

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Brandschutz bei recyclingfähigen Stoffen – Brandschutz durch ortsfeste Löschanlagen unter Berücksichtigung der Brandentstehung und Brandausbreitung über die Oberfläche und des Eindringens in das Innere des Lagergutes,
Teil 1: Literaturlauswertung und Brandversuche an Sekundär-Rohstoffen

102

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V – AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHRANGELEGENHEITEN

Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten des Arbeitskreises V
der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer

Forschungsbericht 102

Brandschutz bei recyclingfähigen Stoffen -
Brandschutz durch ortsfeste Löschanlagen
unter Berücksichtigung der Brandentstehung
und Brandausbreitung über die Oberfläche und
des Eindringens in das Innere des Lagergutes
Teil 1. Literaturlauswertung und
Brandversuche an Sekundär-Rohstoffen

von

Dipl.-Ing. Hermann Schatz

Forschungsstelle für Brandschutztechnik

an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

September 1996

INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|--|-------|
| 1. EINLEITUNG | 1 |
| 2. LITERATURAUSWERTUNG | 2 |
| 3. BRANDVERSUCHE AN RECYCLINGFÄHIGEN STOFFEN | 9 |
| 3.1 Versuchsaufbau und Meßeinrichtung | 9 |
| 3.2 Versuchsdurchführung und Auswertung | 11 |
| 4. ZUSAMMENFASSUNG | 20 |
| 5. LITERATURVERZEICHNIS | 21 |
| 6. BILDER | 23 |

1. EINLEITUNG

Der Brandschutz ist in der heutigen Zeit von hohem Interesse, weil immer häufiger unterschiedliche Materialien in großem Umfang sowohl in Gebäuden als auch im Freien gelagert werden. Einerseits sind es fertige Produkte, die für die Herstellung anderer Waren verwendet werden und andererseits sind es Produkte, die dem Markt entzogen und entsorgt bzw. verwertet werden müssen. Dabei wird immer mehr Wert darauf gelegt, daß derartige wiederverwertbare Materialien, auch Sekundär-Rohstoffe genannt, nach dem Sammeln und Sortieren einem Recyclingprozeß zugeführt werden.

Da sich in der Vergangenheit bereits einige Brände im Bereich der Abfallwirtschaft ereignet und einen beträchtlichen Schaden verursacht haben, wurde diesbezüglich von verschiedenen Stellen Schutzmaßnahmen gefordert mit dem Ziel, im Schadensfall unter Verwendung von wenig Löschmittel einen Brand möglichst schnell zu bekämpfen bzw. zu löschen.

Ein Forschungsvorhaben an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik befaßt sich mit Untersuchungen über den Brandschutz an recyclingfähigen Stoffen. Durch diese Versuche ergeben sich einerseits wertvolle Erkenntnisse über die Ausbreitung eines Brandes an diesen Sekundär-Rohstoffen und andererseits über den Einsatz von Wasser als Löschmittel mit unterschiedlich großen Tropfen.

Bei den Versuchsmaterialien handelt es sich um verschiedene sortierte Materialien wie Pappkartons und Kunststoffe sowie um nicht sortierten Müll in gelben Säcken bzw. aus der Wertstofftonne. Diese werden sowohl auf ihr Brandverhalten hin untersucht als auch der Löscheinsatz mit unterschiedlichen Löschesystemen durchgeführt, wobei sowohl Sprinkler als auch Düsen eingesetzt werden. Als Löschmittel wird Wasser benutzt, das praktisch überall zur Verfügung steht.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet eine Auswertung der an der

Forschungsstelle vorliegenden Literatur, bei der es sich überwiegend um Veröffentlichungen mit Bränden in Recyclingbetrieben handelt. Die nachfolgenden Abschnitte befassen sich mit dem Brandverhalten von sortierten Kunststofffraktionen in Ballenform sowie von unsortierten Wertstoffen in gelben Säcken.¹

2. LITERATURAUSWERTUNG

Sommer /1/ gibt als durchschnittliches Müllaufkommen pro Kopf und Jahr 350 kg an, das sich in unterschiedliche Stoffgruppen aufteilt. Da dafür nicht unbegrenzt Deponien zur Verfügung stehen, müssen Rohstoffe zurückgewonnen werden. Man spricht von Recycling. Bei den baulichen und anlagentechnischen Gegebenheiten sind brandschutztechnische Maßnahmen nicht einfach zu lösen. So ist z. B. die Gebäudehöhe für eine Sprinkleranlage zu hoch, im Anlieferungsbereich jedoch ideal. Zusätzlich muß die Lagergut-höhe angepaßt und die Frostgefahr beachtet werden. Einzelne Anlagenteile erhalten eine Objektschutzanlage. Unterschiedliche Meldesysteme tragen zur schnellen Detektierung eines Brandes bei. Weiterhin wurde eine Rauch- und Wärmeabzugsanlage installiert sowie feuerwehrspezifische Maßnahmen wie Direktschaltung, Löschwassermengen und Rettungsweglängen festgelegt.

Lesser /2/ berichtet von einem Brand in einer Recyclingfabrik mit Papier- und Kunststoffmaterialien in Freeland, USA, bei dem auf einer Laderampe ca. 18 Tonnen Polystyrolblocks gelagert waren. Eine Sprinkleranlage war zwar installiert, aber nicht mehr funktionsbereit. Nach einer Branddauer von ca. 20 min fiel eine Wand des max. 3-stöckigen Gebäudes nach außen. Nach mehreren Stunden konnte der Brand mit ca. 3800 m³ Wasser gelöscht werden.

In /3/ wird von einem Brand in einem Betrieb für Kunststoff-Recycling berichtet, bei dem durch einen Unfall mit einer Drehleiter 2 Feuerwehrmänner schwer verletzt wurden.

¹ Die Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH) bedankt sich für die freundliche Unterstützung bei: Duales System Deutschland (DSD) in Köln.

Maes /4/ erwähnt das von den Raumfahrtbehörden entwickelte Verfahren, bestimmte Stoffe mit Plasma zu erhitzen. Dieses Verfahren soll auch bei der Verbrennung von Haushaltsmüll bzw. beim Müllrecycling Anwendung finden.

Wachtel /5/ beschreibt den Einsatz der Feuerwehr bei einem Brand in einem Kunststoffrecycling-Betrieb. In einer Produktionshalle mit Bürotrakt waren ca. 60 t Polyethylen, 50 t Polypropylen, 3 t ABS-Kunststoffe und zu beiden Seiten ca. 300 t Polystyrol und 2 t ABS-Kunststoffe gelagert. In der ersten Stunde wurden ca. 10000 l/min und eine weitere Stunde ca. 5000 l/min Wasser sowie insgesamt ca. 6000 l Mehrbereichsschaummittel benötigt, um den Brand erfolgreich zu bekämpfen.

Solomon und Lemoff /6/ berichten von einem Großbrand in einem Kunststoff-Recyclingwerk in den USA. Schadstoffe erschwerten den Einsatz von über 200 Feuerwehrleuten. Durch schnelles Handeln der Feuerwehr konnte eine zu 70 % installierte Sprinkleranlage mit Schaumzumischung in Betrieb gesetzt und damit ein Bereich mit Holzpaletten und Behältern mit brennbaren Flüssigkeiten unter ihrem Zündpunkt gehalten werden.

Bauer /7,8/ schildert den Ablauf eines Löscheinsatzes bei einem in Brand geratenen Lager für Altpapier und Altfolien. Die in diesem Betrieb sortierten, gereinigten und zu Ballen gepreßten Produkte mit einem Volumen von ca. 15000 m³ lagerten bis zu einer Höhe von 4 m auf einer Fläche von 50 m * 75 m. Der Einsatz gestaltete sich u. a. deshalb schwierig, weil die Feuerwehr durch geschmolzenes Material behindert wurde. Erst mit Hilfe eines Bulldozers und Löschschaum konnte der Brand vollständig gelöscht werden.

Fischer /9/ beschreibt den Großbrand in einer Kunststofffabrik. Der Feuerwehreinsatz an brennenden Kunststoffabfällen in gestapelten Gitterboxen wurde durch zugeteerte Hydranten und der Freisetzung von giftigen Gasen stark behindert.

Keim und Scholl /10/ berichten von in Brand geratenen Papier- und Kunststoffballen in einer Recyclinganlage, die bis zu 5 m hoch und 4 m tief gelagert wurden. Obwohl die Feuerwehr nach dem Einsatz auf evtl. nicht entdeckte Brandnester aufmerksam machte, mußte sie 27 Tage später einen erneut ausgebrochenen Brand löschen.

Marggraff /11/ beschreibt den Einsatzverlauf der Feuerwehr bei einem Brand in einer Kartonfabrik. Verpuffungen und Stromausfall behinderten den Löscheinsatz an der brennenden Kartonmaschine und den gelagerten Kunststoffmaterialien und Papierrollen in einer 230 m * 30 m großen Halle, so daß ein Gesamtschaden von ca. 100 Mio DM entstand.

In /12/ wird von einem 3-tägigen Feuerwehreinsatz in einem Kunststoffverwertungsbetrieb berichtet, in dem ca. 1000 t Kunststoffabfälle gelagert waren. Insgesamt waren dabei 500 Personen und 51 Löschfahrzeuge im Einsatz. Fehlende Hydranten und toxische Brandgase erschwerten den Löscheinsatz erheblich.

Flauaus /13/ berichtet über einen mehrere Tage zu bekämpfenden Brand in einem Lager mit ca. 5000 t Altreifen, Gummi- und Kunststoffabfällen. Die Produktions- und Lagerhallen sowie das Freilager wurden zerstört. Der Gesamtschaden belief sich insgesamt auf 7,3 Mio DM.

Pietron /14/ beschreibt den Einsatzablauf bei einem Brand mit Titanabfällen in einem Betrieb, der sowohl Rohstoffe als auch Abfälle und Materialien verschiedenster Art verarbeitet, recycelt und entsorgt. Anstelle von Wasser als Löschmittel konnte nur Metallbrandpulver und trockener Quarsand eingesetzt werden.

Rosato /15/ geht auf den Löscheinsatz bei einem Brand in einem Recyclingbetrieb ein, bei dem ca. 1000 t Kunststoffmaterialien lagerten. Der Löschwassermangel zu Beginn des Einsatzes stellte ein Problem dar. Bei dem 4-tägigen Einsatz wurden auch toxische Gase gemessen. Die HCl-Konzentration lag bei bis zu 5 ppm.

Züll /16/ berichtet von einem durch Brandstiftung entstandenen Brand in einer Reifen-Recycling-Firma, bei der sowohl das Verwaltungsgebäude als auch die Lagerhalle, die Produktionshalle und das Außenlager betroffen waren. Bei dem mehrere Tage andauernden Brand aus Altreifen, Gummigranulat und PU-Kleber wurden Konzentrationen von Chlor und Blausäure gemessen. Der Gesamtschaden wurde mit 5 Mio DM angegeben.

Pilat /17, 18/ gibt den Feuerwehreinsatz bei einem vermutlich durch Schweißarbeiten entzündeten Brand in einem Kunststoffrecyclingbetrieb wieder. Beim Eintreffen der Feuerwehr standen ca. 4000 m³ Polyethylenfolien in Brand. Die Stapelhöhe der Ballen betrug ca. 6 m. Durch die 50 m hohen Flammen wurde zusätzlich eine Hochspannungsleitung zerstört. Der Schaden belief sich auf ca. 1,5 Mio DM.

Walter /19/ weist bei dem gleichen Brand auf mögliche Hauptgefahren für die Feuerwehr an der Einsatzstelle hin.

Blom, Schilling und Hübner /20/ schildern den beim Eintreffen der Feuerwehr bereits voll entwickelten Brand von Kunststoffen in einer Lagerhalle und im Freilager in einem Kunststoffrecyclingbetrieb in Lengerich. Eine Trafostation und ein Heizöltank waren stark gefährdet. Der Brand konnte erst nach mehreren Tagen und dem Einsatz von Löschschaum vollständig abgelöscht werden. Der Brandübergriff auf ein benachbartes Verpackungswerk konnte verhindert werden. Schadstoffmessungen im Brandrauch ergaben die Freisetzung von Dioxinen und Furanen sowie von Salzsäure, so daß die benachbarte Bevölkerung teilweise evakuiert werden mußte. Als ein besonderes Problem erwies sich auch die große Menge an ungeordnet gelagerten Kunststoffabfällen sowie die unzureichenden Angriffswege für die Einsatzkräfte.

Widetschek /21/ macht für den Großbrand in einem Kunststoffrecyclingbetrieb in Lengerich ebenfalls Angaben zum Brandort, Brandablauf und Feuerwehreinsatz. Auf einem 400 m * 200 m großen Lagergelände verbrannten ca. 1500 t Thermoplaste, einschließlich

PVC. Der Löschangriff gestaltete sich schwierig und langwierig, da die ungeordnete Lagerung, die schlechten Zufahrtswege und die toxischen Brandgase, insbesondere Salzsäuredämpfe sowie Dioxine und Furane, die Einsatzkräfte stark behinderten. Auch die umliegende Bevölkerung wurde wegen der Schadstoffwolke gewarnt. Das Brandgut wurde mit Löschschaum (20 t) bekämpft und schließlich wegen der immer wieder neu aufflackernden Brandherde mit schwerem Räumgerät mit größeren Sandschichten abgedeckt. Ein unmittelbar vom Brand bedrohter PCB-Trafo und ein Heizöltank konnten geschützt werden. Zusätzlich wird über die daraus gewonnenen Erkenntnisse berichtet.

Laspeyres /22/ hebt die Freisetzung von Schadstoffen beim Kunststoffbrand in Lengerich hervor. Beim Verbrennen von ca. 450 t PE, PP, PS und der gleichen Menge PVC entstanden erhebliche Mengen toxischer Gase wie HCl, Dioxine und Furane, die sowohl für die Einsatzkräfte als auch für die Bevölkerung gefährlich waren. Insgesamt wurden mehr als 30 Personen (Feuerwehrmänner, Ärztinnen, Helfer, Polizisten und Bewohner) durch Einatmen der Gase verletzt.

Maaß /23/ berichtet ebenfalls über den Brand in einem Recyclingbetrieb in Lengerich, bei dem größere Mengen an Schadstoffen wie z. B. Chlorwasserstoff, Dioxine und Furane festgestellt wurden. Ein weiteres Problem ergab sich durch das kontaminierte Löschwasser. Da der zusammenhängende Lagerbereich die Feuerwehr in ihren Löscharbeiten stark behinderte, konnte der Brand erst nach ca. 66 Stunden als gelöscht gelten. Die Lagermenge wurde später mit 4500 t Kunststoffe einschließlich PVC ermittelt. Die Anzahl der Verletzten wird mit 28 angegeben.

Ross /24/ greift ebenfalls den Brand in einem Kunststoffrecyclingbetrieb in Lengerich wieder auf, um darzustellen, welche sinnvollen Forderungen erhoben wurden.

Striegler /25/ gibt weitere Informationen über den Brand in Lengerich, bei dem ca. 5000 t Kunststoffe vorsätzlich in Brand ge-

setzt wurden, die sowohl in einer Halle von 64 m * 46 m als auch auf dem Freigelände gelagert wurden. Bei den Schadstoffmessungen ergaben sich Chlorwasserstoffkonzentrationen in der Luft von bis zu 5,2 ppm. Die ca. 900 Bewohner im Umkreis wurden auf die Gefahren aufmerksam gemacht und Empfehlungen herausgegeben. Eine gesundheitliche Schädigung durch das Verschmelzen von PVC konnte nicht ausgeschlossen werden. Die Verwaltung hatte dabei aufgrund der unterschiedlichen Einschätzung der freigesetzten Schadstoffe wie Dioxine und Furane einen schweren Stand, um Anordnungen zu treffen. Eine gute Zusammenarbeit aller Beteiligten und eine umfassende Information aller Betroffenen ist in einem derartigen Fall dringend erforderlich.

Stoll /26/ gibt Grundlageninformationen über die Entwicklung, Verwendung und Entsorgung sowie das Recycling von PVC wieder. Zusätzlich werden Probleme bei der Entstehung von weiteren Produkten wie Dioxinen und Furanen beschrieben.

Moravec /27/ geht in seiner Arbeit auf brandschutztechnische Anforderungen an Kunststoffflägern ein, wobei insbesondere Kunststoffe des Dualen Systems berücksichtigt werden. Ebenso werden gesetzliche Grundlagen, Richtlinien, Anforderungen und Empfehlungen zusammengestellt und an 2 Beispielen verdeutlicht.

Hespers und Buckenhüskes /28/ beschreiben den Brand in einer 80 m * 35 m * 15 m großen Recyclinghalle mit Papier- und Kunststoffabfällen, in der gesammelt, sortiert und zu Ballen gepreßt wird. Durch die Einsatzkräfte konnte ein Übergreifen auf Nachbargebäude verhindert werden. Als Brandursache wurde Brandstiftung festgestellt. Der Sachschaden belief sich auf insgesamt ca. 10 Mio DM.

Grafenschaefer /29/ berichtet von einer gewaltigen Explosion in einer Schredderanlage, in der Abbruchmaterial und anderer Bau-schutt recycelt wurden. Dieses Recyclingmaterial wurde als Füllmaterial im Straßenbau verwendet. Bei der Explosion wurden Maschinenteile bis zu 800 m weit geschleudert.

Hallert /30/ berichtet über einen Brand in einer Recyclinganlage für Bitumenpappe und Dichtungsfolien. Da sich der Brand schnell entwickelte, mußte sich die Feuerwehr auf einen Außenangriff und den Schutz der Nachbargebäude beschränken. Trotz leichten Teergeruches lag keine Gefährdung für die Bevölkerung vor.

Dobbelstein /31/ gliedert die Kunststoffe in Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere und beschreibt unterschiedliche Verwertungsverfahren. Zwischen dem Einbringen der Kunststoffe in den Recyclingprozeß und deren Verwertung liegen verschiedene Arbeitsschritte wie sammeln, transportieren, identifizieren, trennen, zerkleinern, reinigen und zwischenlagern. Insbesondere wird auf die hohen Brandlasten bei der Lagerung und die mögliche schnelle Brandausbreitung mit hohen Temperaturen sowie auf die Gefahren durch die auftretenden Brandgase und Schadstoffe hingewiesen. Zusätzlich werden die Gefahren durch chemische Stoffe beschrieben, bei denen im Brandfall u. a. Säuredämpfe sowie Dioxine und Furane entstehen können. Zur Abwehr und Verringerung der Gefahren werden Rechtsgrundlagen aufgeführt sowie Maßnahmen des vorbeugenden und abwehrenden Brandschutzes beschrieben.

Zumblick /32/ befaßt sich mit der Problematik des Brandschutzes bei Kunststoff-Recyclingbetrieben. Dies beginnt bei der Erfassung von möglichen Zündquellen und geht über in Maßnahmen zur Brandentdeckung und Brandbekämpfung mit automatischen Löschanlagen. Ebenso werden Rauch- und Wärmeabzugsanlagen sowie Löschmaßnahmen, aber auch bauliche Gegebenheiten bzw. Ausführungen angesprochen.

In /33/ wird über die Selbstentzündung bei der Lagerung von Altpapier berichtet. Papierballen schwelen oft über viele Stunden bevor ein Brand entdeckt wird. Diesbezüglich wird ein Detektionssystem mit Infrarotkameras vorgestellt, das auf dem zu überwachenden Lagergelände installiert wird. Dadurch wird es bis zu einer Entfernung von ca. 300 m möglich, Bereiche erhöhter Temperatur festzustellen und Alarm auszulösen.

Laspeyres /34/ verweist auf 25 Großbrände in Kunststoffbetrieben in der Zeit von Januar 1992 bis August 1993, die allein in Nordrhein-Westfalen einen Schaden von über 80 Mio DM verursachten. Es wird als dringend erforderlich erachtet, Schutzmaßnahmen für Entsorgungsbetriebe in unterschiedlichen Bereichen einzuhalten. Im Einzelnen wird ausführlich über Vorschriften und Maßnahmen seitens der Industrie und Behörden berichtet sowie ein Entwurf einer Empfehlung für die Lagerung von Kunststoffen vorgestellt.

In /35/ wird über den Brand einer Recyclinghalle mit Kunststoffabfällen und den Feuerwehreinsatz berichtet. Da die Halle beim Eintreffen der Feuerwehr bereits in voller Ausdehnung brannte, konnte kein Innenangriff mehr vorgenommen werden. Umliegende Einrichtungen konnten jedoch geschützt werden.

3. BRANDVERSUCHE AN RECYCLINGFÄHIGEN STOFFEN

3.1 Versuchsaufbau und Meßeinrichtung

In der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH) wurden Brandversuche mit unterschiedlichen recyclingfähigen Stoffen durchgeführt. Eine schematische Übersicht des Aufbaus der gesamten Versuchseinrichtung ist in den Bildern 1 bis 4 (Kunststoffballen und Wertstoffsäcke) in der Seitenansicht und im Grundriß dargestellt.

In der Brandversuchshalle mit den Abmessungen 30 m * 15 m * 12 m (L*B*H) wurde das jeweilige Brandgut auf einer Waageplattform aufgebaut. Die Tragkraft der bei den Versuchen eingesetzten Waagen betrug ca. 1,5 kN bzw. ca. 80 kN, die Grundflächen ca. 1 m² bzw. 25 m². Mit der installierten Rauchgasreinigungsanlage können die Brandgase mit bis zu 35000 Nm³/h aus der Versuchshalle abgesaugt werden.

Als Brandgut wurden recyclingfähige Stoffe, auch als Sekundärrohstoffe bezeichnet, in Form von gepreßten Kunststoffballen und

von Wertstoffen in Kunststoffsäcken, auch als gelbe Säcke bezeichnet, verwendet. Die einzelnen Ballen waren jeweils nach Kunststoffen sortiert und gepreßt und wurden mit mehreren Drähten zusammengehalten. Diese Sekundärrohstoffe in Ballenform wurden für die Brandversuche direkt dem Recyclingprozeß entnommen, um bezüglich des Materials die gleichen Verhältnisse wie in den Betrieben bei der Sammlung, Sortierung und Verwertung zu erhalten. Die gelben Säcke enthalten unterschiedliche Materialien der Wertstoffsammlungen aus Haushalten.

Es wurden 3 Sorten von Preßballen unterschieden, eine Mischfraktion, eine Hohl- oder Flaschenfraktion und eine Folienfraktion. Zusätzlich wurden gemischt gesammelte Materialien in gelben Säcken verwendet. Die Ballenabmessungen von gleichen wie auch von verschiedenen Fraktionen waren unterschiedlich groß, was auf den Bildern 1 und 2 angedeutet wurde. Ballen mit kleineren Abmessungen von ca. 1 m * 0,8 m * 0,6 m als auch handelsübliche Ballen mit den mittleren Abmessungen von ca. 1,2 m * 1 m * 0,8 m sowie die gelben Säcke wurden jeweils auf einer Waageplattform angeordnet. Dabei standen sich jeweils 2 Ballen im Abstand von ca. 0,3 m mit der jeweils längeren Fläche gegenüber. Bei den gelben Säcken wurden jeweils 30 Stück auf einer Grundfläche von ca. 2 m * 1 m in Form einer Pyramide aufgeschichtet. Die sich daraus ergebende Höhe betrug ca. 1,2 m (Bilder 3 und 4).

Die Zündung erfolgte mit einer Menge von 250 ml oder 125 ml n-Heptan in einer 20 cm * 30 cm großen Zündwanne, die zwischen den Ballen an den in den Bildern 1 und 2 gekennzeichneten Stellen bzw. in der Mitte vor den gelben Säcken innerhalb der 2 m * 1 m großen Auffangwanne angeordnet war (Bilder 3 und 4).

Durch die Anordnung des Brandgutes auf einer Waage war es möglich, den Massenverlust des Brandgutes während des Versuches ablaufes zu bestimmen. Ein Ablöschen mittels einer ortsfesten Löschanlage war bei diesen Untersuchungen nicht vorgesehen. Das Brandgut sollte entweder ausbrennen oder bei höherer Wärmeentwicklung mit einem Strahlrohr mit Wasser abgelöscht werden.

Zusätzlich wurde an insgesamt 7 Meßstellen Temperaturen gemessen, um die Brandentwicklung besser beurteilen zu können. Die genaue Lage der Meßstellen ist in den Bildern 1 bis 4 gekennzeichnet.

3.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Bei den Untersuchungen mit den vier bereits genannten Materialien wurden jeweils 2 Versuche durchgeführt. Die Brandentwicklung und der Brandablauf werden im folgenden anhand von direkten Beobachtungen und von Videoaufzeichnungen kurz beschrieben.

Die Bilder 5 bis 18 zeigen einerseits den Versuchsaufbau mit den 4 verwendeten Materialien und geben andererseits einen Eindruck des jeweiligen Brandablaufes einer Fraktion wieder.

Die Bilder 5 bis 8 zeigen jeweils die 2 Ballen der Mischfraktion zu Versuchsbeginn und nach einer Versuchszeit von ca. 0,5 min, 4 min und 5 min.

Die Bilder 9 bis 12 zeigen die Flaschenfraktion vor dem Brand, ca. 1 min nach der Zündung, den voll entwickelten Brand nach ca. 8 min und die angebrannten Ballen nach dem Versuch. Hier ist deutlich zu erkennen, daß trotz des voll entwickelten Brandes nur die Oberfläche Brandspuren aufweist. Das Innere der Ballen war vollständig erhalten.

Die Bilder 13 bis 15 zeigen die Folienfraktion vor Versuchsbeginn, nach einer Versuchszeit von ca. 3 min und bei Beginn des Löscheinsatzes mit einem Strahlrohr. Der durch die abstehenden Folien kaum sichtbare Spalt war erst während des Versuches deutlich zu erkennen.

Die Bilder 16 bis 18 zeigen die Anordnung der gelben Säcke vor Versuchsbeginn. Die Zündwanne befindet sich vorne in der Mitte innerhalb der großen Auffangwanne. Auf Bild 17 sind nach einer

Versuchszeit von ca. 1 min die über der Zündwanne befindlichen Säcke durch abschmelzendes Material nach vorne gefallen. Die beinahe erloschenen Flammen breiteten sich jedoch anschließend über alle Säcke aus (Bild 18).

Die Bilder 19 bis 34 zeigen für die Versuche 1 bis 8 den zeitlichen Verlauf der auf der Waage vorhandenen Masse sowie den Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Versuchszeit an den in den Bildern 1 bis 4 gekennzeichneten Meßstellen. Die Abbrandmasse ergibt sich aus der Differenz der Anfangsmasse und der noch nicht verbrannten Masse (Restmasse). Durch die Auflistung des Brandablaufes für jeden Versuch in einzelnen Zeitschritten kann die Brandentwicklung besser beurteilt werden.

Versuch 1: Mischfraktion ca. 159 kg

Beim 1. Versuch wurden 2 kleinere Ballen einer Mischfraktion mit einer Gesamtmasse von 159 kg mit 250 ml n-Heptan gezündet.

Zeit

| | |
|------|--|
| 0:00 | Zündung (250 ml n-Heptan) |
| 0:15 | Flamme bis zur Oberkante des Stapels |
| 0:35 | Flamme ca. 2-fache Stapelhöhe |
| 0:45 | Flamme ca. 1,5-fache Stapelhöhe |
| 1:00 | Flamme > 2-fache Stapelhöhe, pulsierend |
| 1:10 | Obere Oberfläche brennt |
| 2:00 | Flamme aus dem Spalt greift auf die Frontseite über Kleine Teilchen tropfen brennend ab |
| 3:00 | Flammenhöhe und Pulsieren nehmen ab |
| 4:00 | Teilweises Brennen der Außenseiten |
| 4:30 | Rechter Ballen fällt brennend von der Waage |
| 4:40 | Löschbeginn mit Strahlrohr |
| 5:05 | Linker Ballen fällt brennend von der Waage |
| 6:00 | Brand gelöscht |

Bild 19 zeigt die auf der Waage vorhandene Masse in Abhängigkeit von der Versuchszeit. Nach einer Versuchszeit von 4 min 30 s

waren nur ca. 11 kg (ca. 7 %) der Mischfraktion verbrannt. Der steile Abfall der Kurve wird durch das Umfallen der Ballen verursacht. Zu diesem Zeitpunkt wurde mit einem Strahlrohr gelöscht da die Umgebung geschützt werden mußte (Bild 8).

Bild 20 zeigt den zeitlichen Temperaturverlauf des Thermoelementes T1 in einer Höhe ca. 1 m über der Oberkante der Ballen. Es ist zu erkennen, daß die Temperatur nach der Zündung sofort steil auf 800 °C bis 900 °C ansteigt und nach Beginn des Ablöschens wieder auf Raumtemperatur abfällt.

Versuch 2: Mischfraktion ca. 262 kg

Beim 2. Versuch wurden 2 Ballen einer Mischfraktion in Originalgröße mit einer Gesamtmasse von ca. 262 kg mit 125 ml n-Heptan gezündet.

Zeit

| | |
|------|--|
| 0:00 | Zündung (125 ml n-Heptan) |
| 0:30 | Flamme bis zur Oberkante des Stapels |
| 0:45 | Flamme ca. 2-fache Stapelhöhe |
| 2:15 | Obere Oberfläche brennt, Flamme breitet sich auf die Frontseite aus, Abtropfen beginnt |
| 3:00 | Flamme ca. 3-fache Stapelhöhe |
| 4:30 | Flammenhöhe ca. 6 m, alle Seiten brennen |
| 7:00 | Heftiges Weiterbrennen |
| 8:12 | Löscheinsatz mit einem Strahlrohr |
| 9:10 | Brand gelöscht |

Bild 21 zeigt die auf der Waage vorhandene Masse in Abhängigkeit von der Versuchszeit. Bis zum Löscheinsatz mit dem Strahlrohr nach einer Versuchszeit von 8 min 12 s waren ca. 44 kg (ca. 17 %) verbrannt. Durch den Löscheinsatz war eine Zunahme der Masse zu verzeichnen, d. h. ein Teil des Löschwassers verblieb auf dem Brandgut.

Bild 22 zeigt die Temperatur in Abhängigkeit von der Versuchs-

zeit an den Meßstellen T1 bis T7 (Bilder 1 bis 4). Der steilste Temperaturanstieg und die Maximaltemperatur von nahezu 1100 °C ist senkrecht über der Zündwanne an der Meßstelle T6 festzustellen. An den übrigen Meßstellen werden je nach der örtlichen Ausbreitung der Flamme unterschiedlich hohe Temperaturen erreicht. Da der Löscheinsatz von der Seite erfolgte, fielen die Temperaturen zunächst im mittleren Bereich an den Meßstellen nur bis zu ca. 300 °C ab und etwa 1 min später nach dem vollständigen Löschen auf Raumtemperatur.

Unterschiede bezüglich der zur Zündung verwendeten Mengen an n-Heptan sind nicht festzustellen. Vielmehr macht sich die unterschiedliche Größe der Brandlast bemerkbar. Eine größere Oberfläche und ein höherer Spalt über der Zündwanne begünstigen den Brand durch den sogenannten Kamineffekt.

Versuch 3: Hohl-, Flaschenfraktion ca. 612 kg

Beim 3. Versuch wurden 2 Ballen einer Flaschenfraktion in Originalgröße mit einer Gesamtmasse von 612 kg verwendet. Die Zündung erfolgte mit 250 ml n-Heptan.

Zeit

| | |
|------|--|
| 0:00 | Zündung (250 ml n-Heptan) |
| 0:30 | Flamme bis zur Oberkante des Stapels |
| 1:15 | Flamme ca. 2-fache Stapelhöhe |
| 2:30 | Obere Oberfläche brennt, brennendes Abtropfen Flamme > 2-fache Stapelhöhe, pulsierend |
| 4:00 | Flamme ca. 6 m hoch |
| 7:00 | Frontseite und abtropfendes Material brennt |
| 8:00 | Gesamter Stapel brennt |
| 8:15 | Ablöschen mit Strahlrohr |
| 9:00 | Brand gelöscht |

Bild 23 zeigt nach einer Versuchszeit von 8 min 15 s einen Abbrand von ca. 40 kg (ca. 7 %). Durch den Löscheinsatz nahm die Masse wieder zu. Der steile Anstieg bzw. Abfall der Kurve wird

durch das Betreten der Abbrandwaage durch die Löschperson mit dem Strahlrohr verursacht.

Bild 24 zeigt den zeitlichen Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T1 bis T7. Die Kurven für die Flaschenfraktion zeigen keinen wesentlich anderen Verlauf als bei Versuch 2 für die Mischfraktion.

Versuch 4: Hohl-, Flaschenfraktion ca. 191 kg

Beim 4. Versuch wurden 2 Ballen einer Flaschenfraktion mit einer Gesamtmasse von ca. 191 kg verwendet und mit 125 ml n-Heptan gezündet.

Zeit

| | |
|------|---|
| 0:00 | Zündung (125 ml n-Heptan) |
| 0:45 | Flamme bis zur Oberkante des Stapels |
| 1:50 | Flamme ca. 2-fache Stapelhöhe |
| 3:30 | Flamme ca. 2-fache Stapelhöhe, Hälfte der Oberfläche brennt |
| 4:30 | Flamme ca. 3-fache Stapelhöhe |
| 6:00 | Frontseite brennt teilweise, brennendes Abtropfen |
| 7:15 | Linker Stapel fällt etwas auseinander |
| 8:15 | Löschbeginn mit Sprühstrahl, Flammen kleiner |
| 9:50 | Brand gelöscht |

Bild 25 zeigt die Änderung der Masse in Abhängigkeit von der Versuchszeit für die Flaschenfraktion mit einem Gesamtgewicht von ca. 191 kg. Bis zum Löscheinsatz nach einer Versuchszeit von 8 min 15 s waren ca. 21 kg (ca. 11 %) des Materials verbrannt.

Bild 26 zeigt die Temperaturen an den Meßstellen T1 bis T7. Es ist deutlich zu erkennen, daß die Temperaturen, verglichen mit dem 3. Versuch, erst einige Minuten später ihre Höchstwerte erreichen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Meßstellen sind auf die unterschiedliche Flammenausbreitung an den Ballen zurückzuführen. Der Löschbeginn bewirkt auch hier das Abfallen auf

Umgebungstemperatur.

Versuch 5: Folienfraktion ca. 188 kg

Beim 5. Versuch wurden zwei kleinere Ballen einer Folienfraktion mit einer Gesamtmasse von 188 kg verwendet. Die Zündung erfolgte mit 250 ml n-Heptan.

Zeit

| | |
|------|---|
| 0:00 | Zündung (250 ml n-Heptan) |
| 0:15 | Flamme bis zur Oberkante des Stapels |
| 0:35 | Flamme ca. 2-fache Stapelhöhe, pulsierend |
| 2:00 | Obere Oberfläche brennt, brennendes Abtropfen, Flamme ca. 2-fache Stapelhöhe, Stapel schrumpft |
| 4:10 | Ablöschen mit Sprühstrahl, Flammen nehmen ab |
| 7:00 | Brand gelöscht |

Bild 27 zeigt die aufgezeichnete Massenänderung beim Brand einer Folienfraktion mit einer Gesamtmasse von ca. 188 kg. Nach einer Versuchszeit von 4 min 10 s wurde mit dem Ablöschen begonnen. Zu diesem Zeitpunkt hatte die Masse der noch weiterbrennenden Folien um ca. 8 kg (ca. 4 %) abgenommen. Nach dem vollständigen Löschen betrug die Abbrandmasse ca. 11 kg.

Bild 28 zeigt den zeitlichen Temperaturverlauf an der Meßstelle T1. Im Gegensatz zum Brand einer Misch- oder Flaschenfraktion stieg die maximale Temperatur nur auf ca. 700 °C an und fiel nach dem Löscheinsatz wieder auf Raumtemperatur ab.

Versuch 6: Folienfraktion ca. 312 kg

Beim 6. Versuch wurden 2 Ballen in Originalgröße einer Folienfraktion mit der Gesamtmasse von 312 kg verwendet. Die Zündung erfolgte mit 125 ml n-Heptan.

Zeit

0:00 Zündung (125 ml n-Heptan)
 0:45 Flamme bis zur Oberkante des Stapels
 2:45 Zündquelle aus, Brand etwas kleiner
 5:00 Flamme ca. 2-fache Stapelhöhe
 7:00 Flamme ca. 2-fache Stapelhöhe, brennendes Abtropfen
 10:30 Gesamter Stapel brennt
 10:55 Löschbeginn mit Strahlrohr
 11:45 Brand gelöscht

Bild 29 zeigt die Massenänderung einer Folienfraktion mit der Gesamtmasse von 312 kg in Abhängigkeit von der Versuchszeit. Bei Beginn des Löscheinsatzes nach 10 min 55 s (Anstieg der Kurve) waren ca. 23 kg (ca. 7 %) des Brandgutes verbrannt.

Bild 30 zeigt den zeitlichen Temperaturverlauf an den Meßstellen T1 bis T7. Im Gegensatz zu den Misch- und Folienfraktionen und in Bild 28 bereits erkennbar, stiegen die Temperaturen an allen Meßstellen nach dem Zünden nicht mehr so schnell an. Die Maximaltemperatur betrug wie beim 5. Versuch nur ca. 700 °C. Bei Löschbeginn fiel sie auf Raumtemperatur ab.

Versuch 7: gelbe Säcke ca. 66 kg

Beim 7. Versuch wurden 30 gelbe Säcke pyramidenförmig aufgeschichtet. Die gelben Säcke hatten eine Gesamtmasse von ca. 66 kg. Die Zündung erfolgte mit 250 ml n-Heptan.

Zeit

0:00 Zündung (250 ml n-Heptan)
 0:30 Säcke fallen zusammen, Feuer brennt klein weiter
 1:00 Flamme breitet sich aus, Material schmilzt,
 Spraydosen knallen und fliegen weg
 4:00 Niederer Stapel brennt mit ca. 1,5 m Flammenhöhe,
 bei abnehmender Flammenhöhe langsames Ausbrennen
 32:50 Brandreste werden abgelöscht

Bild 31 zeigt die Massenänderung beim Brand der gelben Säcke in Abhängigkeit von der Versuchszeit. Nach einer Versuchszeit von 13 min waren ca. 26 kg des Materials verbrannt. Bei diesem Versuch wurden die Reste erst nach einer Versuchszeit von 32 min 50 s abgelöscht. zu diesem Zeitpunkt war über die Hälfte des Materials verbrannt. Es war insbesondere zu beachten, daß sich auch Spraydosen in den Säcken befanden, die während des Versuches explodierten und wegflogen.

Bild 32 zeigt die zugehörigen Temperaturen an den Meßstellen T1 bis T7 in Abhängigkeit von der Versuchszeit. Nach dem Zünden stieg nur die Temperatur an der Meßstelle T6 auf max. ca. 800 °C an, während an den anderen Meßstellen nur 100 °C bis 300 °C erreicht wurden, um danach wieder abzufallen. Zum Löschzeitpunkt brannten lediglich noch Reste mit ca. 20 cm hohen Flammen ab.

Versuch 8: gelbe Säcke ca. 67 kg

Beim 8. Versuch wurden ebenfalls 30 gelbe Säcke als Brandgut pyramidenförmig aufgeschichtet. Die Gesamtmasse der gelben Säcke betrug ca. 67 kg. Die Zündung erfolgte mit 125 ml n-Heptan.

Zeit

| | |
|-------|--|
| 0:00 | Zündung (125 ml n-Heptan) |
| 0:20 | Flamme bis oben |
| 1:00 | Säcke geben nach, Flamme breitet sich aus |
| 1:45 | Spraydosen knallen und fliegen weg, Brand heftiger |
| 2:30 | Tropft ab, Oberfläche brennt, fällt etwas zusammen |
| 8:00 | Alle Säcke brennen mit niedrigen Flammen weiter |
| 13:10 | Reste mit Strahlrohr abgelöscht |

Bild 33 zeigt die Massenänderung während des zweiten Versuches mit gelben Säcken in Abhängigkeit von der Versuchszeit. Nach einer Versuchszeit von 13 min 10 s, dem Löschbeginn, waren ca. 20 kg (ca. 30 %) des Materials verbrannt.

Bild 34 zeigt die zeitlichen Temperaturverläufe an den Meßstel-

len T1 bis T7. Im Gegensatz zum vorherigen Versuch erreichen die Temperaturen nach dem Zünden in den ersten 3 Minuten an den Meßstellen T1 bis T5 und T7 nur ca. 100 °C und an der Meßstelle T6 ca. 550 °C. Dies hängt damit zusammen, daß die Säcke durch das Abschmelzen in Richtung Zündwanne herunterfallen und die Flammen teilweise verlöschen. Danach beginnen sich die Flammen wieder zu entwickeln und breiten sich langsam auf alle Säcke aus. Es werden ähnliche Temperaturen beim Anstieg und Abfall wie zuvor bei Versuch 7 erreicht.

Bild 35 zeigt eine Gegenüberstellung des mit der Branddauer ansteigenden Massenverlustes aus 8 Versuchen mit 4 unterschiedlichen Materialien in Abhängigkeit von der Versuchszeit. Es ist zu erkennen, daß bei den Versuchen 1 und 2 (Mischfraktion) nach der Zündung die Kurven bereits nach einer kurzen Brandphase stark ansteigen.

Die Kurve für die Flaschenfraktion beim Versuch 3 zeigt nahezu das gleiche Verhalten wie bei den beiden vorherigen Versuchen mit der Mischfraktion. Beim Versuch 4 (Flaschenfraktion) ist die Zunahme des Massenverlustes nach der Zündung zunächst geringer. Die Kurve hat jedoch ca. 2 Minuten später nahezu die gleiche Steigung wie beim Versuch 3.

Beim Versuch 5 (Folienfraktion) liegt die Massenverlustkurve zwischen den Kurven der Versuche 3 und 4. Beim Versuch 6 (Folienfraktion) ist der Massenverlust innerhalb der ersten Minuten gering. Erst ca. 4 Minuten später wird etwa die gleiche Steigung erreicht wie beim Versuch 5.

Bei den Versuchen 7 und 8 (gelbe Säcke) verlaufen die Kurven insgesamt wesentlich flacher, d. h. die Abbrandgeschwindigkeit ist bei den hier durchgeführten Versuchen während der gesamten Branddauer wesentlich geringer.

4. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde begonnen, Literatur über die Lagerung und über Brände von Recyclingmaterialien in Betrieben auszuwerten. Um den Brandschutz zu verbessern, ist es notwendig, Untersuchungen mit derartigen Materialien durchzuführen.

Es wurden je 2 Brandversuche mit 4 unterschiedlichen Fraktionen von Sekundär-Rohstoffen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, daß sich nach der Zündung in wenigen Minuten ein Vollbrand entwickeln kann. Die Art des Materials spielt dabei eine wesentliche Rolle. Bei den hier verwendeten Materialien handelt es sich einerseits um bereits sortierte Kunststoffe in Preßballen und andererseits um nicht sortierte Wertstoffe in gelben Säcken.

Als Brandgut wurden jeweils eine Mischfraktion, eine Hohl- bzw. Flaschenfraktion, eine Folienfraktion und die gesammelten Wertstoffe in gelben Säcken verwendet. Die max. Abmessungen eines Versuchsaufbaus lagen bei ca. 2 m * 1 m * 1,5 m (L*B*H).

Durch Abbrand- und Temperaturmessungen sowie zusätzliche Videoaufzeichnungen ist es möglich, das Brandgeschehen zu beurteilen. Die Temperaturen an den installierten Meßstellen lagen je nach Versuchsgut bei max. 1100 °C.

Bei zu großer Wärmefreisetzung wurde das Brandgut mit einem Strahlrohr abgelöscht. Die Versuche ergaben eine starke Abhängigkeit der Abbrandgeschwindigkeit von der verwendeten Fraktion. Während des voll entwickelten Brandes, der ca. 2 min bis 6 min nach der Zündung beginnt, kann in abfallender Reihenfolge die Höhe der Abbrandrate als Mittelwert aus jeweils 2 Versuchen angegeben werden: Mischfraktion, Hohl- oder Flaschenfraktion, Folienfraktion und gelbe Säcke. Um zusätzliche Erkenntnisse bezüglich der Brandgefahren und der Löschmöglichkeiten an recyclingfähigen Materialien zu erhalten, ist es notwendig, weitere Untersuchungen durchzuführen.

5. LITERATURVERZEICHNIS

- /001/ Sommer, R. : Vorbeugender Brandschutz in einer
Rohstoffrückgewinnungsanlage (RRA)
Brandschutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung
47 (1993) 10, S.714-717
- /002/ Lesser, P.D. : A shuttle to save exposures
Fire Service Today 50 (1983) 12, S.22-24
- /003/ : Drehleiter stürzte ins Feuer
Feuerwehr Magazin für den Brandschutz
(1989) 12, S.34-35
- /004/ Maes, M. : Contre dioxine et PCB. La torche a plasma
Face au risque (1989) 245, S.35-36
- /005/ Wachtel, H.G. : Brand eines Kunststoffrecycling-Betriebes
Der Feuerwehrmann 40 (1990) 6, S.25-26
- /006/ Solomon, R.E. : It pays to know the territory
Lemoff, T.C. Fire Command 57 (1990) 3, S.22-25,38
- /007/ Bauer, H. : Großfeuer in Nindorf-Hahnkamp
Die Feuerwehr 41 (1991) 3, S.99-100
- /008/ Bauer, H. : Zwei Tage Löscheinsatz
Feuerwehr Magazin für den Brandschutz
(1992) 2, S.28-31
- /009/ Fischer, T. : Großbrand in Kunststoffabrik. Hydranten
zugeeert
Feuerwehr Magazin für den Brandschutz
(1991) 5, S.30-32
- /010/ Keim, R. : Großbrand durch Glutnester
Scholl, M. Feuerwehr Magazin für den Brandschutz
(1991) 7, S.29-30
- /011/ Marggraff, E. : Brand in Kartonfabrik. 100 Millionen DM
Schaden
112 Magazin der Feuerwehr 17 (1992) 5/6,
S.247-249
- /012/ : Firefighters thwarted by acid fog
Fire 84 (1991) 1037, S.6
- /013/ Flauaus, H. : Reifenlagerbrand. 20 m³ Wasser pro Minute
Florian Hessen (1992) 9, S.32-35
- /014/ Pietron, G. : Containerbrand mit Leichtmetallen
Brandschutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung
46 (1992) 8, S.529-530

- /015/ Rosato, C. : FPA casebook of fires. Plastics recycling plant, Thetford, Norfolk
Fire Prevention (1992) 247, S.52-53
- /016/ Züll, R. : Großbrand bei Reifen-Firma
Der Feuerwehrmann 43 (1993) 4, S.128-129
- /017/ Pilat, D. : Großbrand bei Wildon. Rauchsäule 50 km
weit sichtbar
Blaulicht 42 (1993) 5, S.4-6
- /018/ Pilat, D. : Brand bei der Firma Ecoplast
Brandverhütung (1993) 4, S.4-6
- /019/ Walter, P. : Gefahren an der Einsatzstelle, Erkennen,
Beurteilen, Abwehren
Blaulicht 42 (1993) 5, S.10,12,21
- /020/ Blom, F. : Lengerich. Großfeuer Microplast
Schilling, G. 112 Magazin der Feuerwehr 8 (1993) 6,
Hübner, H. S.296-301
- /021/ Widetschek, O.: Großbrand in einem Kunststoff
Recyclingbetrieb
Blaulicht 42 (1993) 7, S.4-8
- /022/ Laspeyres, J. : Freisetzung von Schadstoffen bei einem
Kunststoffbrand
Brandschutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung
47 (1993) 8, S.575
- /023/ Maaß, J. : Lengerich ist überall. Hört auf die
Feuerwehr
Feuerwehr Magazin für den Brandschutz
10 (1993) 12, S.30-36
- /024/ Ross, K. : Brand der Firma Microplast in Lengerich,
ein Dauerbrenner. Der Großbrand in
Lengerich aus der Sicht der Verwaltung
Schadenprisma 24 (1995) 1, S.1-7
- /025/ Striegler, H.T.: Der Großbrand in Lengerich - aus der
Sicht der Verwaltung
Schadenprisma 24 (1995) 1, S.2-7
- /026/ Stoll, H.H. : Kenntnisstand zur Thematik PVC
Brandhilfe (Bad.Württ.) 40 (1993) 7,
S.200-205
- /027/ Moravec, O. : Brandschutztechnische Anforderungen an
Kunststofflager
Abschnittsarbeit (1993) 60 S.
- /028/ Hespers, H. : Recyclinghalle brennt
Buckenhüskes, U. Der Feuerwehrmann 43 (1993) 10, S.348-349

- /029/ Grafenschäfer, P.: Explosion erschüttert den Essener Norden
Brandschutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung
47 (1993) 10, S.714-717
- /030/ Hallert, J. : Großbrand in einer Recyclinganlage
Florian Hessen (1994) 1, S.5-6
- /031/ Dobbelsstein, W.J.: Kunststoffrecycling. Neue Gefahren für
die Feuerwehr?
Brandschutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung
48 (1994) 2, S.80-92
- /032/ Zumblick, H.P.: Brandschutzleitfaden für Kunststoff-
Recyclingbetriebe
Vorbeugender Brandschutz 13 (1994) 1,
S.26-30,32-33
- /033/ Spotting fires on storage sites
Fire Prevention (1993) 262, S.38-39
- /034/ Laspeyres, J, : Achtung Brandgefahr. Schutzmaßnahmen für
Entsorgungsbetriebe
Entsorgungstechnik 6 (1994) 2, S.38-42
- /035/ Qualm schied die Geister, nicht die
Einsatzkräfte
Feuerwehr Kurier (Ausg. Nieders. u. Bremen)

6. BILDER

Thermoelemente T1 bis T7
wie in den Bildern 1 und 2

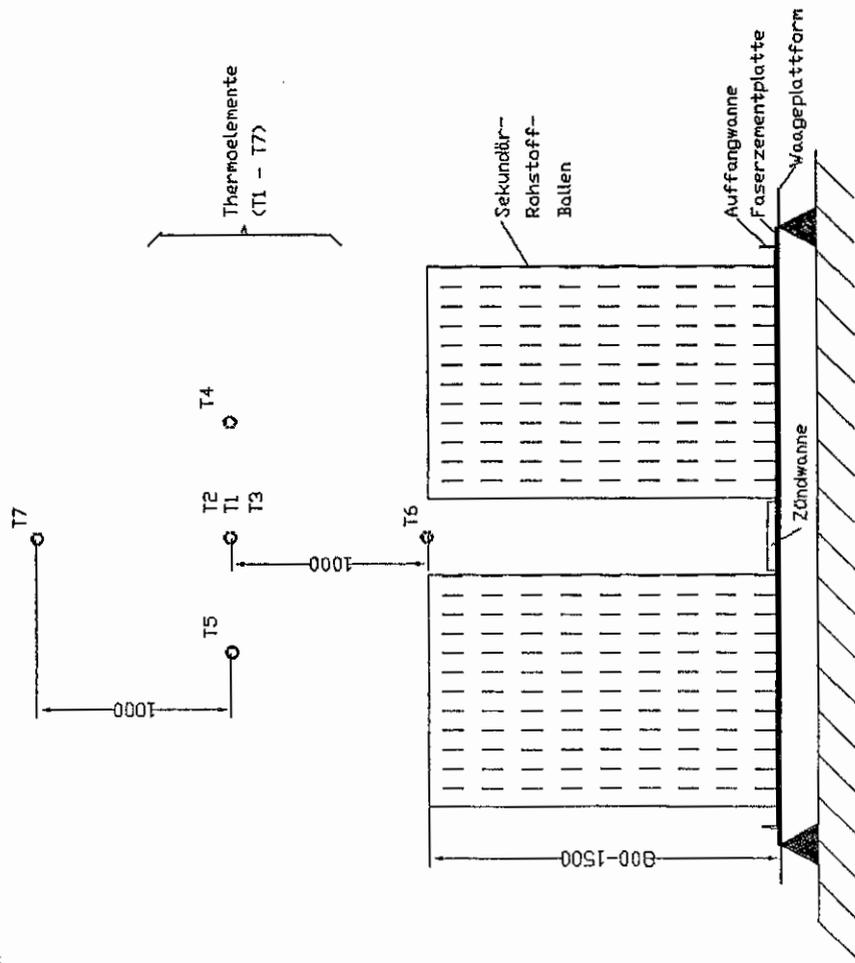


Bild 1. Seitenansicht des Versuchsaufbaus (Kunststoffballen)

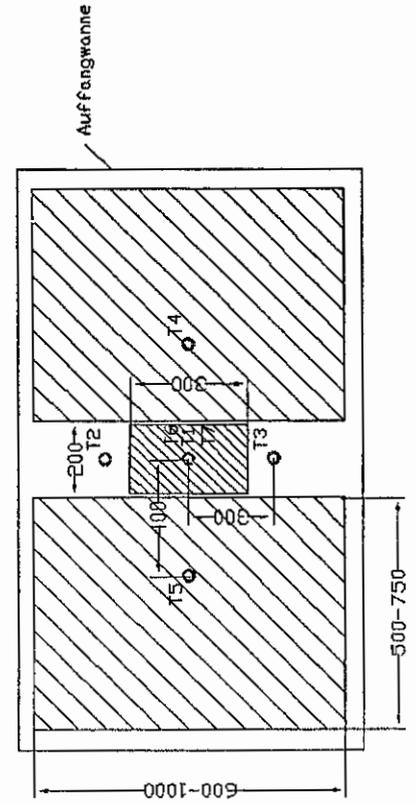


Bild 2. Grundriß des Versuchsaufbaus (Kunststoffballen)

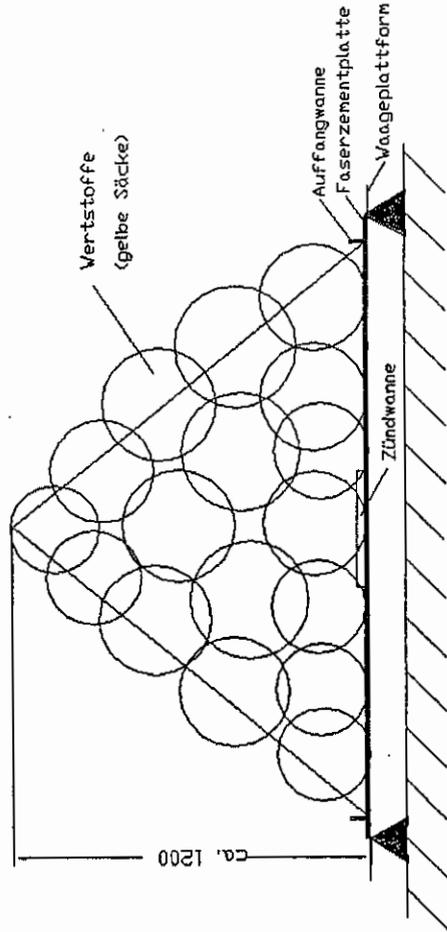


Bild 3. Seitenansicht des Versuchsaufbaus (gelbe Säcke)

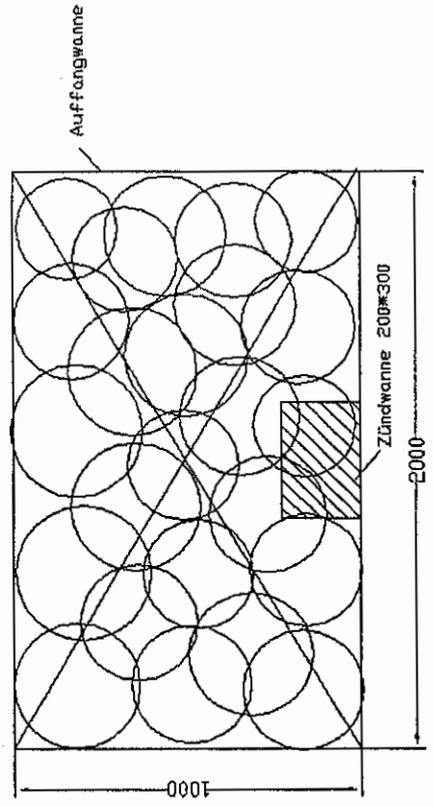


Bild 4. Grundriß des Versuchsaufbaus (gelbe Säcke) Maße in mm



Bild 5. Versuchsaufbau (Mischfraktion)

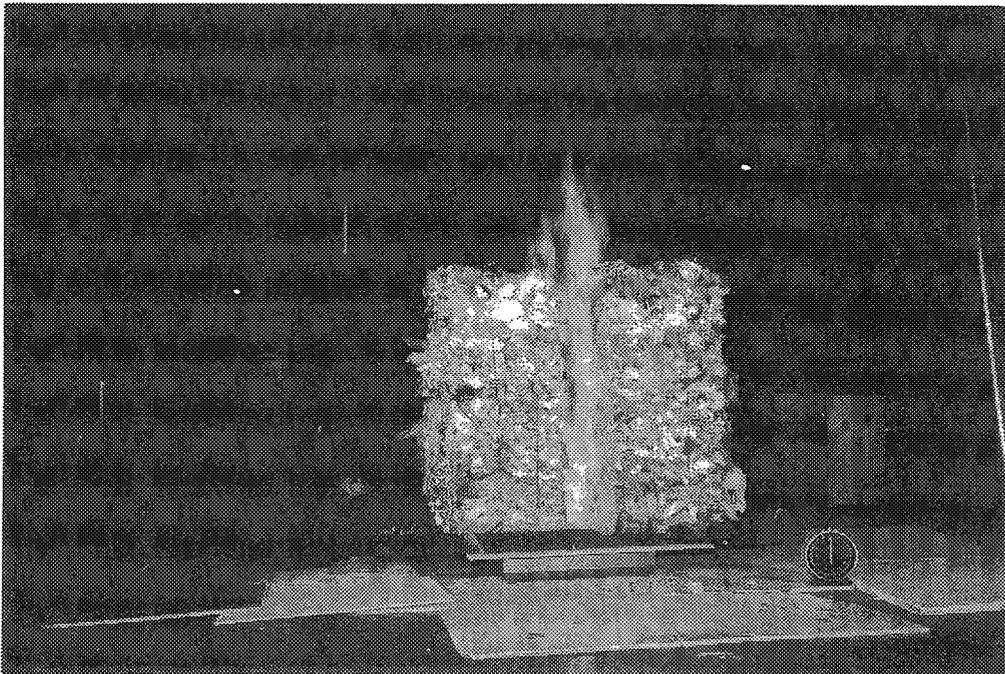


Bild 6. Brandverlauf nach 0:29 min:s

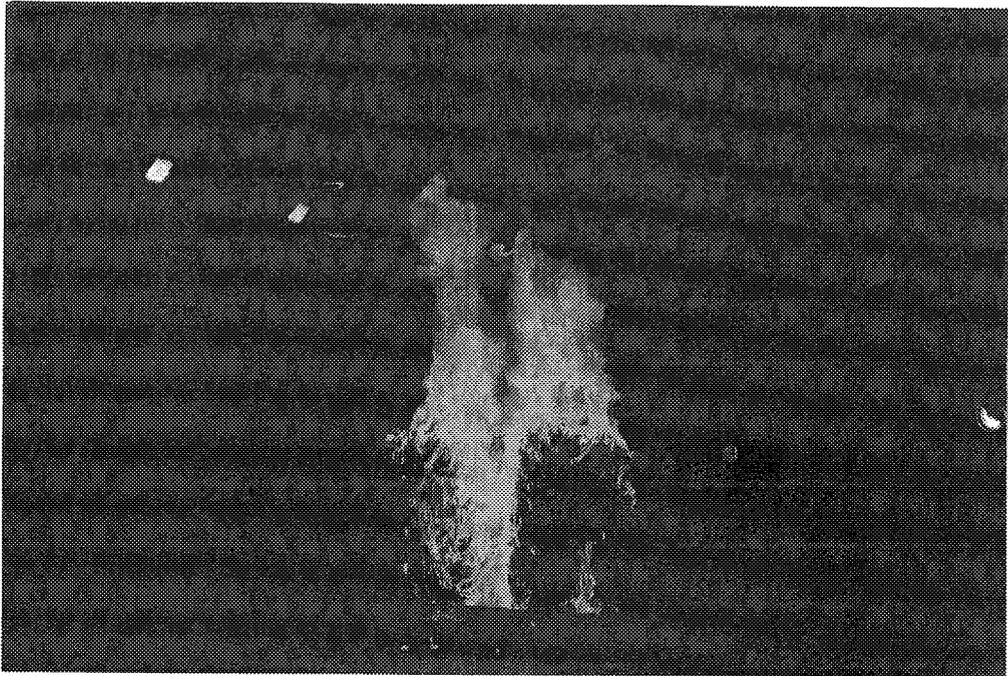


Bild 7. Brandverlauf nach 3:58 min:s

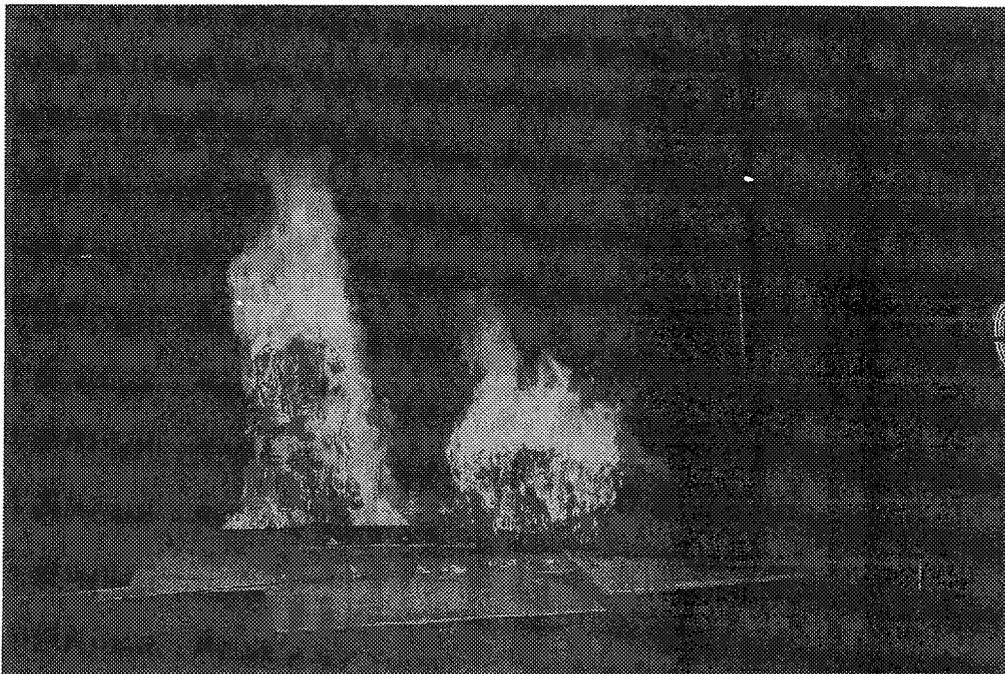


Bild 8. Brandverlauf nach 4:44 min:s
(rechter Ballen umgefallen)



Bild 9. Versuchsaufbau (Flaschenfraktion
mit umgebender Folie)

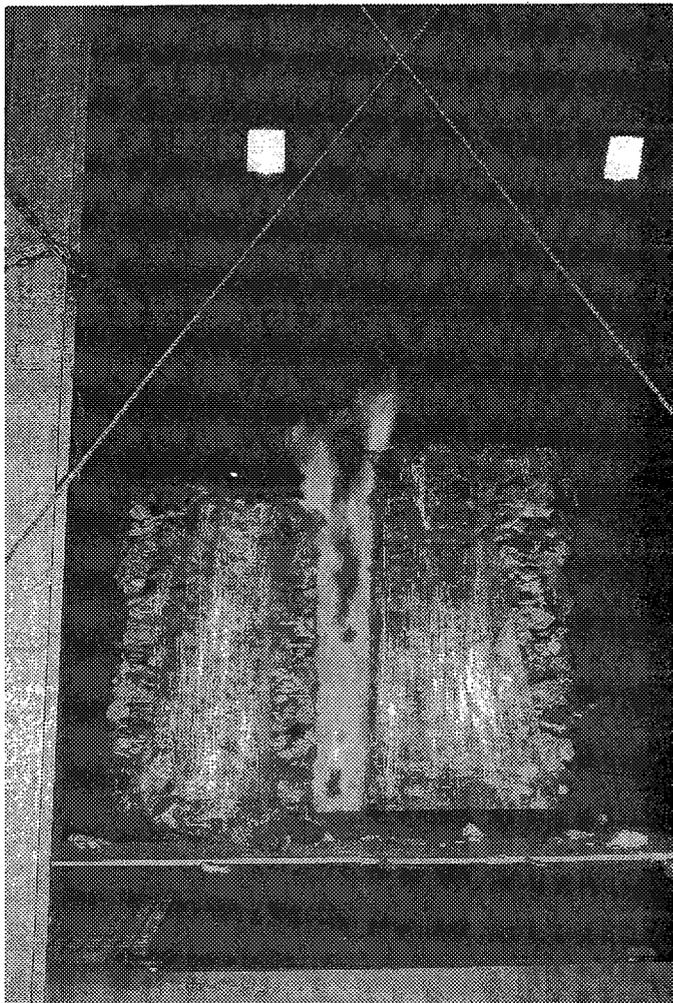


Bild 10.
Brandverlauf nach
0:53 min:s

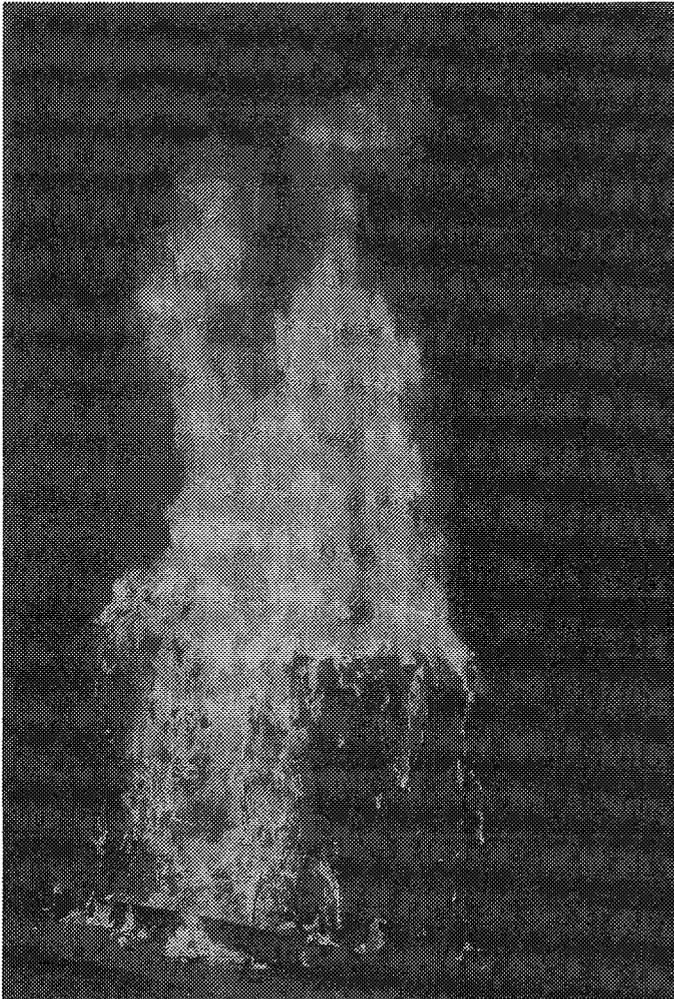


Bild 11.
Brandverlauf nach
8:04 min:s



Bild 12. Ballen der Flaschenfraktion nach dem Ablöschen



Bild 13. Versuchsaufbau (Folienfraktion kleinere Ballen)

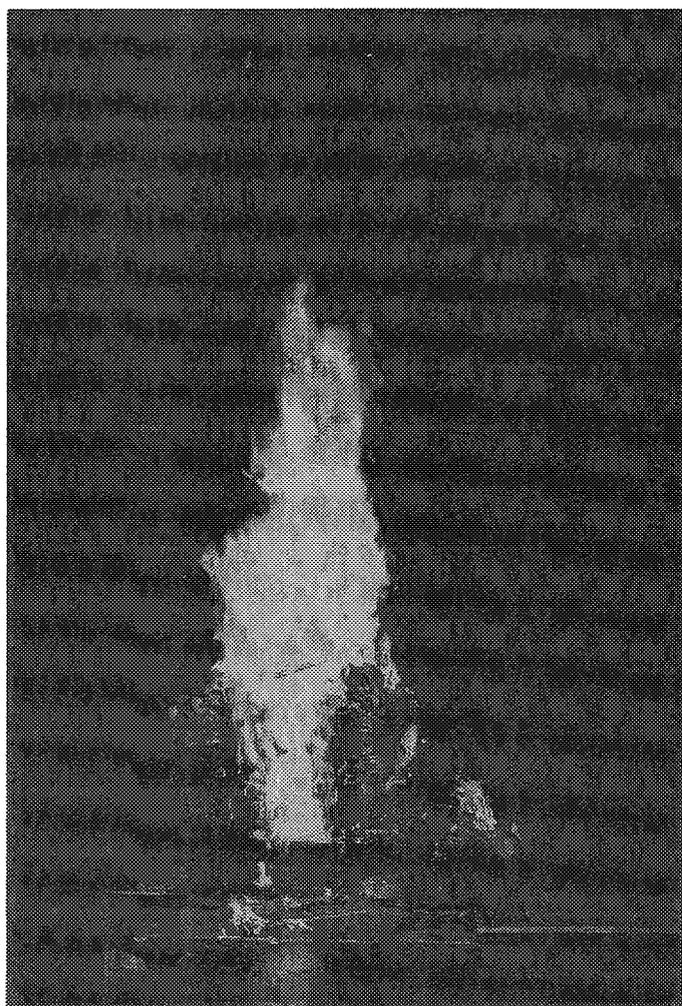


Bild 14. Brandverlauf nach
3:04 min:s

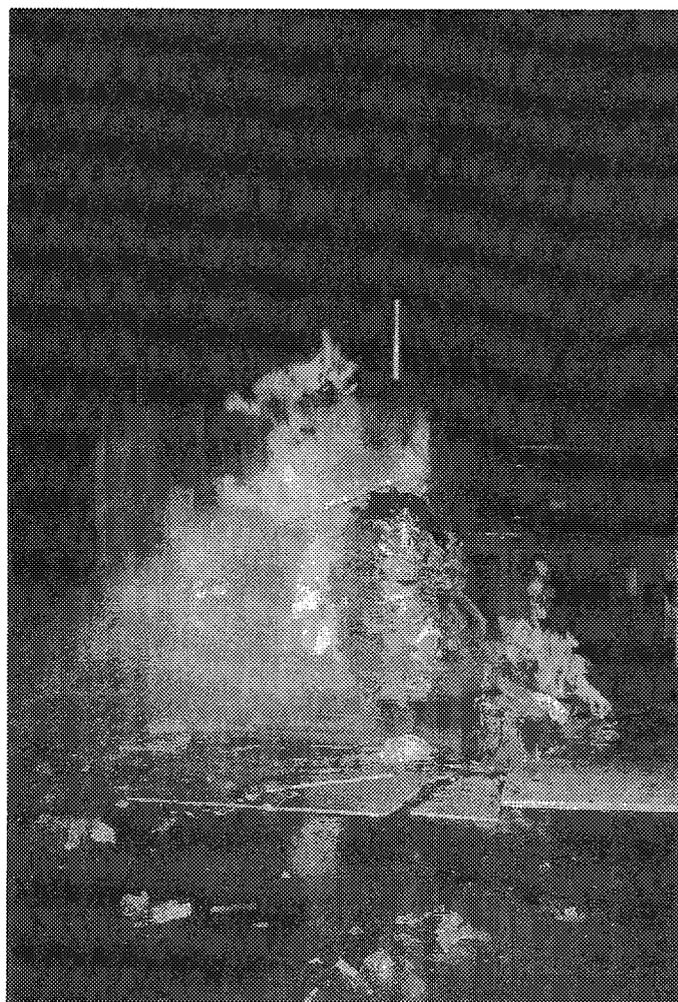


Bild 15. Brandverlauf nach
4:15 min:s
Löschen mit Strahlrohr

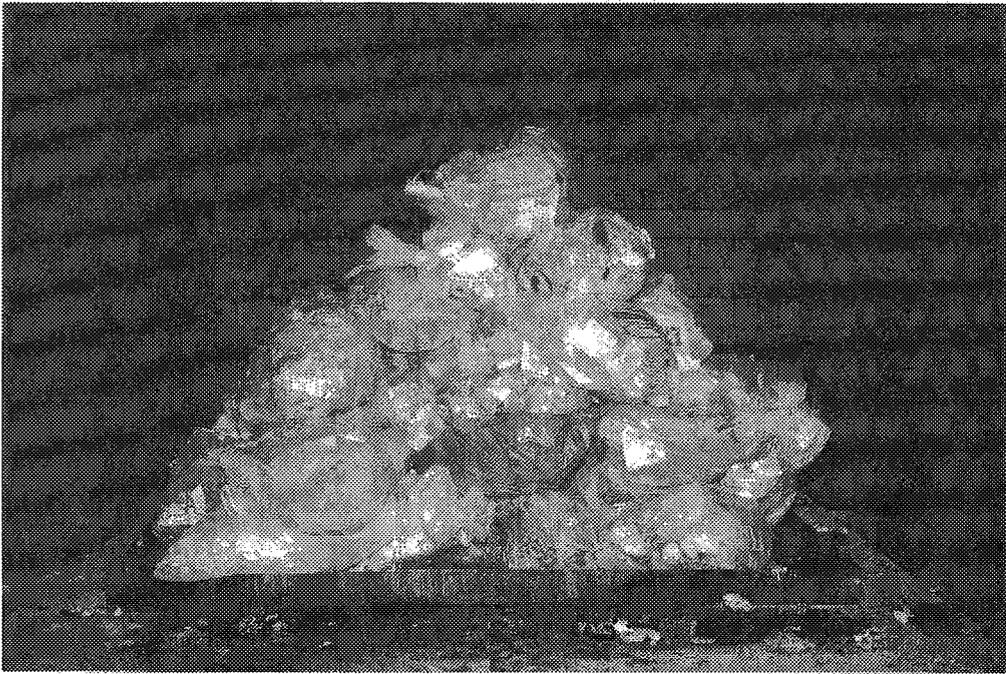


Bild 16.
Versuchsaufbau
(gelbe Säcke)

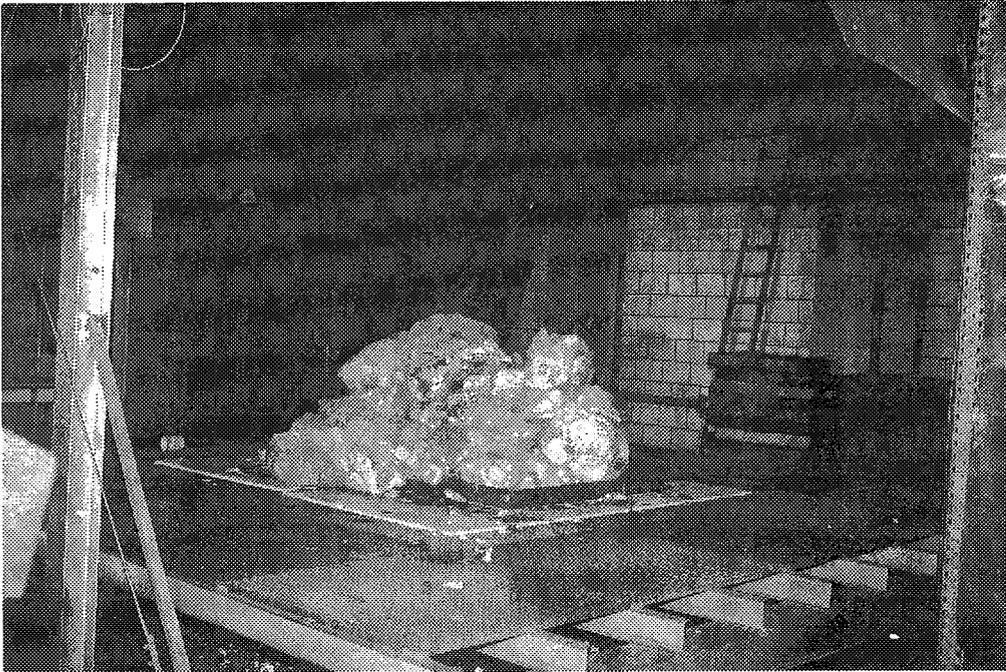


Bild 17.
Brandverlauf
nach
1:10 min:s

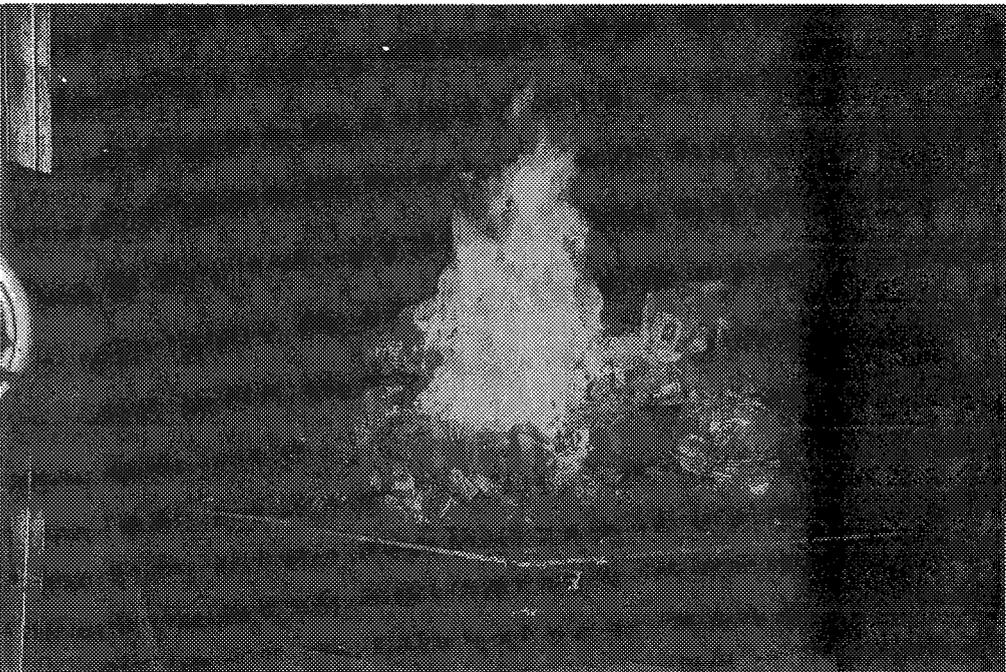


Bild 18.
Brandverlauf
nach
2:32 min:s

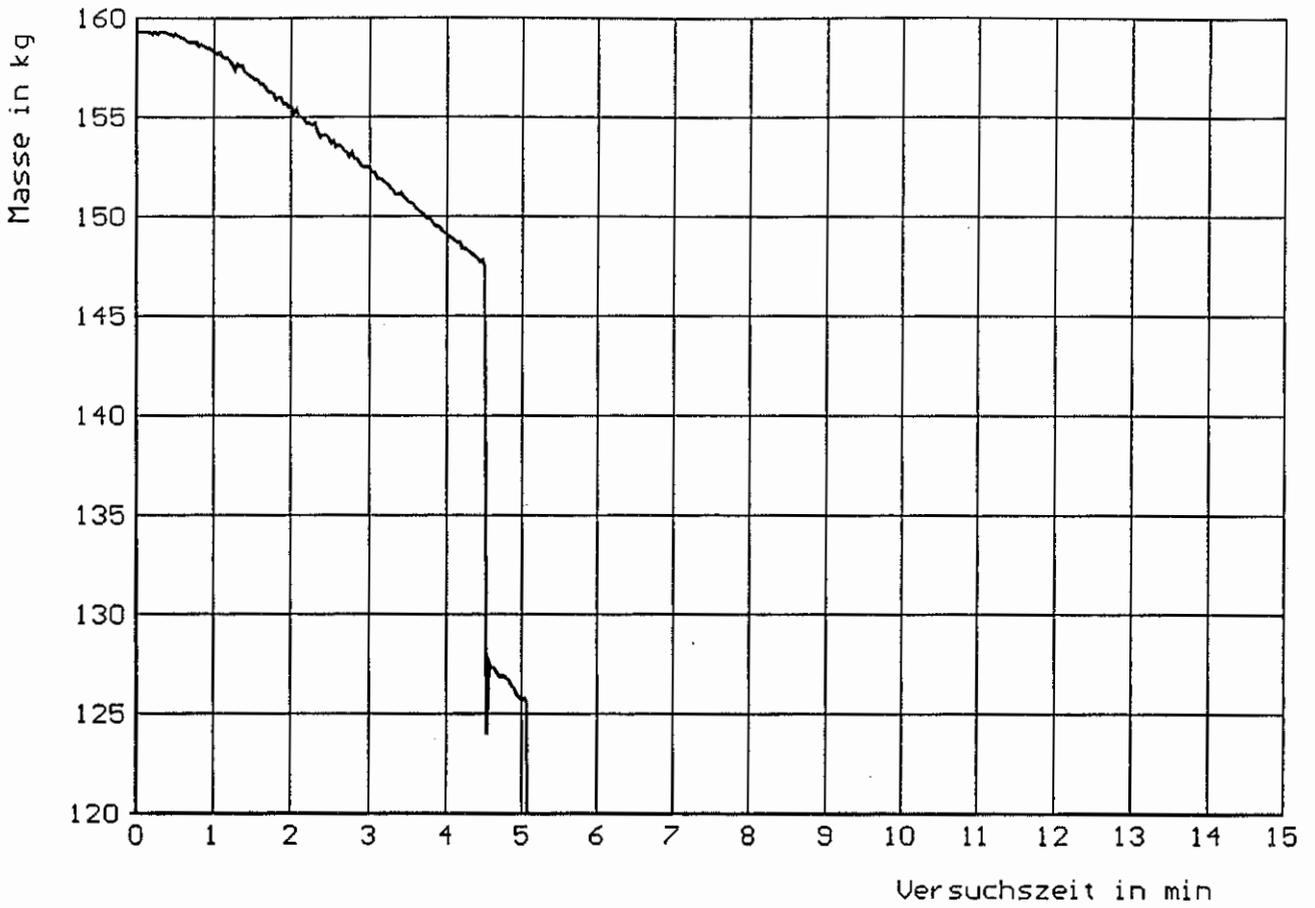


Bild 19. Massenänderung während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Mischfraktion)



Bild 20. Temperatur während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Mischfraktion)

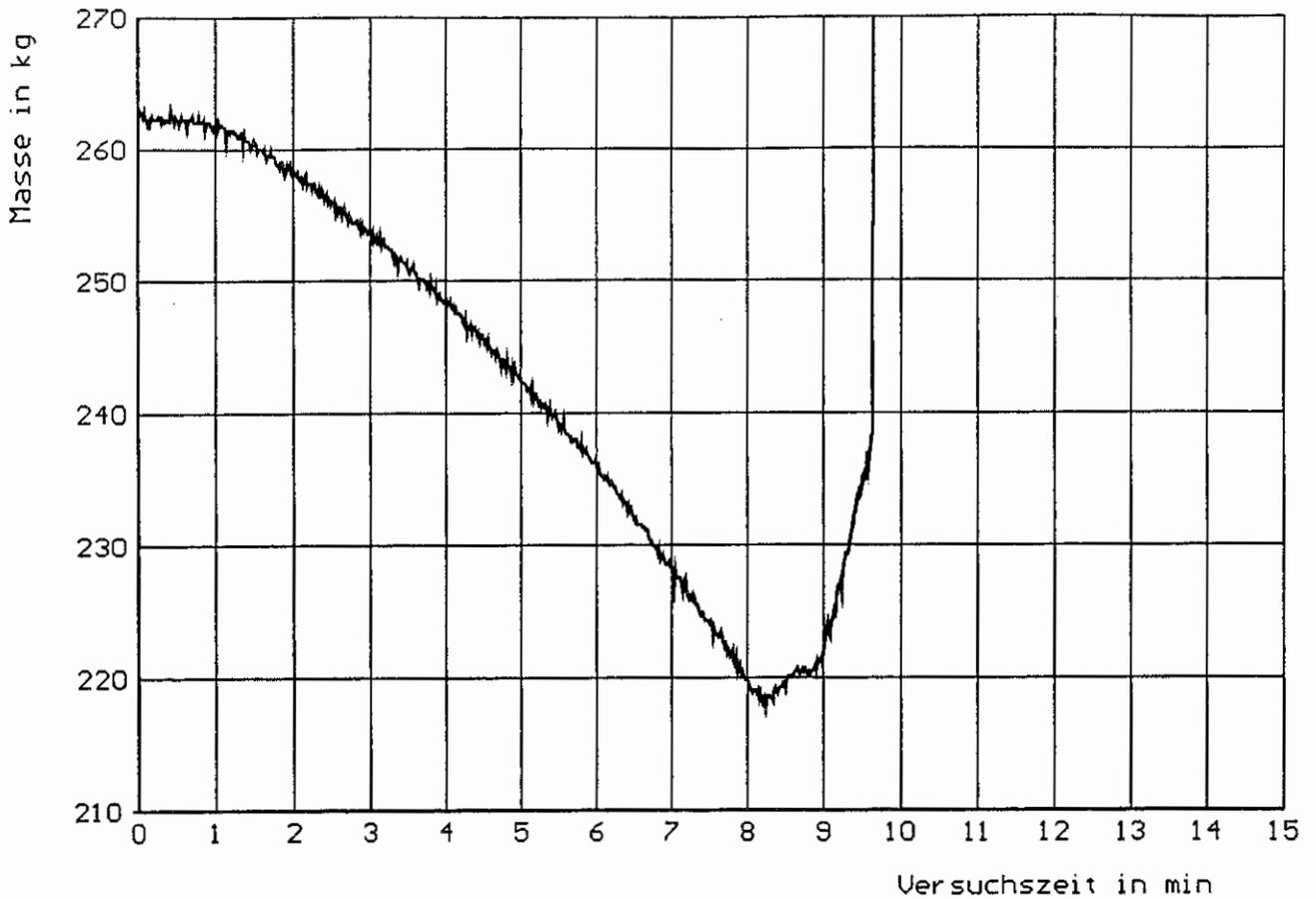


Bild 21. Massenänderung während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Mischfraktion)

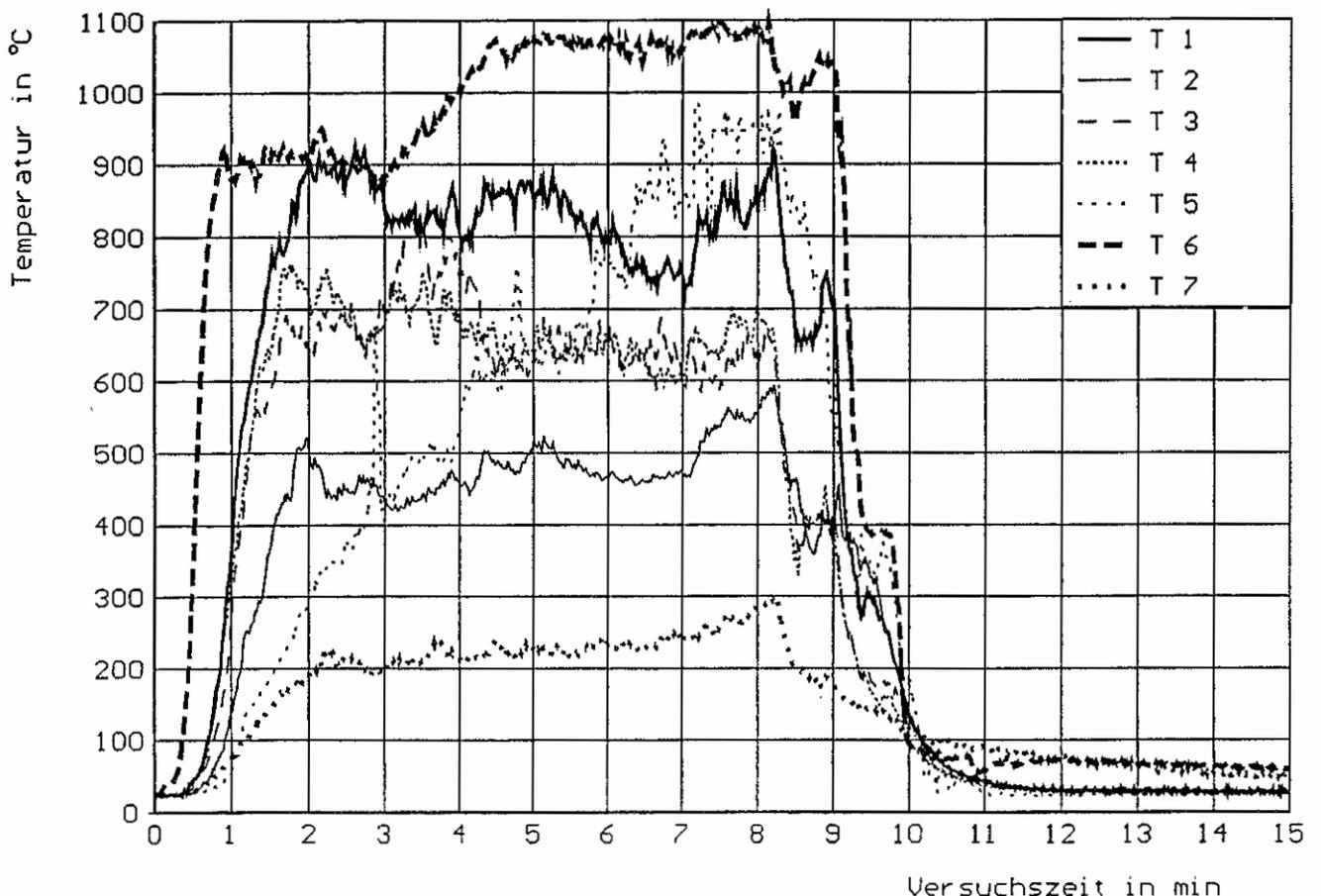


Bild 22. Temperaturen während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Mischfraktion)

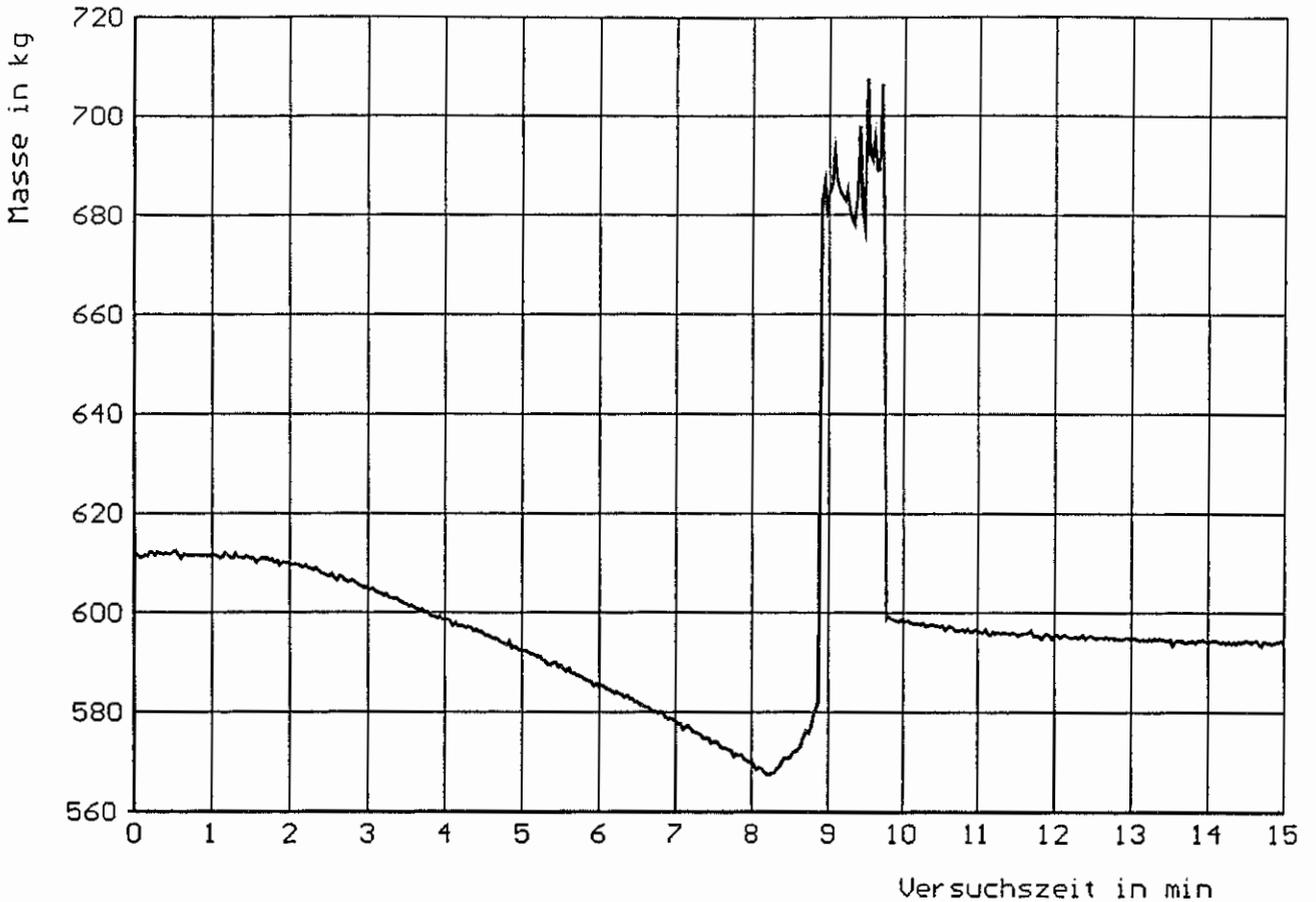


Bild 23. Massenänderung während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Flaschenfraktion)

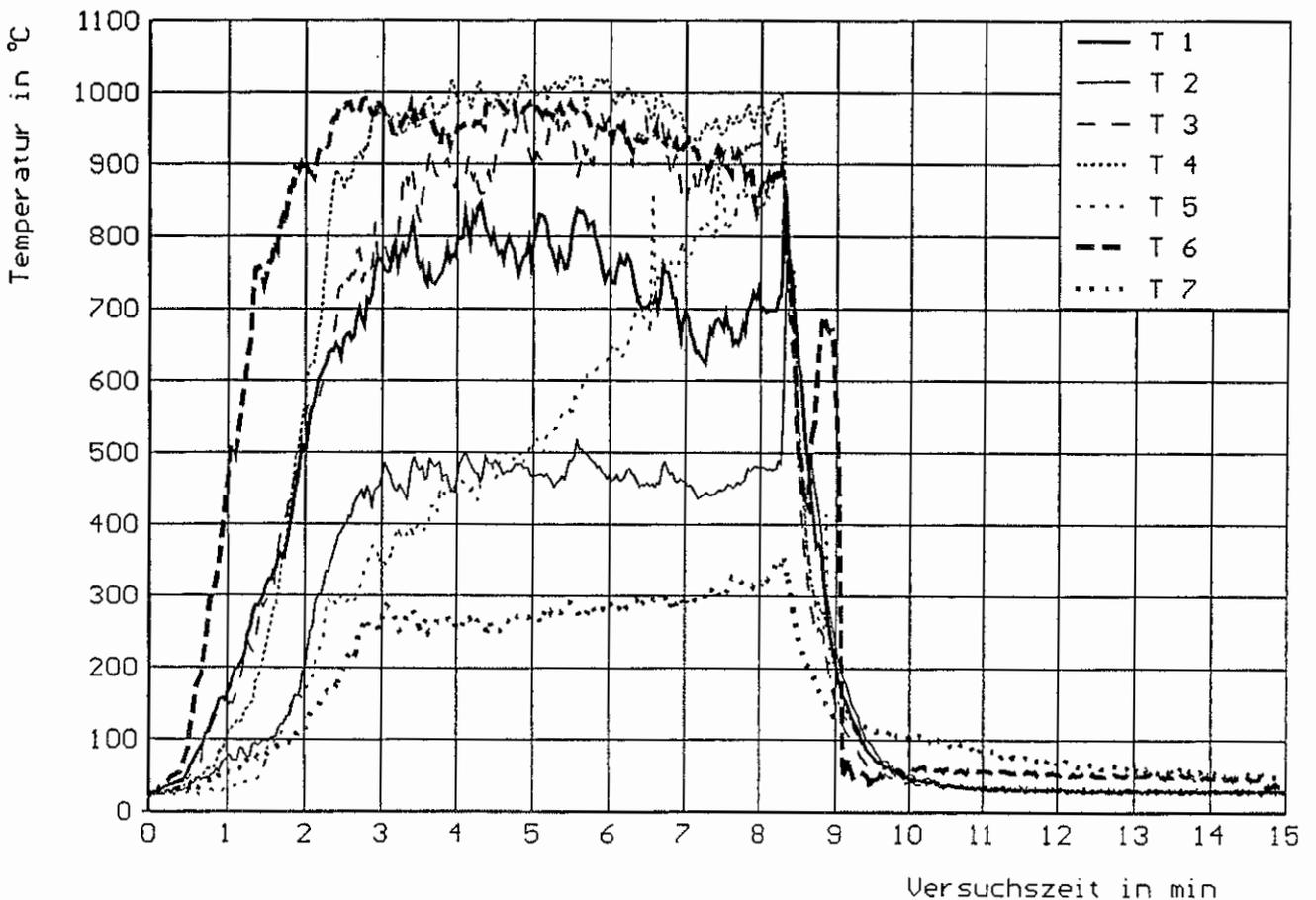


Bild 24. Temperaturen während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Flaschenfraktion)

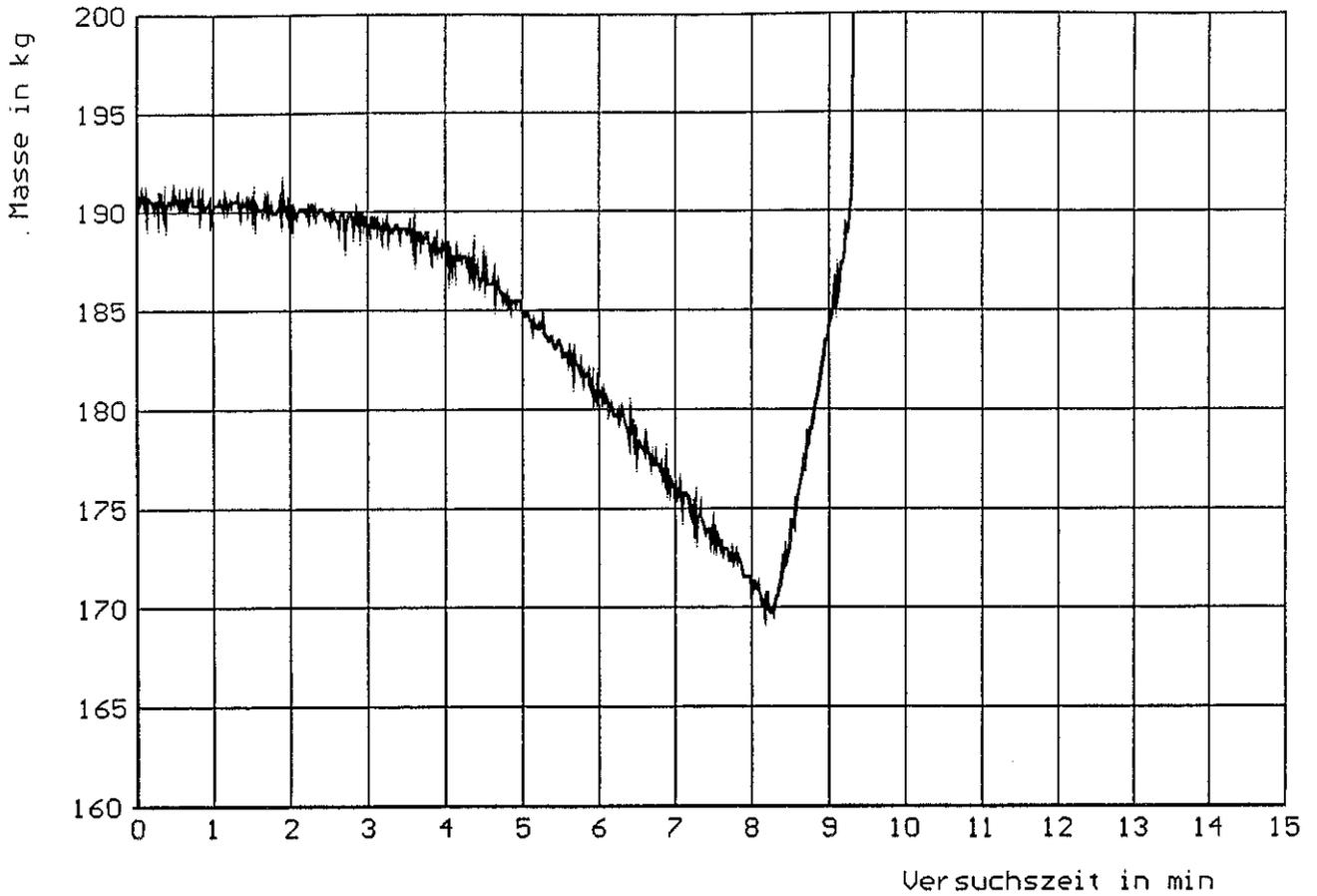


Bild 25. Massenänderung während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Flaschenfraktion)

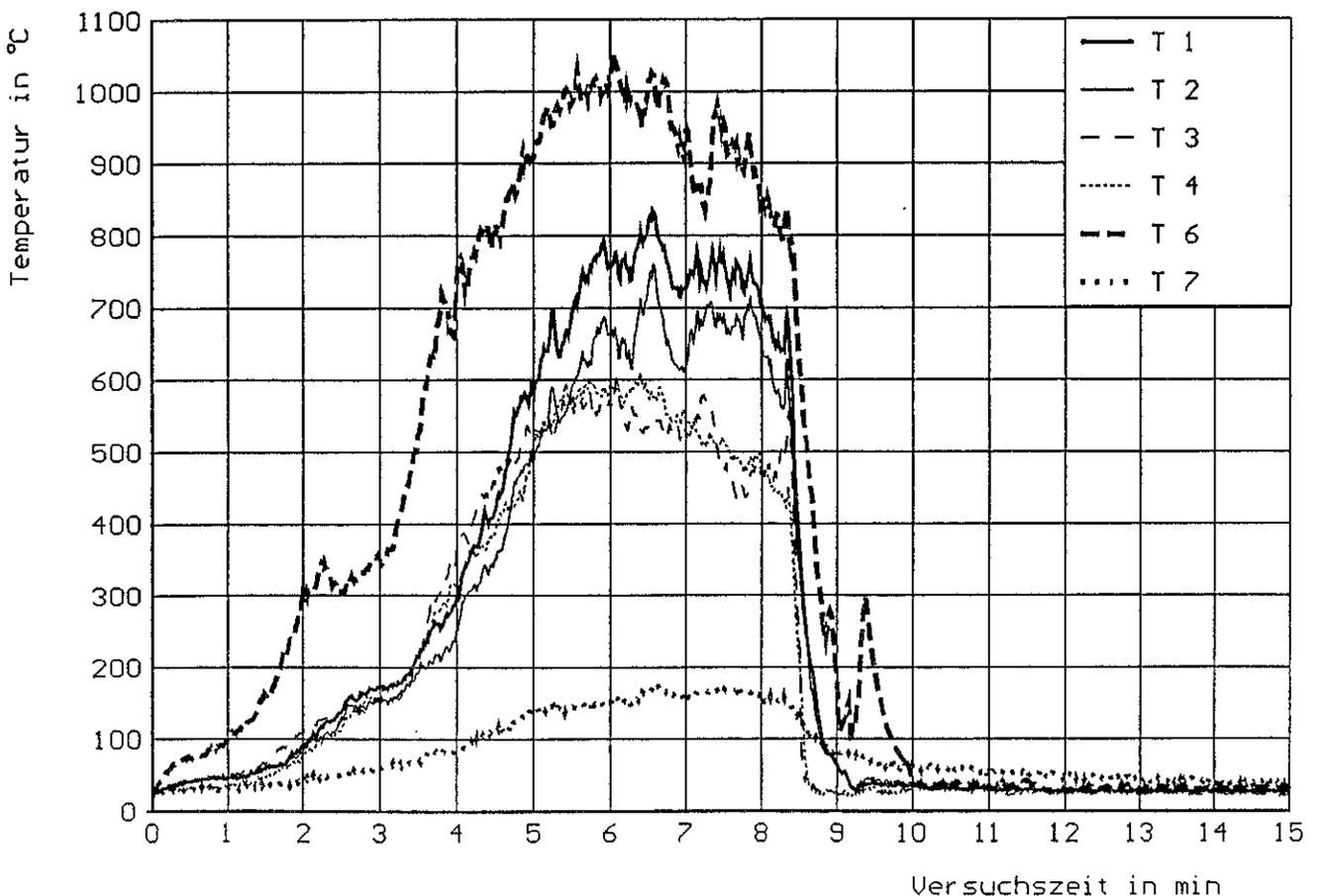


Bild 26. Temperaturen während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Flaschenfraktion)

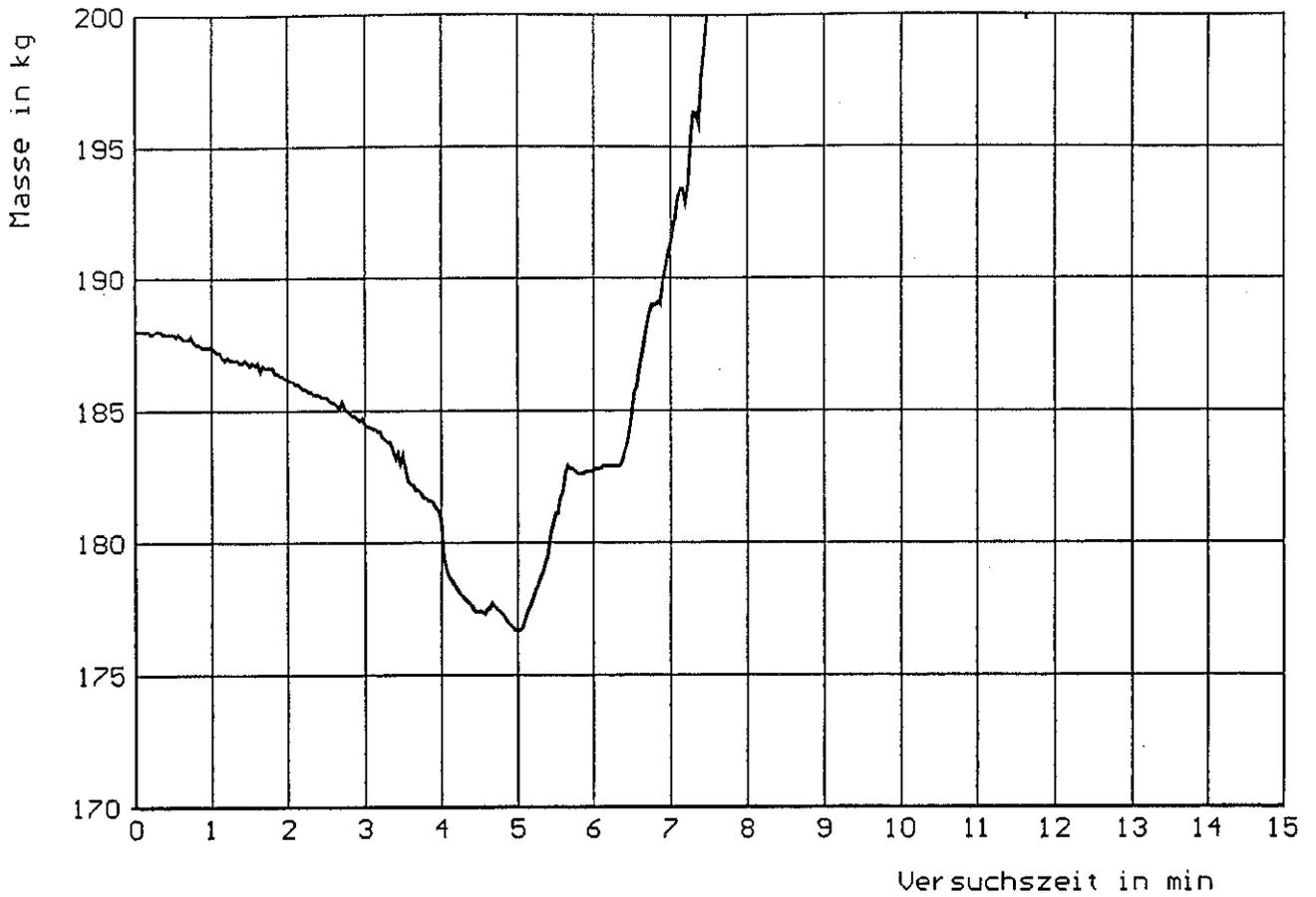


Bild 27. Massenänderung während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Folienfraktion)

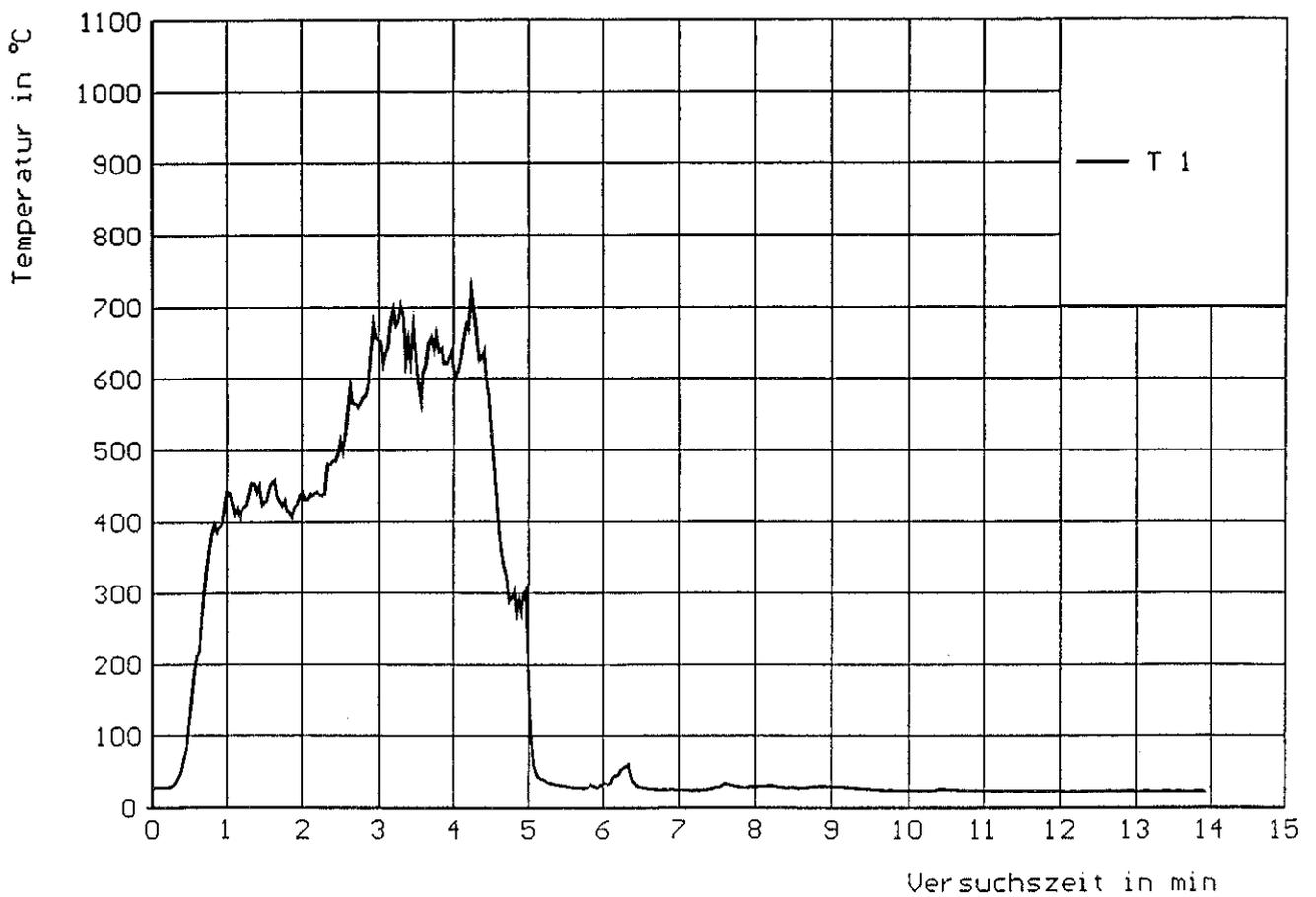


Bild 28. Temperatur während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Folienfraktion)

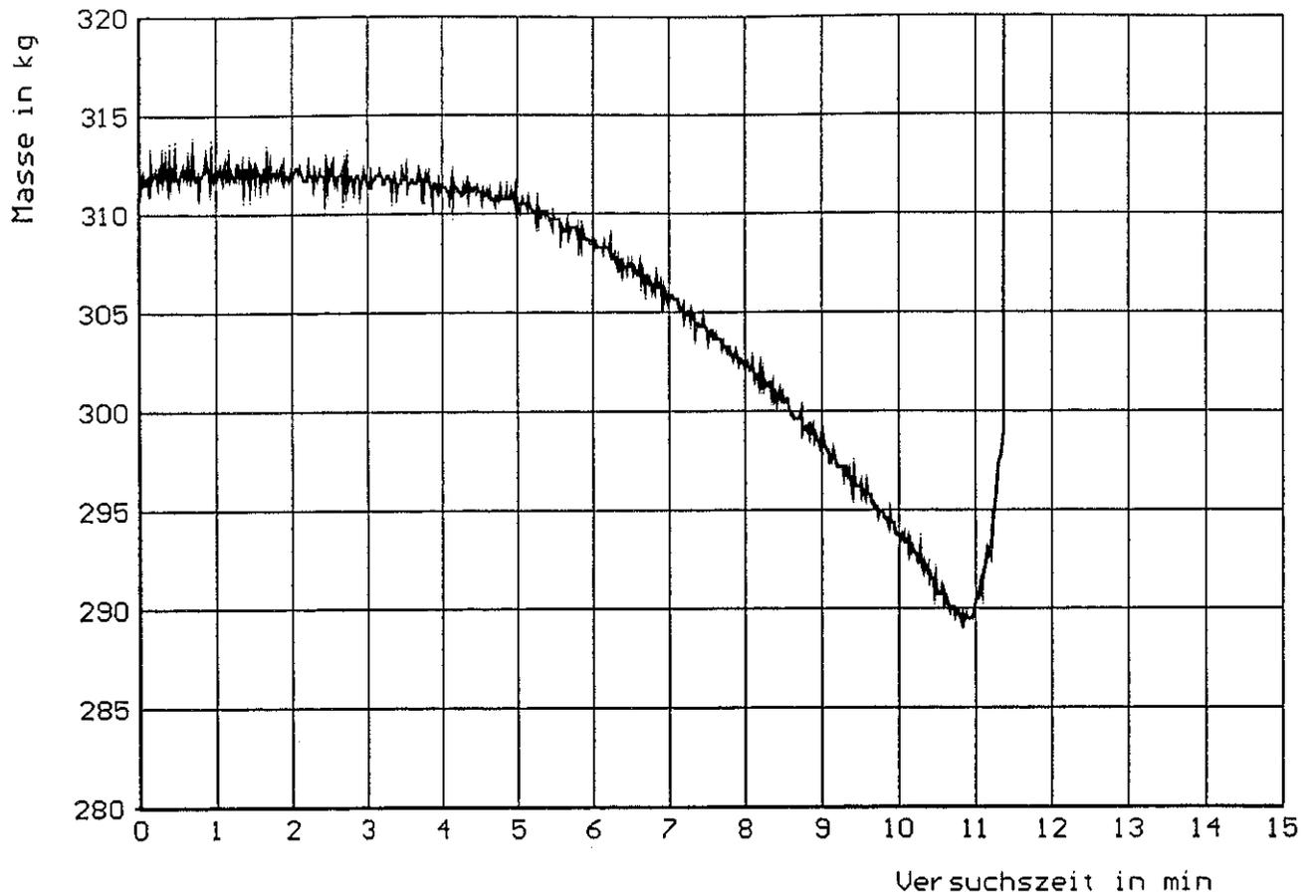


Bild 29. Massenänderung während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Folienfraktion)

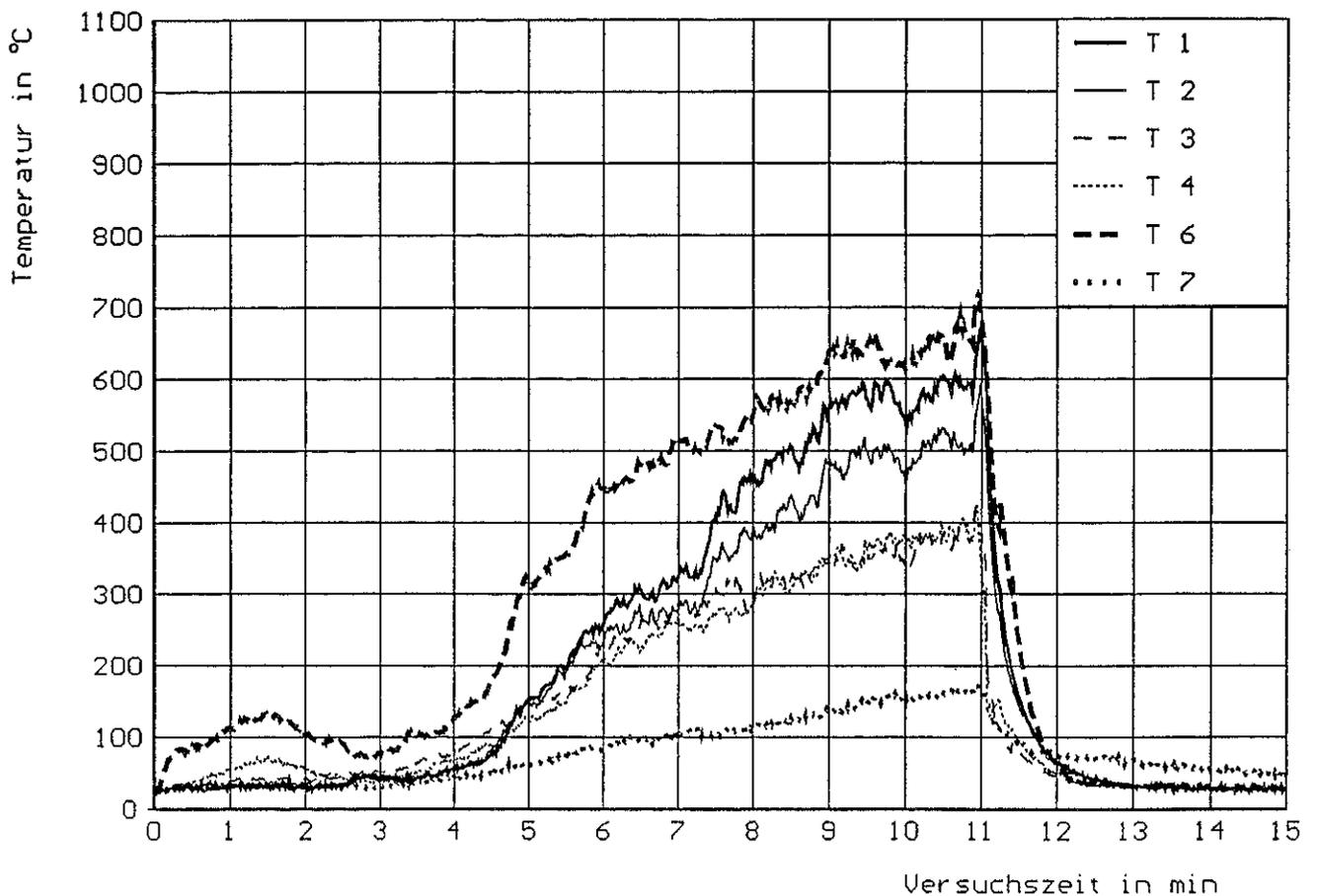


Bild 30. Temperaturen während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (Folienfraktion)

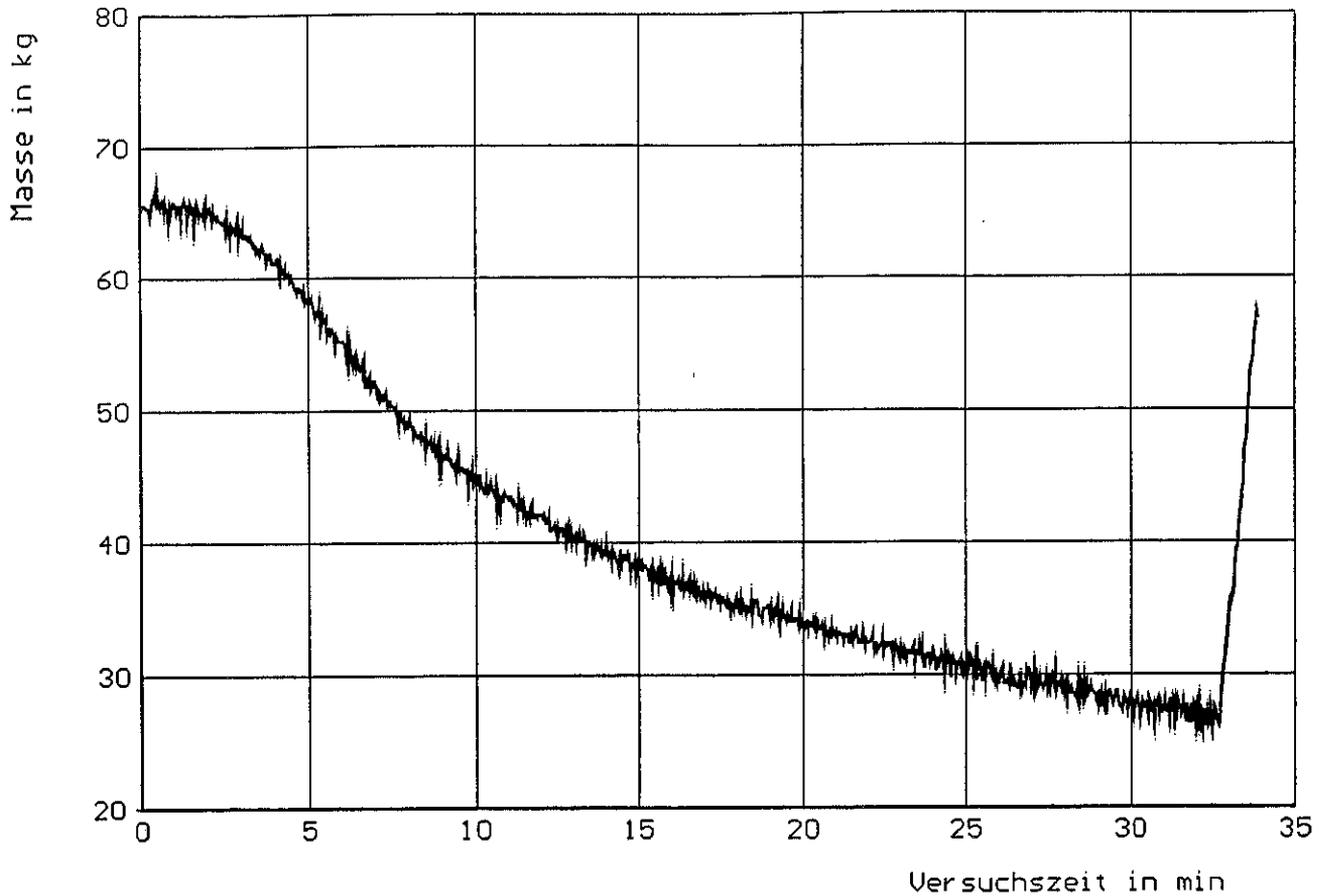


Bild 31. Massenänderung während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (gelbe Säcke)

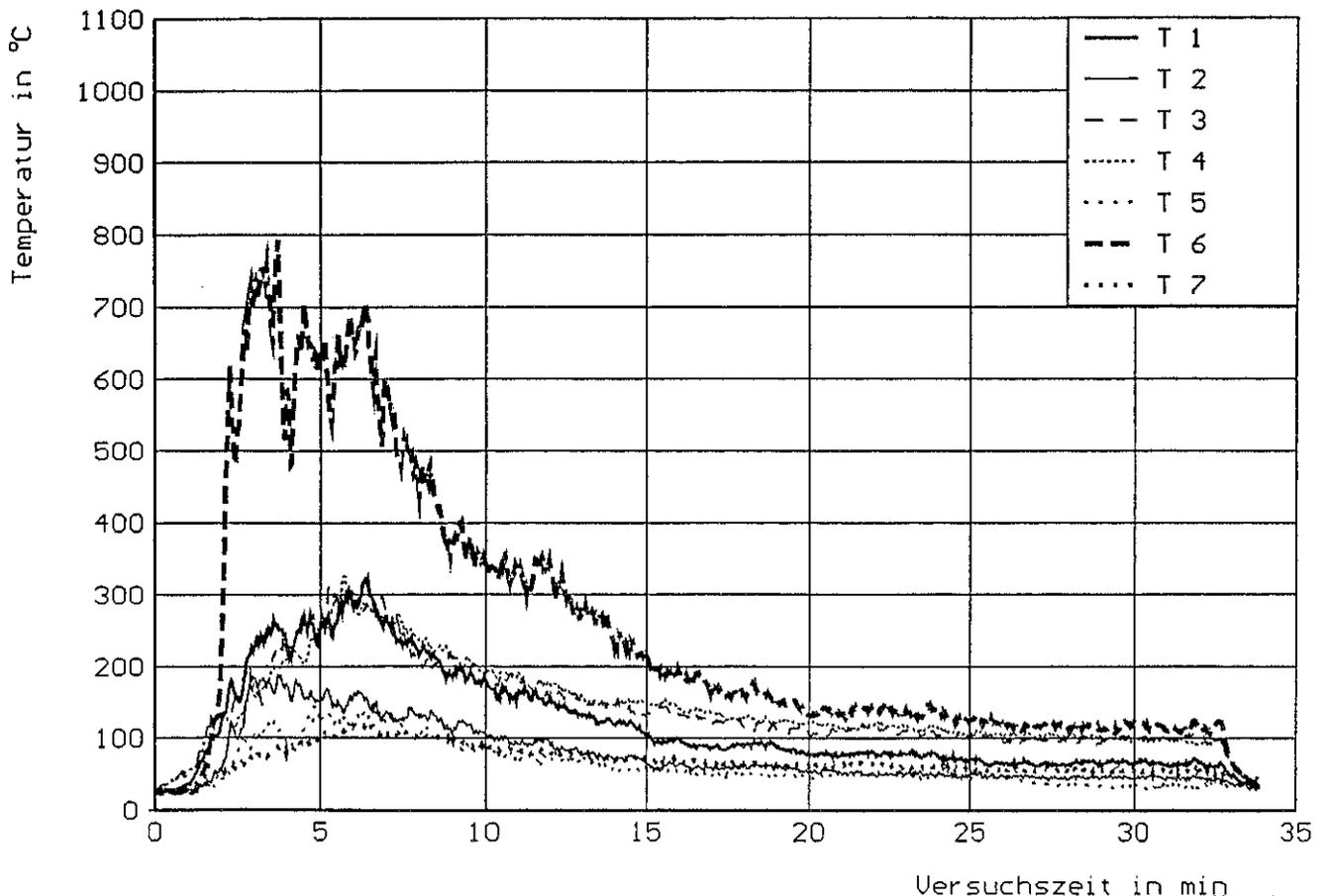


Bild 32. Temperaturen während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (gelbe Säcke)

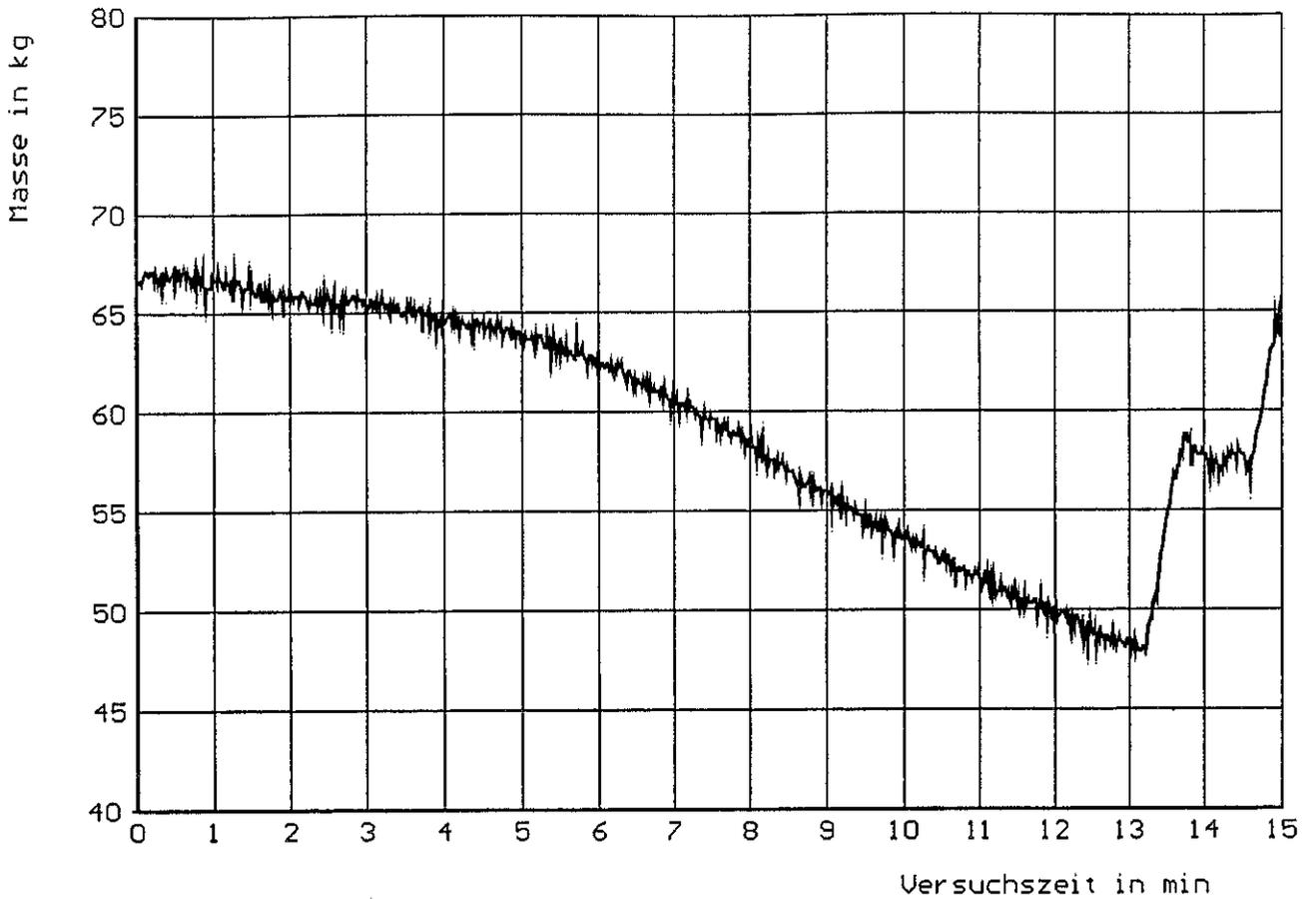


Bild 33. Massenänderung während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (gelbe Säcke)

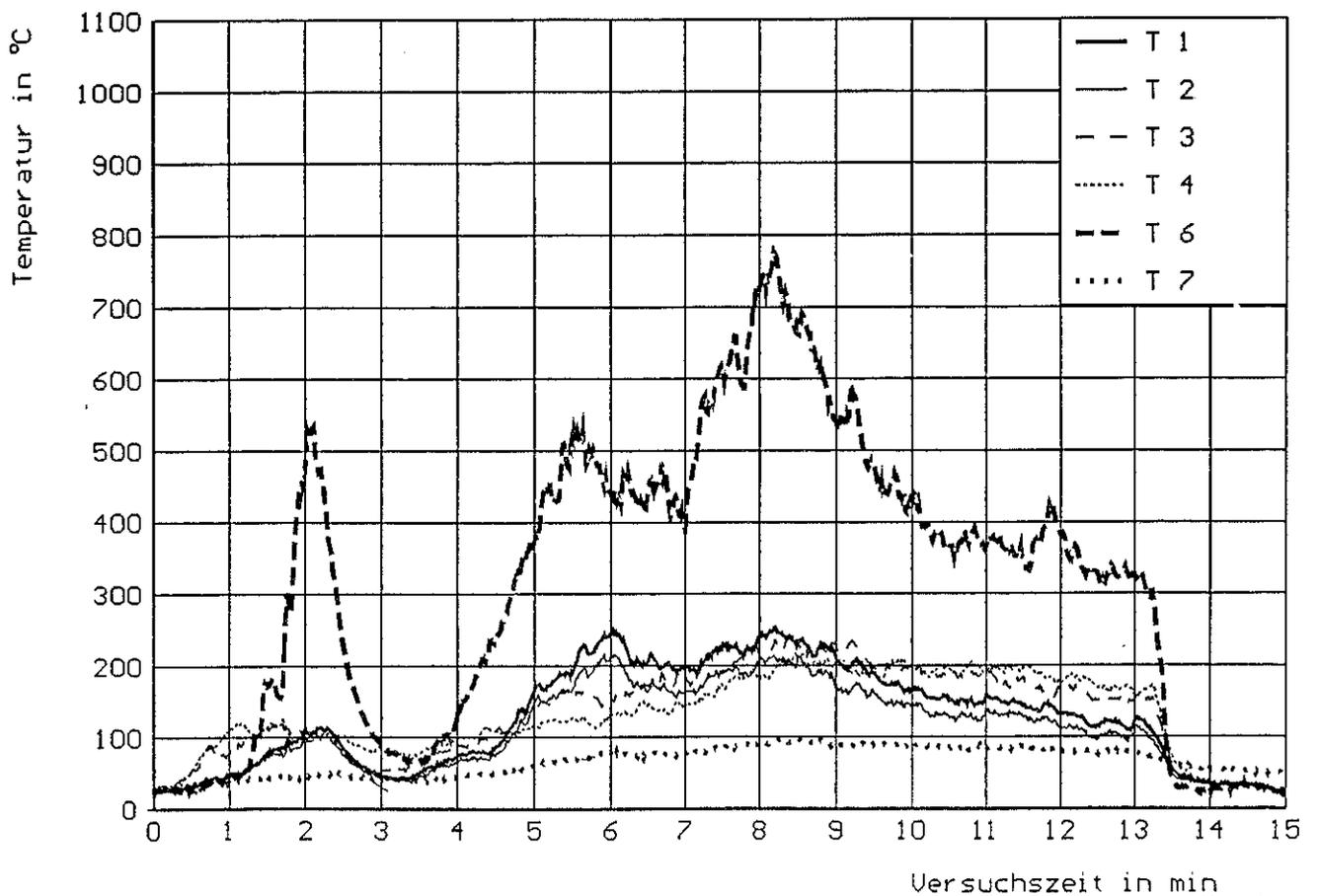


Bild 34. Temperaturen während des Brandverlaufes und des Ablöschens mit einem Strahlrohr (gelbe Säcke)

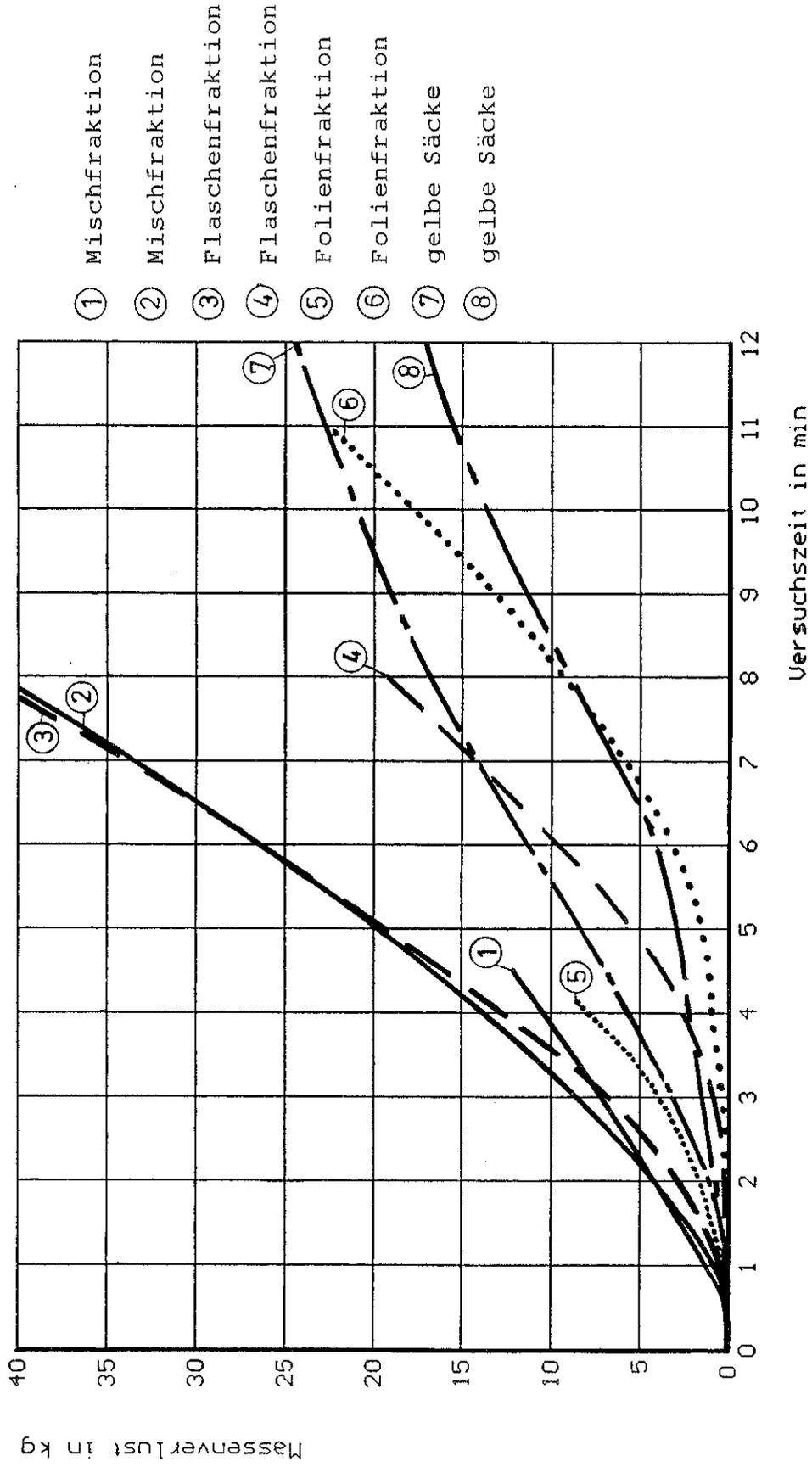


Bild 35. Massenverlust in Abhängigkeit von der Versuchszeit bei 4 unterschiedlichen Recyclingmaterialien (Fraktionen)