GLAS IST EIN MATERIAL DER WIDERSPRÜCHE.
Es ist robust und zerbrechlich. Es ist ein jahrtausendealter Hightech-Werkstoff. Und stellt die Chemie bis heute vor ein Rätsel

TEXT: CARSTEN JASNER

VORSICHT, UN

FOTO: JENS MEYER/UNIVERSITÄT JENA

ERKLÄRLICH!

Am Otto-Schott-Institut für Materialforschung der Universität Jena wird besonders dünnes und festes Spezialglas auf seine Biegsamkeit geprüft

Obsidian entsteht nur, wenn die erkaltende Lava wenige flüchtige Stoffe enthält. Wasserdampf und Kohlendioxid blähen sonst die Schmelze zu porösem Bimsstein auf

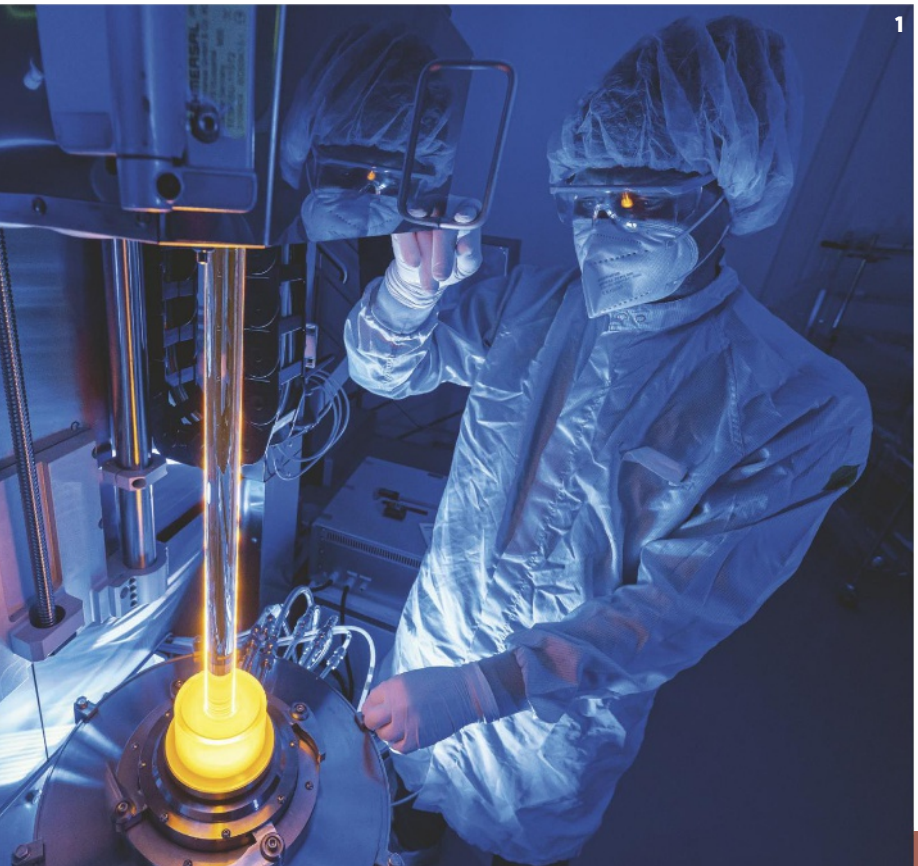
Wenn Professor Lothar Wondraczek seinen Studierenden die innere Struktur von Glas erklären möchte, bittet er sie, durch den Vorlesungssaal zu laufen. »Stellen Sie sich vor, Sie sind geschmolzenes Glas«, sagt er. »Einige von Ihnen sind Silizium-, andere Sauerstoffatome.« Die jungen Leute schlendern um Stuhlreihen, die teils rot, teils grün markiert sind. »Und jetzt setzen Sie sich!« Silizium sucht sich grüne, Sauerstoff rote Plätze. Das dauert.

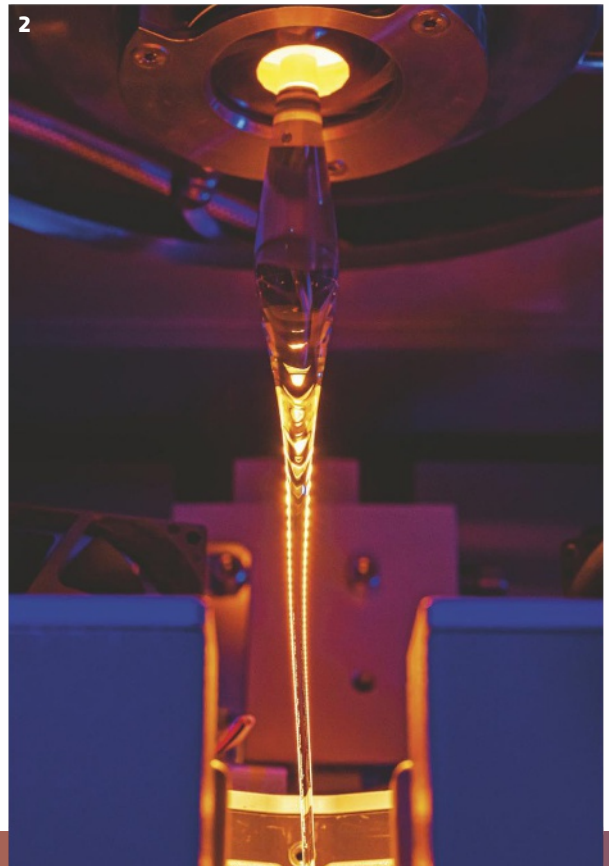
»So viel Zeit hat eine Glasschmelze nicht«, sagt Wondraczek und lässt die angehenden Chemiker und Chemikerinnen ein zweites Mal umherlaufen. »Und jetzt bitte: Freeze!« Alle Atome erstarren an Ort und Stelle. »Sehen Sie, in diesem Durcheinander befindet sich auch Glas.«

Glas ist ein physikalischer Grenzgänger. Ein Paradox. Es ist ein Festkörper, die innere Struktur aber ist die einer Flüssigkeit. »Stehen gebliebene Flüssigkeit«, sagt Wondraczek, Leiter des Lehrstuhls für Glaschemie an der Universität Jena. Wenn Glasschmelze sich abkühlt, bleibt den Atomen keine Zeit, sich zu Quarzkristallen zu ordnen. Sie verbinden sich zwar nach demselben Muster mit ihren Nachbarn – jedes Siliziumatom mit vier Sauerstoffatomen, jedes Sauerstoffatom mit zwei Siliziumatomen. Doch diese Verbindungen sind verdreht und verzerrt wie bei einer Partie Twister.

Warum dieses System ungeordneter Atome so stabil ist, gibt Rätsel auf. Glas ist sehr hart, es hält doppelt so hohem Druck stand wie Stahl. »Mit den Bindungskräften zwischen den Atomen allein können wir das nicht erklären«, sagt Wondraczek. In erkaltetem Zustand ist es extrem spröde. Ein Riss, ein Schlag, und Glas zersplittert, weil sich die Spannung im Netzwerk entlädt. Erhitzt lässt es sich jedoch beliebig formen. Und es ist äußerst widerstandsfähig gegenüber anderen

FOTOS: SCIENCE PHOTO LIBRARY, JENS MEYER/UNIVERSITÄT JENA (3), OLIVER HEISSNER/INTERPANE


1


2

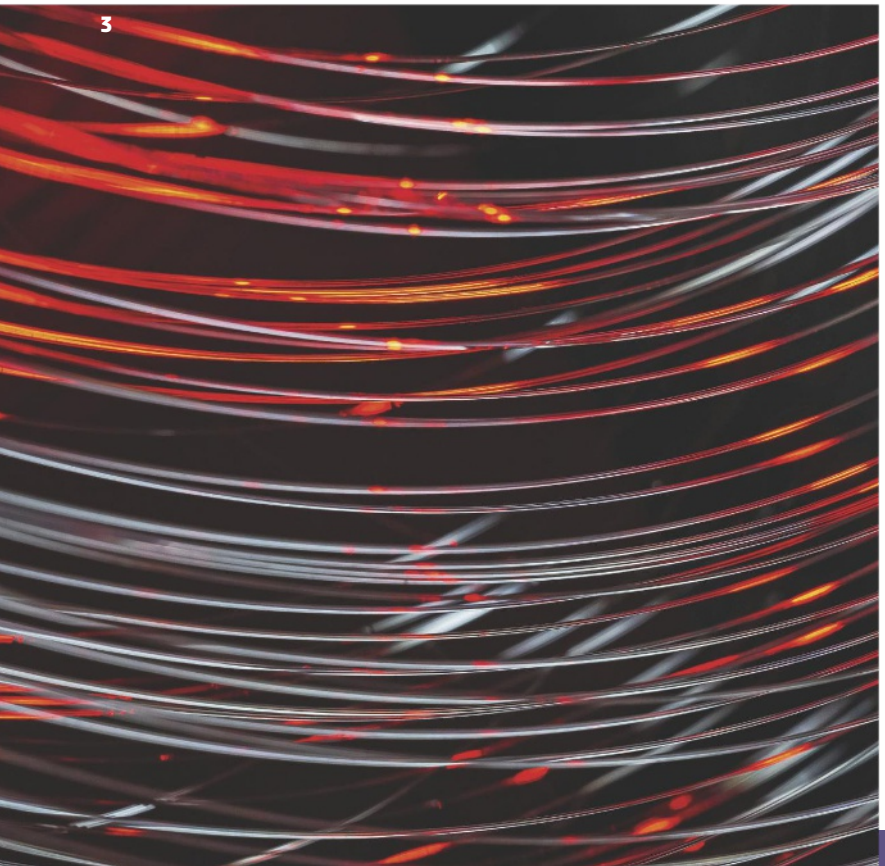
Über 21 000 Quadratmeter Glasfassade: Die individuell gebogenen Scheiben der Hamburger Elbphilharmonie erinnern an das Spiel der Wellen auf dem Wasser

Substanzen: Glas bleibt über Jahrmillionen erhalten. Diese widersprüchlichen Eigenschaften machen es für uns so wertvoll.

Sprechen wir im Alltag über Glas, meinen wir genau jenes Material auf Basis von Silizium und Sauerstoff, das Menschen seit mindestens 5500 Jahren herstellen und das uns auf vielfache Weise hilft: beim Trinken aus Gefäßen, beim Aus-dem-Haus-Schauen, inzwischen auch beim Senden von Daten und beim Gewinnen sauberer Energie. Chemikerinnen und Materialwissenschaftler fassen den Begriff jedoch weiter. Sie bezeichnen jeden Stoff als Glas, in dessen Innerem erstarrtes Chaos statt kristalliner Ordnung herrscht. Die Natur stellt Gläser aus verschiedensten Ausgangsmaterialien her: Wo Sand liegt, backen Blitzeinschläge aus den Quarzkörnern Fulgurit. Bernstein ist zu Glas erstarrtes Harz. Bei Vulkanausbrüchen und Meteoriteneinschlägen schmelzen Mineralien; erkalten sie abrupt wieder, entstehen Gesteinsgläser wie der schwarz schimmernde Obsidian.

Die Zutaten, die man für Fensterscheiben und Weinkelche aus Silikatglas braucht, finden sich ebenfalls in der Natur: Sand, Kalkstein, Dolomit, Soda, früher auch reichlich Brennholz. Aus Sand allein ließe sich Quarzglas herstellen, das nur Sauerstoff und Silizium im Verhältnis 2 : 1 enthält. Fügt man Natrium (aus Soda) und Kalzium (aus Kalkstein und Dolomit) hinzu, drängeln sich die Metalle als positiv geladene Ionen ins Netzwerk und kappen dort Verbindungen. Dadurch schmilzt das Glas bei niedrigeren Temperaturen und bleibt während des Abkühlens länger formbar.

Das Fasertechnologiezentrum in Jena fertigt Lichtleiter für Spezialanwendungen. Ein ringförmiger Schmelzofen erhitzt die Vorform, einen Glasstab, auf 2000 Grad Celsius (1). In der vier Stockwerke hohen Ziehanlage wird die zähe Masse beschichtet und gestreckt (2), bis Fasern mit dem Durchmesser eines Haares entstehen (3)



3

Eine der größten und modernsten Glashütten Deutschlands produziert im oberpfälzischen Weiherhammer. Um zwei gigantische Öfen weht wüstenwindheiße Luft. An den Längsseiten fauchen aus 20 armdicken Düsen meterlange Flammen ins Innere. Sie erhitzen Becken von der Größe durchschnittlicher Hallenbäder. 1600 Grad Celsius heiße Glasschmelze brodelt darin.

»Pro Stunde verbrennen wir in beiden Öfen zusammen rund 10 000 Kubikmeter Gas«, sagt Werksleiter Gerhard Ruhland. »So viel wie die Stadt Stuttgart.« Das klingt stolz und sorgenvoll zugleich. In der Energiekrise sind seine Gaspreise zeitweise auf das 19-Fache gestiegen. Man kann die Produktion aber nicht einfach drosseln – »dann geht der Ofen kaputt« (siehe Kasten Seite 24).

Das rot glühende Glas fließt auf ein Zinnbad, auf dessen spiegelglatter Oberfläche sich, abkühlend auf 600 Grad, ein Glasband bildet. Der Übergang von zähflüssig nach fest ist dabei fließend, Glas besitzt keinen festen Schmelz- oder Gefrierpunkt. ▸

In den Schmelzöfen der bayerischen Firma Heinz-Glas wird Kosmetikglas für Parfümflakons und Creme-Tiegel hergestellt

Das Glasband ist rund 3,50 Meter breit und wird über Rollen langsam durch eine 350 Meter lange Fertigungsstraße gezogen, dabei gekühlt, gewaschen, auf Steinchen und Blasen geprüft, an den Rändern geritzt und an diesen Markierungen gebrochen, dann quer in Stücke geschnitten. Am Ende packen esstellergroße Saugnäpfe die Scheiben und stellen sie auf Paletten. Die mächtigsten Scheiben sind 19 Millimeter dick, fast 20 Meter lang und gefragt wie nie.

Dass wir durch sie hindurchschauen können, verdanken wir einerseits der Tatsache, dass Siliziumdioxid Lichtwellen im sichtbaren Bereich ungehindert passieren lässt. Wir verdanken es andererseits der inneren Unordnung. Könnten sich die

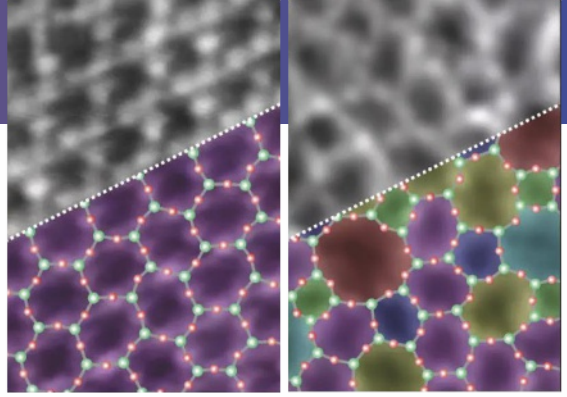
Glühende Gasfresser

FERTIGUNG Die Öfen in der Glasindustrie sind Dauerbrenner. Rund um die Uhr schmelzen sie Glas bei bis zu 1650 Grad Celsius. Dabei wird vor allem **Erdgas verfeuert,** rund 15 Terawattstunden pro Jahr. Die Gaskrise vervielfacht nicht nur die Produktionskosten, sie schürt auch die Angst vor einem Gasstopp. Denn der würde die Öfen zerstören.

Ein Gewölbe aus feuerfesten Steinen überspannt die Schmelzwanne. Bei abnehmenden Temperaturen schrumpft es, der Druck auf die äußeren Metalllager nimmt zu, das Material verzieht sich. »Ein, maximal zwei Tage könnte der Ofen ohne Gas auskommen«, sagt Gerhard Ruhland, Werksleiter in Weiherhammer. Danach sei die Anlage **irreparabel geschädigt.** Ein Neubau dauere Jahre und koste rund 50 Millionen Euro.

Kleinere Öfen lassen sich schon jetzt mit Strom betreiben. Doch die rund 100 größeren Wannen in Deutschland sind noch 10 bis 20 Jahre auf Gasbrenner angewiesen. Nur diese, heißt es, würden eine gleichmäßige Erhitzung großer Glasmengen gewährleisten. Als vielversprechender Ersatz für die Zukunft gelten **hybride Öfen,** die mit Strom und Wasserstoff betrieben werden.

In dieser Schmelzwanne erhitzt die Firma Schott Rohstoffe für das Glas berührungsempfindlicher Bildschirme. Wer am Ofen arbeitet, muss Hitzeschutzkleidung tragen



Messungen mit einem Rastertunnelmikroskop zeigen, wie sich Siliziumatome (blau) und Sauerstoffatome (rot) in der Ebene verknüpfen. Das linke Bild zeigt Siliziumdioxid in Kristallform. Dort bilden die Atome regelmäßige Sechsecke. Rechts, im Glas, folgt ihre Anordnung keinem festen Muster. Dort ist eine Vielzahl größerer und kleinerer Ringe entstanden

Atome in aller Ruhe zu vielen kleinen Kristallen mit regelmäßigem Aufbau formieren, wie es bei Quarzmineralien geschieht, würde einfallendes Licht an den inneren Kristallgrenzen gestreut. Glas wäre opak – und hätte niemals die Bedeutung erlangt, die ihm heute zukommt.

Architekturbüros wetteifern mit dem Einsatz immer größerer Gläser. Zu Wahrzeichen sind die gläserne Krone der Hamburger Elbphilharmonie oder der Showroom-Würfel einer Computerfirma in New York geworden. »Das sind Prestigeobjekte«, sagt Matthias Seel, Bauingenieur am Glass Competence Center der Technischen Universität Darmstadt. »Bautechnisch ist das eine große Herausforderung und der Transport in überlangen Spezialfahrzeugen sehr aufwendig. Aber diese Demonstrationen der Machbarkeit treiben die Glasentwicklung voran.«

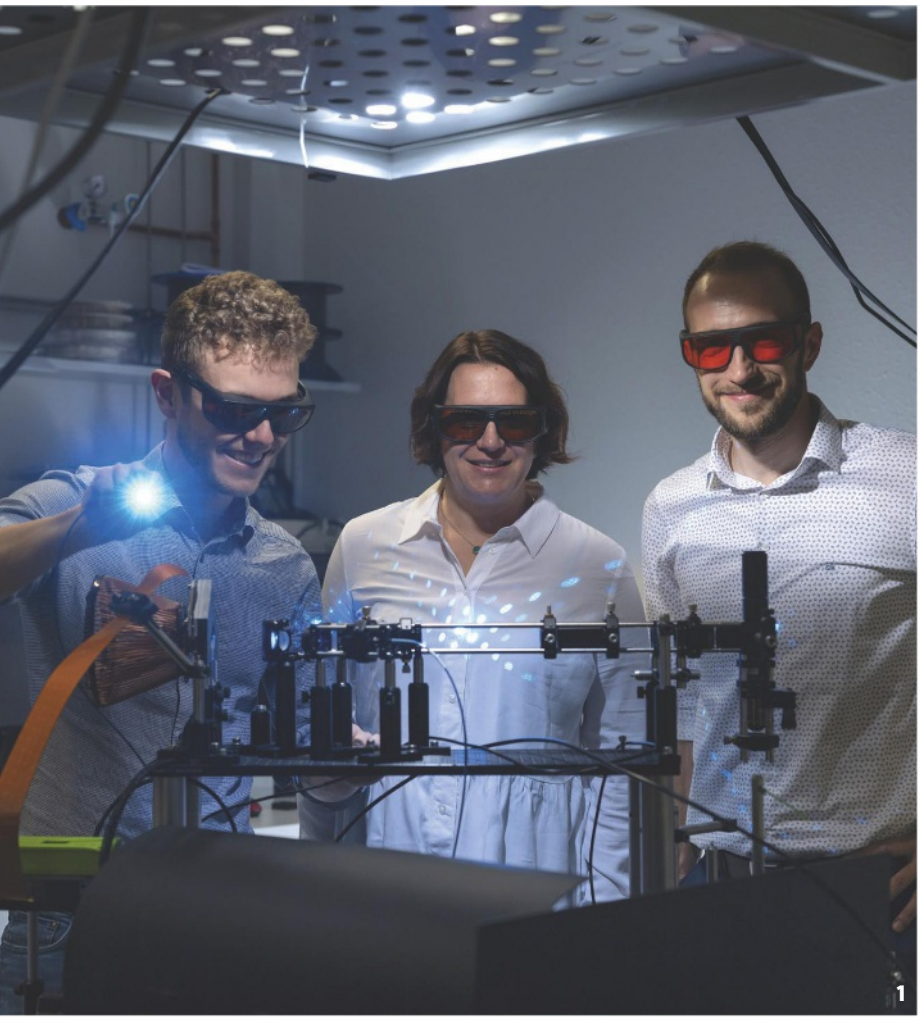
Vor 30 Jahren baute man Bürotürme mit verspiegelten Scheiben, um Infrarotstrahlen abzuwehren und die Innenräume kühl zu halten. Heute erzielt man den Spiegel- und andere Effekte durch hauchdünne, für das Auge kaum wahrnehmbare Metallbeschichtungen. Silberoxide reflektieren Infrarotwellen. Zinnoxide verhindern, dass sichtbares Licht zurückgeworfen wird, und machen Scheiben dadurch nahezu unsichtbar. Titanoxide binden und entfernen Schmutz. Von »Smart Glass« spricht man, wenn sich Scheiben auf Knopfdruck verwandeln. Legt man eine Drei-Volt-Spannung an eine Wolframschicht, färbt sich das Glas dunkelblau. Für einen milchig trüben Sichtschutz füllt man Flüssigkristalle zwischen zwei Scheiben. Unter Strom richten sich die Kristalle in dieselbe Richtung aus, die Scheibe wird klar.

Manche dieser Effekte mag man als teure Spielerei betrachten. Was aber »auf jeden Fall kommen wird und muss«, sagt Christoph Brabec, »ist das Fenster als Kraftwerk«. In Europa, so der Werkstoffwissenschaftler der Universität Erlangen, würden jedes Jahr mehrere Millionen Quadratmeter Fenster eingesetzt. »Damit könnte man mehrere Gigawatt Solarstrom erzeugen.«

Brabec sucht nach einem Material, das einerseits viel Sonnenenergie in Strom umwandelt und andererseits maximal durchsichtig ist. Damit will er Fensterglas beschichten. Silizium, der Halbleiter herkömmlicher Fotovoltaikzellen, kommt dabei nicht infrage. »Das müsste man so dick auftragen, dass die Scheibe undurchsichtig wird.« Aussichtsreichere Kandidaten seien das Mineral Perowskit oder ein Mischkristall namens Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid. Vor allem aber experimentiert Brabec im weltweiten Austausch mit anderen Forschenden an mehreren Tausend organischen Verbindungen.

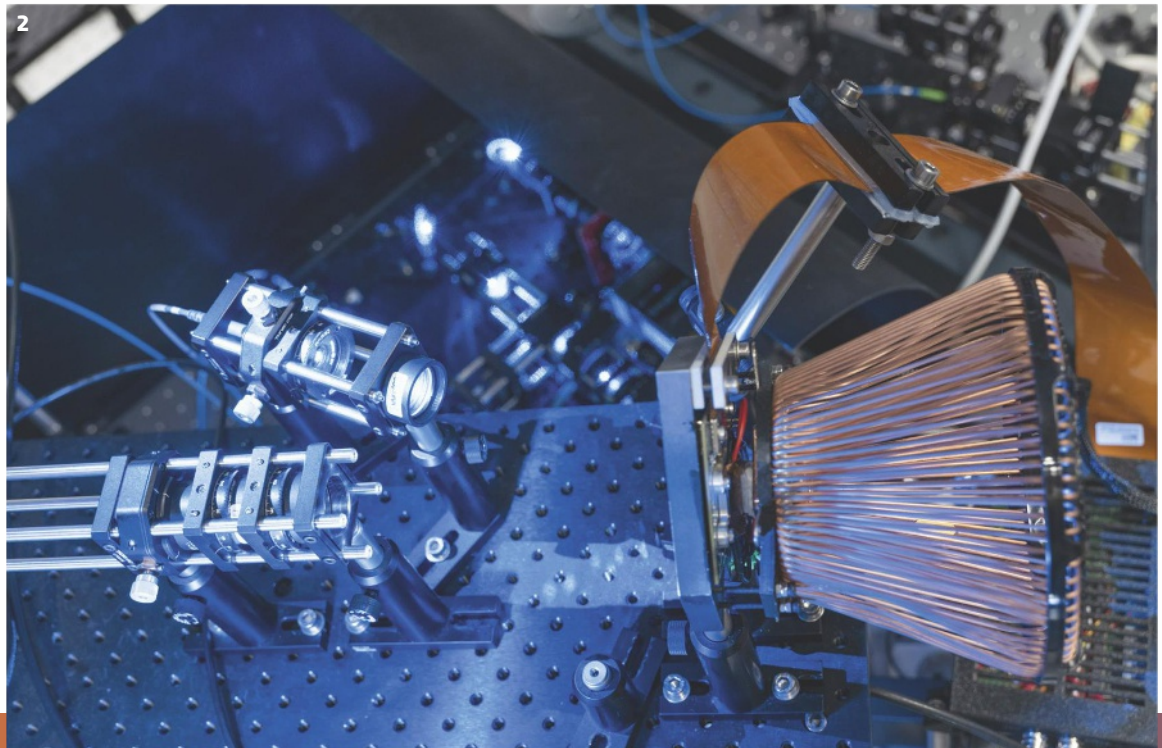
Das Ziel sei Solarglas mit einer hohen Effizenz, das »zu mindestens 50 Prozent transparent« ist. Der Trick sei, vom Menschen wahrnehmbare ▶

FOTOS: DPA PICTURE-ALLIANCE, JENS MEYER/SCHOTT, DR. MARKUS HEYDE



Lichtwellen zwischen 380 und 780 Nanometern weitgehend unberührt zu lassen und nur Strahlen unterhalb von 450 oder oberhalb von 700 Nanometern für die Fotovoltaik einzufangen. Das Glas werde am Ende vermutlich leicht grau gefärbt sein, sagt Brabec. Prototypen gebe es bereits, in den nächsten Jahren würden Kleinserien hergestellt. »In fünf Jahren wird sich entscheiden, ob Solarfenster für den Massenmarkt tauglich sind.«

Wärmeisolierung ist das zweite große Energiethema. Um immer höhere Anforderungen für Neubauten zu erfüllen, werden inzwischen Drei- bis Vierfachverglasungen eingesetzt. »Die sind schwer und inklusive Scheibenzwischenraum mindestens drei Zentimeter dick«, sagt Matthias Seel. Zudem schlucken sie Licht: Durch Reflexion und Absorption bei Lichteintritt und -austritt gehen an jeder Oberfläche etwa vier Prozent verloren. Vier Scheiben bedeuten eine rund 30-prozentige Lichteinbuße. Seel und sein Team an der TU Darmstadt arbeiten an Ressourcen sparenden Fenstern aus nur zwei Scheiben, die durch eine superisolierende Vakuumschicht verbunden sind.



Das Team um Tomáš Čižmár (Mitte) vom Leibniz-Institut für Photonische Technologien entwickelt ein Endoskop, mit dem sich einzelne Zellen im Körper betrachten lassen. Dazu reist Licht durch eine hauchdünne Glasfaser und tritt als Muster heller und dunkler Bereiche aus (1). Die Anlage umfasst außer der Faser selbst auch Laser, Mikrospiegel und Fotodioden (2)

Gläserne Handydisplays, biegsam und dreimal dünner als ein Haar

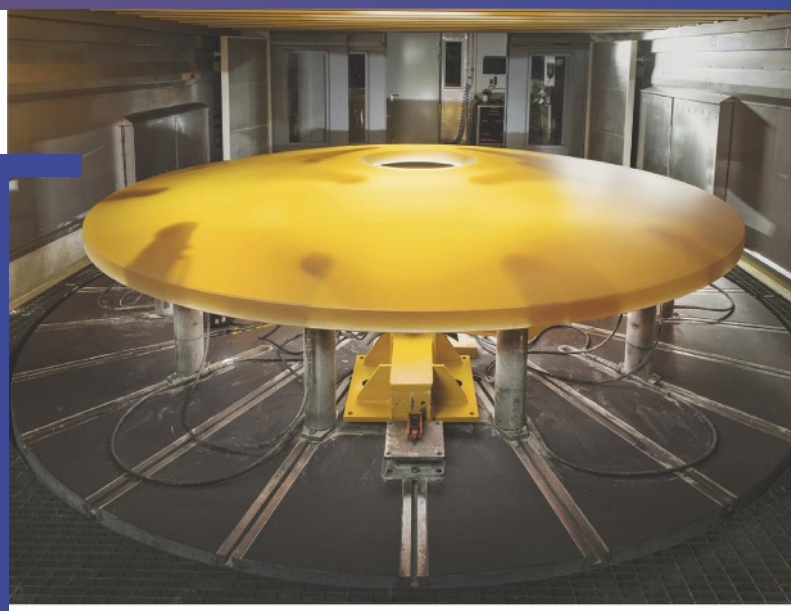
Mit sechs Millimeter Dicke könnte man sie bei Altbausanierungen in die bestehenden Rahmen setzen.

Im Kleinformat sind bereits hauchfeine Gläser im Einsatz. Die Firma Schott stellt Handyabdeckungen her, die mit 25 Mikrometern zwei- bis dreimal dünner sind als ein menschliches Haar. Sie bilden das faltbare Display der jüngsten Smartphone-Generation. Versuche zeigen, dass sich das Glas hunderttausendfach bis zu einem Biegeradius von einem Millimeter stauchen lässt, ohne dass es bricht. Mitbewerber schaffen Ähnliches, aber mit einem anderen Verfahren. »Die nehmen eine Scheibe und ätzen sie aufwendig mit Säure auf ein dünneres Profil«, sagt Matthias Müller, Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung bei Schott. Flusssäure, die aggressive Verbindung aus Fluor und Wasserstoff, vermag Glas aufzulösen. »Wir ziehen als einziger Hersteller weltweit Ultradünnglas direkt aus der Schmelze.«

Für dessen Stabilität sind ein paar Kniffe erforderlich. Anstelle von herkömmlichem Kalk-Natron-Glas werden Silikatgläser mit Zusätzen von Aluminum, Lithium und/oder Bor verwendet. Anschließend werden die Scheiben per Laser zugeschnitten; der präzise Trennstrahl verhindert, dass sich an den Kanten Risse bilden, die sich zu Brüchen weiten könnten. Zudem wird das Glas vorgespannt – ein Verfahren, das im Fahrzeugbau schon lange angewendet wird. Dort wird eine Scheibe auf 600 Grad Celsius erhitzt und mit kalter Luft abgeschreckt. Die Oberfläche erstarrt, während der Kern sich zusammenziehen will; so entsteht ein Zusammenspiel von Zug- und Druckspannung, das die Scheibe härtet. Ultradünnes Glas für Handys wird allerdings nicht thermisch, sondern chemisch vorgespannt: Aus einer Salzlösung dringen Kaliumionen in die Oberfläche und verdrängen kleinere Natriumionen. Um deren Platz einzunehmen, müssen die größeren Ionen benachbarte Atome zusammenschieben, wodurch die Oberfläche komprimiert und gehärtet wird.

Was bei Fenstern und Touchscreens sinnvoll ist, würde auch Verpackungen gut stehen: leichtes, langlebiges, somit nachhaltiges Glas. Vorreiter ist die Schweizer Firma Vetropack. Sie hat eine dünnwandige, thermisch gehärtete 0,33-Liter-Mehrwegflasche entwickelt. Die wiegt ein Drittel weniger als eine Standardflasche, zeigt weniger Abrieb und ist länger im Umlauf. In einem Pilotprojekt setzt die österreichische Mohrenbrauerei sie seit drei Jahren erfolgreich ein. Nach ihren eigenen Angaben hat sich der CO_2-Ausstoß beim Transport um 1000 Tonnen jährlich verringert, weil sich die Flaschen höher stapeln lassen.

Die meisten Gläser enthalten nur zu 60 bis 70 Prozent Siliziumdioxid. Lichtleitende Fasern für die Datenübertragung entstehen jedoch aus reinem Quarzglas. Das geschieht in einem Turm. Unterm Dach taucht ein massiver, etwa armdicker Glaskolben in einen ringförmigen Ofen, dessen Hitze ihn zum Schmelzen bringt. Als zähfließende, glühende Schnur kommt er unten heraus. Die Schwerkraft zieht ihn über mehrere Stockwerke hinab. Wiederholt man den Vorgang, verschlankt sich die Schnur zu einem Faden, der sich aufwickeln lässt. Er leitet Licht, weil die ursprüngliche Form aus zwei ▸



Ordnung im Chaos

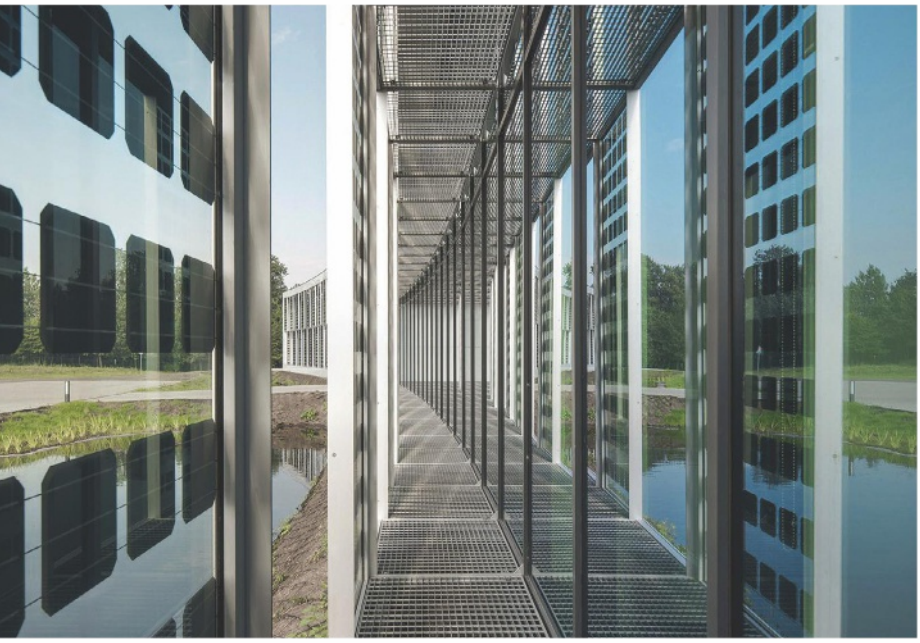
GLASKERAMIK Das Besondere an Glas ist, dass es keine Kristalle enthält. Gibt man jedoch Titan- oder Zirkonoxid in die Schmelze, bilden sich winzige **Kristallkeime.** Bei einem zweiten Erhitzungsvorgang wachsen diese zu Kristallen heran. Die resultierende Material ist extrem robust gegen Temperaturschwankungen. Es wird als Kochfeld (»Ceran«) eingesetzt, aber auch als **Spiegel für Teleskope.** Das Bild zeigt den Rohling eines Spiegels für das »Extremely Large Telescope«. Er ist drei Tonnen schwer und durchmisst 4,25 Meter. Ab 2027 wird er, auf nur zehn Zentimeter Dicke geschliffen, Teil des weltgrößten Himmelsauges für sichtbares und Infrarotlicht sein.

P.M. Wissen

Geschichtsträchtig
Scannen Sie den QR-Code oder folgen Sie der Internetadresse, um zu erfahren, wie vor Jahrtausenden der Beruf des Glasmachers entstand: pm-wissen.com/glas

FOTOS: SVEN DÖRING (2), SCHOTT

Spröde und flexibel, flüssig und fest, durchlässig und abwehrend, verwundbar und heilend: Das ist die ungeheure Vielseitigkeit von Glas



Oben: Bioaktives Glas wird zur Auffüllung von Knochendefekten verwendet. Es verwächst mit dem heilenden Gewebe und wird langsam durch neue Knochensubstanz ersetzt.
Unten: Das AGC Technovation Centre im belgischen Gosselies besitzt eine Fassade mit Doppelverglasung. Zwischen den Gläsern sind Solarzellen zur Stromerzeugung eingebettet

Glasschichten mit unterschiedlichem Brechungsindex besteht: einem Kern aus reinem Quarzglas und einer Ummantelung, der geringe Mengen anderer Stoffe beigemischt sind, Germanium etwa. Die Daten befördernden Lichtblitze können deshalb durch den Kern jagen wie durch einen Tunnel – sie »titschen«, reflektiert von der Ummantelung, zwischen den Wänden hin und her.

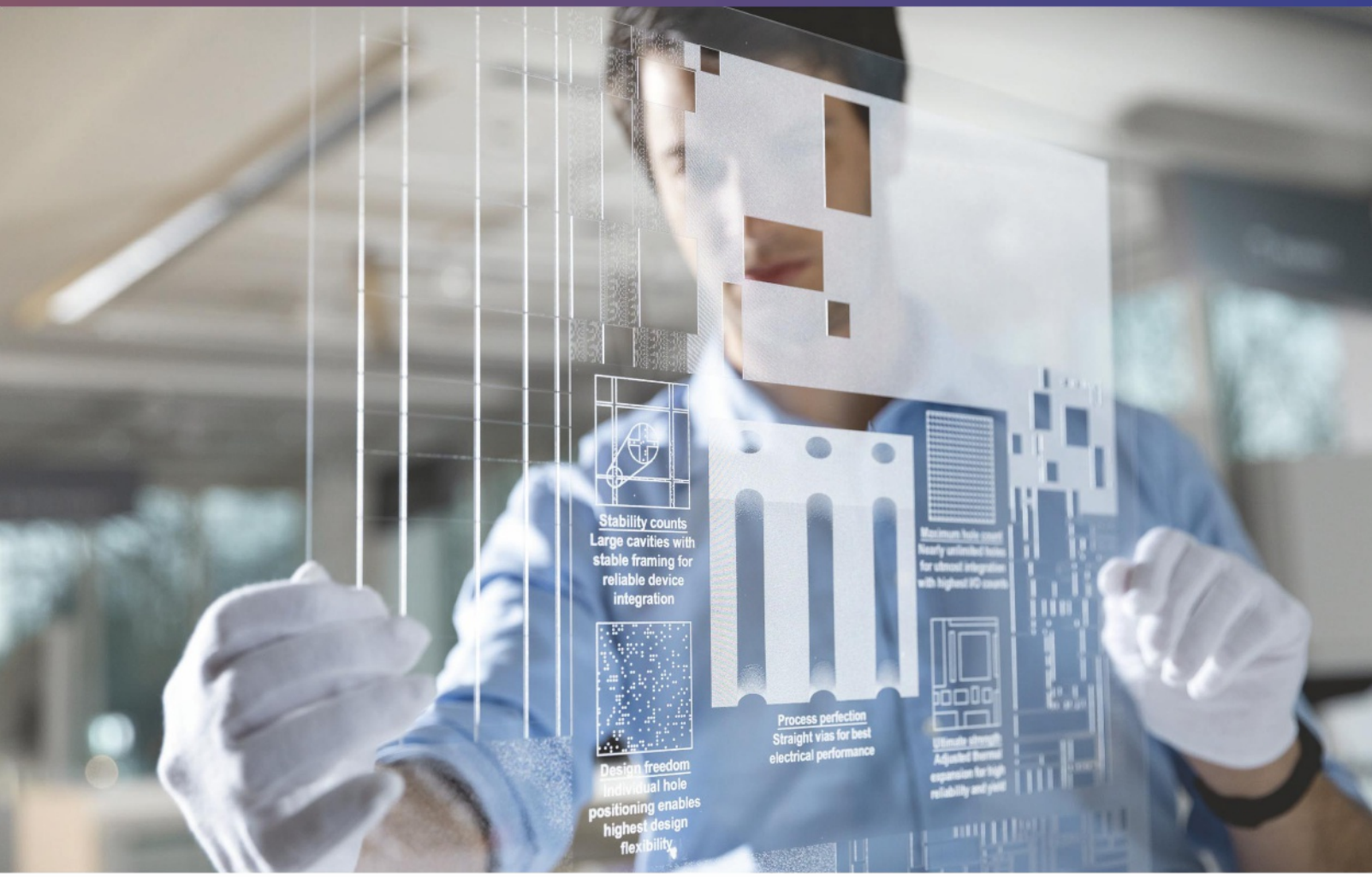
Zu Dutzenden gebündelt werden solche Glasfasern rund um den Planeten im Erdreich verbuddelt oder im Meer versenkt, um Nutzer mit dem Internet zu verbinden. Man kann sie aber auch in menschliche Körper schieben. Als Teil von Endoskopen, zusammen mit einem System winziger Spiegel und Linsen, ermöglichen lichtleitende Fasern Blicke ins Innere von Menschen. Die meisten Endoskopschläuche sind allerdings rund einen Millimeter bis 1,25 Zentimeter dick. Verheißungsvoll mutet daher das Projekt von Tomáš Čižmár am Leibniz-Institut für Photonische Technologien in Jena an. Er entwickelt ein Endoskop, das aus einer einzigen, haarfeinen Glasfaser mit einer ultrascharfen Spitze besteht. Es soll Blicke ins lebende Gehirn ermöglichen, Bilder sogar einzelner Nervenzellen auf einen Monitor übertragen.

Čižmárs Faser sendet nicht nur Licht ins Gewebe, sondern leitet auch Informationen nach außen. »Die größte Herausforderung besteht darin zu verhindern, dass die Unmengen an Daten, die durch die Faser geschickt werden, sich zu einem Datensalat verquirlen«, sagt Čižmár. Um verwertbare Informationen zu gewinnen, wird der Laserstrahl, bevor er in die Faser schießt, mit einer Apparatur holografisch vorgeformt.

Lothar Wondraczek verwahrt in seinem Büro in Jena eine Vase, die einerseits demonstriert, was ihn so verwundert: die Haltbarkeit von Glas. Und die zugleich dessen Verwundbarkeit zeigt. »Vorsicht«, sagt er, als er die Vase seinem Gast in die Hand drückt. »Sie ist einige Hundert Jahre alt.« Eine perlmuttartige Schicht hat sie überzogen. »Ursprünglich war sie glasklar.« Den Beginn dieses Effekts kennt, wer seine Gläser in einer Spülmaschine säubert: zunehmend stumpfe Oberflächen. Glas korrodiert.

Schon Wasser greift es an – allerdings nur an der Oberfläche. Delia Brauer will dieses Phänomen gesundheitsfördernd nutzen. Sie erforscht am Otto-

FOTOS: JENS MEYER/UNIVERSITÄT JENA, INTERPANE, SCHOTT



Die Firma Schott fertigt ultradünnes Spezialglas, das mit Strukturen im Mikrometerbereich versehen wird. Eine Anwendung: Gehäuse für Rechenchips, die deren Effizienz steigern

Schott-Institut, wie Glas die Heilung von Knochen begünstigt. Schon länger setzen Chirurgen und Chirurginnen bioaktives Glas ein, um durch Infektionen oder Tumoren geschädigte Knochen zu reparieren. In ihrer chemischen Zusammensetzung, sagt Delia Brauer, »ähneln bioaktive Gläser normalem Fensterglas, enthalten aber weniger Silikat und dafür eine Zusatzdosis Phosphat«. Reagieren sie mit Körperflüssigkeiten, »entsteht Apatit, ein Mineral, das der Grundbaustein von Knochen und Zähnen ist. An diese Schicht docken körpereigene Knochenzellen an und bilden neues Gewebe.«

Bisher arbeiten Operierende nur mit Glasgranulat an kleineren Verletzungen. Brauer will poröse, 3-D-gedruckte Glasgerüste entwickeln – »ähnlich wie Würfelzucker« –, mit denen sich ganze Löcher stopfen lassen. Zuvor hat sie eine Zahnpasta entwickelt, die sehr feines Glaspulver enthält. Im Kontakt mit Speichel bildet sich auch hier Apatit, der hilft, geschädigte Zähne zu heilen.

Extrem hart, extrem spröde und extrem flexibel, flüssig und fest, durchlässig, abwehrend, verwundbar und heilend. Einmal mehr zeigt sich die ungeheure Vielseitigkeit von Glas. Delia Brauer ist von der Komplexität dieses scheinbar simplen Stoffs fasziniert. Mit Teams in den USA und Großbritannien will sie in Computersimulationen auf atomarer Ebene herausfinden, wie und warum sich Glas auflöst. Vielleicht kommt sie dabei auch dem großen Geheimnis auf die Schliche, das ihren Kollegen Wondraczek und eigentlich alle Glasforschenden umtreibt: Was veranlasst diese chaotisch angeordneten Atome, sich so hartnäckig aneinander festzuhalten? ■

P.M. KOMPAKT

- In Kristallen bilden die Atome ein geordnetes Gitter, im Glas hingegen ein **chaotisches Netzwerk.**
- Glas auf Basis von Siliziumdioxid ist einer der wichtigsten **Werkstoffe der Menschheit.**
- Seine besonderen Eigenschaften verhelfen ihm zu immer **neuen Anwendungen,** unter anderem in Optik, Datenübertragung, Architektur und Medizin.

Geheimnisvoll und durchsichtig zugleich – Glas hat eine sehr menschliche Komponente, findet der Berliner Autor **Carsten Jasner.** Besonders weil es keine Zeit findet, Ordnung zu schaffen.