

■ Mit Haitech gegen Reibung

Die Rillenstruktur von Haifischhaut gehört zu den bekanntesten Beispielen, wie Technik von Natur lernen kann.

Auf den ersten Blick sieht die Haut eines Haifisches glatt aus, dabei ist sie rau wie grobes Sandpapier. Unter dem Mikroskop zeigt sich, dass sie wie bei Fischen üblich aus Schuppen besteht. Beim Hai sind sie allerdings nicht glatt, sondern haben hohe scharfe Rillen parallel zur Schwimmrichtung, die sich von Schuppe zu Schuppe fortsetzen und einander überlappen (Abb. 1). Diese so genannten Riblets erlauben es dem Meeresräuber, schnell genug zu schwimmen, um seine Beute einzuholen. Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 70 km/h sind dadurch möglich.

Das Prinzip der Riblets ist seit Anfang der 1990er-Jahre bekannt, als Dietrich W. Bechert vom Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt in Berlin dazu umfangreiche Versuche durchführte. Er stellte künstliche Haifischhaut mit unterschiedlichen Rippenabständen und -formen in hundertfacher Vergrößerung her. Um vergleichbare Strömungsverhältnisse wie beim Hai im Wasser zu simulieren, füllte er einen Strömungskanal mit Öl und beobachtete, dass sich die Reibung um bis zu zehn Prozent verringerte.

Ohne Ribletshaut strömt das Wasser mit hoher Geschwindigkeit am Körper entlang und bildet Wirbel, deren Rotationsachse in Strömungsrichtung zeigt, sodass sich die Wassermoleküle senkrecht dazu bewegen. Das erhöht die Reibung und kostet Energie, die zum Vortrieb fehlt. Die Rillen in der Haifischhaut reduzieren die Reibung deutlich, weil die Wirbel nur



Stephen Frink Collection, Alamy-Stock-Photo

Die Haut von Haien besitzt eine besondere Rillenstruktur. Das macht auch den Galapagoshai zu einem schnellen und erfolgreichen Meeresräuber.

an ihren Spitzen entstehen. Der Hai schwimmt dadurch bei gleichem Energieaufwand schneller. Der entscheidende Parameter ist die Reynolds-Zahl, die das Verhältnis zwischen Druck-, Reibungs- und Trägheitskräften angibt. Sie lässt sich nur empirisch bestimmen und hängt von den Abmessungen der Rillen ab. Für Objekte, die sich in Luft oder Wasser bewegen, sind Rillenbreiten zwischen 20 und 200 μm optimal.

Ingenieure und Evolutionsbiologen der Harvard University haben jüngst einen weiteren Effekt der Riblets enthüllt:¹⁾ Sie können auch Vortices generieren. Das sind kleine Zacken, welche die Strömung gezielt stören. Dadurch verwandeln sich laminare in turbulente Grenzschichten. Gefährliche Strömungsabriss werden verhindert.

Der resultierende größere Auftrieb erleichtert das Schwimmen.

Im Wasser...

Diese Vorteile haben die Hersteller von Sportbekleidung schon früh vermarktet. Bei Schwimmwettbewerben schlugen Ganzkörperanzüge mit Fastskin-Technologie hohe Wellen (Abb. 2). Durch die feinen Rillen sinkt der Widerstand eines Leistungsschwimmers um drei bis vier Prozent. Dank dieser Anzüge purzelten die Weltrekorde vielfach: Bei den Olympischen Spielen 2008 in Peking erschwamm Michael Phelps acht Goldmedaillen und stellte sieben Weltrekorde auf. Dazu trug aber nicht nur die Haifischhaut bei: Elastische Bänder brachten die Körper der Schwimmer außerdem in eine strömungsgünstigere Lage. Der Weltschwimmverband stufte dies als Wettbewerbsverzerrung ein. Strengere Regeln führten 2010 zu einem Verbot der Anzüge.

In der Schifffahrt gibt es großes Interesse, den Treibstoffverbrauch mit Riblets am Rumpf zu senken. Ein spezieller Lack ließe sich großflächig im Dock auf die Schiffsrümpfe aufbringen. Das würde den Reibungswiderstand um bis zu fünf Prozent reduzieren und könnte bei

#) A. G. Domel et al., J. R. Soc. Interface 15, 20170828 (2018), <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2017.0828>

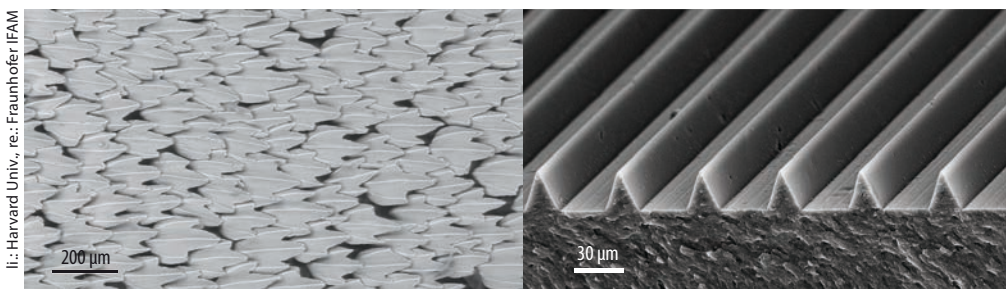


Abb. 1 Unter dem Mikroskop zeigt sich, wie die Hautschuppen eines Makohais überlappen und Ril-

len bilden (links). In der technischen Anwendung fallen diese wesentlich regelmäßiger aus (rechts).

einem großen Containerschiff zu Ersparnissen bis zu 300 000 Dollar pro Jahr führen. Doch die Rillenstruktur hat einen Nachteil: Meereslebewesen, allen voran Seepocken, heften sich an feste Oberflächen an. Am besten gelingt ihnen das dort, wo keine Wirbel auftreten, die den Biofilm schnell wegspülen könnten. Die Täler der Rillen würden sich dafür ideal eignen. Anstelle der erhofften geringeren Reibung könnten die Riblets so das Wachstum der störenden Biofilme begünstigen, welche die Schiffe zusätzlich ausbremsen. Antifouling-Beschichtungen mit giftiger Oberfläche reduzieren heute bereits die Ansiedlung der Meereslebewesen an Schiffsrümpfen. Zukünftig könnte ein elastisches ungiftiges Material zum Einsatz kommen. Die Larven der Seepocken meiden diesen silikonähnlichen Untergrund, der es auch erlaubt, eine Ribletstruktur aufzubringen. In Versuchen blieben Schiffsrümpfe, die damit ausgestattet sind, bis zu zwei Jahre lang von Bewuchs verschont.

... und in der Luft

Die Rillen erlauben aber auch, den Widerstand von Flugzeugen zu senken und Treibstoff zu sparen. Dazu gab es schon Mitte der 1990er-Jahre erste Experimente: Airbus rüstete die Tragflächen eines A320 mit einer 700 m² großen Ribletfolie aus. Die Rillen waren in Flugrichtung

ausgerichtet und senkten den Kerosinverbrauch um 1,5 Prozent. Doch die Folie hat sich nie durchgesetzt, weil sie durch UV-Licht spröde wurde und abblätterte und außerdem das regelmäßige Umlackieren erschwerte.

Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung in Bremen hat seit 2002 einen transparenten Lack entwickelt, der als Klarlack bei Flugzeugen die farbige Lackschicht schützt und mittels eines besonderen Verfahrens beim Auftragen die Riblets erzeugt. Die Technologie ist vielfach patentiert und lizenziert. Dennoch gibt es bisher keinen Passagierjet, der vollständig mit dem Lack beschichtet ist. Grund sind die langen Genehmigungsprozesse für neue Technologien in der Luftfahrt. Erst wenn diese abgeschlossen sind, darf die Haifischhaut eingesetzt werden.

Auch Windkraftanlagen, deren Rotorblätter strömungstechnisch sehr langen und schlanken Flugzeugtragflächen entsprechen, werden von den unerwünschten Wirbeln ausgebremst. Riblets auf den Rotoren könnten den Energieertrag deutlich steigern und gleichzeitig das Pfeifen verringern, das Anwohner stört. Erste Tests an Windkraftanlagen beginnen noch in diesem Jahr.

Das Prinzip der Haifischhaut lässt sich aber auch in Rohren einsetzen, durch die Flüssigkeiten strö-



Abb. 2 Die Fastskin-Technologie der Ganzkörperanzüge von Leistungsschwimmern beruht auf der Struktur der Haifischhaut.

men. So hat das Fraunhofer-Institut für Bauphysik unter anderem Heizungsrohre auf der Innenseite mit Riblets ausgestattet. In Untersuchungen erfuhr das fließende Medium im Rohr deutlich weniger Reibung. Neben einer höheren Energieeffizienz führt das wie bei den Windkraftanlagen zu einer geringeren Geräusentwicklung.

So haben die Forschungen aus den 1990er-Jahren mittlerweile zu zahlreichen Anwendungen geführt – Haitech ist damit ein Paradebeispiel der Bionik.

*

Ich danke Volkmar Stenzel vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Materialforschung in Bremen für seine Unterstützung.

Bernd Müller