

# BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Untersuchung der Löschwirkung verschiedener  
Löschmittel und Löschmethoden bei  
unterschiedlichen Brandgütern.

Teil IV

# 48

Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer  
Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten"

Forschungsbericht Nr.48

Untersuchung der Löschwirkung verschiedener  
Löschmittel und Löschmethoden bei unter-  
schiedlichen Brandgütern. Teil IV

von

Dipl.-Ing. Michael Bodamer

Forschungsstelle für Brandschutztechnik  
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

Dezember 1982

FA.Nr. 88 (3/80)

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN	2
3. VERSUCHSAUFBAU UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	4
4. VERSUCHSPROGRAMM	6
5. VERSUCHSERGEBNISSE UND VERSUCHSAUSWERTUNG	7
5.1 Temperaturen	7
5.2 Massenverluste	8
5.3 Einfluß der Versuchsparameter auf die Wärmestromdichten	8
5.3.1 Löschmittelmenge	9
5.3.2 Abbrand	9
5.3.3 Löschwasserzusätze	10
6. ZUSAMMENFASSUNG	11
7. FORMELZEICHEN UND INDICES	12
8. LITERATURVERZEICHNIS	13
9. TABELLEN UND BILDER	15

## 1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Wasser ist auch in heutiger Zeit das gebräuchlichste Löschmittel. Es steht gewöhnlich schnell zur Verfügung, ist billig, außerdem ungiftig und besitzt aufgrund seiner chemischen und physikalischen Eigenschaften eine hohe Löschwirksamkeit. Es findet Verwendung in tragbaren Feuerlöschgeräten, in mobilen Löschfahrzeugen und in ortsfesten Löschanlagen.

Gerade bei der Dimensionierung von Sprinkleranlagen sind Aussagen über die Größenordnung der zu einer Ablösung des Brandes benötigten Wassermenge erforderlich. Um den durch das Löschen verursachten Wasserschaden möglichst gering zu halten, ist es notwendig, die Wassermenge auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Dabei sollte durch Auswahl des optimalen Löschmittels und der Löschtaktik auch dann ein Brand effektiv bekämpft oder zumindest eingedämmt werden können, wenn nur eine beschränkte Löschmittelmenge zur Verfügung steht, wie dies z.B. bei Handfeuerlöschern der Fall ist.

Ausgehend von Großversuchen mit Möbeln und Holzkrippen wurden verschiedene Löschmittel und -methoden mit dem Ziel untersucht, die Brandbekämpfung zu verbessern und die Schadenswassermenge zu verringern /1/. In weiterführenden Untersuchungen wurden diese Großversuche durch eine Vielzahl von Versuchen im Modellmaßstab mit kleinen Holzkrippen und einfachen Quadern aus verschiedenen Materialien ergänzt /2,3,4/. Damit war es möglich, anhand eines aufgrund dieser Modellversuche entwickelten mathematischen Rechenmodells, die Wärmeströme innerhalb des Brennmaterials zu berechnen.

In der vorliegenden Arbeit wird diese Untersuchungsreihe an quaderförmigen Brandgütern fortgeführt. Zur Durchführung der Versuche wird dieselbe Versuchsanlage verwendet, wie sie in /3/ näher beschrieben ist.

Ergänzend zu den Versuchen mit Holz und Plexiglas als Brandstoff werden nun Spanplatten verwendet, da sie zum einen eine Mischung zwischen dem Naturstoff Holz und organischen Bindemitteln darstellen und zum anderen als eines der Haupteinrichtungsbaustoffe eines modern ausgestatteten Raumes anzusehen sind.

## 2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Zur Beschreibung der Vorgänge in einem Körper vor, während und nach dem Löschen eines Brandes wurde als Modell die Wärmeleitung in einer unendlich ausgedehnten Platte der Dicke  $d$  gewählt.

Mit Hilfe der Grundgleichung für die Wärmestromdichte an der Plattenoberfläche für den eindimensionalen Fall

$$\dot{q}_{(x=0,t)} = - \lambda(\theta) \frac{\partial \theta(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=0} \quad (1)$$

wurde die Wärmestromdichte aus den gemessenen zeitlichen und örtlichen Verläufen der Temperaturen berechnet. Für die Bestimmung des Gradienten  $\partial \theta / \partial x$  an der Plattenoberfläche wurde näherungsweise die Differenz der beiden benachbarten Temperaturen in der Tiefe  $x=0$  mm und  $x=3$  mm herangezogen.

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\Delta \theta}{\Delta x} = \frac{\theta(x=3) - \theta(x=0)}{\Delta x} \quad (2)$$

Die Spanplatte besteht aus Holzspänen verschiedener Holzsorten, die zusammen mit organischen Bindemitteln wie z.B. Formaldehydharze unter hohem Druck zu Platten verpreßt werden /5/. Beim Abbrand unterliegt sie wegen des hohen Holzanteils wie die Holzplatte der Zersetzung in drei Teilbereiche und zwar von außen nach innen in Holzkohle, in eine Übergangsschicht mit teilweise zersetztem Holz und in eine unzersetzte Schicht. Aus diesem Grund wurde für die Berechnung der Wärmestromdichte an der Oberfläche der Spanplatte die temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit nach

den in /3/ entwickelten theoretischen Ansätzen bestimmt. Diese sind in Bild 1 für verschiedene Temperaturbereiche dargestellt. Unterhalb der Temperatur von 200 °C wird die Wärmeleitfähigkeit von Holz zugrundegelegt.

$$\lambda = A_1 + B_1 (\theta - \theta_\infty) \quad (3)$$

Steigt die Temperatur über 200 °C so wird  $\lambda$  nach Gleichung (4) berechnet.

$$\lambda = A_2 + B_2 (\theta - \theta_\infty) \quad (4)$$

Die erreichte Temperatur  $\theta_1$  wird jeweils festgehalten. Sinkt die Temperatur unter den Wert von  $\theta_1$  wird  $\lambda$  nach Gleichung (5) bestimmt.

$$\lambda = A_4 + B_3 (\theta_1 - \theta_\infty) + B_1 (\theta - \theta_\infty) \quad (5)$$

Erreicht die Temperatur einen größeren Wert als  $\theta_1$  bewegt sich  $\lambda$  auf der Verbindungsgeraden (Holz-Holzkohle) weiter und der Wert für  $\theta_1$  wird neu festgesetzt, bis eine Temperatur von 400 °C erreicht wird. Ab dieser Temperatur gilt die Berechnung

$$\lambda = A_3 + B_1 (\theta - \theta_\infty) \quad (6)$$

für Holzkohle.

Zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit werden die Temperaturen in der Tiefe  $x=0$  mm und  $x=3$  mm gemittelt.

$$\theta_m = \frac{1}{2} \cdot (\theta_{(x=0)} + \theta_{(x=3)}) \quad (7)$$

Damit läßt sich die Wärmestromdichte an der Plattenoberfläche in Abhängigkeit von der Zeit nach Gleichung (8) berechnen.

$$\dot{q}_{0b} = \dot{q}_{(x=0, t)} = - \lambda(\theta_m) \frac{\theta_{(x=3)} - \theta_{(x=0)}}{\Delta x} \quad (8)$$

Diese Berechnung setzt voraus, daß sich die Lage der Oberfläche relativ zum Brandgut nicht ändert. Bei der Spanplatte wird diese Voraussetzung näherungsweise erfüllt, da die Oberfläche langsam verkohlt und zunächst ihre ursprüngliche Lage erhalten bleibt. Die Kurven für die einzelnen Meßebenen waren ähnlich, jedoch traten versuchstechnisch bedingte Schwankungen auf, die hauptsächlich durch die Inhomogenität der Spanplatte verursacht wurden und zu örtlich unterschiedlichen Verbrennungskriterien führten. Um diese Einflüsse weitgehend zu eliminieren, wurden die Werte aller Meßebenen einer Spanplatte gemeinsam betrachtet und außerdem die Werte der Versuche, die gleiche Versuchsparameter aufwiesen, arithmetisch gemittelt.

### 3. VERSUCHSAUFBAU UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die hier beschriebenen Versuche wurden in derselben Versuchsanlage wie in /3,4/ durchgeführt. Dabei wurde insbesondere darauf geachtet, daß bei den Spanplatten die Abmessungen und die Lage der Thermoelemente wie bei den Brandstoffen der früheren Versuche genau eingehalten wurden, damit ein Vergleich der Brandstoffe untereinander ermöglicht wurde. Außerdem konnten die bereits vorhandenen und teilweise aufwendigen Auswerteprogramme weiterverwendet werden.

In Bild 2 ist der Versuchsaufbau schematisch wiedergegeben. Die Spanplatte (1) wird, nachdem sie 24 Stunden bei 110 °C in einem Ofen getrocknet wurde, senkrecht stehend an eine Halterung über der Schale (2) befestigt, die zur Aufnahme des zur Zündung notwendigen Spiritus dient. Halterung, Platte und Spiritus befinden sich auf einer Waage (3), die so austariert wird, daß nur der Massenverlust von Platte und Spiritus gewogen wird.

Bild 3 zeigt schematisch den Aufriß der Spanplatte. Diese ist in zwei Meßebenen aufgeteilt. Jede Meßebene besteht aus jeweils vier Meßstellen auf den beiden Plattenseiten, welche gegenüberliegend angeordnet sind. Diese bestehen aus Bohrungen, verschiedener Länge, die zur Aufnahme der Thermoelemente dienen,

sodaß die Spitzen der Temperaturlaufnehmer in Abständen von 0,3,6 und 9 mm von der Plattenoberfläche entfernt sind. Zusätzlich wird an die Oberfläche der Platte auf beiden Seiten in jeder Meßebene ein Temperaturlaufnehmer federnd von außen gelegt. Damit kann eine mittlere Temperatur von Flamme und Plattenoberfläche in der jeweiligen Meßebene gemessen werden. Als Temperaturlaufnehmer wurden Mantelthermoelemente aus Chromel/Alumel (Typ Ni Cr-Ni nach DIN 43710) mit 0,5 mm Außendurchmesser verwendet.

Die Thermospannungen der Thermoelemente (4) und die Analogspannungen der Waage (3) gelangen auf einen Multiplexer (MP), der von einem Prozeßrechner (PR) angesteuert wird. Der Multiplexer erzeugt zusätzlich eine der Umgebungstemperatur proportionale Spannung, die als Bezugnormal für die Thermospannungen dient. Der Rechner digitalisiert die analogen Daten und speichert sie in Abhängigkeit von der Versuchszeit nach einer rechnerinternen Uhr auf Magnetdisketten.

Die Zündung der Spanplatte erfolgt mit Spiritus, welches sich unterhalb der Platte in der Schale (2) befindet. Sobald der Spiritus restlos verbrannt ist, wird die Spanplatte abgelöscht. Das Löschwasser befindet sich in einem Überdruckbehälter (5) bei einem konstanten Überdruck von 2 bar und wird auf zwei mit schnell auslösenden Magnetventilen versehene Düsen (6) gegeben, die die Platte von beiden Seiten in einem Abstand von etwa 250 mm besprühen. Die Wassermenge wird so ermittelt, daß nur der Anteil des Wasserstrahles gemessen wird, der die Platte benetzt. In Bild 4 sind die experimentell ermittelten Wassermengen der drei verwendeten Düsen über der Öffnungszeit der Magnetventile aufgetragen. Man sieht, daß mit der Öffnungszeit der Ventile ab einem bestimmten Wert die Wassermenge linear ansteigt. Für kleine Öffnungszeiten, insbesondere bei kleinen Düsenquerschnitten, ist der Anstieg der Wassermenge nicht linear. Die zwar sehr kurze aber nicht verschwindend kleine Leitungsstrecke zwischen Magnetventil und Düsenaustritt wirkt ausgleichend, wodurch sehr schnelle Druckänderungen gemildert werden. Die so entstehenden



Verzögerungen fallen daher bei kurzen Beaufschlagungszeiten besonders stark ins Gewicht.

#### 4. VERSUCHSPROGRAMM

In Tabelle 1 sind die im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführten Versuche aufgelistet. Insgesamt wurden 49 Versuche ausgewertet.

Die zur Zündung der Platte verwendete Spiritusmenge wurde anhand von Vorversuchen so gewählt, daß der gewünschte Abbrand dann erreicht wurde, wenn der eingesetzte Spiritus restlos verbrannt war. Zu diesem Zeitpunkt wurde gelöscht.

Die Spanplatten wurden teilweise mit vollentsalztem Wasser und teilweise mit wässrigen Salzlösungen abgelöscht, die sich in früheren Modellversuchen mit Holzkrippen als besonders effektiv bezüglich der Löschwasserverminderung herausgestellt hatten /1/. Bei einem Abbrand von 35 Gew.-% wurden die Spanplatten zunächst mit einer geringen Menge vollentsalzten Wassers ( $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ ) beaufschlagt, um einen Anhaltspunkt für diejenige Wassermenge zu finden, die zum Löschen der Platte abgeführt werden muß. Dabei wurde bewußt eine zu geringe Wassermenge gewählt, sodaß Rückzündungen an der Spanplatte möglich waren. In anschließenden Versuchsreihen wurde die Löschwassermenge auf  $3,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$  bzw. auf  $6,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$  erhöht. Um den Einfluß des Abbrandes auf die Rückzündung der Platten zu untersuchen, wurden diese mit einer Wassermenge von ( $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ ) bei Abbränden von 15 Gew.-%, 25 Gew.-% und 35 Gew.-% abgelöscht.

In weiteren Versuchsreihen wurden die Spanplatten mit zwei verschiedenen wässrigen Salzlösungen bei einem Abbrand von 25 Gew.-% und einer Löschmittelmenge von ebenfalls ( $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ ) beaufschlagt. Hierbei wurde erwartet, daß Rückzündungen der Spanplatten bei Verwendung dieser wässrigen Salzlösungen weitgehend unterdrückt werden können.

Jede Versuchsreihe umfaßte 5 Versuche, um durch Mittelwertbildung zufällige Fehler eingrenzen zu können. Traten bei den Platten Rückzündungen auf, wurde die Anzahl der Versuche auf 8 bis 10 erhöht.

## 5. VERSUCHSERGEBNISSE UND VERSUCHSAUSWERTUNG

### 5.1 Temperaturen

In den Bildern 5 bis 8 sind die Temperaturverläufe eines Versuches innerhalb der Spanplatte in verschiedenen Darstellungen aufgezeichnet.

Bild 5 zeigt den typischen zeitlichen Temperaturverlauf innerhalb einer Meßebene einer Spanplattenseite. Um die Rechnerleitung zu überprüfen, wird die Platte erst eine Minute nach Einschalten der Rechneranlage gezündet. Danach dauert es etwa eine bis zwei Minuten bis die Temperatur an der Oberfläche des Brettes merklich zunimmt. Dies rührt daher, daß sich zuerst eine dünne Holzkohlenschicht etwas oberhalb der Zündwanne an der Oberfläche der Platte bildet, bevor sich die Flammen über die gesamte Platte ausbreiten. Beim Löschen fällt die Temperatur an der Oberfläche der Platte von etwa 600 °C und in der Oberfläche von etwa 350 °C innerhalb weniger Sekunden auf etwa 200 °C ab. Die Temperatur steigt danach in der Oberfläche infolge des Wärmetransportes aus dem Platteninnern zuerst wieder an und klingt anschließend allmählich ab.

Bei Kenntnis der zeitlichen Temperaturverläufe aller acht Meßstellen in einer Ebene ist es möglich, den Verlauf der Temperaturen in Abhängigkeit von Plattendicke mit der Versuchszeit als Parameter aufzutragen, wie dies in Bild 6 und Bild 7 für die Aufheiz- und die Abkühlphase zu sehen ist. Nach Bild 7 heizt sich die Platte im Innern auch nach dem Ablöschen während der ersten 160 Sekunden wieder auf. Bild 8 zeigt in einer quasi dreidimensionalen Darstellung den zeitlichen und örtlichen Verlauf der Temperatur innerhalb einer Meßebene der Platte.

## 5.2 Massenverluste

In Bild 9 sind die Massenverluste der bisher untersuchten Brandstoffe Plexiglas (1), Spanplatte (2,3) und Holz (4) einschließlich des für die Zündung benötigten Spiritus in Abhängigkeit von der Versuchszeit aufgetragen. Die in das Bild eingezeichneten Pfeile sollen den Löscheintritt bei den jeweiligen Versuchen anzeigen.

Allen Stoffen gemeinsam ist die Phase konstanten Abbrandes mit etwa demselben Gradienten vor Löscheintritt. Im Gegensatz zu Plexiglas wird bei Holz und Spanplatte das Ende der Massenabnahme nach dem Löschen nicht sofort erreicht. Dies liegt zum einen daran, daß in der entstandenen Holzkohle überschüssiges Löschwasser aufgenommen wird, welches anschließend verdampft. Zum anderen werden noch etwa drei Minuten lang nach dem Löschen entzündliche Schwelgase gebildet, die aus der Spanplatte entweichen. Dies führt bei nicht ausreichender Löschwassermenge zur Wiederentzündung der Spanplatte. Der daraus resultierende Massenverlust ist in Kurve 2 in Bild 9 wiedergegeben.

## 5.3 Einfluß der Versuchsparameter auf die Wärmestromdichten

In den folgenden Bildern 10 bis 16 ist der Verlauf der mittleren Wärmestromdichte einer Versuchsreihe in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Bei der Berechnung der Mittelwerte wurde im Rechner sehr viel Speicherplatz benötigt, und es mußte aus diesen Gründen ein Teilzeitbereich ausgewählt werden. Hierbei war für die Auswertung der Versuche die Bereichsbreite von einer Minute vor dem Löschen bis neun Minuten nach dem Löschen ausreichend. Aus den Versuchsdaten wurden die Varianzen bestimmt und in den Diagrammen in Form von Konfidenzintervallen für einen 95% statistischen Vertrauensbereich eingetragen.

### 5.3.1 Löschmittelmenge

Bild 10 zeigt den Einfluß der Löschmittelmenge auf den zeitlichen Verlauf der gemittelten Wärmestromdichte bei einem Abbrand von 35 Gew.-%. Bei einer Löschwassermenge von  $6,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$  wird deutlich mehr Wärme abgeführt, als bei Löschwassermengen von  $3,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$  und  $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ . Direkt nach dem Löschen wird die Oberfläche der Platte auf durchschnittlich etwa 120 °C abgekühlt. Die Löschwassermenge ist bei dieser Versuchsreihe ausreichend, um alle Platten abzulöschen. Dies ist auch noch bei einer Löschwassermenge von  $3,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$  der Fall, wobei unmittelbar nach dem Löschen die Platte an der Oberfläche auf durchschnittlich etwa 180 °C abgekühlt wird. Dagegen ist bei einer Löschwassermenge von  $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$  der Löscherfolg nicht mehr gewährleistet. Hier kann es teilweise durch die freiwerdenden Schwelgase zu Rückzündungen kommen. In Bild 10 ist der mittlere Verlauf der Wärmestromdichte bei einer Löschwassermenge von  $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$  für die Versuche abgebildet, bei denen die Platten abgelöscht wurden. Die Temperatur unmittelbar nach dem Löschen lag an der Oberfläche der Platte durchschnittlich bei etwa 200 °C. Dennoch ist hier der Verlauf der mittleren Wärmestromdichte ähnlich dem bei einer Löschwassermenge von  $3,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ . Dies deutet darauf hin, daß zum sicheren Ablöschen von Spanplatten eine Mindestwärmemenge von etwa  $2,8 \text{ kW/m}^2$  abgeführt werden muß.

### 5.3.2 Abbrand

In den Bildern 11 bis 13 ist der zeitliche Verlauf der mittleren Wärmestromdichte bei Abbränden von 35 Gew.-%, 25 Gew.-% und 15 Gew.-% dargestellt. Für die Versuche wurde die kleinste Löschmittelbeaufschlagung von  $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$  gewählt. Damit sollte untersucht werden, ob bei verschiedenen Abbränden der Platte, jedoch bei gleicher Löschwassermenge ein Einfluß auf den Löscherfolg festgestellt werden kann.

Als Ergebnis ist dabei festzuhalten, daß bei allen drei Versuchsreihen die Löschwassermenge nicht ausreichte, um alle Platten

abzulöschen. Durch die damit verbundene ungenügende Wärmeabfuhr kam es vereinzelt zu Rückzündungen durch die Freisetzung von Schwelgasen. Ein Einfluß des Abbrandes auf den Löscherfolg bei gleichbleibender Löschwassermenge konnte daher nicht festgestellt werden.

Betrachtet man Bild 13 so fällt auf, daß die direkt nach dem Löschen auftretenden charakteristischen Minima der mittleren Wärmestromdichte fehlen. Wie schon im Abschnitt 5.1 erwähnt wurde, steigt die Temperatur in der Oberfläche nach dem Löschen infolge des Wärmetransportes aus der Platte zunächst wieder an. Erfolgt dieser Temperaturanstieg zu schnell, kann dies unter Umständen vom Rechner nicht erfaßt werden, da die Daten aus Speicherplatzgründen nur alle vier Sekunden abgefragt werden.

In Bild 14 ist der Verlauf der mittleren Wärmestromdichte für die Versuche dargestellt, bei denen die Platten abgelöscht werden konnten. Betrachtet man nur den Verlauf der mittleren Wärmestromdichte bei den Abbränden von 35 Gew.-% und 25 Gew.-%, so stellt man fest, daß den Platten ungefähr derselbe Wärmebetrag entzogen wird.

### 5.3.3 Löschwasserzusätze

Um den Einfluß wässriger Salzlösungen gegenüber reinem Wasser zu untersuchen, wurde eine 17 Gew.-% Diammoniumphosphatlösung und eine 20 Gew.-% Diammoniumsulfatlösung verwendet. Diese Konzentrationen erwiesen sich in früher durchgeführten Versuchen mit Holzkrippen als sehr effektiv bezüglich der Löschwasserverminderung /1/. Der zeitliche Verlauf der Wärmestromdichte ist in Bild 15 und 16 wiedergegeben.

Vergleicht man die Wärmestromdichte bei Löschung mit reinem Wasser (Bild 12) mit denen bei Löschung mit den wässrigen Salzlösungen, so stellt man fest, daß kein wesentlicher Unterschied hinsichtlich des Abkühleffektes besteht.

Als wichtiges Ergebnis ist jedoch herauszustellen, daß es beim Besprühen der Platten mit der wässrigen Diammoniumsulfatlösung zu Rückzündungen kam, bei der wässrigen Diammoniumphosphatlösung jedoch nicht. Dies kann als Anzeichen dafür gewertet werden, daß sich neben dem Abkühleffekt des Wassers der inhibitorische Effekt des Diammoniumphosphates auswirkt. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung sind daher notwendig.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieses Forschungsberichtes wurde in Fortsetzung der früher durchgeführten Untersuchungen mit Holz und Plexiglas als Brandstoff die Löschwirkung verschiedener Löschmitteln, insbesondere von reinem Wasser und wässrigen Lösungen mit Diammoniumphosphat und Diammoniumsulfat, auf brennende Spanplatten untersucht.

Bei der Durchführung der Versuche wurde der Versuchsaufbau, die Geometrie der Platten und die Lage der Meßstellen innerhalb der Platten beibehalten. Aufgrund der Analogie zwischen der Spanplatte und Holz konnte das für Holz entwickelte Modell zur Berechnung der temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeit weiterverwendet werden.

Abweichend zu den bisher durchgeführten Untersuchungen mit Holz und Plexiglas, wurde im Rahmen dieses Forschungsberichtes mit Spanplatten als Brennmaterial in einer Versuchsreihe die Menge von vollentsalztem Wasser bis auf  $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$  herabgesetzt, sodaß bei einzelnen Platten Rückzündungen beobachtet werden konnten. Das Besprühen der Spanplatten mit derselben Menge von wässrigen Salzlösungen von Diammoniumphosphat und Diammoniumsulfat erbrachte im Vergleich zu reinem Wasser, daß direkt nach dem Löschen bei etwa derselben Wärmeabfuhr wie beim Löschen mit reinem Wasser mit Diammoniumphosphat Rückzündungen an den Platten vermieden werden konnten, während bei Diammoniumsulfat kein Unterschied zu reinem Wasser festzustellen war.

## 7. FORMELZEICHEN UND INDICES

A, B	Konstanten
$\dot{q}$	Wärmestromdichte
t	Zeit
x	Ortskoordinate
$\theta$	Temperatur
$\Delta$	Differenz
$\delta$	Differential
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit

### INDICES

m	gemittelt
Ob	Oberfläche

## 8. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Fuchs, P.: Brand- und Löschversuche in natürlichem Maßstab, um geeignete Löschmittel oder Kombinationen von Löschmitteln zu finden, die den bei der derzeitigen Brandbekämpfung üblichen Wasserschaden verringern könnten. Forschungsbericht Nr.33 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten", 1978
- /2/ Fuchs, P.: Untersuchung der Löschwirkung verschiedener Löschmittel und Löschmethoden bei unterschiedlichen Brandgütern. Forschungsbericht Nr.36 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten", 1979
- /3/ Fuchs, P.: Untersuchung der Löschwirkung verschiedener Löschmittel und Löschmethoden bei unterschiedlichen Brandgütern. Teil II  
Forschungsbericht Nr.41 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten", 1980



/4/ Widmann, P.:

Untersuchung der Löschwirkung verschiedener Löschmittel und Löschmethoden bei unterschiedlichen Brandgütern. Teil III

Forschungsbericht Nr.44 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten", 1981

/5/ Deppe, E.:

Taschenbuch der Spanplattentechnik  
DRW - Verlag, Stuttgart, Kap.2

9. TABELLEN UND BILDER

Tabelle 1: Versuchsparameter und Anzahl der Versuche

Abbrand Gew.-%	Löschmittel/ Düsentyp	Löschmittelmenge 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>	Löschzeit s	Löschersfolg +/-	Versuchszahl
35	Wasser/2	2,3	0,1	-	4
				+	5
35	Wasser/2	3,7	0,7	+	5
35	Wasser/2	6,2	1,6	+	5
25	Wasser/2	2,3	0,1	-	3
				+	5
15	Wasser/2	2,3	0,1	-	4
				+	5
25	17 Gew.-% Diammonium- phosphat/2	2,3	0,1	+	5
25	20 Gew.-% Diammonium- sulfat/2	2,3	0,1	-	3
				+	5

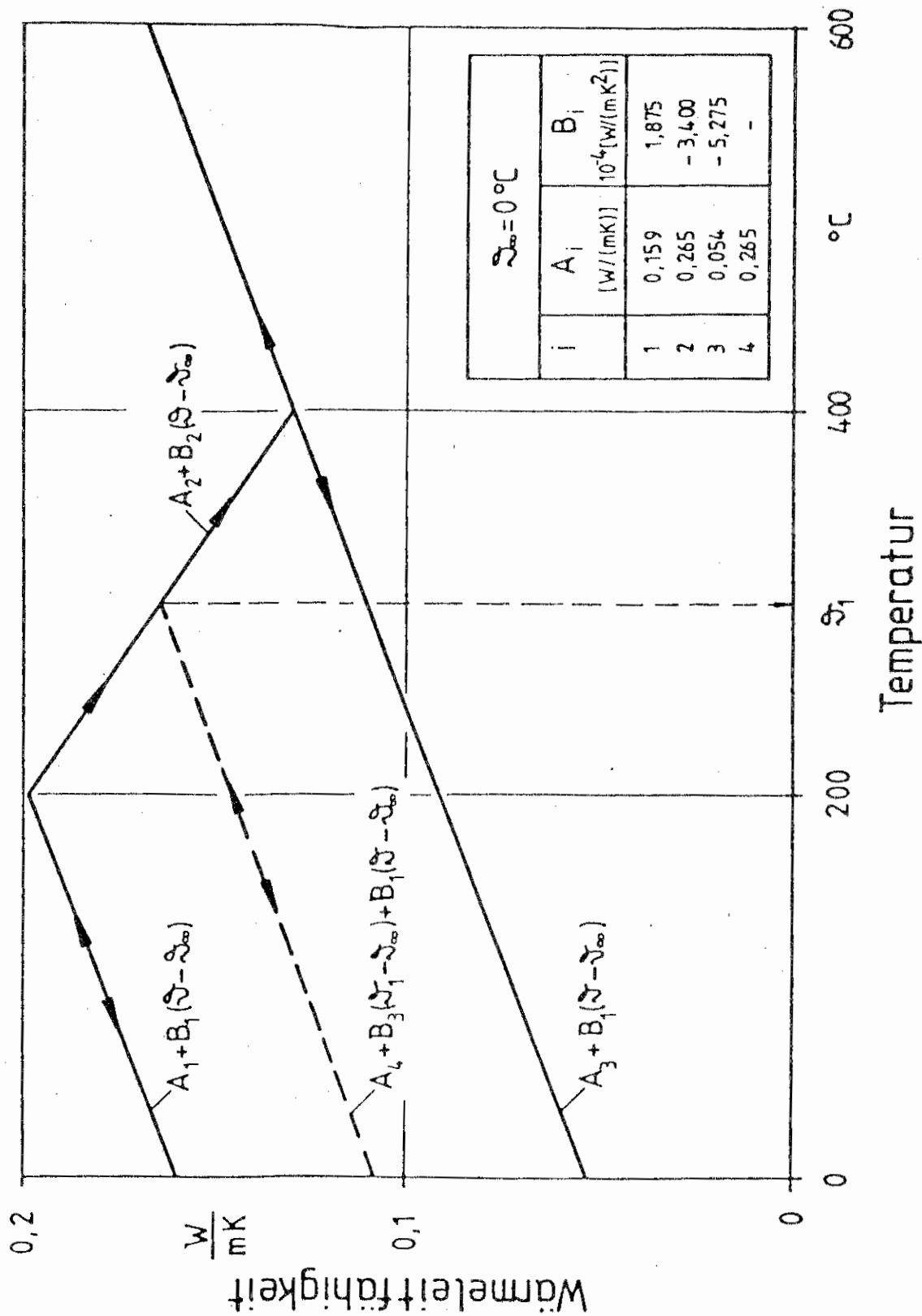
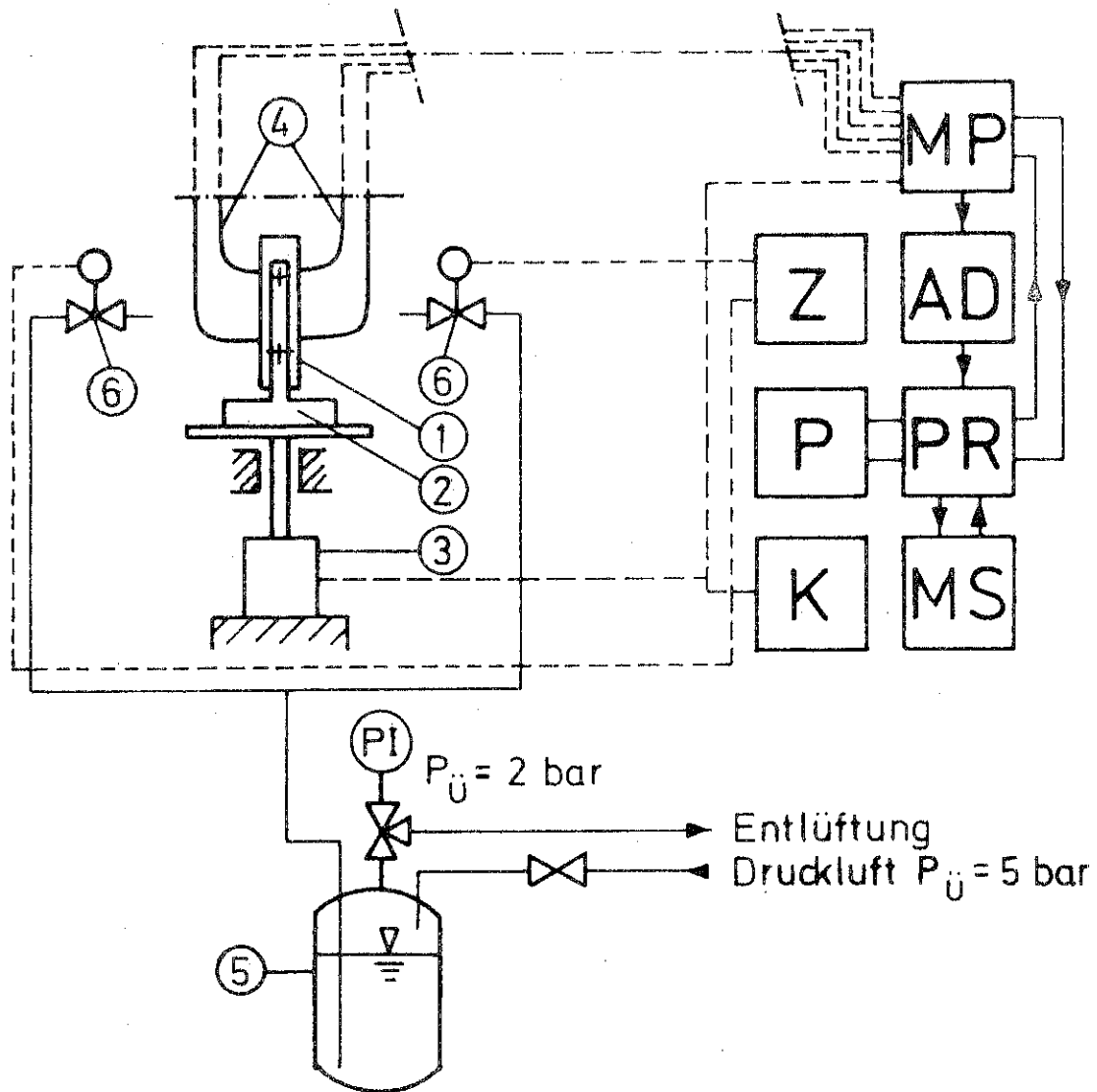


Bild 1. Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  von Holz für den Zersetzungsprozess von Holz zu Holzkohle.



- |      |                          |    |                        |
|------|--------------------------|----|------------------------|
| 1    | Spanplatte               | MP | Multiplexer            |
| 2    | Spiritusschale           | AD | Analog-Digital-Wandler |
| 3    | Waage, Meßwertumformer   | PR | Prozeßrechner          |
| 4    | Thermoelemente (NiCr-Ni) | MS | Magnetspeicher         |
| 5    | Druckbehälter            | Z  | Zeitschaltuhr          |
| ---  | Datenleitung             | P  | Plotter                |
| ---- | Steuerleitung            | K  | Kompensationsschreiber |
|      |                          | PI | Druckanzeiger          |

Bild 2. Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

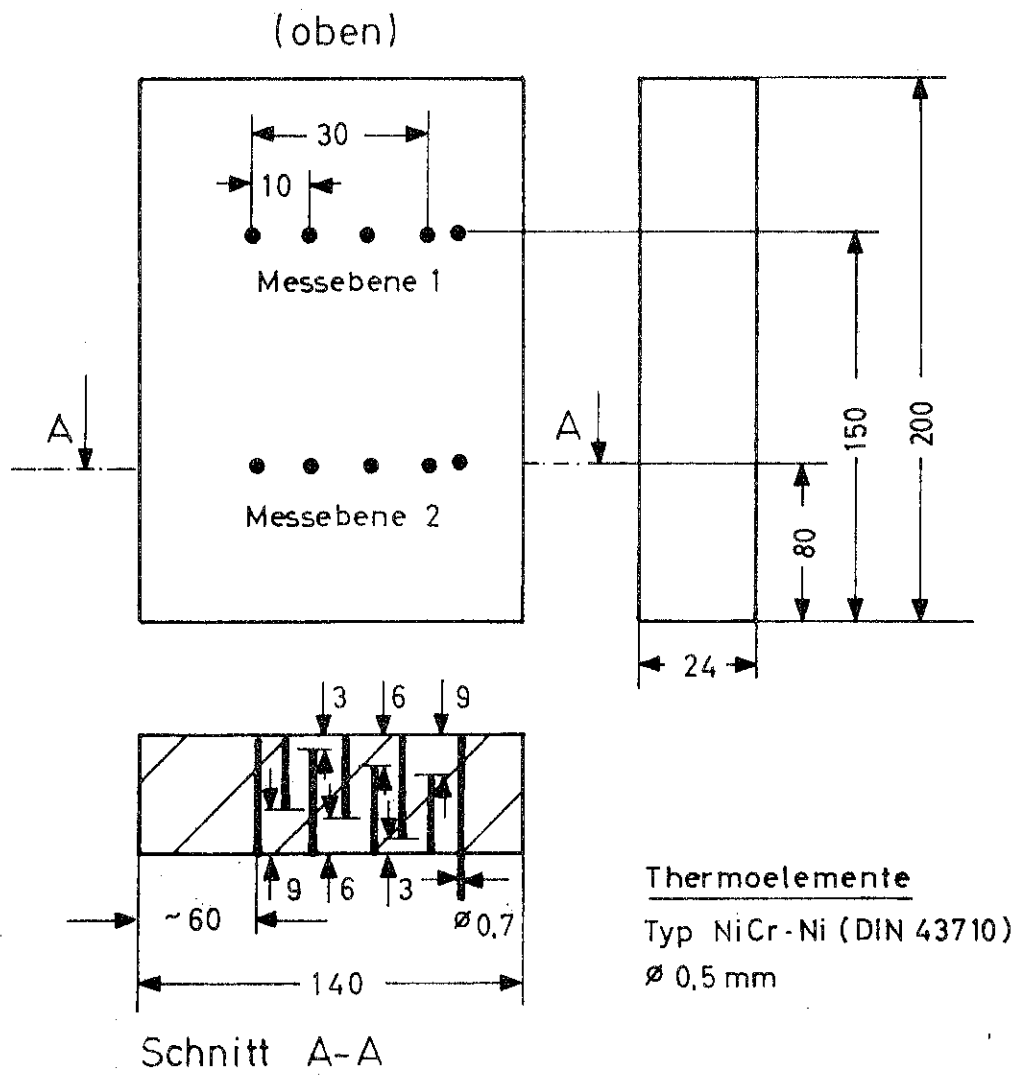
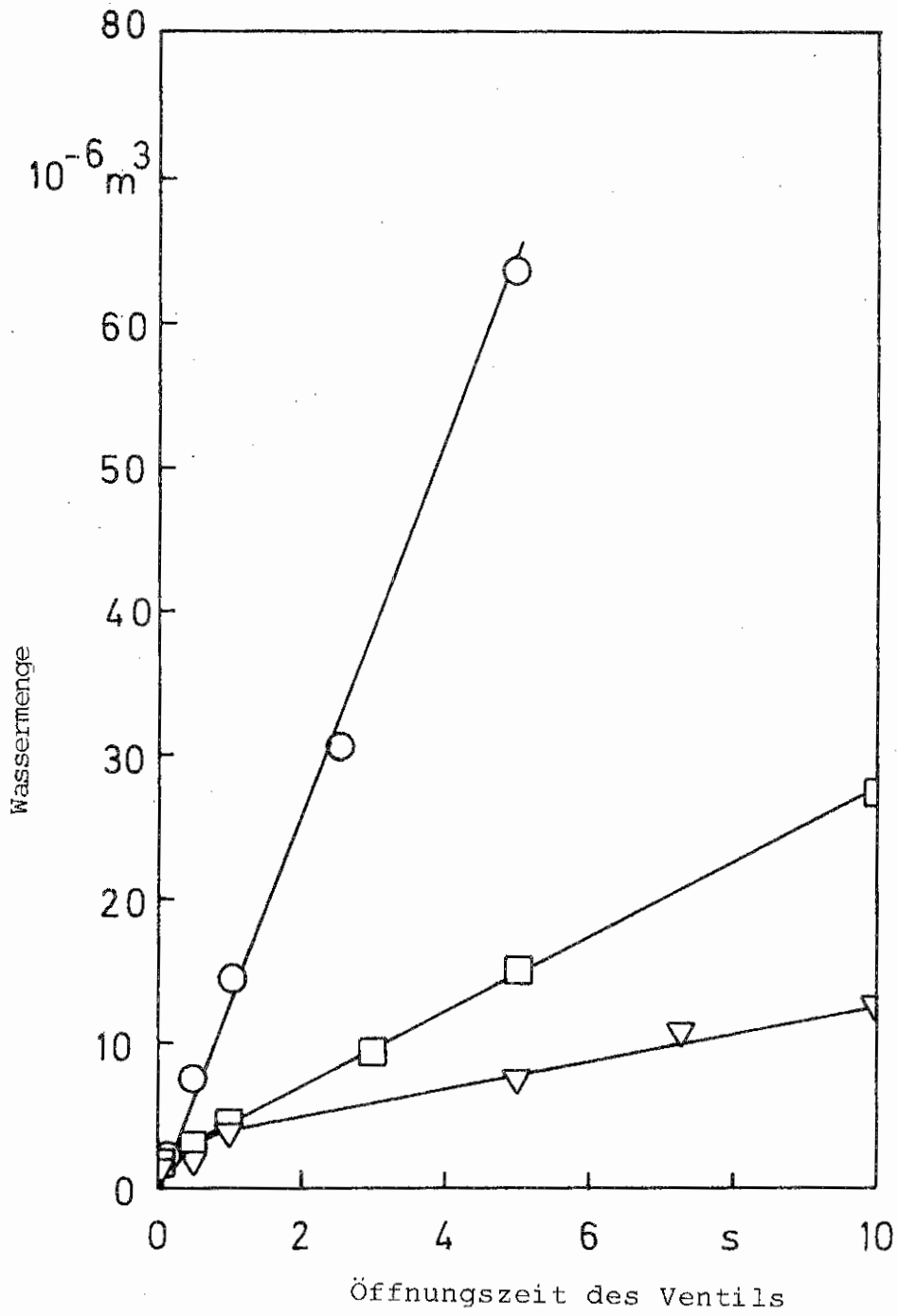


Bild 3. Brandgutabmessungen und Lage der Thermoelemente



Symbol	Düse	Durchfluß $\text{m}^3/\text{s}$
▽	1	$0,6 \cdot 10^{-6}$
□	2	$2,6 \cdot 10^{-6}$
○	3	$15,5 \cdot 10^{-6}$

Bild 4. Düsenkennlinien

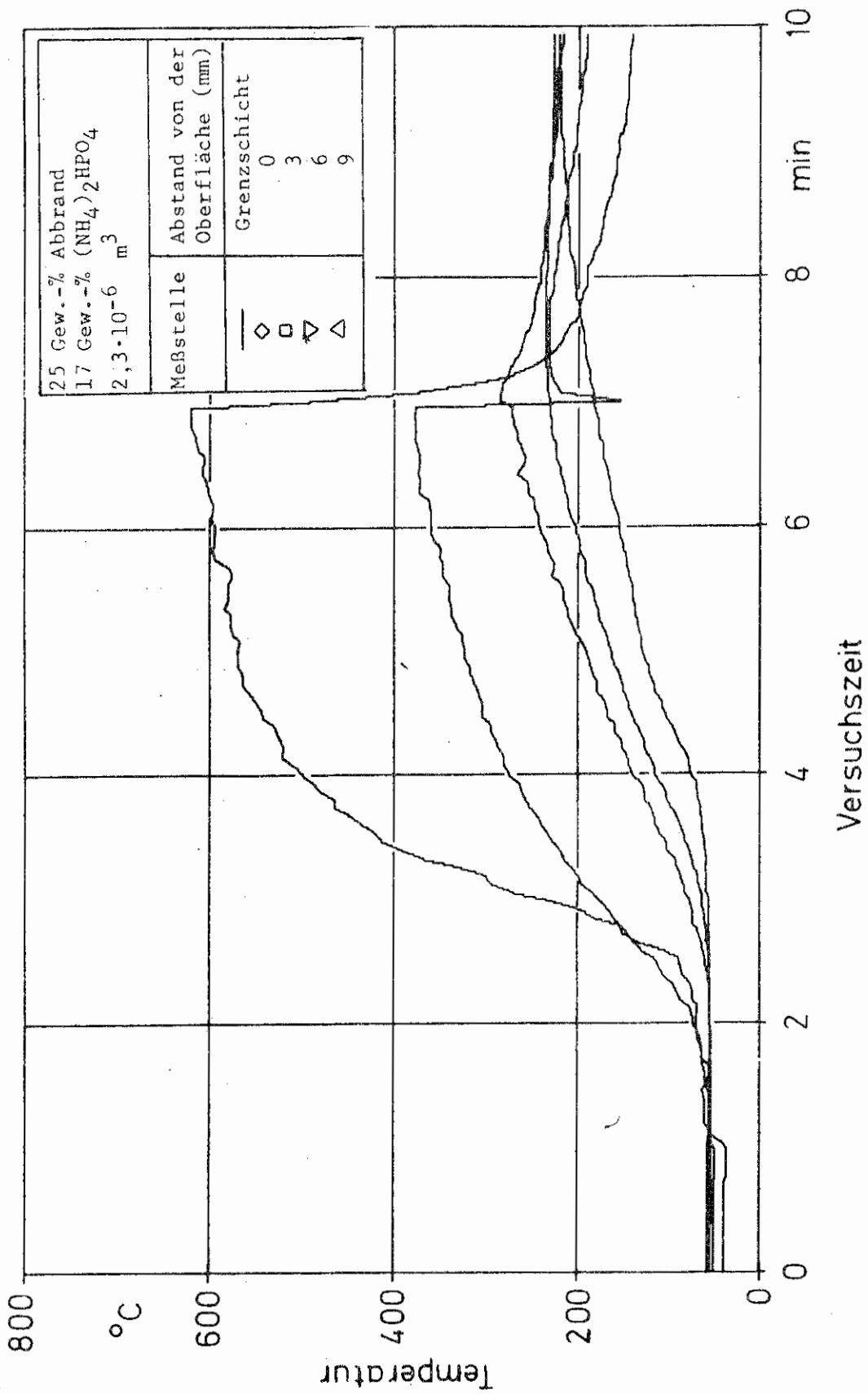


Bild 5. Zeitlicher Temperaturverlauf an den fünf Meßpunkten in einer Meßebene für einen repräsentativen Versuch



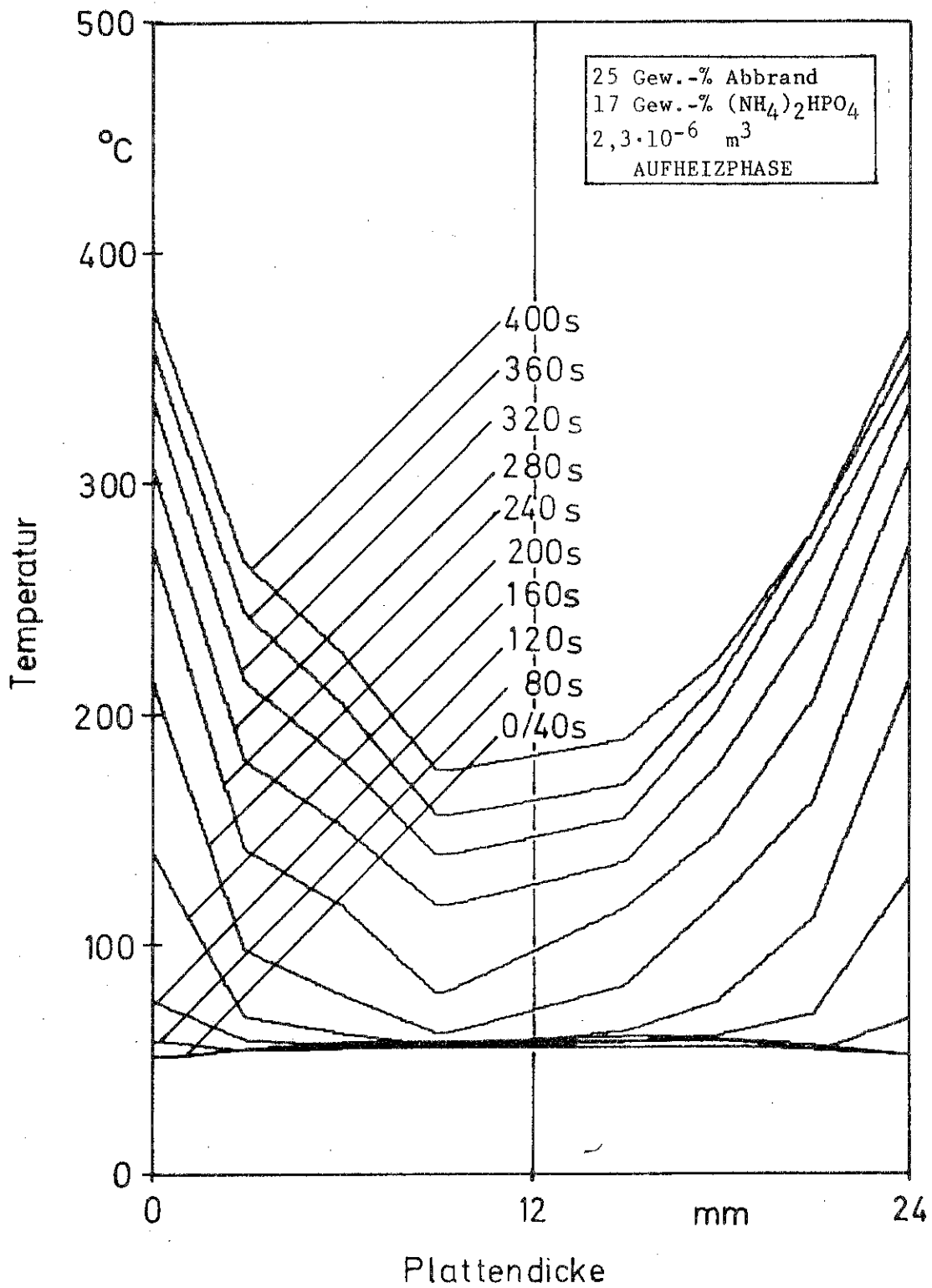


Bild 6. Temperaturverteilung im Innern der Spanplatte bei verschiedenen Versuchszeiten vor Löschbeginn

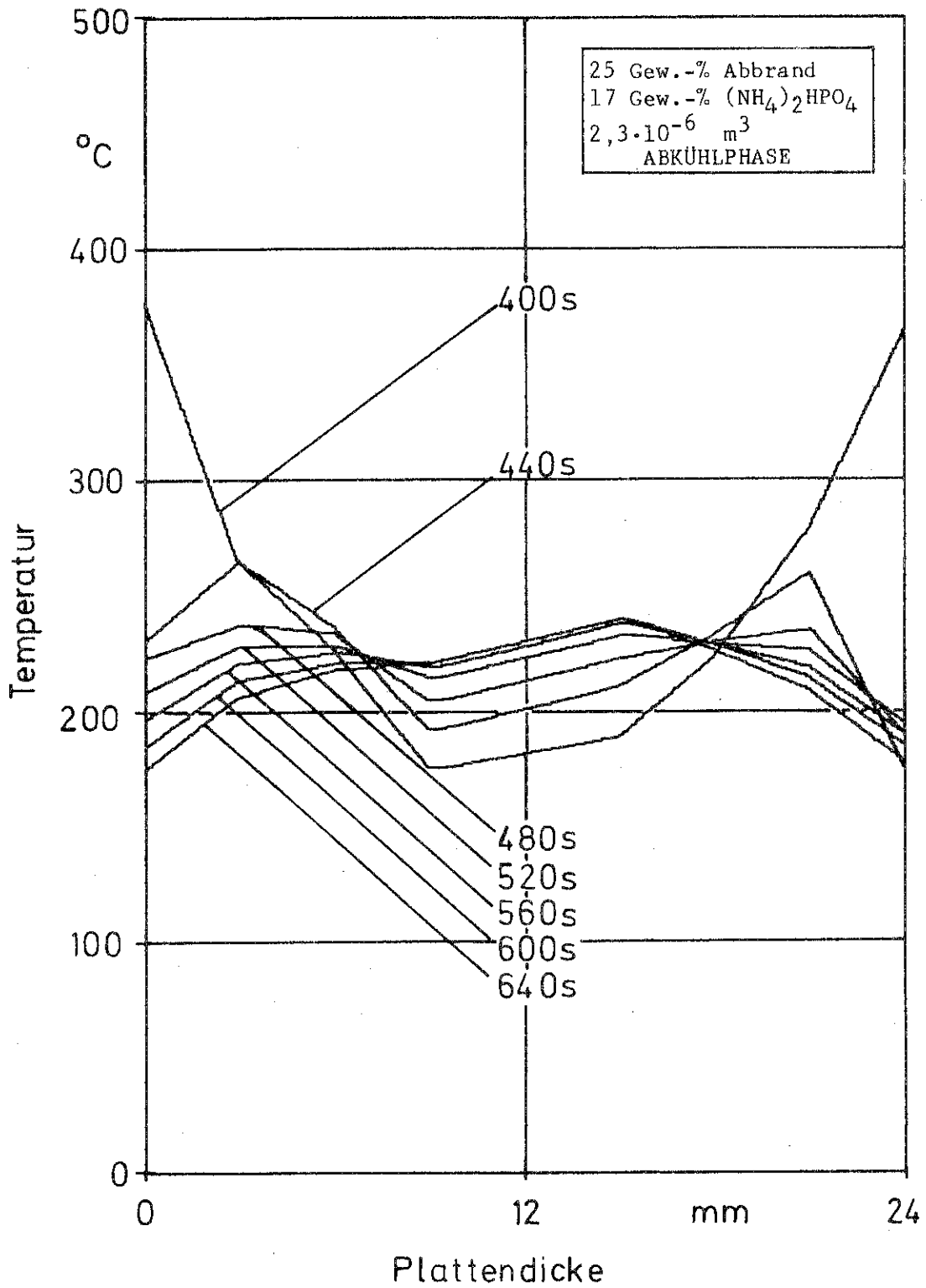


Bild 7. Temperaturverteilung im Innern der Spanplatte bei verschiedenen Versuchszeiten nach Löschbeginn

25 Gew.-% Abbrand  
17 Gew.-%  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$   
 $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$   
TEMPERATURFELD

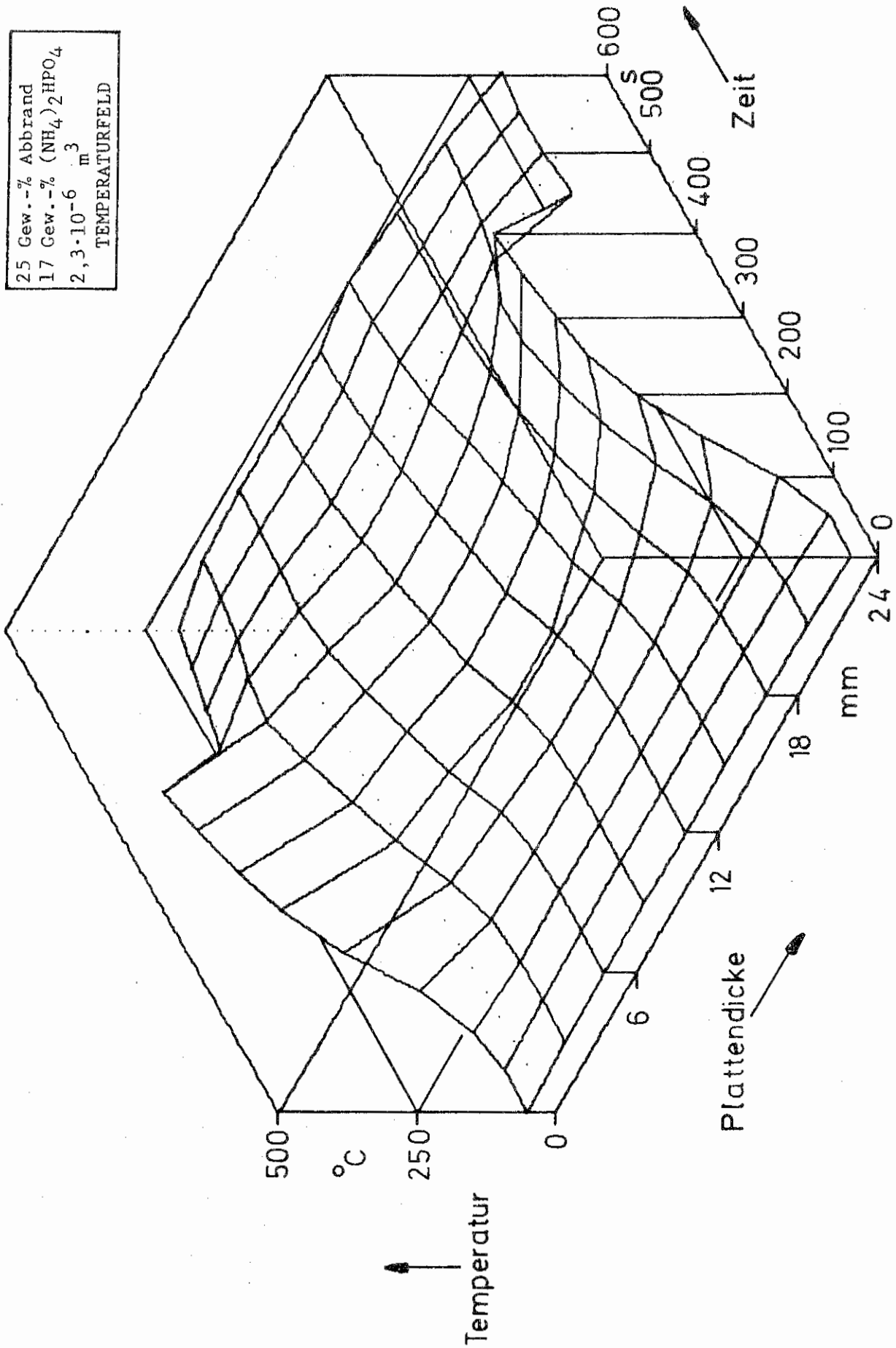


Bild 8. Zeitlicher Verlauf der Temperaturverteilung im Innern der Spanplatte über der gesamten Versuchszeit

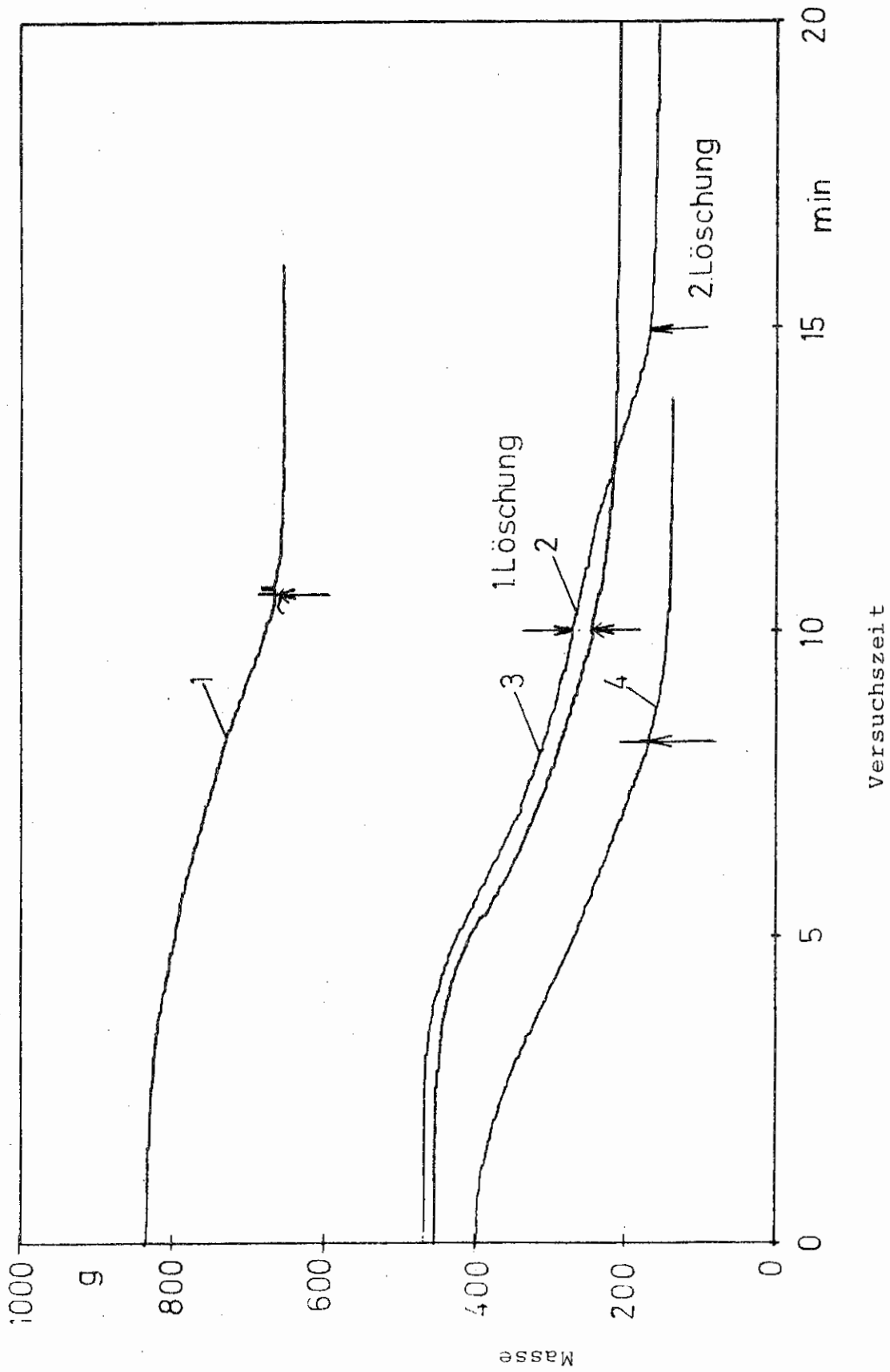


Bild 9. Zeitlicher Massenverlust des Brandgutes einschließlich Spiritus

- 1 Plexiglas
- 2,3 Spanplatte
- 4 Holz

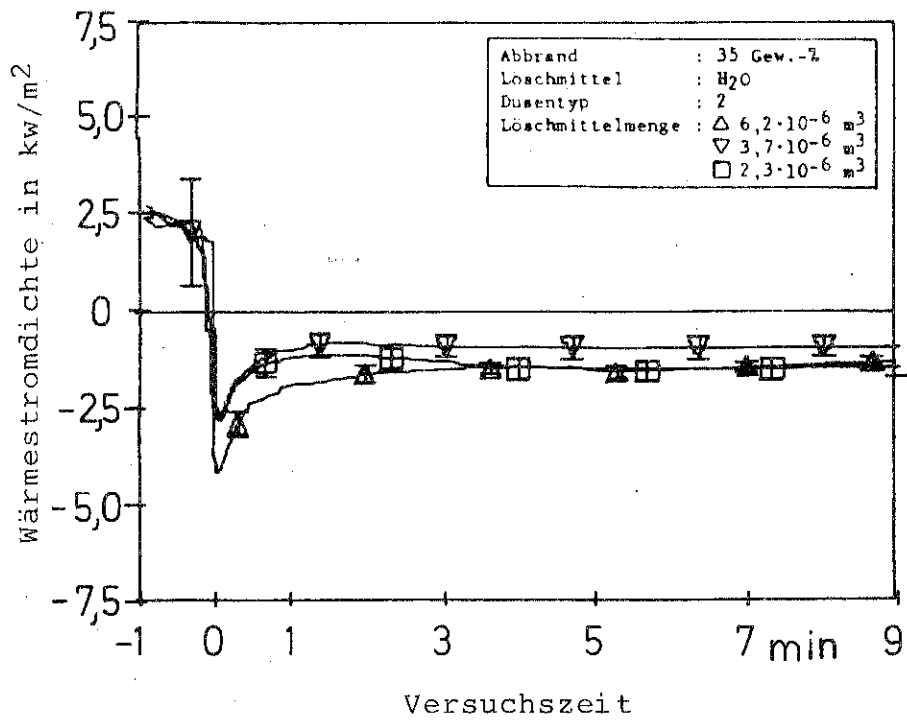


Bild 10. Wärmestromdichte bei verschiedenen Löschmittelbeaufschlagungen

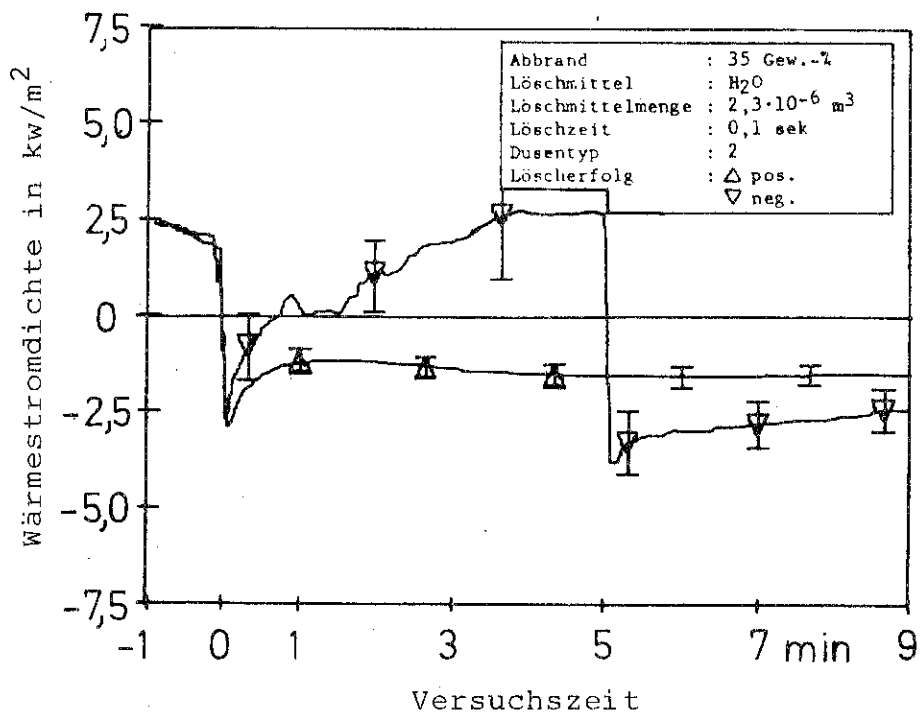


Bild 11. Wärmestromdichte bei 35 Gew.-% Abbrand

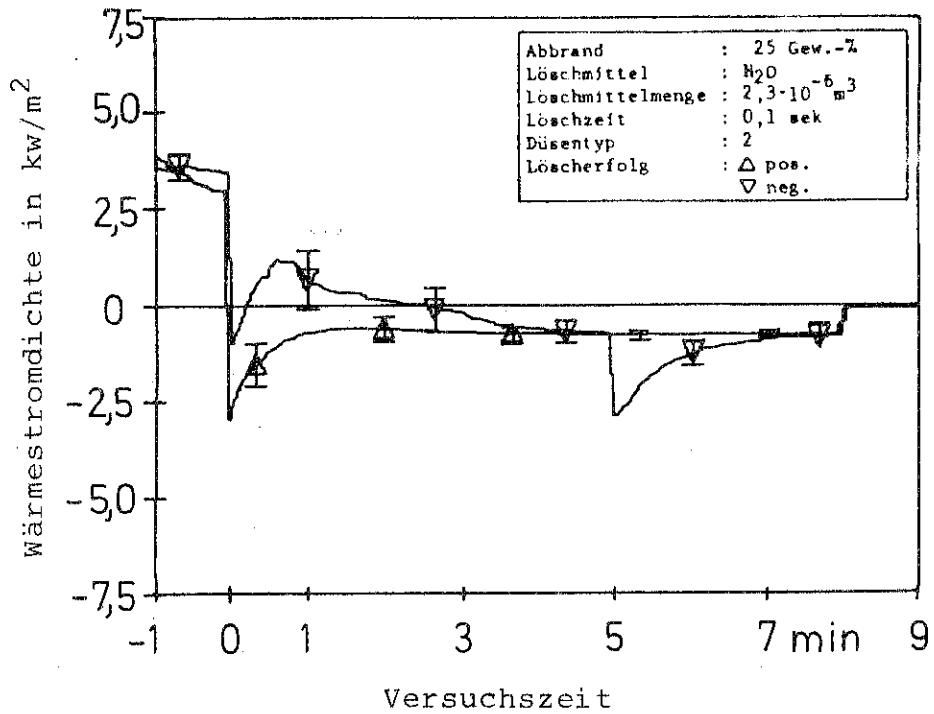


Bild 12. Wärmestromdichte bei 25 Gew.-% Abbrand

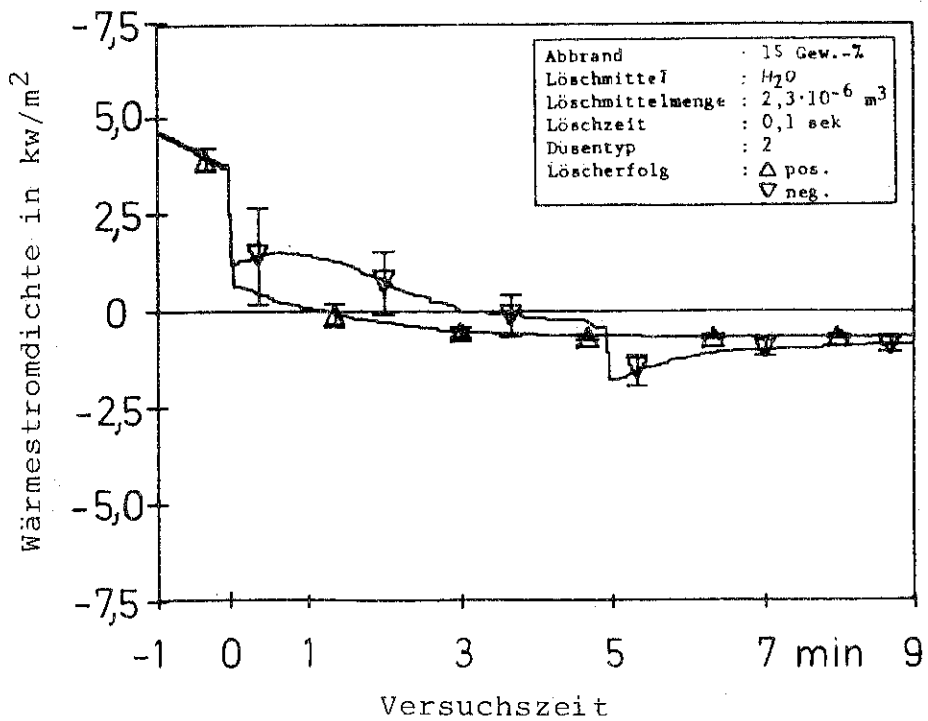


Bild 13. Wärmestromdichte bei 15 Gew.-% Abbrand

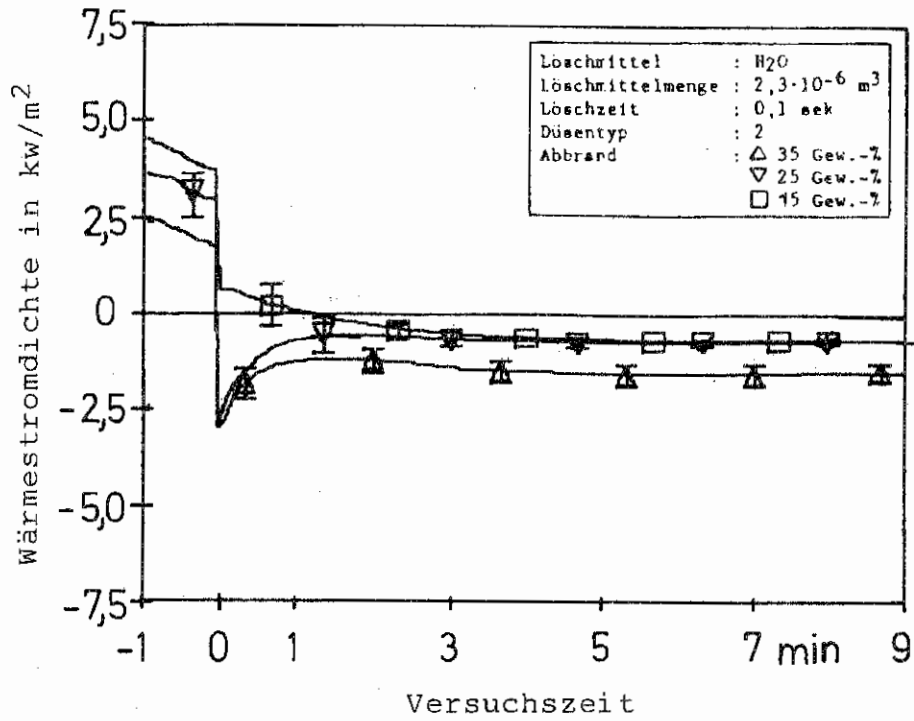


Bild 14. Wärmestromdichte bei verschiedenen Abbränden

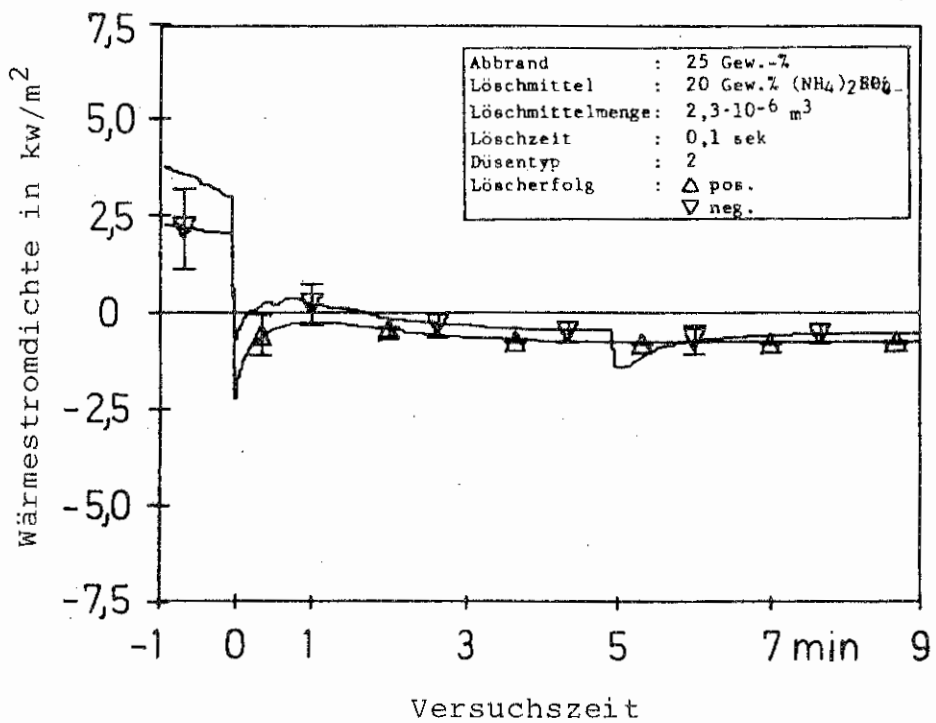


Bild 15. Wärmestromdichte bei verschiedenen Löschmittelzusätzen

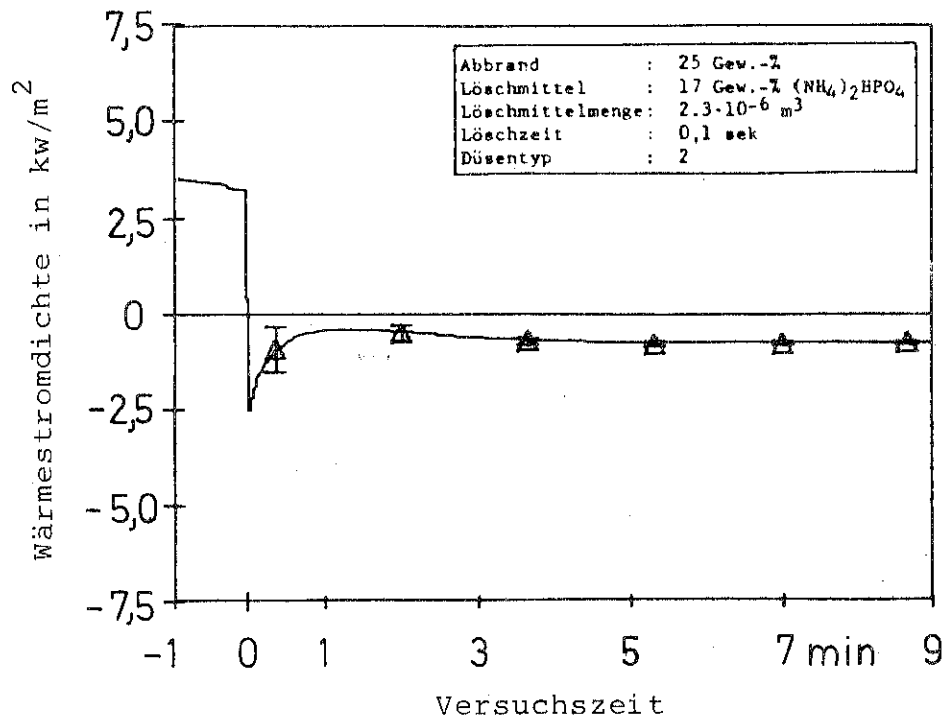


Bild 16. Wärmestromdichte bei verschiedenen Löschmittelzusätzen