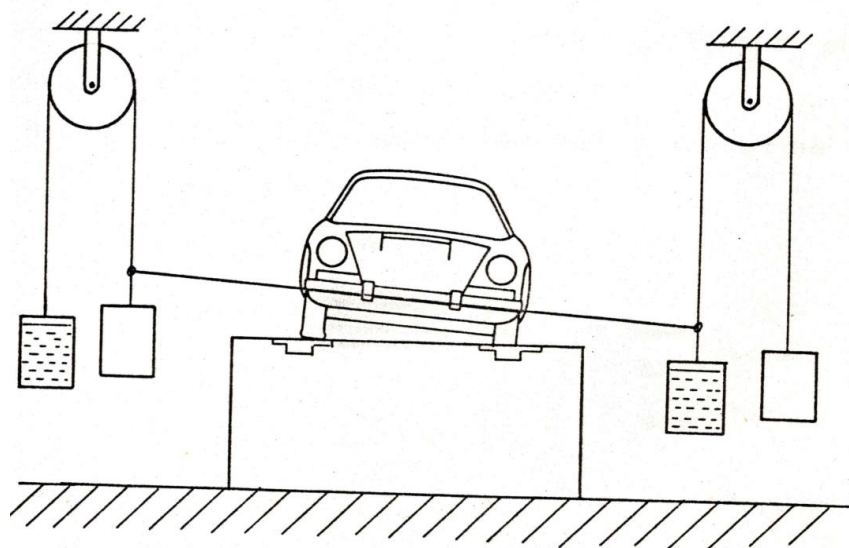
So ließe sich zum Beispiel bei einem Fronttriebler mit tiefem hinteren Momentanzentrum, was eine zusätzliche Vergrößerung der konzeptionsbedingten Untersteuerneigung bedeutet, bedingt durch eine geringe Radlastverlagerung bei Kurvenfahrt an der Hinterachse, durch einen starken Stabilisator, diesen Nachteil kompensieren.

b. Versuchsaufbau

Messstand "Federung und Schwerpunkt"

ZM1 in Verbindung der Einzelwaagen 71 und 72.

Außerdem benötigte Geräte: Aufbaugestelle (Teile Nr.),
Schiebe- bzw. Drehplatten (Teile Nr.), Querträger (Teile
Nr.), Waagenheber (Teile Nr.), diverse Gewichte.





c. Versuchsablauf

Ausgangslage für diese Messung ist ebenfalls die Nulllage nach ISO; die Höhenmaße bei DW sind also einzurichten.

Das Fahrzeug wird mit den zu messenden Rädern auf die Aufbaugestelle / Hebebühne, die möglichst in der Mitte der Waage stehen, aufgebaut.

Zur Aufbringung eines ausreichend großen Kippmomentes wird ein ca. 4 m langer Querträger quer zur Fahrtrichtung mittig im Fahrzeug befestigt. An den Enden werden dann entsprechende Kräfte aufgebracht, um den Aufbau zu "krängen".

Bei der Versuchsdurchführung, die von der Stellung "links voll eingefedert" über Null bis "rechts voll eingefedert" vorgenommen wird, sind die Krafrichtungen entsprechend zu wechseln. Während der Durchführung der Messung ist zu beachten, dass sich die bei Rollwinkel $\psi = 0$ gemessene Achslast nicht ändern kann, das heißt also, dass beim Krängen des Aufbaus die Radlasterhöhung auf der einen Seite der Radlastverringerung auf der anderen Seite entsprechen muss, nur die Federwege links und rechts können unterschiedlich groß sein. Die Forderung, dass $\Delta m/2$ an beiden Rädern zahlenmäßig gleich groß ist, muss bei allen Schrägstellungen erfüllt sein und muss durch genaues Abgleichen der aufzubringenden Lasten erreicht werden. Wie bereits beschrieben, ist von "rechts voll eingefedert" auszugehen, dabei sind die Werte für die Radlaständerung und die Höhenmaße aufzunehmen und in das Messblatt einzutragen. Da, bedingt durch die Eigenreibung der Gelenke, Lastdifferenzen auftreten, ist es wichtig, den Aufbau von Anschlag zu Anschlag kontinuierlich nur in einer Richtung zu bewegen.

Die Ablesestufen sind bei Radlastdifferenzen von $\Delta m/2 \approx 10 \text{ Kg}$ festzulegen. Ist das zu messende Fahrzeug mit Stabilisatoren ausgerüstet, ist die Messung an Vorder- und Hinterachse sowohl mit als auch ohne Stabilisatoren durchzuführen.

Wie aus einer einfachen Momentengleichung zu ersehen ist, wäre bei gleichen Kräften, also Anhebekraft gleich Absenkkraft, auch die Radlaständerung an beiden Rädern gleich groß. Es ist also möglich, durch



einen entsprechenden Versuchsaufbau, das zeitraubende Abgleichen der Kräfte, um ein gleiches $\Delta m/2$ an den Rädern zu erhalten zu vereinfachen.

d. Versuchsauswertung

Die Federwege (Höhenmaße) und die Radlastdifferenzen sind in das Formblatt 5 zu übertragen. Durch die Eigenreibung der Gelenke entsteht hierbei eine Art Hysteresis. Es sind aus den gemessenen Werten folgende Kurven zu erstellen:

Vorderachse mit und ohne Stabilisator

Hinterachse mit und ohne Stabilisator

(Bei Starrachsen kommt noch das errechnete C_{2w} hinzu)

In den Mittelbereich, bei etwa der Hälfte der Radlastdifferenzen sowohl positiv als auch negativ, ist durch den Nullpunkt eine ausmittelnde Gerade zu legen. Diese Geraden werden aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit jeweils für ein Rad mit und ohne Stabilisator auf ein Formblatt übertragen. Aus den Steigungen der Geraden lassen sich die Federraten für $C_{2w} + C_3$ und für C_{2w} ermitteln.

Die Differenz von $(C_{2w} + C_3) - C_{2w}$ ergibt die auf ein Rad bezogene Stabilisatorrate. Bei Fahrzeugen mit Starrachsen ist die wechselseitige Federung zu berechnen, da die Aufbauabstützung über den Wirkabstand V_F der Federn erfolgt. Es ergibt sich also, bedingt durch die Wegdifferenz zwischen Federweg und Radweg relativ zum Aufbau beim Krängen, eine geringere Federrate als beim gleichseitigen Federn.

Im vereinfachten Fall ergibt sich die Wegübersetzung aus folgender Beziehung:

$$i_w = t_v/V_F$$



Kinematik Untersuchung

Durchführung einer Untersuchung der Kinematik von
Personenkraftwagen

A. Untersuchungsaufgabe

0. Gesamtfahrzeug

0.0 Datenzusammenfassung

0.01 Daten Gesamtfahrzeug

0.03 Daten Fahrwerk

0.1 Ermittlung der Fahrzeugdaten

0.13 Messung der Spurweiten bei DW (hinten/vorne)

0.73 Rollachse als Verbindungslinie der Momentanzentren
vorn und hinten.

1. Kinematik bei gleichseitiger Federung

1.1 Vorderachse ausgehend von der Normallage DW

1.11 Sturzänderung relativ zum Boden

1.13 Spurweitenänderung

Vorspuränderung beider Räder getrennt

Messung des Lenkrollhalbmessers R_0 , der Spreizung und
des Sturzes bei ausgeschaltetem Nachlauf

Berechnung des Bremskrafthebelarmes R_1 ,
des Längskraft- (Stör-) Hebelarmes R_2 und
des Hochkrafthebelarmes R_3

Messung des Nachlauf- bzw. Vorlaufversatzes

1.5 Hinterachse, Einzelradaufhängung ausgehend von der Normallage DW

1.51 Sturzänderung



1.53 Spurweitenänderung

1.55 Vorspuränderung beider Räder getrennt

1.7 Hintere Torsionslenkerachse ausgehend von der Normallage DW

1.71 Sturzänderung

1.73 Spurweitenänderung

1.75 Vorspuränderung beider Räder getrennt

1.77 Verdrehwinkel

3. Kinematik, Hinterachse, bei wechselseitiger Federung

3.7 Starrachse, Eigenlenkverhalten

3.71 Beladungszustand 2 Personen

3.72 Beladungszustand 4 Personen

3.78 Beladungszustand zul. Achslast

4. Lenkung

4.1 Lenkkinematik als Funktion der Radeinschlagwinkel bei Normallage DW

4.11 Sturzänderung beider Räder

4.12 Spurdifferenzwinkel $\Delta \beta = \beta_i - \beta_a$

4.14 Nachlaufänderung beider Räder

4.21 Lenkübersetzung als Funktion des Radeinschlagwinkels

4.31 Spur-, Bordstein, -innerer- und äußerer Wendekreisdurchmesser

B. "Allgemeines" wie im Teil "Federung"

C. "Grundlagen zur Messdurchführung" wie im Teil "Federung"



D. Messungsdurchführung

0.0 Datenzusammenfassung

0.01 Daten Gesamtfahrzeug

Die in das Formblatt 0.01 einzutragenden Werte beschränken sich auf die Angaben der Reifen- und Felgendaten, die den Herstellerunterlagen zu entnehmen sind.

0.03 Daten Fahrwerk

Als Zusammenstellung aller Fahrwerkdaten dient das Formblatt 0.03. Die vom Hersteller angegebenen Daten der Fahrwerkeinstellung sind hier vor Durchführung der Messungen als Sollwerte einzutragen. Ist auch der Lenkrollhalbmesser R_0 angegeben, sind zusätzlich die Hebelarme R_2 und R_3 mit den Sollwerten zu berechnen. Die Höhenmaße (Abstand – Radmitte zu Radhausausschnitt) der verschiedenen Beladungszustände – bei den folgenden Messungen als Bezugsgröße wichtig – müssen vorab ermittelt werden.

Sind die Messungen durchgeführt, dann müssen die gemessenen Istwerte der Fahrwerksdaten eingetragen werden.

0.1 Ermittlung der Fahrzeugdaten

0.13 Messung der Spurweite bei DW (vorne und hinten)

Da die kinematischen Messungen ausgehend von der Normallage durchgeführt werden, so ist auch die Spurweite bei diesem Beladungszustand zu messen. Hierzu werden die Reifen an einer Stelle eingefärbt und über einen Bogen Papier abgerollt.

0.73 Rollachse als Verbindungslinie der Momentanzentren

vorne und hinten

a. Erläuterung.

Die Stellung und die Länge der Lenker der Einzelradaufhängungen bzw. die Abstützpunkte von Starr- und Verbundlenkerachsen am Aufbau bestimmen die Lage des Momentanzentrums. Es ist jener Punkt, um den sich der Aufbau bei Angriff von Seitenkräften beginnt zu neigen. Das Momentanzentrum ist in Längsrichtung – in Achsmitte – und in Querrichtung – in Fahrzeugmitte anzugeben. Die gedachte Verbindung



der Momentanzentren von Vorder- und Hinterachse, ist die Rollachse. Sie verläuft meist nicht parallel zur Straßenoberfläche, bei den meisten heute üblichen Konstruktionen - vor allem aber bei allen Fronttrieblern -, ist sie nach vorne geneigt.

Die Lage des Momentan Zentrums kann z.B. Aufschluss über die Spurweitenänderung geben. Ein hohes Momentanzentrum bedeutet eine große Spurweitenänderung, ein am Boden liegendes bedeutet keine Spurweitenänderungen. Die Pollage lässt andererseits erkennen, wie stark und in welcher Richtung sich der Sturz beim Ein- und Ausfedern ändert. So bedeutet eine tiefe Pollage mit großem Abstand vom Rad geringe Sturzänderung in Richtung positiver Sturz und eine hohe Pollage nahe am Rad bedeutet starke Sturzänderung beim Einfedern in Richtung negativ, beim Ausfedern in Richtung positiv. Da sich der Aufbau bei Einwirkung von Seitenkraft in der Höhe der Momentanzentren abstützt, gibt diese Höhe Auskunft darüber, wie groß die Radlaständerung an der entsprechenden Achse ist, unabhängig von der Beeinflussung durch die wechselseitigen Federraten.

Hierbei besteht folgende Beziehung:

Ein hohes Momentanzentrum (kleiner Hebelarm zwischen Schwerpunktachse und Rollachse) – große Radlaständerung, und entsprechend liegt bei einem tiefen Momentanzentrum eine geringe Radlaständerung vor.

Die Angaben "hoch, tief, nah" und "weit" sind nur als relativ zu betrachten.

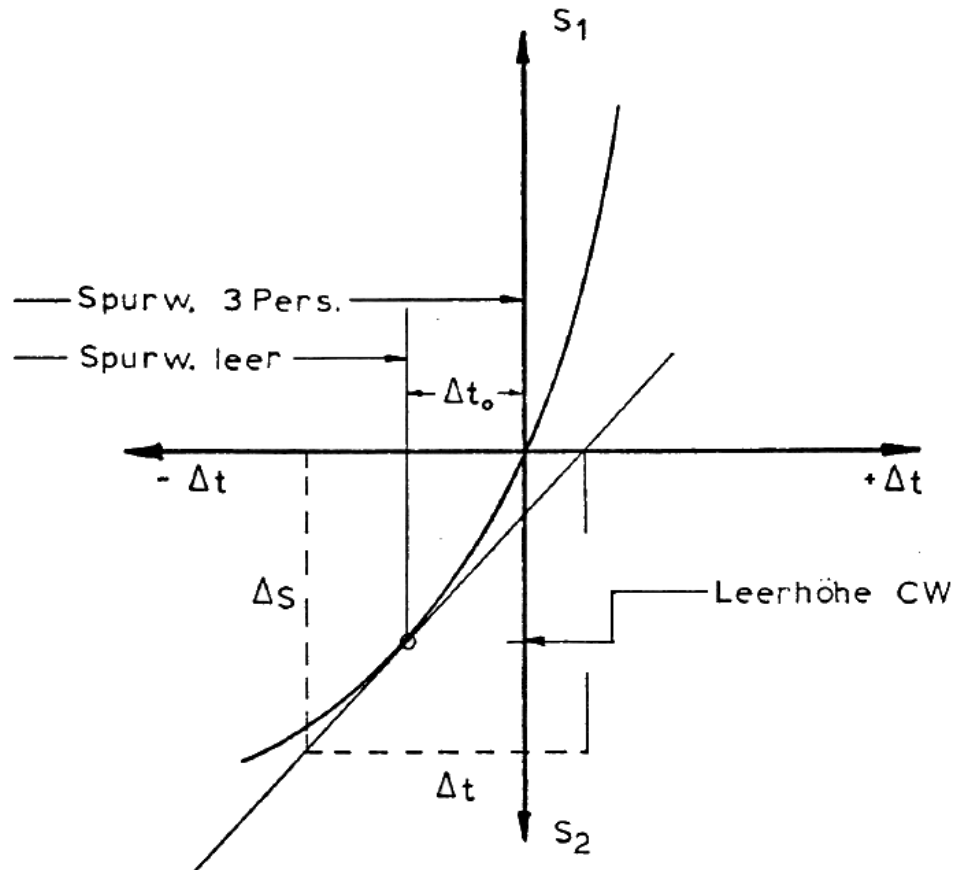
b. Versuchsaufbau

c. Versuchsablauf

Bei Einzelradaufhängungen gibt es zwei Wege das Momentanzentrum zu bestimmen.

Aus der, in der Erläuterung erwähnten Beziehung, ergibt sich die Möglichkeit, anhand der Spurweitenänderungskurve, die in der Messung 1.13 erstellt wird, das Momentanzentrum zu ermitteln.

Dazu sind an die Kurve bei den Beladungszuständen leer, 2-, 3-Personen und zul. Achslast Tangenten zu legen und aus folgender geometrischer Beziehung die Lage der Momentanzentren zu berechnen.



$$m,n = \Delta t / \Delta S * t_{hv} + (\Delta t_0) / 4$$

Die andere Möglichkeit besteht darin, die Lenkeranlenkpunkte auszumessen und die Lage der Momentanzentren zeichnerisch festzustellen. Dieses Verfahren ist bei Starr- und Koppellenkerachsen anzuwenden.

d. Versuchsauswertung

Die Verbindung von vorderem und hinterem Momentanzentrum wird als Rollachse bei ISO-Lage im Formblatt festgehalten.



1. Kinematik bei gleichseitiger Federung

Vorbemerkung.

Um die Versuchsabläufe übersichtlicher gestalten zu können ist es sinnvoll, jede Messung einzeln zu beschreiben. Bei der Durchführung der Untersuchung ist dann jeweils zu überlegen, welche Einzelmessungen zusammenhängend durchzuführen sind.

1.1 Vorderachse ausgehend von der Normallage DW

1.11 Sturzänderung relativ zum Boden

a. Erläuterung

Der Sturz und dessen Änderung ist wichtig für die Größe der Aufnahme von Seitenkräften bei Kurvenfahrt. Der Nachteil einer Einzelradaufhängung (alle modernen Personenkraftwagen haben einzeln geführte Vorderachsen) ist es, dass sich die Räder in der Kurve mit dem Aufbau neigen, das heißt, das kurvenäußere Rad geht in positiven Sturz, und die Seitenführung dieses (im Gegensatz zum Kurveninneren) höher belasteten Rades verringert sich. Um einen Ausgleich zu schaffen, wäre es sinnvoll, die Radaufhängung konstruktiv so ausulegen, dass die Räder beim Einfedern in negativen Sturz gehen.

b. Versuchsaufbau

Messstand – Kinematik

Benötigte Geräte: Drehteller (Nr.), Beißbarth ML 4000 o.ä.

(Nr.), Anhebe- und Absenkvorrichtung (Nr.)

c. Versuchsablauf

Gemessen wird die Sturzänderung als Funktion des Federweges alle 10 mm. Dazu ist das Fahrzeug mit den Vorderrädern auf die Drehteller zu stellen, damit sich die Vorspur- und Spurweitenänderungen ausgleichen können. Es ist nun die Lenkung in Geradeausstellung zu bringen und die Bremse zu blockieren. Das Fahrzeug wird nun mittels einer Hebevorrichtung ganz ausgefedert und von diesem Punkt beginnend, ist die Messung durchzuführen. Ist die Leerlage erreicht,



wird der Aufbau durch eine Zugvorrichtung abgesenkt, bis der maximale Einfederweg erreicht ist.

1.13. Spurweitenänderung

a. Erläuterung

Als optimal anzusehen wäre eine Spurweitenänderung von $\Delta t = 0$. Notwendig wäre ein am Boden liegendes Momentanzentrum. Der nachteilige Einfluss auf das Sturzverhalten wurde bereits erwähnt. Bei einer über den gesamten Federweg konstanter Spurweite wären geringer Reifenverschleiß und geringe Störeinflüsse durch "aufgezwungene" Schräglaufwinkel als Vorteil zu erwähnen.

b. Versuchsaufbau

Wie bei Messung 1.11

Zusätzlich benötigte Geräte: Wegsensor

c. Versuchsablauf

Der Versuchsablauf entspricht dem zur Messung der Sturzänderung. Hier wird beim Anheben bzw. Absenken des Aufbaus die Spurweitenänderung $\pm \Delta t$ als seitliche Bewegung der Drehteller mit einem Tiefenmaß ebenfalls alle 10 mm aufgenommen. Als Bezugsgröße liegt hier die Spurweite bei der Normallage zu Grunde.

d. Versuchsauswertung

Die aufgenommenen Messwerte für Δt pro Rad sind zu addieren und in Abhängigkeit vom Federweg in ein Formblatt einzutragen.

1.14 Nachlaufänderung

a. Erläuterung

Wegen der Vielseitigkeit der Einflüsse auf die Lenkrückstellmomente ist der Nachlaufwinkel in Verbindung mit Nach- oder Vorlaufversatz, Sturz und Spreizung zu betrachten. Eine direkte Abhängigkeit besteht auch zwischen dem Nachlauf und dessen Veränderung beim Einfedern



zu dem Eintauchen des Vorderwagens beim Bremsen - "pro dive" und "anti dive". (Nickabstützung)

b. Versuchsaufbau

Wie bei Messung 1.11

Zusätzlich benötigte Geräte: Achsmesscomputer mit Halterung (Nr.), Drehteller mit Drehsensor.

c. Versuchsablauf

Die Bremse muss während der Messung blockiert sein.

Der Aufbau wird auf die Konstruktionshöhe (Höhenmaß HR für DW) gezogen und verspannt, damit keine Messverfälschung durch einseitiges Anheben (hervorgerufen durch räumlich schrägstehende Drehachse) entsteht.

Jetzt werden die Räder um 20° nach links und anschließend rechts eingeschlagen und die Werte für den Nachlauf durch die Sensoren ermittelt. In Geradeausstellung werden die Sensoren auf den gemessenen Wert festgesetzt, so dass sie sich nicht in der Halterung drehen können.

Nun wird die Nachlaufänderung als Funktion des Federweges aufgenommen.

d. Versuchsauswertung

Der gemessene Nachlaufwinkel und deren Änderung werden nun für jedes Rad getrennt in das Formblatt aufgetragen.

Die Absolutwerte ergeben sich aus der Summe der gemessenen Nachlaufwinkel und der jeweiligen Änderung.



1.15. Vorspuränderung beider Räder getrennt

a. Erläuterung

Die Räder der Personenkraftwagen in Standardbauweise werden auf "Vorspur" eingestellt, um den Geradeauslauf zu begünstigen bzw. Gelenkelastizität unter Einwirkung von Längskräften auszugleichen. Die Ausnahme bilden hierbei einige Fronttriebler, bei denen negative Vorspur, also Nachspur diesen Ausgleich bei Anfahrkräften zusätzlich vornimmt. Zu berücksichtigen ist hierbei noch die Größe, bzw. das Vorzeichen des Lenkrollenhalbmessers R_0 .

Ist R_0 negativ und hat das Fahrzeug außenliegende Bremsen, so drücken sowohl Anfahrkräfte, als auch Bremskräfte (bedingt durch die andere Lage von R_1 und R_2) die Räder vorne zusammen. Hier wäre also Nachspur beim stehenden Fahrzeug sinnvoller.

Noch wichtiger als eine richtig eingestellte Vorspur ist es, ob diese beim Fahren erhalten bleibt und wie weit sie sich beim Aus- und Einfedern ändert. Um nicht durch die hierbei sich ebenfalls ändernden Schräglaufwinkeln, erhöhten Reifenverschleiß und Rollwiderstand zu bekommen, und dass hieraus keine unzureichende Spurhaltung des Fahrzeugs entsteht, sollte die Vorspuränderung so gering wie möglich sein. Abweichungen sind jedoch unvermeidbar, andererseits aber auch eine Möglichkeit der Vorderachse bei wechselseitigem Federn ein gewünschtes Eigenlenkverhalten aufzuzwingen, um eventuelle Über- oder Untersteuertendenzen günstig zu beeinflussen.

b. Versuchsaufbau

Wie bei Messung 1.11

Zusätzlich benötigte Geräte: Achsmesscomputer (Nr.), Drehteller (Nr.)

c. Versuchsablauf

Gemessen wird die Vorspuränderung für jedes Rad als Funktion des Federweges. Das Fahrzeug muss dazu ebenfalls auf den Drehplatten stehen und die Räder müssen in Geradeaus-Stellung gebracht werden. Nun werden die Sensoren am Rad befestigt und ausgerichtet. Während der nun folgenden Messung der Vorspur in



10 mm-Federwegstufen müssen das Bremssystem und die Lenkung blockiert sein.

d. Versuchsauswertung

Die Absolutwerte der Vorspur als Funktion des Federweges sind in das Formblatt 006 für jedes Rad zu übertragen. Sind die beiden Einzelkurven erstellt, sind die Kurvenwerte für das linke und das rechte Rad zu addieren und als Gesamtvorspuränderungskurve einzutragen.

1.17 Messung des Lenkrollhalbmessers R_0 , der Spreizung und des Sturzes bei ausgeschaltetem Nachlauf.

a. Erläuterung

Neben dem Nachlauf sind die Spreizung und der Lenkrollhalbmesser R_0 die bestimmenden Größen für die Auslegung lenkbarer Vorderachsen in Bezug auf die notwendigen Lenkrückstellmomente. Da eine optimale Auslegung nicht möglich ist, gibt es immer nur die für einen Fahrzeugtyp bestmöglichen Kompromisse zwischen noch vertretbarer Kinematik und ausreichenden Lenkungsmomenten anzustreben.

b. Versuchsaufbau / c. Versuchablauf

Zur Bestimmung des Lenkrollhalbmessers R_0 werden die Vorderräder auf die Drehteller aufgesetzt.

Die Reifenaufstandsflächen sind vorher einzufärben, damit beim Unterlegen von weißen DIN-A2 Bögen ein Abdruck entsteht. Jetzt ist die Aufbauhöhe Mitte Vorderachse anzuheben und um den vorher gemessenen Winkel schräg zu stellen. Die zwei Schreibstifte für jedes Rad sind auf einer Ebene, die parallel zum Aufbau liegt und ungefähr durch die Reifenmitte geht, vor und hinter dem Rad auf dem Papier anzusehen. Die Lenkung wird nun so weit wie möglich nach links und nach rechts eingeschlagen, wobei darauf zu achten ist, dass die Schreibstifte sauber aufzeichnen.

Der Spreizungswinkel wird nun bei einem Einschlagwinkel von 20° nach links und nach rechts abgelesen.

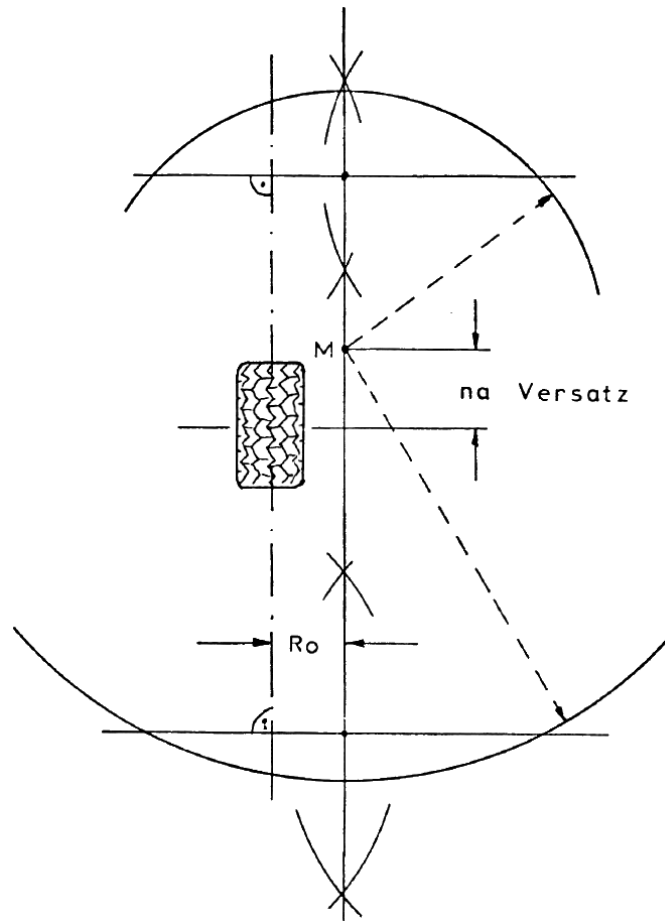


Der Sturz der Räder kann mit den ausgeloteten Sensoren bei Geradeausstellung abgelesen werden.

d. Versuchsauswertung

Durch die Abdrücke der Reifenaufstandsfläche (Profilmitte) werden nun Mittellinien gezogen, die die beiden aufgezeichneten Kreisbögen schneiden. Senkrecht zu diesen Linien werden durch die Kreisbögen Sehnen eingetragen und deren Mittelpunkte festgelegt. Verbindet man die Mittelpunkte der Sehnen, so kommen diese Verbindungen als Parallele zu der Reifenmittellinie zu liegen. Der Abstand der Parallelen ergibt die Größe von R_0 . (Vorzeichen muss beachtet werden, siehe auch folgende Zeichnung)

Die Absolutwerte für Sturz und Spreizung werden in das Formblatt 0.03 übertragen.



1.18 Berechnung des Bremskrafthebelarmes R_1 , des Längskraft - Störhebelarmes R_2 und des Hochkrafthebelarmes R_3

a. Erläuterung

Die Abhängigkeit der Hebelarme R_1 , R_2 und R_3 von der Spreizung und von R_0 wurde bereits unter 1.17 besprochen. Um Aussagen über deren Einflussgrößen machen zu können, ist es erforderlich, diese mit den bei der Messung ermittelten Werten zu berechnen.

d. Versuchsauswertung

$$R_1 = R_0 \cdot \cos \delta$$

$$R_2 = R_1 + R_5 = R_0 \cdot \cos \delta + r_{\text{dyn}} \cdot \sin (\delta + \gamma)$$

$$R_3 = (R_0 + r_{\text{dyn}} \cdot \tan \delta) \cdot \cos \delta$$

(ohne Nachlauf)



$$R_3 = R_0 + r_{\text{dyn}} \cdot \tan \delta \sqrt{\frac{1 + \tan^2 \varepsilon}{1 + \tan^2 \varepsilon + \tan^2 \delta}}$$

(mit Nachlauf)

1.19 Messung des Nachlauf- bzw. Vorlaufversatzes.

- siehe Lösung unter 1.17 d

1.5 Hinterachse, Einzelradaufhängung ausgehend von
der Normallage DM

1.51 Sturzänderung

a. Erläuterung

Wie bereits unter Punkt 1.11 beschrieben ist der Nachteil einer einzeln aufgehängten Achse, dass die Räder sich bei Kurvenfahrt mit dem Aufbau neigen. Zur Kompensierung dieser Erscheinung wäre es sinnvoll, dass sich der Sturz als Funktion des Federweges in Richtung "negativ" ändert, um eine möglichst große Seitenkraftaufnahme zu gewährleisten. Nachteilig ist auch an der Hinterachse ein erhöhter Reifenverschleiß und die Störeinflüsse durch die beim Federn aufgezwungenen Schräglaufwinkel. Genau wie bei der Vorderachse besteht hier die Abhängigkeit der Sturzänderung von der Pollage des Momentanzentrums. (siehe Erläuterung 1.11)

b. Versuchsaufbau

Wie unter 1.11

c. Versuchsablauf

Wie unter 1.11

d. Versuchsauswertung

Wie unter 1.11



1.53 Spurweitenänderung

Wie unter 1.13

1.55 Vorsprungänderung

Wie unter 1.15

1.7 Hintere Torsionslenkerachse ausgehend von der Normallage DW

Vorbemerkung:

Bedingt durch ihre relativ große Elastizität haben die Torsionslenkerachsen auch geringe kinematische Bewegungen beim Heben und Senken des Aufbaus.

1.71 Sturzänderung

Wie unter 1.11 und 1.51

1.73 Spurweitenänderung

Wie unter 1.13 und 1.53

1.75 Vorspuränderung

Wie unter 1.15 und 1.55

1.77 Verdrehwinkel

a. Erläuterung

Torsionslenkerachsen haben beim gleichseitigen Einfedern dieselbe Erscheinung wie reine Längslenkerachsen, und zwar verändert sich beim Ein- und Ausfedern der Radstand des Fahrzeugs durch die Drehung der Lenker um ihre Aufhängungspunkte. Diese Längenänderung ist also abhängig von der Länge des Lenkers.

b. Versuchsaufbau

Messstand Kinematik

Benötigte Geräte: Achsmesscomputer (Nr.), Hebevorrichtung (Nr.), Absenkvorrichtung (Nr.), Schiebepplatten.



c. Versuchsablauf

Die Hinterachse ist auf die in Längsrichtung verschiebbaren Platten zu setzen und die Sensoren mit dem "Messpunkt" für Sturz verdrehsicher am Rad zu befestigen.

Von der waagerechten Lenkerlage ausgehend ist der

Aufbau ein- und auszufedern, wobei die Bremse blockiert werden muss. Die waagerechte Lenkerlage bedeutet auch Verdrehwinkel Null.

d. Versuchsauswertung

Gemessen wird der Verdrehwinkel als Funktion des Federweges. Die Messpunkte im Abstand von 10 mm Federweg sind auf das Formblatt 005 zu übertragen.

3. Kinematik, Hinterachse, bei wechselseitiger Federung

3.7 Starrachse, Eigenlenkverhalten

3.71 Beladungszustand 2 Personen

a. Erläuterung

Ähnlich wie an der Vorderachse kann auch an der Hinterachse ein sogenanntes Eigenlenkverhalten auftreten. Durch entsprechendes Auslegen der Achsführungen kann dieses Eigenlenken dazu beitragen das Kurvenverhalten eines Fahrzeugs zu beeinflussen. Geht das kurvenäußere, einfedernde Rad einer Einzelradaufhängung in Vorspur und das kurveninnere in Nachspur, um zum Beispiel das Übersteuern durch Antriebskräfte einer "leichten" Antriebsachse bei Standardbauweise abzubauen, so ist der gleiche Effekt dadurch erreicht, wenn sich die Starrachse um den Winkel $+ \alpha_s$ schräg stellt, also in die Kurven herein lenkt. Genau das Gegenteil versucht man bei Fronttrieblern zu erreichen, um hier das Untersteuern günstig zu



beeinflussen, wäre eine Schrägstellung um den Winkel α_s anzustreben, also ein Herauslenken der Hinterachse aus der Kurve. Um bei dem Beispiel eines Fronttrieblers zu bleiben, sei noch erwähnt, dass bei zunehmender Beladung, wodurch das doch stark lastabhängige Untersteuern durch die höhere Hinterachslast sowieso geringer wird, es günstig wäre, wenn das Eigenlenken der Hinterachse auch abnehmen würde, um nicht bei beladenem Fahrzeug einen ausgeprägten Übersteurer zu haben.

b. Versuchsaufbau

Messstand Federung und Schwerpunkt Z M 1 in Verbindung mit den beiden Einzelwaagen 71 und 72. Benötigte Geräte: Aufbaugestelle (Nr.), Schiebe- bzw. Drehplatten (Nr.), Querträger (Nr.), Wagenheber (Nr.), Achsmaßcomputer.

c. Versuchsablauf

Sensoren an der Hinterachse anbringen und ausrichten. Der mit den Hinterrädern auf den beiden Einzelwaagen stehende Wagen wird nun über den in Fahrzeugmitte mittig im Fahrzeug angebrachten Querträger gekrängt. Beim Aufbringen der Hebe- bzw. Absenklast ist darauf zu achten, dass die Achslast konstant bleibt also die Entlastung des einen Rades der Belastung des anderen entspricht. Der Aufbau wird von links extrem Rollneigung ausgehend über $\psi = 0$ hinweg nach rechts gekrängt, wobei in 10 mm Einfeder- bzw. Ausfederstufen die Werte für die theoretische Vorspuränderung an beiden Rädern abgelesen wird. Der Rollwinkel ψ sollte zusätzlich durch einen entsprechenden Winkelmesser festgehalten werden.

d. Versuchsauswertung

Aus dem Ein- bzw. Ausfederweg lässt sich der Rollwinkel berechnen.



Durch eine Drehung des Aufbaus um die Hochachse, ist es möglich, dass rechts und links verschieden große Vorspurwerte angezeigt werden - bei einer Starrachse ja nicht möglich -. Um diesen Fehler auszugleichen, ist für den entsprechenden Lenkwinkel immer der Mittelwert des Vorspurwinkels einzusetzen.

3.72 Beladungszustand 4 Personen
(Wie 3.71)

3.78 Beladungszustand zulässige Achslast
(Wie 3.71)

4. Lenkung

4.1 Lenkkinematik als Funktion des Radeinschlagwinkels β_j / β_a bei DW

4.11 Sturzänderung beider Räder

a. Erläuterung

Bedingt durch die meist in zwei Richtungen (und zwar um den Spreizungswinkel δ und den Nachlaufwinkel ε) geneigte Drehachse der Achsschenkel ergibt sich eine Sturzänderung bei Lenkeinschlag. Günstig wäre dabei ein "in den positiven Sturz gehen" des kurveninneren Rades. Durch diese Schrägstellung der Räder gegen die einwirkenden Seitenkräfte wäre eine größere Seitenkraftaufnahme der Reifen zu realisieren. Durch das Bestreben, einen möglichst kleinen Lenkrollhalbmesser zu verwirklichen sind teilweise relativ große Spreizungswinkel nötig. Dadurch ergeben sich heute häufig sehr ungünstige Werte der Sturzänderung bei Lenkeinschlag. Ausnahme bilden hier die Lösungen verschiedener moderner Achskonzepte mit



einem imaginären Federbeindrehpunkt, der durch eine Art Viergelenkkette erreicht wird.

b. Versuchsaufbau

Messstand Kinematik Beißbarth oder Messstand Federung und Schwerpunkt 2 M 1.

Benötigte Geräte: Achsmesscomputer (Teile Nr.), Drehplatten mit Gradeinteilung und seitlicher Verschiebbarkeit (Teile Nr.), Bremsspanner (Teile Nr.).

c. Versuchsablauf

Zur Messung der Sturzänderung als Funktion der Radeinschlagwinkel β_i / β_a ist das Fahrzeug mit beiden Rädern der Vorderachse auf sogenannte Drehplatten mit Gradeinteilung aufzusetzen. Der dadurch entstehende Höhenunterschied ist durch Unterlegen der Hinterachse auszugleichen. Als Messlage wird die Konstruktionslage (DW) gewählt, und das Fahrzeug muss auf die entsprechenden Höhenmaße überprüft bzw. eingestellt werden.

Das Fahrzeug ist durch einen auf das Bremspedal wirkenden Bremsspanner zu blockieren. Begonnen wird mit der Messung des Sturzes bei Radstellung "geradeaus". In dieser Stellung sind die Gradeinteilungen beider Drehplatten auf Null zu stellen, und der Sturz auf der an den einjustierten Haltern befestigten Libellen abzulesen und in das entsprechende Messblatt einzutragen. Von diesem Punkt ausgehend ist in jeweils 5°-Stufen für

β_i / β_a der Sturz aufzunehmen. Hierzu ist die Messung einmal für Links- und einmal für Rechtseinschlag der Räder durchzuführen.

d. Versuchsauswertung

Die im Messblatt aufgenommenen Werte sind nun in das Formblatt 2.03 zu übertragen und als Kurven für das linke und das rechte Rad zu verbinden.



4.12 Spurdifferenzwinkel $\Delta \beta = \beta_i / \beta_a$

a. Erläuterung

Bei langsamer Fahrt ist der Kurvenverlauf nur dann exakt, wenn die in den Mitten aller vier Räder errichteten Senkrechten sich in einem Punkt – also der Kurvenmitte – schneiden. Bei nicht gelenkter Hinterachse müssen demnach die Senkrechten auf den beiden Vorderrädern die Verlängerung der Hinterachsmittellinie im Kurvenmittelpunkt schneiden, was bedeutet, dass der innere Lenkeinschlagwinkel β_i größer ist als der äußere β_a (1 / 180 / 4.7 / 1). Der Differenzwinkel dieser geometrischen Auslegung nach Ackermann ist der Spurdifferenzwinkel $\Delta \beta_0$, der bei den errechneten Werten immer positiv ist.

$$\Delta \beta_0 = \beta_i - \beta_{a_0}$$

Vom größeren inneren Winkel β_i lassen sich so die Sollwerte für ein Fahrzeug berechnen

$$\cot \beta_{a_0} = \beta_i \frac{i}{L}$$

($i = \tan^{-1} \frac{2 \cdot Ro}{L} = \text{Radstand}$)

Die Abweichung des gemessenen äußeren Lenkeinschlagwinkels β_{a_0} zu dessen errechneten wird als Lenkfehler bezeichnet.

$$\beta_F = \beta_a - \beta_{a_0}$$

Diese meist gewollte Lenkabweichung ergibt sich aus der Differenz der Spurdifferenzwinkel.

$$\beta_F = \Delta \beta_0 - \beta_\beta$$

b. Versuchsaufbau

Messstand Kinematik Beißbarth

Benötigte Geräte: Drehplatten mit Gradeinteilung (Nr.)



c. Versuchsablauf

Die Vorderräder werden auf die Drehplatten gestellt und in Geradeausstellung gebracht, dabei müssen die Gradskalen auf Null fixiert werden. Um eine Drehung des Aufbaus um die Hochachse auszuschalten wird die Bremse blockiert.

d. Versuchsauswertung

Aus $\beta_i - \beta_{a_0}$ ist der Spurdifferenzwinkel zu ermitteln und als Funktion von β_i für Links- und Rechtseinschlag in das Formblatt einzutragen. Zusätzlich muss noch der Sollwert $\Delta \beta_0$ (nach Ackermann) berechnet und ebenfalls auf das Formblatt übertragen werden.

4.14 Nachlaufänderung beider Räder

a. Erläuterung

Durch die räumliche Schrägstellung der Drehachse ergibt sich eine Veränderung des Nachlaufwinkels durch den Spreizungswinkel δ . Die Zu- oder Abnahme der Lenkrückstellmomente wird durch diese Änderung maßgeblich beeinflusst, daher ist es wichtig, diesen Nachlaufverlauf bei Lenkeinschlag aufzunehmen.

b. Versuchsaufbau

Wie unter 4.11

c. Versuchsablauf

Wie bei der Messung der Sturzänderung werden die Sensoren am Rad befestigt. Von der Stellung Geradeaus wird nach rechts und links eingeschlagen und in jeweils 5° -Stufen für β_i und β_{a_0} die Nachlaufänderung abgelesen. In Geradeausstellung wird das Libellenmessgerät mit dem "Messpunkt" für Nachlauf verdrehsicher am Rad angebracht. In dieser Stellung wird der Wert Null eingestellt und beim Einschlagen der Räder werden nur die Zu- und Abnahmen aufgenommen.



d. Versuchsauswertung

Zu den bei der Messung 1.14 ermittelten Wert für den Nachlaufwinkel werden die Änderungen hinzu addiert und als Absolutwerte in das Formblatt als Funktion der Radeinschlagwinkel aufgetragen.

4.21 Lenkübersetzung als Funktion des Radeinschlagwinkels

a. Erläuterung

Hervorgerufen durch die sich ändernde Lage der Übertragungselemente, ändert sich die Lenkübersetzung i_L über den gesamten Lenkradeinschlagbereich im Gegensatz zu der kinematischen Übersetzung die konstant wäre. So liegt meist im mittleren Bereich eine größere Übersetzung vor, als beim vollen Lenkeinschlag.

In direkter Abhängigkeit zur Lenkübersetzung steht die Schwergängigkeit der Lenkung (hohe Lenkkräfte). Einflussgrößen sind zusätzlich die Lenkrückstellmomente und die Vorderachslast. Die Lenkung sollte möglichst "direkt" sein, um ein schnelles Reagieren zu ermöglichen, andererseits aber keine zu hohen Lenkkräfte erforderlich machen. Auswirkungen auf die Lenkexaktheit haben auch die verwendeten Reifen. So benötigen zum Beispiel Stahlgürtelreifen und vor allem Niederquerschnittsreifen (Serie 70 und Serie 50) mit kleinen Schräglaufwinkeln – was bedeutet, dass sie bei kleinen Lenkwinkeln bereits große Seitenkräfte übertragen – geringere Einschlagwinkel, ihre Ansprechgeschwindigkeit ist also größer.

b. Versuchsaufbau

Wie unter 4.11

Außerdem benötigte Geräte: Winkelmesser – 360° (Nr.)

c. Versuchsablauf

Die Vorderräder werden auf die Drehplatten mit einer Gradskala aufgesetzt und am Lenkrad wird ein Winkelmesser angebracht, der es ermöglichen muss, ganze Umdrehungen aufzunehmen (360°-Skala).



Jetzt ist zuerst der volle Lenkeinschlag für rechts und links festzustellen. Nun wird bei allen glatten 5° Radeinschlagwinkeln (β_i und β_{a_0}) der zugehörige Lenkradwinkel (β_{Li} und β_{La}) abgelesen. Dieses Ablesen erfolgt von Geradeaus über vollem Linkseinschlag bis β_{a_max} und zurück über $\beta = 0$ bis zum vollen Rechtseinschlag, wobei die maximalen Lenkradwinkel festgehalten werden.

d. Versuchsauswertung

Aus den vier nebeneinander stehenden Spalten im Messblatt für jeden gemessenen Wert wird der mittlere Lenkradeinschlagwinkel β_{Lm} gebildet.

Durch Subtraktion der einzelnen Werte für β_{Lm} voneinander ergibt sich die Winkeldifferenz $\Delta\beta_{Lm}$ und mit derselben die Lenkübersetzung

$$i_L = \frac{\Delta\beta_{Lm}}{\Delta\beta_R} \quad \Delta\beta_R = 5^\circ \text{ (konstant)}$$

Die an beiden Rädern gleichmäßig eingestellten Winkeldifferenzen war $\Delta\beta_R = 5^\circ$, so dass die Mitten der einzelnen Sprungbereiche $2,5^\circ$, $7,5^\circ$, $12,5^\circ$ usw. sind. Die Lenkübersetzung (und deren Änderung) als Funktion des mittleren Radeinschlagwinkels bei Links- und Rechtseinschlag werden nun in Formblatt graphisch dargestellt. Da der Versuchsaufbau für die Messung 4.11, 4.12, 4.14, 4.21 gleich ist, ist es sinnvoll, die Messungen zusammenhängend durchzuführen.