

## ■ Damit es richtig rund läuft

Wenn Autoreifen nicht ausgewuchtet werden, entstehen Fliehkräfte, die das Rad vibrieren lassen und zu Materialbeanspruchungen führen können.

Der Herbst hat Einzug gehalten, und der Winter steht vor der Tür: Vorausschauende Autofahrer haben vielleicht schon ihre Sommer- gegen die eingelagerten Winterreifen ausgetauscht, um bereits gegen Schneefälle und vereiste Straßen gewappnet zu sein. Das Auswuchten der Räder sollte die Autowerkstatt dabei nicht vergessen.

Durch den Abrieb der Reifen im letzten Winter und Bordsteinrempler laufen Räder mitunter nicht mehr rund. Wenn die Masse nicht rotationssymmetrisch verteilt ist, führt dies bei hohen Geschwindigkeiten dazu, dass das Lenkrad unkontrolliert zittert. Diese Vibrationen können auf Dauer Achsgelenke, Stoßdämpfer und Radaufhängung schädigen. Eine Unwucht von 50 g an einem 10 kg schweren Rad entspricht bei 100 km/h einer um den Faktor 200 größeren Zusatzmasse am Rad.

Aber nicht nur Autoräder müssen rund laufen, sondern fast alles, was sich dreht: Zentrifugen, Walzen, Schleifscheiben, Kurbelwellen, Lüfter und Propeller, Turbinen, aber auch Zahnarztbohrer.

### Wenn das Rad ins Taumeln kommt

Bei einem rotierenden Massekörper entstehen an jedem Massenelement Fliehkräfte. Ist seine Masse rotationssymmetrisch zur Drehachse verteilt und entspricht somit die Drehachse einer der Hauptträgheitsachsen, so heben sich die Fliehkräfte gegenseitig auf – der Rotor dreht sich stabil. Ist das nicht der Fall, ändert sich das Rotationsverhalten drastisch.

Die statische Unwucht lässt sich anhand einer flachen Scheibe beschreiben, deren Schwerpunkt durch eine Zusatzmasse verschoben wird (Abb. 1a): Dann verlagert sich auch die Hauptträgheitsachse, die nun parallel zur Drehachse liegt. Die Unwucht  $\vec{U}$  ist definiert als das Produkt  $u\vec{r}$  und die auftretende Fliehkraft als  $\vec{F} = m\vec{r}\Omega^2 = \vec{U}\Omega^2$ , wo-



Das Auswuchten der Räder sollte beim Reifenwechsel eine Standardmaßnahme

jeder Werkstatt sein, um den optimalen Rundlauf der Räder zu gewährleisten.

bei  $\Omega$  die Winkelgeschwindigkeit und  $m$  die Masse der Scheibe ist. Die Größe  $\vec{\epsilon} = \vec{U}_{zul}/m$ , das Verhältnis der zulässigen Unwucht zur Gesamtmasse des starren Rotors, heißt auch spezifische Unwucht.

Bei ausgedehnten Rotoren wie Autorädern ist die Situation komplizierter: Bringt man eine Zusatzmasse am Rad an (Abb. 1b), fallen Dreh- und Masseachse nicht länger zusammen, sondern liegen parallel zueinander. Bei der Rotation bewegt sich das Rad dann senkrecht zur Drehachse auf und ab. Ergänzt man das Rad um zwei gleiche Mas-

sen (Abb. 1c), liegt der Schwerpunkt zwar noch auf der Drehachse, aber die Hauptträgheitsachse ist nun in einem bestimmten Winkel dazu geneigt. Bei dieser sog. Momentenunwucht schneiden sich Dreh- und Masseachse im Schwerpunkt. Statisch ist dieser Rotor im Gleichgewicht, bei der Umdrehung rufen die Massen aber Fliehkräfte hervor, die das Rad zum Taumeln bringen. Sind die beiden Massen unterschiedlich groß, schneiden sich Dreh- und Masseachse nicht mehr im Schwerpunkt, und man spricht von dynamischer Unwucht.

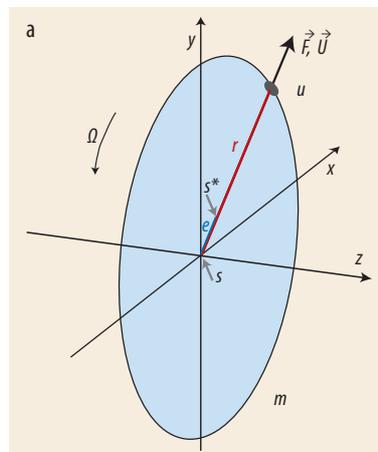
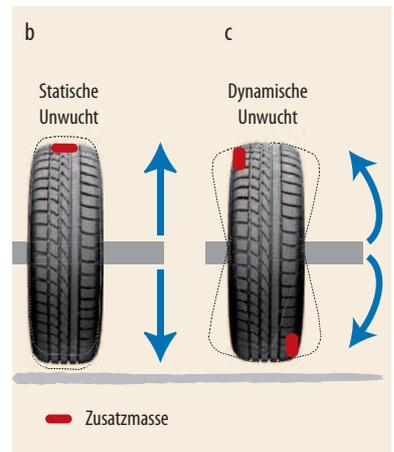


Abb. 1 Befindet sich an einer flachen Scheibe eine zusätzliche Masse  $u$  im Abstand  $r$  vom Schwerpunkt  $S$ , verschiebt dieser sich um die Exzentrizität  $\vec{\epsilon}$  (a). Bei der statischen Unwucht (b) erzeugen



Fliehkräfte eine Schwingung senkrecht zur Drehachse. Bei der dynamischen Unwucht (c) kommt durch die Schiefelage der Schwerpunktsachse eine Taumbewegung hinzu.

Dr. Katja Bammel, science & more redaktionsbüro, kb@science-and-more.de



Abb. 2 Eine moderne Maschine zum Auswuchten von Komplettträgern.

### Vom Auswuchten

Bei Autorädern, die nicht rund laufen, ist die Masse unsymmetrisch verteilt. Hier schaffen Auswuchtmaschinen Abhilfe: Beim Auswuchten versucht man, die Massenverteilung des Rades so zu verändern, dass seine Hauptträgheitsachse mit der Drehachse zusammenfällt und dadurch alle während der Drehung wirkenden Fliehkräfte miteinander im Gleichgewicht stehen.

Bei der statischen Unwucht wird das Rad ausgependelt, d. h. in einer freien Drehung stellt es sich so ein, dass die schwere Seite unten liegt. Ausgewuchtet wird das Rad, indem man um 180 Grad versetzt eine Ausgleichsmasse anbringt.

Auswuchtmaschinen erlauben es, dynamische Unwuchten von starren, ausgedehnten Rotoren hinsichtlich ihrer Größe und Position in mindestens zwei Wuchtebenen zu bestimmen. Zu diesem Zweck wird das Rad ohne sein Lager in der Maschine auf eine horizontale Drehachse gespannt (Abb. 2). Die Unwuchtkräfte lassen sich indirekt über die Messung der Lagerkräfte bestimmen. Dabei beeinflusst die Anlage die durch die Unwucht hervorgerufene Schwingung. Daher ist es erforderlich, solche Maschinen regelmäßig mit ausgewuchteten Rädern und bekannten Unwuchtmassen zu kalibrieren.

Da die Lager der Maschinen meist sehr steif sind, schwingen sie beeinflusst durch die Fliehkräfte nur wenig. Deshalb sind in jedem

Lagerstand piezoelektrische Kraftaufnehmer montiert, um die auf die Lager ausgeübte Kraft bezogen auf den Drehwinkel zu messen. Dabei detektiert man eine Sinusschwingung, deren Amplitude drehzahlabhängig und proportional zur unwuchtbedingten Fliehkraft, aber unabhängig von der Rotormasse ist.

Eine Software wandelt die Signale mithilfe der Fourier-Transformation in ein Frequenzspektrum der Unwucht um. Der Rechner vergleicht auch die Amplituden- und Phasenwinkelwerte mit den kalibrierten Werten der Maschinen. Unter Berücksichtigung radspezifischer Daten und des Abstands der Lagerstände lässt sich nun die Position und Größe der zum Auswuchten nötigen Korrekturmassen in den jeweiligen Wuchtebenen ermitteln.

Die erforderliche „Wuchtgüte“ hängt dabei von der geforderten Laufruhe, von der Masse des Rotors und seiner Drehzahl ab. Je schwerer der Rotor ist, umso größer darf im Allgemeinen die zulässige Unwucht sein. Im Fall der Autoräder werden die meist aus Zinn oder Zink gefertigten Ausgleichsgewichte beidseitig an der Felgenwulst umgeschlagen oder – wenn es sich um schicke Alufelgen handelt – an der Innenseite eingeklebt. Kurbelwellen, Schwungscheiben oder Kupplungen lassen sich auch auswuchten, indem man Material abträgt.

### Nützliche Unwuchten

Unwuchten sind aber nicht immer unerwünscht: Wer hätte gedacht, dass der Vibrationsalarm im Handy durch einen Minimotor zustande kommt, bei dem einseitig an der Welle ein kleines Gewicht sitzt? Sobald ein Anruf eingeht, läuft der Motor an und lässt durch die Unwucht das Handy vibrieren – mitunter so stark, dass es dabei vom Tisch hüpfert!

\*

Ich danke Dr. Kersten Kämpfer (TIRA GmbH), der Fa. Hofmann Mess- und Auswuchttechnik in Pfungstadt und Andreas Buschbeck (SCHENCK RoTec GmbH) für wertvolle Informationen.

Katja Bammel