



Bild 1 | Blick auf die minimalen Brandspuren auf der Dachinnenseite

## Witterungsbedingte Brandentstehung

Sonnenstrahlung kann bei technischen Apparaturen eine mögliche Zündquelle darstellen, wie bereits in früheren Artikeln zu dieser Rubrik gezeigt wurde. [1, 2] Hierbei kann ein eigentlich für das Arbeitsprinzip konzipierter Wärmestau im Zusammenspiel mit der Auswahl brennbaren Konstruktionsmaterials zu einer Brandentstehung zum Beispiel in Solarthermieanlagen führen.

Es ist wohl auch weithin bekannt, dass eine Lupe zum Entzünden von brennbaren Materialien ausreicht. Ob eine zerbrochene Flasche zum Auslöser eines Waldbrandes werden kann, ist allerdings schon wieder kritisch zu hinterfragen. In jedem Fall spielt dabei dann der sogenannte "Linseneffekt" die entscheidende Rolle.

Weniger landläufig ist, dass auch konkav gewölbte, verspiegelte Oberflächen zu einer Fokussierung eintreffender Strahlung führen ("Hohlspiegeleffekt"). Die so gebündelten Strahlen (z. B. des Sonnenlichts) durchlaufen nach der Reflexion an der spiegelnden Oberfläche einen Brennpunkt, in dem die Energie fokussiert wird.

In diesem Brennpunkt werden daher vergleichsweise hohe Temperaturen erreicht. Die Ausnutzung dieses Phänomens findet bei sogenannten Solarkochtöpfen oder so-



Bild 2 | Blick auf die südliche Dachtraufe mit den räumlich tiefsten Brandzehrungen

gar zur Energiegewinnung zum Beispiel bei dem Odeillo Solarkraftwerk in Frankreich statt.[3]

Gänzlich ungewünscht ist dieser Effekt bei (großen) verspiegelten Flächen, die bauartbedingt oder aufgrund der Ästhetik eine konkave Wölbung besitzen. Ein sehr beeindruckendes Beispiel für dieses Phänomen stellt ein moderner Wolkenkratzer in London dar: Dessen fokussierte Reflexion an der gewölbten, hochverspiegelten Außenfassade führte zu Sengschäden auf der gegenüberliegenden Straßenseite.[4]

Auch bei dem hier vorgestellten Schaden führte die Reflexion an einer verspiegelten Oberfläche, die eigentlich plan sein sollte, zu der Entstehung eines Brandes durch einen "Hohlspiegeleffekt". Hierbei reichten schon wenige Millimeter Abweichung aus.

Allgemeinhin wird Christi Himmelfahrt, bzw. weitaus geläufiger der "Herrentag", im Berliner Raum mit eher durchwachsenem Wetter in Zusammenhang gebracht nicht so jedoch im Jahr 2018.

Eine im Zuge der Brandursachenermittlung durchgeführte Wetteranalyse ergab, dass der letzte Niederschlag am Schadenort zur Schadenzeit etwa vier Tage zurück lag. Am Herrentag selbst ging kein Wind und es herrschte bei gut 20 °C strahlender Sonnenschein mit einer Sonnenscheindauer von fast 14 Stunden, was beinahe viermal so lange war wie an den Vortagen.

Die Familie des brandbetroffenen Einfamilienhauses hatte daher bis auf den Hausherrn das Haus für einen Ausflug verlassen. Der Schaden wurde dann auch von einer Nachbarin um etwa 14:45 Uhr bemerkt, die

daraufhin sofort die Feuerwehr alarmierte. Weiterhin informierte sie auch den Hauseigentümer, der sich zu dieser Zeit im Wohnzimmer im Erdgeschoss befand. Dieser unternahm noch einen eigenen Löschversuch in der nach Süden weisenden Spitzgaube im Dachgeschoss, musste sich dann aber aus Sicherheitsgründen zurückziehen. Die Feuerwehr konnte den Schaden zwar zügig löschen, dennoch entstand ein erheblicher Sachschaden.

Der Schadenort wurde vom IFS direkt am Folgetag und am darauf folgenden Montag untersucht, auf diese Weise konnte ein unverändertes Spurenbild in Augenschein genommen werden.

Es wurde festgestellt, dass im Inneren des Gebäudes keine Brandzehrungen zu finden waren. Einzig in dem Raum mit einer







Bild 3 | Blick auf die südliche Dachfläche

Bild 4 | Blick auf die Verschalung mit Brandverlauf "von außen nach innen"

nach Süden ausgerichteten Spitzgaube war die Gipskartonbeplankung der Dachschräge im Zuge der Löscharbeiten geöffnet worden (Bild 1).

Die tiefsten und gleichzeitig intensivsten Brandzehrungen wurden allerdings im Bereich der Dachtraufe unter dem südseitigen Dach festgestellt (Bild 2).

Von dort aus hatte das Feuer beinahe die gesamte südliche Dachfläche auf der Außenseite erfasst (Bild 3).

Auch an der inneren Sichtschalung des Daches war ein Brandverlauf "von außen nach innen" nachzuvollziehen (Bild 4).

Es ist daher festzuhalten, dass der Brand im Bereich der Außenhaut des Daches, in jedem Fall aber nicht innerhalb des Gebäudes ausgebrochen ist.

Die Festlegung des Brandausbruchbereiches ist bei einer Brandursachenermittlung von zentraler Bedeutung; danach wird dieser Bereich auf infrage kommende Zündquellen hin untersucht.

Eine der häufigsten Brandursachen ist ein elektrotechnischer Defekt an elektrischen

Geräten oder elektrischen Installationen. Da sich zur Schadenzeit im Brandausbruchbereich jedoch keine elektrischen Komponenten befanden – auch keine Dachrinnenheizung – ist ein elektrotechnischer Defekt als Brandursache sicher auszuschließen.

Auch eine Inbrandsetzung kann ausgeschlossen werden, da das Gebäude durch die Nachbarin "im Blick" war und außerdem mithilfe eines Photoionisationsdetektors keine Hinweise auf typische Brandlegungsmittel gefunden wurden.

Ein Blitzschlag ist aufgrund der vorherrschenden Witterung zur Schadenzeit ebenfalls als Brandursache auszuschließen, wie zudem eine Blitzabfrage belegte.

Da sich schon aufgrund der sehr schlechten Zugänglichkeit niemand im Brandausbruchbereich aufgehalten haben kann, sind auch alle Zündquellen, die mit "menschlichem Fehlverhalten" im Zusammenhang stehen könnten (z. B. unachtsamer Umgang mit Kerzen und Rauchutensilien, Heiß- und feuergefährliche Arbeiten usw.) auszuschließen. Hinweise auf selbstentzündliche Prozesse lagen ebenso wenig vor.

Nach dem Ausschlussverfahren sind damit bereits fast alle möglichen Zündquellen ausgeschlossen.

Bei einer Untersuchung des Umfelds der Schadenstelle zeigte sich jedoch, dass sich unter dem nach Süden weisenden Dach ein Wintergarten befand. Dessen Oberseite war mit einem Sonnenreflexionsfilm ausgestattet und wurde nicht beschattet. Auch wenn ein Großteil der Scheiben durch herabfallende Ziegel zerstört wurde, waren doch einige Glasflächen erhalten



**Bild 6** | Blick aus dem Dachfenster auf den verbliebenen Dachüberhang; der Schatten der Kamera zeichnet sich deutlich in der Spiegelung ab (rote Markierung).





Bild 5 | Blick auf die südliche Hauswand; unter der Traufe sind die Spiegelungen der noch verbliebenen Wintergartenfenster schwach zu erkennen.

geblieben. An der südlichen Hauswand zeigte sich dann auch unmittelbar unter der Dachtraufe eine Reflexion der Sonnenstrahlung durch das Wintergartendach (Bild 5).

Die Spitzgaube wurde durch das Fenster im Dachgeschoss erneut begutachtet. Dabei zeigte sich eine intensive Sonneneinstrahlung mit deutlicher Temperaturwahrnehmung, ausgehend von dem Wintergartendach. Der Lichtschein war dabei nach innen verzerrt und durch die ver-

bliebene Teilfläche so fokussiert, dass die Kamera einen deutlichen Schatten warf (Bild 6).

Die spezifische Strahlungsleistung, die die eingestrahlte Sonnenenergie pro Fläche beschreibt, beträgt in unseren Breiten maximal ca. 1.000 W/m² (standort-, jahresund uhrzeitabhängig). Damit sind ohne optische Systeme sogar leicht brennbare Materialien wie Papier, Heu oder Strohnicht zu entzünden. Es werden auch unter "optimalen" Bedingungen allenfalls Temperaturen im Bereich von 85°C erreicht. [5]

Wird jedoch ein optisches System wie eine Sammellinse oder ein Hohlspiegel verwendet, werden schnell Temperaturen von 200°C bis 300°C erreicht, die oberhalb der Zündtemperatur vieler brennbarer Materialien liegen.

Zunächst scheinen diese Temperaturen noch "unkritisch", da im Brandausbruchbereich nur Holz vorhanden war, und "normales Holz", je nach Holzart, eine Zündtemperatur von 280°C bis 340°C besitzt. [6] Wirken auf derartige Materialien Temperaturen oberhalb von 120°C über einen längeren Zeitraum ein, sinkt infolge einer sogenannten thermischen Aufbereitung (Py-

rophorisierung) die Zündtemperatur<sup>[7]</sup> bis auf Temperaturen um 120°C. Verantwortlich hierfür sind aus chemischer Sicht unter anderem auch Abbau- und Umstrukturierungsprozesse der langkettigen Zellulose in leichter entzündbare Verbindungen mit einer deutlich herabgesetzten Zündtemperatur. Übersteigt die Umgebungstemperatur die Zündtemperatur eines Stoffes, entzündet sich dieser nur aufgrund der vorherrschenden Temperatur. Die Zündtemperatur von Holz kann durch die thermische Aufbereitung somit bis deutlich unter die Temperaturen abgesenkt werden, die durch Sonneneinstrahlung in Zusammenspiel mit einem optischen System erreichbar sind.

Der Wintergarten war laut vorliegendem Angebot im Jahr 1999 angebaut worden. In dem Angebot wurde festgehalten, dass es sich bei der Verglasung um "Verbundsicherheitsglas" mit einem Sonnenreflexionsfilm und einer Reflexionsrate von bis zu 99 % handelt. Zwar ist damit eine verspiegelte Oberfläche gegeben, diese sollte aber dennoch nicht ausreichen, um die benötigten Zündtemperaturen zu erreichen.

Daher wurde die Verglasung beim zweiten Ortstermin, nachdem ein Gerüst gestellt >







Bild 7 | Blick auf die hochverspiegelten Dachscheiben des Wintergartens; es ist zu erkennen, dass die gerade Hilfeleiste (die messingfarbene Leiste auf der verspiegelten Oberfläche) in der Mitte der Scheibe nicht aufliegt. Es ist ein Spalt zu erkennen.

Bild 8 | Bei der Scheibe aus Bild 7 wird festgestellt, dass diese etwa 3,5 mm "durchhängt": Der Abstand zwischen der Hilfsleiste und dem Glas kann an dem Lineal abgelesen werden und beträgt "nur" etwa 3,5 mm (rote Markierung).

war, eingehend untersucht. Hierbei zeigte sich durch Auflegen einer geraden Hilfsleiste schon makroskopisch, dass die ca. 78×78cm großen Glasscheiben im Mittelpunkt leicht "durchhingen" (Bild 7).

Bei einer der noch vollständig intakten Scheiben wurden ca. 3,5 mm Abweichung aus der Ebene gemessen (Bild 8).

Eine nicht plane, hochverspiegelte Scheibe wirkt wie ein Hohlspiegel. Wird die Scheibe dann als Kugelsegment betrachtet, ergibt sich über die Länge der Seiten (780 mm) und die Tiefe des Durchhängens (ca. 3,5 mm) eine innen verspiegelte Kugel mit einem genäherten Durchmesser von ca. 80 m. Aufgrund des astigmatischen Verhaltens der Fläche besitzt ein derartiges System, das sich wie ein Hohlspiegel verhält,

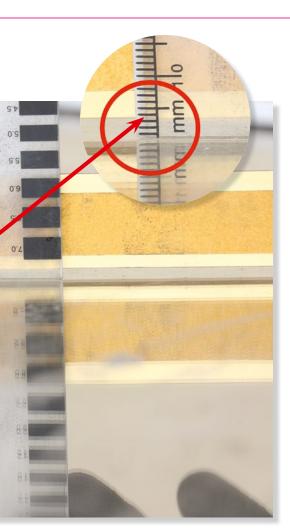
mehrere Brennweiten. Damit ist auch die "Nach-innen-Verzerrung" der widergespiegelten Lichtfläche auf **Bild 6** zu erklären.

Allein über die eine Seitenlänge betrachtet besitzt dieses theoretisch genäherte optische System daher eine Brennweite von ca. 40 m (f = r/2). Wie stark die anderen zerstörten Scheiben durchhingen, war nicht mehr nachzuvollziehen. Es darf aber angenommen werden, dass darunter auch stärker durchhängende Scheiben waren, die wiederum noch kleinere Brennweiten hatten. Zusätzlich ist zu betrachten, dass die Krümmung der Glasscheiben bei der hier nur als theoretisches Konstrukt betrachteten Hohlkugeln nicht über die gesamte Fläche gleichmäßig ist: Innen werden kleinere Krümmungsradien als am Rand der jeweiligen Scheibe erwartet und

damit noch kleinere Brennweiten. Selbst bei vorsichtiger Schätzung sind Brennweiten von unter 30 m vorstellbar.

Der Abstand zwischen den Scheiben und dem Traufüberstand betrug etwa 7 m. Damit befand sich der Traufüberhang zwar nicht genau im Brennpunktbereich der untersuchten Scheibe, insgesamt hatte die Fokussierung des Sonnenlichts unter den vorherrschenden Bedingungen augenscheinlich trotzdem zur Zündung des zuvor bereits thermisch aufbereiteten Holzes ausgereicht, da zusätzlich unter dem Traufüberhang auch noch ein Wärmestau entstehen konnte.

Dieses Beispiel zeigt sehr eindrucksvoll die Gefahr durch große, verspiegelte Flächen, wenn diese nicht plan sind. Wie gezeigt wurde, können schon wenige Millimeter



In der Zusammenfassung ist festzustellen, dass der Brand nur durch eine Verkettung vieler ungünstiger Faktoren entstehen konnte, die im Folgenden genannt werden sollen:

- Das Dach des Wintergartens war fast exakt nach Süden ausgerichtet.
- 2. Die Glasflächen waren hochverspiegelt.
- 3. Es gab keinerlei Beschattung der Dachflächen.
- 4. Es hatte seit Tagen nicht geregnet und es herrschte am Schadentag strahlender Sonnenschein.
- Das Holz muss bereits im Vorfeld des Schadens thermisch aufbereitet worden sein.
- Infolge des "Durchhängens" wurde ein optisches System wie ein Hohlspiegel gebildet.
- 7. Brennbares Material hatte sich in der Nähe des Brennpunktes dieses optischen Systems befunden.
- 8. Es waren die Voraussetzungen für einen Wärmestau gegeben. Eine Abführung der Wärme, zum Beispiel durch Wind, fand nicht statt.
- Wahrscheinlich haben sich die beleuchteten Bereiche des widergespiegelten Lichts überlappt.

Abweichung ausreichen! Warum das Glas "durchhing", war im Verlauf der Untersuchungen durch das IFS nicht mehr zweifelsfrei nachzuvollziehen (z. B. ein Produktmangel oder eine Alterungserscheinung), daher wird an dieser Stelle auf eine Diskussion dieser Ursache verzichtet.

Durch das Zusammenspiel der obigen Voraussetzungen kann generell ein Problem entstehen. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit, dass auf diese Weise tatsächlich ein Brand entsteht, verhältnismäßig gering, insbesondere da sehr viele Einflussfaktoren synergetisch wechselwirken müssen.

Hierbei können bereits kleine Änderungen eine Brandentstehung unmöglich machen.

Das IFS empfiehlt daher, bei Bedenken Kontakt mit einem Dachdecker oder einem Spezialisten, zum Beispiel für Wintergärten, aufzunehmen und keinesfalls eigene Änderungen vorzunehmen.

## LITERATURVERWEIS

- [1] "Brände an thermischen Solaranlagen"; Dipl.-Ing. (FH) J. Hoyer; schadenprisma 2/2014.
- [2] "Heiße Grüße von der Sonne: Neues aus der Rubrik Thermische Solaranlagen"; Dr. M. Klaper; schadenprisma 1/2017.
- [3] "Energie aus dem Sonnenofen"; Deutschlandfunk Kultur: 25.01.2017.
- [4] "Brennglas-Effekt bei Londoner Hochhaus"; Spiegel online: 04.09.2013.
- [5] "Methodischer Leitfaden zur Brandursachenermittlung"; Steinbach, Puchner, Redmer, van Bebber, Krönke, Fiedler; VdS-Verlag; Köln: 2012.
- [6] "Holz Brandschutz Handbuch"; Kordina, Meyer-Ottens; 3. Auflage; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH und Co. KG; Berlin: 2009.
- [7] Bei der Zündtemperatur handelt es sich per Definition um die Temperatur, bei der sich ein Stoff in Gegenwart von Luftsauerstoff ohne Mitwirkung einer externen Zündquelle von selbst entzündet.
- [8] "Überhitzung die schlummernde Brandgefahr"; Dipl.-Chem. Christine Huth; schadenprisma 3/2013.
- [9] Ein astigmatisches optisches System besitzt in verschiedenen Richtungen unterschiedliche Krümmungsradien und somit unterschiedliche Brennweiten.

Dipl.-Chem. Dr. Matthias Klaper Institut für Schadenverhütung und Schadenforschung der öffentlichen Versicherer e.V.