



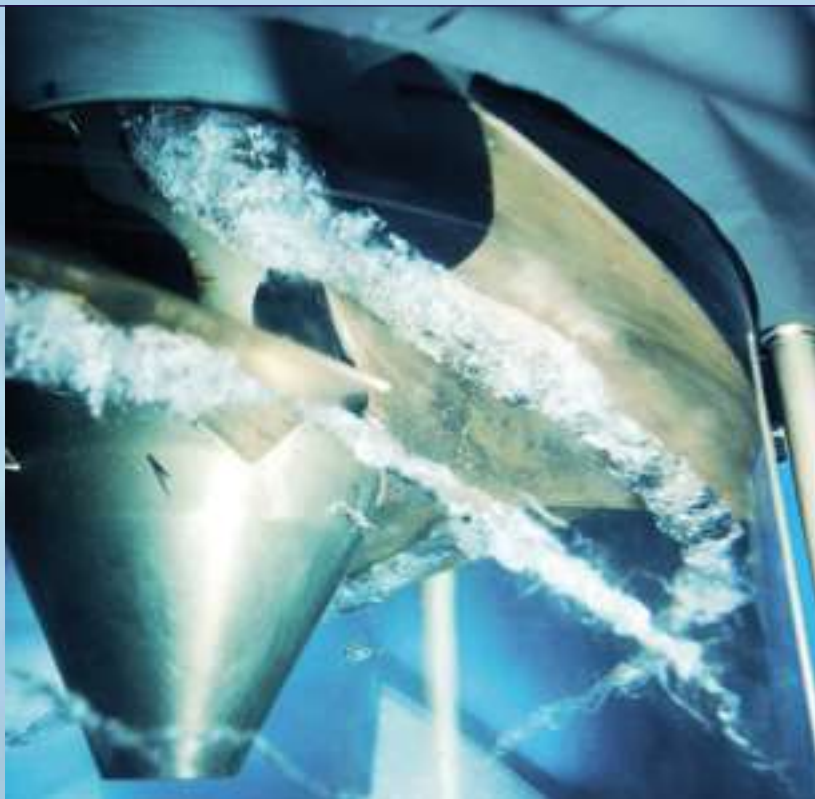
# Rätselhafte Blasen

An der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne nähern sich Ingenieure Stückchen für Stückchen den Geheimnissen der Kavitation, ein Phänomen mit bisweilen zerstörerischer Wirkung

VON OLIVIER DESSIBOURG  
HINTERGRUNDBILD RDB/CORBIS

**M**al grösser, mal kleiner, mal winzig klein: Blasen und Bläschen faszinieren nicht nur Kinder mit Seifenwasserbehältern, sondern auch Forscher. Zielstrebig und mit Hilfe eindrücklicher Anlagen ergründen Ingenieure der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (ETHL) eines der verbleibenden Rätsel im Bereich der Physik der Flüssigkeiten: die Kavitation. Ein Phänomen, das sich bei Flügelradantrieben, bei Raketentriebwerken oder bei Wasserturbinen beobachten lässt und bisweilen zerstörerische Wirkung hat.

«Man spricht von Kavitation, wenn sich in einer Flüssigkeit ohne Wärmezufuhr durch Druckabfall Gasblasen bilden», erklärt Mohamed Farhat, Gruppenleiter an der ETHL. Im Falle einer Turbine fliesst das Wasser mit so grosser Geschwindigkeit durch die Schaufeln, dass der Druck nach dem Gesetz, das Bernoulli 1739 erkannte, an einigen Stellen extrem fällt. Das Wasser tritt dort in den gasförmigen Zustand über und bildet Dampfblasen. Unmittelbar nach ihrer Entstehung sind die Bläschen aber wieder dem Druck der umgebenden Flüssigkeit ausgesetzt, und es ereilt sie ihr unausweichliches Schicksal: Sie implodieren und verschwinden. Allerdings nicht, ohne Spuren zu hinterlassen: «Der Hohlraum setzt seine Energie in einem winzigen Zeitraum in der



EPFL

Grössenordnung einer Nanosekunde und in einem mikrometerkleinen Raum frei. Dadurch entsteht eine sehr heftige Schockwelle. Die Wirkung ist mit einem Nadelstich vergleichbar. Er schmerzt auch ohne grossen Kraftaufwand.» In der Welt der Mechanik hat dies eine Erosion der Antriebsschrauben, Vibrationen und auch eine Geräuschentwicklung zur Folge. Bei militärischen U-Booten ist dieser verräterische Lärm natürlich besonders unerwünscht...

## **Einfluss auf Turbinenleistung**

Das Problem ist seit langem bekannt. «Die Hydraulik gilt manchmal zu Unrecht als alte Wissenschaft», fährt der Forscher fort. «Es gibt jedoch noch immer weder Modelle, mit denen sich das Phänomen präzise vorhersehen lässt, noch Materialien, die dagegen unempfindlich sind. Aktueller denn je ist das Problem durch die immer anspruchsvollere Nutzung von Wasserturbinen, die die Entwickler vor grosse Herausforderungen stellt. Durch die Kavitation kann der Wirkungsgrad nämlich empfindlich

beeinträchtigt werden. Jede Turbine arbeitet unter sehr spezifischen Bedingungen, die eine individuell abgestimmte Konzeption und eine Validierung mit einem verkleinerten Modell erfordern.» Das Laboratorium für hydraulische Maschinen der ETHL setzt in diesem Bereich Massstäbe, da es eines der wenigen unabhängigen Testzentren ist. Neben diesen angewandten Aufgaben widmet sich der Forscher zusammen mit Professor François Avellan, Leiter des Laboratoriums, mit Enthusiasmus der Grundlagenforschung.

«Wir untersuchen die Dynamik der Dampfblasen und das Endstadium ihrer Implosion, um den genauen Erosionsvorgängen auf die Spur zu kommen. Unser Ziel besteht darin, mathematische Modelle zu entwickeln, mit denen sich der Überdruck vorhersagen lässt, der durch die Schockwellen ausgelöst wird», fasst er zusammen. Dazu wurde eine riesige Röhre gebaut, in der das Wasser mit einer Geschwindigkeit von 50 m/s fliesst. Die Anlage gehört damit zu den leistungsfähigsten der Welt. Getestet





EPFL

Bei der Kavitation bilden sich durch Druckveränderungen Blasen, die implodieren. Dies verstärkt z.B. die Erosion von Wasserturbinen und Schiffspropellern (links). Die Schwarzweissbilder zeigen die Kavitation in der Schwerelosigkeit: Flüssigkeit in Kugelform; darin implodiert eine Blase (ganz oben), und es entstehen zwei Strahlen (oben).

werden damit verschiedene Schaufelprofile. «Wir haben auch eine Technik entwickelt, mit der über die Messung von Vibrationen die Auswirkungen der Schockwellen in hydraulischen Maschinen festgestellt werden können.» Die Kavitation spielt sich in so mikroskopisch kleinen Räumen ab, dass die direkte Messung knifflig ist. Die Wissenschaftler stützen sich deshalb auf die leuchtende Handschrift dieses Phänomens. «Wenn die Blasen implodieren, wird das darin eingeschlossene Gas so stark komprimiert, dass dabei Temperaturen von mehreren hundert-

tausend Grad auftreten. Dadurch entsteht ein Plasma, eine «Suppe» quasi aus freien Elektronen und Ionen», erklärt der Ingenieur. Wenn diese Teilchen wieder zusammenfinden, strahlen sie Licht aus. «Durch die Messung dieser Lumineszenz können wir die implodierenden Dampfblasen lokalisieren und ihr zerstörerisches Potenzial untersuchen.»

#### Oberfläche entscheidend

Eine weitere Stossrichtung der Forschung: die Beschaffenheit der Schaufeloberfläche. Je unregelmässiger die Oberfläche, desto mehr wird die Kavitation begünstigt. Mohamed Farhat vergleicht mit einem Champagnerglas: «Wenn das Glas schmutzig ist, halten die Unebenheiten der Oberfläche winzige Luftmengen zurück, die eine hohe Zahl von Bläschen zur Folge

haben. Genauso spielt die Oberflächenbeschaffenheit bei der Entstehung und Entwicklung der Kavitationsblasen eine entscheidende Rolle. Wir verfolgen mehrere Ansätze, um diesen Einfluss in den Griff zu bekommen, insbesondere durch den Einsatz der Nanotechnologie.» Der gleichzeitig faszinierte und optimistische Forscher ist sich bewusst, dass er keine einfache Aufgabe vor sich hat. «Das ist ein vielschichtiges Problem, und es sind Ansätze verschiedener Disziplinen von der Mechanik bis zur Materialwissenschaft erforderlich. Die vollständige Ausschaltung der Kavitation wird jedoch ein Traum bleiben.» Sollte es dem Forschungsteam der ETHL jedoch dereinst gelingen, in die Nähe dieses Traums vorzudringen, wird der Champagner zweifellos nicht der Beobachtung von Blasen dienen. ■

### Implosion in der Schwerelosigkeit

Neben den Schockwellen entsteht durch eine Kavitationsblase, die in einer Flüssigkeit in der Nähe der Oberfläche implodiert, auch ein Strahl. Auf der Erde hat ein ruhendes Wasservolumen eine glatte Oberfläche, so dass das Hochschießen eines einzelnen Strahls gut beobachtet werden kann. Doch wie verläuft der Prozess in der Schwerelosigkeit? Spätestens seit den Zwischenfällen mit Kapitän Haddock auf dem Mond ist allgemein bekannt, dass sich Flüssigkeiten ohne Einwirkung der Gravitationskraft zu Kugeln formen... Vier Studierende der ETH Lausanne hatten im Rahmen eines Wettbewerbs

der Europäischen Weltraumorganisation (Esa) die Chance, die Implosion einer Blase im begrenzten Volumen eines kugeligen Wassertropfens zu beobachten.

Betreut von Mohamed Farhat richteten die Ingenieure Danail Obreschkow, Philippe Kobel, Aurèle De Bosset und Nicolas Dorsaz ihr Experiment an Bord eines von der ESA gemieteten Airbus A300 ein. Mit diesem abgeänderten Flugzeug werden glockenförmige Bahnen geflogen. Am höchsten Punkt der Flugbahn werden die Triebwerke abgestellt. Das Flugzeug befindet sich nun im freien Fall. Mit ihm stürzt auch

die Besatzung. Sie schwebt in (annähernder) Schwerelosigkeit. Nun wird ein Flüssigkeitstropfen erzeugt und in dessen Innerem eine Blase – die implodiert! Die einzigartigen Bilder dazu zeigen zwei Strahlen, die in entgegengesetzter Richtung austreten. Bei der Auswertung der Bilder konnte ein von der Blase bei der Implosion erzeugter Strahl von den Studierenden gemessen und dann ein theoretisches Modell zur Beschreibung dieses Phänomens entwickelt werden. Ihre Studie wurde diesen September in der Fachzeitschrift «Physical Review Letters» (Bd. 97; 094502) publiziert. ■