

Wissen & Multimedia

GROSSE SPRÜNGE
Das Olympia-Rätsel:
Mitmachen und gewinnen
SEITE 69



SMARTER APPS
So telefonieren Sie
gratis in den Ferien
SEITE 71

1. JULI 2012
SonntagsZeitung

Elastisch Seite 67

Wie Graphen unsere
Zukunft verändern könnte

Chemisch Seite 68

Neue Blutverdünner
erobern den Markt

Akustisch Seite 70

Ein Kopfhörer für
Smartphones verspricht
grösstes Klangvergnügen

65



BESPITZELTER BERG

Ab morgen ist die Gotthardstrecke
bei Gurtellen wieder offen
– die Felswand wird nun noch
penibler überwacht

Felssturz: Am 5. Juni dieses Jahres rutschten bei Gurtellen 2000 bis 3000 Kubikmeter Gesteinsbrocken ins Tal und verschütteten die Bahnlinie, die seither unterbrochen war

FOTO: URS FLÜELER/KEystone

VON JOACHIM LAUKENMANN

Die Felswand bei Gurtellen ist derzeit die am besten überwachte der Schweiz. Am 5. Juni stürzten dort 2000 bis 3000 Kubikmeter Fels in Richtung Bahntrasse, was zu einem der längsten Unterbrüche in der 125-jährigen Geschichte der Gotthardstrecke führte. Jede Bewegung der Wand, auch in Klüften im Innern des Felsens, wird heute auf Millimeterbruchteile genau beobachtet.

Für die SBB geht es darum, die von der Felswand ausgehende Gefahr auf ein tolerierbares Restrisiko zu reduzieren, damit die Strecke wie geplant morgen wieder freigegeben werden kann. Konkret: Die Strecke muss so sicher sein, dass ein Fahrgast rein rechnerisch mindestens 100 000-mal an der Gefahrenstelle durchfahren kann, bevor er zu Tode käme. Zum Vergleich: Das ist 100- bis 1000-mal sicherer als das natürliche Todesfallrisiko eines 24-jährigen Menschen.

Um die Gefährdung der Reisenden so weit zu reduzieren, räumten Bagger in den letzten Tagen

den ganzen Schutt aus der Wand. Zudem wurden diverse Schutzbauten wie Fangnetze und Mauern errichtet. Alles ist Teil dessen, was die SBB als integrales Risikomanagement bezeichnen und das natürlich nicht nur in Gurtellen angewandt wird. «Von den rund 3000 Kilometer Bahnnetz der SBB sind 1170 Kilometer Naturgefahren ausgesetzt», sagt Albert Müller, Leiter des Bereichs Naturrisiken der SBB.

Reignis überraschte selbst die SBB-Geologen

647 Kilometer Bahnlinie sind laut Müller von Hochwasser bedroht, 390 Kilometer von Murgängen, 320 Kilometer von Hangrutschungen, 117 Kilometer von Steinerschlag und 17 Kilometer Strecke sind lawinenexponiert. Die grösste Steinschlaggefahr identifizierten die SBB übrigens nicht am Gotthard, sondern bei Olten am Fuss des Jurahügels Born.

Diese und andere Passagen gilt es zu schützen. Höchste Priorität des Risikomanagements hat daher die Prävention. «Insgesamt haben wir 4066 Schutzbauwerke wie

Fangzäune, Galerien und Überwachungsanlagen, davon rund 3000 am Gotthard», sagt Müller. Hinzu kommen 8600 Hektar Schutzwald, den es zu pflegen gilt. Zum Vergleich: Die gesamte Waldfläche des Kantons Zug beträgt 6000 Hektar. Intensiv bewirtschaftet werden auch 4500 Hektar Wald und Gehölz rechts und links der Bahngleise, der «Schutzstreifen», damit bei Sturm oder starker Schneelast möglichst nichts auf die Gleise fällt oder Fahrleitungen herunterreist.

Auch am Unglücksfels bei Gurtellen gab es ein Bauwerk: einen Damm zum Schutz vor Steinerschlag. Dieser wurde bereits beim

ersten Felssturz am 7. März getroffen und beschädigt. «So ein Damm hat im Grunde eine enorme Schutzwirkung», sagt Müller. Aber der Felssturz vom 5. Juni war eine Dimension zu gross. «Mit einem solchen Ereignis ist an diesem Ort etwa alle 300 bis 500 Jahre zu rechnen», sagt der SBB-Geologe Marc Hauser.

Wie Hauser betont, war der Felssturz vom 5. Juni unerwartet: «Klassische Schwachstellen wie eine Kluft waren nicht zu erkennen. Auch konnte keine Felsbewegung gemessen werden.» Wie man heute weiss, war der Fuss der losen Felspartie überhängend und ruhte auf einem abschüssigen

Felsband. «Es ist aber schwer, zu sagen, warum der Fels plötzlich den Halt verlor», sagt Hauser.

Zur Prävention gehört auch die Überwachung mit diversen Methoden. Die Bewegung einer Kluft etwa lässt sich an der Oberfläche mit einem Telejointmeter messen. Dabei wird eine Metallstange quer über der Kluft befestigt. Ein Potentiometer erfasst Bewegungen der Stange auf Bruchteile eines Millimeters genau. Werden Telejointmeter in einem Bohrloch angebracht, lassen sich auch tief im Fels verborgene Klüfte überwachen.

Georadar misst Bewegung der Felsen millimetergenau

Ein Standardinstrument, um Felsbewegungen aus der Distanz zu observieren, ist der Theodolit, eine Art Fernrohr mit Winkelmessvorrichtung. Dazu werden in der zu beobachtenden Wand kleine Spiegel befestigt. Das System ist einfach und damit günstig, hat aber auch Nachteile: «Man muss zur Befestigung der Spiegel in den Gefahrenbereich hinein und hat nur einzelne Messpunkte zur Verfügung», sagt Müller.

Ausgefeilter ist das Laserscanning, das auch in Gurtellen im Einsatz ist. Damit lässt sich ein präzises 3-D-Oberflächenmodell der Felswand berechnen. Der Nachteil: Es funktioniert nur tagsüber und bei gutem Wetter.

Die neueste Technologie ist das Georadar. «Wir waren die Ersten in Europa, die das Georadar für die Felsüberwachung einsetzen», sagt Hauser. Noch befindet sich das Gerät in der Testphase, aber in Gurtellen leistet es bereits gute Dienste. Aus sicherer Distanz und bei jedem Wetter erlaubt es die Überwachung des Felsens zuverlässig auf einen Millimeter genau, und zwar durch die Reflexion elektromagnetischer Strahlung an den oberen Felschichten.

Doch auch das Georadar hat seine Tücken. Die Sicht auf den Fels muss frei sein, oft aber stehen Bäume im Weg wie in Gurtellen vor dem Felssturz. Und Bäume dürfen die SBB nicht ohne weiteres fällen, das verbietet das Waldgesetz. Zudem erfüllen die Bäume eine Schutzfunktion. Von En-

FORTSETZUNG AUF SEITE 67

Die grössten Felsstürze und Steinschläge seit 2009

BEOBSACHTUNGSZEITPUNKT	REGION	AUSWIRKUNG AUF BETRIEB
05.06.2012 08:50	Gurtellen	Unterbruch
07.03.2012 16:00	Gurtellen	Unterbruch
21.03.2011 11:17	Luchsingen-Hätzingen / Diesbach-Betschwanden	keine
21.12.2010 05:00	Vallorbe-Frontière	keine
11.05.2010 11:02	Eggwald / Göschenen	keine
09.12.2009 14:48	Lugano Nord	Unterbruch

Ultraleicht und diamanthart

Die Nutzung von Graphen hätte enorme Auswirkungen auf die Gesellschaft

VON JOACHIM LAUKENMANN

Selten wird ein Nobelpreis für die Entdeckung eines Materials vergeben, das jeder spielend leicht selbst herstellen kann. Man nehme: Bleistift, Messer, durchsichtiges Klebeband. Mit dem Messer schabe man eine Flocke von beiden Seiten Kontakt zum Klebstoff ab und klebe sie auf den Klebstofffilm. Nun biege man den Film um, sodass die Grafitflocke von beiden Seiten Kontakt zum Klebstoff hat. Dann reisse man den Klebstofffilm auseinander. Dabei löst sich eine dünne Grafitflocke von der ursprünglichen Flocke ab. Man wiederhole das Zusammenkleben und Trennen des Klebstofffilms, bis man nahezu unsichtbare Grafitflocken erhält, die aus einer einatomigen Schicht Kohlenstoffatomen bestehen.

Dieses ultradünne Material heisst Graphen. Erstmals beobachtet hat es der deutsche Chemiker Hans-Peter Boehm bereits 1962, doch wusste er noch nichts von den Superlativen, die in diesem zweidimensionalen Kristall stecken. Der grosse Hype wurde 2004 losgetreten, als Andre Geim und Konstantin Novoselov von der Universität Manchester mit der Klebefilm-Technik Graphen wiederentdeckten und dessen Eigenschaften beschrieben. 2010 erhielten die beiden Forscher dafür den Nobelpreis der Physik.

200-mal so stabil wie Stahl und viel leichter als Metall

«Graphen ist ein fantastisches Material für die Physik, aber vielleicht noch mehr für Biologie, Chemie und das Engineering», sagt Klaus Ensslin, Leiter der Nanophysik-Gruppe an der ETH Zürich. Graphen, so hat sich herausgestellt, ist härter als Diamant und doch biegsam. Es ist rund 200-mal so stabil wie Stahl und dabei viel leichter als das Metall. Graphen leitet Wärme besser als jedes andere Material, und Elektronen sind darin mobiler als in Silizium. Graphen absorbiert Licht vieler Wellenlängen und ist doch nahezu transparent. Es bildet eine Barriere für Gase und Wasser und ist resistent gegen Chemikalien.

«Wir sind überzeugt: Wenn man das Potenzial von Graphen voll ausschöpft, hätte das enorme Auswirkungen auf die ganze Gesellschaft», sagt Jari Kinaret von der Technischen Hochschule Chalmers in Göteborg, Schweden. Er leitet das Projekt Graphene-Flagship, das mit fünf anderen Grossprojekten um EU-Fördergeldern von einer Milliarde Euro konkurriert (siehe Kasten).

Auf atomarer Ebene präsentiert sich Graphen wie ein Zaun mit

sechseckigen Maschen, an dessen Ecken Kohlenstoffatome sitzen. Wie es aussieht, erfährt man bei Daniel Neumaier von der Firma AMO, einem Spin-off der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule in Aachen. Neumaier stellt eine mit Graphen beschichtete Quarzplatte auf den Tisch. Die Schicht aus zehn Lagen Graphen ist als leicht graue Tönung der durchsichtigen Quarzplatte zu erkennen. «Eine Hängematte aus diesem Graphen-Maschendraht könnte eine Katze tragen, und das,

obwohl die Hängematte leichter wäre als ein Katzenhaar», sagt Neumaier, der zum Kernteam des Graphene-Flagship gehört.

Die ersten Anwendungen stehen vor der Tür, etwa Verbundwerkstoffe, die durch Graphenflochten verstärkt werden. Vermutlich wird Samsung schon nächstes Jahr ein Touchscreen-Handy mit Graphen-Bildschirm auf den Markt bringen. Zu den weiteren Anwendungen gehören: bessere Elektroden für Batterien, schnellere Lichtdetektoren, flexible und doch ro-



ILLUSTRATION: BIRGIT LANG

FET-Flagships: Die Serie

Sechs wissenschaftliche Grossprojekte wetteifern im Rahmen der FET-Flagship-Initiative um EU-Fördergeldern von bis zu einer Milliarde Euro pro Projekt. Die Sonntagszeitung stellt in einer Serie alle Projekte vor.



Heute beleuchten wir das vielversprechende Material Graphen.

27. Mai: Robot Companions
3. Juni: IT Future of Medicine
10. Juni: Guardian Angels
24. Juni: The Human Brain Project

1. Juli: Graphene Flagship
8. Juli: Futur ICT

buste Sensoren, die schnelle Entschlüsselung der Erbsubstanz DNA, Datenspeicher für Computer und Membranen zur Meerwasserentsalzung. «Was die ultimative Killeranwendung von Graphen sein wird, ist derzeit schwer vorherzusagen», sagt Neumaier.

Kaum war Graphen entdeckt, hiess es auch: Mit ihm lassen sich bessere Transistoren für Computer bauen. «Nach wenigen Jahren stellte man jedoch fest: So einfach geht das nicht», sagt Neumaier. Das Problem: Graphen ist kein Halbleiter, sondern ein Halbmetall. Das ist schlecht für die digitale Sprache der Computer.

Hochfrequenz-Transistoren für die Telekommunikation

So schnell geben sich die Forscher aber nicht geschlagen. Sie schneiden Graphen in winzige Bänder, schmuggeln fremde Atome ein, kombinieren Graphen mit anderen zweidimensionalen Kristallen oder prägen dem Material feinste Strukturen auf. «Graphen-Forschung gibt es erst seit acht Jahren», sagt der Nanotechnologe Roman Fasel von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt. «Man steht noch ganz am Anfang und muss noch zahlreiche Probleme lösen.» Dazu gehört neben der Entwicklung von Graphen-Transistoren auch die billige Herstellung grosser Graphenschichten für Monitore.

Wie der zweidimensionale Kristall heute hergestellt wird, zeigt Neumaier im Reinraum von AMO. In einem silbernen, mit diversen Leitungen versehenen Böttch mit Guckfenster im Deckel stellt ein Forscher gerade Graphen her. Je nach Einstellung der Parameter wie Temperatur und Druck bilden sich auf einer Nickelplatte ein bis drei Lagen Graphen. In einem anderen Raum überträgt ein Forscher kleine Graphenplättchen auf das Zielmedium, etwa einen sogenannten Wafer aus Silizium. Wieder ein anderer Raum dient der Strukturierung der Graphenplättchen, um die gewünschten Eigenschaften zu erhalten.

Aktuell erforscht Neumaier Hochfrequenz-Transistoren aus Graphen, wie sie in der Telekommunikation zum Einsatz kommen könnten. «Das Ziel der Flagship-Initiative ist es, Graphen und andere zweidimensionale Materialien von der Grundlagenforschung in die Anwendung zu bringen», sagt Neumaier. Sehr stolz ist der Nanoforscher auf das Beratergremium. «Es besteht unter anderem aus vier Nobelpreisträgern», sagt Neumaier. Darunter sind auch die beiden, die den Hype um Graphen losgetreten haben: Andre Geim und Konstantin Novoselov.

MELDUNGEN



Wie das Delfingehirn rasant wuchs

DETROIT (USA) Im Vergleich zu ihren nächsten landbewohnenden Verwandten, den Pferden und Kühen, haben **Delfine** ein etwa dreimal grösseres Gehirn. US-Forscher haben das Erbgut der Zahnwale mit jenem der beiden Landvettern verglichen, wie sie im Fachblatt «Proceedings of the Royal Society B» berichten. Dabei haben sie über 200 Genveränderungen gefunden, die den Delfinen den Übergang vom Land ins Wasser ermöglichten und ein grösseres Hirn bescherten.

Wissenschaftler meiden Gleichungen

BRISTOL Fachartikel aus den Bereichen Ökologie oder Evolutionsbiologie werden dramatisch seltener zitiert, wenn viele mathematische Formeln darin auftauchen, berichten Forscher im Fachmagazin PNAS. Mit jeder zusätzlichen Gleichung sinke die Anzahl der Zitierungen um 28 Prozent. Formeln sollten daher besser in einem Anhang als im Fachartikel selbst stehen, raten die Forscher.

Afrikanische Savanne wird zu Wald

FRANKFURT Mit steigendem Gehalt des Treibhausgases Kohlendioxid (CO₂) in der Atmosphäre könnte sich die Savanne Afrikas gegen Ende des Jahrhunderts in Waldland verwandeln, berichten Biologen in «Nature». Unter vorindustriellen CO₂-Konzentrationen hätten die Savannenbäume unter CO₂-Mangel gelitten. Erst mit den nun erreichten Konzentrationen würden sie schneller wachsen und könnten das Grasland verdrängen.

Die Pille für den Mann als Hautgel

HOUSTON (USA) Ein auf die Haut aufgetragenes Gel hat das Potenzial zur Pille für den Mann. Das Gel mit den beiden Wirkstoffen Testosteron und Nestoron reduzierte bei 89 Prozent der getesteten Männer die Spermienzahl von über 15 Millionen pro Kubikmillimeter auf unter eine Million. Das entspreche einer effektiven Verhütung, berichteten US-Forscher diese Woche an der Jahrestagung der Endocrine Society. Nach Absetzen des Gels normalisierte sich die Spermienzahl innert 12 Wochen wieder.

Fettarme Diät verbrennt wenig Kalorien

BOSTON Kalorie ist möglicherweise doch nicht gleich Kalorie. Dies folgern US-Forscher aus einer Diätstudie mit 21 jungen Menschen, wie sie im Ärzteblatt «Jama» berichten. Demnach verbrennt man bei einer kohlenhydratarmen Diät (60 Prozent Fett, 30 Prozent Eiweisse) 300 Kalorien mehr als bei einer fettarmen Diät (60 Prozent Kohlehydrate) und 150 Kalorien mehr als bei einer Diät mit tiefem glykämischen Index (Gemüse, gesunde Fette).

► FORTSETZUNG VON SEITE 65

Der bespitzelte Berg

de 2011 bis Anfang 2012 lief auch ein erster Test, um Felsbewegungen mit Daten von Radarsatelliten millimetergenau zu erfassen. «Für Naturgefahren hat das noch niemand vor uns gemacht», sagt Hauser. Probeweise vermessen wurde der gesamte Bereich von Erstfeld bis Göschenen. Ein Resultat: Die Hänge des Chli Windgällen in Uri bewegen sich mit

rund fünf Millimetern pro Jahr talwärts.

Ein Ziel dieser Überwachungen ist es, den Moment zu erfassen, an dem sich die Bewegung einer Felswand beschleunigt. «Damit lässt sich sogar prognostizieren, wann es zum Absturz kommt», sagt Hauser. Bei Millionen Kubikmetern kann die Zeit zwischen beschleunigter Bewegung und Absturz Jahre betragen. Im Bereich von 1000 Kubikmetern wie in Gurtellen sind es wenige Stunden bis Monate. Kleinere Felsstürze lassen sich teils

sogar auf die Stunde genau vorher-sagen.

An einigen gegenüber Stein-schlag besonders exponierten Standorten werden die Fangnetze elektronisch überwacht. Von dort gelangen die Daten zum SBB-Interventionszentrum in Erstfeld, wo je nach Schweregrad des Ereignisses ein entsprechender Alarm ausgelöst wird. So lassen sich Züge rechtzeitig stoppen, sofern dies nötig erscheint.

Nach der Prävention bildet die Intervention, also die ganze Kette der Alarmierung mit Rettung und

Notmassnahmen, den zweiten Teil des integralen Risikomanagements. Der dritte und letzte Punkt ist die Wiederherstellung der Infrastruktur, angefangen von der Sprengung loser Felspartien über das Wegräumen von Schutt bis zur Reparatur beschädigter Oberleitungs-masten und Gleise.

Geologe Hauser würde gerne vermehrt auf Georadar setzen

«Insgesamt investieren wir jedes Jahr 45 Millionen Franken im Bereich Naturrisiken», sagt Müller. Mit 15 Millionen schlägt die Bō-

schungspflege zu Buche, mit weiteren 10 Millionen die Pflege des Schutzstreifens. Bleiben rund 20 Millionen für Schutzbauten und die Überwachung. «Die Arbeiten in Gurtellen kosten insgesamt wohl 5 bis 6 Millionen Franken», sagt Müller. Für solche Fälle stehe eine Versicherung zur Verfügung und für nicht abgedeckte Schäden eine separate Notkasse. Die Gesamtschäden des Felssturzes inklusive Zugsausfällen liegen laut SBB-Mediensprecher Christian Ginsig im zweistelligen Millionenbereich.

Als Lehre aus dem Ereignis von Gurtellen würde der Geologe Hauser zur Früherkennung von Felsbewegungen gerne vermehrt aufs Georadar setzen. Zwei bis drei der mehrere Hunderttausend Franken teuren Geräte stehen auf seiner Wunschliste: eines fix im Einsatz bei akuten Gefahrenstellen, eines mobil zur regelmässigen Überwachung diverser Orte und eines als Reserve. Laut Naturgefahrchef Müller sind die Lehren aus Gurtellen aber noch nicht definitiv gezogen. «Das werden wir jetzt vertieft anschauen.»