

Dipl.-Ing. Thomas Vauderwange

Fahrwerkvermessung

2. Auflage

Vorwort

Stellen Sie sich vor, Sie hätten eine Autowerkstatt. In dieser Werkstatt wird an Fahrzeugen Ölwechsel gemacht. Als verantwortungsbewusster Eigner wollen Sie sich ein Bild von der Qualität der gemachten Arbeit verschaffen. Also stellen Sie sich an die Grundstücksausfahrt und sprechen alle Kunden, die nach dem Ölwechsel von der Werkstatt wegfahren wollen, an. Die Kunden erlauben Ihnen, am Fahrzeug kurz nachzusehen, ob der Ölwechsel auch tatsächlich gemacht wurde. Bei 10 überprüften Fahrzeugen finden Sie die Hälfte, bei denen der Ölwechsel nicht oder falsch gemacht wurde.

Nach entsprechender Nacharbeit schauen Sie sich die betroffenen fünf Fahrzeuge auch wieder an und finden wieder zwei, bei denen der Ölwechsel nicht gemacht wurde.

Völlig irreales Szenario, das würde aber nur einmal passieren, dann wäre die Karriere des betroffenen Mechanikers abrupt zu Ende? Nachvollziehbar.

Aber sehen wir uns an, was in vielen Werkstätten zum Thema Fahrwerkvermessung passiert. Mit viel Arbeitsaufwand wird das Fahrzeug vorbereitet, der Mechaniker führt die Messung nach bestem Wissen durch, findet unkorrekte Einstellungen vor. Er stellt ein, so dass die Werte im grünen Bereich sind. Danach kommt die Probefahrt. Spätestens mit einem nicht perfekt gerade stehenden Lenkrad hat er den Beweis, dass irgend etwas an der gemachten Vermessung deutlich falsch war. Der ganze Aufwand der Vermessung wiederholt sich. Ist der Messfehler zufällig relativ symmetrisch, kommt der Kunde vielleicht nach 5000 km wieder und präsentiert einseitig abgefahrene Reifen.

Oft genug ist auch nach wiederholter Einstellung das Lenkrad noch nicht gerade.

Wie abwegig ist hier der Vergleich mit Ölwechseln, die nicht gemacht wurden? Dass dort eigentlich nur Schlamperei die Ursache sein kann, während man bei der Fahrwerkvermessung dem Mechaniker zumeist keinen Vorwurf machen kann, macht aus wirtschaftlicher Sicht keinen Unterschied. In beiden Fällen wird Mechaniker-Arbeitszeit vergeudet und mit der Geduld des Kunden gespielt.

Das Ziel dieses Konzeptes ist es, die Fahrwerkvermessung aus der «Schmuddelecke» der Werkstatt zu holen und so gut wie möglich zu einer Routine-Werkstatt-Dienstleistung zu machen, an der die Beteiligten ihren Spaß haben und mit der vernünftig Geld verdient wird.

Besonderer Dank gilt an dieser Stelle Herrn Hans Hitzker von der Gewerbeakademie, der den entscheidenden Anstoß zur Veröffentlichung dieses Buches gab.



Offenburg, im Dezember 2010

Thomas Vauderwange

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
---------------	---

Teil 1 Grundlagen und Verfahren: Vier Schritte zum geraden Lenkrad

1 Kennwerte des dynamischen Fahrwerks: Spur, Sturz und alles, was danach kommt	9
2 Messprinzipien: Von Alu-Setzlatte bis automatisch berührungslos	27
3 Die Schlagkompensation: Sinn und Unsinn, Nutzen und Risiken	39
4 Vier Schritte zum geraden Lenkrad	49
5 Einstellfehler und ihre Folgen	61
6 Einstellpraxis an ausgewählten Beispielen	73

Teil 2 Fahrwerkvermessung professionell

7 Die Karosseriewerte: Unfallschaden oder Absicht des Konstrukteurs?	75
8 Statische und dynamische Sollwerte: Karosseriehöhe am Beispiel PSA, BMW und Renault	87
9 Trickreiche Kinematik: Die VAG-Mehrlenkerachse und ihre Einstellung	99
10 Dynamische Soll- und Istwerte: Die Mercedes-Prozedur inklusive ROMESS und Originaldatenbank	109
11 Die Achsmessanlage bei der Einstellung von ACC/ADR/ DisTronic/LDW/... ..	119
12 Spezialfall Allradlenkung	123
13 ESP-Lenk winkelsensor und seine Kalibrierung	127
14 Luftfederung und Fahrwerkvermessung	131
Lösungen der Aufgaben	133
Achsvermessung – der neue Ölwechsel	141
Quellenverzeichnis	148
Stichwortverzeichnis	149

Teil 1

Grundlagen und Verfahren: Vier Schritte zum geraden Lenkrad

1 Kennwerte des dynamischen Fahrwerks: Spur, Sturz und alles, was danach kommt

Hier gilt es, die Grundlagen zu legen. Speziell die Spur ist alles andere als einfach zu verstehen! Andererseits ist die Spur der grundlegende Parameter, der bei jeder Einstellung verändert wird. Und durch das Lenkrad, beziehungsweise die Stellung des Lenkrades bei der Fahrt geradeaus, «petzt» das Auto hemmungslos beim Endkunden, wenn etwas nicht stimmt.

Stellen wir uns einen Handkarren vor: eine Achse, zwei Räder. Und da wir bei den Grundlagen anfangen wollen, wird dieses Fahrwerk mit Sturz und Spur Null ausgestattet. Damit entspricht es für den unbedarften Zuschauer dem Idealfahrwerk: Alles gerade!

Wer schon im Kindesalter erste Erfahrungen als Fahrzeugbauer mit Legosteinen gesammelt hat, erinnert sich vielleicht daran, dass man normalerweise nicht von selbst auf die Idee kommt, die Achsen und Räder in irgendeiner Weise «krumm» anzuordnen.

Dass man auf diese Weise keineswegs zu einem Idealfahrwerk kommt, sei an dieser Stelle schon vorweggenommen.

Wird dieser Karren an seiner Deichsel einen geraden Weg entlang gezogen, ist relativ einsichtig, was passiert: Der Karren läuft mit perfekt gerade stehender Deichsel demjenigen hinterher, der den Karren zieht (Bild 1.1).

In einem zweiten Schritt nehmen wir den durchaus luxuriösen Fall eines Handkarrens mit Spurstangen auf beiden Seiten an. Wir stellen die Räder auf beiden Seiten so, dass sie deutlich nach links zeigen (Bild 1.2).

Versuchen Sie zunächst, sich selbst vorzustellen, was passieren wird, wenn man diesen Karren an seiner Deichsel einen geraden Weg entlang zieht. Das Ergebnis sieht etwa wie in Bild 1.3 aus.

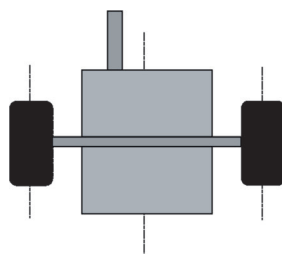


Bild 1.1
Handkarren mit Spur Null beidseits

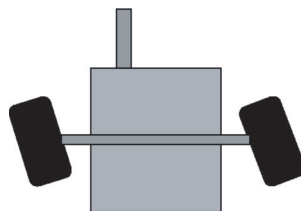


Bild 1.2
Handkarren mit nach links verstellten Rädern

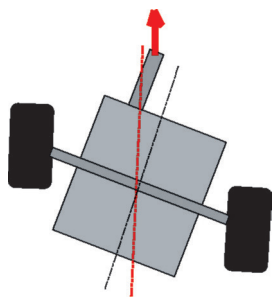


Bild 1.3

Karren mit nach links verstellten Rädern

An dieser Stelle die ersten Definitionen:

Symmetrieachse: Das ist sozusagen die mechanische Hälfte des Fahrzeugs, die Linie derer entlang man das Fahrzeug in zwei gleiche Teile zersägen würde – am einfachsten vorstellbar als die Richtung, in der die Deichsel weist; im Bild ist dies die graue Linie.

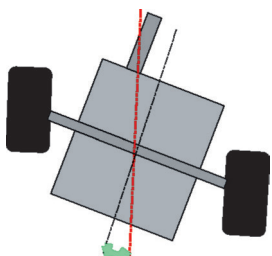


Bild 1.4

Der Fahrachswinkel

Fahrachse: die Linie, derer entlang ein Fahrzeug geradeaus fährt. Im obigen Beispiel ist diese Linie von der Deichsel aus deutlich nach links verdreht (in Rot dargestellt).



! Das Fahrzeug fährt perfekt geradeaus, also keine Kurve! Nur beim Geradeausfahren zeigt der Aufbau ständig nach einer Seite.

Bei einem in jeder Hinsicht symmetrisch aufgebauten und eingestellten Fahrzeug ist die Fahrachse allerdings genau gleich der Symmetrieachse.

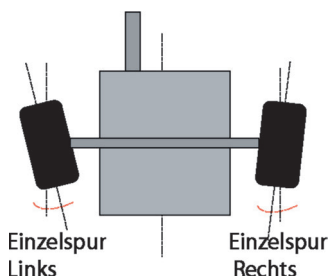


Bild 1.5

Einzelspuren

Fahrachswinkel: Den Winkel zwischen Fahrachse und Symmetrieachse nennt man Fahrachswinkel (grün markiert) – idealerweise Null (Bild 1.4).



Bislang gingen wir von dem einfachen Fall aus, dass beide Räder parallel ausgerichtet sind. Das ist in den seltensten Fällen wirklich so.

Um genau bewerten zu können, wie die Räder in Längsrichtung zueinander stehen, wird nun ein Winkel eingeführt, der die Ausrichtung eines Rades zur Symmetrieachse beschreibt (Bild 1.5).

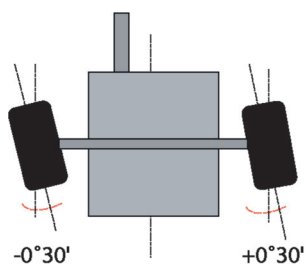


Bild 1.6

Einzelspuren gemessen

Einzelspur hinten links/rechts: der Winkel zwischen der Symmetrieachse des Fahrzeugs und der Ausrichtung der Drehachse im Hinterrad links/rechts.



Gemessen werden solche Winkel gewöhnlich im Grad-Minuten-System, wobei ein Grad in 60 Minuten unterteilt ist. Ein halbes Grad entspricht also 30 Minuten. Schreibweise: $+0^{\circ}30'$ (Bild 1.6).

In Bild 1.2 hatten wir schon den Fall betrachtet, in dem die beiden Räder gleichmäßig nach links verstellt sind. Damit hat man übrigens den Fall genau gegengleicher Spurwerte, da die Spur immer nach innen weisend positiv definiert ist!

Wenn man nun weiß, dass der Fahrachswinkel im Uhrzeigersinn positiv ist, und klar wird, dass dieser im Beispiel genau parallel zu den zwei Radebenen verläuft, haben wir hier den Fall eines Fahrachswinkels von $-0^{\circ}30'$ (Bild 1.7).

Im Gegensatz dazu stellen wir nun die linke Spur um dieselbe Strecke einwärts wie die rechte auch (Bild 1.8).

Was passiert nun, wenn dieser Karren gerade ausfahren soll? Das linke Rad würde das Chassis gerne nach links drücken, damit es sich in Fahrtrichtung genau gerade ausrichten kann. Nur, das rechte Rad hätte das gerne genau umgekehrt!

Automatisch bildet sich eine Art Kompromiss. Da beide Räder gleich stark drücken, bleibt das Chassis in diesem Fall perfekt in Geradeaus-Fahrtrichtung ausgerichtet. Man könnte auch sagen, der Fahrachswinkel ist null (Bild 1.9).

In Wirklichkeit existiert natürlich jede beliebige Kombination von Einzelspurwerten, die rechts und links nicht unbedingt gleich sein müssen!

Zur Verdeutlichung ist in Bild 1.10 ein Fall erkennbar unterschiedlicher Spurwerte dargestellt.

Auch hier wird wieder betrachtet, was passiert, wenn der Handkarren geradeaus fährt.

Wiederum streiten die zwei Seiten darum, in welcher Richtung der Karren laufen soll. Die linke Seite würde den Karren gerne um $30'$ (sprich: «dreißig Minuten») nach ...

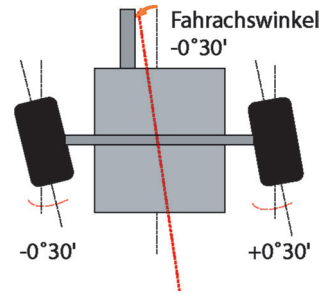


Bild 1.7
Negativer Fahrachswinkel, Räder parallel

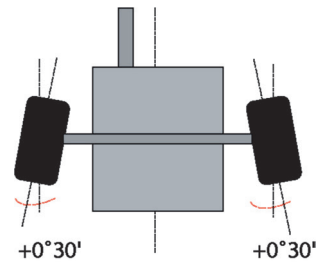


Bild 1.8
Symmetrische, positive Spur

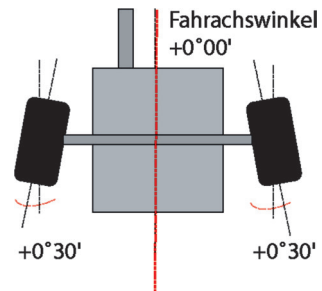


Bild 1.9
Fahrachswinkel Null bei positiven Spuren



Tipp
Die Lösungen dieser und aller weiteren Kontrollfragen finden Sie im Anhang; einen schnellen Zugriff darauf ermöglicht das Lesezeichen.

Außerdem können Sie die Lösungen auch über unseren OnlineService **InfoClick** abrufen; die Zugangsdaten dazu finden Sie gleich auf der ersten Seite des Buches.

Kontrollfrage 1



a) links

b) rechts

... verdrehen, während die rechte Seite den Karren am liebsten um ...

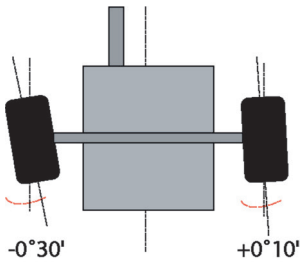


Bild 1.10
Unterschiedliche Einzelspuren

Kontrollfrage 2



- a) 5'
- b) 10'
- c) 15'
- d) 20'
- e) 30'

... verdrehen würde, und zwar in Richtung nach ...

Kontrollfrage 3



- a) links.
- b) rechts.

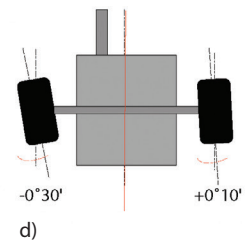
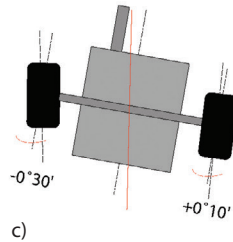
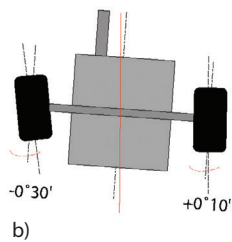
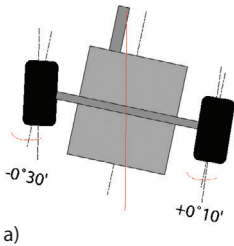
Wenn Sie sich unsicher sicher sind, prüfen Sie jedes einzelne Rad anhand der zuvor gegebenen Beispiele.

Ebenso wie bei den zuvor gezeigten Beispielen bekommt keine der beiden Seiten ihren Willen, sondern man trifft sich genau in der Mitte. Versuchen Sie nun selbst, das Szenario weiterzuentwickeln. Wir ziehen nun den so eingestellten Karren. Entscheiden Sie, wie er geradeaus läuft.

Kontrollfrage 4



Welches Bild ist richtig?



Für die richtige Antwort muss man den Karren so drehen, dass beide Räder gleich weit von ihrer gewünschten, natürlichen Geradeaus-Stellung entfernt sind. Klar dürfte sein, dass der Karren nach **rechts** gedreht werden muss, da beide Räder nach **links** verstellt sind. Das linke Rad würde den Karren gerne um 30' verdrehen, das rechte Rad hätte lieber 10'. Damit ergibt sich, dass der Karren als Kompromiss um ...

Kontrollfrage 5

a) 5'

b) 10'

c) 15'

d) 20'

e) 30'

... nach rechts verdreht geradeaus fährt.

Man könnte auch sagen, der Karren hat einen Fahrachswinkel von ...

Kontrollfrage 6

a) +10'

b) +20'

c) +15'

d) -20'

e) -30'

Auf der Basis des korrekt gerade eingedrehten Karrens können wir uns jetzt noch darum kümmern, wie es sich mit der Gesamtspur als Stabilitätsförderer bzw. als Grund für einseitigen Reifenverschleiß verhält. Bei der Gesamtspur handelt es sich quasi um eine Bewertung, wie weit jedes Rad von seiner idealen Geradeaus-Richtung entfernt ist, wenn der Karren geradeaus läuft. Bei den einfachen Beispielen, bei denen die Räder parallel standen, ist die Gesamtspur **null**. Im letzten Beispiel hatten wir einen Fahrachswinkel von -20', von dem die linke Spur 10' entfernt ist. Jetzt gut überlegen: Die rechte Spur ist von dieser Fahrachse ...

Kontrollfrage 7

a) 0'

b) 10'

c) +20'

... entfernt.

Die Gesamtspur ergibt sich als die Summe der beiden Entfernungen von der Fahrachse, wobei das Vorzeichen aussagt, ob die zwei Räder einen nach vorne offenen (–) oder nach vorne geschlossenen (+) Winkel darstellen.

In diesem Fall ist die Gesamtspur ...

Kontrollfrage 8



a) 0'

b) – 10'

c) + 20'

d) – 20'

Aus Verständnisgründen haben wir die Gesamtspur unter Benutzung der Fahrachse hergeleitet. In Wirklichkeit ist es aber völlig ausreichend, die Spuren in irgendeiner Definition zu verwenden und zu addieren. In unserem Beispiel könnte man die an der Symmetrieachse gemessenen Werte nehmen: links – 30', rechts + 10'; damit ist die Gesamtspur:

Gesamtspur = Spur links + Spur rechts = – 30' + 10' = – 20'

Gesamtspur: die Summe der zwei Einzelspuren; nach vorn offen negativ, nach hinten offen positiv.



Auf Basis der Idee, dass jedes Rad am liebsten in seiner natürlichen Geradeaus-Richtung laufen würde, kann man sich jetzt auch vorstellen, warum es sich stabilitätsfördernd auswirkt, wenn man eine Achse mit einer Gesamtspur größer als null einstellt.

Bislang war nur von einem Einachs-Handkarren die Rede. Die gute Nachricht: Da beim Auto nur die Hinterachse quasi unbeweglich eingebaut ist, die Vorderachse sich hingegen mit ihrer Lenkung wie ein Windfährchen der Geradeaus-Richtung anpasst, wenn man nicht mit Kraft dagegen hält, passt das Bild von der Handkarren-Achse perfekt!

Man kann das Bild des Handkarrens nehmen (samt der Einzel und Gesamtspuren, vor allem samt dem Fahrachs-Winkel!) und verlängert den Karren etwas nach vorne. Am vorderen Ende fügt man statt der Deichsel eine lenkbare Achse ein, bei der nur die Stellung der zwei Räder

der fest ist (das ist die Gesamtspur!). Ansonsten können sich beide Räder drehen, wie sie möchten (Bild 1.11).

Es ist in diesem Fall kein Versehen, sondern Absicht, dass die Spurwerte an der Vorderachse nicht auf die Symmetrieachse bezogen gemessen werden. Anstatt dessen wird direkt auf die Fahrachse bezogen.

Einzelspur vorne links/rechts: der Winkel zwischen der Fahrachse des Fahrzeugs und der Ausrichtung der Drehachse im Vorderrad links / rechts.



Zur Erinnerung: Die Fahrachse ist ...

Kontrollfrage 9



- a) der Winkel zwischen den Gesamtspuren.
- b) der Winkel zwischen Symmetrieachse und Winkelhalbierender zwischen den Hinterrädern.
- c) die Linie, entlang derer das Fahrzeug geradeaus fährt.

Bei der Fahrt geradeaus passiert mit den vorderen Einzelspuren dann etwas Besonderes. Bei Fahrt geradeaus sind die vorderen Einzelspuren ...

Kontrollfrage 10



- a) beide null.
- b) beide gleich.
- c) beide negativ.

Damit wird auch der Sinn klar, warum man die vorderen Spuren auf die Fahrachse bezogen definiert. Man hat dann beim Einstellen der vorderen Einzelspuren bei gerade gestelltem Lenkrad nur noch darauf zu achten, dass die rechte Spur genau gleich der linken Spur ist.

Wir werden später noch tiefer einsteigen, aber man kann es nicht oft genug sagen: Eine wie auch immer verstellte Spur kann zwar dazu führen, dass das Auto einen «Dackellauf» hat, also nach einer Seite zeigt, während es perfekt geradeaus läuft. Ebenso kann man mit der Spur ein schiefes Lenkrad erzeugen. Absolut ausgeschlossen ist es aber, dass ein Auto wegen eines Spurfehlers von alleine in eine Richtung zieht!

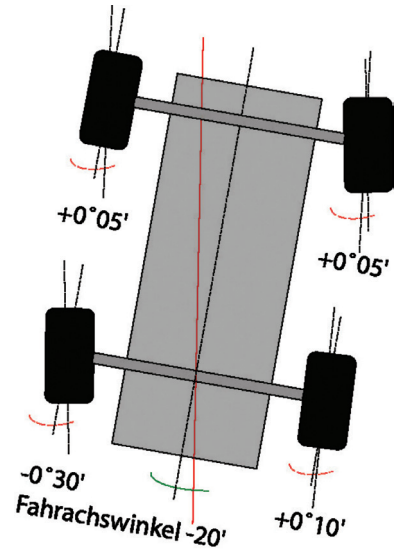


Bild 1.11
Der Handkarren, erweitert um eine lenkbare Vorderachse

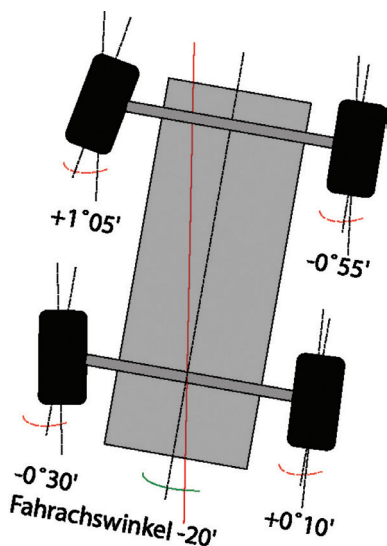


Bild 1.12

Das Fahrzeug bei Kurvenfahrt nach rechts

Sofern das Auto eine Kurve fährt, sind die Verhältnisse anders – Beispiel Rechtskurve, bezogen auf unser Beispielfahrzeug. Dort waren die Einzelspuren bei Fahrt geradeaus $+5'/+5'$. Stellen Sie sich vor, Sie drehen das Lenkrad nach rechts. Dann wird die linke Einzelspur positiver und die rechte Einzelspur negativer (Bild 1.12).

Hierbei muss klar sein, dass man Kraft aufwenden muss, da man die Räder von ihrer Lieblings-Kompromiss-Fahrtrichtung abbringen will. Lässt man das Lenkrad los, haben die Räder auch eine gewisse Tendenz, sich wieder in die Geradeaus-Stellung zu begeben. Hier im Beispiel sind wir davon ausgegangen, dass sich beide Räder um denselben Betrag, hier nämlich einen Lenkwinkel von ...

Kontrollfrage 11

a) $0°50'$ b) $1°00'$ c) $5'$

... verstellen. Das stimmt bei kleinen Lenkwinkeln noch halbwegs, spätestens bei ein paar Grad verstellen sich das linke und das rechte Rad aber deutlich unterschiedlich. Mehr dazu, wenn es in späteren Kapiteln z.B. um den Spurdifferenzwinkel geht.

Lenkwinkel: Ausgehend von der Einzelspur bei Fahrt geradeaus wird der Winkelunterschied gemessen, um den sich die Einzelspur auf der Seite ändert, in deren Richtung gelenkt wird.



Am Beispiel: Es wird an unserem Beispielfahrzeug jeweils gelenkt und die sich ergebenden Einzelspuren werden gemessen.

Kontrollfrage 12

Vervollständigen Sie die Tabelle betreffend der Lenkrichtung und des Lenkwinkels.

Tabelle 1.1

Einzelspur LI [°/']	Einzelspur RE [°/']	Lenkrichtung (L/R/G)	Lenkwinkel [°/']
+ 0°05'	+ 0°05'	G	0°00'
+ 18°05'	– 19°55'	R	20°00'
+ 19°55'	– 22°00'		
0°00'	+ 0°10'		
– 10°10'	– 9°40'		
– 18°16'	+ 16°59'		

Betreffend des Lenkwinkels kommen wir so gleich zur nächsten bedeutsamen Kenngröße des Fahrwerks, dem Spurdifferenzwinkel. Dieser gibt uns an, um wie viel das jeweils kurveninnere Rad mehr einschlägt als das kurvenäußere Rad.

Spurdifferenzwinkel: Da die zu messende Differenz ganz stark vom Maß des Einschlags abhängt, wird sie immer definiert bei einem Lenkwinkel von 20° (± 15') gemessen – und zwar als Differenz des Lenkwinkel kurveninnen minus Lenkwinkel kurvenaußen. Sofern also kurveninnen mehr eingeschlagen wird (das ist der Normalfall), ist der Spurdifferenzwinkel positiv.



Wie kommt es, dass sich die Spurwerte rechts/links bzw. kurveninnen/kurvenaußen unterschiedlich ändern? Das hängt mit der Geometrie der Lenkung zusammen. Klar ist eines: Würde wie bei unserem berühmten Lego-Modell die jeweilige Lenkachse senkrecht stehen und man würde das Lenkgestänge an beiden Seiten gleich festmachen, ergäbe sich bei der Lenkung keinerlei Unterschied. Dazu später aber mehr.

In Tabelle 1.1 könnte man aus der zweiten Zeile den Spurdifferenzwinkel für rechts ablesen, da dort ein Lenkwinkel von 20° vorliegt.

Kontrollfrage 13

Nehmen wir uns den Augenblick, um Tabelle 1.2 zu vervollständigen.

Tabelle 1.2

Lenkwinkel LI [°/']	Lenkwinkel RE [°/']	Spurdifferenz- winkel [°/']	Seite [L / R]
+ 18°05'	– 19°55'	+ 01°50'	R
– 20°05'	+ 20°00'		
+ 19°55'	– 20°10'		
+ 20°40'	– 20°10'		
– 19°51'	+ 19°00'		
– 20°13'	+ 18°59'		

! Eine Spurdifferenzwinkelmessung ist erst dann wirklich sinnvoll, wenn die Spureinstellung schon halbwegs passt. Der typische Fall völlig verstellter vorderer Spur nach Teiletausch kann also unter Umständen einen seltsamen Spurdifferenzwinkel erzeugen, der nach Justierung der Spur wieder passt.

Typisches Beispiel:



Beispiel

- Bei einem Fahrzeug, das mit +0°05'/+0°05' bei geradem Lenkrad perfekt läuft, wird wegen Verschleiß die linke Spurstange getauscht. Der Monteur befolgt dabei nicht die alte Faustregel, dass man die neue Spurstange in etwa auf demselben Gewindegang einbaut wie die alte. Als Folge ist die Einzelspur links um über 1° verstellt, die Werte bei geradem Lenkrad sind jetzt –1°17'/+0°05'. Das Fatale: Die Messung des Spurdifferenzwinkels beim Lenkausschlag wird normalerweise bezogen auf Fahrt geradeaus.

Wir erinnern uns: Fahrt geradeaus bedeutet ...

Kontrollfrage 14

a) Einzelspuren vorne positiv.

b) Einzelspuren vorne gleich.

c) Einzelspuren Null.