

Warten auf Erleuchtung

Kasseler Forscher tüfteln an Fensterscheiben, die das Sonnenlicht lenken und dosiert im Raum verteilen. Auch die Kühlung von Bürogebäuden soll damit möglich sein. **VON MARTIN SCHÄFER**

Die Fenster der Zukunft sind intelligent. Diese Vision hat Hartmut Hillmer. Mit seinem Team am Institut für Nanostrukturtechnik der Universität Kassel tüftelt der Physiker an Verfahren, wie sich die Lichtstrahlen der Sonne im Fensterglas gezielt ablenken lassen: im Winter schleust das Glas soviel Licht und Wärmestrahlung hindurch wie möglich. Im Hochsommer reflektiert das Fenster das Licht und lässt die Wärme draußen. Wenn die Sonne sehr tief steht und Menschen im Raum blendet, dimmt das aktive Fensterglas die Lichtstärke herunter.

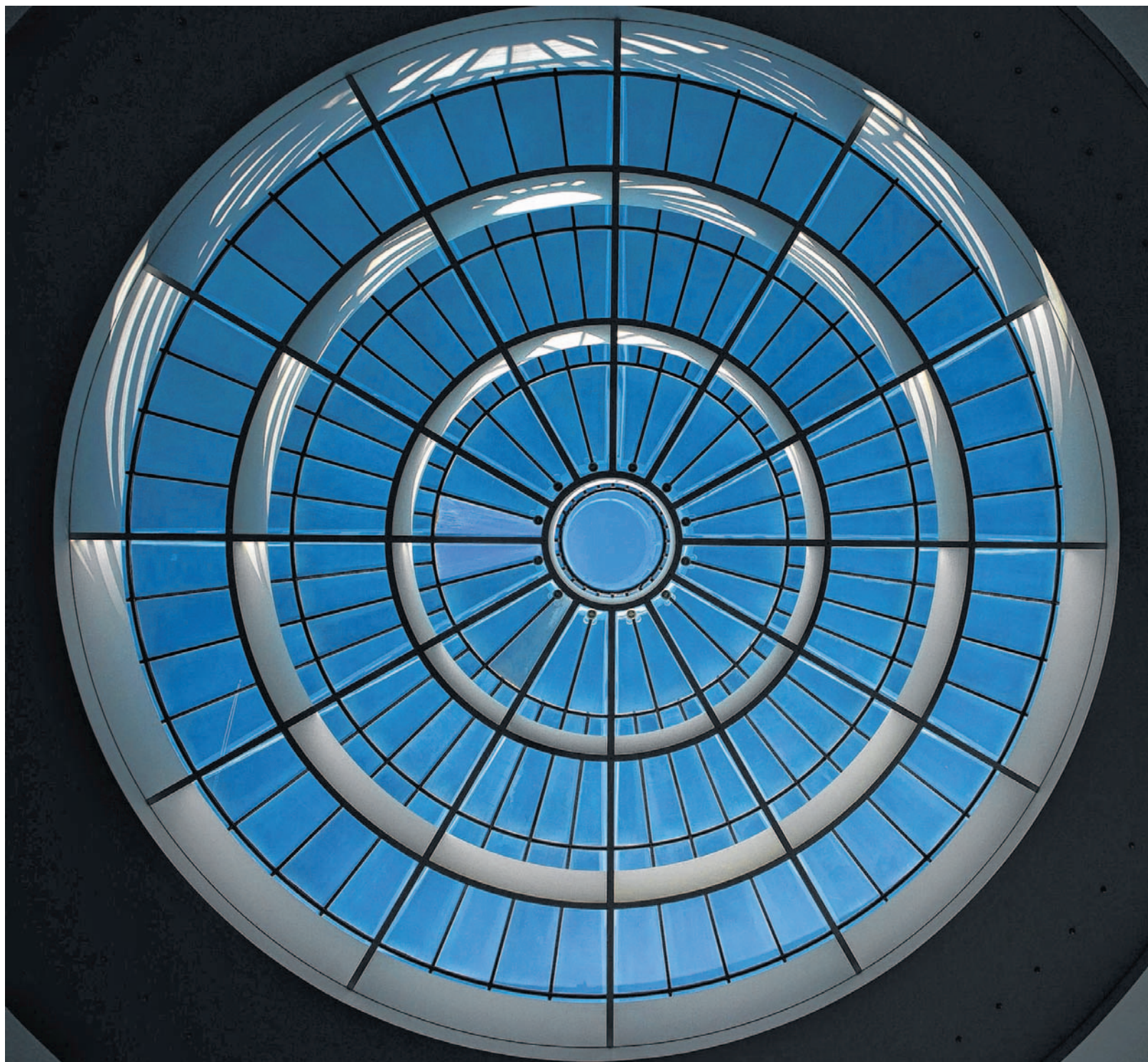
Es soll sogar möglich sein, das Sonnenlicht im Raum wie bei einem Spot aktiv zu steuern. Je nachdem, wo etwa im Großraumbüro Menschen sitzen, streut das Fenster das Außenlicht tief in den Raum, wo sonst künstliche Beleuchtung eingeschaltet wird.

Millionen kleinster Spiegel, verbaut im Luftspalt zwischen doppel- oder dreifachverglasten Fenstern, machen diese Lichtsteuerung möglich. Hillmers erstes Vorzeigefenster ist zunächst nur ein zehn mal zehn Zentimeter messendes Fensterchen. „Rund 100.000 Mikrospiegel geben dem Glas eine leichte Tönung“, sagt Mitarbeiter Volker Viereck. Mit einer elektrischen Spannung zwischen null und 40 Volt lassen sich die Spiegelchen auslenken und damit Reflexion und Transparenz steuern.

Silber trifft Aluminium

Mit einem recht einfachen Produktionsprozess aus der Halbleitertechnik können die Forscher eine Glasschicht mit diesen Spiegelchen rasterartig übersäen. Auf der Glasscheibe befindet sich zunächst eine transparente Silberschicht. Kleine, mit Aluminium bedampfte Scheibchen stehen davon ab. Eine elektrische Spannung zwischen beiden Metallen kann nun die Auslenkung des Spiegelscheibchens steuern. Ein einzelnes Spiegelchen misst etwa ein Zehntel mal einen halben Millimeter. Das sieht sehr zerbrechlich aus. Tatsächlich sind diese Mikrostrukturen sehr robust. „Die Lebensdauer beträgt 30 Jahre“, sagt Hillmer. Die Ausgangsmaterialien sind billig, und „das System ist komplett recycelbar“, betont der Forscher. Da sich die Mikrospiegel in der mit Edelgas gefüllten Innenschicht von mehrfach verglasten Scheiben befinden, sind sie gut geschützt.

Derzeit haben die Forscher eine Lichtdurchlässigkeit von einstellbaren sechs bis 70 Prozent erreicht. „Ganz dunkel bekommen wir die Scheibe noch nicht“, meint Hillmer. Der Energieverbrauch des aktiven Fensters liegt bei 0,2 Milliwatt pro



Die Fenster-Rotunde in der Pinakothek der Moderne in München. Nicht nur für Museen, sondern auch für Bürogebäude kommt der Lichtführung eine erhebliche Bedeutung zu, erhöhen beispielsweise großflächige Glasfassaden im Sommer den Energiebedarf für Kühlung. BILD: DPA

Quadratmeter. „Das kann man mit einer Minisolarzelle im Fensterrahmen erzeugen“, sagt der Forscher.

Bislang sieht das Konzept vor, alle Mikrospiegel gemeinsam anzusteuern. Interessant wird die Technik aber, wenn die Spiegel auf Teilbereichen von Zentimetern oder Dezimetern getrennt auszulenken sind: Während die überwiegende Fensterfläche die Sommerhitze draußen hält oder vor Blendlicht schützt, dirigieren andere Fensterpartien das Licht in den Raum oder an die Decke. Mit einem Bewegungsmelder könnte das aktive Fenster auch einer Person per Lichtkegel folgen. An trü-

ben Wintertagen hätte dann eine Person genügend Außenlicht für Schreibtischarbeit.

Das Lichtdesign für Büro und Arbeitsplatz hat mit diesem Konzept neue Optionen. „Ich selbst kenne die Situation, dass die Sonne von draußen stark blendet. Ich lasse dann Rollos herunter, um am PC vernünftig arbeiten zu können“, sagt Viereck. Mit den aktiven Fenstern könnte hingegen der Arbeitsplatz um den Computermonitor gezielt abgedunkelt werden. Der Rest im Raum bleibt hell – und das Kunstlicht aus. Ein ähnliches Problem zeigt sich bei großen Messehallen: Draußen

scheint die Sonne, aber Kunstlicht leuchtet in den Hallen. Dieser großzügige bis verschwenderische Umgang mit Energie ist irrwitzig, äußert sich der Forschungsleiter eines großen, deutschen Energieversorgers. „Wenn die Kilowattstunde Strom ein paar Euro betragen würde, käme keiner auf die Idee, so zu bauen.“ Doch auch die aktiven Fenster sind nicht billig. Die ersten Muster sind „noch unbezahlbar“, sagt Viereck. In Serie könnte sich der Preis auf 1000 Euro pro Quadratmeter einklinken. „Das ist auch teuer. Doch die sogenannten Early Adapters unter den Architekten sind bereit, das zu zahlen.“

Aktives Glas

Architekten suchen dringend nach ästhetischen Möglichkeiten, große Glasflächen zu verschatten.

In der Gesamtenergiebilanz von Bürogebäuden steht das **Kühlen im Sommer** an oberster Stelle.

Um Mikrospiegel-Fenster großflächig herzustellen, müssen Glashersteller geeignete **Produktionsverfahren** anbieten.

In **ein paar Jahren** könnte das intelligente Fenster Wirklichkeit werden.

WISSENSWERT

Keine Frage der Intelligenz

Inwieweit sind Schulleistungen vorhersagbar? Psychologen der Universität Hildesheim haben in einer Längsschnittstudie herausgefunden, dass in der frühen Kindheit vor allem die Leistung des Arbeitsgedächtnisses und weniger Intelligenz spätere Schulleistungen beeinflusst. Das Arbeitsgedächtnis wird zum Beispiel benötigt, um einen Satz inhaltlich zu verstehen. Ergebnis: „Risikokinder“ können früh erkannt und gefördert werden – was bisher zu wenig beachtet wird, sagt Claudia Mähler. *idw*

Die Welt der Wolken

Ein Durchbruch für das Verständnis von Wolken und Niederschlag – und deutlich genauere Modelle für Wetter und Klima: Diese Hoffnungen knüpfen rund 120 Forscher, davon sieben der Universität Hohenheim, an die Messkampagne „HOPE“. Sie findet statt im Rahmen des mit elf Millionen Euro geförderten Forschungsprojekts „Wolken- und Niederschlagsprozesse im Klimasystem“ und untersucht sowohl die räumliche Struktur von Wolken als auch deren Partikelzusammensetzung. „HOPE“ soll ein nahezu vollständiges Bild von der Entstehung der Wolken liefern. Sie findet von April bis Juli rund um das Jülicher Forschungszentrum statt. *red*

Bergmotiv vom Mars

Beeindruckende Bergaufnahme vom Mars: Die US-Raumfahrtbehörde Nasa hat ein Mosaikfoto von dem Berg Mount Sharp veröffentlicht, der mehr als 5000 Meter hoch über den umliegenden Kraterboden auf dem Roten Planeten herausragt. Der Marsrover „Curiosity“ hatte zahlreiche Telearbeiten von dem Berg am 45. Tag seiner Mission geschossen. *dpa*

Mutation von Schwalben

Die Evolution hilft einigen Vögeln offensichtlich, immer besser mit dem Straßenverkehr klarzukommen. So ist die Zahl der von Autos getöteten Fahlstirnschwalben im US-Bundesstaat Nebraska in den vergangenen 30 Jahren erheblich zurückgegangen. Ein Grund sei unter anderem, dass die Flügel der Vögel in dem Zeitraum immer kürzer geworden seien, vermuten US-Forscher. Dadurch könnten die Schwalben besser ausweichen, wenn sich ein Auto nähert. *dpa*

Kosmopolitische Kalmare

Riesenkalmare sind offenbar unterseeische Kosmopoliten: Wie genetische Untersuchungen nahelegen, lebt in den Weltmeeren nur eine einzige Art der riesigen Tintenfische. Die Jungtiere treiben vermutlich mit den Meeresströmungen um den Globus, schreibt ein internationales Forscherteam in den „Proceedings B“ der britischen Royal Society. Inger Winkelmann von der Universität Kopenhagen und Kollegen analysierten DNA von 43 Riesenkalmaren aus unterschiedlichen Meeren. Sie bestätigten die Hypothese, dass es weltweit nur eine Art von Riesenkalmaren gebe: *Architeuthis dux*. *dpa*

Wichtiger Wasserweg im Auftrag des Kaisers

ARCHÄOLOGIE: Forscher wollen das Geheimnis des Karlsgrabens lüften, des ersten Main-Donau-Kanals. Wie hat er funktioniert, lautet die Frage, und wo genau verlief er? **VON KLAUS TSCHARNKE**

Manche halten ihn für die größte Investitionsruine des Mittelalters, andere für die bedeutendste Ingenieursleistung der Karolinger Zeit. Die Wahrheit bleibt bis heute im Dunkeln. Auch archäologische Untersuchungen in den 1990er Jahren konnten die wichtigste Frage nie beantworten: War der vor mehr als 1200 Jahren entstandene Karlsgraben bei Treuchtlingen im südlichen Mittelfranken tatsächlich der erste funktionierende Main-Donau-Kanal der Geschichte?

Jetzt wollen Wissenschaftler der Universitäten Leipzig und Jena das Geheimnis des Karlsgrabens zusammen mit dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege lüften. Erste Probebohrungen in der baumgesäumten Wasserfläche bei der Ortschaft Graben, Landkreis Weißen-

burg-Gunzenhausen, habe es bereits vor einigen Monaten gegeben. Im Frühjahr sollen die Forschungsarbeiten in und um den Karlsgraben weitergehen, teilte das Bayerische Landesamt mit.

Kette an Weihern

Obwohl mittelalterliche Chroniken stets Zweifel an der Funktionsfähigkeit des Karlsgrabens nährten – nach Einschätzung des Bayerischen Landesamts für Denkmalschutz spricht vieles für das Gegenteil. Zwar glauben auch Archäologen der Behörde nicht an einen durchgehenden Kanal zwischen den Flüssen Rezat und Altmühl. „Man muss wohl eher von einer Weiher-Kette ausgehen, zu der eine auch der heutige Karlsgraben gehört hat“, sagt die Leiterin der Stabsstelle „Lineare Projekte“, Stefa-

nie Berg-Hobohm. Davon ist seit Jahren der frühere Leiter des inzwischen aufgelösten Nürnberger Talsperrren-Neubauamts, Hans Trögl, überzeugt: „Der angelegte Wasserweg war rund 20 Jahre in Betrieb – von 793 bis 813.“ Die Kähe hätten die unterschiedlich hohen Weiher beim Passieren der europäischen Wasserscheide über Rampen aus feuchtgehaltenen Rundhölzern überwunden.

Die Baumeister Karls des Großen wählten den Abschnitt nicht zufällig, ist er doch die kürzeste und niedrigste Landbrücke zwischen dem Flusssystem von Main und Donau. Wollte man auf große Erdbewegung verzichten, wie etwa beim Bau des im 19. Jahrhundert erbauten König-Ludwig-Kanals, blieb nur die Senke zwischen Weißenburg und Treucht-

lingen. Der Höhenunterschied zwischen der zum Main fließenden Fränkischen Rezat und der zur Donau hinfließenden Altmühl beträgt in dem Bereich nur etwa 15 Meter.

Suche nach Gräben und Mauern

Mit einem dichten Netz von Probebohrungen wollen Wissenschaftler unter Leitung des Leipziger Geo-Archäologen Christoph Zielhofer die Umgebung des Karlsgrabens nach Hinweisen auf frühere Teiche erkunden. Die Radiocarbonmethode soll helfen, das Alter der verschiedenen Bodenschichten zu ermitteln.

Geophysikalische Messungen sollen Baustrukturen wie Gräben oder Mauern im Untergrund sichtbar machen. Die Forscher hoffen, auf Reste früherer Baulager oder auf andere Holzbauten zu stoßen. „Wir

gehen davon aus, dass im Umfeld des Karlsgrabens Gebäude gestanden haben. Daher beschränken wir uns nicht auf den Karlsgraben, sondern beziehen die Umgebung mit ein“, erläutern Archäologen.

Bisher hatten vor allem die nach dem Tod Karls des Großen verfassten „Einhardts-Annalen“ Zweifel an der Funktionsfähigkeit des Kanals geweckt. Dem Chronisten zufolge zwangen Regenfälle 793 zum Abbruch der Arbeiten. „Wie viel Erde bei Tag von den Grabenden herausgeschafft wurde, so viel setzte sich wieder bei Nacht, indem die Erde wieder an ihre alte Stelle einsank“, heißt es darin. Manche Historiker halten die Berichte aber für eine Geschichtsfälschung Ludwigs des Frommen, der die Leistung Karls des Großen habe schmälern wollen.



Ein Riesenkalmar liegt im Hafen von Melbourne, Australien. BILD: DPA

Kooperative Schimpansen

Schimpansen sind Teamworker. Das hat ein deutsch-britisches Forscherteam herausgefunden. Die Wissenschaftler gaben zwei Schimpansen gemeinsam die Aufgabe, Trauben aus einer Kiste zu holen. Dazu bekam der eine Affe zwei Werkzeuge. Zehn von zwölf Schimpansen gaben eines der Werkzeuge weiter. *dpa*