



WIR MÜSSEN HIER RAUS!

Ein Moment der Panik: Rauch, Feuer, Sirenen. Doch plötzlich ist da eine Tür, die ins Freie führt. Wenn es nur so einfach wäre. Der Notausgang ist eine Wissenschaft für sich

Text **Paul Hildebrandt** Fotos **Katrin Binner**

Ein quietschgrünes Schild, genormt nach internationalen Standards, soll das Unmögliche schaffen: den Moment des größten Chaos organisieren. Dutzende Paragraphen schreiben vor, wie der rettende Notausgang auszusehen hat. Sie regeln, wie breit die Tür sein soll, in welche Richtung sie sich öffnet, oder die Farbe der Schilder. Aber lässt sich der Notfall tatsächlich perfekt vorausplanen?

Schon die Perser bauten vor 2000 Jahren Geheimgänge in ihre Bergfestungen, der biblische König Herodes ließ sich einen Fluchtweg für seine Burg Antonia in Jerusalem entwerfen, und im 13. Jahrhundert gab Papst Nikolaus III. einen Notausgang für den Vatikan in Auftrag, um seinen Feinden im Notfall entkommen zu können. Heute gibt es Notausgänge für Wohnhäuser und Sportstadien sowie für Flugzeuge oder Schiffe. Bei jeder Massenveranstaltung wird ein Experte zurate gezogen, der ein Konzept für die Notausgänge entwickelt. Und trotzdem kommt es immer wieder zu Unglücken. Auch bei der Loveparade 2010 trampelte die Masse 21 Menschen zu Tode. Kann die Wissenschaft helfen, solche Tragödien zu verhindern?

Das Problem ist, ein Notfall lässt sich nicht vorhersehen. Wissenschaftler nähern sich dem Notausgang deshalb aus unterschiedlichen Richtungen: Sie erforschen das menschliche Fluchtverhalten, untersuchen, auf welche Reize wir reagieren, sie beobachten das Verhalten von Gruppen und analysieren, welchen Einfluss Architektur hat. Wer die Notausgangsforscher ein Stück begleitet, lernt etwas über sich selbst.

Psychologie

Zehn Menschen sitzen in einem Wartezimmer, plötzlich quillt Rauch aus einer Lüftungsanlage, dicht und schwarz. Die Luft wird schlecht, das Atmen fällt schwer, doch niemand ergreift die Flucht. Wäre das kein Experiment – alle diese Menschen wären gestorben. Die Notausgangsforschung setzt schon im Moment der Flucht an. Ob Menschen im Notfall überleben, hängt davon ab, wie schnell sie fliehen. In dem Rauch-Experiment aus den Siebzigerjahren wiesen die US-amerikanischen Psychologen John Darley und Bibb Latané einen Teil der Gruppe an, sitzen zu bleiben. Die restlichen Probanden wussten davon nichts. Sie orientierten sich an den anderen – und blieben ebenfalls sitzen. »Bystander-Effekt« nennt die Wissenschaft die Orientierung an der Masse. Dieser Effekt kann auch genau entgegengesetzt wirken: Menschen rennen in Panik anderen Menschen hinterher – wie ein kollektiver Fluchtreflex.

Schon Neugeborene orientieren sich in die Richtung, aus der ein lautes Geräusch kommt. Später lernen wir: Lärm bedeutet Gefahr. Dieses Verhalten lässt sich nutzen, um Fliehende in Paniksituationen zu lenken. Für Alarmanlagen gibt es deshalb eine Mindestlautstärke.

Trotzdem werden Rauchmelder in einigen Fällen nicht gehört. Wissenschaftler haben nun entdeckt: Nicht die Lautstärke ist entscheidend, sondern die Frequenz – und die war lange viel zu niedrig angesetzt.

Der Grund dafür hängt mit einem Urinstinkt zusammen. Schon Schreie von Neugeborenen versetzen Menschen in Alarmbereitschaft. Der deutsche Forscher David Pöppel fand heraus, dass Neugeborene in einer schnell wechselnden Frequenz zwischen 30 und 150 Hertz schreien. Man nennt das einen »rauen Ton«. Dieser Ton wird nun auch bei Sirenen benutzt.

Auch Lichtsignale nutzt die Wissenschaft, etwa am Boden leuchtende Schienen wie in Flugzeuggängen, die zum Ausgang führen, und Vorschriften regeln die sogenannte Lichtdichte von Notausgangsschildern. Im deutschen Baurecht ist das die Verordnung DIN EN 1838. Sie legt fest, wie viel Licht vom Schild beim Empfänger ankommen muss. In Zahlen: 1,0 Lux.

Neurowissenschaft

Ob in Mumbai, Peking oder London: Überall auf der Welt weist die exakt gleiche Farbe zum Notausgang: hellgrün. Auf dem RGB-Farbspektrum hat sie den Wert 0/142/94. Aber warum sind die Schilder grün? Farben helfen zunächst dem räumlichen Sehen. Sie verstärken den Kontrast zwischen Gegenständen. Das Farbsehen wird sich durch Mutationen entwickelt haben und half damit den Primaten, besser die Früchte zu erkennen. Hinter der Netzhaut liegen dafür drei Zapfen, die von bestimmten Lichtwellen angeregt werden. Besonders stark reagieren sie auf die Farben Rot und Grün. Selbst im Dunkeln lassen sich diese Farben erkennen.

Das menschliche Farbgedächtnis verknüpft außerdem Dinge, die wir schon sehr oft gesehen haben, mit einer bestimmten Farbe – und mit einer Erwartung. Um das zu beweisen, hat Christoph Witzel von der Universität Bielefeld Bilder von Bananen in Schwarz-Weiß gedruckt und sie Versuchspersonen vorgelegt. Ein Großteil der Befragten war trotzdem überzeugt: Die Banane auf dem Bild habe gelblich geschimmert.

Der Psychologe Karl Gegenfurtner sagt, die Auswahl der Signalfarben Rot und Grün sei ursprünglich für Züge gedacht gewesen. Rot sei als Stoppfarbe verwendet worden, weil es am wenigsten Licht filtert und deshalb am hellsten leuchtet. Andere Wissenschaftler glauben, die Farbe Rot sei genetisch in unserem Hirn gespeichert, von Geburt an würden wir stark auf sie reagieren. Grün, sagt Gegenfurtner, sei dann als Kontrastfarbe für die Weiterfahrt der Züge gewählt worden. Seitdem sind Rot und Grün Signalfarben: Bei Rot musst du stehen, bei Grün darfst du gehen. Das hat sich in unser Farbgedächtnis gebrannt, und Rettungsschilder weltweit nutzen das. Nur in einigen Bundesstaaten der USA werden noch immer rote Exit-Schilder verwendet. Dabei haben Studien längst gezeigt: Selbst US-Amerikaner, die

mit roten Notausgangsschildern aufgewachsen waren, orientierten sich in Experimenten eher an grünen als an roten Schildern. Ihr Gehirn wurde ein Leben lang auf bestimmte Farben konditioniert. Bei der Flucht nach draußen suchen sie auch deshalb instinktiv danach. Sie haben von klein auf gelernt: Grün heißt gehen.

Verhaltensbiologie

Es ist heiß an diesem Julitag im Jahr 2010 in Duisburg, Staubwolken hängen in der Luft. In der Ferne wummert ein Techno-Beat, der die Menschen magisch anziehen scheint. Einige von ihnen klettern den Hügel empor, andere wollen hinterher. Sie drücken und schieben, doch es gibt keinen freien Notausgang. Eine Panik bricht aus, die Loveparade wird zur Todesfalle.

Panik ist ein natürliches Verhalten. Sie funktioniert bei jedem Menschen ähnlich: Der Körper schaltet in den Fluchtmodus. Außerdem orientiert sich der Mensch an seiner sozialen Umgebung. Das bedeutet: Um ein Unglück wie in Duisburg verhindern zu können, muss man zunächst das Verhalten von Massen verstehen. Dabei können Fischeschwärme helfen. In einem Labor des Leibniz-Instituts in Berlin stehen Aquarien, in denen Guppys schwimmen. Allerdings verhalten sich die Fische seltsam. In starren Bahnen schwimmt ein Fisch im Viereck, wieder und wieder – und der Guppy-Schwarm schwimmt ihm hinterher. Was die Guppys nicht wissen, ihr Anführer ist ein Roboterfisch. Ein bunt schimmernder Plastikfisch, der mithilfe eines Magneten am Beckenboden gelenkt wird. Täuschend echt, entwickelt, um auszutesten, wie man einen Schwarm beeinflussen kann. Mithilfe eines solchen Roboterfisches sollen Massenpaniken verhindert werden.

Jens Krause hat sich den Versuch ausgedacht. Der Verhaltensbiologe glaubt, dass sich menschliche Gruppen genau wie diese Fische an Führungspersonen und nicht an der breiten Masse orientieren. Um seine These zu beweisen, hat der Biologe Versuchspersonen durch Turnhallen laufen lassen. Obwohl er ihnen keine Vorgaben machte, entwickelte sich ein Kreis, in dem fast alle Versuchspersonen in die gleiche Richtung liefen. »Unsere Experimente haben gezeigt: Wie Schwarmfische beziehen sich auch Menschen aufeinander«, sagt Krause. Obwohl die Menschen sich nicht kennen, bilden sie instinktiv eine feste Gruppe. Und diese Gruppe lässt sich manipulieren oder steuern.

Dafür hatte Krause einige Personen eingeschleust, die wie der Roboterfisch gezielt in eine bestimmte Richtung steuerten. Und auch hier folgte die Masse. Die Erklärung: Die Gruppe befindet sich in einer fremden Umgebung, deshalb orientiert sie sich an jenen, die vermeintlich mehr Informationen besitzen. Wie clever sich eine Masse verhält, das hängt also von einzelnen Mitgliedern ab. Schwarmintelligenz heißt in Wahrheit, sich von den richtigen Personen leiten zu lassen.

Ob sich ein Schwarm oder eben eine Gruppe überzeugen lässt, dafür gibt es einen Schwellenwert. Der ist abhängig vom Vorwissen und der Gruppengröße. Bei Menschen in einer ihnen unbekanntem Umgebung liegt er etwa bei zehn Prozent. Also: Bei einer Gruppe von hundert Menschen etwa reicht es aus, zehn Personen in eine Richtung zu lenken – und die anderen folgen blind. Sie vertrauen der kleinen Gruppe, weil ihnen selbst die Informationen fehlen. Die Verhaltensbiologie zeigt also, dass selbst das Chaos festen Regeln folgen kann.

Soziophysik

Die vielleicht größte Herausforderung für die Notausgangsforschung liegt in der Wüste. Die Stadt Mekka ist Schauplatz für den bedeutendsten Massenevent der Welt. Mehr als drei Millionen Menschen reisen jedes Jahr zeitgleich nach Saudi-Arabien, um einen Stein auf eine schwarze Säule zu werfen. Die Massen strömen dafür über schmale Wege, aus denen es fast kein Entkommen gibt. Stockt der Strom, trampeln sich die Pilger zu Tode. Im Jahr 2015 starben dort mehr als 2000 Menschen bei einem Unglück. Um das zu verhindern, haben die saudischen Scheichs Dirk Helbing engagiert. Er ist so etwas wie ein Star der Notausgangsforschung. Helbing speist jede einzelne Person in seinen Rechner ein und simuliert so die gesamte Masse. Mithilfe von Filmaufnahmen analysiert er Fußgängerzonen und Großveranstaltungen. Aus diesen Daten entwickelt er Formeln, die den Individuen bestimmte Bewegungen und Kräftevektoren zuteilen. Auf seinem Bildschirm werden sie als rote Punkte dargestellt, die durch ein virtuelles Zimmer hüpfen. Jeder dieser Punkte bewegt sich nach bestimmten Anziehungs- und Abstoßungskräften. Damit simuliert Helbing den Notfall.

Auf einen Tastendruck strömen alle Punkte gleichzeitig zum Ausgang. In der Tür ballen sich die Menschen zu einer Art Pfropfen und bleiben gemeinsam stecken. Ein Moment, der in der Realität über Leben und Tod entscheidet. Helbing nennt das den »*faster-is-slower-effect*«. Das bedeutet: Wenn Menschengruppen versuchen, so schnell wie möglich einen Raum zu verlassen, behindern sie sich gegenseitig und werden folglich langsamer. Helbing sagt: »Man kann sich das vorstellen wie bei einer Cornflakes-Packung.« Schüttet man zu schnell, verstopfen die Cornflakes die Öffnung.

Für das Problem hat er eine simple Lösung gefunden: Anstatt alle Menschen so schnell wie möglich durch den Ausgang zu schleusen, muss der Strom an der richtigen Stelle unterbrochen werden. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, ist ein mehrfach geknickter Gang, wie vor einem Flughafenschalter, und eine andere ist die sogenannte Anti-Panik-Säule. Gemeint ist damit ein Hindernis, das kurz vor dem eigentlichen Notausgang aufgestellt wird. Steht die Säule im richtigen Winkel zur Tür, spaltet sie den Menschenstrom und verlangsamt ihn

gezielt. So verhindert die Säule eine Blockade. Doch was unkompliziert klingt, erfordert in Wahrheit genaueste Berechnungen. Helbing nennt das: Soziophysik. Also eine Wissenschaft, die soziologische Erkenntnisse und physikalische Berechnungen verbindet. Ein entscheidender Schritt für die Erforschung von Notausgängen.

Virtuelle Realität

Ein dunkler Tunnel: Rauchschwaden treiben durch die Luft, im Rücken lodern Flammen, es riecht nach Öl und Feuer – doch keine Hitze ist zu spüren. Denn diesen Tunnelbrand hat es nie gegeben. Wir befinden uns in einer täuschend echten Simulation. Um herauszufinden, wie Notausgänge in Zukunft optimiert werden könnten, nutzt die Wissenschaft virtuelle Realitäten. In klassischen Versuchen gab es immer ein Dilemma zwischen dem Anspruch, das Experiment genau kontrollieren zu können – und dem Wunsch, der Realität möglichst nahe zu kommen. Bisher konnte man auf Unglücke reagieren.

Max Kinaterer forscht am Dartmouth College in den Vereinigten Staaten daran, Notfälle vor auszuplanen. Um das Verhalten von Versuchspersonen zu analysieren, versetzt er die Probanden mithilfe von Virtual-Reality-Brillen in simulierte Tunnel. In seinem Labor erzeugen Geräusche und Winddüsen ein Gefühl von Realität. In der Simulation kann Kinaterer alle Einflussfaktoren seines Experiments verändern und die Reaktion der Versuchspersonen genau beobachten: Welche Schilder helfen, den Notausgang zu finden? Wie reagieren Menschen auf eine schnelle Rauchentwicklung? Er sagt: »In der Simulation können wir endlich lernen, den wichtigsten Parameter zu verstehen: den Faktor Mensch.«

Bei Tunnelbränden beispielsweise sind immer wieder Menschen in ihren Autos sitzen geblieben, anstatt den Notausgang zu suchen. In der Simulation merkte man: Wie fast alle Menschen fürchten sich diese Versuchspersonen unterbewusst davor, ins Ungewisse zu laufen. Daraufhin wurden in vielen Tunneln die Abstände zwischen den Schildern verringert. In einem anderen Versuch tippte eine Frau verzweifelt auf ein

leuchtendes Notausgangsschild. Sie hatte das besonders große Schild auf Kopfhöhe für einen Touchscreen gehalten, der den Fluchtweg anzeigt. Ein Designfehler, der in der »echten« Realität zum Unglück führen könnte.

Intelligente Architektur

Der Notausgang der Zukunft weiß genau, wo es brennt und wie schnell sich das Feuer ausbreitet, noch bevor es die Hausbewohner wissen. Winzige Computer leiten die Fliehenden sicher aus dem Gebäude. Alexa, Siri und Co beweisen es: Das Internet der Dinge hat Alltagsgegenstände in aufmerksame Helfer verwandelt. Der Forscher Uwe Rüppel von der Universität Darmstadt ist davon überzeugt, dass es bald »intelligente Notausgänge« geben wird.

Die Grundlage für Rüppels Vision ist ein einfaches Computermodell, das sogenannte Building Information Model (BIM), eine Art digitales 3-D-Modell, in das alle Informationen eines Hauses eingespeist werden: Wie dick sind die Wände, welche Materialien wurden verbaut, wo verlaufen welche Rohre?

Noch immer hängen in großen Gebäuden komplizierte Pläne, auf denen die Fluchtwege eingezeichnet sind. Von der Feuerwehr wird oft empfohlen, sich bei einem Hotelbesuch damit vertraut zu machen. Im Ernstfall helfen sie nicht. Über ihre Smartphones hingegen lassen sich Menschen in einem Haus mittlerweile sehr genau orten. Das BIM funktioniert dann wie eine

virtuelle Karte, auf der sich die Fliehenden im Gebäude wiederfinden. Eine App könnte die Menschen sicher hinausleiten, die Feuerwehr würde die Fluchtbewegung in Echtzeit verfolgen und ihre Einsätze dementsprechend koordinieren.

Vor allem aber kann das BIM erleichtern, was bisher als Herausforderung galt: individuell abgestimmte Notausgänge zu planen. Jedes Gebäude funktioniert anders. Der perfekte Notausgang passt sich dem jeweiligen Ort und den dort befindlichen Menschen an. —

Paul Hildebrandt hat während der Recherche einen Tick entwickelt: Er kann keine Gebäude mehr betreten, ohne nach einem Fluchtweg Ausschau zu halten.

