

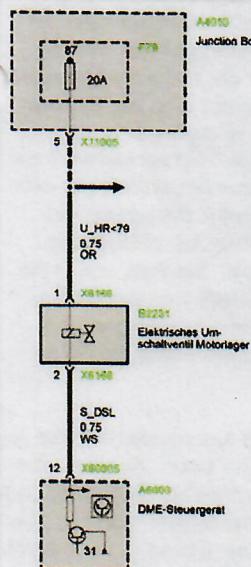
gung mit einem Sinussignal ansteuert. Über die Membran wird die erzeugte Schwingung auf die Hydraulikflüssigkeit (Glykol) in der Flüssigkeitskammer und weiter ins Motorlager übertragen. Eine permanente Überwachung der realen Motorschwingungen erlaubt die Berechnung des korrigierenden Ansteuersignals in Echtzeit. Nur so können Frequenz und Amplitude der Gegenschwingung entsprechend schnell angepasst und ein Optimum an schwingungsfreiem Komfort erreicht werden.

Ernst Wünsche

Prüfungsaufgaben

Rahmen der Diagnose werden Sie aufgefordert, die Leitung zwischen dem elektrischen Umschaltventil Motorlager und dem Motorsteuergerät (DME-Steuergerät, siehe Schaltplan) zu prüfen, da es auf die Ansteuerung im Test nicht reagiert:

- 1 An welchem Stecker (Pin der Prüfbox zwischen Kabelbaum und Steuergerät) des Motorsteuergeräts und des Motorlagers direkt schließen Sie das Multimeter zur Widerstandsmessung an?
- 2 Welcher Wert ist in etwa bei intakter Leitung und welcher bei einer Leitungsunterbrechung zu erwarten?



Schaltplan der Motorlager-Elektronik eines BMW Cabrio der Dreier-Serie mit N43-Motor (direkteinspritzender Ottomotor)

Hintergrund ■ Unwucht an Rad und Reifen

Ruhe im Radhaus

Nicht immer sind Vibrationen und Schwingungen bei höheren Geschwindigkeiten nur auf nachlässiges Wuchten oder verloren gegangene Auswuchtgewichte zurückzuführen. Häufig kann diesen lästigen Erscheinungen mit einfachen Mitteln begegnet werden. Ein kleiner Exkurs in die Theorie der Unwucht und des Matchens.



werden besonders Winterreifen mit ihrem hohen Kautschukanteil in einem hohen Maße aus Naturprodukten hergestellt. Das aber darf auf die Fertigungspräzision keinen Einfluss haben.

Der Rundlauf eines Reifens wird auf sogenannten Uniformity-Prüfmaschinen kontrolliert, hier können auch mögliche Formtoleranzen nachgewiesen werden. Der zu prüfende Gummireifen wird zu diesem Zweck auf eine entsprechend genau gefertigte Messfelge (Nullfelge) montiert. Die Tabelle auf Seite 7 gibt einen Überblick über die möglichen Un-

Bild 1 Die Kundenansprüche an vibrationsfreien Lauf der Räder sind berechtigt hoch. Wir zeigen die Wege zu perfektem Rundlauf

regelmäßigkeiten, deren Erscheinungsformen und Korrekturmöglichkeiten in der Werkstatt.

Weicht die Reifenlauffläche von der geometrisch idealen Kreisform ab, spricht man von einer Rundlaufabweichung, auch Höhenschlag genannt (**Bild 2**). Diese, im Bild stark überzeichnet dargestellte Reifenabweichung macht sich erst mit der montierten Felge bemerkbar. In der Praxis würde sich der Höhenschlag mit einem unnötig hohen Auswuchtgewicht auf null auswuchten lassen, dennoch ist das Rad nach wie vor eiförmig. Die mit Sicherheit auftretenden Vibrationen sind demnach kein Resultat unsachgemäßen Auswuchtens, sondern vielmehr auf die unrunde Geometrie des Reifens, auf einen Höhenschlag oder auch einen Standplatten zurückzuführen.

Was sind Unwuchten?

An einem rotierenden Drehkörper entstehen Unwuchten, wenn sei-

Die Laufruhe und das Abrollverhalten eines Reifens hängen weitgehend von einer präzisen und vor allem gleichförmigen Herstellung ab. Großen Einfluss auf einen möglichst vibrationsarmen Lauf hat jedoch auch die Qualität der Werkstattmontage (**Bild 1**). Wie weit ein Reifen von den normierten Maßen abweichen darf ist in der ETRTO, den Normen der European Tyre and Rim Technical Organisation (deutsch: Europäische Reifen- und Felgen-Sachverständigenorganisation) festgehalten. Die Auf-

gabe der ETRTO ist es, durch Angleichung nationaler Normen eine Austauschbarkeit von Reifen, Felgen und Ventilen in Europa bezüglich Montage und Anwendung zu gewährleisten.

Trotz dieser Vorgaben sind Ausreißer oder sich addierende Toleranzen bei der Reifenproduktion nicht immer vermeidbar. Immerhin besteht das Endprodukt, der Reifen, überwiegend aus elastischen Komponenten, die zusammen mit Stahl und Gewebekörpern konfektioniert werden müssen. Auch heute noch

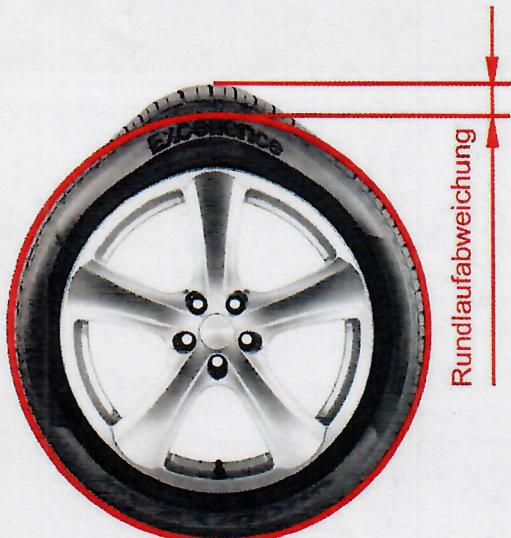


Bild 2 Höhenschlag des Reifens: Hat die Felge selbst keine Rundlaufabweichung, bringt ein Weiterdrehen des Reifens (Matchen) keine Vorteile

Drehpunkt = Schwerpunkt

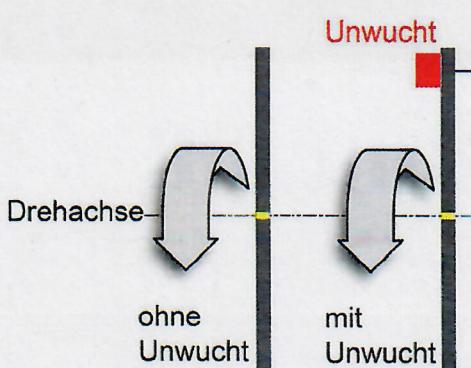


Bild 3 Scheibe ohne Unwucht (links): Der Schwerpunkt S liegt im Drehpunkt D der Scheibe. Scheibe mit Unwucht (rechts): Durch die Unwucht wandert der Schwerpunkt aus dem Drehpunkt heraus

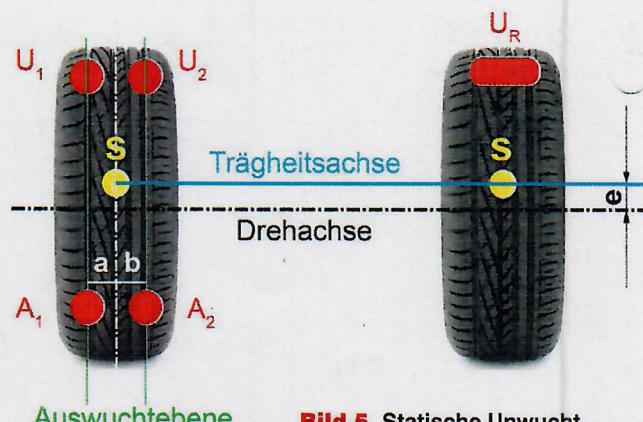


Bild 4 Auswuchten bedeutet: Die Massenverteilung wird durch das Hinzufügen eines Auswuchtgewichtes A so verbessert, dass die Abweichung des Schwerpunktes vom Drehpunkt die zulässige Toleranz nicht überschreitet

wuchteinheit $g \cdot \text{mm}$. Speziell für das Fahrzeugrad wird die Unwucht in Gramm – bezogen auf das Felgenhorn (Abstand Drehpunkt zum Felgenhorn in mm) angegeben.

Heutige Auswuchtmaschinen sind in der Lage, die notwendige Ausgleichsmasse zu berechnen, sowie den richtigen Montageort anzugeben. Auch ein Vorführen des Montageorts an der Felge bei automatischer Gewichtskorrektur ist möglich.

Bild 3 zeigt die Auswirkung einer ungleichen Massenverteilung. Durch die Unwucht wandert der Schwerpunkt in Richtung der Störmasse nach oben. Unter dem Schwerpunkt S versteht man den Angriffspunkt der Gewichtskraft eines Körpers. Würde der Körper exakt in diesem Punkt auf einen spitzen Gegenstand gesetzt, bliebe er theoretisch in

Balance, würde also nicht in eine bestimmte Richtung kippen. Er befindet sich im Gleichgewicht.

Liegt bei rotierenden Körpern der Schwerpunkt nicht exakt auf der technisch vorgegebenen Drehachse, liegt eine Unwucht vor. Um deren unliebsame Folgen wie etwa Schwingungen oder Vibrationen zu vermeiden, muss der Körper durch das Hinzufügen von Masse auf der gegenüberliegenden Seite oder das Entfernen der Störmasse ausgewuchtet werden (**Bild 4**).

Der Auswuchtvorgang eines Rades umfasst sowohl das Messen der für den Unwuchtausgleich notwendigen Korrekturen als auch den nachfolgenden Ausgleich durch Auswuchtgewichte und die Kontrolle der erreichten Auswuchtgüte.

Bei wenig breiten Rädern genügt wie bei einer dünnen Schei-

Bild 5 Statische Unwucht (links): Die Unwuchten lassen sich zu zwei Einzelunwuchten zusammenfassen, die in den Auswuchtebenen liegen. Wenn U_1 gleich U_2 ist, können die Einzelunwuchten in einer Unwuchtreduzierenden U_R zusammengefasst werden: Durch die statische Unwucht verschiebt sich der Schwerpunkt S. Dadurch verlagert sich die Trägheitsachse T parallel zur Drehachse um den Abstand e. (Schwerpunktexzentrizität). In Drehung versucht das Rad, um seine Trägheitsachse zu rotieren. Schüttelbewegungen und Vibrationen sind die Folge

Prüfungsaufgaben

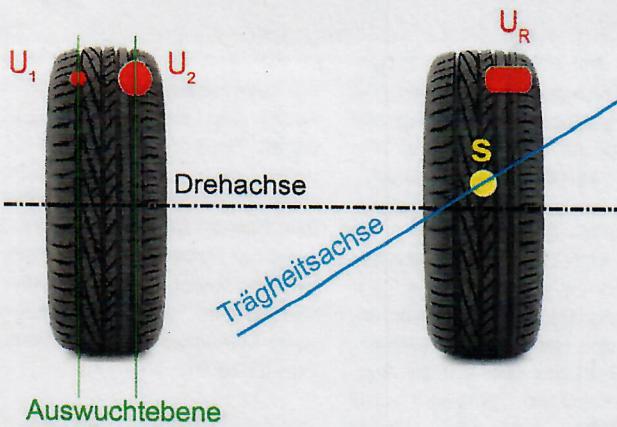
- 1 Erklären Sie den Begriff der Unwucht.
- 2 Welche Einheit hat die Unwucht allgemein?
- 3 Was versteht man unter dem Schwerpunkt eines Körpers?
- 4 Erklären Sie das statische Auswuchten.
- 5 Erklären Sie den Begriff der dynamischen Unwucht.
- 6 Erklären Sie den Begriff des Matchens.
- 7 An welcher Stelle wird die Felgenungleichmäßigkeit für das Matchen gemessen?

ne Masse nicht gleichmäßig verteilt ist. Befindet sich an einer Stelle eine sogenannte Übermasse (Schwerstelle, Massenüberhang), so entsteht eine Unwucht.

Die Unwucht ist definiert als ein Produkt aus der Masse m , die sich in einem Abstand r (Radius) von der Drehachse des Körpers befindet (**Bild 3**).

Ist die Unwucht mit $U = m \cdot r$ definiert, so ergibt sich als Un-

be das Auswuchten in einer Ausgleichs- oder Auswuchtebene. Bei schmalen Motorrad- oder Speichenrädern kann sowieso nur eine Ebene zum Ausgleich benutzt werden. Hier genügt das statische Auswuchten. Bei dieser Art des Wuchtens wird das Rad nur ausgependelt. Dazu lässt man es im Auswuchtbock drehen, bis sich die schwerste Stelle unten eingependelt hat. Diese Stelle



Auswuchtebene

Bild 6 Sonderfall der quasi-statischen Unwucht: U1 und U2 haben unterschiedliche Größen, aber die gleiche Richtung. Die Achsen T (Trägheitsachse) und S (Schwerpunktachse) schneiden sich

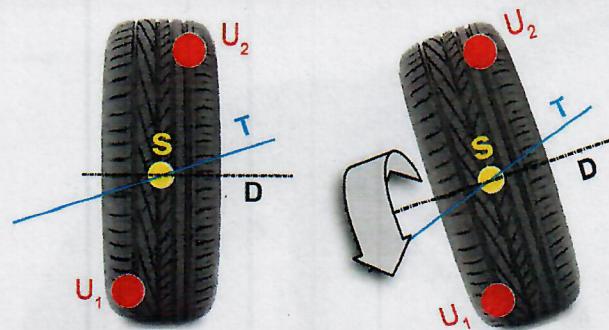


Bild 7 Sonderfall der kinetischen Unwucht: U1 und U2 sind gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet. Statisch lässt sich diese Unwucht nicht aufdecken. Hier entsteht keine Unwuchtreduzierende UR. Es liegt ein reines Unwuchtpaar (Unwuchtmoment) vor, das versucht, das Rad ins Taumeln zu versetzen. Die Achsen schneiden sich im Schwerpunkt S

wird nun markiert und um 90° nach rechts oder links ausgelenkt. Die gegenüberliegende Seite wird nun mit einem Auswuchtwiegepunkt versehen. Bewegt sich das Rad mit dem Auswuchtwiegepunkt nach unten, ist das Gewicht zu schwer bemessen; hebt das Rad das Gewicht an, war es zu leicht. Bleibt das Rad jedoch nach dem Loslassen in Ruhe, befindet es sich im Gleichgewicht. Die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte im ruhenden Körper wird Statik genannt, das oben gezeigte Verfahren daher „statisches Auswuchten“.

Ein grundlegend anderes Verfahren wird beim dynamischen Auswuchten angewandt: Hier wird das Rad in Rotation versetzt, mögliche Unwuchten setzen die Kräfte frei, die in den Lagern der Auswuchtmaschine gemessen werden können. Aufgrund der bekannten geometrischen Abmessungen werden die Lagerkräfte (bei kraftmessenden Maschinen) auf zwei mögliche Auswuchtebenen des Rades umgerechnet. Diese Ebenen sind in der Regel die Felgenhörner, also Außen- und Innenseite des Rades.

Während bei schmal bereiften Motorrädern, wie erwähnt, oft statisches Auswuchten genügt, ist beim Auto aufgrund der breiten Felgen und zum vollständigen Ausgleich aller Unwuchten ein Massenausgleich in zwei Ebenen notwendig. Ein alleiniges Betrachten und Korrigieren eines punktförmigen Schwerenzentrums, (Gesamtschwerpunkt S) wäre hier nicht zielführend. Denn im Gegensatz zu scheibenförmigen Rotationskörpern haben

walzenförmige Bauteile, wie sie moderne Pkw-Räder nun mal sind, ein vielmehr linienförmiges Schwerenzentrum. Die Linie, die durch den Schwerpunkt führt wird zentrale Hauptträgheitsachse genannt. Rotiert der Körper, in unserem Fall das breite Pkw-Rad, um diese Achse, heben sich alle Fliehkräfte auf. Würde sich das Rad frei im schwerelosen Raum drehen, würde es versuchen, um exakt diese Trägheitsachse zu rotieren. Wird dem Rad aber eine andere Drehachse, etwa durch die Radlager, aufgezwungen, wird es im Bestreben, um seine Hauptträgheitsachse zu rotieren, Schüttel- und Vibrationsbewegungen ins Auto leiten.

Der häufigste Fall eines ungewichtigen Rades ist die dynamische Unwucht (Bild 8). Die im Rad verteilten Unwuchten lassen sich gedanklich auf zwei Einzelunwuchten U1 und U2 – entsprechend den Auswuchtebenen – reduzieren. Es kann aber auch eine Gesamtunwucht (Unwuchtreduzierende) UR zur Darstellung der Unwuchten herangezogen werden. Bei den Unwuchtenarten gibt es zwei Sonderfälle, die quasi

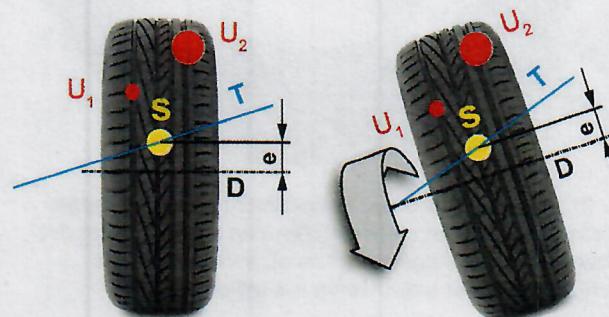


Bild 8 Dynamische Unwucht: Aufgrund der unterschiedlichen Größe von U1 und U2 ergibt sich eine Unwuchtreduzierende UR, die die Trägheitsachse T parallel zur Drehachse um ϕ verschiebt. Die unterschiedlichen Richtungen von U1 und U2 erzeugen eine Winkellage von T. Die Achsen T und D schneiden sich nicht. Das Rad beginnt zu taumeln

statische Unwucht und die kinetische Unwucht (auch Unwuchtpaar genannt), die in den Bildern 6 und 7 erklärt werden. Im Prinzip lassen sich die entsprechenden Ungleichförmigkeiten auch auf die Felge beziehen, sofern diese Unwuchten aufweist.

Das Matchen

Auch ein theoretisch fehlerfrei ausgewuchtetes Rad garantiert nicht immer einen vibrationsfreien Rundlauf. Erstaunte Autofahrer zweifeln an der Qualität des Reifens oder an der Arbeit der Werkstatt, sobald sie bei Autobahntempo feststellen müssen, dass ihre gerade erst ausgewuchten Räder nicht die erwartete Laufruhe bringen und das Lenkrad oder gar das ganze Fahrzeug vibrieren lassen.

Ein Kontrolllauf auf der Auswuchtmaschine bewirkt beim Werkstattpersonal dann nicht selten Ratlosigkeit. Es sei denn, der erfahrene Kfz-Meister oder Reif

Art der Reifenungleichförmigkeit	Erscheinungsform	Werkstatt-Korrekturmöglichkeit
geometrische Abweichungen	Rundlaufabweichung Planlaufabweichung	Matchen keine
Massenungleichförmigkeiten	statische Unwucht dynamische Unwucht	Auswuchten in einer Ebene Auswuchten in zwei Ebenen
Kräfteungleichförmigkeiten	Radialkraftschwankungen Lateralkraftschwankungen Tangentialkraftschwankungen	Matchen keine keine
statische Seitenkräfte	Konuseffekt Winkeleffekt	keine keine



Bild 9 Prinzip des Matchens: Felgentäler und Reifenberge lassen das Fahrzeugrad nicht gleichmäßig abrollen. Wird der Reifenberg über das Felgental gedreht, können sich die beiden Rundlauffehler gegenseitig ausgleichen

Reifenmonteur weiß Bescheid und geht mit Messuhr oder einem Stück Kreide am aufgespannten Rad ans Werk – eine simple Lösung. Selbst penibles Auswuchten des Rads nutzt in solchen Fällen wenig, wenn zuvor nicht das gesamte Rad auf geometrische Abweichungen geprüft worden ist. Die Notwendigkeit des Matchens kann oft daran erkannt werden, dass die Maschine nach dem Unwuchtplauf noch weitere Ausgleichsgewichte anfordert oder der angezeigte Grammbetrag unverhältnismäßig hoch ist.

Wird in solchen Zweifelsfällen nicht durch Matchen (zusammenfügen) versucht, den Höhenschlag von Felge und Reifen (**Bild 9**) auszugleichen, ist es schwer, anspruchsvolle Kunden zufriedenzustellen. Zwar lässt sich das Rad – zumindest was den Ausgleich der Massen anbelangt – auf null auswuchten, der Höhenschlag bleibt und wird den Kunden durch lästige Vibrationen zur Verzweiflung bringen.

Nicht jede Werkstatt kann auf eine sogenannte moderne Radoptimierungsmaschine zurückgreifen. Diese Geräte können durch Scannen der Reifenober-

fläche und des Rades viele Unregelmäßigkeiten erkennen und dem Fachmann die bestmögliche Lösung zur Unwucht- und Höhenschlagreduzierung anzeigen.

Matchen, ganz einfach

Doch auch ohne teuren Maschinenpark ist Matchen keine Zauberei: Zunächst muss der Höhenschlag des Rads ermittelt werden: Dazu wird das Rad auf die Auswuchtmachine gespannt und angetrieben. Auch ältere Geräte ohne PC-Monitor müssen sich dabei vor der aufwendigen Elektronik einer Hightech-Maschine nicht verstecken. Nach Abstellen des Antriebs wird ein Kreidestück langsam von außen auf die Mitte der Reifenlauffläche geführt, bis die ersten Kreidemarkierungen erscheinen.

Auf ähnliche Weise wird der Felgentiefpunkt festgestellt: Nach DIN 7817 ist der Höhenschlag der Felge in der Mitte der Sitzfläche des Reifenwulstes zu messen. Die außen angebrachte Kreidemarkierung kennzeichnet hier die tiefste Stelle der Felge.

Arbeitsvorgang Matchen

Vor dem Abdrücken der Reifenwulste von der Felgenschulter sollten Radhöchstpunkt auf der Reifenflanke und Felgentiefpunkt auf der Felge markiert werden. Gemäß den Beispielen 1–5 muss der Reifen so auf der Felge gedreht werden, dass Reihenhöchstpunkt- und Felgentiefpunkt-Markierung übereinstimmen (**Bild 9**).

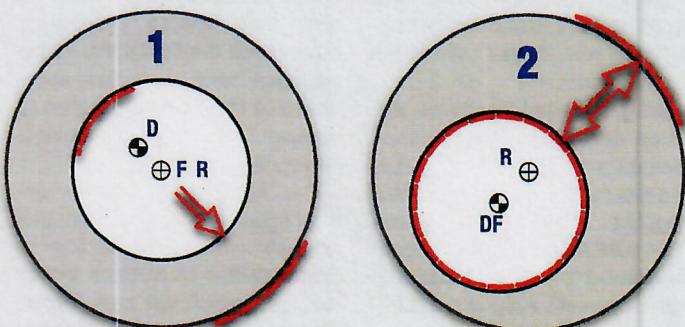
Drehwinkel beim Matchen

Theoretisch lassen sich die Drehwinkel mit einfachen Geometriewerkzeugen auf einem Blatt Papier verständlich nachvollziehen und mit Zirkel und Geodreieck ermitteln:

Zunächst wird die Position des Felgentiefpunkts und das Maß der Exzentrizität der Felge bestimmt. Die Exzentrizität entspricht der Hälfte der Differenz zwischen niedrigstem und höchsten Felgenpunkt einer Felgenumdrehung. Vom geometrischen Mittelpunkt F aus wird nun in Richtung des Felgentiefpunkts mit dem Abstandsmaß der Ex-

Überlegungen zum Matchen eines Radsatzes

D = Drehachse des Rads,
F = Mittelpunkt der Felge,
R = Mittelpunkt des Reifens



Arbeitsplanung	Rad/Reifen 1	Rad/Reifen 2
1. Rundlaufprüfung		
sichtbarer Höhenschlag	ja	ja
Höhenschlag der Felge	ja	nein
Höhenschlag des Reifens	nein	ja
Arbeitsschritt	Reifen auf der Felge um 180° weiterdrehen	Reifen auf der Felge um 180° weiterdrehen
2. Rundlaufprüfung		
Höhenschlag der Felge	ja	nein
Höhenschlag des Reifens	nein	ja
Gesamthöhenschlag	weitgehend unverändert	weitgehend unverändert
Montageempfehlung	wenn Höhenschlag > 1 mm, nicht auf der Vorderachse montieren	wenn Höhenschlag > 1 mm nicht auf der Vorderachse montieren
alternative Montageempfehlung	Reifen Nr. 1 auf Felge Nr. 2 montieren, matchen und auswuchten. Bei Höhenschlag < 1 mm Montage auf der Vorderachse möglich	Reifen Nr. 2 auf Felge Nr. 1 montieren, matchen und auswuchten. Bei Höhenschlag < 1 mm Montage auf der Vorderachse möglich

zentrität der reale Drehpunkt D eingezeichnet. Nun wird die Position des Radhochpunktes (Gesamthöhenversatz) ermittelt und eine Gerade zum realen Drehpunkt D gezeichnet. Nun kann die Position des Reifenhochpunktes ermittelt werden indem eine Gerade von F durch den geometrischen Reifenmittelpunkt R gezogen wird. Der verbleibende Winkel F-R zu F-D, hier 84° , entspricht dem Winkel, den der Reifen auf der Felge weitergedreht werden sollte.

Arbeiten mit optimierten Reifenmontiermaschinen

Moderne elektronische Optimierungsgeräte sind heute mit Laserscannern zum automatischen Messen der Raddaten ausgestattet. Dank umfangreicher Elektronik zeigen sie nicht nur die Drehempfehlungen zum Kompensieren des Höhenversatzes an, sie ermitteln auch die unterschiedlichsten Daten und berechnen daraus die bestmögliche Position von Felge und Reifen. Drei Scanner und ein Laserpointer

sind meist als elektronische Heißleitungen dabei. Das Computer-Display muss allerdings verstanden und die nächsten Arbeitsschritte müssen in der richtigen Reihenfolge eingegeben werden.

Laserscanner

Sie erfassen die Raddaten. Der innere Scanner misst dabei folgende Parameter:

- Er erfasst die innere Form der Felge und bestimmt die beste Position des anzubringenden Gewichts auf der linken, zur Maschine hin orientierten Innenseite der Felge.
 - Er berechnet Abstand und Durchmesser der Felge.
 - Er erfasst Höhen- und Seitenschlag der linken Felgenseite.
 - Er erfasst Anzahl und Position evtl. vorhandener Speichen.
- Der in den Radschutz der Reifenumwuchtmaschine eingebaute zweite Laserscanner scannt und berechnet:
- den günstigsten Punkt zum Anbringen des Ausgleichsgewichts an der Felgenaußenseite;
 - den Höhen- und Seitenschlag



Bild 13 Das Drehen des Reifens auf der Felge (Matchen) erfordert bei Niederquerschnittsreifen eine moderne Montagemaschine. Kreidestrichmarkierungen sind meist eine gute Hilfe

der rechten Felgenseite sowie

- die Felgenbreite.

Der hintere Laserscanner misst letztlich noch den Höhenversatz der Reifen sowie den des Wulstzitzen der Felge.

Dr. Manfred Scholz

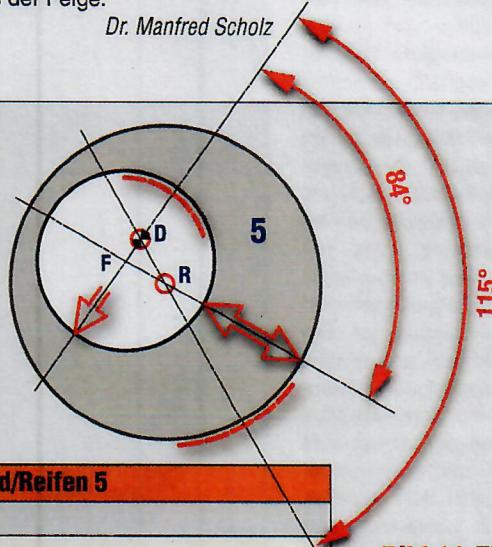


Bild 11 Theoretisch lässt sich die Zuordnungen von Reifen und Felgen auch über die Winkel erreichen, sofern die jeweiligen Mittelpunkte (Drehpunkt Rad D, Felgenmittelpunkt F, Reifenmittelpunkt R) bekannt sind

Rad/Reifen 3	Rad/Reifen 4	Rad/Reifen 5
ja	ja	ja
ja	ja	ja
ja	ja	ja
Reifen auf der Felge um 180° weiterdrehen	Reifen auf der Felge um 180° weiterdrehen	Reifen auf der Felge um 84° gegen Uhrzeigersinn weiterdrehen
ja	ja	ja
ja	ja	ja
sehr gering (Rundlauf)	Vergrößerter Gesamthöhenversatz	deutlich reduzierter Gesamthöhenversatz
bei Höhenversatz > 1 mm nicht auf der Vorderachse montieren	Austausch von Felge und/oder Reifen, montieren, matchen und auswuchten	Austausch von Felge und/oder Reifen, montieren, matchen und auswuchten
Reifen Nr. 3 auf Felge Nr. 1 montieren, matchen und auswuchten. Bei Höhenversatz < 1 mm Montage auf der Vorderachse möglich	Auswuchten, Verwendung als Ersatzrad	Auswuchten, bei Höhenversatz > 1 mm nicht auf der Vorderachse montieren