

3 Schwingungsreduktion mit Traktor- federungssystemen (Stand der Technik)

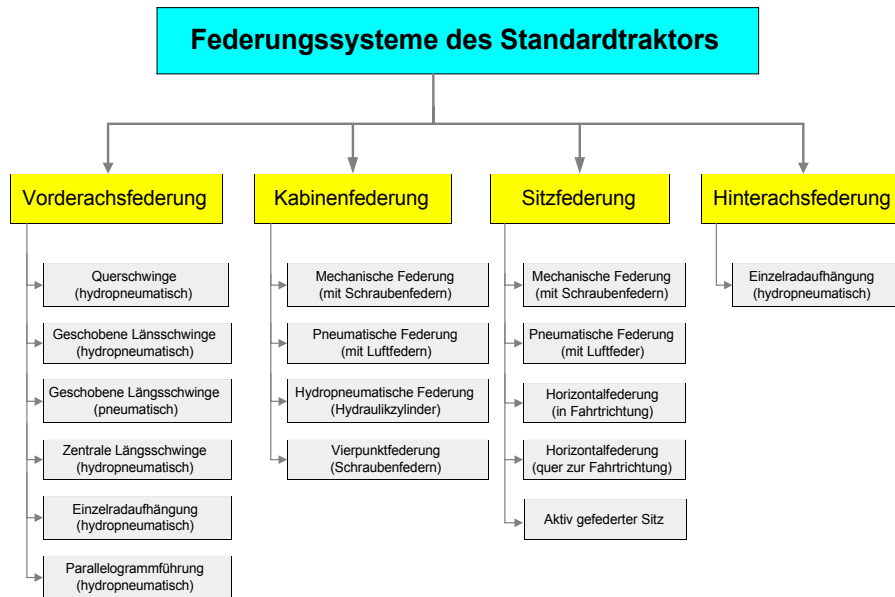


Abb. 3.1: Federungssysteme des Standardtraktors

3.1 Historischer Rückblick

Bereits in den 50er Jahren war man bei den damaligen Traktoren bemüht, durch Federungssysteme an der Vorderachse die Stöße auf den Fahrer zu verringern. 60% von 150 angebotenen Traktoren (bei 39 angeführten Herstellern) waren serienmäßig mit einer Vorderachsfederung ausgestattet. Die klassische Form der Federung war damals die Blattfeder. Einzelradfederungen mit Schraubenfedern fand man beim „Lanz-Bulldog“ und „Steyr 188“. Die Schraubenfeder mit externer Dämpfung hat sich bis heute beim „Unimog“ bewährt. Mit dem vermehrten Einbau der angetriebenen Vorderachse hat man vermutlich aus Festigkeitsgründen die Federung der Vorderachse aufgegeben.

| Gruppe | Anzahl | Federung in Serie | Federung auf Wunsch |
|------------|--------|-------------------|---------------------|
| bis 12 PS | 6 | - | - |
| 12 - 17 PS | 46 | 11 | 5 |
| 17 - 24 PS | 36 | 29 | 4 |
| 24 - 34 PS | 32 | 28 | 4 |
| über 34 PS | 30 | 24 | 2 |
| Summe | 150 | 92 | 15 |

Abb. 3.2: Vorderachsfederung 1954 [Landtechnische Information „Die Deutschen Ackerschlepper“]



Abb. 3.3: Steyr Traktor „Type 180“ (Bj. 1949) mit Blattfeder als Vorderachse

Mercedes Benz war die erste Firma, die ihre Fabrikate „Unimog“ und „MB-Trac“ in den 70er und 80er Jahren wiederum mit gefederten Achsen ausgestattet hat.

3.2 Sitzfederung

3.2.1 EIGENFREQUENZ DES SITZES

Die Kinematik moderner Fahrersitze ist im wesentlichen zur Minderung der vertikalen Beschleunigungen auf den Fahrer ausgelegt. Die Sitzsysteme sind im Grundaufbau vertikal geführt. Sitze älteren Baujahres haben oftmals noch die „Einarmführung“ (Führung der Sitzschale) oder die „Parallelogrammführung“. Bei der Einarmführung führt der Montagepunkt der Sitzschale beim Schwingen eine Kreisbewegung um den Drehpunkt der Anlenkhebel aus. Somit entstehen sehr unangenehme Nick- und Horizontalbewegungen der Sitzschale für den Fahrer. Bei der Parallelogrammführung werden zwar die Nickbewegungen der Sitzschale unterbunden, die Horizontalbewegung der Sitzschale bei Federn des Sitzes bleibt aber erhalten. Systeme dieser Art sollten nicht mehr verwendet werden.

Grenzfrequenz der Sitzfederung (fg):

Nur oberhalb der Grenzfrequenz dämpft der Sitz die Schwingungen. Bei niedrigeren und höheren Frequenzen tritt eine Verstärkung (besonders bei der Resonanzfrequenz - f_r) auf. Die Grenzfrequenz "fg" kann nach folgender Formel bestimmt werden.

$$(f_g \sim f_r \times \sqrt{2})$$

Ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung des Schwingungsverhalten eines Fahrersitzes ist seine Vergrößerungsfunktion „V“. Zu deren Ermittlung wird die Sitzmontagefläche durch Sinusschwingungen mit konstanter Erregerfrequenz erregt. Diese gibt an wie stark die Sitzamplitude gegenüber der Erregeramplitude vergrößert oder verkleinert ($V > 1$ oder $V < 1$) wird. Im Bereich kleiner $\sqrt{2} f$ handelt es sich um eine Verkleinerung, im Bereich größer als $\sqrt{2} f$ um eine Vergrößerung der Schwingungsbelastung. Schwingungen können nur dann reduziert werden, wenn deren Anregungsfrequenz größer als $\sqrt{2}$ mal der Eigenfrequenz des Sitzes ist. Mit steigender Traktormasse sinkt die Eigenfrequenz des Fahrzeuges, die auf den Sitz als Anregungsfrequenz wirkt. Die Sitzeigenfrequenz muss gegenüber der Fahrzeugeigenfrequenz möglichst tief liegen, damit ein Schwingungsschutz gewährleistet ist (siehe Abb. 3.5).

Einfluss der Schwingungsparameter

Bei der Vernachlässigung der Dämpfung kann die Eigenfrequenz des gefederten Fahrersitzes näherungsweise auch aus der folgenden Gleichung (nach Schütz) errechnet werden.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{c / m_s + a m_f} \quad [\text{Hz}] \dots \dots \text{Eigenfrequenz des Sitzes [Schütz; Berlin]}$$

c Federkonstante

m_s ... Masse des schwingenden Sitzteils

a 5/7 (vom Fahrergewicht m_f wirksam)

m_f ... Masse des Fahrers

Da der Fahrer sich mit den Füßen und Armen abstützt, wirkt nicht das ganze Gewicht auf den Sitzteil, sondern nur 5/7 der Fahrer Masse. Der Faktor a kann daher für die Berechnung ~ mit 5/7 angenommen werden.

Schon vor ca. 50 Jahren war man aus theoretischen und praktischen Überlegungen zum Ergebnis gekommen, dass die Eigenfrequenz des Fahrersitzes wesentlich kleiner sein muss als die Eigenfrequenz des Fahrzeuges, um die Schwingungen wirksam abschwächen zu können. Die günstigsten Bedingungen fand man bei einem Verhältnis von 0.4 bis 0.5 Hz. Auch heute gilt unverändert diese Forderung, dass die Eigenfrequenz der Sitze mög-

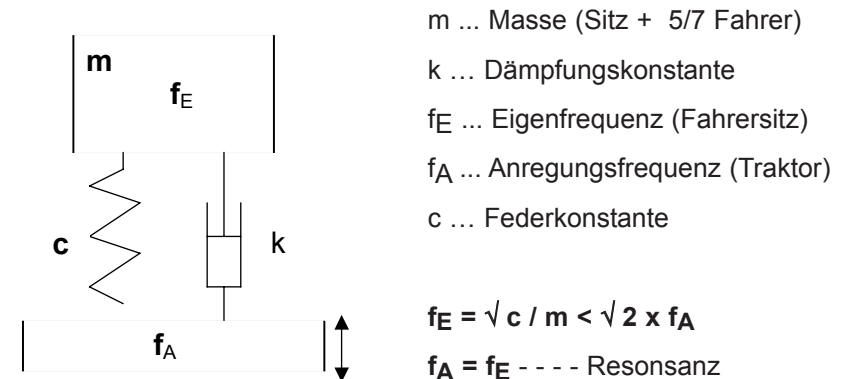


Abb. 3.4: Technischer Zusammenhang von Feder- Dämpferelement:

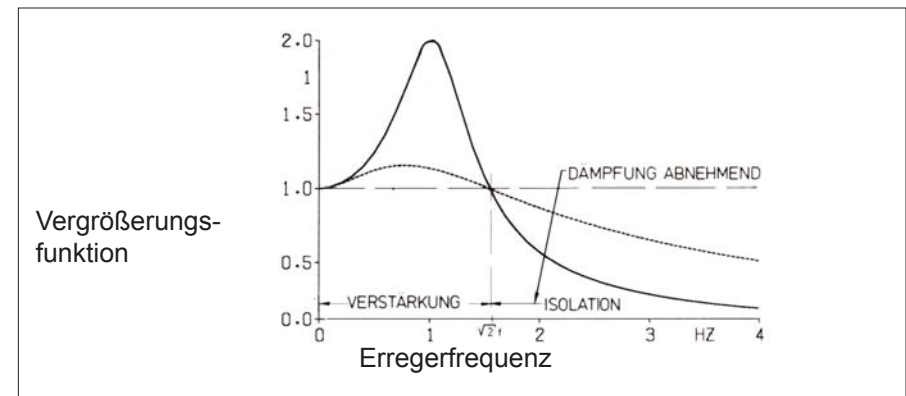


Abb. 3.5: Vergrößerungsfunktion des idealisierten Fahrersitzes bei unterschiedlicher Dämpfung (H. Jungerberg, TU-Berlin)

lichst tief liegen sollte. Aufgrund der großen Traktorgewichte und großvolumigen Reifen liegen die Eigenfrequenzen der Traktoren bei ca. 2 bis 2.2 Hz. Deshalb muss auch die Eigenfrequenz der Sitze bei ca. 1 Hz liegen, um eine gute Schwingungsverbesserung zu erzielen. Es muss jedoch beachtet werden, dass der erforderliche Schwingweg umso größer wird, je kleiner die Eigenfrequenz ist. Außerdem können bei einer Eigenfrequenz unter 0.7 Hz Symptome von Seekrankheit auftreten.

3.2.2 MECHANISCH GEFEDERTER ODER LUFTGEFEDERTER SITZ

Derzeit unterscheidet man grundsätzlich zwischen dem mechanisch gefederten und luftgefederten Sitz. Der Unterschied zwischen den beiden Sitzen liegt im Federelement. Für den mechanisch gefederten Sitz werden als Federungselemente Schraubenfedern verwendet. Beim luftgefederten

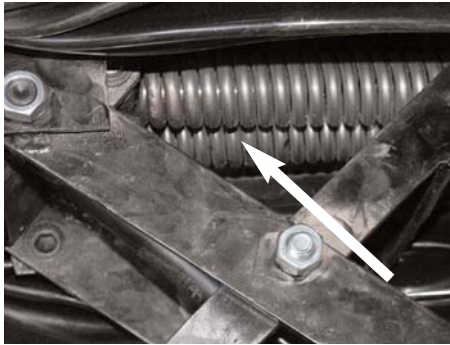


Abb. 3.6: Mechanisch gefederter Sitz (mit Schraubenfedern als Federelement)

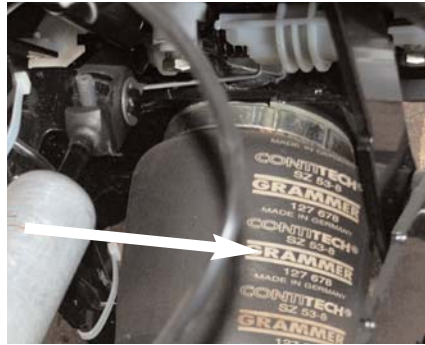


Abb. 3.7: Luftfederter Sitz (mit Luftfeder als Federelement)

Sitz, wird anstatt der Schraubenfedern eine Luftfeder (Luftbalg) eingebaut. Aufgabe der Feder ist es, die Schwingungen abzufangen und mit unterschiedlicher Vorspannung (je nach Fahrergewicht) den Sitz in Mittelstellung des freien Schwingweges (Federweg) zu halten. Zusätzlich dämpft ein hydraulischer Stoßdämpfer die Schwingbewegungen, um ein Aufschaukeln und ein Durchschlagen an die Endanschläge des Sitzes zu verhindern. Verschiedenste Untersuchungen haben gezeigt, dass die schwingungstechnischen Eigenschaften des mechanisch gefederten und des pneumatisch gefederten Sitzes (luftgedert) gleich sind. Diese Aussage ist nur bei richtiger Gewichtseinstellung beider Sitze richtig. Der Vorteil des luftgederten Sitzes liegt in der bequemen Gewichtseinstellung über Tastendruck.

3.2.3 BEDEUTUNG DES SITZDÄMPFERS

Für den Fahrersitz gelten die selben Gesetze wie für jede andere Fahrzeugfederung. Stöße und Schwingungen, die durch Unebenheiten der Fahrbahn eingeleitet werden, müssen von der Sitzfederung und - wenn vorhanden - zusätzlich von anderen Federungssystemen absorbiert werden. Der Sitzdämpfer ist neben der Sitzfederung eines der wichtigsten Funktionselemente des Sitzes, mit großem Einfluss auf das Schwingungsverhalten und damit den Federungskomfort. Der Dämpfer hat die Aufgabe, das Aufschaukeln des Sitzes bei allen Fahrzuständen des Traktors zu unterbinden und dadurch den Endanschlag beim Schwingen nach oben und nach unten zu verhindern. Deshalb ist der richtige Dämpfertyp und die richtige Dämpferhärte (Dämpfungsmaß) für den Sitzkomfort am Fahrzeug besonders wichtig. Das Dämpfungsmaß ist davon abhängig, wie groß das Verhältnis zwischen der Sitzeigenfrequenz und der Eigenfrequenz des Fahrzeuges ist. Je kleiner dieses Verhältnis ist, desto kleiner sollte auch die

Dämpfung sein. Im Allgemeinen sollte das Dämpfungsmaß zwischen 0.3 und 0.8 liegen. Für eine Sitznachrüstung und die Reparatur von Sitzen bei älteren Traktoren soll als Faustregel folgendes beachtet werden:

Grundsätzlich gibt es einfachwirkende und doppelwirkende und unter diesen wiederum harte und weiche Dämpfer. Der einfachwirkende Dämpfer verzögert die Bewegung des Sitzes nur beim Ausfedern (Zugstufendämpfung), der doppelwirkende dämpft die Bewegung des Sitzes beim Ein- und beim Ausfedern (Zug- und Druckstufendämpfung). Der Dämpfertyp und die Dämpferhärte müssen unbedingt auf das Traktoreigengewicht abgestimmt werden. Für die kleinen Traktoren werden weiche einfachwirkende Dämpfer verwendet; auf größeren Traktoren (ab ca. 110 kW) werden aufgrund der niedrigen Eigenfrequenz des Fahrzeuges doppelwirkende Stoßdämpfer mit zwei verschiedenen Dämpferkennlinien eingesetzt: eine härtere Zugstufendämpfung für das Ausfedern und eine weiche Druckstufendämpfung für das Einfedern. Ein unpassender Dämpfer verstärkt die vertikalen Beschleunigungen auf den Fahrer beträchtlich.

3.2.4 BEDEUTUNG DER SITZHORIZONTALFEDERUNG

Die Fahrersitze wurden hinsichtlich ihrer Möglichkeiten zur vertikalen Schwingungsreduktion bereits ausführlich erforscht und optimiert. Die Versuche auf den Holperbahnen und im Praxiseinsatz haben gezeigt, dass nicht nur die vertikalen Schwingungen, sondern auch die horizontalen Schwingungen, die sowohl in Fahrtrichtung als auch quer zur Fahrtrichtung auf den Fahrer wirken, sehr unangenehme und schmerzvolle Auswirkungen haben. Die horizontalen Schwingungen in Fahrtrichtung werden hauptsächlich durch die Nickbewegungen des Traktors hervorgerufen. Sie werden bei ungefederten Traktoren durch die Vorderachse eingeleitet und können mit Hilfe der Sitzhorizontalfederung (in Fahrtrichtung) abgeschwächt werden. Die Sitzhorizontalfederung in Fahrtrichtung ist bereits in die Serienausstattung vieler Sitze integriert. Sie kann mittels eines Hebels gesperrt werden. Manche Traktorbesitzer bemerken erst nach Jahren, dass ihr Traktorsitz eine Sitzhorizontalfederung eingebaut hat. Möchte man die schwingungsreduzierenden Eigenschaften des Sitzes ausschöpfen, muss immer darauf geachtet werden, dass die Sitzhorizontalfederung in Fahrtrichtung bei allen Arbeiten eingeschaltet ist. Es gibt fast keinen Praxiseinsatz, bei dem die Horizontalfederung des Sitzes in Fahrtrichtung keine schwingungsreduzierende Wirkung hat.

Die sehr unangenehmen horizontalen Schwingungen quer zur Fahrtrichtung wurden bisher wenig beachtet. Mit der Einführung der Komfortkabinen und steigender Traktorleistungen stieg auch die Sitzhöhe des Fahrers. Mit zunehmender Sitzhöhe vergrößern sich auch die Schwingungsbelastungen, die quer zu Fahrtrichtung auf den Fahrer wirken. Die Situation wird bei der Schräglage (Schichtenlinienfahrt) zusätzlich verschärft. Die Wirbelsäule ist in dieser Position aufgrund der eingeschränkten Bewegungsfreiheit auf „Endanschlag“, hinzu kommen in dieser Situation noch Schläge und Stöße quer zur Fahrtrichtung. Instinktiv reagiert der Fahrer mit der Anspannung der Muskulatur. Schmerzliche Verspannungen und Verkrampfungen sind die Folgen. Wirksame Querhorizontalfederungssysteme können hierbei Abhilfe schaffen. Solche Systeme für Fahrersitze werden bereits von einigen Firmen als Zusatzausstattung angeboten, deren Effizienz im Praxiseinsatz ist aber noch nicht überzeugend. Untersuchungen hinsichtlich der Wirksamkeit von Sitz-Querhorizontalfederungen sind noch ausständig.

3.2.5 PRÜFUNG DES FUNKTIONSZUSTANDES VON FAHRERSITZEN

Der Federungskomfort des Fahrersitzes verschlechtert sich allmählich im Laufe der Zeit. Diese schleichende Verschlechterung des Federungskomforts wird vom Fahrer selten bemerkt. Durch diesen Gewöhnungseffekt registriert der Fahrer gar nicht, das sich das Federungsverhalten des Sitzes über die Jahre hinweg dramatisch verändert hat. Schon geringfügige Veränderungen der Lagerreibung und des Lagerspiels führen zu einer Erhöhung der Beschleunigungswerte auf den Fahrer.

Durchführung der Funktionskontrolle des Fahrersitzes:

- ◆ Auf zerrissene und lockere Sitzpolsterung achten.
- ◆ Mit beiden Händen den Sitz nehmen und horizontal in alle Richtungen bewegen.
Beim Auftreten von horizontalem Spiel sind die Lagerstellen ausgeschlagen und deshalb rasch zu erneuern.
- ◆ In der Kabine stehend mit einem Knie den Sitz rasch niederdrücken und schnell loslassen.
Bewegt sich der Sitz schwergängig oder ruckartig nach unten ist die Lagerreibung zu groß (Schmieren der Lagerstellen). Schnellert der Sitz ohne Verzögerung zurück, ist der Dämpfer defekt (Dämpfer austauschen).

3.2.6 AKTIV GEFEDERTER SITZ

Die neueste Entwicklung am Fahrersitzsektor ist derzeit der aktiv gefederter Sitz. Er wurde erstmals von der Fa. John Deere auf der „Agritechnica“ in Hannover 2001 vorgestellt. Ein elektrohydraulisches System ist für die Regelung der Schwingungsdämpfung des „aktiven“ Fahrersitzes verantwortlich, welches die Vertikalposition der Sitzschale durch die Signale eines Beschleunigungs- und eines Positions-Sensors regelt. Der „Aktor“ des elektrohydraulischen Systems arbeitet parallel zu einer konventionellen Luftfederung und wirkt direkt auf das Scherensystem, um das Fahrgewicht abzustützen. Die Vertikalposition der Sitzschale wird durch die Signale eines Beschleunigungs- und eines Positionssensors geregelt. Das Signal des Beschleunigungs- und des Positionssensors wird einem sogenannten „Controller“ zugeführt. Gleiches gilt für Signale des Positions-Sensors. Die Signale der Beschleunigung und der Position der Sitzschale werden 200 mal/Sekunde an den Controller weitergeleitet. Der Controller regelt den Öldruck und den Ölstrom der Hydraulik und bringt mit dem „Aktor“ die Sitzschale in eine andere Position, die der Vertikalbeschleunigung entgegenwirkt, so das für den Fahrer nur eine geringe Wirkung der Sitzanregung spürbar ist. Vom Controller werden die eingeleiteten Schläge und Stöße weicher und härter eingestellt. Laut Hersteller reduziert der aktiv gefederter Sitz im Vergleich zum luftgedephten Sitz die Beschleunigung vertikal um 66%. Wo die Grenze der mechanischen Abstimmung erreicht ist, können nur mehr die elektronische Regelsysteme Verbesserungen erzielen.

Beschleunigungs-sensor: misst die Vertikalbeschleunigung der Sitzschale

Controller (verarbeitet die Eingangssignale der Sensoren und steuert das Hydraulik-Ventil) u. **Positionssensor** (misst die Sitzschalenposition)

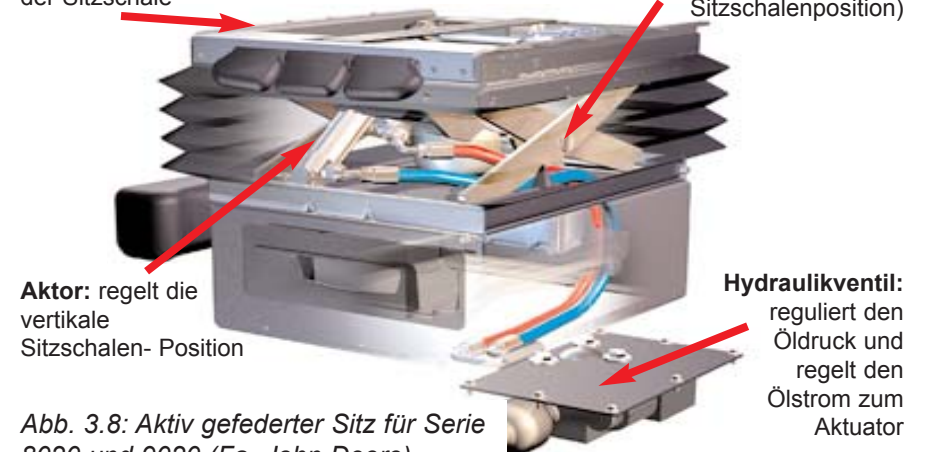


Abb. 3.8: Aktiv gefederter Sitz für Serie 8020 und 9020 (Fa. John Deere)

3.2.7 WAS VERSTEHT MAN UNTER „SITZQUALITÄT“

Darunter werden die Begriffe Federungskomfort, Sitzkomfort und Bedienungskomfort zusammengefasst.

Federungskomfort

Unter Federungskomfort bezeichnet man die Fähigkeit des Sitzes, Schwingungen und Stöße spürbar weich abzufedern und ein Aufschwingen des Sitzes bei allen Fahrzuständen zu verhindern. Eine Verringerung der Schwingungsbelastung ist die Folge und das Risiko von Gesundheitsschäden wird verringert.

Sitzkomfort

Darunter versteht man breite, ergonomisch geformte Sitzpolster und Arm- und Rückenlehnen, einen guten Seitenhalt und genügend Bewegungsfreiheit am Fahrersitz. Der Sitz soll den individuellen Bedürfnissen des Fahrers gerecht werden und ihm ein gutes Fahrgefühl vermitteln.

Bedienungskomfort

Darunter versteht man eine ergonomische Benutzerführung des Sitzes. Die Einstellgriffe für den Sitz sind logisch angeordnet - dort wo der Benutzer sie vermutet. Die Form der Einstellgriffe gibt die Bedienungsrichtung vor, um möglichst schnell die ergonomisch optimale Sitzposition zu erreichen.

So manche Traktorhersteller fordern von ihren Entwicklungsabteilungen den „optimalen Fahrkomfort“, unter zu Hilfenahme aller schwingungsreduzierenden Möglichkeiten. Der Weg dahin wird von vielen Firmen auf unterschiedliche Weise beschritten. Ein wichtiger Bestandteil eines jeden Federungskonzeptes ist und bleibt auch in Zukunft der Fahrersitz. Bis vor einigen Jahren diente bei Traktoren und selbstfahrenden landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen ausschließlich der gefederte Traktorsitz dem Schutz des Fahrers vor vertikalen Schwingungen und Stößen des Fahrzeuges. Mit der Einführung der Vorderachsfederung und der Kabinenfederung wurde von den Sitzherstellern befürchtet, dass der Fahrersitz in Zukunft nur mehr eine untergeordnete Bedeutung haben wird. Diese anfänglichen Befürchtungen wurden durch die Untersuchungen an der BLT sehr früh wiederlegt. Ohne einen guten Fahrersitz ist derzeit beim Standardtraktor kein guter Fahrkomfort zu erreichen.

Die Sitztechnik entwickelte sich bei den Komforttraktoren vom mechanischen zum luftgefederten Fahrersitz. Bei richtiger Einstellung unterscheiden sich die Fahrersitze im Schwingungsverhalten nur unwesentlich.

Längs-Horizontalfederungen sind beim Traktorsitz Stand der Technik. Die Quer-Horizontalfederungen befinden sich hingegen noch im Entwicklungsstadium. Grundsätzlich ist bei vielen Traktorsitzen in der Weiterentwicklung, vor allem in der Anpassung und Abstimmung an die Traktorfederung ein Nachholbedarf gegeben.

3.3 Kabinenfederung

Durch einen umfassenden Klimaschutz für den Fahrer und ergonomisch günstig angeordnete Bedienungs- und Kontrollelemente in der Kabine, wird das Traktorfahren wesentlich erleichtert. In den letzten Jahren war die Kabinenfederung ein heiß diskutiertes Thema. Derzeit ist sie aus einem guten Traktorfederungskonzept nicht mehr wegzudenken. Die gefederte Traktorkabine stellt eine konsequente Weiterentwicklung der Komfortkabine dar. Unter Komfort ist nicht nur eine „schöne“ Ausstattung der Kabine, sondern ein dementsprechender Schwingungskomfort zu verstehen. Die elastischen Gummilager der Kabinenbefestigungen auf den Traktorgrundrahmen können nur wirksam zur Körperschallisolierung und nicht zur Schwingungsdämpfung eingesetzt werden. Gummilager oder sogenannte „Silentblöcke“ sind zwar geeignet, hochfrequente Motorschwingungen zu eliminieren, bei niedrigfrequenten Fahrzeugschwingungen und großen Federwegen wirken die Gummilager nicht dämpfend, sondern verstärkend. Vor mehr als 20 Jahren wurden bereits erste Untersuchungen mit Kabinenfederungen durchgeführt [40], [41], [45], [46]. Seit der eigentlichen Markteinführung, hat sich bisher das „Prinzip der Wippe“ (siehe Abb. 3.9), in Verbindung mit Schraubenfedern oder Luftfedern als Federelemente (siehe Abb. 3.10, 3.11) für den Standardtraktor durchgesetzt.

3.3.1 SYSTEM WIPPE

Das „Wippenprinzip“ wird derzeit von den meisten Traktorherstellern (bis auf wenigen Ausnahmen) für den Standardtraktor angewendet (Abb. 3.9). Die Kabine wird dabei an ihren zwei vorderen Anbaupunkten am Traktorgrundrahmen (Drehpunkt der Kabine) über Gummipuffer oder gummigelagerte Gelenke angebaut und an den hinteren Anbaupunkten auf zwei Feder-Dämpferelemente gelagert. Zusätzlich wird die Kabine mit Querlenkern („Panhardstab“) seitlich stabilisiert. Zur Federung werden Schraubenfedern, Luftfedern oder Hydraulikzylinder eingesetzt (Abb. 3.11, 3.12, 3.13).

Bei der Verwendung von Schraubenfedern kann die statische Federeinsenkung, die durch unterschiedliche Beladungszustände in der Kabine entsteht, nicht ausgeglichen werden. Der nutzbare Kabinenfederweg wird klei-

ner und der Federungskomfort geht verloren. Luftgefederte und hydropneumatische Kabinenfederungssysteme mit Niveauregelung werden über die bordeigenen Versorgungssysteme des Traktors angeschlossen. Unabhängig von der Belastung wird die Kabine dadurch immer in der Mittelstellung des Federweges gehalten. Somit ist auch bei einer zusätzlichen Belastung der Kabine mit einem Beifahrer immer der gesamte Federweg (ca. +/- 45 mm) vorhanden (siehe Abb. 3.10). Bei der hydropneumatischen Kabinenfederung, wird anstatt der Luftfeder ein Hydraulikzylinder als Federungszyylinder eingesetzt. Die Niveauregelung erfolgt durch die kontinuierliche Anpassung des Druckspeichers (Abb. 3.13).

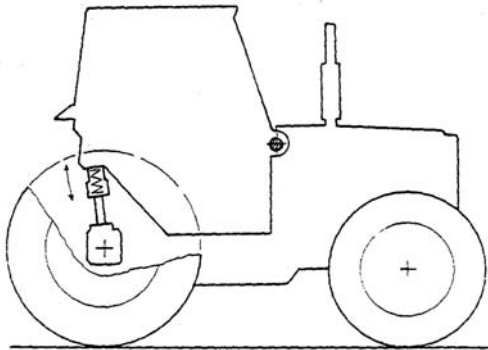


Abb. 3.9: Kabinenfederung
Prinzip der „Wippe“ (Stayner,
Silsoe, 1988), [51]

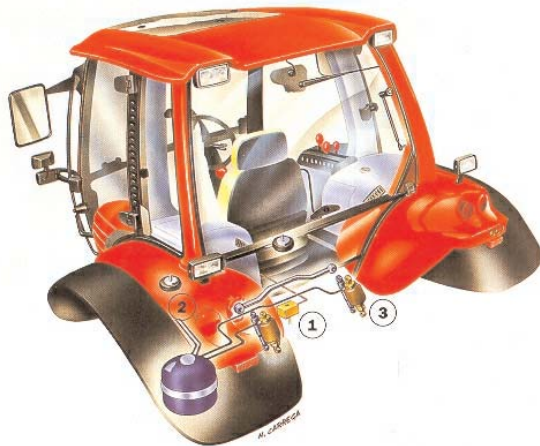
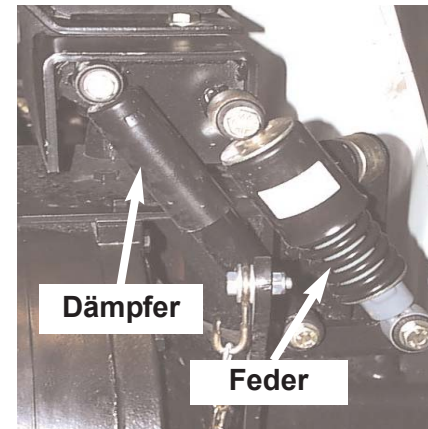


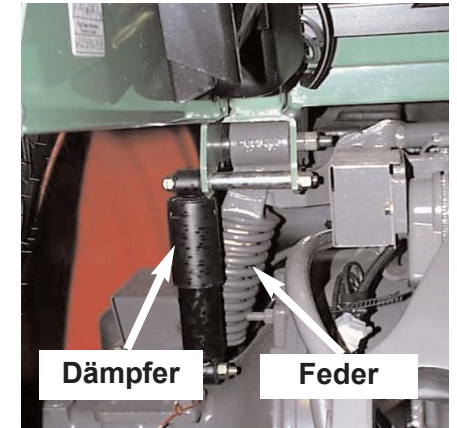
Abb. 3.10: Anordnung der
Federungsmechanik (Fa.
Same, Einführung der
pneumatischen
Kabinenfederung 1999)

- 1... Lagersensor
- 2...Aggregat Kompressor
und Ventile)
- 3...Druckluftfedern



Dämpfer

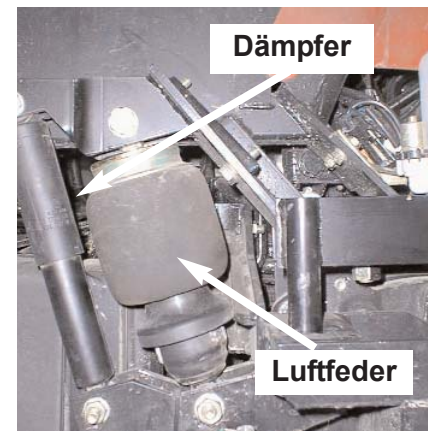
Feder



Dämpfer

Feder

Abb. 3.11: Kabinenfederungen mit Schraubenfedern an den hinteren Befestigungspunkten (Fa. Steyr, Fa. Fendt)



Dämpfer

Luftfeder

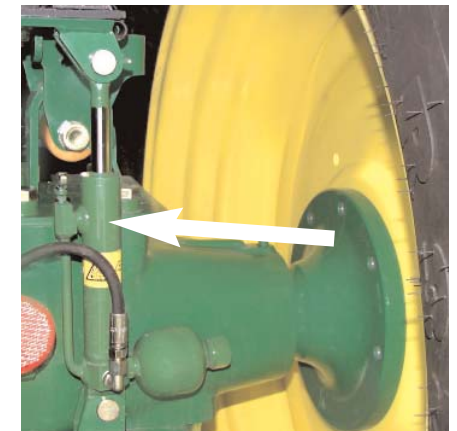


Abb. 3.12: li: pneumatische Kabinenfederung (Fa. Same, Fa. Deutz),
re: hydropneumatische Kabinenfederung (Fa. John Deere)

Durch die Größe des Stickstoffvolumens und des Gasvorspanndrucks wird das System auf die gewünschte Eigenfrequenz von 1 Hz abgestimmt. Die Dämpfung erfolgt hydraulisch mit Drosselblenden. Das Kolben- und Ringraumvolumen der Hydraulikzylinder wird gekoppelt (Abb. 3.13).

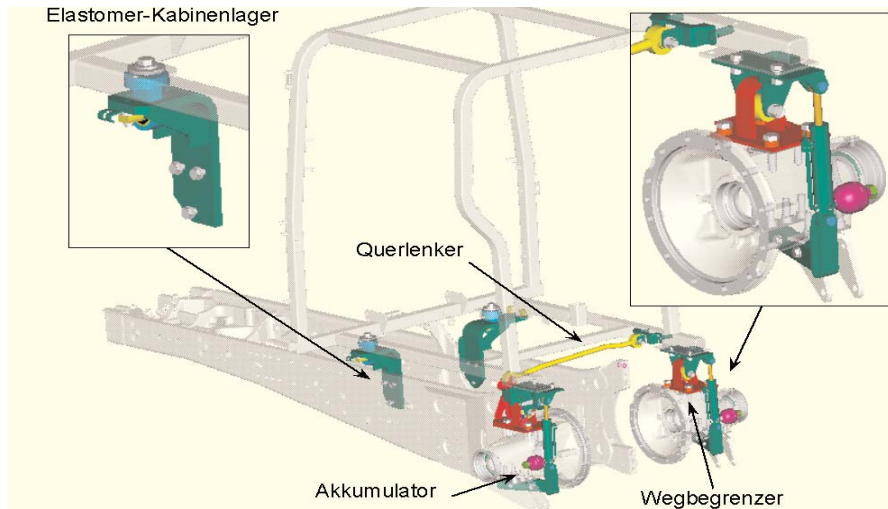


Abb. 3.13: Hydropneumatische Kabinenfederung (Fa. John Deere)

3.3.2 SYSTEM VIERPUNKTFEDERUNG

Der Unterschied zum „Wippen-Prinzip“ besteht darin, dass die Kabine auf vier Feder-Dämpferelementen lastet. Mit Ausnahme der horizontalen Beweglichkeit hat die Kabine drei Freiheitsgrade (Nicken, Wanken, Heben). Gehalten wird die Kabine mit Längslenker und Querlenker zur Seitenstabilisierung, einem Wankstabilisator und vier Schraubenfedern. 1987 wurde dieses System von der Fa. Renault zum ersten Mal vorgestellt (siehe Abb. 3.14, 3.15).

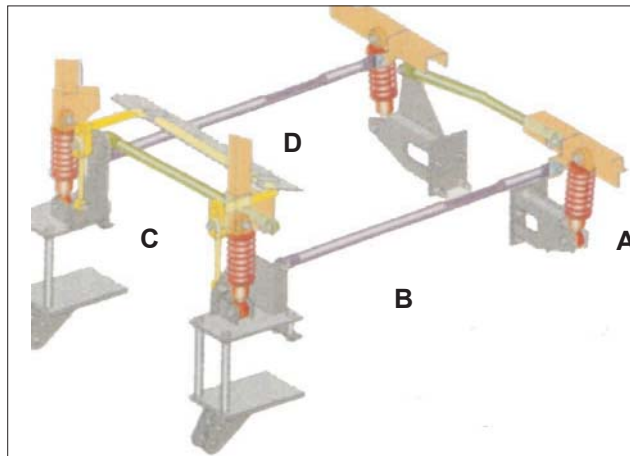


Abb. 3.14:
Kabinenfederung
System „Renault“

- A...Feder-Dämpfelement
- B...Längslenker
- C...Querlenker
- D...Wankstabilisator

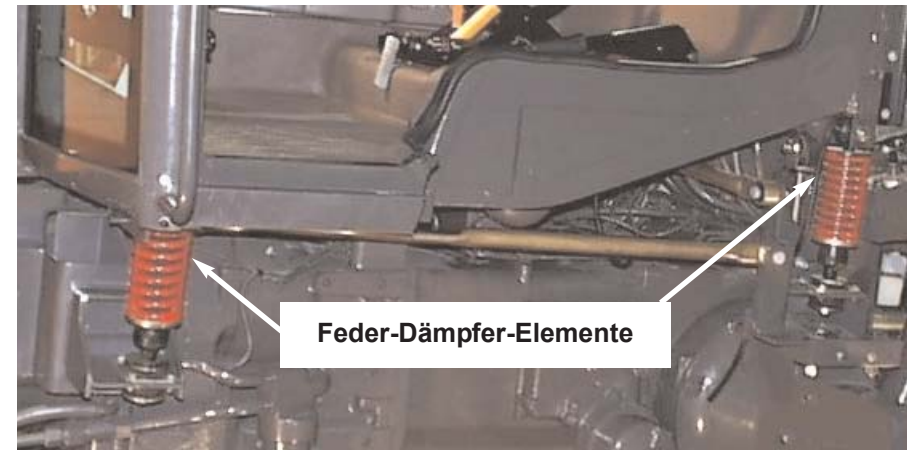


Abb. 3.15: Kabinenfederung mit vier Schraubenfedern an den Anbaupunktender Kabine (Fa. Renault)

3.4 Vorderachsfederung

Zunehmendes Gesundheitsbewusstsein der letzten Jahre hat die Sensibilität für die Schwingungsbelastungen auf den Fahrer gesteigert. Die Industrie versucht mit verschiedenen Maßnahmen, wie besseren Fahrersitzen, Kabinenfederungen, Schwingungstilgung in Verbindung mit der EHR und der Vorderachsfederung, diesen Forderungen gerecht zu werden. Mit der Steigerung der Höchstgeschwindigkeit nimmt aus sicherheitstechnischer Sicht die Bedeutung der Vorderachsfederung zu. Vor allem bei hohen Fahrgeschwindigkeiten und beim Transport schwerer Geräte im Straßenverkehr ist die Vorderachsfederung eine absolut notwendige Zusatzausstattung des Traktors.

3.4.1 PRINZIP DER HYDROPNEUMATISCHEN FEDERUNG

Der Pkw-Hersteller Citroen hat im Jahre 1955 diese Art der Federung zum ersten Mal eingebaut. Der prinzipielle Aufbau ist in der Abb. 3.16 dargestellt. Im Nutzfahrzeugsbereich, bei Sonderfahrzeugen und bei Mobilkränen wird die hydropneumatische Federung bereits seit einiger Zeit eingesetzt. Der Durchbruch bei den Traktoren gelang erst, als die Fa. Fendt zur Agrotechnica 1993 die Traktorenreihe „Farmer“ und „Favorit“ mit einer Vorderachsfederung vorstellte. Die derzeit angebotenen Vorderachsfederungen arbeiten fast alle nach dem Prinzip der hydropneumatischen Federung. Damit werden die Nickbeschleunigungen des Traktors verringert und die dynamischen Vorderachselbelastungen reduziert.

Funktionsprinzip

Die mechanischen Federungen (Blattfedern, Schraubenfedern) haben alle den Nachteil, dass der Federweg je nach Belastung nur zum Teil genutzt werden kann. Bei höheren Belastungen verringert sich der nutzbare Federweg und im selben Maße steigen die Beschleunigungen. Bei der hydro-pneumatischen Federung mit Niveauregelung wird unabhängig von der Achslast der Traktor bei allen Betriebszuständen stets in der Mittelstellung des Federweges gehalten.

Dadurch kann der gesamte Federweg zur Schwingungstilgung genutzt werden. Zentraler Bestandteil der hydropneumatischen Federung ist der Membran- oder Druckspeicher und der Federungszyylinder. Den mechanischen Komponenten nachgeschaltet sind der Steuerblock und die Regelung der Federung. Membranspeicher und Dämpfungszyylinder stehen in ständiger Beziehung. Die Radbewegungen werden dabei über den Hydraulikzylinder in Volumenströme umgesetzt, die in weiterer Folge auf den Gasspeicher wirken. Durch Drosseln im Ölstrom wird die notwendige Dämpfung realisiert. Über einen Lagesensor erfasst die Regelung die Stellung der Zylinder.

Die Lage ist abhängig von der Vorderachsbelastung und dem zulässigen Federweg. Erhöht sich die Vorderachsbelastung und damit die Einfederung der Vorderachse, wird zusätzlich Öl in das System gepumpt, um in jeder Situation und bei jeder Belastung die Mittellage des Federweges zu halten (Niveauregelung). Beim Transport von Frontanbaugeräten, können an der Vorderachse Belastungsspitzen von ca. 50 bis 80 kN (100 kW Traktor) auftreten. Bauartgemäß lassen Membranspeicher (Gasspeicher) ein Druckverhältnis von Minimallast zu Maximallast von 1:8 zu. In der Praxis treten Achslastverhältnisse von 1:11 auf. Bei der Auslegung der Speicher ist es wichtig, dass dieser Wert nicht überschritten wird, da sonst durch die Überbeanspruchung der Membran der Speicher beschädigt wird.

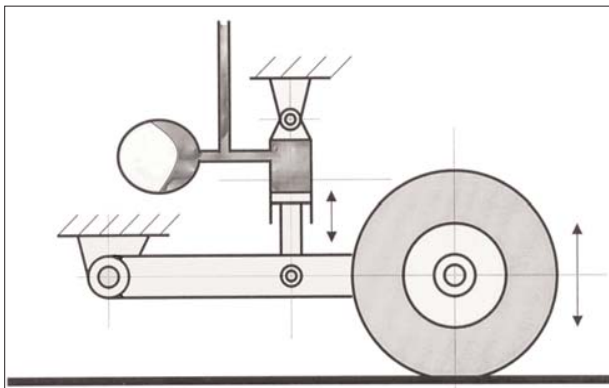


Abb. 3.16:
Prinzipskizze der
hydropneumatischen
Federung

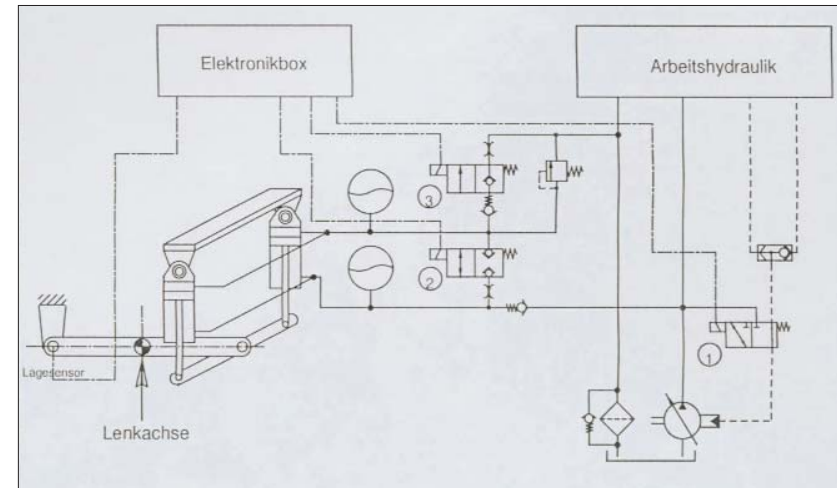


Abb. 3.17: Hydraulikschaltplan der Vorderachsfederung (Fa. Hydac)

Durch die Lastkompensation ist es möglich, das Druckverhältnis im Speicher zu regeln und damit die Stellung des Zylinders im optimalen Federungsbereich zu halten. In der Praxis liegt der Arbeitspunkt der Federung (des Zylinders) im Bereich der am häufigsten vorkommenden Fahrzustände. Das Herz der Niveauregelung bildet der Lagesensor (Wegaufnehmer oder Drehwinkelgeber) und die Regelelektronik. Um das Nachregeln der Niveauregelung bei jeder geringen Vorderachseinfederung zu unterbinden, werden diese Signale durch Dämpfungs- und Zeitglieder elektronisch gefiltert. Die mechanische Dämpfung erfolgt mit Hilfe von Drosseln zwischen dem Speicher und dem Federungszyylinder (siehe Abb. 3.17). Beim Einsatz mit Frontgrubber, Frontpacker oder Frontlader kommt es auf eine gleichbleibende Geräteführung an. Zu diesem Zweck kann die Vorderachsfederung gesperrt werden. Der Zylinder wird an den unteren Anschlag gedrückt (gleichbedeutend einer Starrachse). Manche Firmen arbeiten bereits an intelligenten Federungssystemen, die sich mit ihrer Federung und Dämpfung an den jeweiligen Fahrzustand automatisch anpassen. Es ist nur mehr eine Frage der Zeit bis die Federungssysteme in das Traktormanagement integriert werden.

3.4.2 SYSTEM „QUERSCHWINGE“

Eine quer zur Fahrtrichtung angeordnete Pendelachse erfasst die Bodenunebenheiten, gibt die Achsbewegungen an den drehbar und außermittig gelagerten Achsträger weiter, der über einen doppelwirkenden Hydraulikzylinder mit Stickstoffspeicher abgestützt wird.

Vorteile:

- ♦ Radantriebs- und Bremskräfte haben keinen Einfluss auf das Federungsverhalten
- ♦ Geringer Platzbedarf
- ♦ Federung sperrbar
- ♦ Verwendung einer Standardachse möglich

Nachteile:

- ♦ Querkräfte beeinflussen das Federungsverhalten

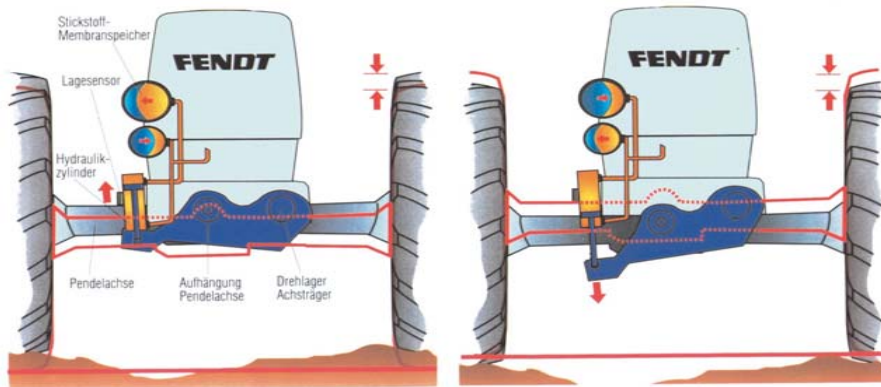


Abb. 3.18: Querschwinge (Fa. Fendt)

3.4.3 SYSTEM „GESCHOBENE LÄNGSSCHWINGE“

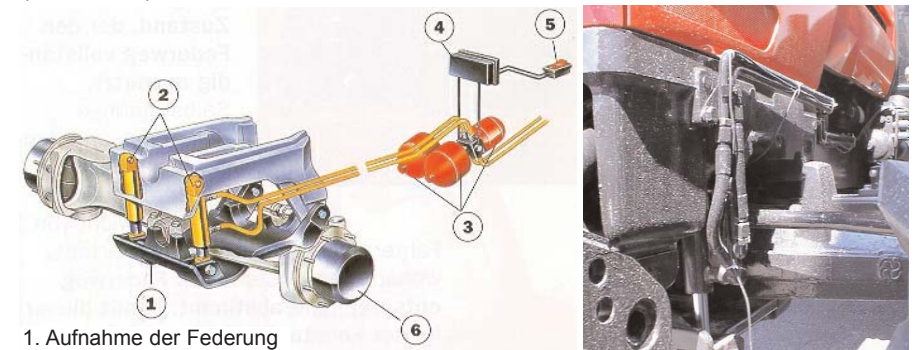
Die in der Traktorlängsachse bewegliche Federschwinge ist am Vorderachsbock mit dem Mittelachsbolzen des Rahmens und den Hydraulikzylindern befestigt. Die Federschwinge und die Hydraulikzylinder sind hinter der Achse angeordnet. Der Federweg an den Laufflächen der Räder beträgt +/- 45 mm. Die Elektronikbox regelt den Zu- und Ablauf des Öles zu den Zylindern. Je nach Bedarf kann die Federung über einen Schalter aktiviert oder deaktiviert werden.

Die gesamte Federschwinge ist hinter der Achse gelagert. Am vordersten Punkt der Schwinge wird die Achse pendelnd angebaut (Abb. 3.19). Am Beispiel in Abb. 3.20 wird die Federschwinge, die am Vorderachsbock gelagert ist, unter der Pendelachse durchgeführt. Die beiden Federungszyylinder sind somit vor der Achse angeordnet und können aufgrund der geänderten Geometrie kleiner dimensioniert werden. Die Achse wird an der Federschwinge pendelnd befestigt.

Abb. 3.19:
Geschobene
Längsschwinge
mit den
Federungs-
zylindern hinter
der Achse
(Fa. Deutz)



Abb. 3.20: Geschoben Längsschwinge, Federungszyylinder vor der Achse (Fa. Same)



1. Aufnahme der Federung
2. Hydraulikzylinder
3. Gasdruckdämpfer
4. Bedien- und Steuergerät
5. EIN/AUS-Schalter
6. Vorderachse

Beim „System Fendt“ (Abb. 3.21) sind alle Federungselemente an der Rahmenkonstruktion (1) aufgehängt. Folgende Teile gehören zur Vorderachsfederung: Federschwinge (2), Pendelachse (3), Hydraulikzylinder (4), Stickstoffmembranspeicher(5). Die Teile der Cabinefederung sind: Hydrolager (6) vorn sowie Schraubenfedern (7) und Stoßdämpfer (8) hinten. Die Federbeine führen die Kabine in Längsrichtung und eliminieren Schwingungen und Stöße, die vom Traktorrumpf ausgehen.

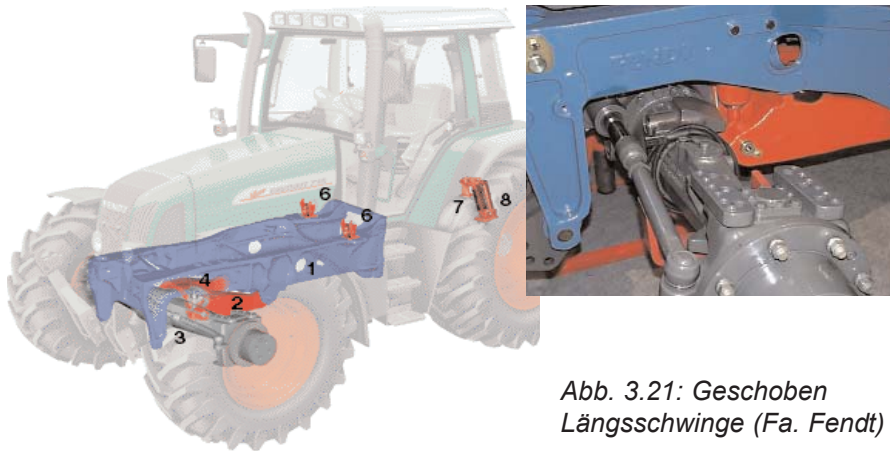


Abb. 3.21: Geschobene Längsschwinge (Fa. Fendt)

Vorteile:

- ◆ Verwendung einer Standardachse
- ◆ Geringer Platzbedarf
- ◆ Querkräfte haben keinen Einfluss auf das Federungsverhalten
- ◆ Federung sperrbar

Nachteile:

- ◆ Radantriebs- und Bremskräfte beeinflussen das Federungsverhalten
- ◆ Ausfedern beim starken Bremsmanöver (ohne Sperrventil)

3.4.4 SYSTEM „ZENTRALE LÄNGSSCHWINGE“

Die Achse wird an drei Anlenkpunkten gelagert. Vertikal stützen sich die Kräfte über eine lange Achsschwinge an den zwei senkrecht angeordneten stickstoffgedämpften Hydraulikzylindern und einem zentralen Gelenk unterhalb der Kabine ab. Die horizontalen Längskräfte werden an dem Gelenk unterhalb der Kabine abgestützt. Die beiden Federungszyylinder übernehmen auch einen Anteil der Wanksteifigkeit des Traktors. Die lange Schwinge vermindert den Einfluss der Bremskräfte.

Vorteile:

- ◆ Übernimmt einen Anteil der Wanksteifigkeit
- ◆ Geringer Platzbedarf
- ◆ Geringes Ausfederungsverhalten bei starken Bremsmanövern

Nachteile:

- ◆ Radantriebs- und Bremskräfte beeinflussen das Federungsverhalten
- ◆ Querkräfte beeinflussen das Federungsverhalten

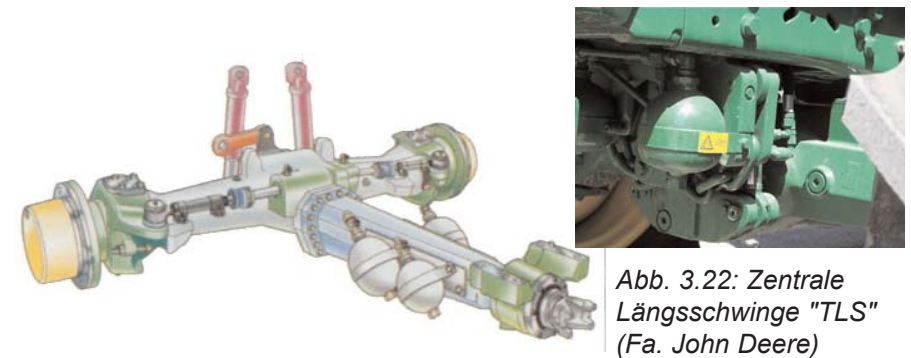


Abb. 3.22: Zentrale Längsschwinge "TLS" (Fa. John Deere)

3.4.5 SYSTEM „GESCHOBENE LÄNGSSCHWINGE - LUFTGEFEDERT“

Die gefederte Vorderachse ist an einem Zwischenrahmen pendelnd befestigt, der über Luftfedern und Stoßdämpfern mit dem Vorderachsbock verbunden ist (ähnlich wie in Abb. 3.20). Anstatt der hydraulischen Federungszyylinder werden Luftfedern verwendet, die auch im LKW eingesetzt werden. Der Vorteil der Luftfedern liegt darin, dass sie beim Einfedern nur eine sehr geringe Eigenreibung aufweisen.



Abb. 3.23: Geschobene Längsschwinge mit Luftfedern (Fa. Valmet)

3.4.6 SYSTEM „EINZELRADAUFHÄNGUNG“

Die konstruktive Ausführung der Einzelradaufhängung unterscheidet sich in der Konstruktion grundsätzlich von den anderen Federungssystemen. Die Achse ist wie eine normale Starrachse an den Vorderachsbock pendelnd befestigt und kann daher ohne besondere Anpassung an den Traktor montiert werden. Anders als bei den Federungssystemen mit geschobener Schwinge federt bei der Einzelradaufhängung nicht die gesamte Achse. Durch eine Parallelogrammaufhängung können sich die Räder unabhängig voneinander bewegen. Die Räder werden über parallel angeordnete Querlenker in der Höhe senkrecht und unabhängig voneinander über einfachwir-

Abb. 3.24: Einzelradaufhängung
(Fa. DANA)

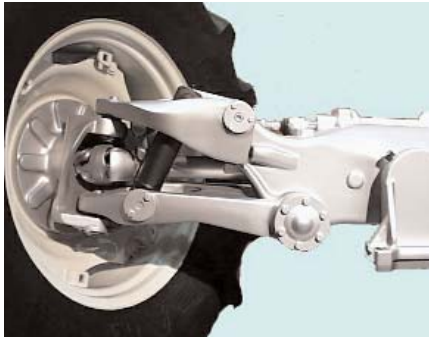
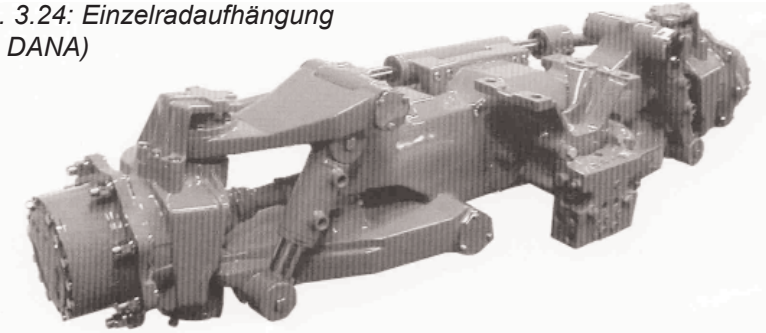


Abb. 3.25: Einzelradaufhängung
(Fa. Carraro)



Abb. 3.26: Einzelradaufhängung
(Fa. Steyr)



Abb. 3.27: Einzelradaufhängung
(Fa. Renault)



Abb. 3.28: Einzelradaufhängung
(Fa. MC. Cormic)

kende Zylinder geführt und in der Aufwärtsbewegung gedämpft. Bei manchen Systemen wird die Federung über einen im Hauptgelenk integrierten Torsionsstab zusätzlich noch unterstützt. Somit ist eine individuellere Anpassung an den Boden möglich sein (Abb. 3.24 - 3.29).

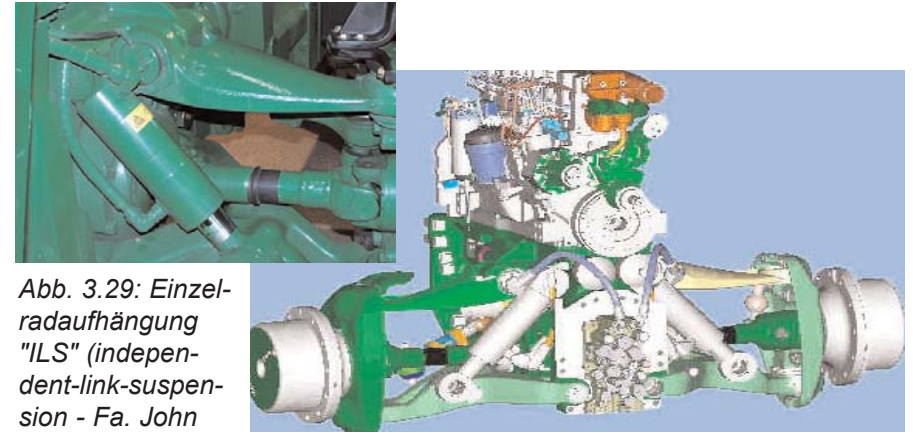


Abb. 3.29: Einzelradaufhängung
"ILS" (independent-link-suspension - Fa. John Deere)

Das Konzept der ILS (Fa. John Deere) ist ein Doppelquerlenker-System mit A-förmigen Armen (kurz- lang) und einer hydro-pneumatischen Federung mit Gasdruck- Akkumulatoren. Die mechanischen Bauteile für das linke und das rechte Rad arbeiten dabei völlig unabhängig voneinander, während hydraulisch eine Verbindung zwischen ihnen besteht, die quasi eine beidseitige Pendelung ermöglicht wie sie bei Starrachsen mit zentraler Lagerung vorhanden ist. Die Niveauregelung wirkt bei länger andauernder Veränderung der Vorderachslast (einige Sekunden oder mehr). Das heißt, wenn die Vorderachslast eine festgelegte Bandbreite für eine bestimmte Zeit überschreitet, dann wird die Niveauregelung wirksam. Eingabegrößen hierfür sind zwei Lagesensoren die an den oberen Armen angebracht sind und deren Mittelwert ist das Maß für die Verstellung.

Vorteile:

- ◆ Radantriebs- und Querkräfte haben keinen Einfluss auf das Federungsverhalten
- ◆ Geringe ungefederte Massen
- ◆ Kein Ausfedern bei starken Bremsmanövern
- ◆ Federung sperrbar
- ◆ Mit wenigen Veränderungen am Traktor einzubauen
- ◆ Die Aushubhöhe kann individuell eingestellt werden

Nachteile:

- ◆ Hohe Teileanzahl
- ◆ Großer konstruktiver Aufwand
- ◆ Hoher Wartungsaufwand

3.4.7 SYSTEM „PARALLELFEDERUNG - QUADLINK“

Die Achse ist wie bei einer normalen Starrachse pendelnd an den Vorderachsbock befestigt und kann daher ohne besondere Anpassung an den jeweiligen Traktor montiert werden. Durch eine Parallelogrammführung des Federmechanismus wird die Achse getragen. Die senkrechten Achsbewegungen werden an einen Dämpfungszyylinder weitergeleitet (Vier-Lenker-Mechanismus).



Abb. 3.30: Vier-Lenker-Mechanismus mit zentralem Federungszyylinder „Quadlink“ (Fa. Massey Ferguson)

Vorteile:

- ◆ Radantriebs- und Querkräfte haben keinen Einfluss auf das Federungsverhalten
- ◆ Geringe ungefederte Massen
- ◆ Federung sperrbar
- ◆ Kein Ausfedern bei starken Bremsmanövern
- ◆ Keine wesentlichen Änderungen am Fahrzeug notwendig

Nachteile:

- ◆ Hohe Teileanzahl

3.4.8 VOLLGEFEDERTES SYSTEM

Unter dem vollgefederten Traktor versteht man die Federung der Vorder- und Hinterachse. Die Firma „Fastrac“ war der erste Traktorhersteller mit einer Vollfederung. Bei „Fastrac“ lastet der gesamte Motor- und Getriebeblock auf einer Rahmenkonstruktion, die vorne und hinten gefedert ist. Die Vorderachse wird mechanisch mit Federbeinen (Feder- Dämpferelement), ähnlich der PKW-Federung, und die Hinterachse wird hydropneumatisch gefedert. Die Seitenstabilisierung erfolgt über Querlenker (Panhardstäbe). Zwei Hydraulikzylinder mit Stickstoffdämpfer an der Hinterachse fangen die

vertikalen Schwingungen ab. Ein Gestänge aus Längs- und Querlenker stabilisieren die Hinterachse (siehe Abb. 3.31). Der „Fastrac“ mit einer Höchstgeschwindigkeit bis 80 km/h ist eigentlich kein typischer Standardtraktor im herkömmlichen Sinn. Er wird häufig für Transportarbeiten über große Entfernungen eingesetzt.

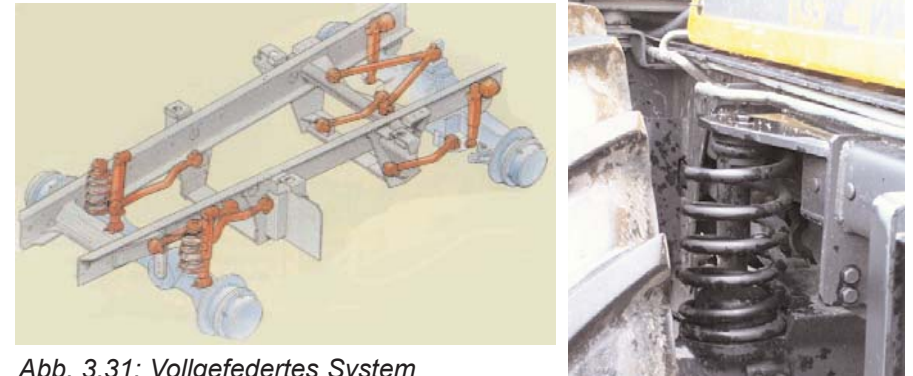


Abb. 3.31: Vollgefedertes System (Fa. Fastrac)

Auf der „Agritechnica 2001“ in Hannover wurde von der Fa. John Deere der erste Standardtraktor mit kombinierter Einzelradaufhängung an der Vorder- und Hinterachse vorgestellt. Laut Angabe des Herstellers wird dabei eine die „Zugkraft kompensierende Geometrie der Radaufhängung“ eingesetzt. Der Verdichtung in der Federung wird durch das Ansteigen der Zugkräfte entgegengesteuert (Zugkraftverstärkung). Die Veränderung des Niveaus wird dabei 50 mal in der Sekunde überwacht. Die Hinterachsfederung arbeitet ähnlich wie das Prinzip der Einzelradaufhängung der Vorderachsfederung. Die Räder werden vertikal parallel über Zylinder geführt. Laut Firmenangabe gewährleistet diese Einzelradaufhängung beim Überfahren von Unebenheiten mit einer Mehrfachbereifung (Zwillings- und Drillingsbereifung) eine parallele Stellung der Räder zum Boden. Somit kann bei hoher Zugleistung immer die gesamte Radaufstandsfläche genutzt werden, und das Springen des Traktors, wenn die Räder den Kraftschluss zum Boden verlieren, wird dadurch verhindert. Zielgruppe für Hinterachsfederungen sind Großtraktoren ab 150 kW vorgesehen (Abb. 3.32).

Vorteile:

- ◆ Optimale Zugkraftübertragung bei der Verwendung von Breitreifen, Zwillings- und Drillingsbereifung
- ◆ Bessere Isolation aller äußeren Schwingungsanregungen des Traktors

- ♦ Minimierung der Schwingungsbelastung des Fahrers und der Geräte
- ♦ Höhere Fahrgeschwindigkeiten auf der Straße und im Feld
- ♦ Höhere Transportleistungen auf der Straße, höhere Produktivität im Feldeinsatz
- ♦ Höhere Fahrsicherheit
- ♦ Optimierte Anpassung an Beladungszustand durch Niveauregelung
- ♦ Niedrige Rate von ungefederter zur gefederter Masse

Nachteile:

- ♦ Hohe Anzahl von Teilen
- ♦ Viele Gelenke

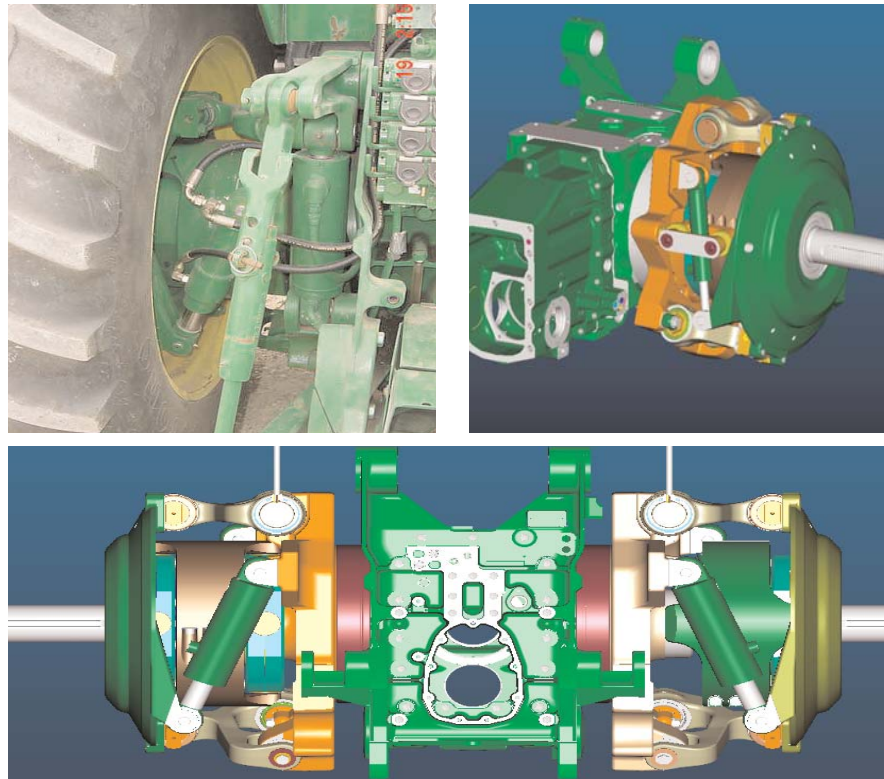


Abb. 3.32: Gefederte Hinterachse für Großtraktoren RWS (rear-wheel-suspension - Fa. John Deere)