



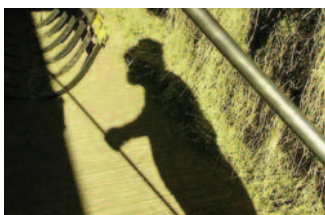
Quarks & Co Feuer und Flamme

Autoren: Angelika Burkhard, Michael Fuhs, Anne Preger, Iris Rietdorf, Eva Schultes, Tilman Wolff
Redaktion: Monika Grebe

Wie bringen Bakterien im Heu eine Scheune zum Brennen? Wie entsteht ein Kabelbrand im Wasserkocher? *Quarks & Co* zeigt, wie aus harmlosen Dingen plötzlich brandgefährliche Gegenstände werden. Außerdem stellt *Quarks & Co* moderne Löschmethoden bei Tunnelbränden vor, geht der Frage nach, warum Waldbrände immer verheerender werden und untersucht zusammen mit dem Kriminalbiologen Mark Benecke das Phänomen der spontanen menschlichen Selbstentzündung.

Die geheimen Brandstifter

Wo die Feuergefahr lauert



Im Heuhaufen können Temperaturen von über 70 Grad Celsius entstehen

Unsere Vorfahren lernten zwar, das Feuer zu bezähmen. Aber Feuer ist und bleibt unberechenbar. Wie aus dem Nichts brennt es plötzlich. Feuer braucht nur einen brennbaren Stoff, etwas Sauerstoff und Hitze. Und diese Voraussetzungen findet es an völlig unverdächtigen Orten.

Im Sommer 2009 hat es viel geregnet. Die Bauern mussten so manche noch nicht ganz getrocknete Heugarbe in die Scheune fahren. Das ist gefährlich, denn das nasse Heu kann sich unglaublich aufheizen. Im frischgeschnittenen Heu sind die Pflanzenzellen noch aktiv und arbeiten erst einmal weiter. Schon das produziert Wärme. Bauern messen in frischen Heuhaufen etwa 40 Grad Celsius. Das ist normal. Doch je feuchter das Heu ist, desto wohler fühlen sich Bakterien darin, wie der weit verbreitete Heubazillus (*Bacillus subtilis*). Sie beginnen, das aneinanderklebende Heu zu zersetzen. Auch dabei entsteht Hitze, die im dichtgestapelten, nassen Heu nicht abziehen kann. Es kommt zum Hitzestau. Forscher trauen allein dem *Bacillus subtilis* zu, Heu auf bis zu 60 Grad Celsius aufzuheizen.

Selbstentzündung im Heuhaufen



Bakterien zersetzen den Heuhaufen und setzen dabei Wärme frei

Nach etwa vier Wochen ist die Gefahr am größten. Von außen merkt man dem Heuhaufen zu diesem Zeitpunkt nichts an. Doch dort hat jetzt bereits die Stunde der hitzebeständigen Bakterien geschlagen. „Thermophile Mikroorganismen“ nennt sie die Forschung. Sie halten Temperaturen von über 100 Grad Celsius aus. Sie vermehren sich und arbeiten weiter am Zersetzungsprozess des Heus. Die Hitze steigt und frisst sich langsam durch den Heuhaufen. Das Heu verfärbt sich bräunlich und verströmt einen süßlichen Geruch, den Bauern wie Ludwig Mayr aus Kochel am See kennen und als Alarmzeichen deuten. Ab einer Temperatur von 70 Grad Celsius muss die Feuerwehr geholt werden: Das Heu ist jetzt brandgefährlich und kann sich jederzeit entzünden. Der Hitzestau im Inneren des Heustocks hat Gase freigesetzt, wie Methan, aber auch Wasserstoff. Wenn sich diese Gase entzünden, brennt der Heustock schnell lichterloh. Aber auch in seinem Inneren können sich Schwelbrände lange halten und sich dann unvermutet erneut zu einem offenen Feuer ausweiten.

Kabelbrand



Brandgefahr droht bei der Überbeanspruchung von Stromkabeln

Neuer ist die Gefahr, die von Elektrogeräten ausgeht. Die meisten Haushaltsbrände in Deutschland werden von diesen Geräten entfacht. Denn Strom erzeugt ebenfalls Wärme. Besonders, wenn Kabel zu viel davon transportieren sollen, wie beispielsweise an einer überlasteten Steckerleiste. Besonders heiß wird es an schlecht verlöteten Verbindungen des Kabels mit anderen leitenden Teilen. Möglicherweise reicht der Durchmesser der Kabels aus, um eine große Stromleistung zu bewältigen. Doch an den Lötstellen verringert sich der Durchmesser. Genau dort wird es heiß und heißer, das Plastik beginnt zu schmelzen und entzündet sich. Deshalb sollte man beim Kauf von Steckerleisten auf die angegebene Wattzahl achten – je höher, desto besser.

Das Auto im Wald



Brände zerstören jedes Jahr
300 Millionen Hektar Wald

Auch Autos können unter ungünstigen Bedingungen Brände erzeugen. Dann nämlich, wenn sie in extrem trockenen Waldgebieten nach längerer Fahrt abgestellt werden und mit ihren Bodenblechen fast den Waldboden berühren. Besonders die unter dem Wagen angebrachten Katalysatoren werden sehr heiß: bis zu 200 Grad Celsius. Und das reicht aus, um trockenes Laub und Baumnadeln zu entzünden. Die Wärme des abgestellten Wagens bringt die eingelagerten pflanzlichen Öle und Harze bereits ab 50 Grad zum Verdampfen. Der Dampf der Pflanzenöle wird bei diesem Prozess immer heißer und entzündet sich schließlich an der Abwärme des Katalysators. Das Feuer ist entfacht. Jetzt geht es schnell: Die Hitze des Feuers leitet die sogenannte Pyrolyse ein. Zuerst verflüssigt sie feste Stoffe wie Holz und Blätter und setzt sie in gasförmige Dämpfe um, die schließlich in der Feuersbrunst abbrennen. In weiten Gebieten am Mittelmeer oder Kalifornien verursachen solche Waldbrände Millionenschäden. Jedes Jahr gehen etwa 300 Millionen Hektar Waldfläche weltweit durch Brände verloren – eine Fläche, fast so groß wie Indien.

Autoren: Angelika Burkhard und Tilman Wolff

Spontane menschliche Selbstentzündung

Kann ein Mensch aus sich selbst heraus verbrennen?



Spontane menschliche Selbstentzündung – auf den ersten Blick ein Rätsel

Seit vielen Jahrhunderten spekulieren Menschen über das Phänomen der spontanen menschlichen Selbstentzündung – eine geheimnisvolle Erscheinung, bei der Menschen aus sich selbst heraus so vollständig verbrennen, dass nur noch Asche und die Reste von Armen oder Beinen übrigbleiben. Erklärungsversuche aus dem Reich der Mythen und Legenden werden da herangezogen, aber auch solche, die sich auf Phänomene in der Natur berufen. Sie alle sollen und wollen das Unglaubliche beweisen. Doch immer bleiben Ungereimtheiten zurück: Warum bleiben immer die Beine übrig? Wieso greift das Feuer nicht auf das gesamte Zimmer über? Weshalb bleiben leicht brennbare Gegenstände wie Zeitungen, Holzmöbel oder Tischdecken völlig unversehrt? Steckt da vielleicht ein paranormales Phänomen dahinter? Der Kölner Kriminalbiologe Mark Benecke hat einige dieser rätselhaften Fälle unter die Lupe genommen.

Ist Alkohol des Rätsels Lösung?



Alkoholdämpfe sind brennbar – ist das des Rätsels Lösung?

Mitte des 19. Jahrhunderts wurde vermutet, dass Alkohol im Blut für eine schnelle und starke Verbrennung verantwortlich sei. Damals war der Konsum von Alkohol verpönt. Besonders im puritanischen Amerika sind die Menschen der Meinung, man solle fleißig arbeiten und gottgefällig leben. Entsprechend galt Abstinenz als das Gebot der Stunde. Das war Wasser auf die Mühlen all jener, die an übernatürliche Ursachen der spontanen menschlichen Selbstentzündung glaubten. Ein Schreckgespenst war geboren und spiegelte sich rasch in der zeitgenössischen Literatur wider. Charles Dickens' Roman „Bleak House“ aus dem Jahr 1852 handelt von solch einer Geschichte: Wer als Säufer galt, der lief Gefahr, seine Familie und seinen Job zu verlieren, Gott hatte ihn nicht mehr lieb und obendrein könnte er auch verbrennen, wenn er alleine sei. Eine Theorie, die unhaltbar ist, denn selbst bei drei Promille Alkohol im Blut, beginnt das Blut nicht selbständig zu brennen.

Vom Knallgaseffekt zum Elementarteilchen



Unbekannte Elementarteilchen – können sie den menschlichen Körper entzünden?

Bei seiner Suche nach einer Erklärung für diese seltsam anmutenden Brandleichen stößt Mark Benecke auch auf etwas modernere Theorien. Eine geht davon aus, dass dabei eine Art Knallgasreaktion in der Zelle abläuft. Demzufolge sollen außer Kontrolle geratene Mitochondrien im Körper explodieren und ihn von innen heraus entflammen. Doch dafür müssten Sauerstoff und Wasserstoff in den Zellen gasförmig vorkommen, was nicht der Fall ist.

In Anlehnung an die theoretische Physik haben Paraforscher sogar ein noch nicht nachgewiesenes Elementarteilchen im Blick. Dieses Elementarteilchen soll sich bei der Wechselwirkung mit einer Zelle von selbst entzünden, weshalb sie es Pyrotron nennen. Für Mark Benecke ist das alles viel zu weit hergeholt. Er ist von einer natürlichen Ursache für das Phänomen Spontane menschliche Selbstentzündung überzeugt.

Der Mensch als Kerze



Das Prinzip Kerze: Ein T-Shirt als Docht,
das Fett als Wachs

Mark Benecke und andere Wissenschaftler haben eine andere Theorie. Und die beweist er an einem toten Schwein, das er in einen Stoff wickelt. Im Experiment zeigt sich deutlich: Die winzige Flamme frisst sich durch den Stoff. Das T-Shirt funktioniert wie ein riesiger, flächiger Docht und das Fettgewebe des Schweins ähnlich wie das Wachs einer Kerze. Die Zeitungen neben dem Schwein fangen kein Feuer, weil die Flamme nach oben geht und nicht zur Seite. Und schließlich brennt auch bei uns nicht die Wohnung, wenn wir nur eine Kerze anzünden und wir verbrennen nicht, wenn wir am Lagerfeuer stehen. Und die Beine, die bei vielen SHC-Fällen übrig bleiben? Auch hierfür gibt es eine einfache Erklärung: Früher trugen die alten Damen Röcke. Die Beine waren also nicht mit Stoff bedeckt und wurden deshalb auch nicht von den Flammen aufgezehrt.

Wehrlose Opfer?



Das typische Opfer: wehrlos, alt, krank
und reaktionsunfähig

Bleibt eigentlich nur noch eine Frage: Warum merken die Opfer nichts davon, wenn sie bei lebendigem Leib zu brennen beginnen? Spüren sie keinen Schmerz? Für Mark Benecke gibt es auch hierfür eine Erklärung: Die Opfer sind meist alt, krank oder sie haben Schmerzmittel, Beruhigungsmittel oder Alkohol zu sich genommen. Das wiederum reduziert ihr Reaktionsvermögen. Sie atmen die Rauchgase ein und werden sehr schnell ohnmächtig. Wenn dann die echte Verbrennung einsetzt, sind sie längst tot.

Autorin: Iris Rietdorf

Zusatzinformationen:

Spontane menschliche Selbstentzündung (SHC)

Spontane menschliche Selbstentzündung heißt im Englischen „Spontaneous human combustion“ und wird in der Fachliteratur mit SHC abgekürzt.

Alptraum Tunnelbrand

Wie sich die Gefahr verringern lässt



Von Autos bleiben bei Tunnelbränden
nur verkohlte Stahlskelette übrig

Rechte: picture-alliance/dpa

Vermutlich war es eine Zigarettenkippe, die in den Motorraum eines Lasters gelangt ist und im März 1999 ein Inferno auslöst. Mitten im Montblanc-Tunnel beginnt ein Lkw zu brennen. In kurzer Zeit heizt das Feuer die Tunnel-Röhre auf über 1000 Grad auf. Durch die enorme Hitze springt es auf die benachbarten Fahrzeuge über. Eine Kettenreaktion beginnt. 39 Menschen sterben. Die Feuerwehr kann nicht helfen: Bis sie zum Brandherd vordringt, dauert es über vierzig Stunden.

Der Brand im Montblanc-Tunnel stand am Anfang einer Serie tragischer Tunnel-Unglücke. Im gleichen Jahr brannte es im Tauern-Tunnel. Nach einem Auffahrunfall explodierte dort ein Tanklastwagen. Wieder sprang das Feuer auf über 20 andere Fahrzeuge über. Es gab zwölf Tote. 2001 kamen im Gotthard-Tunnel elf Menschen bei einem Brand ums Leben. Insgesamt starben in den letzten zehn Jahren nach einer Statistik des ADAC bei Tunnelbränden mindestens 100 Menschen.

Todesfalle Auto: Besser zu Fuß flüchten



Eine Frau flüchtet zu Fuß aus dem
Tunnel. Sie verhält sich richtig und
überlebt das Unglück

Rechte: Bundesamt für Straßen ASTRA

Nicht alle Tunnel sind nach den höchsten Sicherheitsstandards ausgestattet. Doch oft verhalten sich auch die Fahrer falsch und gefährden damit ihr Leben. Im Viamala-Tunnel hat eine Überwachungskamera gefilmt, wie bei einem Brand vor der Unfallstelle das Chaos ausbrach. Erst fließt der Verkehr auf der zweispurigen Straße noch. Dann beginnt er zu stauen. Jetzt reagieren viele Autofahrer falsch: Die ersten Fahrzeuge wenden und verkeilen sich dabei auf der zweiten Spur. Für die Rettungskräfte ist kein Durchkommen. Ein Lkw-Fahrer versucht, rückwärts aus dem Tunnel zu fahren. Aber auch er hat keine Chance. Denn nur zweieinhalb Minuten nach Staubbeginn vernebelt der rußige Qualm die Sicht. Neun Menschen sterben bei diesem Brand. Auf dem Video ist auch zu sehen, wie eine Frau zu Fuß zum Ausgang läuft. Von ihr weiß man, dass sie überlebt hat. Und Experten bestätigen: Wer zu Fuß flüchtet, hat höhere Überlebenschancen.

Nur wenige Minuten Zeit

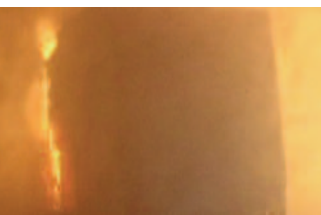


Das kleine Feuer vernebelt innerhalb
von anderthalb Minuten die Sicht

Rechte: ADAC

Viele Menschen unterschätzen, wie schnell ein Feuer im Tunnel gefährlich wird, denn Hitze und Rauch können nicht abziehen. In dem Überwachungsvideo eines anderen Tunnels sieht man, wie ein Lkw anhält, bei dem es aus dem Motorraum qualmt. Der Fahrer steigt aus und versucht, den Brand zu löschen. Nach Ansicht von Experten ist das mit kleinen Feuerlöschern kaum möglich. Es dauert nur eineinhalb Minuten, bis sich der Tunnel so stark mit Qualm gefüllt hat, dass nichts mehr zu erkennen ist. Deshalb geben Experten den Rat: Auto so abstellen, dass es nicht den Tunnel blockiert, unter Umständen einen kurzen Löschversuch starten, aber dann schnell zu Fuß zum nächsten Notausgang laufen.

Wassernebel-Löschsystem



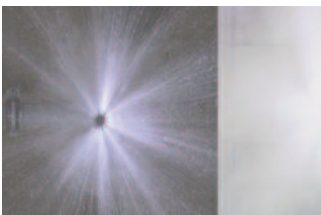
Wassernebeltest im Versuchstunnel

Rechte: MDR

Wer sich im Falle eines Tunnelbrands richtig verhält, kann oft sein Leben retten. Aber auch eine neue Löschtechnik macht Tunnelbrände besser beherrschbar. Forscher des Instituts der Feuerwehr Sachsen-Anhalt und eine Kölner Firma haben dazu in einem Testtunnel in Nordspanien einen Versuch gestartet. An der Decke verlaufen Leitungen, in denen das Wasser mit etwa zwanzigmal höherem Druck fließt als in einer normalen Wasserleitung. Wassernebeldüsen versprühen Wassertropfen, die mit einem Durchmesser von nur 150 millionstel Metern winzig klein sind. Dadurch schweben sie wie eine Wolke in der Luft, bis sie durch den Kontakt mit den heißen

Rauchgasen verdampfen. Der entstehende Wasserdampf hat – je nach Temperatur – ein mindestens um den Faktor 1700 größeres Volumen als der Nebel vor dem Verdampfen. Der Wasserdampf verdrängt dadurch den Sauerstoff und erstickt das Feuer. Gleichzeitig kühlt der Nebel beim Verdampfen die heißen Rauchgase ab. Da sich das Feuer ohne Hitze nicht ausbreiten kann, wird es zusätzlich eingedämmt.

Sicherere Tunnel sind möglich



Wassernebel (rechts) kann Brände im Tunnel wirksamer bekämpfen als eine Sprinkleranlage (links)

Bisher erhältliche Löschsysteme sind für Tunnelbrände nicht geeignet. Der direkte Vergleich einer Wassernebeldüse und einer herkömmlichen Niederdruck-Sprinklerdüse zeigt: Die Tropfen der Sprinkleranlage sind so groß, dass sie schnell zu Boden fallen und keinen Nebel bilden. Dadurch können sie das Feuer nicht so wirksam eindämmen – und das, obwohl zehnmals soviel Wasser durch die Sprinkleranlage fließt. Bei dem Versuch im Testtunnel hat der Wassernebel den Brand innerhalb einiger Minuten soweit gekühlt, dass die Feuerwehr bis auf zehn Meter an ihn herankommt und ihn vollständig löschen kann. Bei den schweren Tunnelunglücken der Vergangenheit ist genau das nicht gelungen.

In Europa sind mit diesem System inzwischen vier Tunnel ausgestattet. Der jährliche Tunneltest des ADAC zeigt, dass auch viele andere Tunnel sicherer geworden sind. Eine EU-Richtlinie legt seit 2004 einen Mindeststandard für Tunnel fest. Seitdem haben viele Tunnel mehr Notausgänge, besser sichtbare Beschilderungen und bessere Entlüftungsanlagen bekommen. Das gilt auch für den Montblanc-Tunnel, der vier Jahre nach dem Brand wiedereröffnet wurde.

Autor: Michael Fuhs

Zusatzinformationen:

Montblanc-Tunnel

Der Montblanc-Tunnel verbindet Frankreich und Italien. Er ist etwas länger als elf Kilometer und wurde 1965 eröffnet. Drei Jahre nach dem Brand wurde er 1999 wiedereröffnet.

Tauern-Tunnel

Der Tauern-Tunnel in Österreich verbindet Salzburg mit Villach und ist 6,4 Kilometer lang. Nach dem Brand 1999 blieb er drei Monate gesperrt. Jetzt bekommt er eine zweite Röhre. Dadurch wird der Verkehr für beide Fahrtrichtungen getrennt. Bei einem Unglück kann die zweite Röhre außerdem als Fluchtweg genutzt werden.

Gotthard-Tunnel

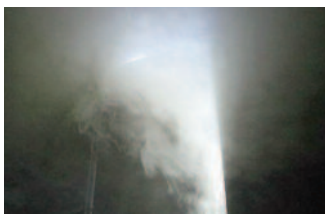
Durch den Schweizer Gotthard-Tunnel rollt ein großer Teil des Verkehrs von Deutschland nach Italien. Er ist über 16 Kilometer lang und der längste Straßentunnel der Erde; eröffnet wurde er 1980.

Viamala-Tunnel

Der Viamala-Tunnel liegt südlich von Chur in der Schweiz. Er ist 750 Meter lang.

Wenn der Rauch brennt

Lebensgefahr Flash-over



Der Rauch ist gefährlich bei Temperaturen um die 500 bis 600 Grad Celsius



Auf Disziplin und einen gewissen Respekt vor dem Feuer kommt es an, sagen die Feuerwehrmänner

Wo Rauch ist, da ist auch Feuer, sagt der Volksmund. Feuerexperten und Feuerwehr wissen: Auch im Rauch ist Feuer. Und wenn die Bedingungen ungünstig sind, kann das lebensgefährlich sein. Um auf die Extremsituation vorbereitet zu sein, trainieren Feuerwehrmänner in Übungscontainern, um ein Gefühl für die Gefahr zu bekommen.

Im Rauch lesen

Die Gefahr kommt aus dem Rauch. Das sollen Werksfeuerwehrmänner aus ganz Deutschland heute lernen. Sonntag, zehn Uhr: Wir sind zu Gast bei der Firma Feurex in der Nähe von Ingolstadt. Seit etwa fünf Jahren bietet die Firma hier ein spezielles Training an: Die Feuerwehrleute sollen lernen, im Rauch zu lesen. Trainingsleiter Ingo Stöhr gibt den Teilnehmern erste Anweisungen. Sie sind alle gestandene Feuerwehrmänner; doch das, was sie heute zu sehen bekommen, haben die meisten noch nie erlebt. In der Theorie kennen sie das Phänomen, wenn Rauchgase sich entzünden. Auf den Praxistest sind sie gespannt. Angst haben sie keine, aber Respekt vor dem Feuer, den müsse man schon haben, sagt einer der Teilnehmer.

Vom Feuer überrollt

Die Männer müssen auch in ihrem Feuerwehralltag ganz nah ran. Anzüge, Masken und Helme bieten da nur begrenzten Schutz. Überlegtes Handeln ist gefordert. In ihren feuerabweisenden Schutzanzügen, unter den Atemschutzmasken und mit Helmen bewaffnet, sehen die Männer jetzt aus wie moderne Ritter. Sie sammeln sich vor dem Übungscontainer. Es riecht nach Brand und tatsächlich haben sie ein großes Feuer angesteckt, dessen Rauch sie in den Container leiten werden. Den Ablauf der Übung sind sie vorher x-mal durchgegangen; in der Theorie. Ausbilder Ingo Stöhr teilt jedem seinen Platz im Container zu. Allen ist bewusst, dass diese Übung nicht ungefährlich ist. Drinnen müssen sie auf dem Boden sitzen. Jetzt wird der Rauch in den Container geleitet. Langsam breitet er sich im ganzen Container aus und sammelt sich unter der Decke. Die Männer sollen sich den Rauch ganz genau anschauen, sagt der Ausbilder, und spüren, wie heiß er ist. Dann geht die Tür zu. Dunkelheit. Und nach einigen Minuten ist sie da, die Rauchgasdurchzündung. Der Rauch entzündet sich, eine Flamme rollt über die Köpfe der Feuerwehrmänner hinweg. Bei 500 bis 600 Grad brennt der Rauch.



Bei etwa 500 Grad Celsius entzünden sich die im Rauch enthaltenen Gase

Die Gefahr im Rauch

Bei Bränden ist der Rauch mindestens so gefährlich wie das Feuer selbst. Schon nach wenigen Atemzügen können sich Menschen eine lebensgefährliche Rauchgasvergiftung zuziehen, wenn sie den Rauch einatmen. Feuerwehrleute wissen das. Deshalb werden verrauchte Räume auch immer mit Atemschutzmaske und Atemluftgerät betreten. Doch weil sich im Qualm entzündliche Gase sammeln, bleibt der Rauch auch mit Atemschutz gefährlich. Kommt Sauerstoff zum Rauch, kann



Bei der Übung lernen die Feuerwehrmänner, wie man sich im Rauch richtig verhält

der sich plötzlich entzündet. Aber der Rauch kann auch zur plötzlichen Entzündung des gesamten Mobiliars eines Raumes führen, wenn er seine Hitze – immerhin bis zu 600 Grad Celsius – auf die Möbel ausstrahlt. Das Mobiliar fängt dann an, auszugasen und diese Gase können sich blitzschnell entzünden. Der ganze Raum steht dann in Flammen. Häufig lösen Feuerwehrleute den sogenannten Flash-over sogar selbst aus. „Wenn der Feuerwehrmann in den Raum kommt, bringt er Sauerstoff mit. Und das ist genau das, worauf das Feuer eigentlich nur wartet. Es hat zu wenig Sauerstoff zur vollkommenen Verbrennung. Nach dem Öffnen der Tür kommt Sauerstoff dazu und es kommt zu einem schlagartigen Entzünden der Rauchgase und sämtlicher im Raum befindlichen brennbaren Stoffe“, erklärt Ausbildungsleiter Ingo Stöhr das Phänomen.

Übung ist alles

Die Werksfeuerwehrleute sollen auf den Flash-over vorbereitet sein. Deshalb üben sie auch das Ablöschen von Rauchgas und das Verhindern seiner Entzündung. Die Gefahr, einem Flash-over selbst einmal direkt gegenüberzustehen, ist größer geworden, je schneller die Feuerwehren am Brandort sind, denn das Phänomen Flash-over passiert oft bereits in einer frühen Brandphase. Und auch die Bauweise der Einrichtung spielt eine Rolle: Kunststoffbeschichtete Oberflächen dunsten andere und gefährlichere Gase aus, als die klassischen Holzmöbel. Anstrengend ist die Arbeit mit der schweren Ausrüstung, der Hitze und dem Dreck. Doch die Übung hat sich gelohnt. Die Gefahr, die aus dem Rauch kommt, werden sie nie mehr vergessen.

Autor: Tilman Wolff

Zusatzinformationen:

Flash-over

Eine der gefährlichsten Erscheinungen bei Bränden in geschlossenen Räumen ist ein Flash-over. Dazu kann es kommen, wenn sich heiße Rauchgase unter der Zimmerdecke sammeln. Ein Wärmestau entsteht. Die Rauchsicht strahlt ihre Hitze auf sämtliche Gegenstände im Raum aus. Bei 500 bis 600 Grad Celsius entzünden sich die Oberflächen aller im Raum befindlichen Gegenstände schlagartig. Das Resultat: ein Brand mit Temperaturen um die 1000 Grad Celsius. Ist nicht genug Sauerstoff im Raum, kann es zur Rauchdurchzündung kommen, sobald eine Tür geöffnet wird und damit auch Sauerstoff in das brennende Zimmer strömt. Immer wieder fallen Menschen diesem Phänomen zum Opfer, darunter auch zahlreiche Feuerwehrleute.

Rauch(gas)durchzündung („Roll-over“)

Die Rauchgasdurchzündung ist das plötzliche Durchzünden und Abbrennen von Rauchgasen. Dieses Gasgemisch entsteht durch Hitzeinwirkung oder Verbrennung. Bei einer Rauchgasdurchzündung ist genug Sauerstoff für eine Zündung vorhanden. Das unterscheidet sie von der Rauchgasexplosion („Backdraft“), für dessen Entzündung dem Rauchgas zunächst weiterer Sauerstoff zugeführt werden muss. Hauptbestandteile des Rauchgases sind Pyrolysegase, die bei Temperaturen von 500 bis 1500 Grad Celsius von festen Stoffen wie Holz oder Kunststoffen abgegeben werden; zum Beispiel die brennbaren Gase Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid sowie Kohlenwasserstoffe.

Rauchgasexplosion („Backdraft“)

Kommt es in einem geschlossenen Raum zu einem Brand, der jedoch mangels Sauerstoff bald wieder verlöscht, sind immer noch brennbare Gase und Dämpfe vorhanden. Durch das langsame Abkühlen entsteht ein Unterdruck. Der Effekt: Brandrauch tritt durch Spalten von Türen oder Toren aus, der kurze Zeit später wieder in den Brandraum zurückgesaugt wird. Das kann man von außen sehen. Wird nun die Tür geöffnet, wird durch den Unterdruck frische Luft von außerhalb „angesaugt“ und das Gemisch kann dann zündfähig sein. Wenn nun noch eine Zündquelle vorhanden ist (Glutnester zum Beispiel), explodiert das Gemisch mit unter Umständen verheerenden Auswirkungen.

Red Adair – Der Herr der Flammen

Mit Dynamit gegen brennende Öl- und Gasquellen



Red Adair auf den brennenden Ölfeldern Kuwaits im März 1991

Rechte: dpa Picture-Alliance

Als die irakischen Truppen sich nach dem zweiten Golfkrieg im Frühjahr 1991 aus Kuwait zurückziehen, hinterlassen sie ein Flammeninferno. Über 700 Ölquellen brennen. Sie zu löschen, scheint eine unlösbare Aufgabe zu sein – eine Aufgabe für Red Adair. Der kleine Mann aus Houston kommt an den Persischen Golf und hat eine düstere Prognose: „Wenn wir es in drei Jahren schaffen würden, hätten wir schon Glück.“ Drei Jahre, um die Brände zu löschen und das aus dem Boden schießende Öl unter Kontrolle zu bringen. Adair koordiniert die Löschteams. Es wird der letzte große Auftrag für den 76-Jährigen.

Mann gegen wild gewordene Ölquelle



Red Adair löscht 1988 die brennende Ölbohrinsel Piper Alpha in der Nordsee

Mit Mitte zwanzig beginnt Paul „Red“ Adair Ende der 1930er-Jahre auf den Ölfeldern von Texas zu arbeiten – zunächst als Hilfsarbeiter. Eines Tages gerät eine Ölquelle außer Kontrolle. Das Öl schießt aus dem Rohr in der Erde – ein gefürchteter Blowout. Alle anderen Arbeiter flüchten, doch Red Adair bleibt ruhig und schließt das Ventil. Der Ölbrandexperte Myron Kinley wird auf den jungen Mann aus Houston aufmerksam und engagiert ihn. Wildgewordene Öl- und Gasquellen werden zu Red Adairs Bestimmung. Gemeinsam mit seinem Chef perfektioniert er die Methode, Öl- und Gasbrände mit Dynamit zu löschen. Das Prinzip: Die Explosion des Sprengstoffs entzieht dem Feuer kurz den Sauerstoff, den es zum Atmen braucht – die Flamme erlischt. Die Gefahr ist damit jedoch nicht gebannt: Schon ein Funke würde genügen, um das weiter ausströmende Gas oder Öl erneut zu entzünden. Gelöschte Quellen wieder unter Kontrolle zu bringen und mit einem Ventil zu verschließen, gehört ebenfalls zu Adairs Job. Eines der Probleme dabei: Nach einer Explosion oder einem Brand sind die Rohre, aus denen Gas oder Öl herausschießt, am oberen Rand häufig total zerfetzt. Um ein neues Ventil aufsetzen zu können, muss der Rand des Rohres jedoch sauber abgeschnitten sein. Sägt man die Metallrohre ab, verursacht das meist einen starken Funkenflug – und das bedeutet nichts Anderes als neues Feuer. Red Adair wendet deswegen für diese Arbeit ganz besondere Methoden und Werkzeuge an; zum Beispiel eine Seilsäge ohne Funkenflug.

Das Feuerzeug des Teufels



Red Adair wird ein Idol

Rechte: imago stock&people

„Red“ wurde Paul Adair schon als junger Mann genannt. Seinen Spitznamen verdankt er seinen roten Haaren. 1959 wird Rot dann auch das Markenzeichen seiner eigenen neu gegründeten Firma. Red Adair hat sich in der Ölbranche längst einen Namen gemacht. Zwei Jahre später lernt ihn dann auch die Weltöffentlichkeit kennen: In der algerischen Wüste brennt eine Gasquelle. Die Flamme schießt über zweihundert Meter hoch in den Himmel und ist damit so groß, dass sie selbst aus dem All von dem US-Astronauten John Glenn gesehen wird. Die Presse nennt die Quelle das „Feuerzeug des Teufels“. Red Adair und seine beiden besten Männer, „Boots“ Hansen und „Coots“ Matthews, brauchen Monate, um die Sprengung vorzubereiten. In Algerien herrscht zu dieser Zeit Bürgerkrieg; 340 Kilogramm Nitroglyzerin herbeizuschaffen und dort sicher zu lagern, ist eine enorme Herausforderung. Das Feuer zu löschen und das Gas mit einem Ventil unter Kontrolle zu bringen ebenfalls; dafür braucht Adair sechs Monate. Das „Feuerzeug“ macht ihn weltbekannt und bringt ihm Aufträge auf der ganzen Welt.

Neun Monate statt drei Jahre



In Kuwait arbeiten 1991 Löschteams aus der ganzen Welt unter Red Adairs Leitung

Rechte: dpa Picture-Alliance

Hollywood verfilmt 1968 sein Leben. John Wayne spielt die Hauptrolle in „Die Unerschrockenen“. Adair ist technischer Berater für den Film und freundet sich mit Wayne an. Zu dem Ruhm kommt auch Geld: Den Ölfirmen ist seine Arbeit viel wert. Und deswegen sind auch Adairs Honorare legendär: Für manchen Job soll seiner Firma eine Million Dollar am Tag bezahlt worden sein. Der Junge aus Houston ohne Schulabschluss wird Millionär, doch Red Adair lehnt sich nie zurück. Bis zu seinem 78. Lebensjahr ist er da, wo es brennt. Dabei ist nicht nur die unglaubliche Hitze unerträglich, sondern an den Unglücksorten herrscht durch das Feuer ein ohrenbetäubender Lärm. Auf den kuwaitischen Ölfeldern war es 1991 so laut wie neben einem startenden Düsenflugzeug, erinnert sich Adair später.

Das Flammeninferno am Persischen Golf löschen die Teams unter Adairs Leitung am Ende in nur neun Monaten. Drei Jahre später verkauft Adair seine Firma und geht in den Ruhestand. Der Lärm der Ölquellen hat ihn schwerhörig gemacht, er hat sich in seinem Berufsleben oft verletzt. Jedoch hat er nie einen seiner Männer ans Feuer verloren. 2004 stirbt Adair schließlich – friedlich zu Hause. In Texas sagten sie über ihn: Wenn man ihn liebe, würde er sogar das Feuer der Hölle löschen.

Autorin: Anne Preger

Zusatzinformationen:

Blowout

Gerät eine Ölquelle außer Kontrolle, bezeichnet man das mit dem englischen Wort „Blowout“ (Ausbruch). Bei der Förderung von Öl nutzt man meist aus, dass die Lagerstätten im Boden unter Druck stehen, das Öl also „von allein“ in den Förderrohren in die Höhe steigt. Wird der Öldruck unterschätzt, oder gibt es ein Problem mit der Bohrung, kann es passieren, dass sich das Öl seinen Weg bahnt und ungehindert aus dem Förderbrunnen in die Höhe schießt. Es besteht dann eine hohe Brandgefahr.

Wenn der Wald brennt

Wie man Feuer mit Feuer bekämpfen kann



Professor Johann Goldammer berät andere Länder im Umgang mit Feuer

Weltweit brennt es in jedem Jahr auf einer Fläche von über dreihundert Millionen Hektar – eine Fläche fast so groß wie Indien. Tausende von Menschen müssen vor den Flammen fliehen. Anfang 2009 zerstörten Feuerstürme den Süden Australiens. Über 170 Menschen kamen in den Flammen um. Auch in Portugal, Spanien, Griechenland und anderen europäischen Ländern brannten viele Hektar Land ab. Besonders dramatisch ist die Lage in Kalifornien. Der Wald ist nach anhaltender Trockenheit völlig ausgedörrt. Hier reicht der sprichwörtliche Funke, um einen Brand zu entfachen.

Waldbrände gab es schon immer, doch die gegenwärtige Entwicklung gibt Grund zur Besorgnis. „Wir sehen global die Tendenz, dass in vielen Regionen die Feuer nicht nur an Fläche zunehmen, sondern auch in ihren Auswirkungen sehr viel schwerwiegender werden“, meint Feuerexperte Professor Johann Georg Goldammer vom Max-Planck-Institut für Chemie. Er leitet das Global Fire Monitoring Center in Freiburg und beobachtet seit vielen Jahren das Waldbrandgeschehen auf der ganzen Welt.

Der Mensch ist Schuld



Im August 2009 zerstörten Waldbrände in Griechenland 150 Häuser

Rechte: EVN

Ein großes Problem sind Brandrodungen. Vor allem in ärmeren Ländern wird auf diese Weise Land erschlossen, um es zu besiedeln oder Plantagen anzulegen. Diese Feuer geraten immer wieder außer Kontrolle. Eine weitere Ursache für vermehrte Waldbrände sind die Klimaveränderungen. In vielen Regionen der Welt gibt es immer längere Dürreperioden. Für Kalifornien sagen die Experten voraus, dass diese Region dadurch bald ganzjährig feuergefährdet sein wird. In Europa gibt es noch eine andere Ursache: die Landflucht. Die junge Generation geht in die Stadt, der Wald wird nicht mehr bewirtschaftet, das heißt, Tiere werden nicht mehr zum Weiden hineingetrieben, kein Feuerholz mehr gesammelt und so weiter. Die Folge: Das Land verwildert, der Wald verbuscht. „Und damit“, erklärt Professor Goldammer, „findet das Feuer in Europa, vor allem in Südeuropa und Südosteuropa, immer mehr Nahrung.“

Feuer mit Feuer bekämpfen



Professor Goldammer demonstriert das kontrollierte Brennen in der Mongolei

Rechte: Global Fire Monitoring Center,
Johann Georg Goldammer

Ein Waldbrand beginnt immer als Bodenfeuer. Solange es sich nur dort befindet, kann der Brand leicht gelöscht werden. Aber wenn das Feuer am Boden viel brennbares Material findet, besteht die Gefahr, dass die Flammen auch auf die Baumkronen übergreifen. Ein solches Kronenfeuer ist nur noch sehr schwer zu bekämpfen. Es herrschen Temperaturen von über 1000 Grad Celsius. Das gilt es zu verhindern.

Im Kampf gegen Feuer setzen Goldammer und sein Team auf Feuer. Das erscheint paradox. Aber mit einem kontrolliert gelegten Feuer kann man das leicht entzündliche Bodenmaterial rechtzeitig herausbrennen, ohne den Wald zu schädigen. Entsteht dann später ein Waldbrand, zum Beispiel durch Blitzschlag, Unachtsamkeit oder Brandstiftung, findet er nicht mehr viel Nahrung und bleibt ungefährlich. Das kontrollierte Abbrennen ist also eine vorbeugende Maßnahme, die verhindert, dass Waldbrände verheerenden Ausmaßes entstehen. Feuer gezielt in den Wald zu tragen ist allerdings nicht ohne Risiko. Man muss genau wissen, wie sich ein Feuer verhält, damit es nicht außer Kontrolle gerät, und dann das passiert, was man eigentlich verhindern wollte.

Feuertraining in der Mongolei



Die Bewohner sollen am praktischen Beispiel lernen, wie sich Feuer verhält
Rechte: Global Fire Monitoring Center, Johann Georg Goldammer

Der Umgang mit Feuer muss daher trainiert werden. Johann Goldammer und sein Team reisen in verschiedene Regionen der Welt, um den Menschen dort die Technik des kontrollierten Brennens beizubringen. Ihr Hauptaugenmerk liegt derzeit auf Zentralasien und Osteuropa. In der Mongolei zum Beispiel fehlt den Bewohnern sowohl die moderne Ausstattung als auch die Erfahrung im Umgang mit Waldbränden. Die Länder, die Goldammer besucht, besitzen keine Flotte von Löschflugzeugen. Im Ernstfall müssen die Bewohner mit einfachen Handgeräten auskommen. Das Training eröffnet ihnen neue Möglichkeiten im Kampf gegen das Feuer. Und zwar nicht nur zur Vorbeugung. Goldammer zeigt ihnen auch, wie man durch das Legen eines Gegenfeuers einen Waldbrand („Wildfeuer“) bekämpfen kann. Dabei müssen viele Dinge berücksichtigt werden: Windrichtung, Laufrichtung der Feuerfront, Gegebenheiten der Landschaft. Eine vorhandene Barriere, eine Straße, eine Schneise oder Ähnliches werden genutzt, um dort das Gegenfeuer so anzufachen, dass es sich nur gegen den Wind ausbreiten kann. Es soll dann langsam dem Hauptfeuer entgegen laufen und ihm dabei die Nahrung entziehen. Im Idealfall treffen die beiden Feuer schließlich aufeinander und gehen dann aus. „Aber das ist eine hohe Kunst und muss geübt werden“, erklärt Goldammer.

Waldbrandgefahr demnächst auch in Deutschland?

Auch Deutschland ist vor Waldbränden nicht sicher, auch wenn der letzte große Brand schon einige Jahre zurückliegt. Im August 1975 brannte in der Lüneburger Heide eine Fläche von 14.000 Hektar. Fünf Feuerwehrleute wurden vom Feuer eingeschlossen und starben. Es dauerte zehn Tage, bis die Brände endgültig gelöscht werden konnten. Seitdem gab es keine größeren Waldbrände mehr in Deutschland, das könnte sich in Zukunft aber ändern. Denn mit dem Klimawandel werden auch bei uns in Deutschland Dürreperioden häufiger werden. „Zusätzlich werden sich möglicherweise einige Baumarten aus diesem gegenwärtigen Klima verabschieden, wir haben also für gewisse Zeiten absterbende Bäume und auch absterbende Wälder. Die tragen dazu bei, dass die Waldbrandgefahr in den kommenden Jahren möglicherweise sehr sehr groß wird“, prognostiziert Goldammer. Die Probleme mit Waldbränden werden in den nächsten Jahren wahrscheinlich in der ganzen Welt immer größer werden. Umso wichtiger, dass möglichst viele Menschen im Umgang mit Feuer geschult sind. Das ist es, was Johann Goldammer mit seinem Team erreichen will.

Autorin: Eva Schultes

Der richtige Umgang mit dem Feuerlöscher

Jeder Großbrand beginnt mit einem kleinen Feuer. Mit einem Feuerlöscher lässt sich ein Brand im Entstehungsstadium wirksam bekämpfen. Dabei sollte man einige Regeln beachten:



1. Brand in Windrichtung angreifen.



2. Tropf- und Fließbrände von der Austrittsstelle nach unten bekämpfen.



3. Bei größeren Bränden mehrere Feuerlöscher gleichzeitig und nicht nacheinander einsetzen.



4. Nachdem das Feuer gelöscht ist, Brandstelle nicht verlassen, sondern auf Wiederverzündung achten.



5. Gebrauchte Feuerlöscher sofort wieder füllen lassen.

Lesetipps

Ablaze! – The mysterious fires of spontaneous human combustion

Autor: Larry E. Arnold
Verlagsangaben: M. Evans & Co Inc, 1996
ISBN-10: 0871317893
ISBN-13: 978-0871317896
Sonstiges: 478 Seiten, 42,00 Euro

Larry E. Arnold ist Verfechter der parawissenschaftlichen Sicht von spontaner menschlicher Selbstentzündung. In seinem Buch setzt er sich mit diesem Phänomen anhand unterschiedlicher Beispielfälle auseinander. Nur in englischer Sprache erhältlich.

Red Adair – Der Feuerlöscher. Die autorisierte Biographie

(engl. Original: Red Adair. An American Hero)

Autor: Philip Singerman
Verlagsangaben: Luebbe Verlagsgruppe, 1994
Sonstiges: ISBN: 978-3404612505
444 Seiten, nur noch antiquarisch erhältlich

Diese Biographie ist das einzige auf Deutsch erhältliche Buch über Red Adairs Leben. Sie ist auf dem Stand von 1989, vor Adairs letztem großen Auftrag in Kuwait. Biograph Singerman hat ausführlich mit Red Adair und seiner Frau gesprochen und ist deswegen nah am Menschen. Dass die Biographie autorisiert ist, merkt man ihr allerdings an: Sie geht insgesamt sehr wohlwollend mit dem Helden Red Adair um.

DVD-Tipp: Die Unerschrockenen (Hellfighters)

Film: 1968, mit John Wayne
Regisseur: Andrew v. McLaglen
Koch Media GmbH, John Wayne Collection, Teil 3
116 Min, 9,95 Euro

Die Hollywood-Adaption der Geschichte von Red Adair. John Wayne spielt den Ölbrandexperten Chance Buckman. Die Story ist zwar relativ dürftig, aber man bekommt einen guten Eindruck vom Kampf gegen brennendes Öl. Red Adair selbst war technischer Berater für den Film. Im Gegensatz zu den heutigen Special Effects sind die brennenden Ölquellen in diesem Film von 1968 echt!

Linktipps

Mehr Sicherheit für Feuerwehrleute

<http://www.feuerwhere.de>

Feuerwehrleute begeben sich in Gefahr, wenn sie in verrauchte Gebäude eindringen, in denen es brennt. Forscher der Freien Universität Berlin und des Leibniz-Instituts für innovative Mikroelektronik in Frankfurt. Oder arbeiten im Projekt Feuerwhere daran, ihre Sicherheit zu erhöhen.

Zwei Texte zur "spontanen menschlichen Selbstentzündung"

<http://www.gwup.org/component/content/article/107-sonstige-themen/761-spontane-menschliche-selbstentzuendung>

<http://www.gwup.org/component/content/article/107-sonstige-themen/837-x-akte-geloest-das-fbi-und-der-mythos-von-der-spontanen-selbstentzuendung>

Ausführliche Texte zum Phänomen der spontanen menschlichen Selbstentzündung von Mark Benecke und Todd Venezia.

Theorien zur spontanen menschlichen Selbstentzündung

<http://www.skeptid.com/shc.html>

Verschiedene Theorien zur spontanen menschlichen Selbstentzündung werden hier vorgestellt und diskutiert. (Englisch)

Aus den Akten des FBI: der Fall Mary Hardy Reeser

<http://foia.fbi.gov/foiaindex/spontaneoushumancombustion.html>

Mary Hardy Reeser regt sich fürchterlich auf und nimmt zur Beruhigung Schlaftabletten. Doch dieser Abend sollte der letzte im Leben der 67-Jährigen sein. Ihre Vermieterin, die ihr am nächsten Morgen ein Telegramm bringen will, findet nur noch ein Häufchen Asche, einen Fuß und einen Schuh. Ein Fall von spontaner menschlicher Selbstentzündung, so wird spekuliert. Und weil selbst die Polizei ratlos ist, wird das FBI hinzugezogen. (Englisch)

Parawissenschaftliche Sicht des Phänomens der spontanen menschlichen Selbstentzündung

<http://www.parascience.com>

Homepage von Larry E. Arnold, Autor des Buches „Ablaze!“

ADAC-Tunneltest

http://www1.adac.de/Tests/Mobilitaet_und_Reise/Tunnel/

Der ADAC testet seit 1999 jedes Jahr zahlreiche Straßentunnel in Europa auf ihre Sicherheit. Eine wichtige Rolle spielt dabei, wie groß das Risiko eines schweren Brandunglücks ist. Auf der Seite befindet sich auch der Link zu einem Lernspiel für das richtige Verhalten in Tunneln und bei Tunnelbränden.

Brandgefahren durch elektrische Haushaltsgeräte

http://www.ifs-ev.org/08_titel/2009/schadenprisma_3_09.pdf

Von allen Elektrogeräten haben Defekte an Wäschetrockner am häufigsten Schuld daran, dass Wohnungen brennen, gefolgt von Fernsehgeräten und Kühlschränken, Wasch- und Spülmaschinen. Das kann man im gut verständlichen Artikel des Instituts für Schadenverhütung und Schadenforschung in Kiel nachlesen. Ebenso den Tipp: Geräte nie unbeaufsichtigt laufenlassen. (PDF, 3,5 MB)

Wie gefährlich ist welcher Staub?

<http://www.dguv.de/bgia/de/gestis/expl/>

Im Schnitt explodieren in Deutschland mindestens alle zwei Wochen Stäube, aus Mehl, Kohle, Holz, Kunststoffen oder Metallen. Dabei wird teilweise so viel Energie freigesetzt, dass Fabrikgebäude vollständig zerstört werden. Wie gefährlich welcher Staub ist, verrät diese Datenbank des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (BGIA).

WDR 2 Stichtag: 5. Todestag von Red Adair

<http://www.wdr.de/themen/kultur/stichtag/2009/08/07.html>

Am 7. August 2009 hat sich der WDR 2 Stichtag dem Leben Red Adairs gewidmet, insbesondere einem seiner Einsätze in Deutschland, in Frankenthal 1980.

Offizielle Red Adair-Homepage (engl.)

<http://www.redadair.com>

Die Seite der Red Adair Company enthält Red Adairs Lebenslauf, Informationen zu seiner Arbeit, aber auch seinen Hobbys. Insgesamt hat die Seite aber nur wenig zu bieten.

Feuerökologie in Freiburg

<http://www.fire.uni-freiburg.de/feueroekologie/>

Seiten des Global Fire Monitoring Center, Leiter Professor Johann Georg Goldammer. Unter „Feuerökologie“ erfährt man einiges über die verschiedenen Waldarten auf der Erde und welche Rolle für sie das Feuer spielt. Feuer ist nämlich nicht nur zerstörerisch. Manche Wälder könnten ohne Feuer nicht existieren.

Das Global Fire Monitoring Center

<http://www.fire.uni-freiburg.de/>

Auf dieser Seite kann man mehr erfahren über die Arbeit der Freiburger Brandexperten in der ganzen Welt. (Englisch)

Interview mit Professor Goldammer zu Waldbränden weltweit

<http://www.zeit.de/online/2009/20/erde-sd-feuerrisiko-interview>

Feuerökologe Professor Johann Georg Goldammer erklärt in diesem Gespräch, welche Rolle Waldbrände weltweit spielen.

Professor Goldammer zur Feuerkatastrophe in Australien

<http://www.zeit.de/online/2009/07/interview-buschbraende-australien>

Goldammer zur Feuerkatastrophe Anfang 2009 in Australien.

Hintergrundwissen zu Waldbränden

http://www.planet-wissen.de/natur_technik/feuer_und_braende/waldbraende/index.jsp

Die Seite von Planet Wissen zu Waldbränden mit vielen interessanten Informationen.

Waldbrände in Europa

<http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports/fire-reports>

Das europäische Waldbrand-Informationssystem (EFFIS) veröffentlicht jedes Jahr einen Waldbrandbericht über die Gefahrenlage und die Folgen der Brände für Europa. (Englisch)

Impressum:

Herausgegeben
vom Westdeutschen Rundfunk Köln

Verantwortlich:
Quarks & Co
Claudia Heiss

Gestaltung:
Designbureau Kremer & Mahler

Bildrechte:
Alle: © WDR

außer:
wie bezeichnet

© WDR 2009