

■ Damit es rund läuft

Die Trommel einer Waschmaschine muss beim Schleudern möglichst gleichförmig rotieren. Erreichen lässt sich das mit verschiedenen Sensoren.

*) Physik Journal, April 2011, S. 42

#) Physik Journal, Mai 2010, S. 44

Keiner will eine Waschmaschine, die während des Schleuderns nicht nur die Trommel mit der Wäsche in Bewegung versetzt, sondern durch den Raum wandert. Oft ist die Ursache für dieses Problem eine fehlerhafte Aufstellung. Fällt die Rotationsachse beim Schleudern mit keiner der Hauptträgheitsachsen zusammen, kann leicht eine Unwucht entstehen – also eine sich aufschaukelnde Resonanz. Im Extremfall können dadurch die Aufhängung des Laugenbehälters, der die Waschtrommel umschließt, oder andere Komponenten der Maschine Schaden nehmen. Typische Frequenzen der Unwucht liegen bei Waschmaschinen bei wenigen Hertz und führen zu zentimetergroßen Amplituden. Das ist ein Problem. Denn inzwischen gibt es Trommeln, die bis zu zwölf Kilogramm Wäsche fassen können – ohne dass sich der zur Verfügung stehende Platz geändert hätte. Da Waschmaschinen nach wie vor 60 Zentimeter breit sind, beträgt der Abstand zwischen Laugenbehälter und Seitenwänden oft nur noch etwa zwei Zentimeter. Daher ist es wichtig, Unwuchten möglichst zu vermeiden oder zumindest zu erkennen, bevor Schäden auftreten. Hierfür setzen die Hersteller verschiedene Verfahren ein.

Die einfachste Lösung sind immer wieder wechselnde Rotationsrichtungen und -geschwindigkeiten der Wäschetrommel. Oft verteilt sich die Wäsche dadurch gleichmäßiger in der Trommel, sodass es im Idealfall zu keiner großen Unwucht



Damit die Trommel einer Waschmaschine beim Schleudern nicht in Unwucht gerät, ergreifen die Hersteller Gegenmaßnahmen, wie beispielsweise große

Massen im Bodenbereich der Maschine. Zusätzlich wird die Unwucht per Motorsteuerung oder Sensorik kontrolliert.

kommt. Ob aber tatsächlich eine Unwucht vorliegt, wird hierbei nicht ermittelt. Weit verbreitet ist auch die Erkennung einer Unwucht anhand des Motorstroms: Tritt die Unwucht senkrecht zur Rotationsachse der Trommel auf, variiert die mechanische Belastung des Motors. Dies verändert die Stromstärke messbar und dient der Maschinensteuerung dazu, einen Schleudervorgang abubrechen und die Wäsche in der Trommel durch langsames Hin- und Herdrehen gleichmäßiger zu verteilen. Hilft das nicht, schleudert die Maschine die Wäsche nicht mit der Nenn-

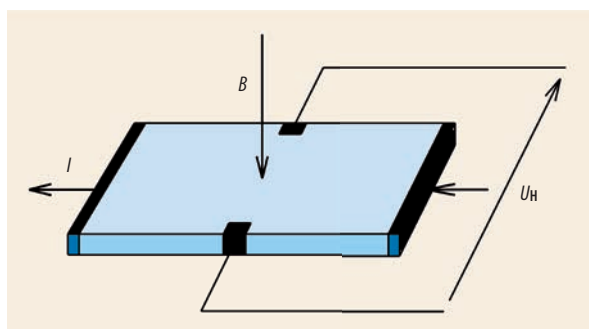
Umdrehungszahl des Waschprogramms, sondern langsamer, damit die Folgen der Unwucht gering bleiben.

Doch im Zeitalter der Sensorik gibt es ausgeklügeltere Verfahren. Der Laugenbehälter einer Waschmaschine ist im Gehäuse schwingend aufgehängt. Mithilfe von drei Beschleunigungssensoren, die meist auf einem kapazitiven Verfahren beruhen und auch in der Automobiltechnik oder bei Smartphones Verwendung finden,^{*)} lässt sich in allen drei Raumachsen detektieren, ob der Laugenbehälter seine Position verändert. Ein entsprechender Algorithmus erlaubt es dann, die Unwucht differenziert zu erfassen und über die passende Bewegung der Trommel zu beseitigen.

Messung mit Hall

Ein weitere Möglichkeit, um eine Unwucht zu erkennen, sind derzeit Hall-Sensoren. In der Waschmaschine sitzt er meist an der Gehäuserückwand; gegenüber am Laugenbehälter ist ein Permanent-

Abb. 1 Befindet sich ein stromdurchflossener Leiter in einem stationären Magnetfeld B , werden die Ladungsträger im Leiter aufgrund der Lorentz-Kraft senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung abgelenkt. So kommt es quer zum Leiter zu einer Ladungstrennung, durch die sich ein elektrisches Feld ausbildet. Die Kraft, die dieses elektrische Feld erzeugt, wird so groß wie die Lorentz-Kraft und ist ihr entgegengesetzt. Im Gleichgewicht bildet sich die Hall-Spannung U_H aus.



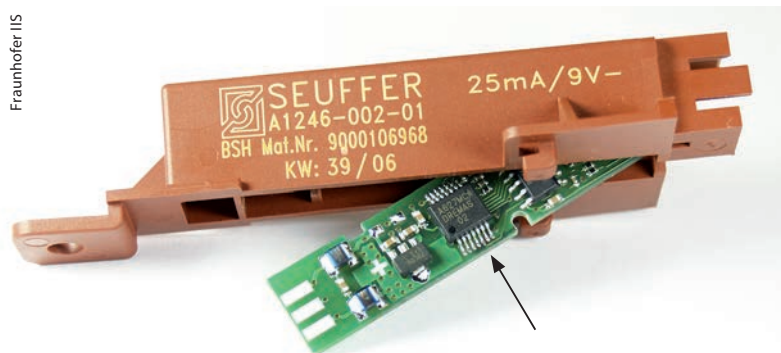


Abb. 2 Hall-Sensor-Module können das Magnetfeld eines Permanentmagneten (nicht im Bild) in allen drei Raumrich-

tungen absolut messen. Der Pfeil zeigt auf den Chip mit der Sensorik.

magnet befestigt. Ein solcher Sensor nutzt den Hall-Effekt aus, bei dem sich durch Ladungstrennung in einem Leiter ein elektrisches Feld und damit eine Hall-Spannung aufbaut (**Abb. 1**). Sie ist dabei proportional zur magnetischen Feldstärke und zur Stromstärke. Das Vorzeichen der Hall-Spannung liefert die Richtung des Magnetfeldes. Hall-Sensoren sind weit verbreitet, neben der Messung von Magnetfeldern als Stromsensoren oder als berührungslose Signalgeber.^{#)} Sie lassen sich mittels Standard-CMOS-Technologie auf einen Mikrochip integrieren. Ihr Nachteil war lange Zeit, dass sie aufgrund der geometrischen Gegebenheiten des Hall-Effekts nur Magnetfelder senkrecht zur Chipoberfläche detektieren können, also nur in einer Raumrichtung. Inzwischen gibt

es aber 3D-Hall-Sensoren, die auf einem Chip mehrere symmetrisch verteilte Bereiche besitzen, welche die Komponenten des Magnetfelds in allen drei Raumrichtungen detektieren können. Ein 3D-Hall-Sensor befindet sich zusammen mit der Auswerteelektronik für die Magnetfeldmessung auf dem Chip (**Abb. 2**).

Tritt eine Unwucht auf, detektiert der Sensor sie mithilfe des Feldes des Permanentmagneten, der dem Sensor gegenüber liegt. Anders als Beschleunigungssensoren erfasst der 3D-Hall-Sensor nicht nur, ob sich das Magnetfeld – also die Position des Laugenbehälters – in den drei Raumrichtungen verändert, sondern er erfasst auch die absolute Position des Laugenbehälters. Denn dem Sensor genügt bereits ein stationäres Magnetfeld,

um ein Messsignal zu liefern. Die Maschinensteuerung kann dann beim Überschreiten eines festgelegten Grenzwertes die Trommel gezielt und mit unterschiedlichen Drehzahlen hin und her bewegen, bis das Gewicht der Wäsche gleichmäßig verteilt ist.

Wäsche wiegen

Der 3D-Hall-Sensor ermöglicht es zudem, vor dem Start der Maschine die Wäsche anhand der Auslenkung des Laugenbehälters aus der Nullpunktlage der Aufhängung zu wiegen. Das Prinzip entspricht dem der Federwaage. Die Auslenkung einer beladenen Trommel beträgt rund zwei Millimeter, die Auflösung des Sensors 100 Mikrometer. Mit diesem Wissen lässt sich die Wassermenge optimieren, weil weniger Wäsche im Prinzip weniger Wasser zum Waschen erfordert. Im Zeitalter der Energieeffizienzklassen spielen solche Optimierungen eine wichtige Rolle. Bislang sind allerdings nur hochwertige Geräte mit Hall-Sensoren ausgerüstet.

*

Ich danke Michael Hackner vom Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen, und Martin Schaller von der Robert Seuffer GmbH & Co. KG, Calw, für hilfreiche Erläuterungen.

Michael Vogel