

Zur Charakterisierung des Brandverhaltens von Werkstoffen

Von Walter Berger*

Anmerkung der Schriftleitung:

Der vorliegende Beitrag wird bei Brandschutzfachleuten sicherlich nicht unwidersprochen bleiben.

So erscheint die Definition des Begriffes „naturwissenschaftlich“ zu eng; auch würden die nach dem vorgeschlagenen Prüfkonzept ermittelten Werte der „Brennbarkeit“ nicht das „Brandverhalten“ beschreiben, welches letztlich im Brandschutz interessiert.

Der Autor, der sich während seiner Tätigkeit in der Anwendungstechnischen Abteilung eines Chemieunternehmens mit Prüfmethode für Anstriche beschäftigte, meint, das Ziel seiner Arbeit sei „erreicht, wenn sich unter den Lesern nur ein Fachmann fände, der die nötigen Hilfsmittel hat und angeregt wird, die vorgeschlagenen Vergleichsversuche unvoreingenommen durchzuführen“.

Diskussionsbeiträge bitten wir der Schriftleitung zu übersenden; wir werden sie dann in einem der folgenden Hefte veröffentlichen.

1. Problemstellung

Brände sind in der Regel unerwünschte Ereignisse, sie gefährden nicht nur Sachen, sondern auch das Leben und die Gesundheit von Menschen. Deshalb ist das Brandverhalten von Werkstoffen, definiert als die speziell von der Werkstoffart ausgehende Gefahr, ein wesentliches Gebrauchsmerkmal. Diese Materialeigenschaft entscheidet darüber, ob eine zunächst unbedeutende Zündquelle den Werkstoff überhaupt entzündet, ob ein beginnender Brand sich schnell oder langsam ausbreitet, ob hohe Energiemengen freierwerden und den Brand weiter anfachen, und ob bei der Verbrennung umweltgefährdende Abgase entstehen. Die Kenntnis des Brandverhaltens ist wichtig für die Brandbekämpfung, vor allem aber auch für die Herabsetzung des Brandrisikos durch die Auswahl der jeweils bestgeeigneten Werkstoffe. Die gegenwärtig bekannten und angewandten Prüfverfahren für die Charakterisierung des Brandverhaltens von Werkstoffen sind bestenfalls geeignet für die Abschätzung der Zündfähigkeit, sie geben aber als empirische Methoden keine zuverlässigen Informationen über das tatsächliche Verhalten im Falle eines Brandes. Notwendig wäre eine Brandschutzforschung auf naturwissenschaftlicher Grundlage. Diesem Ziel dient die hiermit vorgelegte Arbeit.

2. Empirische und naturwissenschaftlich exakte Prüfmethode

Empirisch heißt „auf Erfahrung beruhend“. Manchmal handelt es sich aber mehr um Vermutungen und unzutreffende theoretische Vorstellungen. Dann kann es vorkommen, daß die mit einer Prüfmethode erhaltenen Ergebnisse nicht ausreichend mit den Praxisergebnissen übereinstimmen, was bei empirischen Methoden oft der Fall ist. Die Voraussetzung für eine naturwissenschaftlich exakte Prüfmethode ist die Analyse der zu prüfenden Eigenschaftsänderung nach Ursache und Wirkungsmechanismus, das Aufsuchen der dafür geltenden Naturgesetze und die Ausarbeitung der Prüfmethode in Übereinstimmung mit diesen Naturgesetzen. Die Prüfmethode ist jedoch nur dann na-

turwissenschaftlich exakt, wenn die erhaltenen Prüfergebnisse gut wiederholbar und reproduzierbar sind und wenn sie zuverlässig mit den Praxisergebnissen übereinstimmen. Empirische Prüfmethode können wertvoll sein, wenn bei ausreichender Aussagekraft und Zuverlässigkeit der Ergebnisse nur ein geringer Prüfaufwand erforderlich ist. Auf dem Gebiet der Werkstoffprüfung sind aber auch sehr aufwendige empirische Prüfmethode noch erstaunlich weit verbreitet, deren Ergebnisse von den Praxiswerten stark abweichen. Die Prüfergebnisse sind dann nicht nur wertlos, sondern schädlich, weil sie zu falschen Einstufungen und Beurteilungen und damit zu einer falschen Werkstoffauswahl führen.

3. Brandanalyse

Versucht man ein Bündel grüner Zweige mit einem Streichholz zu entzünden, so wird das kaum gelingen. Befund: Nicht brennbar.**

Legt man die Zweige auf ein kleines Feuer von Altpapier, so verbrennen sie zum Teil unter Qualmentwicklung, ist das Papier aber verbrannt, so brennen sie nicht weiter. Befund: Selbstverlöschend.

Ein etwas größeres Feuer aus trockenem Holz läßt die grünen Zweige schon vollständig verbrennen, aber langsam und qualmend. Befund: Schwer brennbar, feuerhemmend. Wirft man die Zweige schließlich in eine Feuerstätte mit weißglühenden Kohlen, so verbrennen sie fast augenblicklich unter Stichflammenbildung. Befund: Leicht brennbar, feuerfördernd.

Dieses einfache Beispiel weist auf eine Tatsache hin, die merkwürdigerweise bei den existierenden Prüfverfahren nicht definiert berücksichtigt wird: Das Brandverhalten eines brennbaren Stoffes hängt von der Temperatur ab.

Zur Verdeutlichung der Brandvorgänge ein weiteres einfaches Beispiel: Eine Wachskerze brennt nicht. Auch das geschmolzene Wachs brennt nicht. Erst wenn das im Docht aufgestiegene geschmolzene Wachs in der Hitze der Flamme verdampft, verbrennt dieser Dampf. Ähnlich ist das

* Dr.-Ing. Walter Berger, 5068 Odenthal-Glöbusch, Johann-Häck-Straße 14, Telefon (02174) 40464

** Die hier verwendeten Begriffe sind nur als umgangssprachliche Beschreibungen des Geschehens und nicht im Sinne der Begriffs-Definitionen in DIN 4102 oder in anderen Normen zu verstehen, in denen die Begriffe bestimmten Prüfkriterien zugeordnet sind.

Brandverhalten der meisten Werkstoffe: Es verbrennen vorwiegend die durch Hitze einwirkung ausgetriebenen Gase und Dämpfe. Erst bei sehr hoher Temperatur brennt auch die feste oder flüssige Oberfläche.

Die Verbrennung ist als die Umsetzung von Stoffen mit Sauerstoff unter Licht- und Wärmeentwicklung (Oxidation) eine der einfachsten und bestbekanntesten chemischen Reaktionen. Für die Charakterisierung des Brandverhaltens von Werkstoffen sind drei Größen oder Folgen dieser Reaktion von besonderem Interesse:

Die Verbrennungsgeschwindigkeit,
der Energieumsatz (Wärmeleistung),
die Rauchdichte und Toxizität der Abgase.

Schließlich kann man bei einem Brand von folgenden Grundtatsachen ausgehen:

Der Reaktionspartner Sauerstoff ist mit maximal ca. 21 Vol.-% bzw. 23 Gew.-% in der Luft enthalten, der Luftdruck liegt immer im Bereich um 1 bar.

Im Brandbereich können alle Temperaturen zwischen äußerer Lufttemperatur und einigen tausend K und alle Luftsauerstoffkonzentrationen zwischen 0 und normal vorkommen.

Betrachten wir ein Werkstoff-Volumenelement in einem Schadenfeuer, so ergeben sich aus der obigen Analyse der Fakten folgende Schlußfolgerungen:

Die Temperatur ist der entscheidende Parameter für das Brandverhalten des Materials, sie beeinflusst die Vergasungsgeschwindigkeit (Verdampfung, Zersetzung) und in Verbindung mit der Sauerstoffkonzentration der umgebenden Luft die Verbrennungsgeschwindigkeit, den Energieumsatz sowie Art und Menge der Abgase.

Die Temperatur des betrachteten Volumenelementes wird durch das äußere Brandgeschehen bestimmt, die eigene Verbrennungswärme hat nur sekundäre Bedeutung.

Die Art und Menge des umgebenden Materials, die Form und die Verteilung des Materials im Raum sowie die Art der Aufheizung, z. B. durch Flammen, Strahlung, Heißluft etc. beeinflussen nur das äußere Brandgeschehen, im wesentlichen Temperatur und Sauerstoffkonzentration, nicht jedoch das charakteristische Brandverhalten des untersuchten Werkstoffes.

Der Beitrag des Stoffelementes zum Brandgeschehen ist am höchsten bei Frischluftzufuhr mit normaler Sauerstoffkonzentration, die Toxizität der Abgase und die Rauchdichte können dagegen auch mit abnehmender Sauerstoffkonzentration zunehmen.

Wenn das so ist, dann ist es auch möglich, das Brandverhalten von Werkstoffen im Laborversuch zu bestimmen und anhand der Versuchsergebnisse zu klassifizieren. Erforderlich ist nur, in einer geeigneten Apparatur die entscheidenden Einwirkungen auf ein Werkstoff-Volumenelement im Brandgeschehen, nämlich Temperatur und Sauerstoffkonzentration, abgestuft nachzustellen und die Einzelkomponenten des Brandverhaltens in Abhängigkeit von diesen Parametern zu ermitteln. Da im Brandgeschehen sehr unterschiedliche Bedingungen möglich sind, sollten für die Abschätzung der von einem Werkstoff ausgehenden Gefahr für jede Einzelprüfung die jeweils ungünstigsten Bedingungen als Basis gewählt werden.

4. Stand der Prüftechnik

Eine Analyse der existierenden Prüfverfahren für die Charakterisierung des Brandverhaltens von Werkstoffen ergibt

in den meisten Fällen eine Abhängigkeit der Prüfergebnisse von folgenden Parametern:

Art des Werkstoffs;
Menge des Werkstoffs;
Form oder Verteilung des Werkstoffs;
Luftzuführung und Luftmenge;
Art der Beflammung (vereinzelte Bestrahlung).

Außer der Werkstoffart ist aus naturwissenschaftlicher Sicht keiner dieser Parameter für die Prüfaufgabe geeignet: Die Werkstoffmenge erhöht unkontrolliert die Temperatur über die eigene Verbrennungswärme. Durch die Werkstoffverteilung im Raum wird die Erwärmungsgeschwindigkeit und damit die Verbrennungsgeschwindigkeit und Eigenaufheizung, also speziell das Brandgeschehen, beeinflusst. Das gleiche gilt sinngemäß für die Luftzuführung und -menge. Die Beflammung schließlich ist prüftechnisch ein Begriff aus dem frühen Mittelalter, einer Zeit, in der das Feuer noch eines der vier Grundelemente war.

Bei allen diesen Prüfverfahren wird jeweils ein spezielles Brandgeschehen künstlich nachgebildet, die Versuchsbedingungen werden durch Probenform, Geräte- oder Raumabmessungen, Zündquellen, Flammenlängen, Abstände und ähnliche Größen festgelegt. Flammen werden dabei so behandelt, als ob sie eine Art Ansteckung, wie z. B. Bakterien oder Viren, wären und nicht eine chemische Reaktion in der Gasphase zur Erzeugung von Wärme. Entsprechend dieser Vorstellung werden Temperaturen nicht definiert.

Soweit es sich um relativ einfache Verfahren zur Prüfung nur des Zündverhaltens handelt, können diese Prüfmethoden eine gewisse Berechtigung haben. Für die Beurteilung des Brandverhaltens als Werkstoffeigenschaft sind solche empirisch konstruierten Spezialfälle jedoch völlig ungeeignet. Trotzdem werden sogar Großversuche dieser Art in speziell entwickelten Brandhäusern mit unverhältnismäßig hohen Kosten durchgeführt.

Die Natur beantwortet immer nur die Fragen, die ihr in einem Experiment gestellt werden. Entsprechend sind die Ergebnisse von empirischen Brandversuchen immer nur auf das dort speziell ablaufende Brandgeschehen bezogen und geben keine Auskunft über das Verhalten unter abweichenden Bedingungen in einem wirklichen Schadenfeuer. Wenn bisher bei Großversuchen „bessere“ Ergebnisse erhalten wurden, so lag das nicht an den größeren Dimensionen, sondern einzig und allein an den höheren Temperaturen, die bei der Verbrennung sehr großer Materialmengen erreicht werden. Temperaturen lassen sich aber weit wirtschaftlicher, besser definiert und reproduzierbar im kleindimensionierten Laborversuch einstellen.

Moderne Chemiewerkstoffe sind im Gegensatz zu Naturstoffen meist chemisch sehr einheitlich aufgebaut. Entsprechend sind dann auch Verdampfung und Zersetzung auf enge Temperaturbereiche beschränkt. Die große Gefahr liegt nun darin, daß bei einer empirischen Prüfung ein solcher Temperaturbereich nicht erreicht wird und der Prüfbefund entsprechend günstig ausfällt. Wird dann im tatsächlichen Brandgeschehen der kritische Temperaturbereich überschritten, so kann es zu plötzlicher Verdampfung oder Zersetzung mit explosionsartiger Verbrennung und Bildung von gefährlichen Stichflammen kommen, die das Brandgeschehen außerordentlich stark beschleunigen und die Löscharbeiten und -mannschaften entsprechend gefährden.

Die mit empirischen Prüfmethoden erhaltenen Befunde und Gutachten über das Brandverhalten von Werkstoffen wurden bei tatsächlichen Großbränden bisher regelmäßig widerlegt. Und in unzähligen Gebäuden und anderen Ob-

jekten wurden aufgrund der Prüfbefunde falsche Materialien verwendet, die das Brandrisiko erhöhen.

Die einzige naturwissenschaftlich exakte Größe, die bisher für die Charakterisierung des Brandverhaltens von Werkstoffen mit herangezogen wird, ist der Heizwert. Er gibt an, welche Wärmeenergie von der Gewichtseinheit eines Werkstoffes bei vollständiger Verbrennung abgegeben wird und ist damit eine wichtige Größenangabe über die von einem Werkstoff im Falle eines Brandes ausgehende Gefahr. Für sich allein genommen ist jedoch der Heizwert für die Charakterisierung des Brandverhaltens nicht ausreichend.

5. Ausarbeitung einer naturwissenschaftlich exakten Prüfmethode

5.1. Prüfkriterien

Der *Flammpunkt* ist die niedrigste Temperatur, bei der von dem untersuchten Werkstoff ein Gas abgegeben wird, das im Gemisch mit Luft bei Fremdzündung brennbar ist.

Die *Entzündungstemperatur* ist die niedrigste Temperatur, bei der sich die vom Werkstoff abgegebenen Gase oder die Werkstoffoberfläche in der Luft selbst entzünden. Wird der Werkstoff durch irgendwelche äußeren Einwirkungen auf diese Temperatur erwärmt, so entsteht ein Brand.

Flammpunkt und Entzündungstemperatur beschreiben das Zündverhalten eines Werkstoffes, sie haben aber kaum einen Einfluß auf das eigentliche Brandverhalten. Je höher Flammpunkt und Entzündungstemperatur sind, um so geringer ist das Brandentstehungsrisiko.

Der *Heizwert* ist die Wärmeenergie, die bei vollständiger Verbrennung des Werkstoffes entsteht, er bestimmt die Energiemenge, die im Falle eines Brandes freigesetzt wird. Da von verschiedenen Werkstoffen für den gleichen Zweck unterschiedliche Mengen erforderlich sind, ist bei der Materialauswahl vom Heizwert der jeweils benötigten Materialmenge auszugehen.

Der *Energieumsatz* ist die Wärmemenge, die bei unvollständiger Verbrennung des Werkstoffes bei einer bestimmten Temperatur tatsächlich entsteht, bei vollständiger Verbrennung ist er mit dem Heizwert identisch.

Nicht brennbar ist ein Werkstoff nur dann, wenn er keine Bestandteile enthält, die exotherm mit Sauerstoff reagieren können. Begriffe wie „*schwer entflammbar*“, „*feuerhemmend*“, „*selbstverlöschend*“ etc. gelten immer nur für begrenzte Temperaturbereiche, sie sind für die Charakterisierung des Brandverhaltens von Werkstoffen irreführend und sollten deshalb vermieden oder nur in Verbindung mit Temperaturangaben gebraucht werden.

Die *Vergasungsgeschwindigkeit* ist die Geschwindigkeit, mit der bei einer bestimmten Temperatur von dem Werkstoff Dämpfe und gasförmige Zersetzungsprodukte abgegeben werden. Es handelt sich wegen der Veränderung des Werkstoffes während der Vergasung nicht um eine zeitlich konstante Größe.

Die *Vergasungsgeschwindigkeit* ist für das Brandverhalten eines Werkstoffes von entscheidender Bedeutung, sie bestimmt die *Verbrennungsgeschwindigkeit* und über die *Beweglichkeit* und *Größe* der entstehenden Flammen weitgehend den Beitrag des Werkstoffes zum Brandgeschehen.

Die *Verbrennungsgeschwindigkeit* gibt an, in welcher Zeitfolge der Heizwert des Materials durch Oxidation realisiert wird. Je schneller die Verbrennung, um so steiler ist der Temperaturanstieg, der seinerseits wieder die *Vergasungs- und Verbrennungsgeschwindigkeit* erhöht und so die *Brandausbreitung* über *Flammengröße* und *Aufheizung*

der Umgebung potenziert beschleunigt. Entsprechend werden die Möglichkeiten der *Brandbekämpfung* reduziert. Deshalb sollten die eingesetzten Werkstoffe *niedrige Vergasungs- und Verbrennungsgeschwindigkeiten* haben, die über einen möglichst weiten Temperaturbereich nur wenig ansteigen. Auf diese Weise wird in einem Schadenfeuer die *Verbrennungsdauer* gestreckt und die *Hitzeentwicklung* niedrig gehalten. Das verringert die Gefahren und erleichtert die *Brandbekämpfung*.

Die *Rauchdichte* und die *Toxizität der Abgase* sind von Bedeutung für die Gefährdung von Personen im Brandbereich und damit auch für die *Brandbekämpfung*.

5.2. Messungen und Bewertungen

Zur Bewertung und Klassifizierung der von einem Werkstoff im Falle eines Feuers ausgehenden Gefahren, d. h. der Charakterisierung des Brandverhaltens als Materialeigenschaft, sollten die folgenden Messungen durchgeführt werden:

1. Flammpunkt
2. Entzündungstemperatur
3. Heizwert
4. Vergasungsgeschwindigkeit als Funktion der Temperatur (in Stufen ohne Luftzufuhr)
5. Heizwert der bei 4. abgeschiedenen Gase
6. Toxizität und Trübung der bei 4. abgeschiedenen Gase
7. Verbrennungsgeschwindigkeit als Funktion der Temperatur (in Stufen mit Zufuhr temperierter Luft)
8. Wärmeleistung von 7.
9. Toxizität und Rauchdichte der bei 7. entstehenden Abgase
10. Wie 9., aber als Funktion reduzierter Sauerstoffzufuhr.

Günstig einzustufen wären Werkstoffe mit möglichst hohen Zündtemperaturen, niedrigen Heizwerten, niedrigen Vergasungs- und Verbrennungsgeschwindigkeiten in möglichst weiten Temperaturbereichen und mit harmlosen Abgasen. Werkstoffe mit hohen Vergasungs- und Verbrennungsgeschwindigkeiten, die in einem engen Temperaturbereich plötzlich auftreten, sind auch dann als sehr gefährlich einzustufen, wenn dieser Temperaturbereich relativ hoch liegt.

Im Verlauf der Versuche wird sich zeigen, welche Meßwerte für die einwandfreie Charakterisierung und Klassifizierung des Brandverhaltens als Materialeigenschaft der Werkstoffe notwendig und hinreichend sind, um die im Brandfall von einer Werkstoffart ausgehende Gefahr zuverlässig zu definieren. Zweifellos werden sich auch weitere Fragestellungen ergeben und es werden zusätzliche Überlegungen erforderlich sein. Z. B. wird man zur Prüfung von Verbundwerkstoffen auch weiterhin empirische Versuche zusätzlich durchführen müssen, wobei aber auf überhöhte Dimensionen verzichtet und statt dessen die Temperatur definiert abgestuft werden sollte. Flammen sind optisch eindrucksvoll, als Mittel der Temperatureinstellung jedoch zu wenig definiert und deshalb zu vermeiden. Leider ist es mir nicht möglich, die erforderlichen Experimente selbst durchzuführen, andernfalls hätte ich die Arbeit nicht in diesem Stadium vorgelegt.