

ISO/TC92/SC 4 Brandschutz-Ingenieurwesen

Arbeitsprogramm:

- WG 1: ■ Prinzipien für die Anwendung der Methoden des Brandschutz-Ingenieurwesens
 - Charakterisierung der Gebäude, ihrer Nutzung und der zugrunde zu legenden Beanspruchungen
 - Anwendbarkeit und Nachweise für die Eignung von Berechnungsverfahren
- WG 2: ■ Entstehung von Bränden und Entwicklung von Feuer, Rauch und Brandgasen in Räumen
 - Ausbreitung von Rauch und Brandgasen in Gebäuden
- WG 3: ■ Über den Raum der Brandentstehung hinausgehende Brandausbreitung
- WG 4: ■ Brandentdeckung, Aktivierung von Brandschutzanlagen und Brandunterdrückung
- WG 5: ■ Flucht und Rettung

Brandsimulation – Hilfsmittel zur Brandschutzbewertung

Dipl.-Phys. Petra Büttner, Dipl.-Ing. Thomas Koch

Brände stellen auch heute noch eine direkte Gefahr für den Menschen dar und stehen für den Verlust hoher materieller Werte.

Die ausschließlich praktisch orientierte Behandlung des Brandschutzes entspricht heute nur noch bedingt den Anforderungen einer modernen Industriegesellschaft. Gerade bei Gebäuden besonderer Art oder Nutzung können vielfältige brandschutztechnische Probleme auftreten, die sich allein mit konventionellen Brandschutzvorschriften und praktischer Erfahrung nicht mehr lösen lassen.

Typische Beispiele dafür sind die brandschutztechnische Auslegung und Begutachtung von ausgedehnten Industriehallen oder Lagern mit hohem

Gefahr-/Schadstoffpotential. Abhilfe schaffen hier die Anwendungen rechnerischer Verfahren des Brandschutzingenieurwesens, die – auf naturwissenschaftlicher Grundlage basierend – für die Gefahrenbewertung heute mehr und mehr an Bedeutung gewinnen. Durch die mathematische Modellierung von Brandverläufen (von der Entzündung über den Vollbrand bis zum Ausbrand) ist man heute in der Lage, Brände in Industrie- und Wohngebäuden zu simulieren und tatsächliche Brandverläufe in Versuchsräumen und in der Realität rechnerisch zu beschreiben.

Raumbrandmodellierung

Die Anfänge der mathematischen Modellierung von Brandvorgängen

gehen bis in die 50er Jahre zurück, wobei zuerst Vollbrandmodelle für einen einzelnen Raum entwickelt wurden. Diese Modelle bilden den Brandraum mit einer einzigen Gasschicht ab, für die homogene Temperaturen angenommen werden. Brände der quasistationären Vollbrandphase (Flash Over) können für relativ kleine Räume mit diesen Programmen berechnet werden.

Mit der Weiterentwicklung der Rechentechnik konnten auch Modelle der Brandausbreitung und -berechnung komplexer werden. Es wurden Zonen- und Feldmodelle entwickelt, wobei die letzteren am rechenintensivsten sind und entsprechend leistungsfähige Hardware erfordern.

Feldmodelle ermöglichen die Aufteilung des Brandraums und der betrachte-

ten Raumkonfiguration in eine Vielzahl von Zonen, für die Masse- und Energiebilanzen aufgestellt und gelöst werden müssen. Zur Berücksichtigung der komplizierten Wechselwirkungen (Turbulenzen) zwischen diesen Zonen ist die Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen erforderlich. Mit diesen Modellen lassen sich sehr detaillierte Aussagen über den Brandraum (Geschwindigkeits- und Temperaturfelder, lokale Rauchgaskonzentrationen) gewinnen, jedoch nur mit erheblichem numerischem Aufwand unter Einsatz von leistungsfähigen Großrechnern. Zudem enthalten die Feldmodelle keine integrierten Abbrandmodelle, d. h. der eigentliche Pyrolyse- und Verbrennungsprozess und die Rückwirkung der Strömungen auf die Verbrennung wird nicht modelliert. Feldmodelle wurden u. a. von Schneider/Hofmann (KOBRA-3D [1]) und Marcatos/Cox (MOSIE [2]) vorgestellt.

Bei den Zonenmodellen werden der Brandraum und anliegende Räume in zwei horizontale Zonen unterteilt, in denen jeweils homogene Verhältnisse (Temperatur, Druck, Konzentrationen) vorliegen. Aufgrund dieser Vereinfachung sind diese Modelle weniger rechenaufwendig als die Feldmodelle und auch auf dem PC anwendbar. Für die Zonenmodelle liegen aufgrund ihrer langjährigen internationalen Entwicklung und Anwendung gute Erfahrungen vor. Es können mit diesen Modellen Brände in Räumen oder Raumgruppen vom Brandbeginn über die Schwelphase, Brandentwicklungs- bzw. Brandausbreitungsphase und dem Flash Over bis zum völligen Ausbrand berechnet werden. Die Aufheizung und Entzündung brennbarer Objekte im Raum wird ebenso berücksichtigt wie die Wärmeabgabe an Wände und Decken sowie die Wärmeströmungen durch vorhandene Öffnungen in weitere Räume oder ins Freie, wobei die Größe der Öffnungen zeitlich veränderlich simuliert werden kann.

Als Ausgangsdaten für die Rechenprogramme, die auf der Grundlage von Zonenmodellen arbeiten, sind folgende Angaben erforderlich:

Raumdaten:

- Raumabmessungen (Quadergeometrie)
- Geodätische Höhe des Fußbodens
- Abmessungen und Lage von Raumöffnungen
- Thermophysikalische Eigenschaften (c , ρ , λ , ϵ) und Abmessungen der Raumbegrenzungen

Daten über das Brandgut:

- Lage des Objektes im Raum (insbesondere Höhenlage)
- Freisetzungsteile der verschiedenen Verbrennungsprodukte
- Spezifische Verbrennungsenthalpie
- Zündtemperatur
- Abmessungen des brennenden Objektes¹⁾
- Stoffdaten (spezifische Wärme, Dichte, Emissionskoeffizient der Objektfläche, Wärmeleitfähigkeit, spezifische Verdampfungsenthalpie)¹⁾

Daten über den Brandablauf:

- Anfangstemperatur und -druck
- Mechanische Ventilation (Volumenstrom, Lage der Öffnungen)
- Öffnungszustand der Türen, Klappen etc. als Funktion der Zeit

Die mit ¹⁾ gekennzeichneten Daten werden für Rechenprogramme benötigt, die ein Abbrandmodell enthalten, z. B. für das Programm FIRST [3]. FIRST berechnet die Verbrennungsrate in folgenden grundlegenden Schritten:

- Berechnung der auf das Brandgut auftreffenden Strahlungsleistung
- Berechnung der Pyrolyserate, d. h. der Masse, die pro Zeiteinheit verdampft werden kann
- Berechnung der Verbrennungsrate aus der Pyrolyserate unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Sauerstoffs

Andere Zonenmodelle (z. B. FAST [4]) benötigen stattdessen die Eingabe einer zeitabhängigen Pyrolyserate, die auf der Grundlage von empirisch gewonnenen Werten (Brandexperimente) festgelegt werden kann. Die Eingabe erfolgt über Stützstellen (siehe Bild 1). Analog zu FIRST wird dann in Abhängigkeit vom Sauerstoffangebot die Verbrennungsrate berechnet.

In Abhängigkeit von der Zeit können u. a. folgende Parameter berechnet werden:

- Temperatur und Höhe der heißen und kalten Gasschichten,
- Oberflächentemperaturen von Gegenständen im Raum,
- Brandfläche und Pyrolyserate (FIRST),
- Wandtemperaturen innen und außen (Wärmedurchgang),
- Energiefreisetzung durch das brennende Objekt bzw. die verbrennenden Stoffe,
- Energie- und Massenströme durch Raumöffnungen.

Am Beispiel eines Gebindelagers für brennbare Flüssigkeiten der Gefahrenklasse B (hier Ethanol) sollen einige

Möglichkeiten eines Zonenmodells aufgezeigt werden. Anhand zweier konstruierter Brandszenarien, die sich an möglichen Geschehnissen orientieren, wird verdeutlicht, wie mit Hilfe der Computersimulation die Auswirkungen baulicher Maßnahmen auf den Brandverlauf eingeschätzt werden können. Für die Brandsimulation wurde das zuvor erwähnte und in seinen Möglichkeiten beschriebene Computerprogramm FIRST [3] eingesetzt.

Brandraum

Als Brandraum wurde ein Spirituosenlager mit einer Lagerkapazität von 25 m³ Ethanol angenommen, das in Plastgebinden mit maximal 75 l Inhalt, die sich auf offenen Transportpaletten befinden, gelagert wird. Bild 2 zeigt den Grundriß des Brandraumes sowie die Anordnung der Lagerregale im Raum. Unter jedem Regal (3 Lagerebenen) befindet sich eine Auffangwanne nach den Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF) [5], die die Lagermenge einer Lagerebene, d. h. ca. 1,4 m³ faßt. Die Wände sind als Brandwände F 90-A (Mauerwerk, nichttragend) ausgeführt, das Flachdach (Trapezblechprofil mit Mineralwolle und Promatect-Platten) hat ebenfalls die Feuerwiderstandsklasse F 90-A.

Die Installation einer Rauch- und Wärmeabzugsanlage (RWA) gemäß den Richtlinien des Verbandes der Sachversicherer (VdS) [6] wird vorausgesetzt. Als geforderte Zuluftöffnung wird ein Lichtband auf halber Hallenhöhe angenommen, das bei Erreichen von 75 °C ebenso öffnet wie die RWA-Klappen in der Decke. Nach etwa 45 s ist die RWA vollständig geöffnet. Eventuell vorhandene Türen oder andere Öffnungen sind geschlossen.

Brandablauf FALL A

Bei Lagerarbeiten wird ein 75-l-Gebinde beschädigt. Sein Inhalt läuft in die Auffangwanne. Bedingt durch den niedrigen Flammpunkt von Ethanol bildet sich über der Wanne ein zündfähiges Gemisch, das durch eine zu unterstellende Zündquelle gezündet wird. Das Ethanol in der Wanne gerät in Brand. Es wird angenommen, daß Gebinde, die sich im Bereich der Flammen befinden, ebenfalls zerstört werden

und ihr Inhalt in die Auffangwanne abfließt. Wird das Fassungsvermögen der Wanne überschritten, bildet sich daneben eine Lache mit einer angenommenen Fläche von 10 m² (das entspricht bei einer Dicke von 5 mm 50 l Flüssigkeit), die ebenfalls brennt.

Darüber hinaus wird ein Gebinde modelliert, das sich auf der oberen Ebene eines benachbarten Regals befindet.

Ergebnisse FALL A

In der Anfangsphase des Brandes (bis 2 min) steigt die Heißgastemperatur (Bild 3) auf ca. 350 °C an. Die RWA spricht an und ist ca. 60 s nach Brandbeginn vollständig geöffnet, was sich in einer zeitweisen Abnahme der Dicke der Heißgasschicht (Bild 4) widerspiegelt.

Nachdem durch die Einwirkung der Flammen weitere Gebinde beschädigt wurden, läuft nach ca. 3 min die Wanne über und die sich bildende Lache brennt ebenfalls.

Die Brennraten des Ethanol in Wanne und Lache (Bild 5) steigen auf ca. 0,57 kg/s, was etwa einer Abnahme des Höhenstandes von 4 mm/min entspricht, wie sie für großflächige Flüssigkeitsbrände beobachtet wurde.

Nach dem Einsetzen des Lachenbrandes steigt die Temperatur der Heißgasschicht auf etwa 640 °C. Das Gebinde im Nachbarregal erwärmt sich (Bild 6) und erreicht nach 10 min die Zündtemperatur von Ethanol (425 °C). Ein mögliches Übergreifen der Flammen durch Strömungsvorgänge kann vom Zonenmodell nicht vorausgesagt werden. Spätestens zu diesem Zeitpunkt muß von einem Übergreifen des Brandes auf die benachbarten Regale ausgegangen werden, das zu einer weiteren Eskalation des Brandgeschehens führt (Flash Over).

Die Berechnung der Temperaturentwicklung der heißen Rauchgasschicht im Brandraum (Heißgastemperatur) gestattet Rückschlüsse auf die Temperaturbelastung der Bauteile, insbesondere der Dach- bzw. Deckenkonstruktionen, und deren erforderlichen Feuerwiderstand. Aus Bild 3 kann man unter Beachtung der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) abschätzen, daß das angenommene Gebäude einer derartigen Brandentwicklung standhalten kann, wenn der Flash Over innerhalb der ersten

10 min z. B. durch Löschmitteleinsatz verhindert wird.

Brandablauf FALL B

Ausgangspunkt des Brandes ist wie in FALL A die Zerstörung eines Gebindes in einem Regal. Es wird jedoch angenommen, daß die Flüssigkeit über ein Drainagesystem aus der Wanne in ein quadratisches Auffangbecken der Seitenlänge 1,2 m und Tiefe 0,75 m gelangt, das sich *zwischen* den Regalen befindet. Das hat den Vorteil, daß sich im Brandfall keine Gebinde direkt in der Flamme befinden und die brennende Flüssigkeitsoberfläche wesentlich kleiner ist. Konservativ wird jedoch davon ausgegangen, daß 25 % der Gebinde des betroffenen Regals trotzdem beschädigt werden und ihr Inhalt in das Auffangbecken gelangt.

Als zweites Objekt wird wiederum ein Gebinde der oberen Lagerebene des Nachbarregals betrachtet.

Ergebnisse FALL B

Wird das ausfließende Ethanol in einem Becken kleinerer Fläche gesammelt und befinden sich im Bereich der Flammen keine brennbaren Objekte, kommt es zu einem wesentlich harmloseren Brandverlauf, wie ein Vergleich der beiden Fälle in den Bildern 3 bis 6 verdeutlicht. Die Temperaturen der Heißgasschicht, die nach Öffnung der RWA ca. 1,2 m stark wird (Bild 4), steigen nur auf etwa 85 °C (Bild 3). Das Gebinde im Nachbarregal erwärmt sich kaum (Bild 5).

Schlußfolgerungen

Das beschriebene Beispiel macht deutlich, daß die Raumbrandsimulation mit modernen mathematischen Modellierungsprogrammen und entsprechender Computertechnik ein effektives Hilfsmittel bei der Planung, Erstellung und Begutachtung von Brandschutzkonzepten sein kann. Sie ermöglicht u. a. eine Einschätzung der Auswirkungen von baulichen Maßnahmen auf den Brandablauf, in unserem Beispiel der Modifikation des Auffangsystems.

Der heutige Stand der Entwicklung der Computercodes erfordert vom Anwender umfangreiche Erfahrung in der Anwendung dieser Programme – vom Erstellen der Datensätze über die Rechnung bis zur Interpretation der Ergebnisse.

Auch wenn Zusammensetzung, Lage und Menge des Brandstoffes im Raum sowie andere Ausgangsdaten nur als Intervall-, Bereichs- oder Grenzangaben verfügbar sind, können durch deren Variation bei der mathematischen Simulation von Raumbränden Brandrisiken erkannt und entsprechende Schutzmaßnahmen des vorbeugenden und des abwehrenden Brandschutzes abgeleitet und damit durch Variantenbetrachtung die Optimierung eines Brandschutzkonzeptes erreicht werden.

Literatur

- [1] SCHNEIDER, V.; HOFMANN, J. Modelluntersuchungen von Offshore-Kohlenwasserstoffbränden – Phase II – Entwicklung eines Feldmodells. BMFT-Abschlußbericht 13 RG 87068 – Teil 1, Frankfurt, 1990
- [2] MARKATOS, N. C.; COX, G. Hydrodynamics and Heat Transfer in Enclosures Containing a Fire Source. Physico Chemical Hydrodynamics, London 1983
- [3] MITLER, H. E.; ROCKETT, J. A. User's Guide to FIRST, A Comprehensive Single-Room Fire Mod National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland NBSIR 87-3595, Sept. 1987
- [4] JONES, W. W.; PEACOCK, R. D. Technical Reference Guide for FAST Version 18 National Institute of Standard and Technology NIST Technical Note 1262, 1989
- [5] Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten TRbF 110 9/92
- [6] VdS-Richtlinien 2098 Planung und Einbau, Rauch- und Wärmeabzugsanlagen 5/90

Dipl.-Phys. Petra Büttner,
Dipl.-Ing. Thomas Koch,
IGTS Ingenieurgesellschaft für
Technische Sicherheit mbH, Berlin

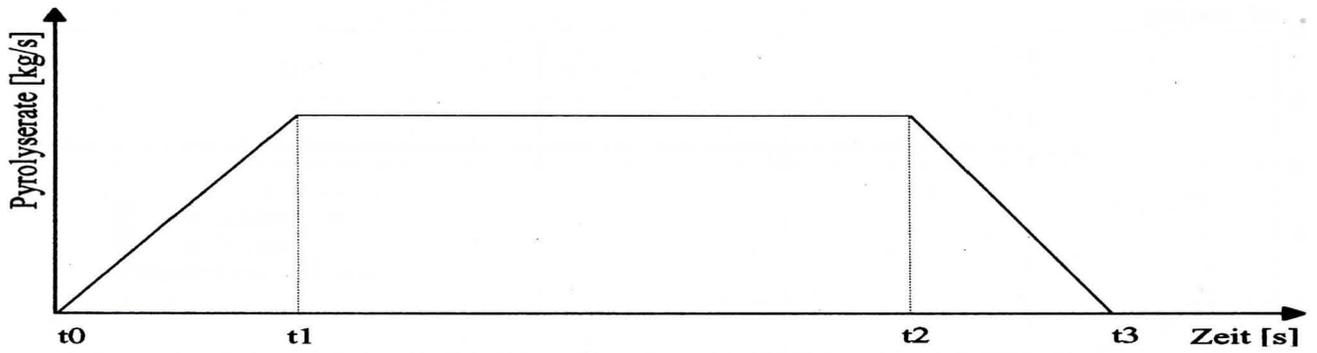


Bild 1: Vorgabe der Pyrolyserate für FAST mit Hilfe von Stützstellen

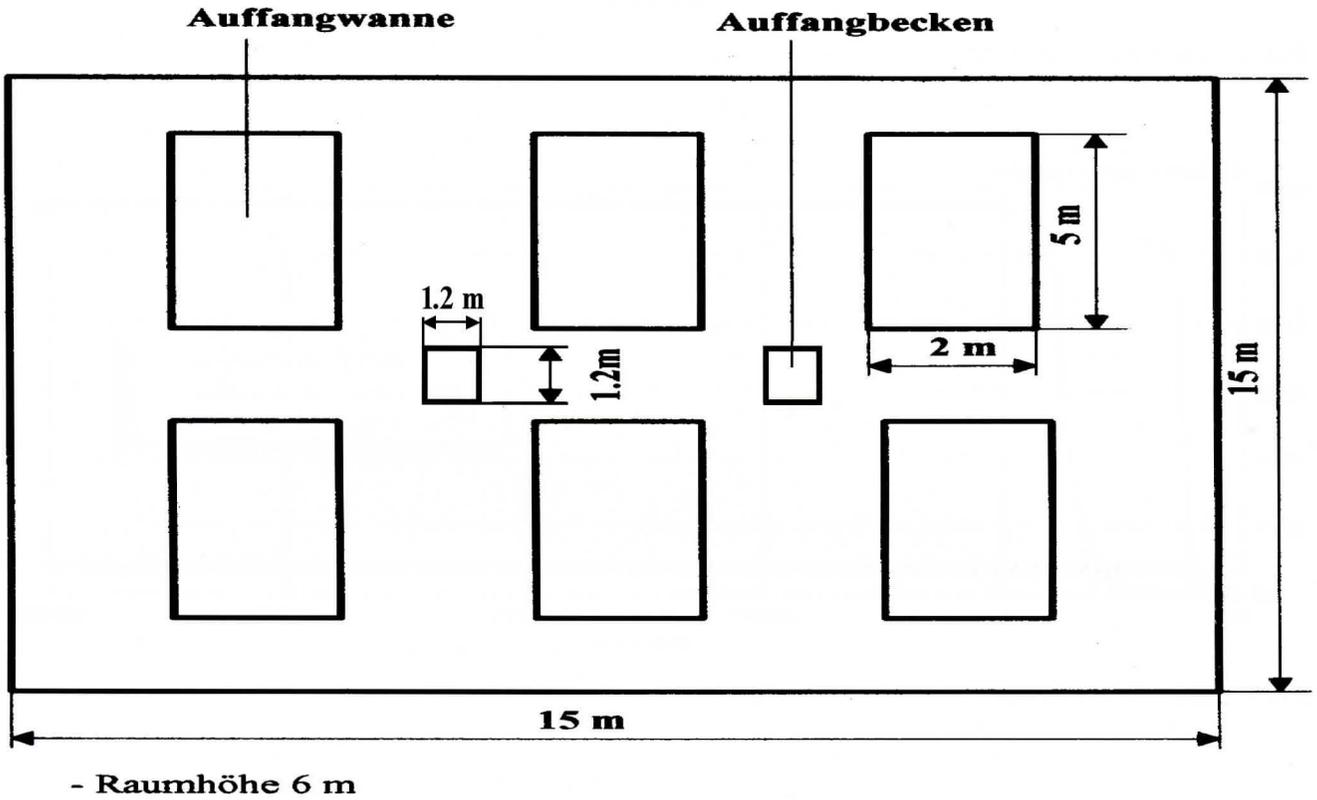


Bild 2: Grundriß und Einbauten des Brandraumes (Schematische Darstellung)

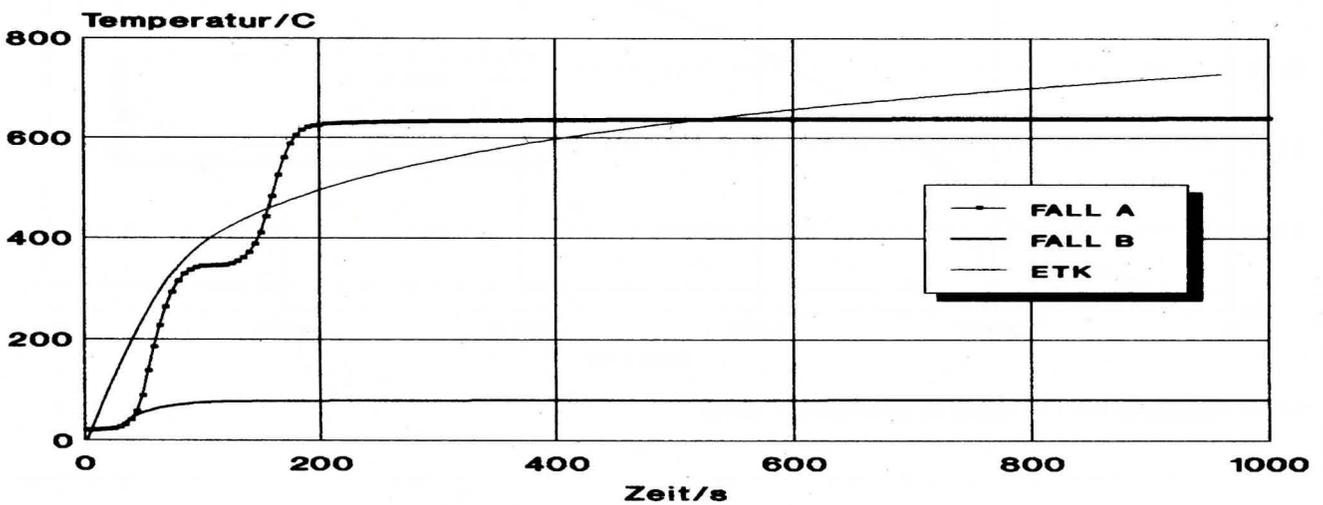


Bild 3: Temperatur der Heißgasschicht (ETK = Einheits-Temperaturzeitkurve)

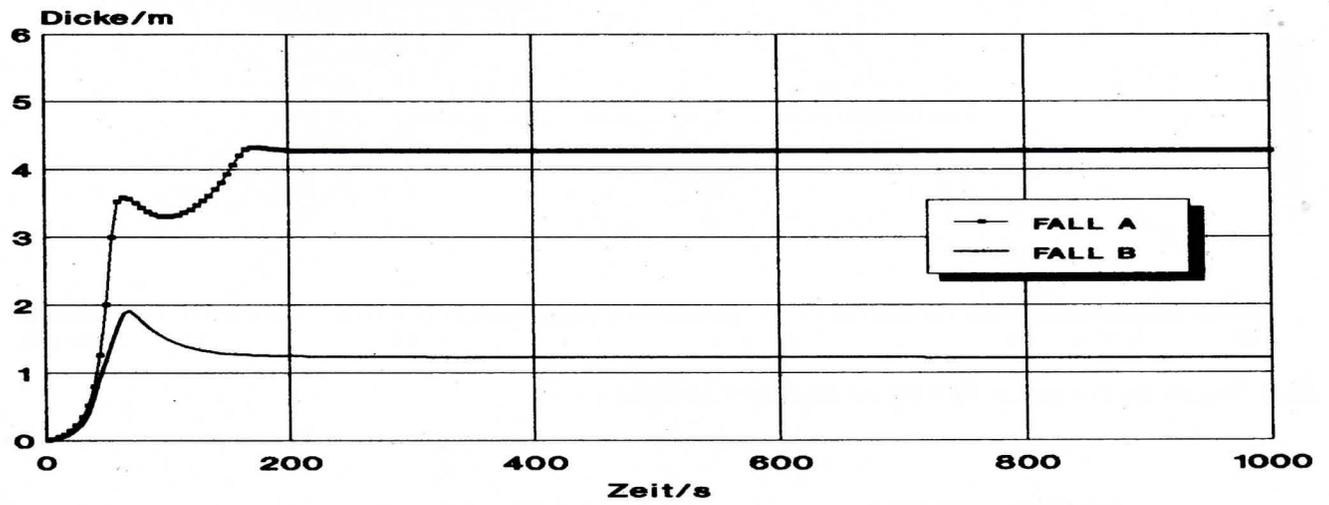


Bild 4: Dicke der Heißgasschicht

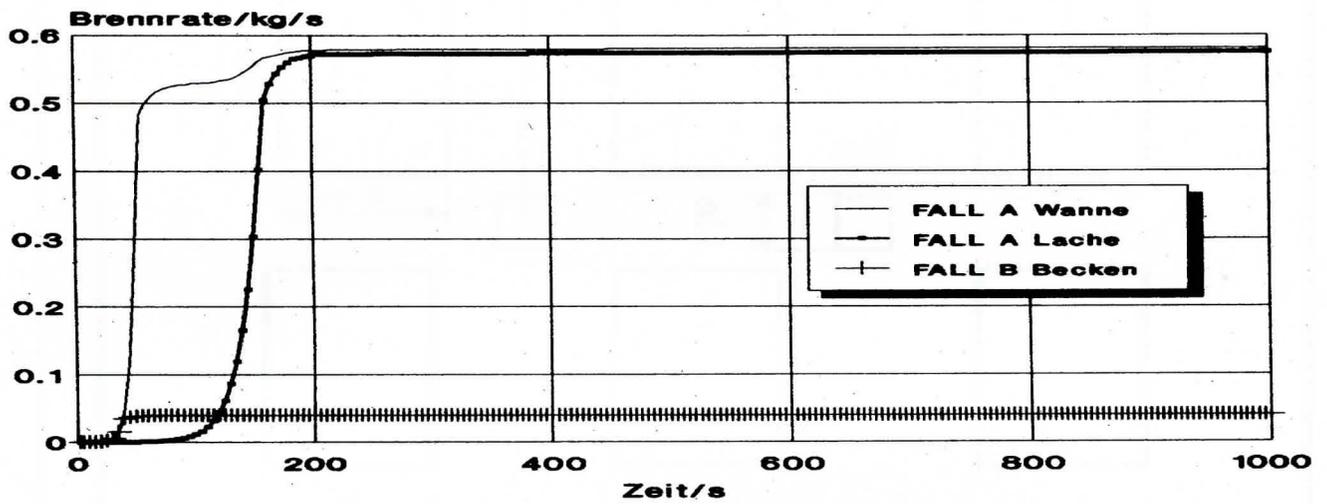


Bild 5: Brennraten der Objekte

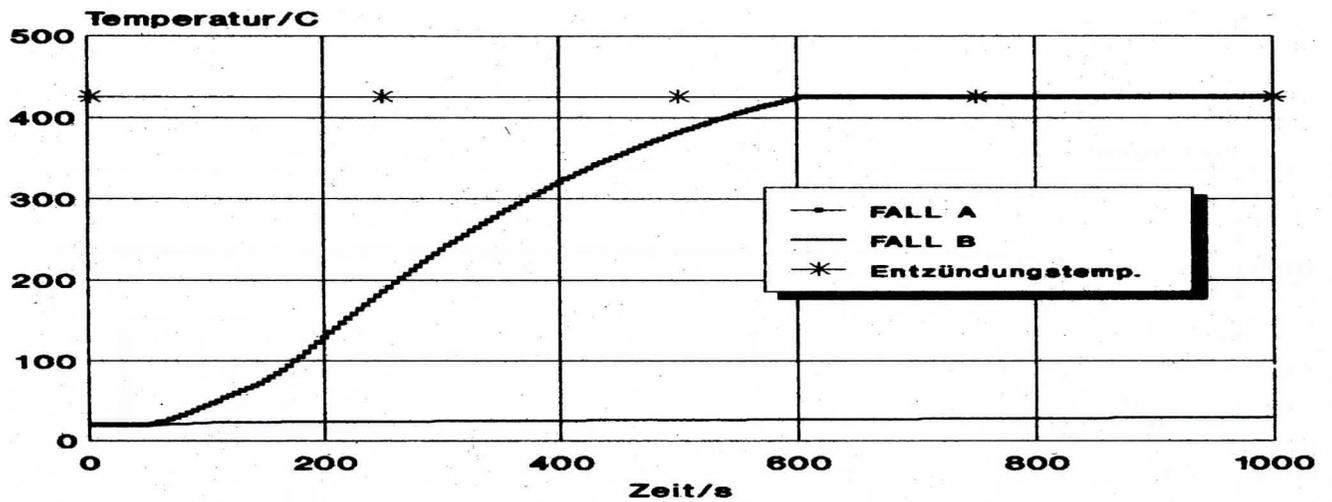


Bild 6: Aufheizung eines Gebindes im benachbarten Regal

Korrekturhinweis zum Heft 4/93:

In dem Beitrag „Richtlinien für den Brandschutz in Rauchgas-Entschwefelungs-Anlagen (REA)“ muß es auf Seite 50, Spalte 2,3. Absatz richtig heißen – „(Probable Maximum Loss)“.