

1. Anforderungen an die Fahrzeugfederung

1.1 Fahrkomfort

Eine Fahrzeugfederung soll so beschaffen sein, daß sie die dem Laufrad durch die Unebenheiten der Fahrbahn erteilten Stoßkräfte weich abfängt und möglichst geringe Beschleunigungskräfte auf die Karosserie weiterleitet. Die Karosserie soll gegen die Achsen gut gedämpft sein, damit auftretende Schwingungen rasch abklingen.

Die Straßenebenheiten, durch welche die Räder angeregt werden, sind von verschiedener Größenordnung. Im allgemeinen sind lange Unebenheiten von größerer Erhebungshöhe als kurze. Die Erregerfrequenz hängt von der Wellenlänge der Unebenheiten und damit auch von der Fahrgeschwindigkeit ab [1]. Aus den schwingungstechnischen Bedingungen, wie sie allgemein für eine auf einer Feder ruhenden Masse gelten, ergibt sich, daß beim Fahrzeug Resonanzen auftreten, sobald die Masse durch eine Frequenz angeregt wird, die etwa der Eigenfrequenz des Systems entspricht. In diesen Gebieten liegen dann auch die Höchstwerte der Aufbaubeschleunigungen, die den Fahrkomfort bestimmen.

Am Fahrzeug treten hinsichtlich der Federung 2 Gruppen von Eigenfrequenzen auf:

1. die Aufbaufrequenzen, heute etwa in der Größenordnung von 1,0 bis 2,0 Hz,
2. die Achsfrequenzen mit 10 bis 14 Hz.

Für die Schwingungsbelastung des Menschen sind vornehmlich die Frequenzen der Aufbaubewegung von Bedeutung, da Schwingungen höherer Frequenz bei gleicher Empfindungsstärke mit höheren Belastungswerten auftreten können [2]. Man muß also bemüht sein, in diesem Bereich eine Verbesserung zu erzielen. Die Schwingbeschleunigung als die wesentliche Größe für die Belastung des Menschen kann durch das Aufbaugewicht und die Federweichheit zwischen Achse und Aufbau beeinflusst werden. Dabei verringert eine größere Masse und eine größere Federweichheit die Beschleunigung [3] [4] [5]. Praktisch kommt nur eine Vergrößerung der Federweichheit in Frage. Das bedeutet, daß die Aufbaufederung über dem ganzen Federarbeitsbereich weit weicher auszuführen ist, als dies bei den meisten heute im Verkehr befindlichen Fahrzeugen üblich ist. Der Forderung, daß das nur mit dem Fahrer besetzte Fahrzeug einen gleich guten Fahrkomfort wie das voll belastete aufweisen soll, muß durch ein konstantes Verhältnis zwischen Achsfederkonstante und Aufbaugewicht Rechnung getragen werden. Das bedeutet wiederum, daß die Eigenfrequenz der Aufbaufederung unabhängig von der Belastung ungefähr gleich zu bleiben hat.

In erster Annäherung läßt sich bei dem heutigen Stande der Technik sagen, daß ein Fahrzeug mit einer Eigenfrequenz der Aufbaufederung von 1 bis 1,2 Hz, d. h. 60 bis 72 Schwingungen je Minute, und gut abgestimmter Schwingungsdämpfung einen guten Fahrkomfort besitzt. Zu bemerken ist in diesem Zusammenhang, daß die Eigenfrequenz des Aufbaus nur mit der Wurzel der Verringerung der Federsteifheit sinkt, während die auftretende Schwingbeschleunigung etwa der Verringerung der Steifheit proportional ist. Das heißt, daß eine Verringerung der Grundfrequenz um klein erscheinende Werte schon eine fühlbare Verbesserung des Federungskomforts mit sich bringt.

1.2 Fahrsicherheit

Bei den Überlegungen zur Erhöhung des Fahrkomforts darf die Frage der Fahrsicherheit nicht außer acht gelassen werden. Sie setzt voraus, daß nicht nur der Reifen ständig Kontakt mit der Fahrbahn behält, sondern daß auch die dynamischen Radlastschwankungen um die statische Radlast gering sind, damit die Seitenführungskraft des Rades nahezu konstant bleibt. Hier bringt die weichere Federung vornehmlich für langwellige Straßen eine Verbesserung. Von Vorteil sind ferner geringe ungefederte Massen, d. h. unabhängige Radführung [4]. Wenn dann auch die weiteren, die Fahrsicherheit beeinflussenden Faktoren, wie Eigenstabilität und Kurvenver-

halten, günstig ausgelegt und abgestimmt werden, läßt sich mit einer komfortablen Federung eine sehr gute Straßenlage kombinieren. Die bis vor kurzem noch herrschende Meinung, daß zu einem schnellen, sportlichen Fahrzeug eine straffe, d. h. relativ harte Federung gehört, dürfte jedenfalls heute überholt sein.

2. Grenzen der Stahlfederung

Die Forderung nach einer weichen und sich bezüglich der Eigenfrequenz an die Belastung anpassenden Federung bedeutet einmal, daß sich, statisch betrachtet, Belastungsunterschiede in der Ruhelage durch stark unterschiedliche Federwege zwischen Achse und Aufbau bemerkbar machen, zum anderen, daß sich die Federkonstante im gleichen Maße wie die Belastung ändern muß; letzteres ergibt die bekannte nicht lineare Federkennlinie.

Eine weiche Federung läßt sich grundsätzlich mit einer Stahlfederung — seien es nun Blatt-, Schrauben- oder Drehstabfedern — darstellen; die Aufrechterhaltung einer gleichbleibenden Aufbaueigenschwingung durch konstantes Verhältnis zwischen Achsfederkonstante und Aufbaugewicht kann mittels stufenweise hintereinander geschalteter Stahlfedern erreicht werden. Dies ergibt eine mit Knicken verlaufende Federkennung, deren Teilstücke meist linear sind. Es sind jedoch der Herabsetzung der Weichheit bei den Federungen, die sich ausschließlich der Werkstoffelastizität als federndem Medium bedienen, bestimmte Grenzen gesetzt, die im folgenden aufgezeigt werden sollen.

Bei der üblichen Stahlfederung mit linearer Kennung setzt sich, wie Bild 1 und 2 am Beispiel der Aufbaufederung des

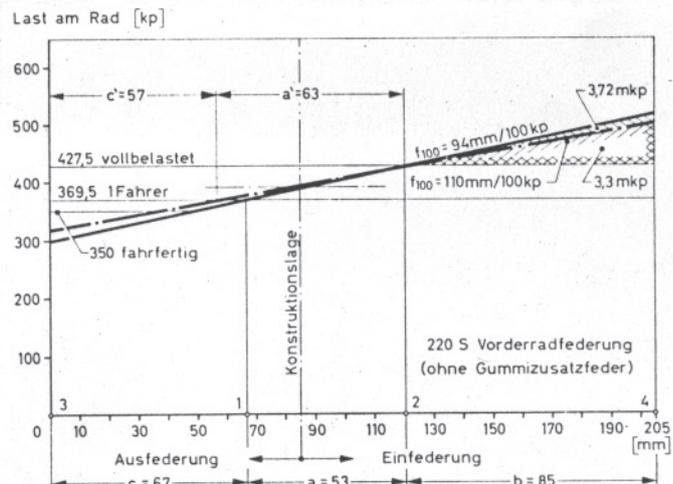


Bild 1. Vergleich der statischen und dynamischen Federwege sowie des Arbeitsvermögens der Vorderrad-Serienfederung 220 S mit einer auf die Federweichheit einer Luftfeder gebrachten Stahlfederung

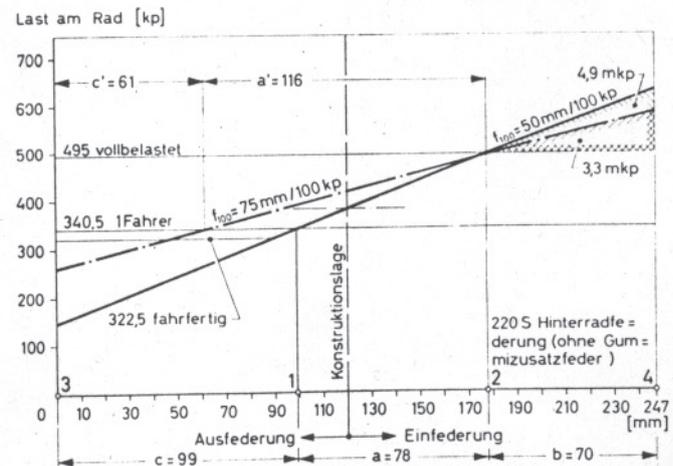


Bild 2. Wie Bild 1 für Hinterradfederung 220 S

Wagentyps 220 S zeigt, der Gesamtfederweg am Rad folgendermaßen zusammen: (Wege a bis c am Rad gemessen).

- aus dem Weg a: der statischen Belastungsdifferenz des nur mit dem Fahrer besetzten Wagens bis zur vollen zulässigen Belastung,
- aus dem Weg b: von der statischen Federeindrückung bei voller Belastung bis zum Anschlag bei voller Einfederung,
- aus dem Weg c: von der statischen Federeindrückung des nur mit dem Fahrer besetzten Wagens bis zum Ausfederungsanschlag.

Der statische Arbeitsbereich der Federung ist dabei bestimmt durch den unteren Lastpunkt 1 (Abszisse) am Anfang sowie dem oberen Lastpunkt 2 am Ende des Weges a. Der dynamische Arbeitsbereich überlagert den statischen um Punkt 1 oder um Punkt 2 entsprechend den zur Verfügung stehenden dynamischen Federwegen b und c. An jede einzelne Weggröße sind bestimmte Anforderungen zu stellen und sie hängen außerdem voneinander ab.

Weg a ergibt sich bei einer gewählten Federweichheit, ausgedrückt in mm Federweg bei 100 kp Belastungsänderung, aus der Durchfederung unter der statischen Belastung. Die Differenz der Wege a an Vorder- und Hinterachse darf bei wechselnder Beladung einen bestimmten Betrag nicht überschreiten, da sonst der konventionell aufgebaute Wagen wegen der stärkeren Belastung der Hinterachse, bei Zuladung belastet, zu stark nach hinten bzw. unbelastet zu stark nach vorn hängen würde. Weg b muß so groß sein, daß das Rad bei Stoßbeanspruchung genügend weit nach oben ausweichen kann, ohne hart in der oberen Endstellung anzuschlagen. Dabei darf das auf diesem Weg zur Verfügung stehende Arbeitsvermögen der Federung einen gewissen Mindestbetrag nicht unterschreiten, um ein Durchschlagen der Achsen zu vermeiden.

Auch Weg c muß genügend groß sein, damit das Rad beim Ausfedern nicht zu rasch die untere Fangbandstellung erreicht. Dies würde ein plötzliches Unterbrechen der Aufbau-schwingung bedeuten und ein Abheben des Rades von der Fahrbahn verursachen.

Der für die Relativbewegung zwischen Rad bzw. Achse und Aufbau zur Verfügung stehende Betrag an Gesamtfederweg variiert bei heutigen gut gefederten Wagen an der Vorderachse zwischen 180 und 210 mm und an der Hinterachse zwischen 215 und 260 mm, am Rad gemessen. Der statische Einfederungsweg von leer bis voll belastet beläuft sich dabei auf etwa 80 mm und mehr. Bei den heutigen Wagenformen und Wagenhöhen dürften diese Werte nicht mehr zu vergrößern sein.

Nach Bild 1, das die Verhältnisse für die Vorderradfederung des 220 S wiedergibt, teilt sich der Gesamtfederweg am Rad in der Größenordnung von 205 mm (217 mm bis zum Hartanschlag) auf in

Weg a = 53 mm; Weg b = 85 mm; Weg c = 67 mm
Die Federweichheit f_{100} am Rad ohne Einbeziehung des Gummischlagpuffers beträgt dabei 94 mm/100 kp.

Die entsprechenden Werte für die Hinterachse sind aus Bild 2 zu entnehmen; der Gesamtweg am Rad der Schraubenfederung von 247 mm (252 mm bis zum Hartanschlag) teilt sich auf in

Weg a = 78 mm; Weg b = 70 mm; Weg c = 99 mm

Die Federweichheit f_{100} am Rad entspricht hier 50 mm/100 kp. Bei dem konventionell aufgebauten Wagen wirkt sich der Einfluß der Beladung in erster Linie an der Hinterachse aus, wodurch hier der Erhöhung der Federweichheit eher Grenzen gesetzt sind. Das Arbeitsvermögen der Hinterfeder am Rad vom Lastpunkt 2 der vollen Beladung aus erreicht dabei den Wert von 4,9 mkp (ohne Gummipuffer). Der gleiche Wert ist für die Vorderachse mit 3,72 mkp zu entnehmen.

Die mit eingebautem Stoßdämpfer gemessenen Schwingzahlen der Aufbaufederung weisen den neuen Wagentyp hinsichtlich Fahrkomfort mit den Werten:

fahrfertig	70/min	} für die Vorderachse
voll belastet	72/min	

sowie:

fahrfertig	84/min	} für die Hinterachse
voll belastet	71/min	

bereits als über dem Durchschnitt stehend aus.

Die moderne Stilistik mit den niedrigen Wagenhöhen und der Betonung der Horizontalen trägt nicht gerade zur Vereinfachung des Federungsproblems bei. Mit einer weichen Federung kann sich bei ungünstiger Beladung eine übermäßige Schräglage des Wagens in der Seitenansicht optisch bereits ungünstig bemerkbar machen. Was früher bei härteren Federungen kaum in Erscheinung trat, beginnt nun ein Problem zu werden; es ist die Beeinflussung der Scheinwerferreichweite durch eine zu unterschiedliche Schräglage des Wagens um die Querachse bei wechselnder Beladung.

Für die Daimler-Benz-Personenwagen wurde festgelegt, daß der Wagen, z. B. gemessen an Türunterkante, bei einer Beladung mit 2 Personen zu je 65 kp Gewicht auf den Vordersitzen sowie 1 Person zu 65 kp auf dem Hintersitz horizontal steht; diese Lage wird als „Konstruktionslage“ bezeichnet, siehe Bild 1 und 2. Der mit dem Fahrer allein besetzte Wagen steht dann mit den oben angegebenen Federweichheiten nach vorn unter einem Winkel von 10° gegen die Horizontale, bei voller Beladung dagegen unter einem Winkel von 30° nach hinten hängend.

Wollte man nun bei diesem Wagentyp mit der *Stahlfederung* Aufbauschwingzahlen in der Gegend von 1,0 bis 1,2 Hz erreichen, wie sie eingangs für eine wirklich komfortable Federung gefordert wurden, so müßte sie besonders an der Hinterachse noch erheblich weicher ausgelegt werden. Mit den bei der *Luftfederung* verwirklichten Schwingzahlen von 64 bzw. 68/min vorn und 71/69 hinten (mit Stoßdämpfer), ergäbe sich für die Vorderachse eine Federweichheit von 110 mm/100 kp und für die Hinterachse von 75 bis 85 mm/100 kp. Aus Bild 1 und 2 ist zu entnehmen, daß sich dann als Einzelfederwege einstellen würden:

Weg a' = 63 mm	} an der Vorderachse
Weg b' = b = 85 mm	
Weg c' = 57 mm	

und:

Weg a' = 116 mm	} an der Hinterachse
Weg b' = b = 70 mm	
Weg c' = 61 mm	

Da der Gesamtfederweg nicht mehr vergrößert und andererseits die Bodenfreiheit nicht weiter verringert werden kann, steht mit der weicheren Federung bei voll belastetem Wagen am jeweiligen Vorder- und Hinterrad nur noch ein Arbeitsvermögen der Federung von 3,3 mkp, d. h. im letzteren Falle nur noch 67% des bisherigen zur Verfügung. Der Wagen würde besonders an der Hinterachse ständig zum Durchschlagen neigen.

Es würde sich dabei eine Neigung des Wagens zur Horizontalen bei Belastung mit dem Fahrer nach vorn von 45° und voll belastet von 30° nach hinten hängend einstellen, bei der die Fahrbahnbeleuchtung ohne kostspielige Verstellrichtung für die Scheinwerfer nicht mehr zu beherrschen wäre.

Wollte man vollends bei dieser Federweichheit das Arbeitsvermögen auf die Werte der Serienfederung bringen, so würden sich die statischen und dynamischen Federwege derart verschieben, daß die Federung mit z. B. einem dynamischen Ausfederungsweg am Hinterrad von 45 mm völlig indiskutabel wird.

Damit dürfte zur Genüge bewiesen sein, daß bei Wagen mit konventioneller Bauweise die Stahlfederung linearer Kennung mit den Federweichheiten von etwa 95 mm/100 kp an der Vorderachse und etwa 50 mm/100 kp an der Hinterachse ihre technische Grenzen erreicht hat.

In der Praxis kann daher jede Stahlfederung nur einen Kompromiß darstellen: Bei Besetzung des Wagens nur mit dem Fahrer ist sie für guten Fahrkomfort zu hart, bei voller Beladung und Fahrt auf schlechten Straßen ist sie zu weich; im letzteren Fall wird im allgemeinen auch die Straßenlage

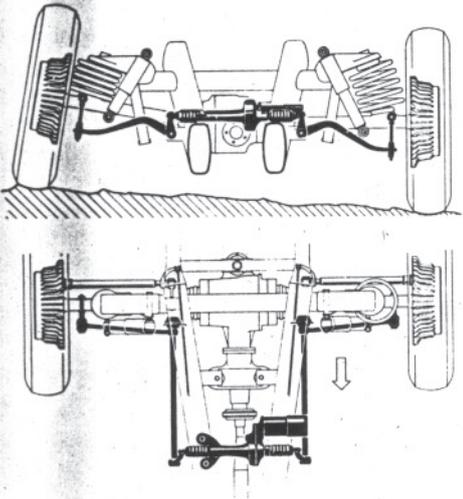


Bild 3. Mittels Getriebe-Elektromotor und Schraubspindel zuschaltbare Drehstab-Zusatzfederung an der Hinterachse des Typs 300 d

spürbar schlechter. Aus diesem Grunde werden heute eine etwas geringere Weichheit und damit auch etwas höhere Aufbauswingzahlen in Kauf genommen. Außerdem muß man sich damit abfinden, daß der voll belastete Wagen auf schlechten Wegstrecken gelegentlich auf die Gummipuffer durchschlägt.

Ein Weg zu einer weiteren Kompromißlösung steht noch offen. Die Federung wird so ausgelegt, daß der mit 3 Personen besetzte Wagen gerade genügend Sicherheit gegen Durchschlagen hat. Bei weiterer Beladung muß der Fahrer eine zweite Feder an der Hinterachse zuschalten. Dieser Weg wurde vor Jahren durch Daimler-Benz beim Typ 300 besritten, Bild 3. Trotz federungsmäßiger Verbesserung stellte sich in der Praxis bald heraus, daß die Zusatzfeder — hier durch Elektromotor zugeschaltet — von vielen Fahrern entweder gar nicht oder falsch bedient wurde, wobei dann u. U. eine unerwünschte Federverhärtung mit einem ungünstigen Sturz an den Hinterrädern eintrat. Da diese Einrichtung, abgesehen von den Mehrkosten, nur eine unvollkommene und nicht automatisch arbeitende Niveauregulierung darstellte, wurde sie für Neuentwicklungen nicht mehr in Betracht gezogen.

3. Luftfederung

Die gegebenen Grenzen für die statischen und dynamischen Federwege lassen bei der Stahlfederung eine entscheidende Verbesserung der Federweichheiten auch dann nicht erwarten, wenn man der Hauptfeder Zusatzfedern nachschaltet und damit die Kennung der Gesamtfederung in gewissen Grenzen den veränderlichen Nutzlasten anpaßt. Es wird auch hier immer nur eine einzige, mit Knicken verlaufende Kennlinie erreicht, deren Übergänge sanft genug sein müssen, um das Einsetzen der Zusatzfedern nicht unangenehm spürbar zu machen. Um das nötige Arbeitsvermögen von der voll belasteten Stellung aus zu erreichen, wird ferner von diesem Lastzustand ab eine erhebliche Progressivität der Kennlinie zu verwirklichen sein.

Auch die Verwendung eines verstellbaren „Gestänges“ zwischen Federende und Lastangriffspunkt, mit dessen Hilfe bei einer weichen Stahlfederung die durch große Einfederung verlorengegangene Bodenfreiheit automatisch höhenberichtigt wird, kann nur einen Behelf darstellen, da auch hier nur auf einer Kennlinie gefahren werden und dabei das Arbeitsvermögen der Federung nur hinsichtlich des Federweges beeinflusst werden kann. Außerdem ist dieser Weg kompliziert und teuer. Nach den heutigen Erkenntnissen ist die für besten Fahrkomfort erforderliche weiche Aufbaufederung nur zu verwirklichen, wenn als federndes Medium ein Gas, im allgemeinen Luft oder Stickstoff, verwendet wird. Mit der Gasfederung läßt sich einmal die gewünschte Anpassung der Federkonstante an die Belastung, d. h. eine knicklos verlaufende nicht lineare Kennlinie darstellen, und zum anderen die Niveauregulierung verwirklichen, mit deren Hilfe der Fahr-

zeugaufbau bei verschiedener Beladung im Mittel einen gleichbleibenden Abstand zur Fahrbahn hält.

Bei der ersten serienmäßig im Automobilbau eingeführten Gasfederung von Citroën erfolgt die Niveauregulierung über ein „hydraulisches Gestänge“, das zwischen der in einer Kugel eingeschlossenen Gasfeder mit konstanter Luftfüllung und dem Lastangriffspunkt an der Achse eingeschaltet ist und bei dem die Lastdifferenzen durch Volumenänderung des Zwischenmediums, in diesem Falle Öl, ausgeglichen werden. Bei der stark progressiven Kennlinie erhöht sich die Eigenfrequenz mit zunehmender Belastung, was im Gegensatz zur Stahlfeder und zur Forderung gleichbleibender Eigenfrequenz steht, was aber bei den bei Personenwagen vorliegenden Beladungsverhältnissen noch keinen schwerwiegenden Nachteil darstellt. Immerhin bringt diese Arteigenheit einen gewissen Verlust an Fahrkomfort bei höherer Zuladung.

Eine echte Anpassung der Federkennlinie an den jeweilig veränderlichen Belastungszustand bringt erst die Gasfeder mit veränderlichem Luftgewicht, wie es durch Einströmen oder Abströmen von Druckluft in bzw. aus den Federelementen erreicht wird. Sie ermöglicht das Fahren auf einer Kennlinienschar, die von den Grenzkennlinien des minimalen und maximalen Beladungszustandes eingeschlossen wird. Bei der durch das Federungsmedium selbst erreichten Niveau-Regulierung wird der statische Federweg für Beladungsänderungen zu Null; die Feder kann entsprechend weicher ausgeführt werden, da für die dynamische Schwingbewegung nun der gesamte Ein- und Ausfederungsweg zur Verfügung steht. Der Regelkreis ist dabei vorwiegend nur für Ansprechen auf langsame Änderungen ausgelegt, so daß die automatische Gleichhaltung einer mittleren Bodenfreiheit von den schnelleren Schwingungen nicht beeinträchtigt wird. Bei der durch die innere Niveauregulierung ermöglichten Konstanz des Luftvolumens stellt sich dann auch die gewünschte, ungefähr gleichbleibende Aufbaueigenfrequenz ein. Die Größe der Federweichheit ist durch die Konstruktion des Luftfederelementes bestimmt.

4. Die DB-Luftfederung

Trotz des Mißerfolges, der der Einführung der Luftfederung bei fast allen amerikanischen Wagenmarken im Jahre 1958 beschieden war, wurde bei Daimler-Benz in mehrjähriger Arbeit eine nach dem gleichen System arbeitende Luftfederung entwickelt und im Jahre 1961 im Wagentyp 300 SE serienmäßig angeboten.

Bei der Wahl zwischen reiner Luftfederung mit Luftmengenregelung oder Luftfederung mit konstanter Luftfüllung und Niveauregulierung mittels Ölzyylinder, die mit wesentlich höheren Drücken arbeitet, entschied man sich für erstere. Neben dem Vorteil der annähernd konstanten Eigenfrequenz bietet diese Ausführung der Luftfederung auch eine gute Geräuschisolierung durch die Federbälge und dies ist speziell bei einem Fahrzeug höherer Ansprüche ein wesentlicher Gesichtspunkt.

4.1 Kennlinien der Luftfederung

Was bei diesem Wagen, der 195 kp schwerer ist als der Wagentyp 220 S, an Verbesserung der Federweichheit und gleichzeitig des Arbeitsvermögens der Federung erreicht wurde, zeigen die Bilder 4 bis 5. Bei gleichem Aufbau der Achsen und gleichem Gesamtfederweg ließ sich die für den Fahrkomfort maßgebende dynamische Federweichheit von 110 mm/100 kp an der Vorderachse und von 85 bzw. 75 mm/100 kp an der Hinterachse verwirklichen. Die statische Federweichheit (gegeben durch die isotherme Zustandsänderung) liegt dabei bei 180 mm/100 kp vorn und etwa 130 bzw. 115 mm/100 kp hinten. Den Verlauf der statischen Kennlinien am Rad, hier mit dem Lastanteil der Gummizusatzfedern zusammen, zeigen die Bilder 6 und 7; sie bestimmen das Verhalten des Wagens vorwiegend bei Beschleunigung, Verzögerung und Kurvenfahrt. Es wird weiter der erhebliche Gewinn an Arbeitsvermögen mit 6,8 mkp an der Vorderachse und

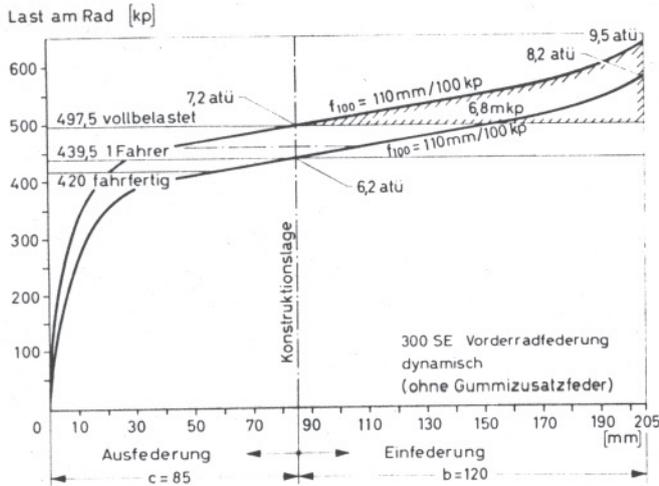


Bild 4. Dynamische Federkennung und Arbeitsvermögen der Luftfederung an der Vorderachse des 300 SE

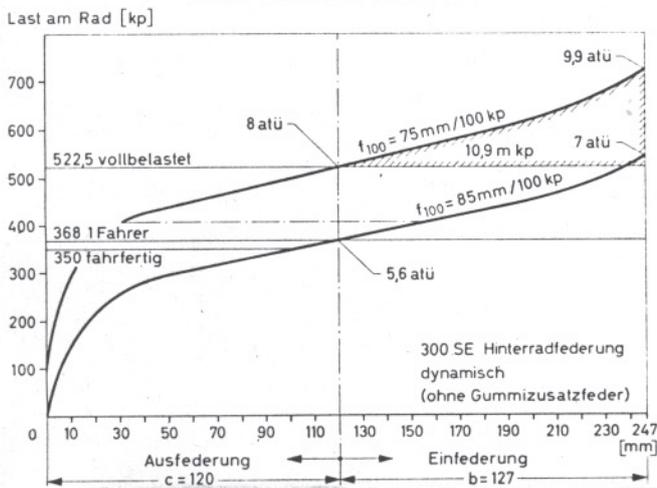


Bild 5. Wie Bild 4 an der Hinterachse des 300 SE

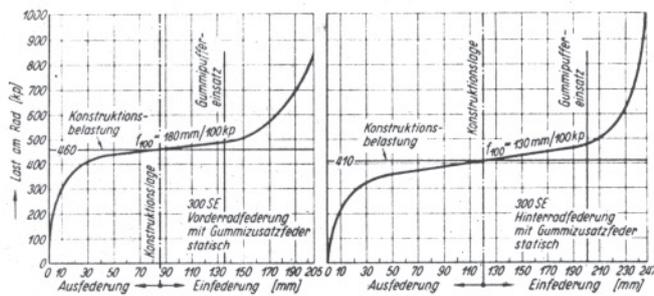


Bild 6. Statische Federkennung der Luftfederung an der Vorderachse des 300 SE bei Konstruktionsbelastung

Bild 7. Wie Bild 6 an der Hinterachse des 300 SE

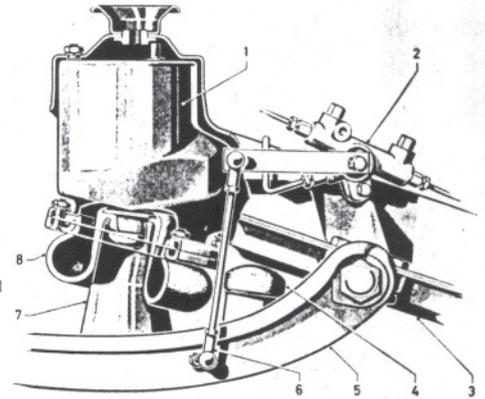
10,9 m kp an der Hinterachse ausgewiesen, der eine beachtliche Sicherheit gegen Durchschlagen ergibt; hierbei ist das Arbeitsvermögen des Gummianschlagpuffers noch nicht eingerechnet. Die Niveauregelung regelt die Wagenlage automatisch auf die Konstruktionslage ein mit dem Vorteil, daß die Räder stets in der vorbestimmten günstigsten Spur- und Sturzlage laufen. Die Eigenfrequenzen des Federungssystems mit Stoßdämpfer sind auf folgende Werte heruntergegangen:

Vorderachse unbelastet 64/min; voll belastet 68/min
Hinterachse unbelastet 71/min; voll belastet 69/min.

Die geforderte Konstanz der Schwingungszahlen ist annähernd erreicht; beim Vergleich mit den Werten der Stahlfederung erinnere man sich an die eingangs gemachte Feststellung, daß die Verringerung der Fahrkomfort bestimmenden Aufbaubeschleunigungen quadratisch zu der Verringerung der Schwingungszahlen verläuft.

Bild 8. Schnittbild von Rollbalg und Luftkammer an der Vorderachse

- 1 Luftkammer
- 2 Niveau-Regelventil
- 3 Vorderachsträger
- 4 Anschlaggummi
- 5 Querlenker unten
- 6 Reguliergestänge
- 7 Federkolben
- 8 Federbalg



4.2 Federbälge, Aufbau und Kennlinien

Als Federbälge wurden Rollbälge gewählt, die nur ein geringes Arbeitsluftvolumen benötigen, Bild 8. Form und Abmessungen lagen zu Beginn der Luftfederentwicklung bereits vor; aus der Fertigung von Firestone wurden zwei geeignete Balggrößen ausgewählt, die von den Phoenix-Gummiwerken, Harburg, weiterentwickelt und heute gefertigt werden. Dem Konstrukteur war damit weitgehend die Kennung vorgegeben; ihre endgültige Größe wurde durch den Gewebewinkel, das Arbeitsluftvolumen und die Form des Abrollkolbens festgelegt [6], [7].

Der Federbalg 8 selbst ist eine Gummigewebe-Konstruktion, bestehend aus einer 4 bis 6 mm dicken Gummischicht mit einem Festigkeitsträger aus Nylonfäden; eine besondere Neoprene-Schicht auf der Balginnenwand schützt die Gummischicht vor Angriff durch im Luftkreis befindliches Öl oder Kraftstoffkondensat. Der durch ein eingelegtes Stahldrahtseil verstärkte äußere Wulstring des Balges wird mittels eines Spannrings an der Dichtfläche der Luftkammer luftdicht verschraubt. Der innere Teil des Balgs stülpt sich über einen Abrollkolben 7 aus Stahl.

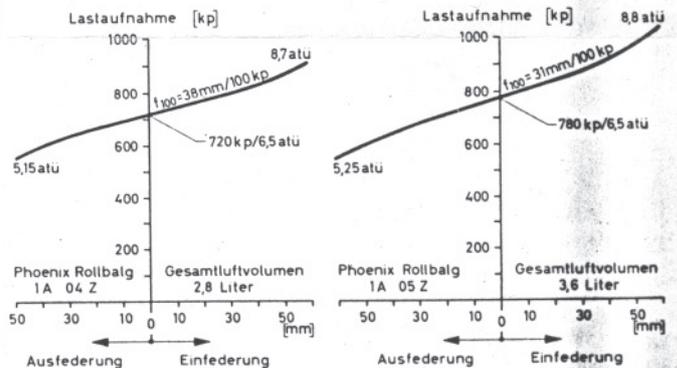


Bild 9. Statische Kennlinien des Phoenix-Rollbalgs 1A 04 Z an Vorderachse (links) sowie 1A 05 Z an Hinterachse bei 6,5 atü Innendruck in Konstruktionslage

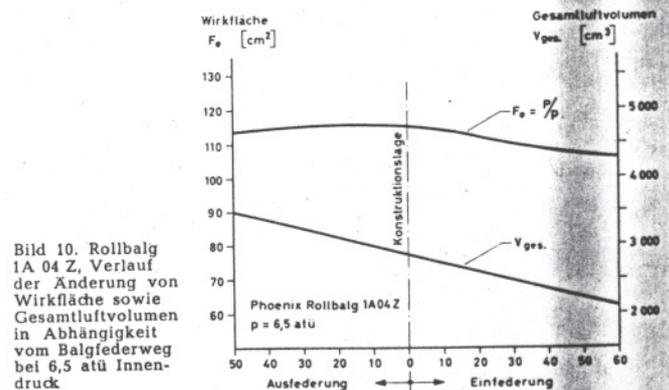


Bild 10. Rollbalg 1A 04 Z, Verlauf der Änderung von Wirkläche sowie Gesamtluftvolumen in Abhängigkeit vom Balgfederweg bei 6,5 atü Innendruck

Durch Anlage des Federbalgs am Abrollkolben wird erreicht, daß sich beim Einfedern auf einer bestimmten Federwegstrecke die wirksame Balgfläche nicht vergrößert. Bild 9 zeigt die statischen Kennlinien jeweils für den Balg an der Vorderachse (links) und an der Hinterachse (rechts). Wie ersichtlich, ist die Progressivität beim Einfedern bzw. die Degressivität beim Ausfedern gering, um in einem möglichst großen Federungsbereich die große Weichheit zu erhalten. Das kleine Zusatzluftvolumen ergibt geringen Luftbedarf bei Beladungsänderungen und damit kleine Luftpresserleistung. In Bild 10 ist für den Balg der Vorderachse der Verlauf der Änderung des Arbeitsluftvolumens sowie der Wirkfläche des Balgs beim Ein- und Ausfedern aufgezeichnet. Als Anschlag für die Begrenzung des Einfederungsweges wurden Gummizusatzfedern vorgesehen, die besonders an der Hinterachse stark progressive Wirkung besitzen und bei Defekten an der Luftfederung dem Fahrzeug gewisse Notlaufeigenschaften verleihen.

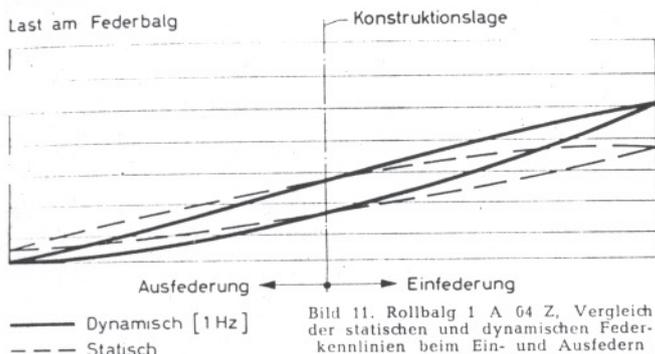


Bild 11. Rollbalg 1 A 64 Z, Vergleich der statischen und dynamischen Federkennlinien beim Ein- und Ausfedern



Bild 12. Ausschwingverhalten einer Stahlfeder und einer Rollbalg-Luftfeder bei ähnlicher Belastung

Die Größenordnung der dynamischen Federverhärtung geht aus Bild 11 hervor. Prüfstandsversuche zeigten, daß sie schon bei Frequenzen von 1 Hz voll wirksam wird, sich jedoch bei höheren Frequenzen nicht mehr verändert. Das Bild zeigt auch den Betrag an Federungshysterese auf, die im wesentlichen aus der Dämpfung des Gummis herrührt. Ausschwingversuche zeigten, daß infolge dieser Eigendämpfung Schwingungen wesentlich rascher abklingen als bei einer Schraubenfeder, Bild 12. Die Übertragung hochfrequenter Schwingungen auf den Aufbau, wie es bei Metallfedern durch Eigenschwingungen höherer Frequenzen der Fall sein kann, ist damit weitgehend ausgeschlossen. Die Arbeitsdrücke in den Federbälgen belaufen sich je nach Belastung des Wagens an der Vorderachse auf 6 bis 7,5 atü und an der Hinterachse auf 5,5 bis 8 atü.

4.3 Anordnung an den Achsen

Die Forderung, daß die abgefederten Räder durch geeignete Lenkerkonstruktionen geführt werden müssen, weil die Luftfederbälge in seitlicher Richtung keine Kräfte übertragen können, war bei der unabhängigen Radführung der Daimler-Benz-Wagentypen von vornherein erfüllt. Die Federbälge sitzen an etwa den gleichen Stellen, wo sich bei den anderen Wagentypen

die Stahlfedern befinden; auch die Schwingungsdämpfer liegen an den gleichen Stellen. Der durch bauliche Gründe bedingten Beschränkung des Balgfederweges wurde durch eine große Hebelübersetzung zwischen Federelement und Rad Rechnung getragen; das Übersetzungsverhältnis Feder: Rad beläuft sich an der Vorderachse auf 0,53 und an der Hinterachse auf 0,46.

Die Luftkammern der Vorderachse (Inhalt je 2,8 Liter) sind mit dem Fahrschemel fest verschraubt, der seinerseits über zwei Schergummilager mit den vorderen Rahmenlängsträgern verbunden ist; an der Hinterachse sind die Luftkammern (Inhalt je 3,6 Liter) direkt an einen Querträger der Rahmenbodenanlage vor der Hinterachse angeschraubt.

Die erhebliche statische Federweichheit macht den Einbau von Drehfederstabilisatoren an der Vorderachse und an der Hinterachse erforderlich, um eine ausreichende Seitensteifheit um die Wagenlängsachse zu gewährleisten. Einem ähnlichen Zweck, nämlich der Stabilisierung des Wagens beim Bremsen, dient ein neu entwickeltes Konstruktionsdetail an der Hinterachse. Eine Bremsmomentabstützung, bestehend aus einem mit dem Bremslagerschild verschraubten und auf der anderen Seite mit dem Aufbau gelenkig verbundenen, in Wagenlängsrichtung nach vorn gehenden Hebel, verhindert beim Bremsen ein Hochsteigen des Wagenhecks.

5. Aufbau der Federungsanlage

5.1 Wirkungsweise

Die Druckluft für die Federbälge wird in einem Luftpresser erzeugt, in einem Vorratsbehälter gespeichert und von dort über Rohrleitungen den Niveauregelventilen und durch diese den einzelnen Luftkammern mit den Federbälgen zugeführt.

Die Luftfederungsanlage des 300 SE arbeitet im *halbgeschlossenen Kreislauf*. Von den Federbälgen bei Beladungsänderungen abgeblasene Luft strömt nicht ins Freie, sondern bleibt zum größten Teil im Kreislauf des Federungssystems, indem sie über Rücklaufleitungen wieder der Saugseite des Luftpressers zugeführt wird.

Im wesentlichen besteht die Anlage, Bild 13, aus

- den Federelementen, d. h. Federbälge mit Luftkammern und Federkolben;
- der Drucklufterzeugung mit Luftpresser, Luftvorratsbehälter und Frostschutzvorrichtung;
- den Aggregaten zur Regelung des Luftdurchflusses, bestehend aus der Ventileinheit, den Niveau-Regelventilen an Vorder- und Hinterachse und den Luftleitungen.

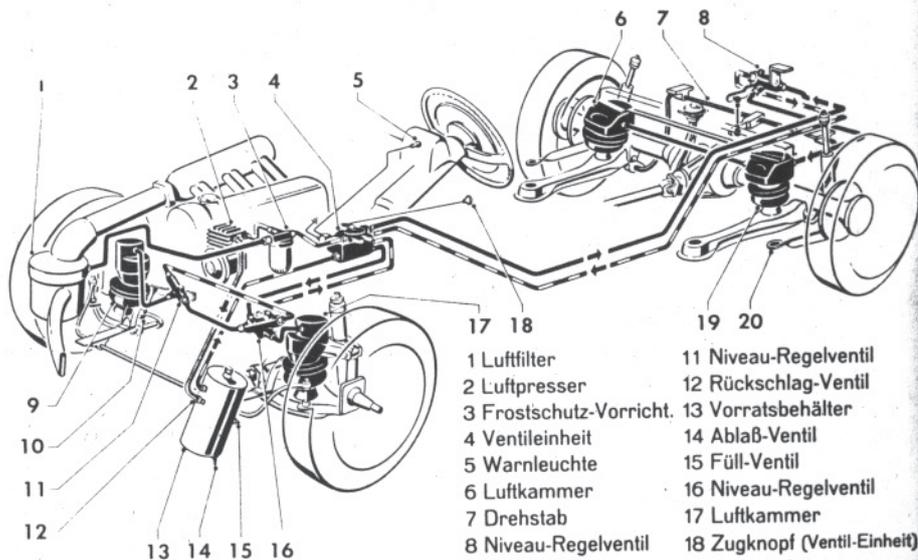


Bild 13. Schema der Luftfederungsanlage des 300 SE

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 17 18 | 19 20 |
| 1 Luftfilter | 11 Niveau-Regelventil |
| 2 Luftpresser | 12 Rückschlag-Ventil |
| 3 Frostschutz-Vorrichtung | 13 Vorratsbehälter |
| 4 Ventileinheit | 14 Ablass-Ventil |
| 5 Warnleuchte | 15 Füll-Ventil |
| 6 Luftkammer | 16 Niveau-Regelventil |
| 7 Drehstab | 17 Luftkammer |
| 8 Niveau-Regelventil | 18 Zugknopf (Ventil-Einheit) |
| 9 Federbalg | 19 Federbalg |
| 10 Reguliergestänge | 20 Bremsabstützung |

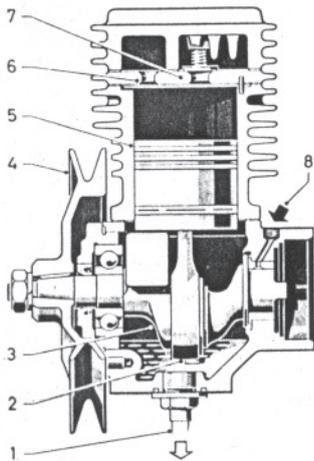


Bild 14. Schnittbild des Luftpressers
1 Ölrücklauf 5 Kolben
2 Pleuelstange 6 Saugventil
3 Kurbelwelle 7 Druckventil
4 Riemenscheibe 8 Druckölanschluß

5.2 Druckluftzerzeugung

Ein von der Kurbelwelle des Motors mittels Gummiköhlriemen im Übersetzungsverhältnis 1 : 1,02 angetriebener, luftgekühlter Einzylinder-Tauchkolben-Luftpresser von 50 cm³ Hubvolumen, Bild 14, saugt teils Frischluft über den Motorluftfilter¹⁾ und eine Gefrierschutzvorrichtung, teils Abblasluft aus dem Kreislauf an und fördert die hochgespannte Luft über ein Rückschlagventil in einen Vorratsbehälter. Aus Gründen der Einfachheit der Anlage wurde auf einen Druckregler verzichtet; der Presser arbeitet im Pufferbetrieb, d. h. sein maximaler Förderdruck ist so ausgelegt,

daß der Vorratsbehälterdruck je nach Fahrweise und Meereshöhe zwischen 12 und 18 atü liegt.

Das Rückschlagventil, Bild 15, verhindert bei Motorstillstand ein Abströmen von Druckluft aus dem Vorratsbehälter zum Luftpresser. Der Luftpresser ist mit Zungenventilen ausgerüstet, seine Schmierung ist an den Motoröl-Kreislauf angeschlossen. An Antriebsleistung verbraucht er etwa 1 PS; die Förderleistung ist so ausgelegt, daß kleinere Undichtigkeiten im System ausgeglichen werden können. Als Frischluft wird lediglich diejenige Luftmenge von außen angesaugt, die bei Entlastung des Wagens und Motorstillstand über ein Druckhalteventil von 0,2 atü ins Freie abströmt, sowie die Menge, welche im Luftpresser selbst entlang den Kolbenringen verloren geht. Sie wird über eine Gefrierschutzvorrichtung geführt, Bild 16, die in der kalten Jahreszeit bei Temperaturen unter + 5° C mit Äthylalkohol gefüllt wird.

Durch den Luftstrom wird ähnlich wie in einem Vergaser der sich über dem Flüssigkeitsspiegel bildende Alkoholdampf in den Kreislauf mitgeführt; dadurch wird der Gefrierpunkt der sich niederschlagenden Kondensflüssigkeit unter - 40° C abgesenkt und auch in Gebieten mit hoher Luftfeuchtigkeit

1) Neuerdings über ein eigenes Luftfilter

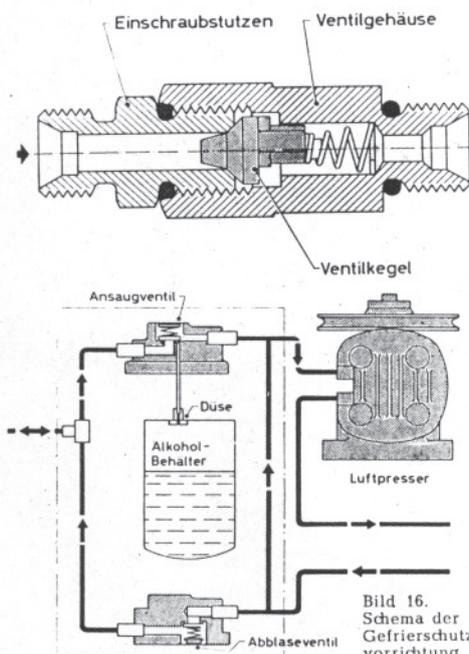


Bild 16. Schema der Gefrierschutzvorrichtung

Bild 15. Schnittbild des Rückschlagventils am Luftvorratsbehälter der Luftfederungsanlage

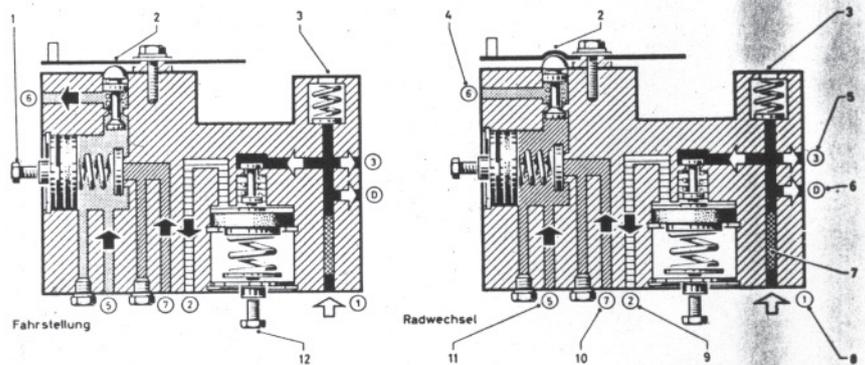


Bild 17. Bosch-Ventileinheit, Schnittbild und Luftkreislauf für „Fahrstellung“ (links) sowie „Radwechsel“.

- 1 Druckbegrenzungsventil
- 2 Schalthebel mit Ventil
- 3 Überdruckventil
- 4 zur Frostschutzvorrichtung
- 5 zum hinteren Niveau-Regelventil
- 6 Anschluß für Druckgeber
- 7 Filter
- 8 vom Luftbehälter
- 9 zu den vorderen Niveau-Regelventilen
- 10 von den vorderen Niveau-Regelventilen
- 11 vom hinteren Niveau-Regelventil
- 12 Druckminderventil

eine Eisbildung vor den Regelaggregaten mit ihren geringen Luftdurchtrittsquerschnitten wirksam verhindert. Gegenüber einem offenen Kreislauf, bei dem die gesamte Abblasluft ersetzt werden muß, oder einem geschlossenen Kreislauf mit besonderem Niederdruckspeicher stellt der gewählte halbgeschlossene Kreislauf sowohl hinsichtlich der anfallenden Kondenswassermenge und des Schmutzes, als auch des Bauaufwandes wohl den günstigsten Kompromiß dar.

Der Druckluftbehälter mit 7 Liter Inhalt ist im linken Radlauf vor dem Vorderrad, angeordnet. Besondere Sorgfalt wurde dem Korrosionsschutz im Behälterinnern gewidmet, der aus mehreren Schichten Einbrennlack besteht. Das sonst üblicherweise direkt am Behälter eingeschraubte Rückschlagventil wurde in den Motorraum verlegt, um der Einfriergefahr im Winter vorzubeugen. Kondensflüssigkeit, die sich unten im Behälter sammelt, muß im Rahmen der Kundendienstarbeiten über das am Behälterboden angebrachte Wasserablaßventil abgelassen werden.

Am Vorratsbehälter ist ferner noch ein Füllventil angeordnet, um bei Reparaturarbeiten oder nicht betriebsfähigem Motor die Federungsanlage über eine stationäre Druckluftquelle auffüllen zu können.

5.3 Aggregate zur Regelung des Luftdurchflusses

Den Einrichtungen, mit denen das Zu- oder Abströmen von Federungsluft in die Federbälge geregelt wird, kommt eine entscheidende Bedeutung zu, denn von ihrer Konstruktion wird ein großer Teil des Fahrverhaltens mitbestimmt. Ziel der Entwicklung war, eine Regelung zu finden, die neben der statischen Regelung der Bodenfreiheit ein unverändertes Eigenlenkverhalten des Wagens unabhängig von Art und Reihenfolge der befahrenen Kurven garantiert. In Zusammenarbeit mit der Robert Bosch GmbH, sind die nachstehend beschriebenen Regelaggregate entwickelt worden.

Durch die Achsbewegungen gesteuerte Niveau-Regelventile regeln den Luftdurchfluß zu und von den Federbälgen an Vorder- und Hinterrädern; je nach Anzahl der Regelventile wird von Zwei-, Drei- oder Vierpunktregelung gesprochen. Für den 300 SE wurde eine Dreipunktregelung gewählt mit 2 Niveau-Regelventilen an der Vorderachse und 1 Niveau-Regelventil und Ausgleichsfederung an der Hinterachse. Diese Dreipunktregelung ist statisch bestimmt und weist gegenüber der Zweipunktregelung den Vorteil auf, daß auch ungleichmäßige Beladung ausgeglichen wird. Die Vierpunktregelung hat sich als unzureichend erwiesen, weil infolge der statischen Überbestimmung nur mit erheblichem Aufwand einwandfreie Fahr- und Federungseigenschaften erreicht werden können.

Gleichbleibendes Eigenlenkverhalten hat zur Voraussetzung, daß während der Kurvenfahrt keine nennenswerte Regelung stattfindet. Hierzu wurde die „Ventileinheit“, Bild 17, neu entwickelt. Sie ist in der Druckluftanlage zwischen Vor-

ratsbehälter und den Niveau-Regelventilen eingeschaltet; ihre Aufgabe ist es, die Druckluft auf Vorder- und Hinterachse zu verteilen und die rückströmende Abblaseluft wieder der Saugseite des Luftpressers zuzuführen bzw. bei stillstehendem Motor und Entlastung des Wagens über ein Überdruckventil in die Leitung zum Motorluftfilter abzuführen.

Ein Druckminderventil innerhalb der Ventileinheit vermindert den Druck zu den vorderen Niveau-Regelventilen auf 10 atü. Die über die vorderen Niveau-Regelventile zurückströmende Luft wird durch ein ebenfalls innerhalb der Ventileinheit angeordnetes Druckhalteventil unter einem Gegendruck von 3 atü gehalten. Dadurch wird an der Vorderachse ein geringes zweiseitiges Druckgefälle zwischen Zuströmleitung und Federbalg sowie zwischen Federbalg und Abblaseleitung erreicht.

Bei Kurvenfahrt rollt die Fliehkraft den Wagenkasten zur kurvenäußeren Seite. Dabei erhöht sich der Druck im kurvenäußeren Federbalg, gleichzeitig spricht infolge der Wagenneigung das Niveauregelventil an und Druckluft würde normalerweise in den Balg einströmen. Bei dem nun geringen Druckgefälle und der Drosselwirkung des Ventils findet ein nürbares Zuströmen von Luft nicht statt. Am kurveninneren Balg spielt sich genau das Gegenteil ab; der Balg wird entlastet, der Balgdruck sinkt und das auf Abströmen gesteuerte Niveau-Regelventil würde größere Luftmengen entströmen lassen, wenn dies nicht der Gegendruck in der Ventileinheit verhindern würde. Ohne diese Einrichtung würde sich das Eigenlenkverhalten des Wagens in Kurven ändern und es könnten sich gefährliche Fahrzustände ergeben.

Das Niveauregelventil an der Hinterachse erhält den vollen Behälterdruck, weil hier die größten Beladungsänderungen auftreten und die Niveauregelung rasch erfolgen soll. Da es von der Mitte des Drehstabs aus gesteuert wird, findet bei Kurvenfahrt ebenfalls keine Regelung statt. Wie bei den Stahlfederwagen ist an der Hinterachse das Prinzip der Ausgleichsfederung verwirklicht; eine Leitung zwischen der linken und rechten Luftkammer sorgt für Druckausgleich zwischen den Bälgen. Die vom Niveauregelventil der Hinterachse abströmende Luft steht unter einem Gegendruck von 0,2 atü; bei höherem Druck wird sie zum Motorluftfilter abgeblasen.

Bei Radwechsel, bei bestimmten Montagearbeiten sowie beim Transport der Wagen auf anderen Verkehrsmitteln hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn auch bei Entlastung der Achsen ein Abströmen von Luft aus den Bälgen nicht erfolgt. Mittels eines vom Fahrerraum zugänglichen Zugknopfes kann an der Ventileinheit eine Stellung „Radwechsel“ geschaltet werden, bei der die Sammelabströmleitung gesperrt ist. Jetzt kann unabhängig von der Stellung der Niveau-Regelventile eine Luft mehr aus den Bälgen abströmen, Bild 17, rechts. Beim Fahren muß die Ventileinheit wieder in die normale Betriebsstellung umgestellt werden; wird dies vergessen, so wird der Fahrer optisch durch eine Warnlampe daran erinnert. Die gleiche Warnlampe zeigt ihm an, wenn der Druck im Vorratsbehälter unter 9 atü abgefallen ist, ein Anzeichen dafür, daß die Anlage nicht mehr vollständig dicht ist; der Druckgeber hierfür ist in die Hochdruckleitung an der Ventileinheit eingeschraubt. Ein Überdruckventil endlich verhindert bei Verwendung einer fremden Druckluftquelle ein unzulässiges Ansteigen des Drucks im Vorratsbehälter.

5.3 Die Niveau-Regelventile

weisen sich durch einfache Bauart aus; in einem Leichtmetallgehäuse ist in der Mitte in einem luftdicht anvulkanisierten Gummilager eine Welle gelagert, die am gehäuseinneren Ende eine Nockenscheibe und außen den Betätigungshebel trägt. In die Stirnseiten sind jeweils Ventileinsätze eingeschraubt, die je nach Stellung der Nockenscheibe für Zuströmen oder Abströmen von Federluft geöffnet werden. Selbstreinigende Drosselstellen vor den Ventilsitzen — freier Querschnitt etwa 0,45 mm² — haben die Aufgabe, den Luftverbrauch während der Fahrt zu verringern; in gleichem Sinne wirkt ein bestimmter Leerweg am Ventil in der Normal-

lage, wobei die Räder Federbewegungen um einen bestimmten Betrag ausführen können, ohne daß die Ventile ansprechen.

Auf der Einlaßseite jedes Niveau-Regelventils befindet sich ein Rückschlagventil; es verhindert ein Rückströmen von Luft aus den Federbälgen zur Ventileinheit und zum Vorratsbehälter für den Fall, daß in der Luftanlage vor den Niveauregelventilen eine Undichtheit entsteht. Die verschiedenen Regelstellungen — Normallage, Wagen wird belastet, Wagen wird entlastet — sind in Bild 18 dargestellt.

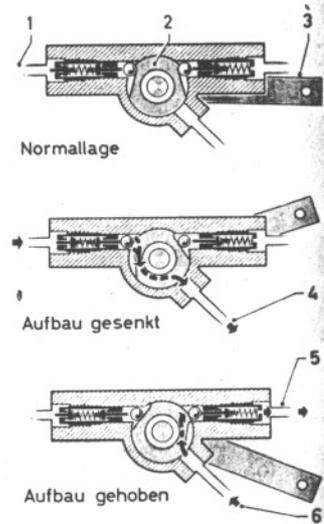


Bild 18. Bosch-Niveauregelventil im Schnitt
1 vom Luftbehälter 4 zum Federbalg
2 Hubscheibe 5 zur Ventileinheit
3 Betätigungshebel 6 vom Federbalg

5.4 Leitungen und Dichtungen

Von den verschiedenen Möglichkeiten der Ausbildung der Leitungsanschlüsse an den Armaturen hat sich die in Bild 19

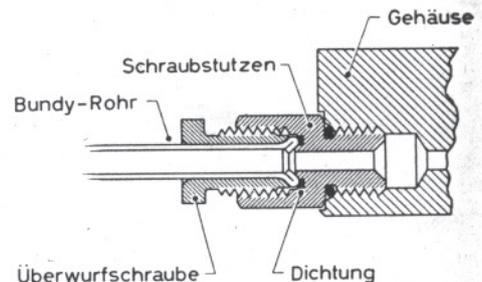


Bild 19. Schnittbild durch eine Armatur zur Rohrleitungsverbindung mit Rohrbüdel und Gummidichtung

gezeigte in Versuch und Praxis als die günstigste erwiesen. Die Rohrleitung wird an ihrem Ende mit einem Doppelbüdel, wie er auch bei Bremsleitungen üblich ist, versehen und in der üblichen Weise durch eine Überwurfschraube in der Armatur befestigt. Die metallische Abdichtung allein genügt jedoch nicht, erst die Hinzufügung eines der metallischen Dichtung nachgeschalteten Gummidichtungs ergab eine allen Ansprüchen genügende Dichtigkeit. Auch an allen übrigen Dichtstellen, wo Armaturen in Gehäuseteile eingeschraubt sind, wurden Gummidichtungen vorgesehen. Erst sie ergaben die für eine Luftfederungsanlage erforderliche einwandfreie Dichtigkeit.

Bei Versuchen mit Bundy-Rohren, Kupfer- und Edelstahlrohren hat sich gezeigt, daß das preisgünstigere Bundy-Rohr hinsichtlich Korrosionsbeständigkeit durchaus genügt.

Erfahrungen, Zukunftsaussichten

Messungen auf einer Fahrbahn mit Asphaltdecke und mäßiger Fahrbahngüte haben gezeigt, daß die Schwingbeschleunigungen, gemessen am Boden des Fahrerraumes, beim Luftfederwagen um ca. 20% niedriger liegen als beim Stahlfederwagen ähnlichen Aufbaus, Bild 20. Diese Verbesserung ist auch subjektiv deutlich spürbar und wird angenehm empfunden. Gleichzeitig hat sich auch die Fahrsicherheit wesentlich gebessert, und zwar nahezu unabhängig von der Belastung.

Die gesamte Federungsanlage hat sich in über vierjährigem Versuchsbetrieb gut bewährt. Wichtig für die Dichtigkeit der Anlage ist eine sorgfältige, weit über das übliche Maß hinausgehende Kontrolle der einzelnen Aggregate, eine saubere Lagerhaltung sowie eine ebenso sorgfältige wie saubere Montage am Band, was am besten auf einer besonderen Mon-

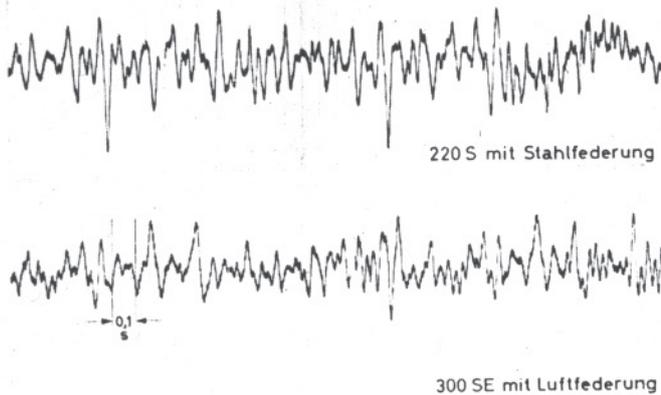


Bild 20. Vergleich der Schwingbeschleunigungen, gemessen am Boden des Fahrerraums zwischen dem Wagen 220 S mit Stahlfederung und 300 SE mit Luftfederung, bei gleicher Fahrstrecke und gleicher Geschwindigkeit

tagelinie erreicht wird. Am Ende der Montage wird die gesamte Anlage mittels besonderer Spürgeräte auf absolute Dichtheit geprüft. Die Dauerhaltbarkeit der Gummifederbälge hat einen durchaus befriedigenden Stand erreicht, so daß heute eine Laufzeit von über 100 000 km zu erwarten ist. Bei harten Arbeitsbedingungen, d. h. Fahren auf meist schlechten Straßen und bei voller Beladung, hat sich gezeigt, daß die Luftfedern unter Umständen eine längere Lebensdauer besitzen als Stahlfedern, weil sich letztere nach längeren Laufzeiten „setzen“ können.

Die Verwirklichung der weichen Aufbaufederung mit Hilfe der Gasfederung hat auf der anderen Seite jedoch die Stabilitäts- und Schwingungsdämpfungsprobleme spürbar vergrößert. So kommt der Beherrschung der Nickbewegungen während des Beschleunigens und Bremsens erhöhte Bedeutung zu; durch Wahl einer geeigneten Geometrie der vorderen und hinteren Radaufhängung muß der bestmögliche Kompromiß gefunden werden, damit sich die Federweichheit voll auswir-

ken kann und trotzdem gute Seitenführungskräfte vorhanden sind. Beim 300 SE sind diese Maßnahmen im wesentlichen verwirklicht.

Ein möglichst geringer Unterschied zwischen statischer und dynamischer Federweichheit ist anzustreben. Bei weich gefederten Fahrzeugen mit Grundfrequenzen um 1 Hz können die langsamen Schwingungen bei manchen Personen zu Erscheinungen wie Seekrankheit führen. Aus diesem Grunde ist diese weiche Federung nur möglich mit einer Dämpfung, die ein Nachschwingen mit Sicherheit verhindert.

Es gilt als erwiesen, daß die Vorteile einer weichen Aufbaufederung nur mit einer unabhängigen Radführung voll zur Geltung kommen können, wobei die ungefederten Massen möglichst gering sein sollen. Weitere Verbesserungen sind möglich, wenn es gelingt, Reifen zu entwickeln, die weicher abrollen, gleichzeitig ausreichende Seitenführungskraft besitzen und den Anforderungen der großen Geschwindigkeitsunterschiede genügen.

Die hohen Kosten einer Luftfederungsanlage in der vorliegenden Form beschränken ihre Verwendung vorläufig noch auf schwerere Fahrzeuge mit höheren Ansprüchen, obwohl die regelbare Federung gerade beim kleinen, leichten Fahrzeug mit relativ hoher Zuladung besonders interessant wäre. Der verbesserte Fahrkomfort, die verbesserte Straßenlage, die Niveau-Regulierung, die Geräuschisolierung sowie die stets gleichbleibende Reichweite der Scheinwerfer rechtfertigen jedoch den Aufwand.

Schrifttum

- [1] Mitschke, M.: „Einfluß von Straße und Fahrzeugabmessungen auf die Aufbaubewegungen und die dynamischen Radlasten“, ZVDI 1962, S. 361 bis 372 und S. 445 — 448
- [2] VDI-Richtlinie 2057, „Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen“
- [3] Mitschke, M.: „Beitrag zur Untersuchung der Fahrzeugschwingungen“, Deutsche Kraftfahrtforschung und Straßenverkehrstechnik 1962, Heft 157
- [4] Mitschke, M.: „Luftfederung, ihre schwingungstechnischen Vorteile und ihre Forderungen an die Dämpfung“, ATZ 1958, S. 275 — 280
- [5] van der Burgl, G. J.: „Die Luftfederung und der Fahrkomfort“, ATZ 1960, S. 113 — 117
- [6] Weber, G. und Zoepfritz, H. P.: „Entwicklungsstand der Luftfederung unter besonderer Berücksichtigung der Rollbalg-Luftfederelemente und ihrer Anwendung“, ATZ 1958, S. 265 — 269
- [7] Behles, Fr.: „Zur Berechnung von Luftfedern“, ATZ 1961, S. 311 — 314

Rechenverfahren zur Ermittlung der Rückstellmomente am Achsschenkel von Kraftfahrzeugen

Von Dipl.-Ing. A. Zomotor, Fulminawerk KG Franz Müller, Mannheim-Friedrichsfeld

Der ständig wachsende Verkehr fordert von den Kraftfahrzeugen immer größere Fahrsicherheit. Eine bedeutende Rolle spielen in dieser Hinsicht die bei Kurvenfahrt wirksam werdenden Achsschenkelmomente, da sie dem Fahrer über die Lenkung das Gefühl für die Straße vermitteln und somit die Lenkeigenschaften des Fahrzeuges wesentlich beeinflussen. Im Fulminawerk wurde eine Rechenmethode entwickelt¹⁾ die es ermöglicht, die Charakteristik der Rückstellmomente in Abhängigkeit von verschiedenen Konstruktionsmerkmalen (wie z. B. Nachlauf, Spreizung, Lenkrollhalbmesser) auf vereinfachte Weise rechnerisch zu untersuchen.

Teil 1

Zusammenfassung

Die Forderung nach stabilen Kraftfahrzeuglenkungen setzt voraus, daß bei der Auslegung der Lenkung außer dem Lenkgetriebe auch das Fahrzeug als Ganzes, insbesondere aber die Radstellung berücksichtigt wird. Eine stabile Lenkung ist nur dann gegeben, wenn bei Kurvenfahrt Rückstellmomente wirksam werden, die die Lenkung in die Mittelstellung zurückzustellen bestrebt sind.

In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, wie man die Rückstellmomente in der Praxis rechnerisch ermitteln kann. Nach einer allgemeinen Betrachtung der um den Achsschenkelbolzen wirkenden Kräfte erfolgte die Untersuchung der geometrischen Verhältnisse der Achsschenkelbewegung. Das Resultat ergab, daß die vereinfachende Annahme über einen

Kreis für die Bahn des Rad-Bodenberührungspunktes in der Fahrbahnebene bei größeren wirksamen Einschlagwinkeln nicht mehr haltbar ist. Für die Bestimmung der Momente wurde ein Näherungsverfahren vorgeschlagen, welches ermöglicht, die statisch unbestimmten Größen durch Einbau von graphischen Rechenoperationen verhältnismäßig einfach zu ermitteln. Ein tabellarisch aufgebautes Rechenbeispiel erleichtert die Anwendung der Rechenmethode für die Praxis.

Die Untersuchung über den Einfluß von Nachlauf und Spreizung auf die Stabilität der Lenkung führte zu den folgenden Erkenntnissen: Bei Vorderradlenkung nimmt das Rückstellmoment durch Vergrößerung des Nachlaufs zu. Die Momentenzunahme wird jedoch erst bei schneller Fahrt bedeutend. Die Spreizung bringt dagegen in den unteren Geschwindigkeitsbereichen zusätzliche Rückstellmomente und ruft damit eine gewisse Ausgleichung des Momentenverlaufes hervor.

Zum Schluß wurden die Betrachtungen auf die Hinterradlenkung ausgedehnt. Unter Berücksichtigung der Unterschiede

¹⁾ Der Verfasser möchte Ing. E. Mazur in Firma Fulminawerk KG Franz Müller an dieser Stelle für seine wertvollen Anregungen und für die Unterstützung besonders danken.