

Vibrations Kontroll System für das Automobil-Service-Industrie

Dan Parker
Hunter Engineering Co.

Dave Scribner
Hunter Engineering Co.

© Copyright 2000 Hunter Engineering Company

ÜBERSICHT

Es handelt sich um eine Wuchtmaschine mit zusätzlicher Funktion, nämlich um Rad/Reifen Vibrationsprobleme zu ermitteln und zu beseitigen. Ausser Räder zu wuchten, kann dieses Gerät den Felgenlauffehler radial und lateral erfassen. Eine Laufrolle mit einer Last von 320kg wird gegen das Reifenprofil gedrückt, um die Rad-kraftschwankungen zu messen. Mit diesen Informationen kann der Reifenhochpunkt mit dem Felgentiefpunkt übereingestimmt und so montiert werden. Hiermit wird die Vibration von Rad/Reifen-Kombinationen auf ein Minimum reduziert. Der GSP9700 von Hunter Engineering bietet der Automobilserviceindustrie diese Funktionen jetzt kostengünstig an. Messwerte, die mit dem GSP9700 ermittelt wurden, sind mit Werten der industriellen Reifen-uniformitätsmaschinen der Akron Standard zu vergleichen.

EINFÜHRUNG

Die Automobilserviceindustrie verfügt jetzt über ein Gerät, um Vibrationsprobleme, verursacht durch Rad/Reifen-Kombinationen, zu beseitigen. Obwohl eine Rad/Reifen-Kombination perfekt gewuchtet sein kann und die Achsgeometrie perfekt eingestellt ist, kann es immer noch Vibrationsprobleme geben, die durch die Unrundheit der Kombination oder durch Unterschiede der Steifigkeit im Reifenumfang verursacht worden sind. In der Vergangenheit bedeutete es, wenn Probleme nach normalem Montieren und Wuchten aufgetreten sind, zusätzliche Untersuchungen, u.a., Fahrversuche oder Rad- und Reifentausch bis die Werkstatt das Problem gelöst hat. Das GSP 9700 von Hunter Engineering ermöglicht eine Straßenkraftvermessung "Road Force Measurement™" und der Techniker kann die höchste Stelle des Reifens mit der tiefsten Stelle des Felgens matchen. Hiermit wird die Reifen/Rädervibration auf einem Minimum gehalten.

Kundenbeschwerden wegen der Einschränkung des Fahrkomforts werden immer häufiger und sind auf folgende Gründe zurückzuführen:

- A. Leichte Achskonstruktionen erschweren das Dämpfen der Straßenvibrationen.
- B. Federbeinaufhängung in Verbindung mit Stangenlenksystemen führen Straßenvibrationen direkter in den Fahrzeuginnenraum.
- C. Reifen tendieren zu immer kleinerem Querschnitt. Felgen werden im Durchmesser immer größer und sind dadurch anfälliger gegen Straßenlöcher, Gegenstände auf der Fahrbahn oder auf Anfahren der Straßenränder.
- D. Niederquerschnittsreifen sind empfindlicher gegen Straßenkräfte und gegen dynamische Unwucht.
- E. PKW's, L-Lkw's und Geländewägen sind eine große Investition. Kundenansprüche bezüglich Fahrkomfort werden höher.
- F. Viele Kunden kaufen neue Reifen in der Hoffnung, den Neuwagenwert des Fahrkomfort zu bekommen.
- G. Kunden behalten ihre Fahrzeuge immer länger. Das Durchschnittsalter eines PKW's beträgt zur Zeit 8,5 Jahre mit einer Durchschnittsfahrleistung von über 160.000km.

Vibrationen in der Rad/Reifen-Kombination können aus folgenden Gründen verursacht werden:

- Rad/Reifenunwucht
- Unterschiede in der Reifenwand-Steifigkeit (Reifenuniformität)
- Felgenschlag
- Unrundheit der Reifen
- Unwucht oder Schlag in der Achsnabe*
- Verschleiß oder Fehler im Bremssystem*
- Verschleiß oder Fehler in den Antriebskomponenten*
- Fahrzeugspezifische Resonanz*
-
- Kombination von manchen oder allen o.g. Faktoren

*Faktoren, die nicht mit dem GSP9700 Vibrationskontrollsystem ermittelt werden können.

ROAD FORCE MEASUREMENT™

Mit der Straßenkraftvermessung (Road Force Measurement™) wird die Kondition der Rad/Reifen-Kombination in simulierter Straßenlage überprüft. Das GSP9700 ist mit einer Rolle ausgestattet, die gegen den rotierenden Reifen mit einer Kraft von bis zu 320kg gepreßt wird. Die Maschine führt zu erst diese Untersuchung durch und danach fährt die Rolle automatisch in die Ausgangsposition zurück. Diese Untersuchung ermittelt mögliche Vibrationsprobleme, verursacht durch Felgenschlag oder Unrundheit in den Reifen, die mit einer herkömmlichen Wuchtmaschine nicht zu messen sind. Der Bediener ist dadurch schnell in der Lage, Vibrationsprobleme zu ermitteln und zu beheben. Wenn die Rad/Reifen-Kombination als rund befunden wird, läuft die Maschine automatisch zu dem Präzisionswuchtvorgang.

Verschiedene Reifenhersteller haben Grenzwerte für freilaufende Rad/Reifen-Kombinationen publiziert, d.h., Radiallauftfehler gemessen mittels des Reifenprofils. Obwohl ein Techniker hierdurch mit einer Messuhr schnell solche Werte ermitteln kann, geben solche Vermessungen keine Indizien zu Vibrationsprobleme am Fahrzeug. Das von SAE empfohlene Vorgehensverfahren, J332, ist in der Reifenindustrie eine weit verbreitete Praxis und beschreibt Reifenuniformitätsmaschinen. Dieses Verfahren untermauert die Notwendigkeit, die Kraftschwankungen der Reifen in beladenem Zustand zu messen. Freilaufenden Messungen am Reifen sind hier nicht empfohlen. Reifenuniformität wird in der Reifenindustrie meistens mit Maschinen konform zum Verfahren J332 überprüft. Reifen die aus der Uniformitätsgrenze herausfallen, werden in der Reifenschulter oder im Profil leicht geschliffen. Dieses Abschleifen führt zu einer Verbesserung in der radialen Kraftschwankung. Das Abschleifen führt aber nicht automatisch zu einer Verbesserung in dem freilaufenden Radiallauftfehler. Reifen mit einem hohen Radiallauftfehler können vibrationsfrei unter Last rollen und Reifen mit einem niedrigen Radiallauftfehler können unter rollender Last stark vibrieren.

Um die Auswirkung radialer Kraftschwankungen zu verstehen, benutzen wir ein Reifenmodell, dargestellt in Form einer Mehrzahl an Federn zwischen Felge und Reifenprofil. Falls die Federn unterschiedlich in der Steifigkeit sind, kommt eine Kraftschwankung in der Achse auf wenn sich der Reifen dreht und ausdehnt. Dies verursacht Vibrationen im Fahrzeuginneren. Siehe hierzu Abbildung 1 auf Seite 7.

Das GSP9700 Vibrationskontrollsystem mißt die radiale Kraftschwankung in der Rad/Reifen-Kombination und zeigt dann die ermittelten Werte an. Falls die Kraftschwankung als hoch ermittelt wird, wird der Bediener zu einer Messung der Felgenlauftfehler geführt. Nach der Messung der Felgenlauftfehler, kann der GSP9700 jetzt von der ersten bis zur vierten harmonischen Kraftschwankung des Reifens und das der Felge anzeigen.

Dieses Gerät kann die erste Harmonische der Reifen gegenüber der ersten Harmonischen der Felge matchen, um Vibrationen in der ersten Harmonischen zu minimalisieren. Ein Austausch der Felge und/oder Reifen möge notwendig sein oder die Rad/Reifen-Kombination muß nach Herstellerangaben gematcht werden, bevor der Wuchtvorgang gestartet wird (OE-Matching oder ForceMatching).

HARMONISCHE VIBRATION

Eine Vibration die einmal pro Umdrehung stattfindet, wird als sogenannte erste Harmonische bezeichnet. Siehe hierzu Abbildung 2 auf Seite 7.

Während des Matchings wird die erste harmonische Vibration vom Reifen genau gegenüber der ersten harmonischen Vibration der Felge gesetzt, um die gesamte erste Harmonische der Rad/Reifen-Kombination zu minimalisieren. Dies führt dann zu einer Verminderung der Vibrationen die man im Auto spürt.

Einen Vibration die zweimal pro Umdrehung stattfindet, wird als zweite Harmonische bezeichnet. Weil zwei Vibrationen pro Umdrehung stattfinden, ist die Frequenz der zweiten Harmonischen doppelt so hoch als die der ersten Harmonischen. Siehe hierzu Abbildung 3 auf Seite 7.

Mehrfache harmonische Vibrationen können auch vorkommen, siehe hierzu Abbildung 4 auf Seite 8. Mehrfache harmonische Vibrationen können durch OE-Matching (ForceMatching) nicht beseitigt werden.

Mehrfache harmonische Vibrationen können in allen harmonischen Abstufungen vorkommen. Siehe hierzu die Abbildungen 5 und 6 auf den Seiten 8 und 9.

DIE GSP9700 KRAFTVARIATIONS-VERMESSUNG:

1. Die Rad/Reifen-Kombination wird über Präzisionsspannmittel auf der Welle der Maschine zentriert. Eine Vielfalt an Zentrierkonen und Adaptoren stehen in der Grundausstattung des GSP9700 zur Verfügung.
2. Eine Rolle mit einem Durchmesser von 152mm wird über eine Luftbalgfeder gegen den Reifen gedrückt. Ein Luftdrucksensor ermittelt die Last an der Rolle und ein Winkelsensor ermittelt die Position (Winkel) der Rolle.
3. Die Reifensteifigkeit wird ermittelt durch Andrücken der Rolle an den Reifen mit zwei unterschiedlichen Druckstärken und bei Messung der Rollenposition.
(Reifensteifigkeit = Änderung der Last / Änderung der Rollenposition)
4. Eine konstante Last von bis zu 320kg ist über die Rolle an die Reifen angedrückt und der Winkelsensor mißt die radialen Schwankungen der Rolle. Das Rad ist über den DC Motor mit einer Umdrehung von 90 RPM gedreht. Die Radwinkelposition wird über einen Enkoder mit einer Auflösung von 516 Positionen pro Umdrehung ermittelt. Zusätzlich werden 128 Messungen der Rollenposition pro Radumdrehung für insgesamt vier Umdrehungen gemacht.
5. Die Rad/Reifen-Kombination wird dann von der Maschine heruntergenommen und der Reifen von der Felge demontiert. Die nächste Felge wird wieder aufgespannt und ein separater Arm, ausgestattet mit zwei Winkelsensoren mißt den radialen und lateralen Lauffehler der Felge im Wulstbett. Hierzu wird die Felge bei 25 RPM für zwei Umdrehungen gedreht.
6. Der GSP9700 untersucht alle ermittelten Messpunkte und kalkuliert die erste Harmonische der Rad/Reifen-Kombination und die erste Harmonische der Felge. Der Spitze zu Spitzewert (Total Indicated Runout) und zweite, dritte und vierte Harmonische werden auch ermittelt und stehen über weitere Bildschirme zur Verfügung
7. Der radiale Lauffehler der Reifen ist kalkuliert durch Abziehen der Felgenlauffehler von der Rad/Reifen-Kombination.
8. Die radialen Lauffehlerwerte sind dann in Kraftschwankung umgewandelt nach der folgenden Formel:
Radiale Lauffehler [gedrückt] X Reifensteifigkeit = Kraftschwankung

BEGUTACHTEN DER KRAFTSCHWANKUNGS-VERMESSUNGEN

Um die ermittelten Kraftschwankungswerte des GSP9700 zu begutachten, wird ein Vergleich mit Kraftschwankungswerten von einem Akron Standard Model D-70 herangezogen. Diese Hochpräzisionsmaschine wurde extra für die Reifenindustrie entwickelt.

Die nach SAE empfohlene Vorgehensweise J332 beschreibt Testmaschinen erforderlich für die Messung von Reifenuniformität. Reifenuniformitätsmaschinen werden seit über zwanzig Jahren nach dieser Vorgehensweise gebaut. Der Akron Standard wird auch unter diesen Voraussetzungen gebaut.

Die Hauptmerkmale der Akronmaschine sind folgend:

1. Eine Wellenvorrichtung ausgestattet mit zwei gedrehten Felgenteilen. Förderbänder und automatische Steuerung ermöglichen ein schnelles Montieren, Füllen und Entlüften des Reifens.
2. Eine Trommel mit einem Durchmesser von 854 mm wird gegen den Reifen mit einem Druck von bis zu 1800kg gepreßt.
3. Die Rad/Reifen-Kombination wird gegen die Trommel im und gegen den Uhrzeigersinn gedreht in Geschwindigkeiten, die vom Hersteller definiert sind.
4. Kraftsensoren messen die Kraft zwischen Reifen und Trommel in den radialen und lateralen Ebenen. Ein optischer Enkoder mißt die Winkelposition des Rades.
5. Zu Anzeige werden die ermittelten Werte für die Spitze zu Spitze, Zeitzyklus, Amplitude und die Phasen der erste zehn harmonischen Komponenten der Kraftschwankung gebracht. Siehe hierzu Abbildung 7 auf Seite 9.

AUSGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Im Akron Standard Werk war ein GSP9700 neben einem Akron Standard D-70 installiert. Messungen sind vom Akron-Personal durchgeführt worden.

Insgesamt sind Tests mit 23 Reifen durchgeführt, nämlich fünfzehn 14Zoll- und acht 15Zoll-Felgen. Die 14Zoll-Reifen für PKWs waren von vier verschiedenen Herstellern. Die zulässige Gewichtsbelastung der Reifen betrug bis zu 635kg. Die acht 15Zoll Reifentyp-Geländewagen hatten eine zulässige Gewichtsbelastung von bis zu 920kg.

Insgesamt sind 131 Kraftschwankungsvermessungen mit dem GSP9700 gemacht worden. Die ersten zwei 14Zoll- und 15 Zoll-Reifen sind alle zehnmal gemessen worden, ohne die Felgen abzumontieren. Die ersten sieben 14Zoll-Reifen sind fünfmal gemessen worden, wobei nach jedem Test der Reifen auf der Felge in eine andere Position gedreht wurde. Die letzten acht 14Zoll-Reifen sind dreimal gemessen worden und wurden auch nach jedem Test gedreht. Die ersten vier 15Zoll-Reifen sind fünfmal gemessen worden und die letzten vier 15Zoll-Reifen sind dreimal gemessen worden, wobei nach jedem Test die Reifen auf der Felge gedreht wurde. Ein Rollendruck von 227kg war für die 14Zoll-Reifen verwendet worden und ein Rollendruck von 320kg war für alle 15Zoll-Reifen verwendet worden.

Insgesamt sind 380 Kraftschwankungsvermessungen mit der Akron Maschine gemacht worden. Alle 23 Reifen sind zehnmal gemessen worden. Die Reifen sind nach jedem Test auf der Felge in eine andere Position gedreht worden. Der Rollendruck für die 14Zoll-Reifen war auf 227kg eingestellt, der Rollendruck für die 15Zoll-Reifen war auf 320kg eingestellt. Zusätzlich wurden die 14Zoll-Reifen nochmals unter gleichen Bedingungen mit einem Rollendruck von 544kg gemessen (SAE Vorgaben).

WIEDERHOLBARKEIT

Die Standardabweichung ist ein Messwert der Wiederholbarkeit. Wenn eine Gruppierung von Messwerten eine "normale" Verteilung haben, dann liegen 95,4% der Werte innerhalb einer Bandbreite von +/- 2 Standardabweichungen von dem Mittelwert. Siehe hierzu die Tabellen 1 und 2 auf Seite 10.

GENAUIGKEIT

Die Genauigkeit eines Messgeräts wird öfters ermittelt mit einer Vergleichsvermessung zu einem Referenzgerät. In diesem Fall werden die Mittelwerte der Akron Standard Maschine als Referenz verwendet. Sehen Sie hierzu die graphischen Darstellungen 1 bis 8 ab Seite 11. Dies zeigt die Korrelation zwischen dem GSP9700 und die Mittelwerte der Akron Standard Maschine.

Die R² Statistik wird öfters in der Reifenindustrie als Beschreibung der Korrelation verwendet.

Perfekte Korrelation bedeutet ein R² Wert von 1.00. Alle Punkte werden genau auf der 45° Linie liegen.

AUSWIRKUNGEN DER ROLLEDRUCK

Das GSP9700 hat einen maximalen Rollendruck von bis zu 320kg. Um der Auswirkung dieses niedrigen Druckes nachzugehen, sind die 14Zoll Reifen auf der Akron Maschine nach der SAE Empfehlungen bei einen Rollendruck zwischen 544 und 580kg gemessen worden. Die graphische Darstellung Nummer 8 auf Seite 19 zeigt die Auswirkung dieser höheren Last.

EFFEKTIVITÄT DER MATCHING VON REIFEN UND FELGEN

Das GSP9700 ist ein wichtiges Hilfsmittel für die Reifentechniker, weil die höchste Stelle von radialen Kraftschwankung mit der tiefsten Stelle von Felgenlauffehler gematcht werden kann. Hierdurch wird eine Rad/Reifen-Kombination zusammengestellt mit einer niedrigen radialen Kraftschwankung. Die Effektivität dieser Matching hängt von der Höhe der Reifenkraftschwankung und Felgenlauffehler ab. Daten hierzu sind von 6771 Rad/Felgen-Kombinationen gesammelt worden, die in Reifengeschäften auf 26 verschiedenen GSP9700 gemessen worden sind. Hierzu sehen Sie die graphische Darstellung auf Seite 20.

Der Mittelwert für den Felgenlauffehler beträgt 0,15 bis 0,25 mm und der Mittelwert für die Reifenkraftschwankung beträgt 72 bis 90 Newton. Für eine durchschnittliche PKW oder L-LKW Rad/Reifen-Kombination verursacht ein Felgenlauffehler von 0,02mm eine Kraftschwankung von 4,5 Newton.

Basiert auf diesen Daten, kann durch korrektes OE-Matching (ForceMatching™) die Kraftschwankung um fast 50% reduziert werden.

Die graphische Darstellung Nummer 10 auf Seite 21 zeigt den Mittelwert für Kraftschwankung für die 23 Testreifen wenn der Felgenlauffehler-Total Indicated Runout (Spitze zu Spitze Wert) 0,18mm beträgt. Die Akron Standard gemessenen Werte für Kraftschwankung und Winkel werden als Referenz betrachtet.

Unterschiede im Winkel, gemessen mit dem GSP9700, resultieren aus einem höheren Wert von Kraftschwankung gemessen mit dem GSP9700.

PUNKTE ZU DER RICHTIGEN BENUTZUNG DES GSP9700

Hierunter ist eine Auflistung wichtiger Voraussetzungen oder mögliche Fehlerquellen, die die Leistung und ermittelten Werte des GSP9700 beeinträchtigen können:

- **MECHANISCHE SPANNFEHLER ZWISCHEN FELGE UND SPINDEL**
Gründe hierfür können Verschleiß oder Beschädigung im Spannmittel, Rost oder Schmutz an der Felge, eine verschmutzte Welle oder eine inkorrekte Sitz des Konus mit der Felge sein.
- **EXTERNE FELGENLAUFFEHLERABTASTUNG GEGENÜBER WULSTBETTABTASTUNG**
Obwohl die ermittelten Werte bei beiden Methoden sehr ähnlich sind, lassen manche Gußfelgen oder "Softline"-Felgen eine präzise externe Abtastung nicht zu. Um den genauen Lauffehler der Felge zu ermitteln, muß der Reifen abmontiert werden und der Lauffehler direkt im Wulstbett gemessen werden.
- **UNTERSCHIEDLICHER REIFENDRUCK VOR UND NACH MATCHING**
Der Reifenluftdruck soll vor und nach dem Matchvorgang gleich sein. Der richtige Druck ist der vom Hersteller vorgegebene Druck für das Fahrzeug.
- **INKORREKTER SITZ DER WULST IM FELGENBETT**
Reifentechnologie wird ständig weiterentwickelt. Das moderne Auto benötigt Reifen, die sehr fest an der Felge sitzen um eine Durchrutschung der zwei Komponenten zu verhindern. Der korrekte Sitz der Wulst in dem Felgenbett wird immer wichtiger für Vibrationsprobleme, verursacht in der Rad/Reifen-Kombination. Öfters zeigt eine Kombination hohe Kraftschwankungswerte, verursacht durch inkorrekten Wulstsitz der Reifen. Wenn der Reifen nochmals demontiert, ausreichend mit der Montagepaste eingeschmiert und sorgfältig montiert wird, werden öfters die Kraftschwankungswerte drastisch gesenkt.

Bei empfindlichen Fahrzeugen hilft es manchmal, die Reifen bis zur oberen Reifendruckgrenze zu füllen und dann wieder zu entlüften. Danach wird der Reifen zu dem vom Hersteller vorgegebenen Wert gefüllt um, einen optimalen Sitz der Wulst zu bekommen
- **NICHT AUSREICHENDES EINSCHMIEREN MIT DER MONTAGEPASTE**
Die Montagepaste soll ausreichend am Reifenwulst und Felge eingeschmiert werden. Felgenwulstsitz, Bett und Schultern sollen gut eingeschmiert werden. Schnelles Anfahren soll für die ersten 800km nach der Montage vermieden werden.
- **SICHERHEITSBETT BEHINDERT DEN WULSTSITZ**
Manche Felgen haben ein eckiges oder asymmetrisches Sicherheitsbett, das eventuell einen uniformen Sitz der Wulst behindert. Hierzu ist eine ausreichende Einsmierung unbedingt erforderlich.
- **REIFEN "FLAT SPOTS" DURCH LANGES STEHEN DES FAHRZEUGES**
Die Werte für Kraftschwankung und Unwucht werden sich nach wenig gefahrenen Kilometern wieder ändern.
- **ÜBERMÄSSIGE LATERALE LAUFFEHLER DER REIFEN UND/ODER DER FELGE**
Ein Reifen oder eine Felge mit hohen lateralen Werten kann Einfluß auf den radialen Wert nach OE-Matching (ForceMatching™) haben.

ZUSAMMENFASSUNG

Das GSP9700 Vibrationskontrollsystem ist ein Gerät zu einem richtigen Preis für die Auto-Service-Industrie. Mit diesem Gerät können Vibrationsprobleme in der Rad/Reifen-Kombination gelöst werden. Eine Lösung, die mit herkömmlichen Wuchtmaschinen nicht möglich ist. Eine Vergleichsvermessung von 15 Pkw mit

Durch Ermittlung der höchsten Stelle der Reifenkraftschwankung unter Last und matching dieser Stelle zu der tiefsten Stelle des radialen Lauffehlers der Felgen, können die radialen Kraftschwankungen der Kombination erheblich reduziert werden. Die Voraussetzung hierfür ist, dass die Felge einen radialen Lauffehler hat. Die Untersuchungen von 6771 Rädern, bei insgesamt 26 verschiedenen GSP9700 Maschinen (Abb. 17), zeigt dass im Schnitt die radiale Kraftschwankung um 50% reduziert wird.

DANK

Geht hier an Jim Chase und seinen Kollegen bei ITW Akron Standard für Ihren technischen Rat während der Untersuchungen und für die Benutzung der D-70 Maschinen.

KONTAKT

Sie können Weiteres über das Hunter GSP9700 von der Hunter Website erfahren unter: www.GSP9700.com . Für den Standort Ihres nächstliegenden Händlers in Europa, rufen Sie bei Hunter Europe direkt an:

Hunter Europe
Am Weidegrund 10
82194 Gröbenzell
tel: (+49) 08142 580556, fax 580557
e-mail: huntereuro@aol.com

DEFINITIONEN, ABKÜRZUNGEN

KRAFTSCHWANKUNG

Eine Änderung der Kraft zwischen einer Rolle und der Rad/Reifen-Kombination. Die Kraftänderung wird gemessen mit der Rad/Reifen-Kombination unter Last und drehend. Kraftschwankung kann Vibration im Fahrzeug verursachen, obwohl die Rad/Reifen-Kombination perfekt rund ist und das Rad ausgewuchtet ist.

HARMONISCHE

Eine Vibration definiert durch die Anzahl der Vibrationen pro Umdrehung. Die resultierende Harmonische wird durch das Analysieren mehrere Messpunkte über eine Komplexformel ermittelt. Der 1. Harmonische zum Beispiel ist eine Vibration die einmal pro Umdrehung vorkommt.

OE-MATCHING / FORCE MATCHING

Original Equipment-Matching (ForceMatching) ist eine Methode, um die höchste oder härteste Stelle am Reifen an die gleiche Stelle mit der tiefsten Stelle der Felge zu bringen. Dadurch wird die drehende Vibrationen der Rad/Reifen-Kombination auf ein Minimum gehalten.

MATCH MOUNTING

Siehe "OE-MATCHING / FORCE MATCHING." Wird öfters falsch von Wuchtmaschinenhersteller als Beschreibung ihrer Optimierungsfunktion verwendet.

OPTIMIERUNG

Optimierung positioniert die Felge und Reifen, um das Ausgleichsgewicht für das Auswuchten zu minimalisieren.

P, P/SUV, LT

"P " bedeutet PKW-Reifen, "LT " bedeutet L-LKW-Reifen und "P/SUV" bedeutet Geländewagenreifen.

TOTAL INDICATED READING (T.I.R.)

Sind mehrere Messpunkte gemessen von der Rolle (in Newton) oder von den Datenarmen (in mm). Die T.I.R ist der Spitze zu Spitze Wert, d.h., die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigst gemessenen Wert.

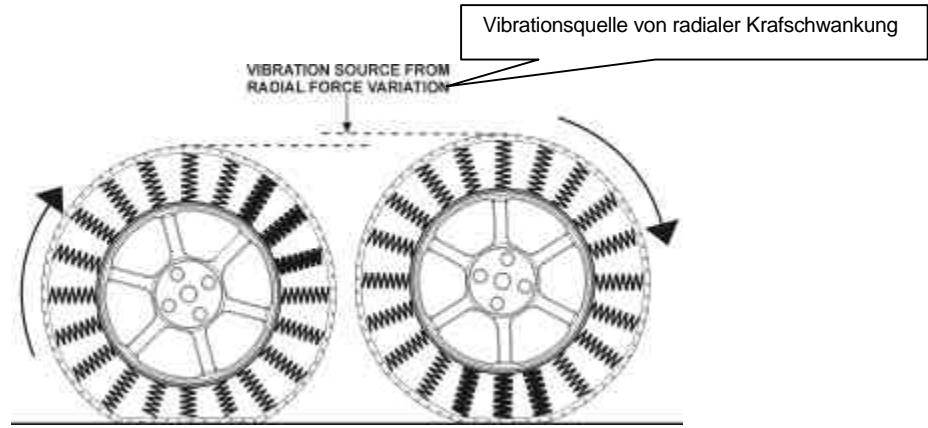


Abb.1. Kraftschwankung verursacht Vibration

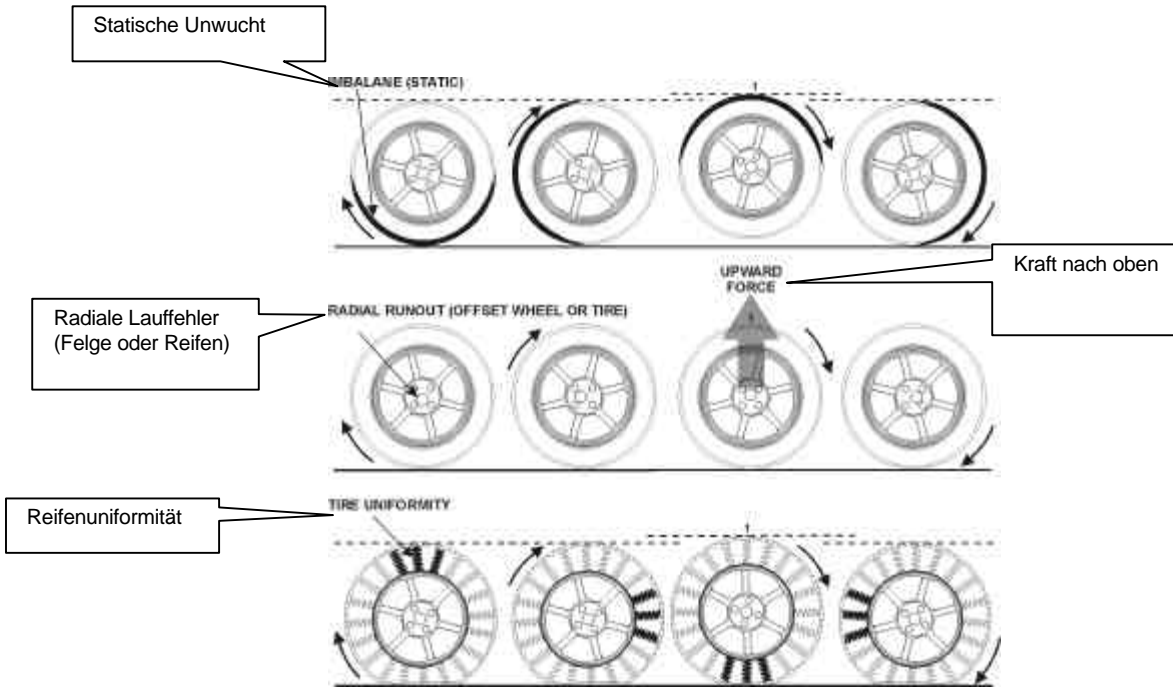


Abb. 2. Verschiedene 1. harmonische Vibrationen

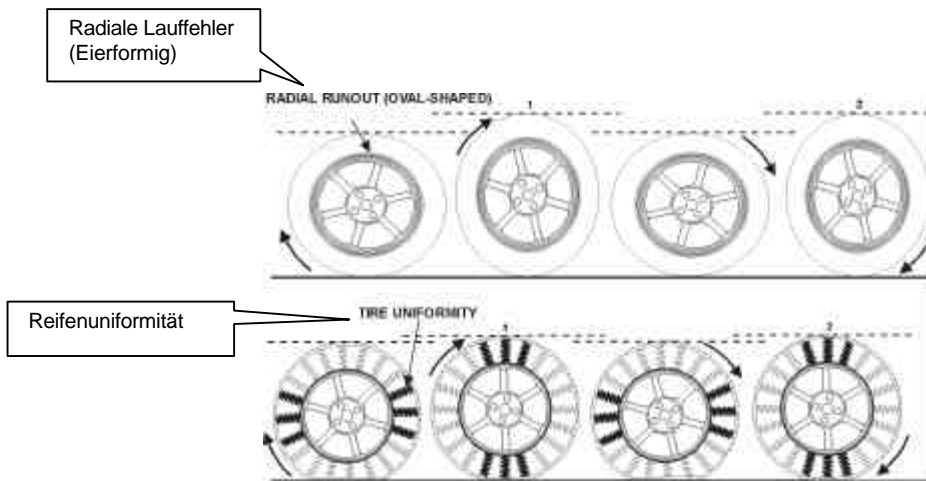


Abb. 3. Verschiedene 2. harmonische Vibrationen

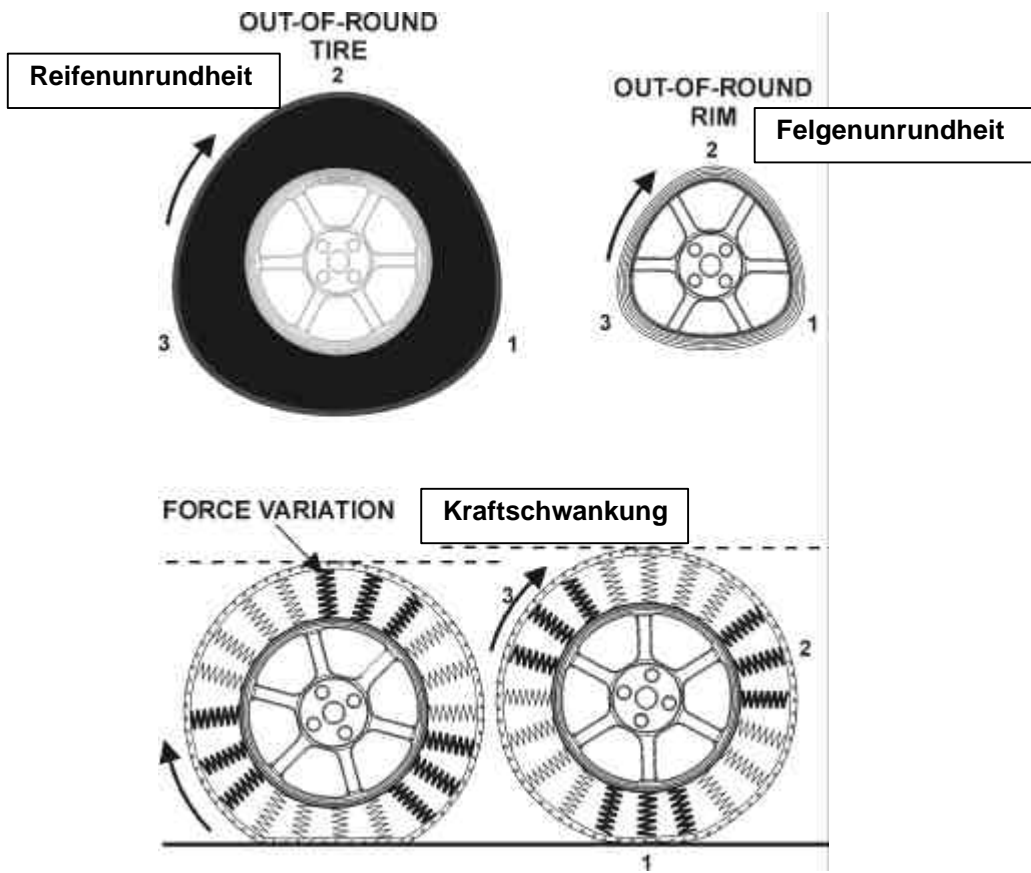


Abb. 4. Verschiedene 3. harmonische Vibrationen



Abb. 5. Felgenvermessung



Abb.6. Rollendruckvermessung

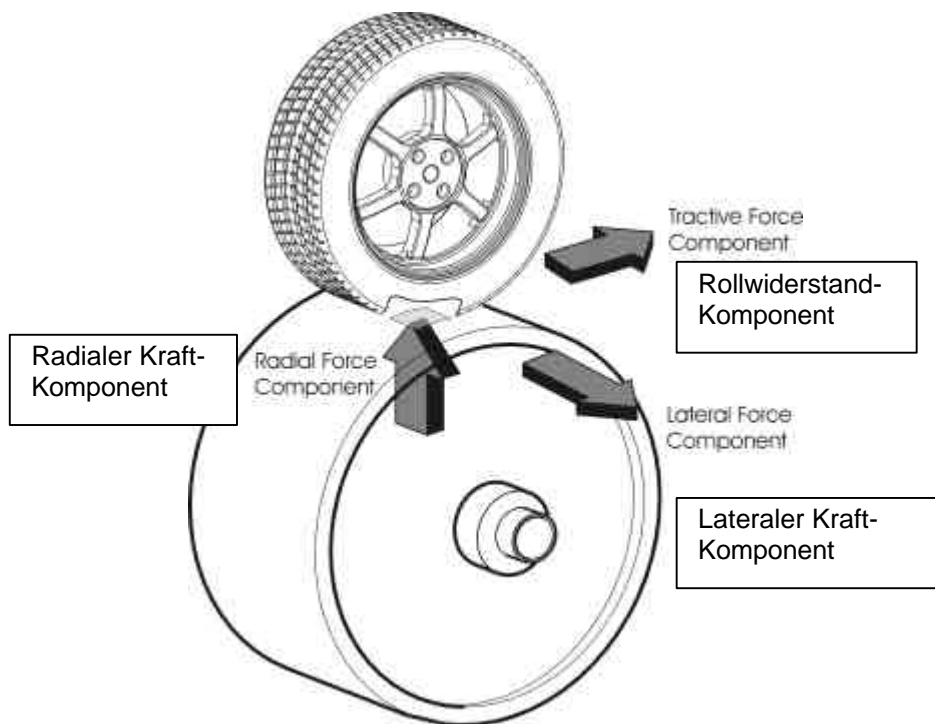


Abb.7. Induzierte Kräfte

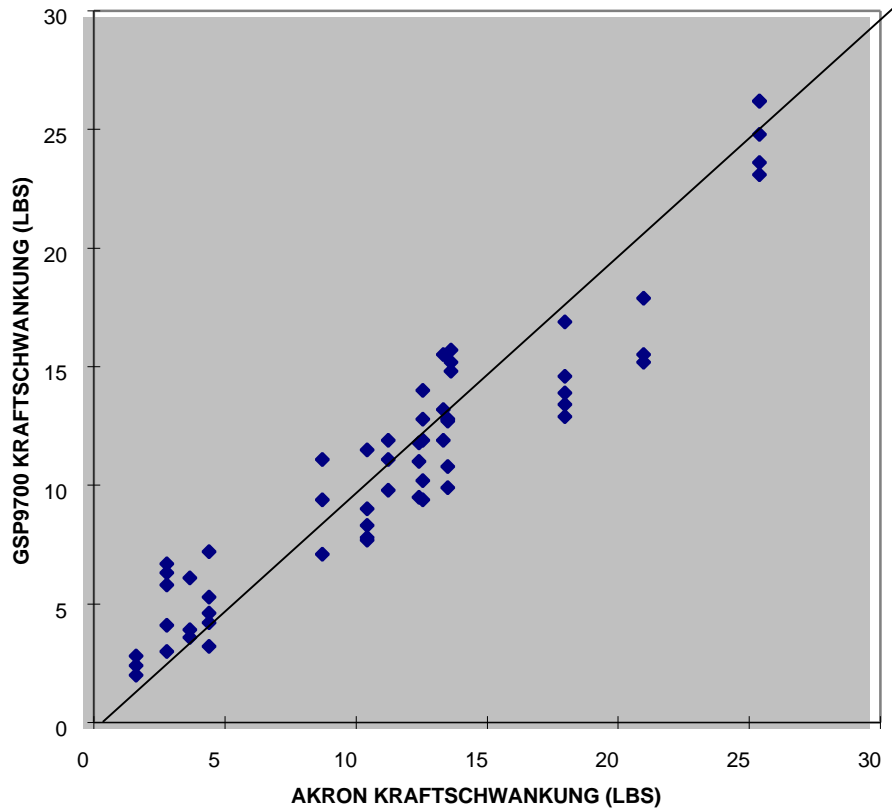
GSP 9700 STANDARD ABWEICHUNG DER RADIALEN REIFENKRAFTSCHWANKUNG. RÄDER WURDEN NICHT ABGEBAUT ZWISCHEN DEN MESSUNGEN					
REIFE	ANZAHL DER	SPITZE ZU	1. Harmonische	2. Harmonische	3. Harmonische
N	VERMESSUNGEN	SPITZE (lbs.)	(lbs.)	(lbs.)	(lbs.)
14" 1	10	1.0	0.6	0.2	0.2
2	10	1.2	0.8	0.5	0.4
15" 1	10	0.9	0.2	0.5	0.3
2	10	0.4	0.3	0.1	0.4
Mittel		.88	.48	.33	.33
wert					

Tabelle 1. Wiederholbarkeit

GSP 9700 STANDARD ABWEICHUNG DER RADIALEN REIFENKRAFTSCHWANKUNG. REIFEN SIND AUF DER FELGE NACH JEDER MESSUNG NEU POSITIONIERT					
REIFE	ANZAHL DER	Spitze zu Spitze	1. Harmonische	2. Harmonische	3. Harmonische
N	VERMESSUNGEN	(lbs.)	(lbs.)	(lbs.)	(lbs.)
14" 1	5	1.3	1.4	0.5	0.4
2	5	1.1	1.6	0.6	0.4
3	5	1.5	1.4	0.7	0.4
4	5	1.4	1.6	0.6	0.7
5	5	1.1	1.6	0.7	0.4
6	5	1.5	1.5	0.4	0.9
7	5	2.2	1.9	0.4	0.5
8	3	1.2	1.4	1.8	1.0
9	3	0.9	1.8	0.4	0.3
10	3	0.9	1.8	0.4	0.3
11	3	2.3	2.0	0.4	0.4
12	3	1.5	1.5	0.9	0.4
13	3	0.5	0.5	0.6	0.5
14	3	0.8	1.2	0.8	0.8
15	3	0.5	1.1	0.5	0.4
15" 1	5	1.8	0.5	1.3	0.2
2	5	1.2	1.1	0.3	0.4
3	5	1.4	0.8	0.5	0.6
4	5	0.8	1.2	0.4	0.6
5	3	1.4	1.0	0.5	0.3
6	3	2.1	1.0	0.2	0.4
7	3	1.4	1.6	0.3	0.7
8	3	0.8	1.8	0.9	0.4
Mittel		1.3	1.4	0.6	0.5
wert					

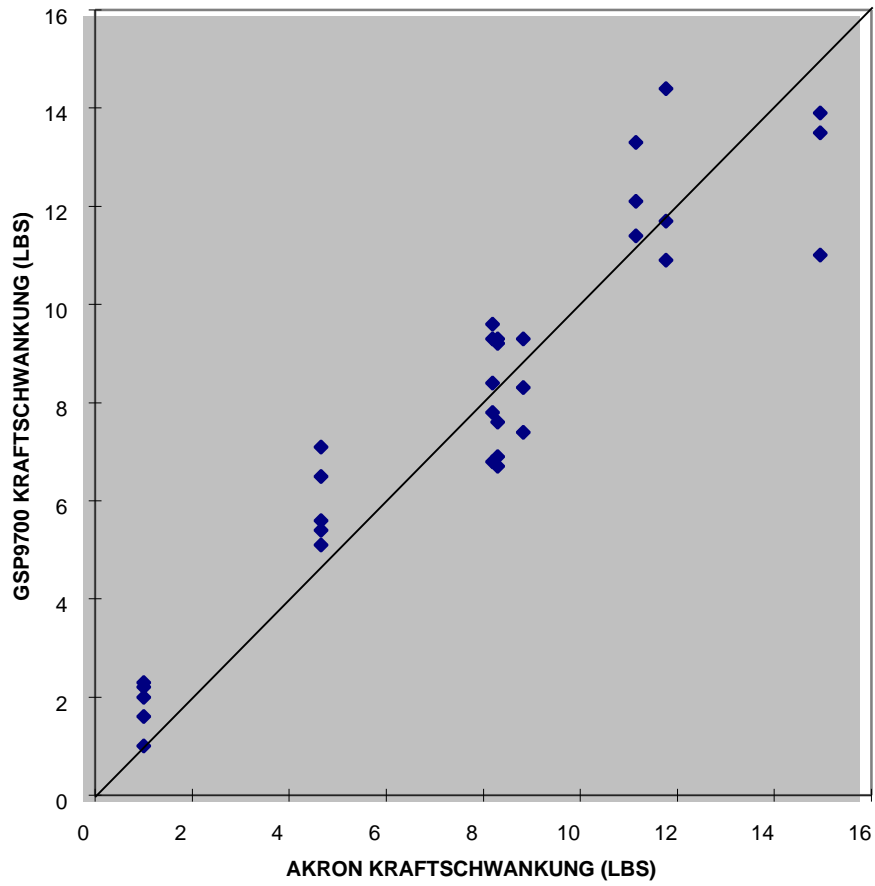
Tabelle 2. Wiederholbarkeit

GSP9700 gegen AKRON STANDARD. MITTELWERT DER
1. HARMONISCHEN-14 ZOLL PKW REIFEN
 $R^2 = .89$



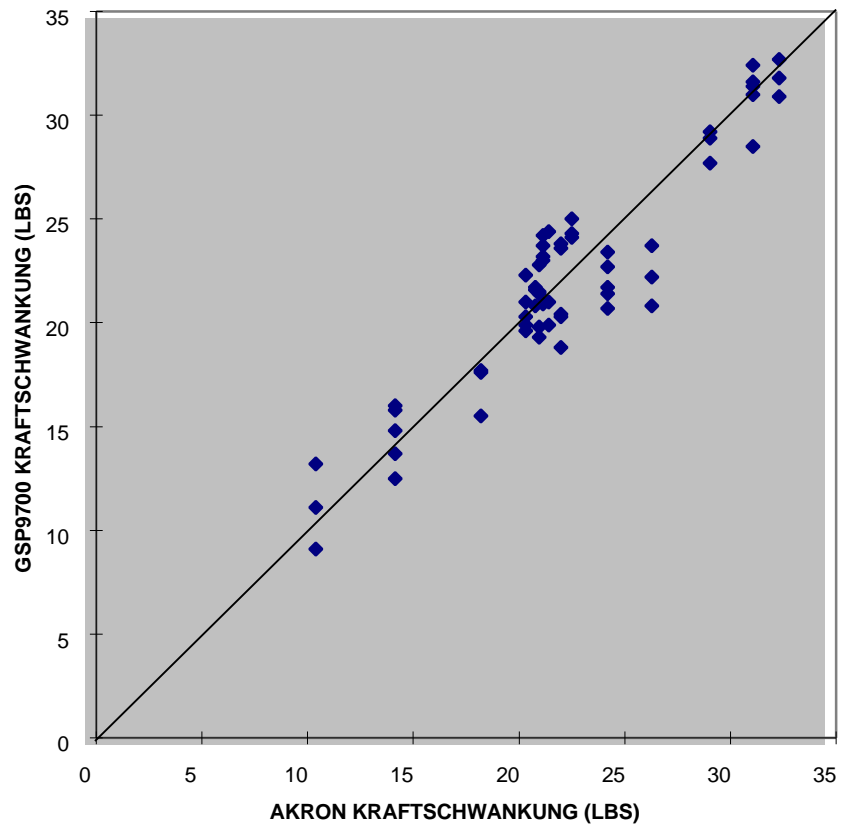
Grafik 1. GSP9700 gegen Akron Standard. Mittelwert der 1. harmonischen Kraftschwankung für PKW Reifen

**GSP9700 gegen AKRON STANDARD. MITTELWERT DER
1. HARMONISCHEN KRAFTSCHWANKUNG-15ZOLL
REIFEN
 $R^2 = .88$**

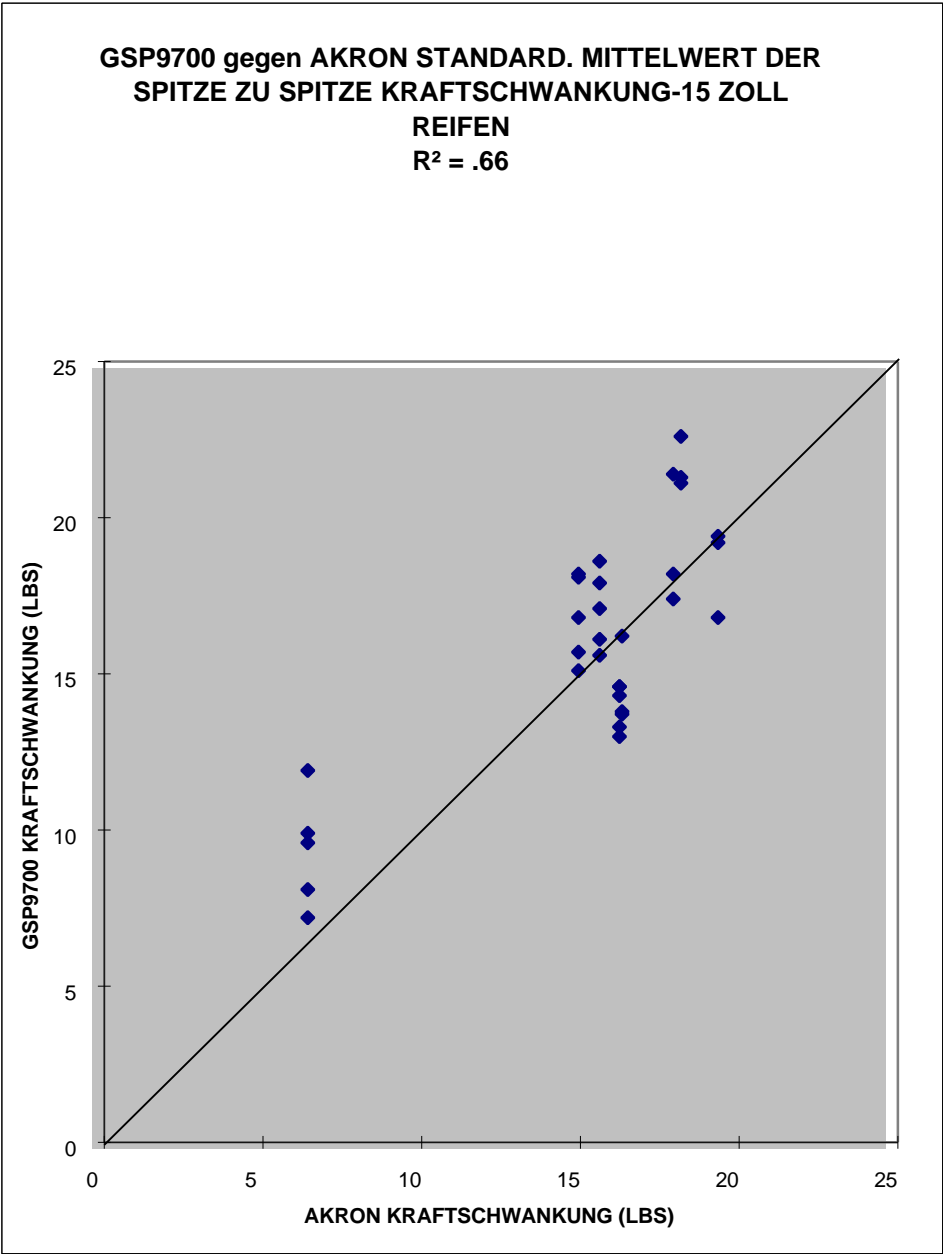


Grafik 2. GSP9700 gegen Akron Standard. Mittelwert der 1. harmonischen Kraftschwankung für 15Zoll Reifen

GSP9700 gegen AKRON STANDARD. MITTELWERT DER
SPITZE ZU SPITZE KRAFTSCHWANKUNG-14ZOLL REIFEN
 $R^2 = .88$

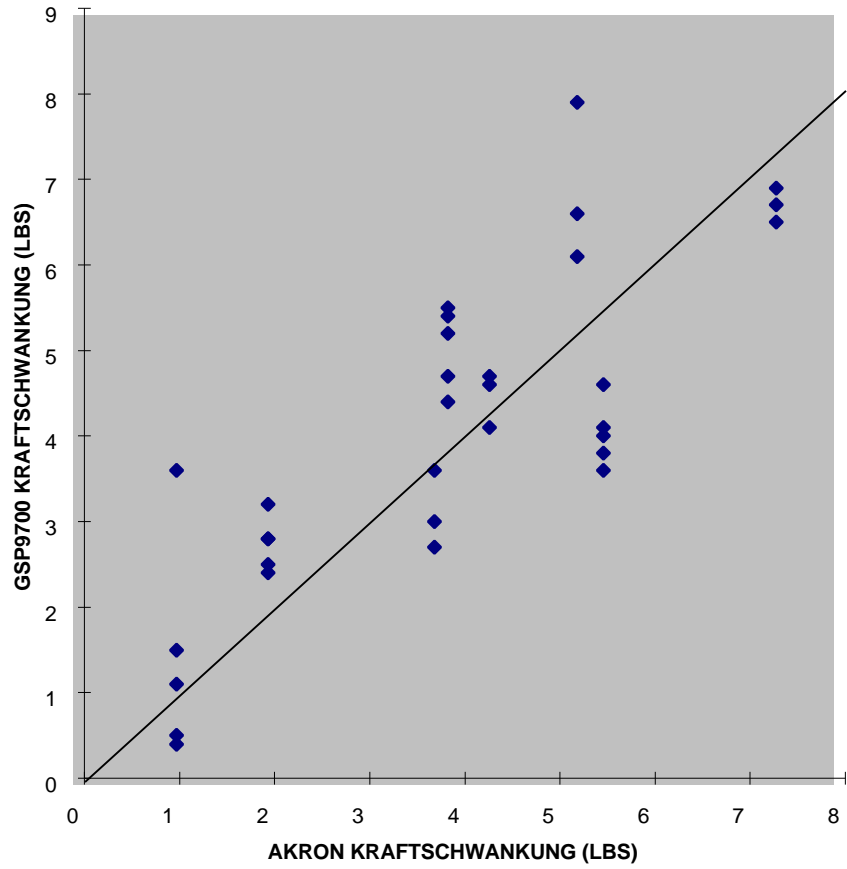


Grafik 3. GSP9700 gegen Akron Standard. Mittelwert der Spitze zu Spitze Kraftschwankung für PKW Reifen



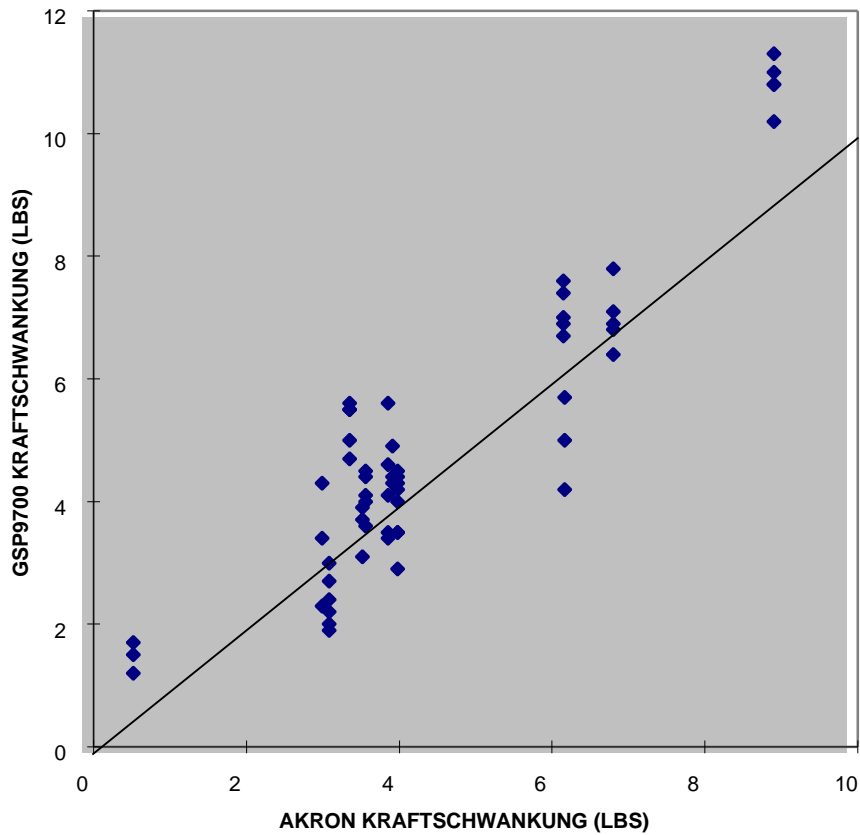
Grafik 4. GSP9700 gegen Akron Standard. Mittelwert der Spitze zu Spitze Kraftschwankung für Geländewagenreifen

**GSP9700 gegen AKRON STANDARD. MITTELWERT DER
2. HARMONISCHEN KRAFTSCHWANKUNG-15 ZOLL
REIFEN
 $R^2 = .66$**



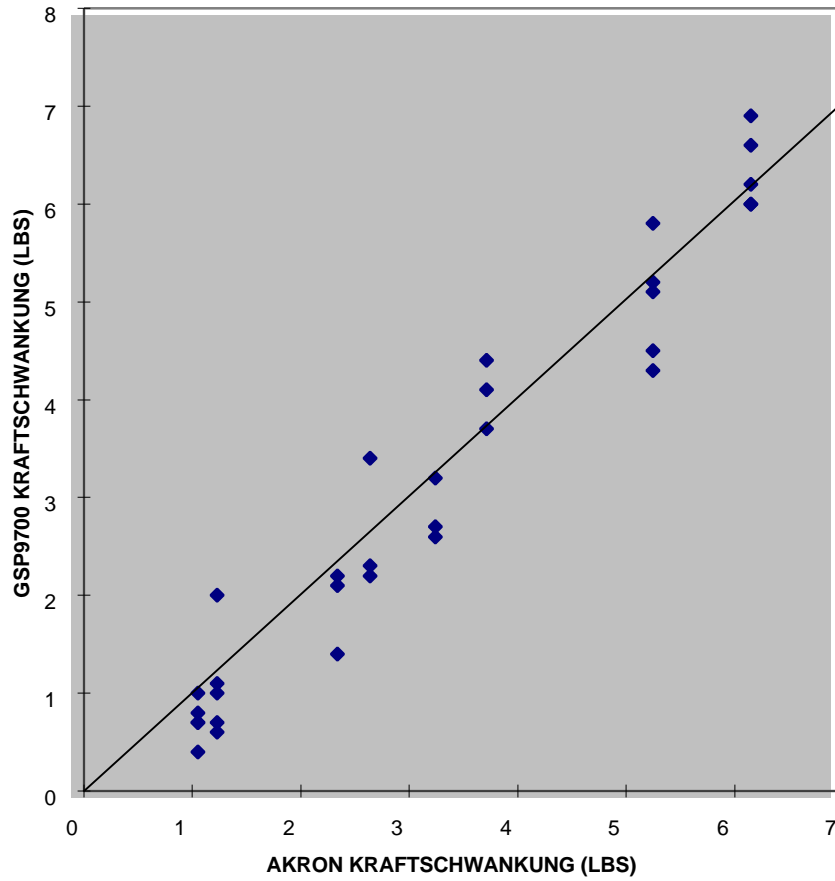
Grafik 5. GSP9700 gegen Akron Standard. Mittelwert der 2. harmonischen Kraftschwankung für Geländewagenreifen

**GSP9700 gegen AKRON STANDARD. MITTELWERT DER
3. HARMONISCHEN KRAFTSCHWANKUNG-14 ZOLL
REIFEN
 $R^2 = .84$**



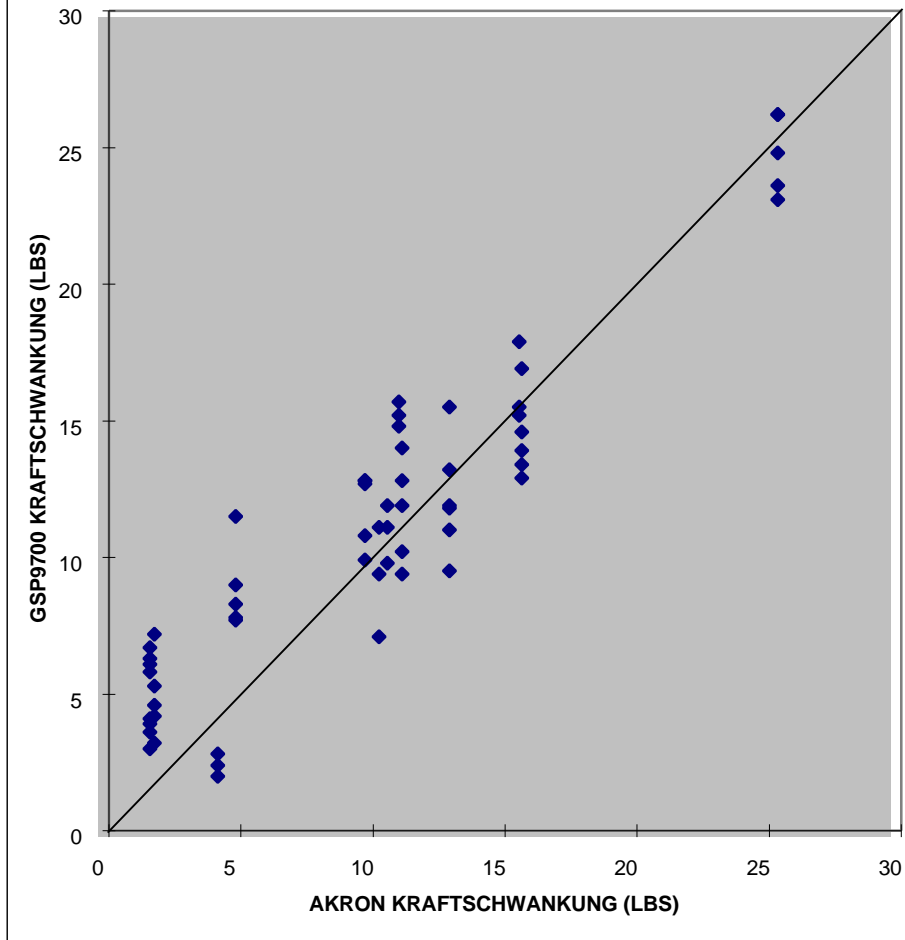
Grafik 6. GSP9700 gegen Akron Standard. Mittelwert der 3. harmonischen Kraftschwankung für PKW Reifen

GSP9700 gegen AKRON STANDARD. MITTELWERT DER
3. HARMONISCHEN KRAFTSCHWANKUNG-15 ZOLL
REIFEN
 $R^2 = .95$

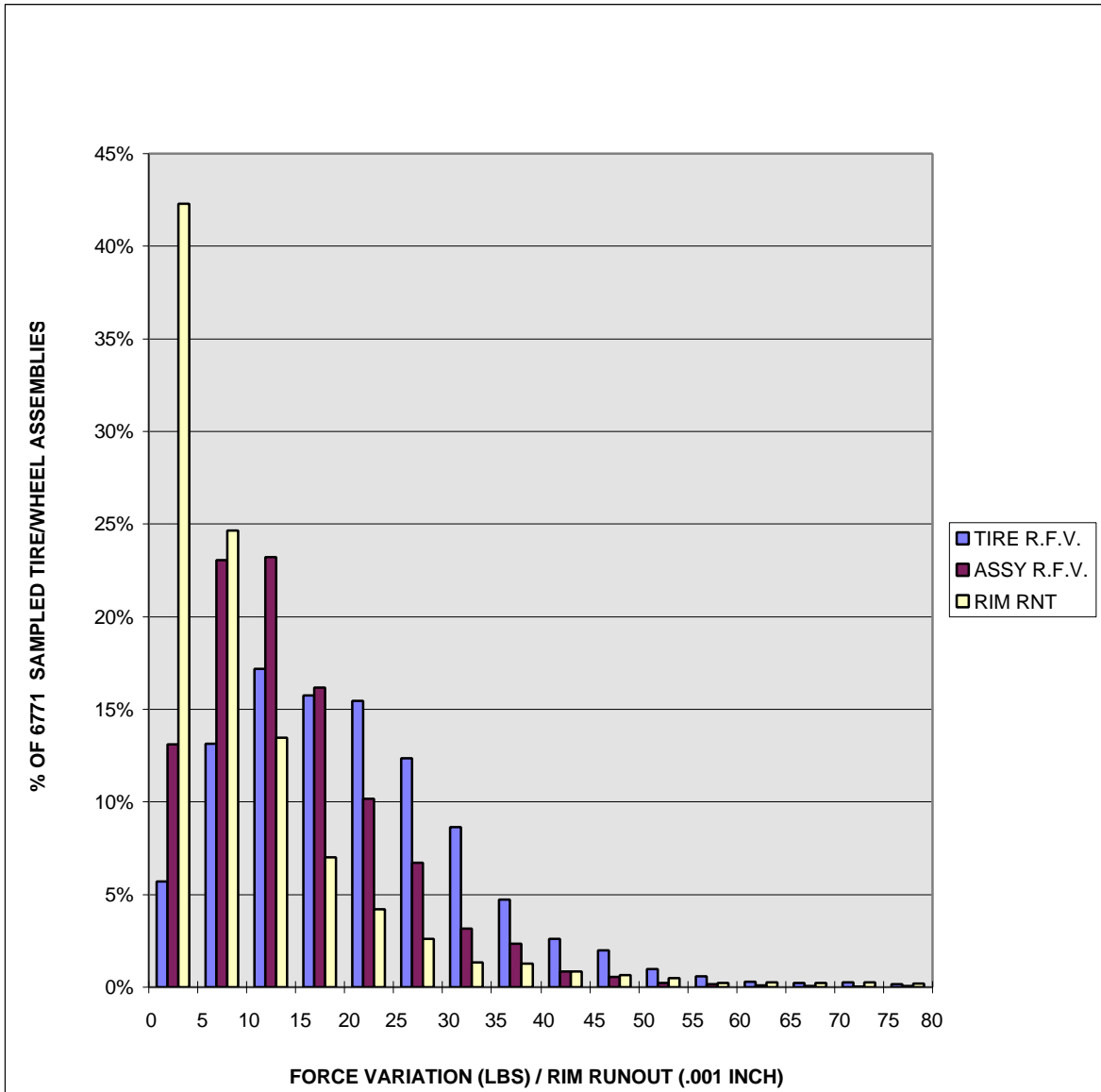


Grafik 7. GSP9700 gegen Akron Standard. Mittelwert der 3. harmonischen Kraftschwankung für Geländewagenreifen

GSP9700 gegen AKRON STANDARD. MITTELWERT DER
1. HARMONISCHEN KRAFTSCHWANKUNG-14 ZOLL REIFEN
540 LBS KRAFT GSP9700 1200 LBS KRAFT AKRON
 $R^2 = .87$

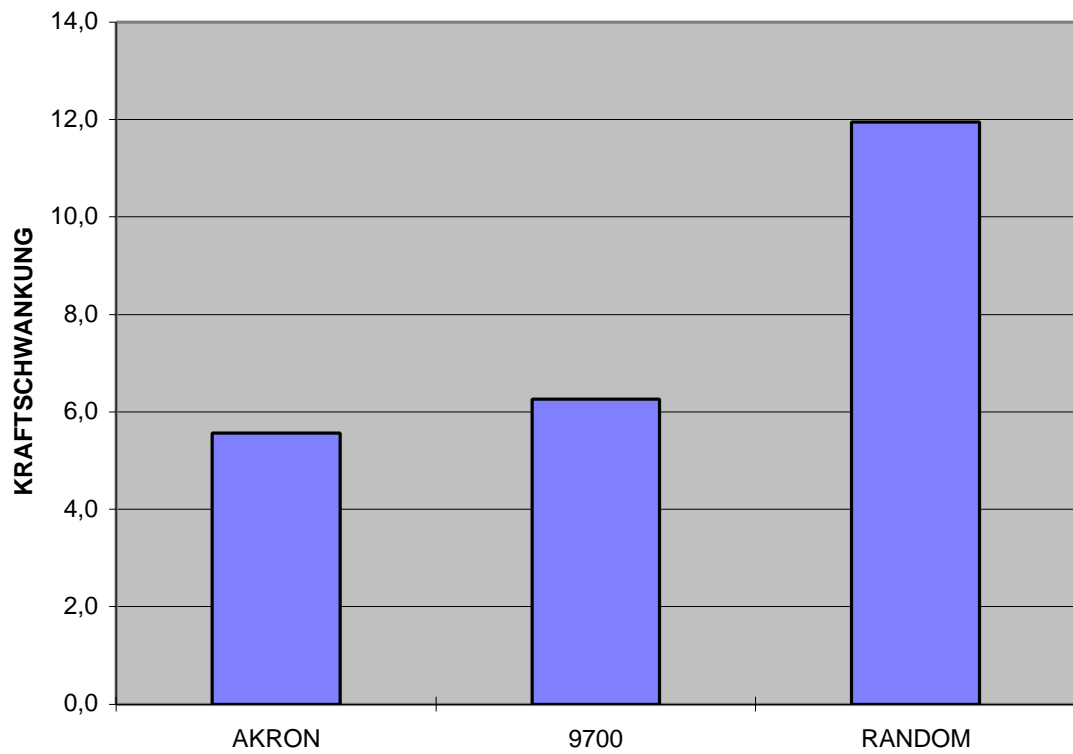


Grafik 8. GSP9700 gegen Akron Standard. Mittelwert der 1. harmonischen Kraftschwankung



Grafik 9. Radiale Kraftschwankung pro Lauffehler von 6771 Rädern.

**GESCHÄTZTE RESULTATE DURCH MATCHING:
MITTELWERT DER KRAFTSCHWANKUNG VON RAD/REIFEN-
KOMBINATION (23 REIFEN MONTIERT AUF FELGEN MIT
EINEM LAUFFEHLER VON 0.007")**



Grafik 10. Geschätzte Resultate von Matching. "Random" = Ohne Matchen