

Wüstensand ist zum Bauen unbrauchbar. Für Boom-Städte wie Singapur (im Hintergrund) werden die letzten Reserven an Meeres- und Flusssand geplündert – oft illegal.

SUCHT NACH **SAND**

Inseln verschwinden, Küsten sind bedroht. Denn die Bauindustrie verbraucht Meeressand in unvorstellbaren Mengen. Forscher suchen nach Alternativen. Es ist ein Rennen gegen die Zeit. Und gegen massive Widerstände

FOTOS: SIM CHI YIN/MAGNUM/AGENTUR FOCUS

TEXT: CARSTEN JASNER

N

och ist es ein Brocken Beton, der da im Wassertank liegt. Doch dann drückt Volker Thome, Abteilungsleiter am Fraunhofer-Institut in Holzkirchen, einen Knopf. Ultrakurze Laserblitze zucken durchs Wasser, kaum sichtbar, aber wirkungsvoll. Metallische Schläge sind zu hören, als krachte ein Vorschlaghammer auf einen Amboss. Der Brocken im Tank zerbröseln in seine Einzelteile: Zement, Kies und Sand. Wertvoller Sand. Denn die superfeinen Steinchen, angeblich in Hülle und Fülle auf der Welt vorhanden, werden knapp. Diese hier, aus der Mauer eines Abbruchhauses, könnten zu neuem, vollwertigem Baumaterial recycelt werden. Wenn die Baubranche interessiert wäre. Was sie aber kaum sei, sagt Thome. »Frischer Beton ist billiger.« Noch.

Denn das könnte sich ändern. Sand – der Hauptbestandteil von Beton – galt als unerschöpflich. Bis 2014 das Umweltprogramm der Vereinten Nationen einen alarmierenden Bericht veröffentlichte. 75 bis

90 Prozent aller Strände sind auf dem Rückzug – teils durch Erosion, aber zu einem immer größeren Teil durch den Hunger der Bauindustrie. Neue Bauten fressen etwa 40 Milliarden Tonnen Sand und Kies pro Jahr – doppelt so viel wie Flüsse in Form von Sedimenten nachliefern können.

Geplündert werden Kiesgruben, Flüsse und Küsten. Wüstensand indes, in schier unerschöpflicher Fülle vorhanden, kommt für herkömmlichen Beton nicht infrage. Die Körnchen sind vom Wind zu rund und glatt geschliffen, im Zement können sie nicht verkanten, sie bröseln auseinander.

Gerade in Afrika und Asien scheint die Bauwelt unersättlich. China hat in nur vier Jahren mehr Sand in Wände verwandelt als die USA im gesamten vergangenen Jahrhundert. Dubai hat die Substanz

für seine weltbekannten, künstlichen Inseln in Form von Palmen vom Küstenboden gehobelt oder aus Australien importiert.

Den Weltrekord im Sandverbrauch hält Singapur: 5,4 Tonnen pro Bewohner im Jahr. Mit importiertem Sand aus Kambodscha, Thailand, Malaysia und Indonesien hat der Inselstaat sein Territorium in den vergangenen 40 Jahren um ein Fünftel vergrößert. Dabei verschwanden zwei Dutzend unbewohnte Inseln aus indonesischem Staatsgebiet und reicherten sich an Singapurs Küsten an. Der Transfer hat territoriale Streitigkeiten ausgelöst und Indonesien veranlasst, den Export von Sand zu verbieten. Einige Nachbarländer folgten diesem Beispiel, was das Problem nicht löst. Eine Sand-Mafia organisiert nun den illegalen Handel. ▶



Eine Flotte Frachter liefert Sand und Kies für eine künstliche Insel vor Singapur.



Bis zu zwölf Meter tief tauchen Arbeiter, um Sand aus einer Bucht vor dem indischen Mumbai zu schaufeln. Gefährliche Arbeit für rund 16 Dollar pro Tag.

FOTOS: FRAUNHOFER IBP, ADAM FERGUSON/NATIONAL GEOGRAPHIC, SIM CHYI/MAGNUM/AGENTUR FOCUS



In der elektrodynamischen Fragmentierungsanlage des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik verwandeln künstliche Blitze Bauschutt zurück in Sand und Kies.

500

Millionen

Tonnen Sand spülen die Flüsse der Welt jedes Jahr ins Meer, wenn man sie ließe. Doch Sandabbau, Staudämme und Regulierungen verhindern dies zunehmend. Klimawandel und Küstenbebauungen tun ihr Übriges, wodurch, laut der UN-Umweltbehörde, inzwischen drei von vier Stränden weltweit bedroht sind.

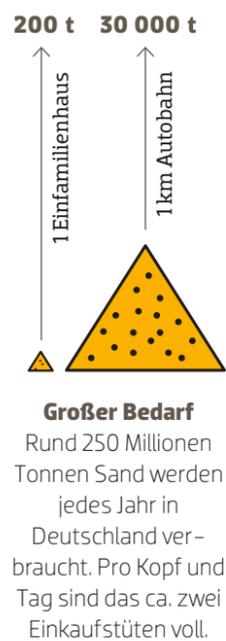


Drecksarbeit: Per Hand zerkleinern Arbeiter in Indien Steine zu Bausand.

Abgebaut wird mit zum Teil primitivsten Mitteln. Auf den Kapverdischen Inseln schaufeln Einheimische mit Schippe und Eimer ihre eigenen Buchten leer, damit an anderer Stelle Hotels gebaut werden können. In Indien, in einer Bucht vor Mumbai, tauchen Menschen ohne Atemgeräte zehn bis 15 Meter in die Tiefe, um am Grund Sand in Eimer zu schippen. Kollegen auf kleinen Booten ziehen den Matsch mit Seilen hoch. In der dreckigen Brühe erkranken Arbeiter, manche ertrinken.

Der Sandraub richtet zudem ökologische Desaster an. Saugende und baggernde Schiffe wirbeln Sandwolken auf, die sich auf Pflanzen und Korallen legen und Photosynthese verhindern. Laichgründe und Nahrung für Fische, Krebs und Muscheln verschwinden. Fische ersticken mit verstopften Kiemen. Artenreiche Flussdeltas verwandeln sich in unterseeische Mondlandschaften. Landeinwärts brechen Ufer weg, weil Flussgründe und Seen ausgeschabt werden. Im Umland versiegen Brunnen und vertrocknen Felder, weil der Grundwasserspiegel sinkt.

Nach Wasser stellt Sand inzwischen den meistgebrauchten Rohstoff der Welt dar. Er steckt vor allem in unseren vier Wänden: in Fundamenten und



Pfeilern, Plattenwänden und Zimmerdecken, Estrich, Mörtel, Putz und Glasscheiben. Will sich die Menschheit nicht den Boden unter den Füßen wegbaggern, tut ein Umdenken am Bau dringend Not.

Tatsächlich entwickeln forschende Ingenieure und innovative Unternehmer bereits Alternativen zu herkömmlichem Beton. Dabei verfolgen sie ganz unterschiedliche Ansätze. Einige wollen Wüstensand nutzbar machen, andere den Beton sparsamer einsetzen. Und dritte wiederum versuchen sogar, ganz neue Baustoffe zu entwickeln – mithilfe von Bakterien und Pilzen, Kohlenstoff und Kunstharz.

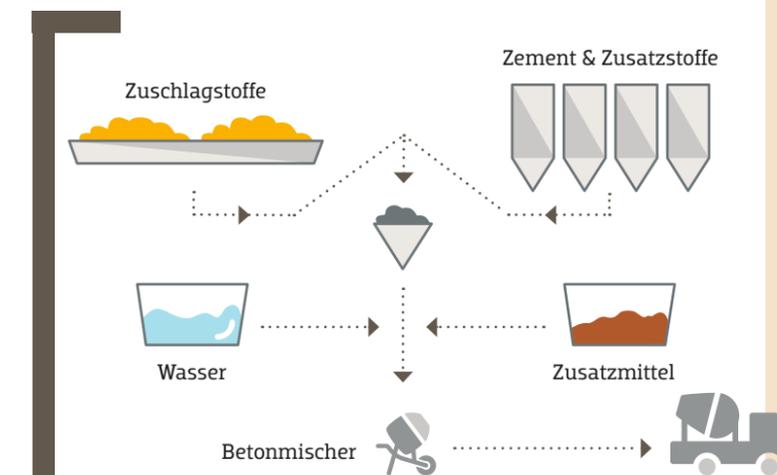
An der Technischen Universität Delft versucht ein Team, die Lebenszeit von Betonbauten zu verlängern. Spätestens nach zwei, drei Jahrzehnten bilden sich in Brücken und Häusern Risse. Wasser dringt ein und droht die innewohnende Stahlbewehrung zu zerfressen. Der Biologe Henk Jonkers hat winzige Kügelchen aus Bakteriensporen und Futter entwickelt, die er frischem Beton beimischen will. Einsickerndes Wasser würde die Sporen aktivieren. Sie reifen zu Bakterien, fressen die Nährlösung und scheiden Kalk aus, der die Risse kittet. Jonkers schlägt vor, diese selbst heilende Methode besonders bei schwer zugänglichen Konstruktionen wie Kellern, Tunneln oder Brücken anzuwenden,

wo Reparaturen sich aufwendig und teuer gestalten. Derzeit testet er zudem eine flüssige Anwendung als Spray, das er auf sanierungsbedürftige, rissige und poröse Wände aufträgt.

Die deutsche Bundesregierung setzt große Hoffnung auf die Reduktion von Beton. Mit rund 45 Millionen Euro fördert sie ein Projekt mit 160 Partnern aus Forschung und Wirtschaft, koordiniert von der TU Dresden. »Aus statischer Sicht ist ein Großteil des verwendeten Betons gar nicht nötig«, sagt Matthias Lieboldt in Dresden. Decken und Brücken, in denen Zugkräfte wirken, werden vor allem vom Armierungsstahl gehalten. Die Betonschichten drumherum dienen bloß als Schutz vor Korrosion. Ersetzt man den Stahl durch Carbonmatten, ließe sich die Betonummantelung auf wenige Zentimeter verdünnen. In Decken, Wänden, Fassadenplatten und Brücken, schätzt Lieboldt, könnte man 50 bis 80 Prozent Beton einsparen.

Carbonmatten bestehen aus Kohlenstofffasern. Diese werden über Kreuz gelegt, zu einer Art Gitter verknüpft, in Formen angeordnet und mit Beton ausgegossen. Äußerlich lässt sich Carbonbeton von herkömmlichem nicht unterscheiden. Doch sind die Platten nur wenige Zentimeter dick, halten sechsmal höhere Zugkräfte aus und überdauern drei- bis viermal länger. Auch ist er zur Sanierung geeignet. Dabei werden Matten auf den alten Beton gelegt und mit frischem verputzt. Ein Dutzend Fußgängerbrücken und Gewölbe wurden in Deutschland auf diese Weise bereits verstärkt. In zwei, drei Jahren wollen die Dresdner Bauingenieure ein Musterhaus in der Nähe der Uni errichten. Bald darauf, hoffen sie, wird das Material auch für Neubauten zugelassen.

FOTOS: ADAM FERGUSON/NATIONAL GEOGRAPHIC, THILO SCHOCH; INFOGRAFIK: P. M./QUELLE: BETON.ORG



Woraus besteht Beton?

BAUMATERIAL Wer Beton mischen will, muss sich zunächst **Zuschlagstoffe** besorgen: Sand und Kies – letzteren üblicherweise mit einer Körnung bis 16 Millimeter. Die Zuschlagstoffe mischt man nun im Verhältnis 4:1 mit dem **Zement**, normalerweise wird »Portlandzement« aus Kalziumsilikaten benutzt. Als **Zusatzstoff** wird zum Zement beispielsweise Hüttensand zugegeben, er macht den Beton widerstandsfähig gegen Streusalz. Die Sand-Kies-Zement-Mischung wird mit **Wasser** (Hälfte des Zementvolumens) gemischt, eventuell werden noch **Zusatzmittel** wie Verflüssiger oder Porenbilder hinzugegeben.

Der Architekt Dirk Hebel will auf Beton ganz verzichten. Denn er hat erlebt, wie es ist, wenn es keinen mehr gibt. Hebel hat mehrere Jahre in Äthiopien als Dozent gearbeitet und ständig gegen Engpässe gekämpft. »Mal war im ganzen Land kein Zement aufzutreiben, mal fehlte Stahl.«

Als Professor für Nachhaltiges Bauen erforscht er heute am Karlsruher Institut für Technologie, wie Wände aus Pilzen wachsen. Dazu gibt er Sporen, Wasser und Nährstoffe in eine Verschalung. Sofort bildet der Pilz ein Wurzelwerk aus Millionen Strängen, um den Nährstoff – Holzvolle oder Bioabfälle – zu umwickeln und zu verspeisen. Nach zwei bis drei Wochen füllt das Myzelium jeden Winkel der Verschalung. Durch eine kurze Erhitzung auf 60 bis 80 Grad stirbt der Pilz und hinterlässt eine homogene, knochenharte Masse.

Noch geschieht dies vor allem im Labor. Getestet werden Pilzsorten, Feuchtigkeitsgrade, Temperaturen, Wachstumsdauer. Hebel und sein Mitarbeiter Karsten Schlesier stellen sich jedoch bereits ein- bis zweigeschossige Häuser aus Pilzwänden vor. Schlesier denkt an Verbundkonstruktionen mit Holz: Balken im Abstand von einem halben Meter, verbunden durch Myzelium. Das Gefüge wäre geschützt ▶



Mit Carbonbeton lässt sich dünner bauen: bis zu 75 Prozent Materialeinsparung.

27
Meter hoch, ebenso breit und rund um die Erde könnte man eine Betonmauer aus der jährlich weltweit verbrauchten Menge Bausand bauen.

durch Bioplastik – Chitin, das die Myzelien selbst im Kampf gegen konkurrierende Schimmelpilze bilden. Zudem wäre das Material extrem leicht – Pilze wiegen fünfmal weniger als Fichtenholz.

Anderen Tüftlern lässt die Wüste keine Ruhe. Ließe sich der in Hülle und Fülle vorhandene Sand nicht doch nutzbar machen? Könnte man ihn anders als mit Zement verkleben? Die amerikanische Architektin Ginger Krieg Dosier hat ein Verfahren entwickelt, das an die heilenden Kügelchen von Henk Jonkers und die Pilze von Dirk Hebel gleichermaßen erinnert. Sie kippt eine Lösung aus Bakterien, Kalzium und Stickstoff über den Sand. Die Bakterien scheiden Kalk aus, der die runden Wüstenpartikel betonhart zementiert, ähnlich wie bei einem Korallenriff. Mit ihrer Firma Biomason hat sie nach eigenen Angaben in Pilotanlagen mehrere Tausend Steine hergestellt. Ein Haus ist daraus aber noch nicht entstanden.

Etlliche Schritte weiter scheint die thüringische Firma PolyCare. Sie verklebt Wüstensand mit Kunstharz. PolyCare zeigt, wie viel Zeit, Geld und Biss nötig sind, um sich gegen den Beton zu behaupten. Gegründet wurde PolyCare 2010 von Gunther Plötner und Gerhard Dust – der eine tüftelnde Ingenieur, der Geld für seine Idee suchte, der andere ein vermöglicher Manager, der aus dem Ruhestand zurückkehrte, weil ihn die Idee elektrisierte.

In einer Werkshalle in Gehlberg steht nun eine turmartige Maschine, die an einen halben Elefanten erinnert. Im Kopf werden neun Anteile Wüstensand verschiedener Rastergrößen, von mehlig über quar-

Physik im Treibsand

GRANULARE MATERIE Rund 7,5 Trillionen Sandkörner liegen an den Stränden der Welt herum. Das wurde an einer Universität errechnet – natürlich auf Hawaii. Aber wie sich Dünen sand oder der Inhalt einer Sanduhr bewegt, kann kein Computer dieser Welt berechnen. Warum verhält sich Sand in einem Moment wie eine **Flüssigkeit** (»Treibsand«) und ist im nächsten **hart wie Stein**? Der Grund ist: Es gibt nicht nur Trillionen Sandkörner auf der Welt, sondern auch Trillionen von Möglichkeiten, wie sie sich zueinander verhalten. Sie bilden schier unzählige Kontaktpunkte aus. Und die Kräfteverhältnisse sind undurchschaubar. Zwar hat man mittels Hydrogel-Kugeln nun Gesetzmäßigkeiten im Verhalten granularer Materials ausgemacht. Aber hinsichtlich Sand muss die US-Physikerin und Sandexpertin Bulbul Chakraborty zugeben: »Über sein Verhalten verstehen wir überraschend wenig.«

zig bis körnig, mit einem Anteil Harz vermischt. Das Gemisch wird von einer Spirale durch einen Rüssel geschoben, dabei durch chemische Zusätze zum Reagieren gebracht und in Formen gespuckt, die an Metallkoffer erinnern. Der Harzbeton härtet in 20 Minuten aus. Anderthalb Tage später lässt er sich verbauen. Die Konturen erinnern an Legosteine, mit Noppen oben und Aussparungen unten; und wie Legosteine lassen sie sich zu einem Haus zusammensetzen. Gewindestangen verspannen die Wände. Weder Fundament noch Mörtel noch Wandputz sind notwendig.

Vor zwei Jahren baute PolyCare das erste Musterhaus in Windhoek – in drei Tagen mit vier angelernten Kräften. Zur Einweihung kam Namibias Staatspräsident. In einem Joint Venture mit namibischen Bauunternehmen und der Regierungspartei Swapo werden nun vor Ort Steine für weitere Musterhäuser gebaut.

Als Kunde wird die erstarkende Mittelschicht anvisiert, langfristig plant die Regierung, Siedlungen für Arme zu errichten. Die Thüringer Firma führt zudem Verhandlungen mit Partnern in Südafrika und Tansania, Ruanda, Kenia, Ghana und der Elfenbeinküste. In China interessiert sich eines der größten Bauunternehmen des Landes für PolyCare, sagt Gerhard Dust. Die Asiaten hoffen, durch Harzbeton die energieintensive, umweltverschmutzende Zementproduktion zu ersetzen.

Harzbeton ist teurer als herkömmlicher Beton, dafür aber fünfmal härter. Die Steine bestehen aus wenigen Zentimeter dünnen Rahmen, die wärmeisolierende Styroporkerne beinhalten – oder Löcher für elektrische oder wasserführende Leitungen. Dust und vier weitere Gesellschafter haben sechs Millionen Euro aus Privatvermögen in Forschung



In Singapur wurden 2016 rund 40 Millionen Tonnen verbaut. Inzwischen ist der Baustoff Mangelware – und wird eingezäunt und bewacht.



Ganz ohne Sand und Kies kommt ein am Karlsruher Institut für Technologie entwickeltes Verfahren aus. Dort erzeugen Pilze ein betonhartes Geflecht, das zudem sehr leicht ist.

und Entwicklung investiert. Würde das Verfahren für den deutschen Markt zugelassen, würde sich der Hausbau mit Harzbeton rasant verbreiten, sagt Dust. Die größte Hürde stelle das Deutsche Institut für Bautechnik dar, das den Harzbeton seit sechs Jahren teste und grünes Licht geben müsse.

Das Institut ist von der Bundesregierung beauftragt, alle neuen Materialien und Konstruktionstechniken auf Sicherheit und Haltbarkeit zu prüfen – ob Pilzwände, Carbonbeton, selbstheilender Zement oder Harzsandsteine. Unter Innovatoren hat das Institut nicht den besten Ruf. »Betonprofessoren« würden dort arbeiten, heißt es, die mit der Zementindustrie verbandelt seien. Überhaupt sei die Betonlobby ebenso mächtig wie konservativ, um nicht zu sagen: betonköpfig.

Volker Thome, der am Fraunhofer-Institut Betonschutt mittels Blitzen recycelt, sucht seit vielen Jahren Investoren. Zwei bis drei Millionen Euro bräuchte er für eine Pilotanlage. Etliche Bauunternehmer fänden die Idee zwar gut, sagt er, hätten auch Tipps, wie eine Anlage im großen Stil auszuse-



Carsten Jasner findet es bizarr, wie wir Milliarden Tonnen Sand zusammenkratzen, ihn zu Häusern verkleben – und so die Erde neu modellieren.

hen hätte. Aber niemand wolle finanzielle Risiken eingehen. »Keine Experimente – in zehn Jahren gebe ich den Laden eh ab« – Sätze dieser Art hört Thome häufig.

In zehn Jahren allerdings werden die hiesigen, genehmigten Sand- und Kiesgruben voraussichtlich erschöpft sein. Spätestens dann wird auch in Deutschland der Sand knapp – und teuer. Wenn auch wohl nicht wie in Singapur, wo der illegale Handel blüht. Dort stieg der Preis um das 66-Fache: binnen 20 Jahren von drei auf über 200 Dollar für eine Tonne Sand. ■

PM.KOMPAKT

- Weltweit verbraucht die Bauindustrie **40 Milliarden Tonnen** Sand und Kies.
- Gerade in armen Ländern sichert der **Sandraubbau** Abertausenden Menschen den Lebensunterhalt.
- Um Küstenerosion zu vermindern, wird an Verfahren geforscht, etwa mit **Pilzkulturen** Betonersatz herzustellen oder durch Carbonmatten Beton einzusparen.