

Das Geheimnis der Waschbrettpisten

Kleine Ursachen können große Wirkungen haben. Aber warum führen sie auf unbefestigten Straßen zu so regelmäßigen Strukturen?

VON H. JOACHIM SCHLICHTING

Vor einigen Jahren, beim Urlaub auf einer Insel, liehen wir Fahrräder aus und wunderten uns zunächst über die knallhart aufgepumpten Reifen. Doch nicht lange: Als wir auf dem Weg zu unserer Herberge auf eine staubige Waschbrettpiste gerieten, waren wir regelrecht froh darüber. Wegen der harten Stöße gegen den Boden mussten wir die Zähne zusammenpressen, um sie am hochfrequenten Klappern zu hindern. Nur der hohe Luftdruck in den Reifen verhinderte, dass die Felgen dabei auf dem Untergrund aufsaßen.

Das Phänomen der Waschbrettpisten war vor einiger Zeit sogar Thema im angesehenen Fachmagazin »Physical Review Letters« (siehe Quelle). Eine Gruppe von Physikern aus Frankreich, Großbritannien und Kanada hatte sich zu seiner Untersuchung zusammengesetzt. Allerdings beantwortete auch ihre Publikation nicht alle Fragen.

Merkwürdig an den ausgeprägten Querrillen auf unbefestigten Fahrwegen ist nicht nur, dass die ursprünglich ebene Form des Wegs – die man eigentlich für stabil halten würde – verloren geht, sondern dass eine sehr regelmäßige neue Struktur entsteht, die kaum auf



Die einzelnen Sandrippel auf dieser Waschbrettpiste besitzen regelmäßige, fast identische Abstände. Welcher Mechanismus lässt sie entstehen?

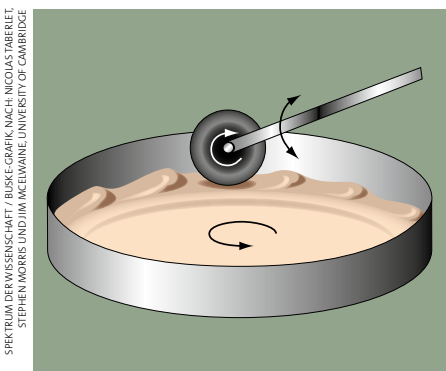
natürliche Art zu Stande gekommen zu sein scheint. Zudem mündet die Verformung offenbar geradezu zwangsläufig in ein Waschbrettmuster – ein Endzustand, den auch weitere passierende Fahrzeuge nicht mehr verändern.

Allerdings handelt es um keinen statischen Endzustand. Mit einiger Geduld kann man sich davon überzeugen, dass die Bodenwellen ständig in Fahrtrich-

tung weiterwandern. Jedes Fahrzeug baut vorne an, was es hinten abhebt. In seiner Asymmetrie ähnelt das entstehende Wellenprofil jenem von Sandrippeln in der Wüste: In Fahrt-beziehungsweise Windrichtung fallen die Erhebungen steiler ab als in Gegenrichtung. Dagegen beobachtet man auf einspurigen Straßen, die in beiden Richtungen befahren werden, weitgehend symmetrische Formen. Auch auf ihnen bewegen sich die Rippel, aber in ständig wechselnde Richtung.

Verhindern lässt sich die Entstehung einer Waschbrettpiste kaum. Auf unserer Ferieninsel, so erfuhren wir, werden die Bodenwellen von Zeit zu Zeit mit einigem Aufwand abgetragen und durch eine neue Schotterdecke ersetzt. Jedes Mal ist damit erneut die Hoffnung verknüpft, glatte und lineare Verläufe zu erzwingen – mit anderen Granulatmi-

Müsste sich das Entstehen der Sandrippel nicht quantifizieren lassen? Forscher um Nicolas Taberlet von der École normale supérieure de Lyon fanden mit Hilfe eines sandgefüllten Drehtellers heraus: Je schwerer das darüberlaufende Rad, desto stärker wächst die Amplitude des periodischen Wellenmusters und desto mehr nimmt die Wellenlänge ab.



SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT / BILDE-GRAFIK, NACH NICOLAS TABERLET, STEPHEN MORRIS UND JIM MCKEIVAN/UNIVERSITY OF CAMBRIDGE



Diese Asphaltstraße wurde zur Ausbesserung großzügig mit Splitt bedeckt. Der Autor wollte wissen, was anschließend geschehen würde, und beobachtete, dass schon 20 darüberfahrende Autos genügten, damit sich ein Waschbrettmuster zu entwickeln begann.

sungen und besseren Verfahren, sie aufzubringen. Aber stets zeigt sich nach einiger Zeit dasselbe alte Bild. An häufig befahrenen Strecken ist man inzwischen dazu übergegangen, das Problem unter einer Asphaltdecke zu begraben.

Wie also kommt das Muster zu Stande? Am besten schaut man sich das vor Ort an, etwa an einer nur notdürftig ausgebesserten Nebenstraße. Ihre Löcher werden zunächst geteert und dann mit einer recht dicken Splittschicht bedeckt. Die ersten passierenden Fahrzeuge, so könnte man erwarten, walzen den Splitt nieder und sorgen dafür, dass er sich mit dem Untergrund verbindet. Stattdessen beginnt sich schon nach rund 20 Überfahrten eine Waschbrettpiste zu entwickeln (Foto oben).

Absprung von der Rampe

Ausgangspunkt des Effekts ist offenbar eine zufällige kleine Erhöhung im Granulat. Sie hebt die Räder der darüberfahrenden Fahrzeuge zunächst etwas an, so dass diese anschließend auf den Untergrund zurückfallen und dabei nach einigen Überfahrten eine Delle erzeugen. Deren Flanke wirkt dann wie eine kleine Rampe, auf der nachfolgende Räder nach oben beschleunigt werden, um abermals mit Wucht in der Granulatschicht zu landen – diesmal allerdings eine »Wellenlänge« weiter vorn. Wieder entsteht nach einigen Überfahr-

ten eine Delle und so weiter. Die anfänglich kleine Vertiefung vervielfältigt sich also allmählich und überzieht schon bald den ganzen ausgebesserten Bereich. Eine kleine Ursache führt in diesem Fall zu einer großen Wirkung – und das geradezu zwangsläufig.

Straßenbauingenieure wissen seit Langem, dass unbefestigte Straßen zur Ausbildung eines nichtlinearen Profils neigen und sich ein Waschbrettmuster immer dann bilden kann, wenn die Fahrzeuge schneller als etwa vier Kilometer pro Stunde fahren – was praktisch stets der Fall ist. Was fehlt, ist allerdings weiterhin eine Theorie, die beispielsweise die Abhängigkeit der Musterbildung vom Gewicht der Fahrzeuge, der Größe ihrer Räder, der Beschaffenheit des Granulats und so weiter vorherzusagen vermag.

Die erwähnte Forschergruppe um Nicolas Taberlet von der École normale supérieure de Lyon hat sich daher experimentell und mit Hilfe von Computersimulationen mit dem Problem befasst. Sie wollten zunächst das einfachste System verstehen lernen, das in der Lage ist, ein Waschbrettmuster hervorzubringen. Zu diesem Zweck konstruierten die Forscher ein mechanisches Modell, das im Wesentlichen aus einem mit Sand gefüllten Drehteller besteht, an dessen Rand ein Rad unter seinem Eigengewicht über den Sand rollt (siehe

Skizze linke Seite). Solange es die Geschwindigkeit von 5,4 Kilometer pro Stunde nicht überschritt, blieb die Oberfläche glatt. Erst bei höherem Tempo und auch erst nach vielen Passagen des Rads bildet sich zunächst ein einzelner Rippel, von dem dann relativ schnell weitere in Vorwärtsrichtung ausgingen, bis sie schließlich entlang des gesamten Tellerrands ein periodisches Muster im Sand hinterließen.

Mit diesem Modell konnten die Physiker unter anderem zeigen, dass die Waschbrettmuster weder von der mittleren Größe der Granulatteilchen noch vom Durchmesser des Rads abhängen. Nur dessen Eigengewicht macht sich bemerkbar: Je schwerer das Rad, desto stärker wächst die Amplitude des periodischen Wellenmusters und nimmt die Wellenlänge ab. Eine umfassende Theorie, die das Phänomen quantitativ beschreibt, lässt aber weiterhin auf sich warten.

Bis es so weit ist, hilft nur eins: Reifen aufpumpen und Zähne zusammenbeißen. ∞

DER AUTOR



H. Joachim Schlichting

war bis 2011 Direktor des Instituts für Didaktik der Physik an der Universität Münster. 2008 erhielt er für seine Lehrkonzepte den Pohl-Preis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.

QUELLE

Taberlet, N., Morris, S., McElwaine, J.: Washboard Road: The Dynamics of Granular Ripples formed by Rolling Wheels. In: Physical Review Letters 99, S. 068003, 2007

WEBLINKS

<http://perso.ens-lyon.fr/nicolas.taberlet/washboard/>

Mit Fotos, Skizzen, Videos und einem englischsprachigen Text berichten die Forscher um Nicolas Taberlet von ihren Experimenten.

Diesen Artikel sowie weiterführende Informationen finden Sie im Internet: www.spektrum.de/artikel/1184765