

Von Benjamin Brackel

Es begann mit einem Blitzschlag, dann standen die Flammen vor Jasper. In der Nacht hüllte dichter Rauch die Kleinstadt in den kanadischen Rocky Mountains ein, und Asche und glühendes Material von den Bäumen regnete auf sie hinab. Während die Feuerwehrleute Sprinkleranlagen als Verteidigungslinie aufbauten und die Glutnester zu löschen versuchten, schossen aus einer annähernd 100 Meter hohen Feuerwand brennende Kiefernzapfen auf sie, wie lokale Medien berichteten.

Damit nicht genug tobte auch noch ein Wind, den die Feuerwehrleute mit einem Hurrikan verglichen. Er war so stark, dass er 150 Jahre alte Bäume aus der Erde riss und das Feuer wie ein riesiger Blasebalg anfaschte, sodass es außer Kontrolle geriet. Ein Drittel des beliebten Touristenorts brannte ab.

In Kanada beginnt gerade die Hauptwaldbrandsaison. Bislang sind 1,5 Millionen Hektar Wald abgebrannt; damit ist bereits zu diesem Zeitpunkt etwa der Jahresdurchschnitt des vergangenen Jahrzehnts erreicht. „Insgesamt wird es für Kanada und vor allem den Westen des Landes eines der extremsten Brandjahre der letzten zwei Jahrzehnte“, sagt der Atmosphärenphysiker Mark Parrington vom Copernicus-Klimadienst, der die Waldbrandemissionen mithilfe von Satellitenmessungen untersucht. „Wenn auch nicht auf dem Niveau vom Jahr 2023.“

Schon der Rauch ist eine Gefahr für die Siedlungen

Dabei unterscheiden die kanadischen Feuerbekämpfer vier Kategorien an Bränden, auf die sie ganz unterschiedlich reagieren.

Erstens solche, die bereits eingedämmt sind und aller Voraussicht nach bald gelöscht werden.

Zweitens die Brände, die sich unter den vorherrschenden Wetterbedingungen zwar noch ausbreiten, aber das voraussichtlich nicht über ein Gebiet hinaus, das etwa durch Flüsse und Brandschutzschneisen eingegrenzt wurde.

Dann gibt es die Feuer, die nur beobachtet, aber nicht unmittelbar eingedämmt werden – etwa in unbewohntem Gebiet. Oder aber, weil es dafür ökologische oder andere Gründe gibt.

Die problematischste Kategorie sind die Feuer, die außer Kontrolle geraten sind und Flächen bedrohen, die von Menschen genutzt werden. In dem Fall fruchten alle Maßnahmen nicht mehr, es einzudämmen – das Feuer reagiert einfach nicht mehr darauf. Und breitet sich unkontrolliert aus.

Auch in den USA wüten derzeit große Feuer, darunter das „Park Fire“ in Nordkalifornien. Es hat 150 000 Hektar Land verschlungen und ist damit bereits der siebtgrößte Brand seit Beginn der Aufzeichnungen. In zwei Countys mussten rund 8000 Menschen in Sicherheit gebracht werden. Großflächige Brände gibt es derzeit auch in anderen Erdteilen, darunter Sibirien. An sich ist es nicht ungewöhnlich, dass es zu dieser Jahreszeit dort brennt, allerdings beobachten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine neue Qualität. „All diese Regionen haben eines gemein – und das ist, dass sie trockener sind und viel höhere Oberflächentemperaturen aufweisen als gewöhnlich“, sagt Parrington. Dieses „Feuerwetter“ mache die Landschaft leichter entflammbar. Kommen dann noch heißere und trockenere Winde dazu, können die Brände „wirklich große Ausmaße“ annehmen.

Und dann lassen sie sich auch schwerer von Städten und Dörfern fernhalten. Wie im Falle des Ferienorts Jasper, wo alle 25 000 Einwohner in Sicherheit gebracht werden mussten. Oder wie in Fort McMurray im Jahr 2016. Ein Großteil der Stadt, die ebenfalls in der kanadischen Provinz Alberta liegt, brannte damals ab, und fast 100 000 Menschen mussten innerhalb eines Tages fliehen – die größte und schnellste Evakuierung aufgrund von Feuer in der



Die Flammen in Kalifornien greifen auf den Highway 36 über (links). Im kanadischen Jasper kämpfte die Feuerwehr um jedes Haus (oben). Der Brand hinter Beelitz bei Berlin im Juni 2022 konnte wenige Hundert Meter vor der Siedlung gestoppt werden.

FOTOS: NOAH BERGER/DPA, AMBER BRACKEN/DPA, CHRISTIAN MANG/REUTERS



Wenn der Waldbrand in die Stadt kommt

In Kanada und Kalifornien zwingen Feuer Tausende Menschen zur Flucht. Experten fordern: Auch Deutschland muss sich darauf einstellen.

Geschichte Nordamerikas. Besonders verheerend war auch das sogenannte Camp Fire im nordkalifornischen Ort Paradise im Jahr 2018. Damals kamen 85 Menschen ums Leben, 19 000 Gebäude brannten ab. Aber auch in vielen anderen Teilen der Erde sind Siedlungen zunehmend von Waldbränden bedroht. Ende Juni mussten etwa mehrere Dörfer auf der griechischen Insel Serifos evakuiert werden.

Dabei müssen die Flammen noch nicht mal die Siedlungen erreichen. Wenn Wälder länger und intensiver brennen, wie es Parrington seit wenigen Jahren beobachtet, erzeugen sie große Mengen an Rauch. Bei entsprechender Windrichtung treibt dieser in die Städte, und das manchmal über große Distanzen. Im vergangenen Sommer nebelte der Rauch von kanadischen Waldbränden sogar New York ein. Ende Juli 2024 wurden nun selbst in der griechischen Stadt Thessaloniki Rauchschwaden aus Kanada entdeckt. „Waldbrandrauch ist sehr unangenehm“, sagt Parrington. „Er enthält viele wirklich giftige und unangenehme Chemikalien.“

Wildland Urban Interface – kurz WUI – wird der Übergangsbereich zwischen Wildnis und Siedlung genannt. Diese Fläche ist in den vergangenen Jahrzehnten stark angewachsen, da sich die Menschen mehr und mehr ausbreiten, seit 1985 um über zwölf Prozent – auf nun weltweit rund 6,6 Millionen Quadratkilometer, wie eine Studie im Fachjournal *Nature sustainability* Anfang dieses Jahres ergab. In Kanada befinden sich mehr als die Hälfte aller Häuser inzwischen in diesen Grenzbereichen. „Es ist ein wunderschöner Ort zum Leben, bis

er wild und grausam wird“, schreibt John Vaillant in seinem Buch „Feuerwetter“. „Wenn ein Waldbrand in eine Wohnsiedlung eindringt, bietet das dem Feuer ein Sammelsurium aus ofengetrocknetem Brennstoff, bedeckt mit Teerschindeln, garniert mit Gummireifen und Benzintanks. Bei den Hausbesitzern löst es Schock und Fassungslosigkeit aus, wenn sich dieselben Gebäude, die Komfort und Schutz bieten sollten, auf die furchterregendste Art und Weise gegen sie wenden.“

Seit mehr als 20 Jahren fokussiert sich die Bekämpfung von Landschaftsbränden in der USA auf die Wildland Urban Interface. Als Juliane Baumann im Jahr 2022 anging, darüber auch in Deutschland zu spre-

chen, konnte fast keiner etwas mit dem Begriff anfangen. „Wir tun immer noch so, als ob das ein Problem sei, das nur andere Länder angeht“, sagt die selbständige Beraterin für Waldbrandprävention. „Dabei besteht auch hierzulande ein Risiko.“

Der Bericht zur Waldbrandsaison 2022 des Landes Brandenburg hat das Problem zum ersten Mal anerkannt – nach einer Reihe von Waldbränden, die Siedlungen bedrohten. Wie in Treuenbrietzen, wo nach heftigen Bränden im Jahr 2018 Anwohner in Sicherheit gebracht werden mussten, und erneut 2022. Baumann fragt: „Wie kann das sein, dass vier Jahre später die gleichen Flächen wieder geräumt werden mussten?“ Sie kritisiert, dass zwar neue

Löschfahrzeuge gekauft wurden, aber kaum etwas bei der Prävention passiert sei. Dabei sei Treuenbrietzen keineswegs die Ausnahme. „Müssen wir erst warten, bis ganze Siedlungen abbrennen?“

In Beelitz, wo es 2018 und 2022 brannte und Anwohner in Sicherheit gebracht werden mussten, arbeitet Baumann derzeit im Auftrag der Stadt daran, es besser zu machen.

Hecken oder auch aufs Dach hängende Äste machen Häuser anfällig

Auf einer Länge von zwei Kilometern ist am Rand des Ortsteils Fichtenwalde bereits eine Pufferzone zum Wald entstanden. Sie setzt sich zusammen aus einem drei Meter breiten „Wundstreifen“, der frei ist von Vegetation und jedes Frühjahr geeggt wird, einem 25 Meter breiten „Schutzstreifen“ mit lichten Baumbestand und niedriger Vegetation und einem 75 Meter breiten „Waldbrandriegel“, auf dem Laubbäume wachsen. Das soll aber erst der Anfang sein. Die Pufferstreifen sollen erweitert und ab nächstem Jahr mit Ziegen beeidet werden. Kürzlich ist Baumann am Ortsrand von Fichtenwalde von Haus zu Haus gegangen, hat Flyer verteilt und sich die Gärten angesehen. Überall sah die Öko-grammanagerin – die auch schon für die Spezialeinheit der katalanischen Feuerwehr im Einsatz war – potenzielle Gefahrenquellen: Büsche unter Bäumen, eine Hecke, die sich bis zum Haus erstreckt oder Bäume, die nur einen oder zwei Meter ne-

ben dem Haus stehen oder deren Äste sogar aufs Dach hängen. Sie bat die Bewohner, „realistisch darüber nachzudenken“, wie sich ein Feuer in ihren Gärten ausbreiten würde. Dann gab sie noch einen Rat: zwei Meter rund ums Haus kein Brennmaterial stehen lassen und die Vegetation so strukturieren, dass sie dem Feuer nicht erlaube, sich bis zum Haus auszubreiten.

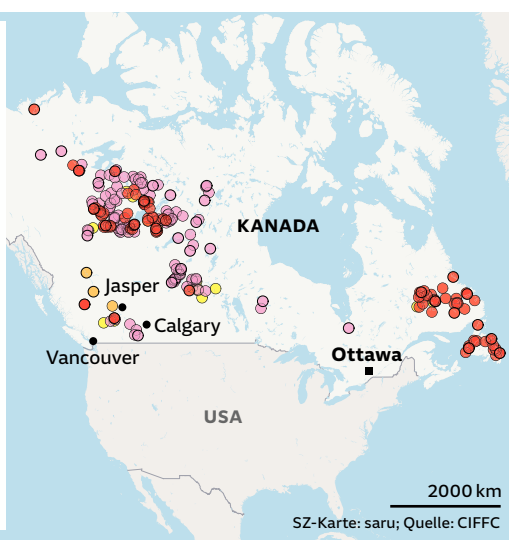
Die Siedlungen selbst bieten dem Feuer ideale Angriffsflächen. „Die sind manchmal brandlastiger als ein Waldgebiet“, sagt Baumann. Autos, Mülltonnen, plastikhaltige Inneneinrichtung und Ölkessel bieten dem Feuer beste Nahrung, schließlich sind alles entflammbare Ölprodukte. Und je dichter die Häuser beisammenstehen, desto leichter kann das Feuer von Haus zu Haus springen. „Alle wissen seit Jahrzehnten, dass Städte so gebaut sind, dass sie hochgradig entzündbar sind“, sagt auch der Feuerökologe Johann Goldammer von der Universität Freiburg. „Trotzdem tut keiner was.“

Die Feuerwehr stellt das vor neue Herausforderungen. „Wenn Brände in die Siedlungen reinkommen, multiplizieren sich die Probleme“, sagt Baumann. Das liege auch daran, dass dort mehr Barrieren existieren und das Feuer überall bekämpft werden muss, schließlich gilt es, jedes Haus zu verteidigen. So hatte es die Feuerwehr auch in Jasper versucht; doch 358 Gebäude musste sie aufgeben, darunter die Häuser des lokalen Feuerwehrchefs und des Bürgermeisterins. Inzwischen löscht sie die letzten Glutnester, während die umliegenden Wälder im Jasper Nationalpark weiter brennen.

Waldbrände in Kanada

am 31. Juli 2024

- **außer Kontrolle**
Der Brand lässt sich nicht eindämmen und breitet sich unkontrolliert aus.
- **unter Beobachtung**
Das Feuer wird beobachtet, aber nicht eingedämmt, etwa in unbewohnten Gebieten.
- **teilweise unter Kontrolle**
Das Feuer kann sich nur in einem zuvor etwa durch eine Brandschutzschneise eingegrenzten Gebiet ausbreiten.
- **unter Kontrolle**
Der Brand ist eingedämmt und wird bald gelöscht.



So sollten Sie Ihren Kofferraum nicht packen

Ab in den Urlaub! Wer sich jetzt verzweifelt müht, das Auto zu beladen, bekommt Trost von Mathematikern: Es könnte auch viel schlimmer sein.

Die sommerliche Reisezeit ist für viele Urlauber eine widersprüchliche Optimierungsaufgabe. Sie wollen möglichst viele Kleidungsstücke einpacken, aber auch Platz für am Urlaubsort gekaufte Klamotten lassen. Es gilt also, gleichzeitig die Packmenge und den Freiraum zu maximieren.

Die beiden amerikanischen Mathematiker Thomas Hales von der Universität Pittsburgh und Koundinya Vajha von Intel sind nun bei der Lösung eines ganz ähnlichen Problems entscheidend vorangekommen. Sie gingen der Frage nach, welche geometrische Form eine Fläche am schlechtesten ausfüllt, also selbst bei dichtest möglicher Packung die größten Lücken lässt. Einen 260 Seiten langen Beweis haben sie auf dem Preprint-Server Arxiv veröffentlicht. Die Fachwelt hat ihn noch nicht begutachtet. Aber zwei führende Mathematiker auf dem Gebiet sagten dem amerikanischen *Quanta Magazine*, angesichts des Rufes von Hales, komplexe Beweise zu führen, hätten sie Vertrauen in das Ergebnis.

Hales hat schon bei ähnlichen Fragen mit langen, hochkomplexen Beweisen überzeugt. So zeigte er 1997, dass ein regelmäßiges Sechseck die beste Form ist, um eine Fläche lückenlos abzudecken. Das bedeutet, dass es unter den flächendeckenden Vielecken den kleinsten Umfang bezogen auf die Fläche hat. Dies hilft zum Beispiel Bienen, mit möglichst wenig Wachs

auszukommen, um ihre Waben zu bauen. Die Überlegenheit des Sechsecks scheint leicht nachweisbar, ist es aber nicht, da es sehr viele denkbare geometrische Formen gibt.

Nun ist das mathematische Rätsel gelöst – fast

Aber was ist mit Kacheln, die die Fläche nur unvollständig ausfüllen? Welche lässt am meisten Platz? Die gesuchte Form sollte keine Löcher oder Einbuchtungen haben, also „konvex“ sein. Zudem sollte sie zentralsymmetrisch sein, das heißt, gegenüberliegende Randpunkte sollten gleich weit vom Mittelpunkt entfernt liegen.

Ein naheliegender Kandidat ist der Kreis: Packt man ihn dicht, deckt er knapp 90,69 Prozent der Fläche ab. Doch es gibt Formen, die noch schlechter abschneiden. Das regelmäßige Achteck schafft möglichst dicht gepackt nur rund 90,59 Prozent. Schleift man die Ecken des Achtecks ab, wird noch mehr Fläche frei. Zu viel darf man jedoch nicht wegnehmen, da sonst ein Kreis entsteht, der ja wieder dichter packbar ist. Der schlechteste Mittelweg ergibt sich, wenn man die Ecken in Form einer Hyperbel abschleift, wie der deutsche Mathematiker Karl Reinhardt 1934 fand. Das so abgerundete Achteck deckt nur etwa

90,24 Prozent ab. Reinhardts Herleitung klingt plausibel, beweist aber nicht, dass das Achteck mit hyperbelförmig abgerundeten Ecken wirklich die schlechteste Lösung ist. Es gibt viele Möglichkeiten, ein konvexes, zentralsymmetrisches Vieleck zu konstruieren, das die Fläche unvollständig füllt. Die Herausforderung bestand darin, ein effektives Verfahren zu finden, das

die besseren Lückenfüller verwirft, sodass der schlechteste übrig bleibt.

Hales beschäftigte sich schon mit dieser Frage, als Koundinya Vajha 2018 entschied, bei ihm zu diesem Thema zu promovieren. Die beiden dachten, Reinhardts Vermutung in einem halben Jahr beweisen zu können. Sie setzten auf eine Methode namens „optimale Steuerung“. Dabei wird

das Ziel als mathematische Funktion formuliert, deren Variablen wie Stellschrauben justiert werden, bis die Funktion einen maximalen oder minimalen Wert erreicht. So kann man etwa berechnen, wie ein Autofahrer Gaspedal und Bremse bedienen muss, um sein Ziel schnellstmöglich zu erreichen, ohne Tempolimits zu brechen.

Vajha und Hales formulierten eine Funktion, die alle denkbaren konvexen, zentralsymmetrischen Vielecke erzeugt. Sie hofften, damit die gesuchte Kachel effektiv berechnen zu können. Hales beschreibt die Funktion auf Anfrage als ein sukzessives Abschneiden der Ecken von Vielecken, ähnlich wie in Reinhardts ursprünglicher Überlegung. Doch sie stießen auf ein Problem. Die optimale Steuerung erzeuge unendlich viele „pathologische“ Lösungen, wie Vajha sagt.

Hales erläutert dies so: „Beginnen Sie mit einem Quadrat und schneiden Sie eine kleine Ecke ab. Arbeiten Sie weiter an derselben Ecke und schneiden Sie ein noch kleineres Stück in einem anderen Winkel ab. Fahren Sie so fort, und entfernen Sie immer kleinere Teile des Quadrats in der Nähe derselben Ecke.“ So entstehe etwas, das immer noch fast ein Quadrat ist, aber unendlich viele Ecken und Kanten hat. „Es gibt viele Arten, an einem Vieleck zu nageln“, resümiert Hales.

Er und Vajha mussten ein zusätzliches Werkzeug finden, um all die nutzlosen Lö-

sungen herauszufiltern. In jahrelanger Arbeit fanden sie es schließlich, obwohl Vajha inzwischen bei Intel an der US-Westküste arbeitete. Hales beschreibt das Werkzeug, die sogenannte Poincaré-Abbildung, so: „Die meiste Zeit passiert nichts Besonderes, wenn man um den Rand einer konvexen Form reist, ähnlich wie beim Dösen während einer Zugreise.“

Doch manchmal komme etwas Interessantes vorbei, etwa eine tolle Kathedrale, und man sieht hin. „Die Poincaré-Abbildung erlaubt es, direkt von einem interessanten Ereignis zum nächsten zu springen“, erklärt Hales. So konnten die Forscher die „pathologischen“ Lösungen übergehen und den Aufwand der Suche erheblich reduzieren.

Damit gelang ihnen ein erster Schritt zum Beweis von Reinhardts Vermutung: Die schlechteste Form ist ein Vieleck mit geraden Kanten und hyperbelförmigen Ecken. Dass es sich bei diesem Vieleck um ein Achteck handelt, konnten die beiden Mathematiker aber noch nicht zeigen. Vielleicht dauert es weitere Jahrzehnte, bis jemand diesen Erfolg erzielt. Hales möchte jedenfalls nicht aufgeben.

Auf die Frage, was ihm die Kraft gab, sechs Jahre lang an dieser Frage zu arbeiten, antwortet er: „Ist es nicht eher erstaunlich, dass manche Menschen ein Problem aufgeben, bevor es gelöst ist?“

Christian J. Meier



Endlich alles drin: Mit Gepäckstücken in einer bestimmten Form wäre es noch deutlich schwieriger.

FOTO: SEBASTIAN GOLLNOW/DPA