

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 6: Löschversuche mit Sprinklern 3

70

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V – UNTERAUSSCHUSS "FEUERWEHRANGELEGENHEITEN"

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

Forschungsbericht Nr.70

Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen
Teil 6: Löschversuche mit Sprinklern 3

von
Dipl.-Ing. Hermann Schatz

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe
August 1989

FA: Nr. 124 (4 / 88)

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. VERSUCHSANLAGE UND MESSEINRICHTUNG	2
3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG	5
3.1 Brandmelder	5
3.2 Lageranordnung und Sprinkler	8
3.3 Temperaturen	12
3.4 Brand- und Löschversuche	16
3.5 Wasserbeaufschlagung bei Brandeinwirkung	22
4. ZUSAMMENFASSUNG	25
5. LITERATURVERZEICHNIS	26
6. TABELLEN UND BILDER	28

1. EINLEITUNG

Stoffe, die in großen Gebäuden gelagert werden, lassen das Brandrisiko deutlich ansteigen, da sie teilweise oder sogar in ihrer Gesamtheit brennbar sind, wie z. B. das Lagergut selbst, das dieses Lagergut schützende Stoßschutzmaterial und/oder auch die Umverpackung. Je nach Verpackung und Lagermaterial werden diese Lagerrisiken vom Verband der Sachversicherer (VdS) bestimmten Brandgefahren zugeordnet /1/, die z. B. die Lagerhöhe der gestapelten Stoffe oder die Wasserbeaufschlagung einer Sprinkleranlage berücksichtigen.

Eine derartige ortsfeste Löschanlage, in Verbindung mit einer Brandmeldeanlage installiert, hilft im Schadenfall ohne wesentliche Zeitverzögerung die Zeit bis zum Eintreffen der Feuerwehr zu überbrücken, d. h. den Entstehungsbrand zu bekämpfen. Eine Brandmeldeanlage allein löscht nicht, so daß herbeigeeilte Löschkraften bereits vor einem Großbrand stehen können, wenn keine Löschanlage vorhanden ist. Eine Sprinkleranlage allein ist aufgrund der nicht vorhersehbaren Brandausbreitung nicht immer in der Lage, einen Entstehungsbrand frühzeitig zu löschen. In diesem Fall könnte die erst durch den Sprinkler hervorgerufene Brandmeldung zu spät erfolgen.

Die Statistik zeigt jedoch, daß bei einem Brandereignis in den meisten Fällen ein bis vier Sprinkler auslösen und der Brand, ohne großen Schaden verursacht zu haben, gelöscht werden kann, so daß sich der Einbau einer Sprinkleranlage auch von der finanziellen Seite lohnt.

In der vorliegenden Arbeit werden Untersuchungen beschrieben, die sich mit dem Brand- und Löschverhalten bei in Brand geratenen lagermäßig gestapelten Stoffen befassen, wobei Meßdaten wie die Temperatur, der Abbrand, die Auslösezeiten der Brandmelder und der Sprinkler mit Hilfe einer elektronischen Datenerfassungs-

anlage aufgenommen und gespeichert werden. Die Versuche werden zusätzlich auf Videofilm aufgezeichnet. Somit ist es möglich, nachträglich die Versuche vergleichen und auswerten zu können.

Die in der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik durchgeführten Untersuchungen beinhalten Brandversuche mit einem Sprinklertyp an einem Regalstapellager mit der Änderung des Abstandes der einzelnen Gitterboxenstapel zueinander als Parameter und an einem Blocklager mit den gleichen Materialien.

2. VERSUCHSANLAGE UND MESSEINRICHTUNG

Wie bereits in /2,3/ erwähnt wurde, befand sich der für die Untersuchungen verwendete Versuchsstand in der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik. Der eine Teil der Anlage bestand aus der Wasserversorgung aus dem öffentlichen Netz, einem Vorratsbehälter und diverser Ventile bis hin zum Sprinkler, der andere Teil aus der Waagekonstruktion mit der darauf befindlichen Brandlast.

Diese Brandlast bestand aus einer Anordnung von Gitterboxen, die zu je 4 Stück in der Fläche und in der Höhe gestapelt wurden. Die Abstände (A) der Gitterboxenstapel zueinander wurden zwischen 0 m und 1,0 m variiert. In diese Gitterboxen wurden 3 bzw. 5 Wellpappkartons pro Box eingesetzt, so daß insgesamt 48 bzw. 80 Kartons gelagert waren. In Bild 1 ist der Versuchsaufbau dieser Lagerart abgebildet. Die Abmessungen der einzelnen Kartons betragen 58 cm x 37 cm x 34 cm. Als zu verpackendes Lagergut wurden nichtbrennbare Stahlblechkanister mit einem Volumen von 30 l und als Stoßschutzmaterialien Holzwolle (HW) bzw. Polystyrol-Partikelschaumwürfel (PS) verwendet.

Bei vier weiteren Versuchen wurden die bereits erwähnten Wellpappkartons als Blocklager aufgebaut, d. h. ein Karton direkt neben und auf dem anderen. Die Breite der gelagerten Kartons

betrug ca. 2,25 m (6 Kartons) und die Höhe ca. 2,75 m (8 Kartons) bzw. ca. 2,05 m (6 Kartons). Hinter diesem Frontstapel wurde bei 3 Versuchen ein zweiter Stapel mit gleicher Höhe, aber nur mit 4 nebeneinander liegenden Kartons aufgestapelt, um die direkte Luftzufuhr von der Rückseite im Falle des Durchbrennens des Frontstapels zu vermeiden. Bei einem Versuch wurden nur 2 quer liegende Kartons aufgeschichtet. Bild 2 zeigt den schematischen Aufbau dieser Lagerstapelanordnungen in der Aufsicht mit der Kennzeichnung des Abstandes.

Die Zündquelle bestand bei allen Versuchen aus einem Faserstreifen mit den Abmessungen 15 cm x 3 cm x 1,8 cm, der mit 50 ml Brennspritus getränkt und bei den Gitterboxen an der rechten unteren Ecke des linken vorderen Stapels und beim Blocklager vorne in der Mitte gezündet wurde. Die Zündstelle wurde jeweils in den Bildern 1 und 2 gekennzeichnet.

Die Anordnung der Gitterboxen bzw. des Blocklagers wurde auf einem Waageboden mit den Abmessungen 4 m x 4 m aufgebaut, so daß der Abbrand des Brandgutes bestimmt werden konnte. Unterhalb des Waagebodens aus Gitterrosten befanden sich 25 Wannen der Größe 80 cm x 80 cm, so daß das Löschwasser in diesem Bereich aufgefangen werden konnte.

Die Löschanlage wurde aus der städtischen Wasserversorgung über einen Vorratsbehälter mit einer Sprinklerpumpe gespeist. An Manometern konnte der Wasserdruck in mehreren Höhen festgestellt werden. Der Sprinkler befand sich zentral über der Lagerstapelanordnung in einer Höhe von 3,50 m bzw. 3,25 m über dem Waageboden und 0,5 m über den Gitterboxen bzw. der Blocklageranordnung.

Die hier vorliegende Versuchsreihe wurde mit einem hängenden Normalsprinkler vom Typ C * durchgeführt. Die Wasserzufuhr

* Die Typ-Bezeichnung wurde in den Berichten als Unterscheidung gewählt.

erfolgte mit dem zentral über dem Lagerstapel an der Stelle Nr.5 angebrachten Sprinkler. Dieser wurde mittels eines Magnetventils manuell ausgelöst, wenn das Glasfäßchen mit einem Durchmesser von 10 mm des Sprinklers ohne Wasseranschluß, der direkt neben dem zum Löschen eingesetzten Sprinkler mit einem Draht am Rohr befestigt war, platzte. Das am Sprinkler austretende Wasser wurde dadurch nicht beeinflusst. Durch diese Vereinfachung entstand sicherlich ein geringer Fehler im Auslöseverhalten, der jedoch vernachlässigt wurde.

Zusätzlich wurde bei einigen Versuchen ein Glasfaßsprinkler mit einem Durchmesser des Glasfäßchens von 8 mm verwendet, um die Auslösezeiten miteinander vergleichen zu können. Dieser Sprinkler wurde symmetrisch auf der anderen Seite des Sprinklerrohres angeordnet. Um jedoch keinen weiteren Parameter einzuführen, wurde die Wasserzufuhr wie bisher beim Platzen des Glasfäßchens mit dem Durchmesser von 10 mm freigegeben.

Die bei den Brand- und Löschversuchen eingesetzten Brandmelder waren zentral über der Lagerstapelanordnung in Höhe des Sprinklers angeordnet. Um das Ansprechverhalten dieser Brandmelder bei einem realen Brand feststellen zu können, wurden sie jeweils um diesen Sprinkler herum auf einem Radius von ca. 20 cm installiert. Es handelte sich dabei um handelsübliche optische- und Ionisations-Rauchmelder, die nach dem Auslösen oder spätestens vor dem Erreichen durch die heißen Brandgase oder Flammen mit einem Seilmechanismus weggezogen wurden. Ihre Lage ist in Bild 1 mit a bis f gekennzeichnet und ihr Auslöseprinzip auf diesem Bild angegeben.

An den in Bild 1 gekennzeichneten Stellen Nr.1 bis Nr.6 wurden als Auslöseelemente Glasfaßsprinkler ohne Wasseranschluß mit einem Durchmesser des Glasfäßchens von 10 mm angeordnet und an den gleichen Stellen, wegen der Rückstrahlung jeweils in einem Abstand von 2 cm, Temperaturmeßstellen angebracht. Damit konnte das Fortschreiten des Brandes und Auslösen der Sprinkler besser

beurteilt werden. Aufgrund von Videoaufzeichnungen und weiteren Temperaturmeßstellen wurden in /4,5/ genauere Angaben über die Brandausbreitung gemacht.

Als Ergänzung wurden bei 3 Versuchen mit Blocklageranordnung in einer Höhe von 5,40 m zentral über dem Waageboden ca. 15 cm unterhalb einer Decke 3 Glasfaßsprinkler ohne Wasseranschluß und 3 Thermoelemente jeweils im Abstand von 1 m nach rechts und links zueinander angebracht, um das Ansprechverhalten in einer größeren Höhe über dem Brand zu ermitteln. Das sich darüber befindende Deckenteil war ca. 0,6 m breit, ca. 4 m lang und hatte ringsum eine ca. 20 cm breite Schürze, so daß sich der aufsteigende Brandrauch sammeln konnte.

3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG

3.1 Brandmelder

In Tabelle 1 wurden die bei diesen Untersuchungen ermittelten Ansprechzeiten der verschiedenen Brandmelder aufgelistet. In der linken Spalte ist die jeweilige Brandlast eingetragen wie z. B. HW5/VM/4 für Holzwolle und PS3/VM/4 für Polystyrol-Partikelschaum als Stoßschutzmaterialien. Die Ziffer 5 oder 3 gibt die Anzahl der sich in einer Gitterbox befindenden Kartons an. Die Zündquelle ist bei den Versuchen vorne in der Mitte (VM) angeordnet. Die Ziffer 4 besagt, daß 4 mit Kartons befüllte Gitterboxen übereinander gestapelt wurden (Bild 2).

Wie aus der Tabelle weiterhin zu ersehen ist, spielte die Brandlast selbst keine Rolle für das Auslöseverhalten der Brandmelder, da diese bereits kurze Zeit nach dem Zündvorgang ansprachen. Das Zeichen "-" bedeutet, daß der betreffende Melder nicht einsatzbereit war, sei es durch starke Verschmutzung oder Beschädigung, wie es bei einigen Meldern mehrmals der Fall war.

Wie bereits bei früheren Untersuchungen, lösten u. a. die Ionisations-Brandmelder etwas früher als die optischen Brandmelder aus. Trotz ihrer Anordnung in Abständen von ca. 20 cm zueinander, lösten sie jedoch meistens in kurzen Zeitabständen hintereinander aus. Durch die räumliche Anordnung kann es aber auch passieren, daß die Brandgase einen Brandmelder gerade noch erreichen und dieser anspricht, während der Brandmelder daneben durch den inzwischen sich ändernden Brandverlauf und die Strömung der Brandgase erst Minuten später auslösen kann. Bei diesen Untersuchungen sprachen die Brandmelder jedoch alle vor dem Auslösen des Sprinklers an, so daß eine Alarmierung bereits vor dem Sprinklereinsatz hätte erfolgen können.

Da die Zündung bei allen Versuchen an der gleichen Stelle erfolgte, wurde die Entfernung des Brandursprungs zu den Brandmeldern nur durch Variation des Abstandes A der Gitterboxenstapel bestimmt. Es wurde deutlich, daß bei größeren Abständen von 1 m und 0,8 m im allgemeinen die Brandmelder später auslösten als bei kleineren Abständen. Bei Abständen von ca. 0,1 m bis zu ca. 0,4 m wurden die kürzesten Auslösezeiten registriert, während bei direktem Aneinanderstellen der Gitterboxen die Auslösezeiten wieder geringfügig zunahmen. Die Ursachen dieser Unterschiede lagen im Strömungsverhalten der Brandgase und der Luftzufuhr in den mehr oder weniger großen Zwischenräumen. War der Abstand groß, so strichen die Brandgase nahe an den senkrechten Oberflächen nach oben und gelangten recht spät, d. h. erst in einem fortgeschrittenen Brandstadium in den mittleren Bereich, um die Melder auszulösen und war der Abstand zu klein, so bildete sich durch mangelnde Lufteinmischung keine richtige Strömung mehr aus und die Brandmelder lösten dadurch ebenfalls später aus. Bei den bereits früher durchgeführten Versuchen betrug der Abstand zwischen den Gitterboxenstapeln jeweils 0,2 m und lag somit im strömungstechnisch günstigeren Bereich für das Auslösen der Brandmelder durch die Brandrauchströmung.

Die Bilder 3 und 4 zeigen die Auslösezeiten der Brandmelder a

bis f in Abhängigkeit vom Abstand der Lagerstapel zueinander. In Bild 3 sind die Auslösezeiten für den optischen Brandmelder a mit der größten Entfernung von der Zündstelle im oberen Teil und die Auslösezeiten für die beiden Ionisationsbrandmelder b und d im unteren Teil des Bildes aufgeführt. In Bild 4 sind die Auslösezeiten der optischen Brandmelder c, e und f eingetragen.

Es ist deutlich zu erkennen, daß die bereits anhand der Tabelle getroffenen Feststellungen bei allen Brandmeldern zutrafen. Bei direktem Kontakt der Gitterboxen (Abstand 0 m) lagen die Auslösezeiten in den meisten Fällen bei diesen Versuchen unter 100 s, beim Abstand von 0,1 m sprachen die optischen Brandmelder bei etwa 50 s bis 100 s an. Die Auslösezeiten der beiden Ionisations-Brandmelder b und d lagen sogar noch darunter. Bis zu den Abständen von ca. 0,4 m lagen die Auslösezeiten in der gleichen Größenordnung, aber nicht mehr so dicht beieinander. Noch größere Abstände hatten, wie bereits zuvor beschrieben wurde, eine breitere Streuung und etwas spätere Auslösezeiten zur Folge, was auch aus den Bildern deutlich entnommen werden kann.

Bei der Blocklagerung gab der Aufbau der gelagerten Kartons durch den direkten Kontakt nur geringe Fugen als Zwischenräume frei. Durch diese Art der Stapelung war der Abstand zu den Brandmeldern nur unwesentlich geringer. Die an der Frontseite aufsteigenden Flammen bzw. Brandgase erreichten die Brandmelder in ähnlichen Zeiten wie bei der Lagerung in Gitterboxen.

Ein Brand könnte, wie bereits erwähnt, im Entstehungsstadium entdeckt und bekämpft werden, wenn die Brandmelder, z. B. Ionisationsmelder oder optische Melder, an den richtigen Stellen installiert werden. Die bei früheren Untersuchungen getroffenen Aussagen in bezug auf das frühe Ansprechverhalten von Brandmeldern wurde durch diese Versuchsreihe bestätigt. Ein noch besseres Ansprechverhalten kann sicherlich erzielt werden, wenn die Brandmelder dort angebracht werden, wo sich Brandrauch durch bauliche Maßnahmen "ansammeln" kann wie z. B. an Decken mit

Unterkonstruktion (Träger, Schürzen) und nicht wie bei diesen Untersuchungen nach oben frei abziehen kann. Eine einfache Trapezprofilfläche als Decke über der Brandlast hatte praktisch keinen Einfluß auf die Auslösezeiten, da die Brandgase seitlich wegströmten und sich nicht ansammeln konnten, wie in /3/ festgestellt werden konnte.

3.2 Lageranordnung und Sprinkler

Die Brand- und Löschversuche an gestapelten Stoffen, sowohl in Gitterboxen als auch als Block gelagert, wurden in der bereits beschriebenen Anordnung durchgeführt. Wie in Abschnitt 2 erwähnt wurde, wurde der Löschvorgang eingeleitet, wenn das Glasfäßchen des Sprinklers ohne Wasseranschluß an der in Bild 1 gekennzeichneten Stelle Nr. 5 zentral über der Brandlast zersprang. Weitere Glasfaßsprinkler ohne Wasseranschluß wurden an den Stellen Nr. 1 bis Nr. 6 angeordnet. Auf diese Art konnte infolge der Brandausbreitung am Lagerstapel das Auslösen an den verschiedenen Stellen festgestellt werden. Dadurch sind Rückschlüsse auf den realen Brand möglich.

Die Tabelle 2 zeigt die in dieser Versuchsreihe gemessenen Werte. Neben der Brandlast ist der jeweilige Abstand der Lagerstapel zueinander, die Zeiten bis zum Zerspringen der Sprinklerglasfäßchen und die jeweils in einem Abstand von ca. 2 cm vom Glasfäßchen entfernt herrschende jeweilige Temperatur aufgelistet.

Aus der Tabelle 2 ist zu ersehen, daß das Glasfäßchen an der Stelle Nr.1 bei Holzwolle als Stoßschutzmaterial und 5 pro Gitterbox gelagerten Kartons nach einer Versuchszeit von 6,5 min bis 10 min platzte, aber bei Polystyrol-Partikelschaum bereits nach 5 min bis 7 min, d. h. im Mittel um ca. 2 min früher. Dies hing mit der höheren Wärmefreisetzung beim Verbrennen von Polystyrol-Partikelschaum und der dadurch bedingten schnelleren Brandentwicklung zusammen, so daß das Glasfäßchen Nr.1 in einer

Höhe von 3 m schneller erwärmt wurde als bei Holzwolle als Stoßschutzmaterial.

Bei einer Verringerung der Brandlast auf 3 Kartons pro Gitterbox erhöhte sich die Zeit bis zum Platzen des Glasfäßchens an der Stelle Nr. 1 bei Holzwolle und Polystyrol im Mittel gleichermaßen um ca. 45 s, so daß die Differenz mit 2 min die gleiche blieb. Dies ist damit zu erklären, daß eine geringere Anzahl an Kartons weniger Wärme freisetzt. An der Meßstelle Nr. 1 schwankten die Auslösetemperaturen zwischen 125 °C und 700 °C und lagen im Mittel bei 309 °C und überstiegen damit die im Laborversuch ermittelte Auslösetemperatur von 68 °C wesentlich. Dies bedeutete, daß sich zunächst die Umgebung wesentlich schneller erwärmte als der Glasfaßsprinkler bzw. die darin befindliche Flüssigkeit, da die Wärme zunächst vom Metall und vom Glasfäßchen abgeleitet wurde.

Einerseits platzte ein Glasfäßchen bei hohen Temperaturen, d. h. wenn heiße Brandgase oder Flammenspitzen auftrafen und andererseits bestand jedoch die Möglichkeit, daß die neben dem Glasfäßchen im Abstand von ca. 2 cm gemessene Temperatur unterhalb der eigentlichen Auslösetemperatur lag. Dies war sicherlich darauf zurückzuführen, daß eine kurzzeitige Temperaturerhöhung innerhalb des vom Rechner benötigten Meßzyklus von 5 s lag und deshalb nicht registriert werden konnte.

Dies kann z. B. sehr deutlich bei dem Versuch HW5/VM/4 und dem Abstand von 0,4 m festgestellt werden, bei dem sich der Brand zunächst im Stapel Nr. I ganz normal ausbreitete und das Glasfäßchen Nr. 1 platzte. Im weiteren Brandverlauf zündete der Stapel Nr. III und das Glasfäßchen Nr. 4 platzte. Nach einer Versuchszeit von über 26 min platzte schließlich das Glasfäßchen Nr. 6, nach einer Versuchszeit von über 36 min das Glasfäßchen Nr. 3 und endlich nach 38 min das Glasfäßchen Nr. 2 bei Temperaturen von weniger als 68 °C neben dem jeweiligen Glasfäßchen .

Bei diesem Versuch wurde besonders deutlich, daß Brandmelder wichtig sind, da das Glasfäßchen des Sprinklers Nr. 5 nicht auslöste und der Sprinklereinsatz deshalb ausblieb. Als Folge davon brannte bei diesem Versuch alles ab, was auch im Realfall passieren könnte. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß bei 10 Versuchen bei Abständen der Gitterboxen von 0,4 m bis 1,0 m kein Löscheinsatz erfolgte, weil der Sprinkler nicht auslöste.

Dies bedeutet, daß bei einem Brand das Auslösen eines Sprinklers im Gegensatz zum Ansprechen eines Brandmelders nicht oder nicht früh genug erfolgt und deshalb eine Kombination von Brandmeldern und Sprinklern bei vielen Brandsituationen, wie z.B. in Lägern, sinnvoll wäre, da dadurch ein Brand schneller erkannt und unter Kontrolle gebracht werden könnte. Eine Kontrolle, ob evtl. ein Fehlalarm ausgelöst wurde oder nicht, wäre ebenfalls nach Auslösen eines Brandmelders noch frühzeitig möglich.

Die Untersuchungen zeigten, daß beim Einsatz von Holzwolle als Stoßschutzmaterial, sowohl bei 5 als auch bei 3 Kartons, die Glasfäßchen an der Stelle Nr. 2 und an der Stelle Nr. 5 (Löschbeginn) nur bei einem Abstand, der kleiner als 0,4 m war, zersprangen. Bei dem Abstand von 0,4 m zerplatzte das Glasfäßchen an der Stelle Nr. 2 nur einmal, jedoch nach einer sehr langen Versuchszeit von über 38 min, als kein Löscheinsatz erfolgte. Bei noch größeren Abständen zerplatzten die Glasfäßchen bei dieser Brandlast nicht mehr.

Im Gegensatz dazu zerplatzten bei der Lagerung von 5 Kartons in den Gitterboxen und Polystyrol-Partikelschaum als Stoßschutzmaterial die Glasfäßchen aufgrund der bereits erwähnten höheren Wärmefreisetzung auch bei größeren Abständen und der Löscheinsatz wurde eingeleitet.

Bei einigen Versuchen zerplatzte das Glasfäßchen mit dem geringeren Durchmesser an der Stelle Nr. 5a etwas früher, bei anderen Versuchen überhaupt nicht. Dies bedeutet, daß einerseits beim

Erreichen der beiden Stellen Nr. 5 und Nr. 5a durch die Flammen das dünnere Glasfäßchen mit der geringeren Wärmekapazität schneller zersprang, andererseits aber eine kurze Entfernung von wenigen cm ausreichte, um dieses Glasfäßchen nicht mehr zerspringen zu lassen, da die heißen Gase vorbeiströmten. Es ist jedoch anzunehmen, daß Glasfäßchen mit geringerer Wärmekapazität, d. h. niedrigem RTI-Wert (Response Time Index), im Realfall schneller auslösen, wenn sie an der gleichen Stelle angeordnet werden wie normal ansprechende Sprinkler. Dies hängt aber weitestgehend von der Ausbreitung des Brandes ab.

In einigen Fällen breitete sich der Brand auch über die Stapel Nr. II und Nr. IV aus, so daß die Glasfäßchen Nr. 3 und Nr. 6 zerplatzten, unabhängig davon, ob zu diesem späteren Zeitpunkt der Löscheinsatz bereits erfolgt war oder nicht.

Bei der Verwendung von 5 Kartons in den Gitterboxen und Holzwolle als Stoßschutzmaterial ist zu erkennen, daß das Sprinklerglasfäßchen Nr. 4 am Stapel Nr. III unabhängig vom Abstand der Stapel von 1,0 m bis 0,2 m zu einem späteren Zeitpunkt zerplatzte als bei den anderen Konfigurationen. Dies hing mit der geringeren Durchströmungsmöglichkeit infolge dichter Lagerung und der geringeren Wärmefreisetzung der Holzwolle zusammen.

Aus der Tabelle 2 ist weiterhin ersichtlich, daß bei der Stapelung der Kartons als Block die Glasfäßchen an den Stellen Nr. 5 und Nr. 5a wesentlich schneller zerplatzten als bei der Stapelung der Kartons in Gitterboxen. Da die Entfernung von der Zündstelle zu den Glasfaßsprinklern in beiden Fällen fast gleich groß war, kann daraus geschlossen werden, daß einerseits durch die schnelle Brandausbreitung sehr viel mehr Wärme freigesetzt wurde, was sich durch den optischen Eindruck bestätigte und andererseits bei den Versuchen mit Gitterboxen sehr viel Wärme durch die Gitterboxen abgeleitet wurde. Die jeweilige Auslösezeit des Sprinklers bei der Lagerung als Block wurde fast um die Hälfte gegenüber der Lagerung in Gitterboxen vermindert, wobei auch hier bei Poly-

styrol-Partikelschaum als Stoßschutzmaterial der Löschein-
satz am schnellsten erfolgte. Der Unterschied der Auslösezeiten an den
Stellen Nr. 5 und Nr. 5a betrug max. 10 s.

An den Stellen Nr. 1 bis Nr. 6 wurden bei der Lagerung als Block
keine Glasfaßsprinkler installiert, dafür aber in einer Höhe von
5,40 m an den Stellen Nr. 7, Nr.8 und Nr.9 (Bild 1). Die Glasfäß-
chen zersprangen bei 2 von 4 Versuchen früher als an der Stelle
Nr. 5 (Löschbeginn) und bei 2 Versuchen garnicht, so daß in bezug
auf die Installationshöhe für das Auslöseverhalten aus diesen
Untersuchungen noch keine Aussage getroffen werden kann.

3.3 Temperaturen

Um die bereits in Abschnitt 3.2 erwähnten Auslösetemperaturwerte
zu ergänzen und einen besseren Überblick über den Brandverlauf zu
erhalten, wurde in den Bildern 5 bis 17 die jeweilige neben den
Glasfaßsprinklern 1 bis 9 gemessene Temperatur in Abhängigkeit
von der Versuchszeit aufgetragen. Als Kennzeichnung wurden
unterschiedliche Symbole und die Bezeichnung TE 1 bis TE 9 für
die Thermolemente verwendet. In diesem Abschnitt werden gleich-
artige Temperaturverläufe einzelner Versuche nicht beschrieben,
sondern nur auf die Abweichungen beim Brandverlauf und Löschein-
satz hingewiesen.

Aus den verschiedenen Versuchsreihen wurden je 3 Versuche mit
unterschiedlichen Abständen und Brandlasten ausgesucht, um deren
Einfluß auf das Brandgeschehen anhand der Temperaturen zu
verdeutlichen. Bild 5 zeigt, daß bei 5 Kartons Holzwole und dem
Abstand der Gitterboxen von 1 m nach ca. 5 min die Brandgase das
Thermolement TE 1 am Stapel I erreichte und die Temperatur auf
ca. 750 °C anstieg, um nach weiteren 6 min wieder auf unter
200 °C abzufallen. Lediglich das Thermolement TE 4 am Stapel
Nr. III wurde noch auf 74 °C erwärmt, so daß das Glasfäßchen
platzen konnte. Die anderen Meßstellen zeigten Umgebungstempera-

tur an, was darauf zurückzuführen war, daß beim Abstand von 1 m und Holzwolle in den Kartons nur der Stapel Nr. I abbrannte und kein Löscheinsatz erfolgte.

Beim Abstand von 0,4 m (Bild 6) und der gleichen Brandlast stieg die Temperatur am Thermoelement TE 1 (Stapel 1) nach ca. 7 min, die am Thermoelement T4 (Stapel III) nach ca. 12 min und die anderen Temperaturen entsprechend, an. Die Stapel brannten in der gleichen Reihenfolge ab, wie die Thermoelemente dies anzeigten. Ein Löscheinsatz erfolgte nicht.

Bild 7 zeigt bei der gleichen Brandlast und dem Abstand der Stapel von 0 m eine frühere Erwärmung der Thermoelemente TE 1 und TE 2 mit einem nachfolgenden steilen Temperaturanstieg. Das Auslösen des Sprinklers nach einer Versuchszeit von 11:05 min brachte sofort einen steilen Temperaturabfall auf unter 100 °C mit sich. Trotz des anschließenden Anstiegs der Temperatur TE 4 auf 400 °C und des Abbrennens mehrerer Kartons platzte das entsprechende Glasfäßchen nicht. Der Brand konnte erst nach einer Versuchszeit von über 22 min gelöscht werden. Bei den dazwischen liegenden Abständen der einzelnen Stapel zueinander verlaufen die Temperaturkurven entsprechend, wie aus der Tabelle 2 ersichtlich ist.

Bei Polystyrol-Partikelschaum als Stoßschutzmaterial in den Kartons und dem Abstand der einzelnen Stapel von 1 m (Bild 8) stieg nach einer Versuchszeit von etwas mehr als 10 min die Temperatur am Thermoelement TE 4 an, was ein Übergreifen des Brandes vom Stapel Nr. I auf den Stapel Nr. III bedeutete. Die Temperatur am Thermoelement TE 5 direkt am Sprinkler stieg nicht höher als 60 °C. Daß das Glasfäßchen dennoch platzte, ist auf die Wärmestrahlung oder eine Flammenspitze zurückzuführen, deren Temperatur das Thermoelement innerhalb eines Meßintervalles des Computers nicht registrieren konnte, wie bereits erwähnt wurde. Das Thermoelement TE 2 an der Frontseite im Abstand von 0,5 m vom Stapel Nr. I (TE 2 zwischen Stapel Nr.1 und Nr.2) erwärmte sich

auf ca. 75 °C, das Glasfäßchen platzte jedoch nicht.

Wurde der Abstand auf 0,4 m (Bild 9) verringert, so wurde deutlich, daß die Thermoelemente TE 2 und TE 4 eine höhere Temperatur als zuvor erreichten und auch am Thermoelement TE 5 eine Temperatur von ca. 100 °C erreicht wurde. Nach dem Löscheinsatz fielen alle Temperaturen steil ab. Der Brand war gelöscht.

Standen die Gitterboxen zusammen (Bild 10), so war an allen Meßstellen ein Temperaturanstieg zu verzeichnen. Trotz Erreichen einer Temperatur von über 350 °C am Thermoelement TE 4 platzte das entsprechende Glasfäßchen nicht, was auf eine ungenügende Wärmeaufnahme zurückzuführen war.

Im Vergleich zu Holzwolle als Stoßschutzmaterial in den Kartons waren bei den Versuchen mit Polystyrol die gemessenen Maximaltemperaturen um 50 °C bis 100 °C höher, was auf den etwa doppelt so hohen Heizwert des Polystyrols zurückzuführen war.

Die Bilder 11 bis 17 zeigen die entsprechenden Temperaturkurven bei einer Verringerung der Brandlast auf 3 Kartons und den Stoßschutzmaterialien Holzwolle und Polystyrol-Partikelschaum. Der Anstieg am Thermoelement TE 1 erfolgte bei den Versuchen mit Holzwolle nach einer Versuchszeit von ca. 6 min. Das Maximum wurde nach 8 min bis 10 min erreicht, wobei eine Temperatur von 600 °C bis 700 °C auftrat.

Während beim Abstand der Gitterboxen von 0,8 m (Bild 11) und Holzwolle in den Kartons lediglich der Stapel Nr. I abbrannte, wurde beim Abstand von 0,4 (Bild 12) auch der Stapel Nr. III erfaßt. Die Temperatur am Thermoelement TE 4 zeigte dabei den gleichen Verlauf wie TE 1. Die anderen Meßstellen zeigten nur eine geringe Erwärmung. In beiden Fällen wurde nicht gelöscht.

Standen die Gitterboxen mit Holzwolle als Stoßschutzmaterial direkt aneinander (Bild 13), so löste der Sprinkler aus, nachdem

der Brand vom Stapel Nr. I an den oberen Kartons auch auf die anderen 3 Stapel übergreifen hatte, wobei Temperaturen von 200 °C bis 600 °C erreicht wurden. Die Thermoelemente TE 3 und TE 6 wurden vom Brand jedoch nicht mehr erreicht und die Glasfäßchen platzten nicht.

Bei Polystyrol als Stoßschutzmaterial in den Kartons (Bilder 14 bis 16) stiegen die Temperaturen bereits nach 4 min bis 5 min an, denn es wurde mehr Wärme freigesetzt. Beim Abstand von 0,8 (Bild 14) wurden die Thermoelemente TE 1 und TE 4 erwärmt und die Stapel Nr. I und Nr. III brannten ab, ohne den Sprinkler ausgelöst zu haben.

Während beim Abstand von 0,8 m die Maxima der Kurven ca. 4 min auseinanderlagen, erkennt man, daß beim Abstand von 0,4 m (Bild 15) beim Stapel Nr. III das Maximum der Temperatur bereits 2 min nach dem des Stapels Nr. I erreicht wurde. Erst nach dem Abbrennen dieser beiden Stapel zündeten die Stapel Nr. II und Nr. IV. Die Temperaturen stiegen an den Thermoelementen TE 6 und TE 3 nach ca. 13 min und 16 min an und die entsprechenden Stapel brannten ebenso ab, ohne den Sprinkler ausgelöst zu haben. Die beiden Maxima sind weniger hoch und die Temperaturen fallen langsamer ab, da die Zündung im oberen Drittel des jeweiligen Stapels erfolgte und sich der Brand durch Abtropfen von flüssigem Polystyrol in einem Stapel nach unten ausbreitete, so daß an den Meßstellen die Temperaturen abnahmen.

Beim Brand der Gitterboxenstapel mit jeweils 3 Kartons, Polystyrol als Stoßschutzmaterial und dem Abstand 0 m (Bild 16) war zu erkennen, daß alle Temperaturen anstiegen. Nach Auslösen des Sprinklers nach einer Versuchszeit von ca. 8 min breitete sich der Brand nicht weiter aus und die Temperaturen fielen ab. Die Stapel Nr. I und Nr. III waren völlig und die beiden anderen teilweise abgebrannt. Die Untersuchungen mit den dazwischen liegenden Abständen können auch bei den Temperaturkurven den Abständen entsprechend eingeordnet werden.

Die beim Brand des als Block aufgebauten Lagerstapels, wobei als Beispiel Kartons mit dem Stoßschutzmaterial Holzwolle herausgegriffen wurden, ergaben die in Bild 17 aufgetragenen Temperaturkurven in Abhängigkeit von der Zeit. Bereits 1 min nach Versuchsbeginn stieg die Temperatur an den Thermoelementen an. Nach einer Versuchszeit von ca. 2 min betrug sie am Thermoelement TE 5 ca. 40 °C, während sie durch die Ansammlung der heißen Brandgase am Thermoelement TE 8 in größerer Höhe bereits ca. 110 °C und bei TE 7 und TE 9 jeweils ca. 80 °C betrug, was theoretisch für das Auslösen eines Glasfäßchens ausreichen kann. Als nach 4 min 45 s die Temperatur am Thermoelement TE 5 anstieg, dauerte es bis zum Löscheinsatz noch ca. 1 min. Danach fiel an den Meßstellen die Temperatur ab, da durch das Zusammenfallen des Stapels die Thermoelemente vom Brand zu weit entfernt und durch den Wasserschleier des Sprinkler getrennt waren. Die Flammen waren niedrig, konnten jedoch, wie bereits erwähnt wurde, nicht gelöscht werden.

3.4 Brand- und Löschversuche

Bei den Brand- und Löschversuchen erfolgte der Löscheinsatz zu dem Zeitpunkt, an dem neben dem für den Löscheinsatz vorgesehenen offenen Sprinkler das Glasfäßchen des Sprinklers mit dem Glasfäßchen mit dem Durchmesser von 10 mm zersprang, wie bereits erwähnt wurde.

Die Dauer des Löscheinsatzes richtete sich nach der optischen Beurteilung des Brandes. Der Brand wurde als gelöscht betrachtet, wenn keine Flamme mehr oder an einem Wellpappkarton höchstens noch kleine Flammen zu erkennen waren, die jedoch keinen weiteren Wellpappkarton mehr zünden und deshalb keinen weiteren Schaden anrichten konnten. Auf diese Art wurde ein subjektives Kriterium für den erfolgreichen Löscheinsatz gewählt und somit Unzulänglichkeiten bei der Beobachtung in Kauf genommen. Mit Hilfe von Messungen mit Thermoelementen war in diesem Brandstadium eine Beurteilung nicht mehr möglich, da sie zum Teil durch den

erfolgten Löscheinsatz bereits gekühlt wurden.

Die Untersuchungen wurden mit dem Sprinkler Typ C durchgeführt. Die Abstände der einzelnen Stapel zueinander wurden zwischen 0 m und 1,0 m variiert. Die Ausflußrate betrug bei allen Versuchen ca. 90 l/min. In der Tabelle 3 ist die Brandlast, der Stapelabstand, die gesamte beim Löscheinsatz verwendete Wassermenge und die in den jeweiligen Wannen aufgefangene Wassermenge angegeben.

Wie bereits erwähnt wurde, erfolgte bei mehreren Versuchen kein Löscheinsatz (kL), da der zentrale Sprinkler an der Stelle Nr. 5 nicht auslöste. In diesem Fall brannten je nach Abstand der einzelnen Stapel zueinander und der verwendeten Stoßschutzmaterialien (HW oder PS) ein, zwei oder vier Stapel restlos ab. In den anderen Fällen löste der Sprinkler aus und die in der Tabelle aufgeführten Wassermengen wurden zum Löschen benötigt. Die Dauer des Löscheinsatzes verlief je nach Brandverlauf und Auslösezeitpunkt des Sprinklers unterschiedlich lang.

Eine Abhängigkeit der Wassermenge vom Abstand der Stapel zueinander ist nicht zu erkennen. Wurde der Sprinkler einmal ausgelöst, so richtete sich die Wassermenge, d. h. die Dauer des Löscheinsatzes nur noch nach der Anzahl der brennenden Kartons mit dem jeweiligen Stoßschutzmaterial. Im Mittel wurde deutlich weniger Wasser benötigt, wenn nur 3 anstatt 5 Kartons pro Gitterbox gelagert waren.

Aus der Tabelle kann entnommen werden, daß bei der Verwendung von 5 Kartons pro Gitterbox im Mittel mehr Wasser zum Löschen notwendig war, wenn Polystyrol-Partikelschaum als Stoßschutzmaterial verwendet wurde.

Die Grenze, bei der der Löscheinsatz erfolgte, lag bei den Untersuchungen bei einem Abstand der Stapel zwischen 0,2 m und 0,4 m. Bei größeren Abständen wurde der Sprinkler nicht ausgelöst, obwohl auch hier hätte gelöscht werden sollen. Die Grenze bei

5 Kartons pro Gitterbox und Polystyrol-Partikelschaum lag bei einem Abstand von ca. 1,0 m. In diesem Fall wurde der Sprinkler gerade noch ausgelöst und eine Wassermenge von 380 l reichte zum Löschen aus. Der Brand wäre allerdings auch von selbst ausgegangen, weil kein Karton mehr von den Flammen hätte erfaßt werden können. Bei diesem Versuch waren noch 2 Stapel (Nr. II und Nr. IV) vollständig erhalten.

Es kann festgestellt werden, daß während dieser Versuchsreihe Polystyrol-Partikelschaum und der größeren Anzahl von Kartons am schwierigsten zu löschen war und im Mittel eine wesentlich größere Menge Wasser benötigt wurde.

Bei den mit einem Stern * gekennzeichneten Zahlen handelte es sich um übergelaufene Auffangwannen, so daß die eigentliche Wassermenge in den Wannen um diesen übergelaufenen, aber bei diesen Untersuchungen nicht feststellbaren Betrag größer war.

Die zu einem Blocklager aufgeschichteten Kartons konnten trotz wesentlich früheren Auslösens des Sprinklers gegenüber denen des Gitterboxenlagers nicht gelöscht werden. Dies ist damit zu erklären, daß zunächst in der Mitte durch Brandeinwirkung die oberen Kartons des Frontstapels einstürzten oder auch nach dem Auslösen des Sprinklers durch Wassereinwirkung zusammenfielen und ungeordnet übereinander liegen blieben, so daß sich Brandnester unter den Kartons bilden konnten.

Die rechts und links außen stehenden Kartons sowie die hintere Reihe wurden an den unteren Kartons durch den Brand erfaßt und gleichzeitig von oben mit Wasser besprinkelt, so daß sie nicht mehr stabil stehen blieben und deshalb auf die brennenden bereits am Boden liegenden Kartons fielen und die weitere Brandbekämpfung noch schwieriger gestalteten.

Nach den in der Tabelle 3 eingetragenen Wassermengen wurde der Löscheinsatz abgebrochen, da zu erkennen war, daß nur durch

Auseinanderziehen der Kartons das restlose Abbrennen hätte verhindert werden können.

Da sich der Brand bei diesen Untersuchungen nicht immer gleich entwickelte, erfolgte auch das Auslösen des Sprinklers zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Die Temperaturen waren ebenfalls verschieden, je nachdem, ob gerade eine Flammenspitze oder nur heißer Brandrauch die Meßstelle erreichte.

Außerdem war es immer sehr schwierig zu beurteilen, ob der Brand gelöscht war, da aufgrund der Rauchentwicklung und der durch das Löschen verursachten Wasserdampfbildung die Sicht sehr erschwert wurde. Die erforderliche Löschwassermenge konnte daher durch zu frühes oder zu spätes Abstellen der Wasserzufuhr differieren. Um sich ein besseres Bild über einen Brand an gestapelten Stoffen machen zu können, wurden in den Bildern 18 bis 25 einige Fotos zusammengestellt. Auf Bild 18 ist der Aufbau des Lagers mit je 3 Kartons pro Gitterbox und PS als Stoßschutzmaterial bei einem Abstand der Gitterboxen von 0,8 m im ersten Brandstadium zu sehen. Über den 4 einzelnen Lagerstapeln sind die Brandmelder und am linken Bildrand eine Attrappe zur Feststellung des Feuerübersprunges und der Wärmestrahlung, was in /4,5/ näher beschrieben wird, zu erkennen. Der zwischen den Brandmeldern hängende Sprinkler löste bei diesem Versuch nicht aus.

Bild 19 zeigt 5 Kartons mit PS pro Gitterbox bei einem Abstand der Stapel von 1 m in einem fortgeschrittenem Brandstadium kurz vor der Zündung des dahinter liegenden Stapels Nr. III. Der Sprinkler löste erst kurz vor dem Erlöschen dieses Stapels aus.

Die Bilder 20 bis 25 zeigen den Lagerstapel als Block. Zunächst brennt die Flamme nach dem Zündvorgang vertikal nach oben (Bild 20) und breitet sich erst anschließend weiter nach beiden Seiten aus (Bild 21). Die leeren Blechkanister in den Kartons finden nach dem Abbrennen der Holzwolle (Bild 22) bzw. des Polystyrol-Partikelschaumes keinen Halt mehr und fallen nach vorne,

wobei auch andere Kartons mitgerissen wurden.

Nach dem weiteren Fortschreiten des Brandes und dem Auslösen des Sprinklers (Bild 23) begannen die äußeren und hinteren Einzelstapel nacheinander umzukippen, da sie, wie bereits erwähnt wurde, einerseits an den unteren Kartons anbrannten und andererseits von oben durch das Sprinklerwasser schwerer wurden und somit nicht mehr im Gleichgewicht waren. Durch das Aufplatzen einzelner, bereits durchfeuchteter Kartons, war nun trotz des Sprinklereinsatzes eine bessere Luftzufuhr möglich und der Brand wurde stärker (Bild 24).

Erst nachdem auf diese Art alle einzel gestapelten Kartons umgestürzt (Bild 25) und die Kartons weitgehend durchfeuchtet waren, wurden die Flammen kleiner. Wegen der kreuz und quer liegenden Kartons und herausgefallener Holzwohle (auch bei PS), war es nicht möglich, den Brand trotz größeren Wasserverbrauches zu löschen.

In Tabelle 4 sind die verbrannten, angebrannten und feuchten bzw. nicht verbrannten Kartons der einzelnen Versuche aufgelistet. Bei mehr als 50 % abgebrannten Materials galt der Karton als verbrannt und bei bis zu ca. 50 % des abgebrannten Materials als angebrannt.

Anhand dieser Tabelle ist deutlich zu erkennen, wie sich der Brand über die Lagerstapel ausbreitete. Bei 5 Kartons pro Gitterbox, einem Abstand der Lagerstapel von 1 m und Holzwohle als Stoßschutzmaterial in den Kartons verbrannte der Stapel Nr. I vollständig, während die 3 restlichen Stapel erhalten blieben. Verringerte man den Abstand bei gleicher Brandlast, so reichte der Abstand bei 0,8 m und 0,6 m gerade noch aus, den Stapel Nr. III zu zünden. Bei weiterer Verringerung des Abstandes auf 0,4 m griff der Brand vom ersten Stapel ausgehend nacheinander auf die Stapel Nr. III, IV und II über. Der Sprinkler löste jedoch nicht aus. Bei diesem und den anderen mit einem Stern *

gekennzeichneten Versuchen erfolgte kein Löscheinsatz, da das Glasfäßchen des Sprinklers Nr. 5 nicht platzte.

Bei Abständen von 0,2 m und weniger zündeten die Nachbarstapel, wobei der Sprinkler je nach Brandverlauf früher oder später auslöste und den Brand löschte. Die Anzahl der nicht verbrannten, aber durchfeuchteten Kartons sind in der rechten Spalte aufgeführt.

Im Gegensatz zu Holzwolle griff bei Polystyrol als Stoßschutzmaterial bei 5 Kartons pro Gitterbox der Brand auch beim Abstand von 1 m bereits auf den Stapel Nr. III über. Der Sprinkler löste hier gerade noch aus bevor der Brand von selbst erlosch. Wurde der Abstand verringert, löste der Sprinkler in jedem Fall aus. Der Brand griff auch noch auf den Stapel Nr. II über. Der Stapel Nr. IV wurde bei kleinen Abständen entweder noch kurz vor oder auch erst nach dem Löscheinsatz von den Flammen erfaßt.

Wurden in den Gitterboxen je 3 Kartons (Holzwolle oder Polystyrol) gelagert, so läßt sich aus der Tabelle ersehen, daß bei Abständen der Stapel von 0,4 m und größer der Sprinkler nicht mehr auslöste und sich der Brand nur noch auf den Stapel Nr. III ausbreitete. Die beiden Stapel Nr. II und Nr. IV blieben vollständig erhalten. Bei einem Versuch mit Polystyrol und dem Abstand von 0,4 m brannten dagegen alle 4 Stapel ab, ohne daß der Sprinkler auslöste. Dies war bereits bei 5 Kartons pro Gitterbox und Holzwolle bei gleichem Abstand der Fall.

Bei kleineren Abständen löste sowohl bei Holzwolle als auch bei Polystyrol und 3 Kartons pro Gitterbox der Sprinkler aus, wobei je nach Brandausbreitung die Stapel teilweise oder vollständig, wie beim Abstand von 0,1 m der Stapel Nr. IV, erhalten blieben.

Bei den als Block aufgebauten Lagerstapeln war es nach dem Löscheinsatz nicht möglich, für die Kartons eine Tabelle zu erstellen, da die Kartons wirr übereinanderfielen und durchfeuch-

tet waren. Bis auf die beim Zusammenfallen außer Reichweite der Flammen liegenden Kartons, wurden alle anderen von den Flammen erfaßt, unabhängig davon, ob Holzwolle oder Polystyrol verwendet wurde, da durch das Bilden von Brandnestern ein vollständiges Ablöschen nicht erreicht werden konnte.

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, daß eine unterschiedliche Brandlast (Holzwolle, Polystyrol oder Anzahl der Kartons), bei gleichen Abständen, wie bereits erwähnt wurde, einen sehr großen Einfluß auf das Auslösen eines Sprinklers haben kann. Eine Änderung des Abstandes von einem Lagerstapel zum anderen bringt ebenfalls eine gravierende Änderung im Brandverhalten und dadurch ein unterschiedliches Auslöseverhalten des Sprinklers mit sich, so daß die Untersuchungen mit weiteren Parametern fortgeführt werden sollten.

3.5 Wasserbeaufschlagung bei Brandeinwirkung

Die Bilder 26 und 27 zeigen die Wasserbeaufschlagung bei Brandeinwirkung und unterschiedlichen Brandlasten bei Gitterboxen und bei Blocklagerung. Sie stellen eine Auswahl aus allen Versuchen dar, um Unterschiede besser deutlich zu machen. In Bild 26 wurde im oberen Teil bei gleichem Abstand und gleicher Anzahl der gelagerten Kartons Holzwolle und Polystyrol als Stoßschutzmaterialien verwendet. Ein Vergleich der Versuche läßt nur geringe Unterschiede zwischen den in den Wannen aufgefangenen Wassermengen erkennen.

Wurde die Brandlast bei Holzwolle als Stoßschutzmaterial auf 3 Kartons pro Gitterbox vermindert (Mitte links), so gelangte geringfügig mehr Wasser in die mittleren Wannen, während bei 3 Kartons mit Polystyrol (unten links) etwa die gleiche Menge Wasser registriert wurde wie bei 5 Kartons, was durch die höhere Wärmeentwicklung und den dadurch bedingten größeren Auftrieb zu erklären ist.

Bei Vergrößerung des Abstandes auf 0,4 m und 5 Kartons mit Polystyrol (Mitte rechts) ist gegenüber dem Abstand 0 m eine deutliche Wasserzunahme in der Mitte zu erkennen und beim Abstand von 1 m (unten rechts) auch im Bereich zwischen den Stapeln, wo das Wasser des Sprinklers nicht mehr so stark durch die Kartons abgeschirmt wurde.

Bild 27 zeigt bei Blocklagerung die in den Wannen aufgefangenen Wassermengen. Es spielte hierbei keine Rolle, ob Holzwolle oder Polystyrol als Stoßschutzmaterial verwendet wurde. Ebenso war die hier verwendete unterschiedliche Anzahl an Kartons nicht von Bedeutung. Vielmehr ist zu erkennen, daß einerseits einzelne Wannen immer vom Sprinkler bevorzugt befüllt wurden, wie z. B. jeweils die Wannen in der rechten oberen Ecke im Bild, und andererseits durch Zusammenfallen der Kartons das Wasser, je nach Lage der Kartons, in verschiedene Wannen gelangen konnte, so daß immer einige Wannen mehr oder weniger Wasser enthielten.

Die Wasserbeaufschlagung bei Brandeinwirkung wurde in den Bildern 28 und 29 festgehalten. Die einzelnen Bilder zeigen die jeweilige Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius für unterschiedliche Brandlasten. Der Radius wurde aus Mittelwerten für die auf dem gleichen Radius um den Mittelpunkt liegenden Auffangwannen ermittelt. Die Löschdauer wurde in jedem Bild an der entsprechenden Kurve angegeben.

Werden die Gitterboxen direkt aneinandergestellt (Abstand 0 m), so ergeben sich für die Wasserbeaufschlagung die kurz gestrichelten Kurven. Diese zeigen bei einem Radius von ca. 1 m ein kleines Maximum, was bei früheren Untersuchungen für den Sprinkler Typ C, der auch hier verwendet wurde, bereits auftrat, aber bei nur einem Abstand der Lagerstapel als Meßfehler gedeutet wurde.

Eine Vergrößerung des Abstandes auf 0,1 m bis 0,2 m läßt die Wasserbeaufschlagung in der Mitte des Lageraufbaus (kleiner Radius) ansteigen. Wie bereits in /2/ erwähnt, schneiden sich die

Kurven zu größeren Radien hin, ganz unabhängig, ob Holzwolle bzw. Polystyrol oder 3 bzw. 5 Kartons pro Gitterbox gelagert waren. Bei einem Radius von über 2 m hat die Wasserbeaufschlagung einen Wert von unter 2 mm/min erreicht. Die Auffangwannen waren nach dem Sprinklereinsatz in den meisten Fällen nicht gefüllt. War dennoch eine Wanne übergelaufen, was im mittleren Bereich auftrat, so entsprach der angegebene Kurvenverlauf bei kleinen Radien und bei Löschzeiten über 11 min nicht mehr der eingesetzten Wassermenge, da der Mittelwert der Wasserbeaufschlagung durch das Überlaufen einer Wanne kleiner wurde, weil das übergelaufene Wasser nicht mehr berücksichtigt wurde.

Es ist jedoch aus Bild 29 eindeutig zu erkennen, daß mit größer werdendem Abstand die Wasserbeaufschlagung im Bereich kleinerer Radien zunimmt. Dies gilt auch für die Lagerstapel mit den Abständen bis zu 1,0 m, deren Maxima deutlich über 5 mm/min liegen. Der Kurvenverlauf für die Abstände 0,6 m und 0,8 m bei kleineren Radien bei Löschzeiten von über 11 min würde dann jeweils noch über der Kurve für den Abstand von 0,4 m liegen; ebenso die Kurve für den Abstand von 1,0 m, wenn hier ein längerer Löscheinsatz erfolgt wäre und der Sprinkler nicht erst kurz vor dem Erlöschen des Brandes geöffnet hätte.

Bei der Verwendung von Holzwolle und Polystyrol lassen sich bei gleichen Abständen nur minimale Unterschiede im Kurvenverlauf feststellen. Werden anstatt 5 nur 3 Kartons in den Gitterboxen gelagert, so liegen die Kurven bei Radien von ca. 1 m etwas niedriger. Bei größeren Radien nimmt die Wasserbeaufschlagung mit abnehmendem Abstand bei 3 Kartons pro Gitterbox geringfügig zu, da das Wasser durch Fehlen der Kartons in der obersten Gitterbox nicht mehr so stark abgeschirmt wird und in die äußeren Wannen gelangen kann.

In der unteren Hälfte des Bildes 29 ist zum Vergleich für die entsprechende Höhe und Ausflußrate die Wasserbeaufschlagung über dem Radius ohne Brandlast und die Wasserbeaufschlagung für die

Blocklagerung aufgetragen. Die Verteilung des Wassers in den Auffangwannen ohne Brandlast ist fast konstant und weicht beim Aufbau als Blocklager nicht so stark davon ab, wie bei der Stapelung in Gitterboxen. Da bei der Blocklagerung im Gegensatz zur Lagerung in Gitterboxen beim Sprinklereinsatz eine Abschirmung der Wannen durch die Kartons weniger stattfindet und die Kurven aus Mittelwerten aller Wannen gebildet wurden, verlaufen sie gleichmäßiger. Bei kleinen Radien ist die geringste Wassermenge zu verzeichnen und nur so zu erklären, daß hier durch das Zusammenfallen des Stapels die meisten Kartons, wie erwähnt, übereinander liegen bleiben und das Wasser aufnehmen bzw. in die anderen Wannen ableiten, da trotz der längeren Löschzeit von über 11 min die Auffangwannen nur teilweise gefüllt sind.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Gebäude für Lagerzwecke stellen ein hohes Brandrisiko dar, da die gelagerten Stoffe selbst oder zumindest ein Teil der Verpackung brennbar ist. Kommt es zu einem Schadensfall, so stehen die Löschkkräfte oft vor fast nicht lösbaren Aufgaben. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn wertvolle Zeit bis zum Eintreffen am Brandort verstreicht.

Um dieses Risiko zu vermeiden, werden ortsfeste Sprinkleranlagen installiert, wobei in den allermeisten Fällen Wasser als Löschmittel eingesetzt wird.

Die vorliegende Arbeit beschreibt Untersuchungen mit Wellpappkartons, die in Gitterboxen und als Block gelagert wurden. Die Kartons waren mit Stahlblechkanistern als nichtbrennbarem Lagergut und den Stoßschutzmaterialien Holzwole oder Polystyrol-Partikelschaum befüllt. Der eingesetzte Sprinkler war ein hängender Normalsprinkler handelsüblicher Bauart, wie er bereits bei vorherigen Versuchen verwendet wurde. Beim Aufbau des Lagerstapels wurde der horizontale Abstand der Gitterboxen

zueinander variiert, so daß die Ausbreitung des Brandes bzw. der Flammenübersprung und somit auch das Ansprechverhalten verschiedener Brandmelder und das Auslösen des Sprinklers zu unterschiedlichen Zeiten erfolgte, was sich auch auf die für den Löschein-satz benötigten Wassermengen auswirkte. Beim Brand des Blocklagers löste der Sprinkler wesentlich früher aus als beim Gitterboxenlager mit kleineren Abständen der Stapel zueinander. Bei größeren Abständen dagegen ist das Auslösen des Sprinklers abhängig von der Wärmefreisetzung durch die gelagerten Stoffe.

5. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Richtlinien für Sprinkleranlagen
Planung und Einbau 1
Verband der Sachversicherer e.V. Köln
VdS 2092 6/87 (6)
- /2/ Schatz, H.: Löschein-satz bei gelagerten Stoffen.
Teil 4. Löschversuche mit Sprinklern 1
Forschungsbericht Nr. 62 der Arbeitsgemein-schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehr-angelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-technik (1987)
- /3/ Schatz, H.: Löschein-satz bei gelagerten Stoffen.
Teil 5: Löschversuche mit Sprinklern 2
Forschungsbericht Nr. 67 der Arbeitsgemein-schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerwehr-angelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-technik (1988)

- /4/ Kunkelmann, J.: Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen, die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind.
Teil 4: Großbrandversuche 3
Forschungsbericht Nr. 65 der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerweh-
angelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-
technik (1988)
- /5/ Kunkelmann, J.: Brandausbreitung bei verschiedenen Stoffen, die in lagermäßiger Anordnung gestapelt sind.
Teil 5: Großbrandversuche 4
Forschungsbericht Nr. 68 der Arbeitsgemein-
schaft der Innenministerien der Bundesländer.
Arbeitskreis V - Unterausschuß Feuerweh-
angelegenheiten.
Karlsruhe, Forschungsstelle für Brandschutz-
technik (1989)

6. TABELLEN UND BILDER

Tabelle 1. Ansprechzeiten der Brandmelder.

Stelle	a	b	c	d	e	f	
Brandlast/ Zündstelle	Abstand der Lager- stapel	Opt.	Ion.	Opt.	Ion.	Opt.	Opt.
		Melder	Melder	Melder	Melder gepulst	Melder gepulst	Melder
	m	Zeit min:s	Zeit min:s	Zeit min:s	Zeit min:s	Zeit min:s	Zeit min:s
HW5/VM/4	1,0	-	-	-	-	-	-
	0,8	6:10	1:15	2:20	1:16	2:45	2:45
	0,6	3:57	6:08	3:32	4:52	2:51	2:57
	0,4	-	5:38	1:46	0:50	2:26	3:42
	0,2	1:51	0:25	1:41	0:20	1:36	1:36
	0,1	1:16	0:20	0:50	0:30	1:11	1:11
	0,0	3:42	2:36	2:06	1:51	2:01	2:06
PS5/VM/4	1,0	6:54	2:06	1:26	-	3:02	1:26
	0,8	-	0:30	1:31	-	-	1:46
	0,6	1:56	1:31	1:21	0:35	1:51	1:21
	0,4	3:17	0:55	0:35	0:55	1:26	1:21
	0,2	-	0:16	-	-	-	-
	0,1	0:35	0:20	0:35	-	-	0:35
	0,0	1:21	0:30	1:21	0:40	1:24	1:16
HW3/VM/4	0,8	-	7:54	6:28	-	-	7:49
	0,6	3:37	1:31	1:26	-	-	1:31
	0,4	1:16	0:40	1:11	-	-	1:16
	0,2	1:46	0:35	1:36	0:30	1:36	1:31
	0,1	1:01	0:40	1:01	-	1:46	1:01
	0,0	1:46	0:50	1:11	0:50	1:56	1:41
PS3/VM/4	0,8	3:52	4:02	1:26	-	3:03	1:26
	0,6	2:41	3:52	2:06	-	-	2:01
	0,4	1:06	0:45	1:01	-	-	1:06
	0,2	-	0:13	-	-	-	-
	0,1	0:56	0:25	1:06	-	1:31	0:56
	0,0	1:31	0:55	1:06	0:50	1:16	1:06
PS Block/VM		1:46	4:03	1:16	-	-	1:46
HW Block/VM		0:32	2:22	0:27	-	-	0:32
HW Block/VM		-	-	-	-	-	-
HW Block/VM		0:34	0:40	-	-	-	0:34

- nicht einsatzbereit

Tabelle 2. Zerplatzen der Sprinklerglasfäßchen (Fortsetzung).

Stelle Nr.	Abstand der Lager- stapel m	4		5 Löschbeginn		5a		6	
		Zeit min:s	Temp. °C	Zeit min:s	Temp. °C	Zeit min:s	Temp. °C	Zeit min:s	Temp. °C
HW5/VM/4	1,0	12:15	74	=	=	-	-	=	=
	0,8	14:15	85	=	=	-	-	=	=
	0,6	15:01	90	=	=	-	-	=	=
	0,4	12:48	102	=	=	-	-	26:34	60
	0,2	12:05	307	12:23	152	-	-	11:18	189
	0,1	=	=	11:00	138	=	=	=	=
	0,0	=	=	11:05	140	=	=	=	=
PS5/VM/4	1,0	10:15	99	14:20	60	=	=	=	=
	0,8	=	=	10:10	81	=	=	=	=
	0,6	8:30	298	9:20	60	=	=	=	=
	0,4	9:32	290	10:45	85	9:50	77	=	=
	0,2	8:50	126	8:45	269	-	-	=	=
	0,1	=	=	7:40	62	=	=	=	=
	0,0	9:35	261	10:12	62	9:55	65	=	=
HW3/VM/4	0,8	=	=	=	=	=	=	=	=
	0,6	11:50	110	=	=	=	=	=	=
	0,4	9:45	176	=	=	=	=	=	=
	0,2	9:58	165	10:58	104	-	-	9:29	137
	0,1	9:25	184	9:55	250	=	=	=	=
	0,0	-	-	10:20	198	10:10	202	=	=
PS3/VM/4	0,8	8:55	125	=	=	=	=	=	=
	0,6	10:20	176	=	=	=	=	=	=
	0,4	6:30	165	=	=	=	=	13:25	331
	0,2	8:52	517	8:58	174	-	-	8:55	287
	0,1	5:45	221	6:05	257	6:05	280	6:00	65
	0,0	6:42	169	8:15	228	7:45	210	=	=
Stelle Nr.	5 Löschbeginn		5a						
PS Block/VM		4:45	70	4:40	70				
HW Block/VM		6:20	110	6:10	228				
HW Block/VM		5:37	257	5:39	253				
HW Block/VM		5:10	588	5:00	441				

= nicht ausgelöst
- nicht vorhanden

Tabelle 3. Aufgefangene Wassermengen in Abhängigkeit von der Brandlast und dem Stapelabstand.

Sprinkler Typ C	Abstand der Lager- stapel	Wasser insges.	Wasser Wanne
Brandlast/ Zündstelle	m	l	l
HW5/VM/4	1,0	kL	
	0,8	kL	
	0,6	kL	
	0,4	kL	
	0,2	1025	441
	0,1	860	396
	0,0	1255	553 *1
PS5/VM/4	1,0	380	230
	0,8	1160	680 *1
	0,6	1165	641 *2
	0,4	750	399
	0,2	770	386
	0,1	1560	695 *4
	0,0	1380	593 *2
HW3/VM/4	0,8	kL	
	0,6	kL	
	0,4	kL	
	0,2	620	277
	0,1	1160	561
	0,0	750	376
PS3/VM/4	0,8	kL	
	0,6	kL	
	0,4	kL	
	0,2	620	335
	0,1	990	470
	0,0	600	256
		1	1
PS Block/VM		1480	492 o
HW Block/VM		1190	505 o
HW Block/VM		1310	474 o
HW Block/VM		1340	427 o

* Anzahl der übergelaufenen Wannen
o trotz größerer Wassermengen nicht gelöscht

Tabelle 4. Anzahl der verbrannten, angebrannten, feuchten bzw. nicht verbrannten Wellpappkartons in Abhängigkeit von der Brandlast und des Abstandes der Lagerstapel.

Sprink- ler Typ C	Abstand der Lager- stapel m	verbrannt				angebrannt				feucht bzw. nicht verbrannt			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
		a n d e r S t e l l e											
HW5/VM/4	1,0 *	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	20
	0,8 *	20	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0	20
	0,6 *	20	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0	20
	0,4 *	20	20	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,2	18	18	4	8	2	2	16	8	0	0	0	4
	0,1	16	1	1	0	4	5	6	0	0	14	13	20
	0,0	20	8	0	0	0	4	13	0	0	8	7	20
PS5/VM/4	1,0 °	20	0	18	0	0	0	2	0	0	20	0	20
	0,8	20	0	11	0	0	0	6	0	0	20	3	20
	0,6	20	2	12	0	0	1	5	0	0	17	3	20
	0,4	20	6	14	0	0	1	6	0	0	13	0	20
	0,2	19	18	9	6	1	2	11	5	0	0	0	9
	0,1	20	7	7	0	0	4	6	3	0	9	6	17
	0,0	20	16	5	2	0	2	13	13	0	2	2	5
HW3/VM/4	0,8 *	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12
	0,6 *	12	0	6	0	0	0	6	0	0	12	0	12
	0,4 *	12	0	9	0	0	0	0	0	0	12	3	12
	0,2	12	12	9	9	0	0	0	0	0	0	3	3
	0,1	12	2	9	0	0	10	3	0	0	0	0	12
	0,0	12	3	6	3	0	3	3	2	0	6	3	7
PS3/VM/4	0,8 *	12	0	12	0	0	0	0	0	0	12	0	12
	0,6 *	12	0	12	0	0	0	0	0	0	12	0	12
	0,4 *	12	12	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,2	12	10	6	0	0	2	6	10	0	0	0	2
	0,1	11	2	9	0	1	1	0	0	0	9	3	12
	0,0	12	8	12	4	0	2	0	4	0	2	0	4

* kein Löscheinsatz

° Sprinkler gerade noch ausgelöst

Blocklager: Einige Kartons gelangten beim Zusammenfallen außer Reichweite der Flammen und wurden beim Löscheinsatz nur feucht, etwa 3/4 der Kartons verbrannten vollständig.

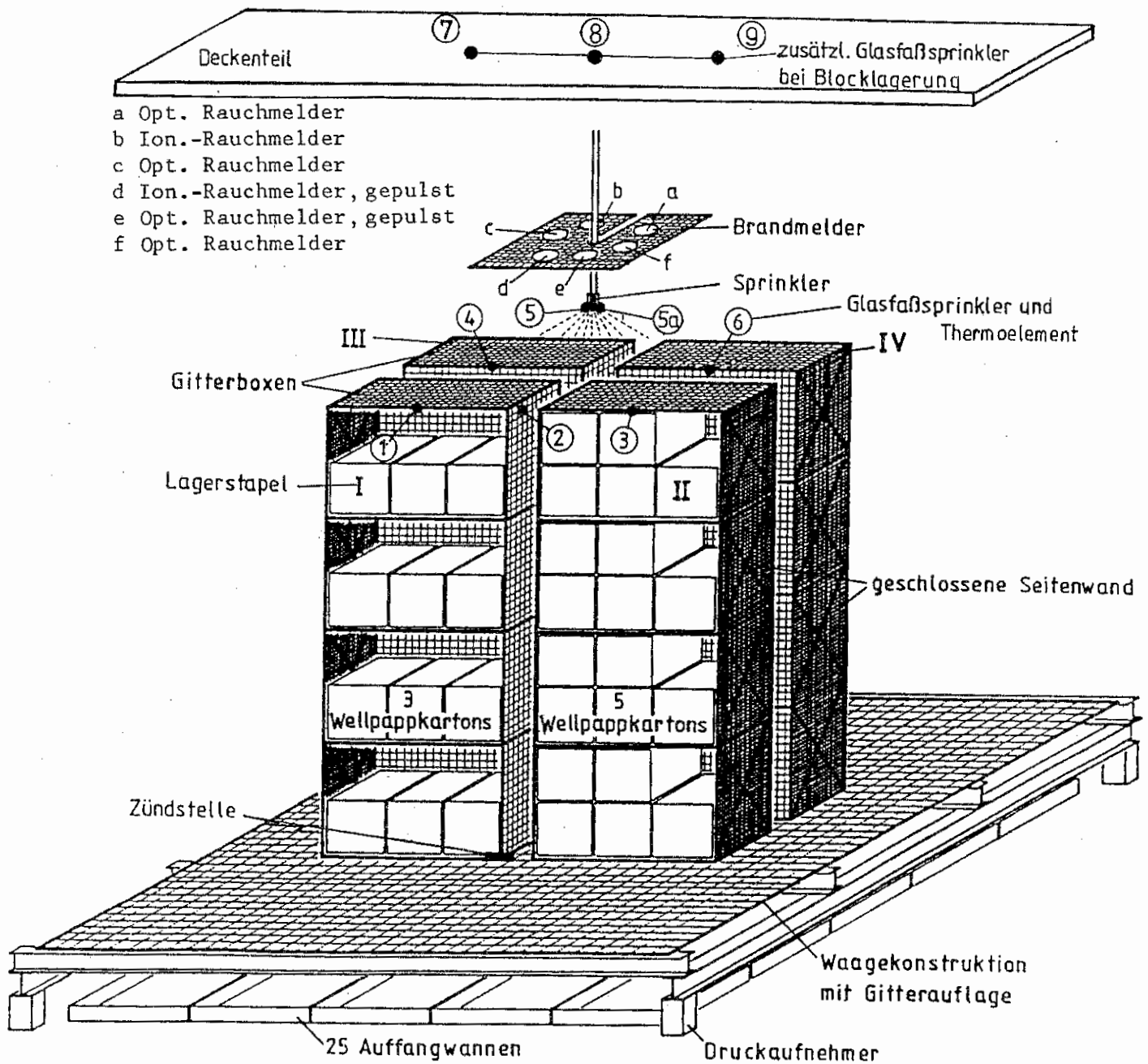
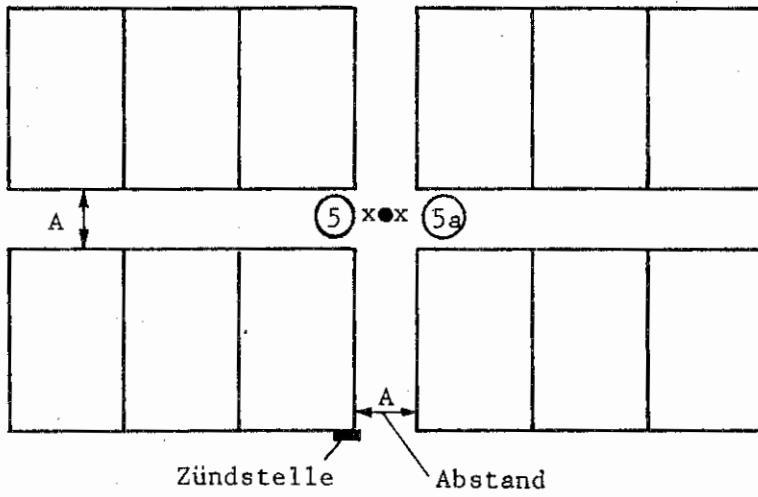


Bild 1. Schema des Versuchsaufbaus.

Anordnung: Gitterboxen



Höhe: 4 Gitterboxen

gelagert:

80 Kartons (HW5, PS5)

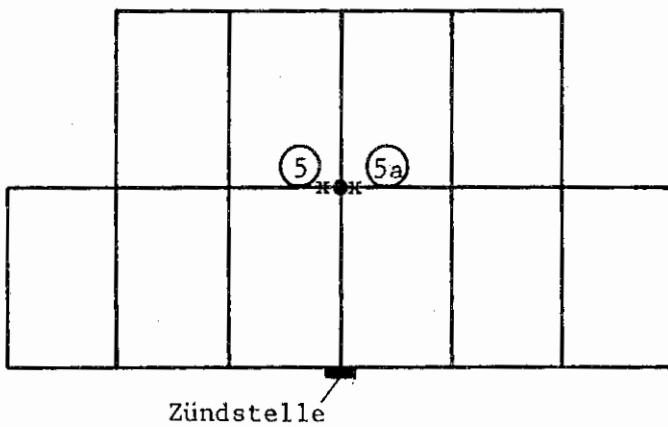
bzw.

48 Kartons (HW3, PS3)

• Sprinkler

x Glasfaßsprinkler ⑤ und ⑤a

Anordnung: Block

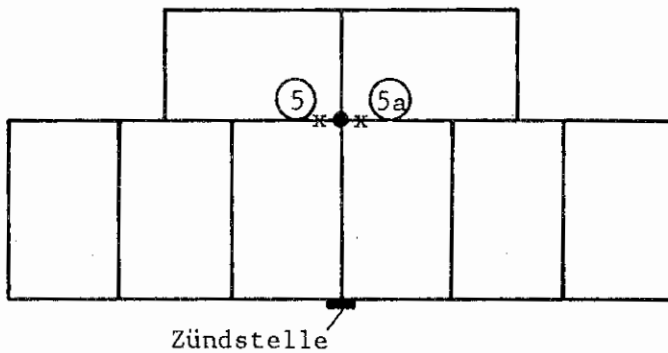


Höhe: 8 Kartons

gelagert:

80 Kartons

Anordnung: Block



Höhe: 6 Kartons

gelagert:

48 Kartons

Bild 2. Aufsicht des Lageraufbaus bei Gitterboxen- und Blocklagerung.

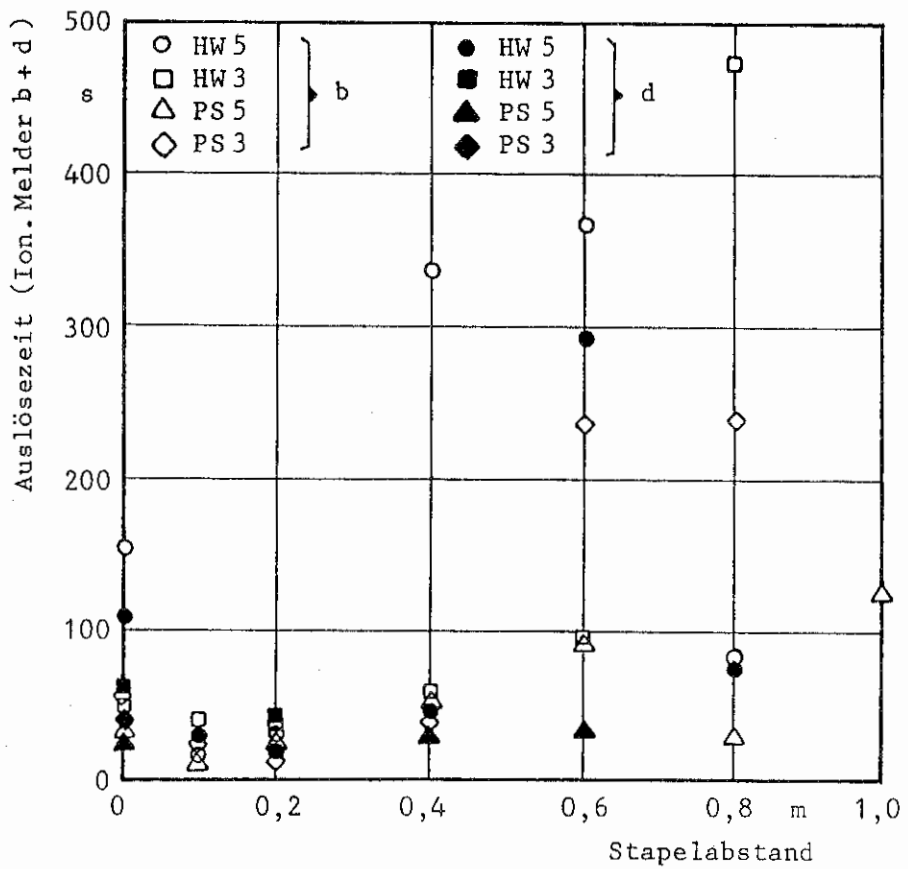
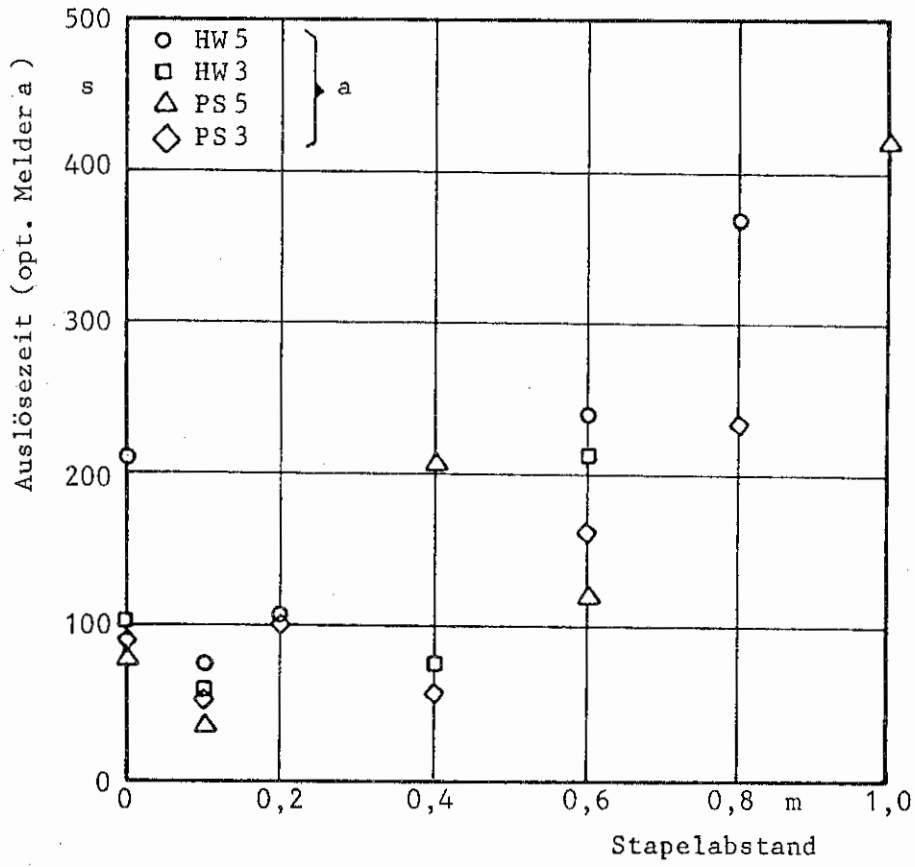


Bild 3. Auslösezeiten der Brandmelder in Abhängigkeit von den Abständen der verschiedenen Lagerstapel.

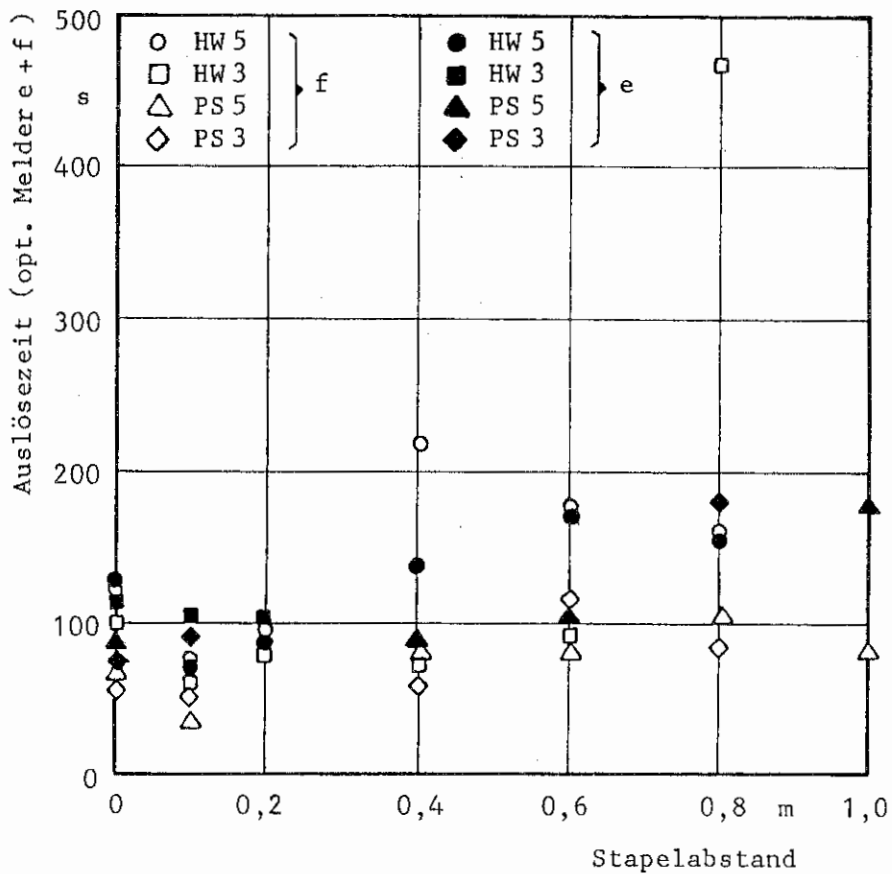
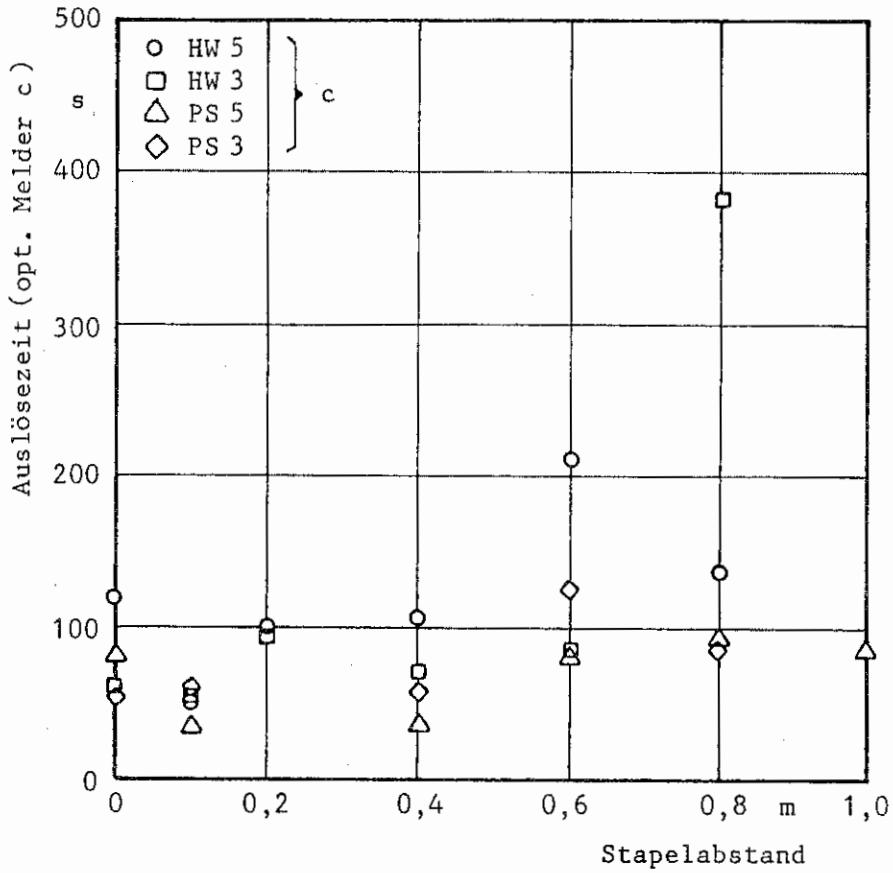


Bild 4. Auslösezeiten der Brandmelder in Abhängigkeit von den Abständen der Verschiedenen Lagerstapel.

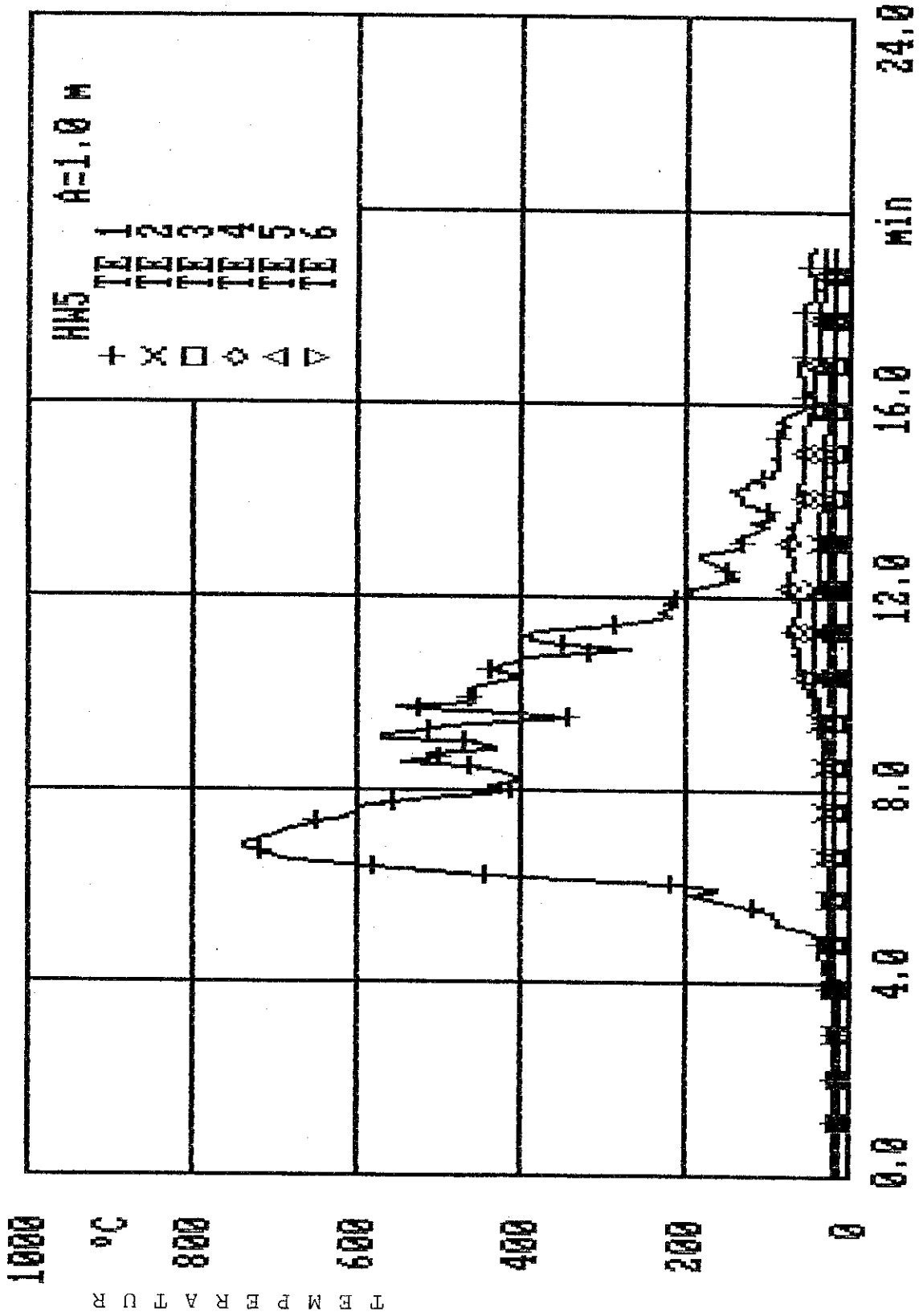


Bild 5. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen TE1 bis TE6.

Stoßschutzmaterial Holzwolle, Abstand der Stapel 1,0 m.

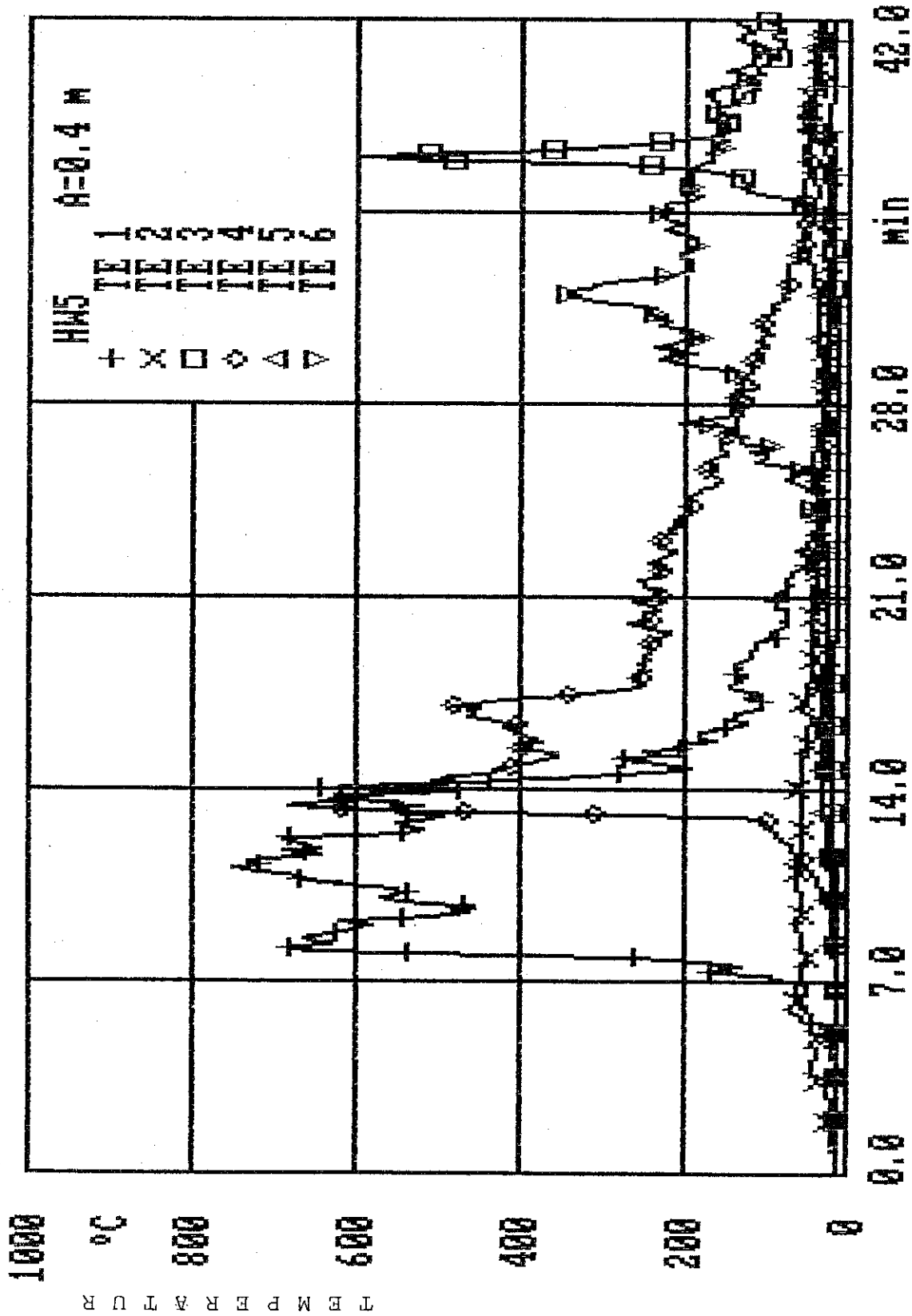


Bild 6. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Messstellen TE1 bis TE6. Stoßschutzmaterial Holzwolle, Abstand der Stapel 0,4 m.

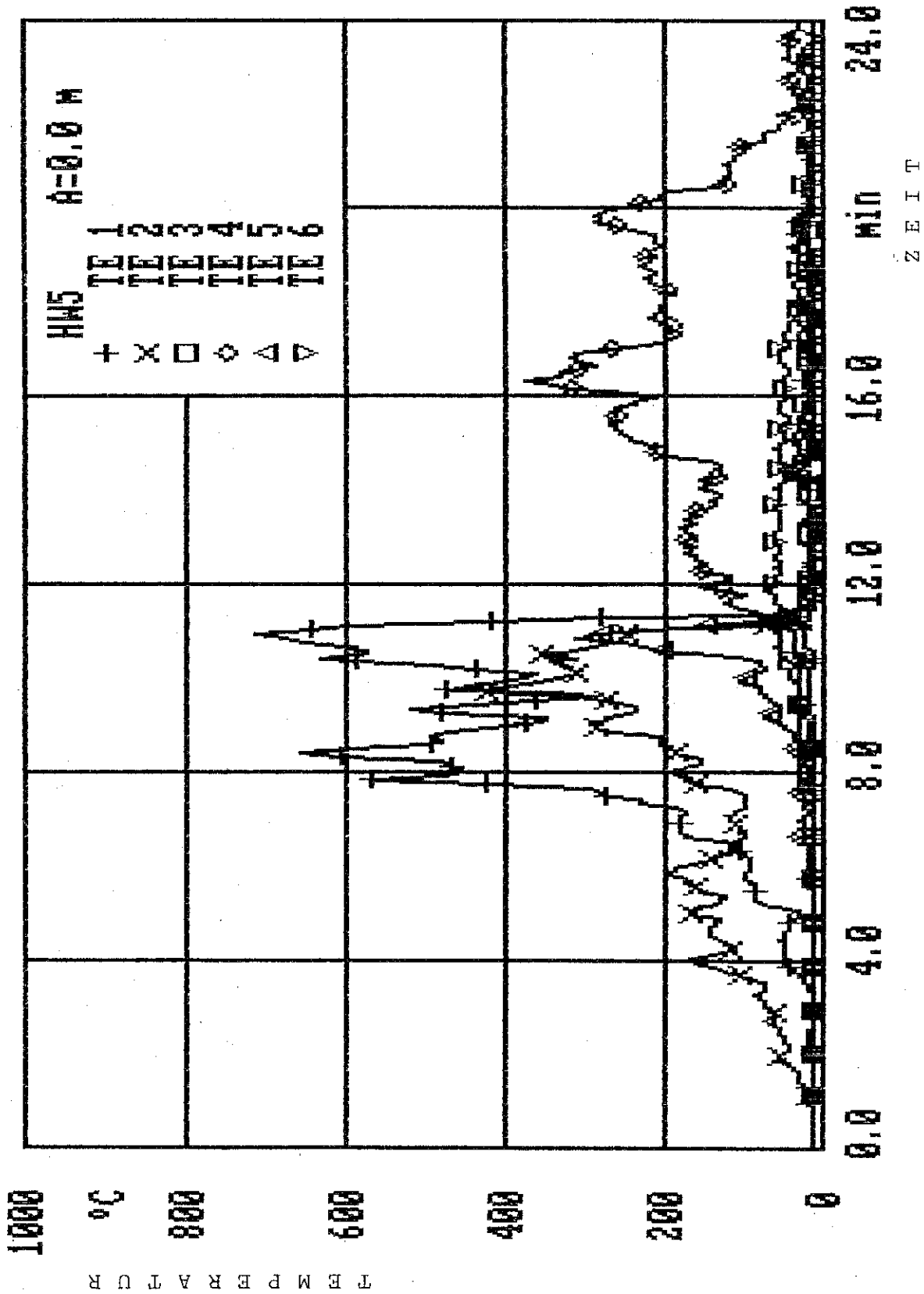


Bild 7. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen TE1 bis TE6. Stoßschutzmaterial Holzwolle, Abstand der Stapel 0,0 m.

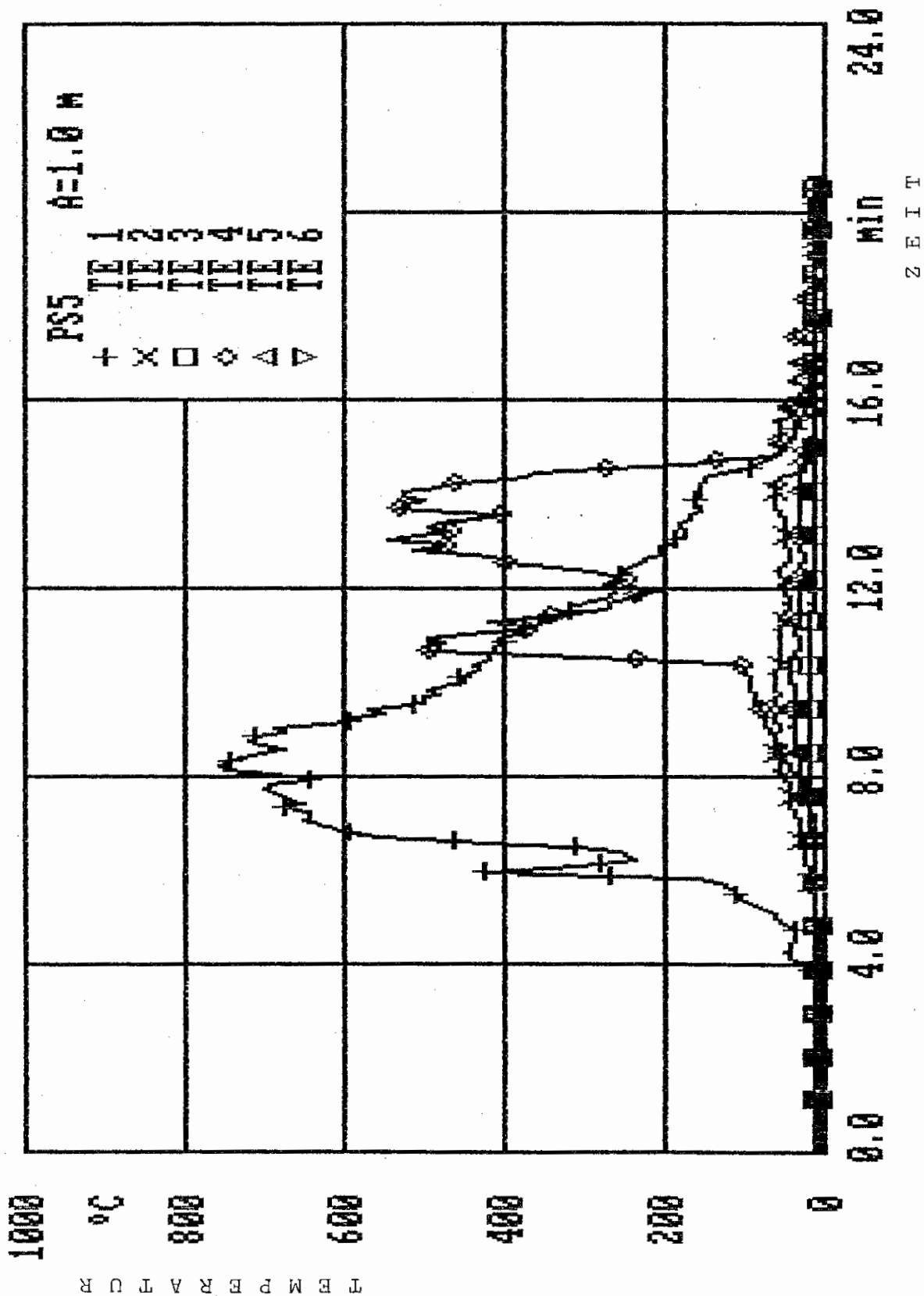


Bild 8. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen TE1 bis TE6. Stoßschutzmaterial Polystyrol, Abstand der Stapel 1,0 m.

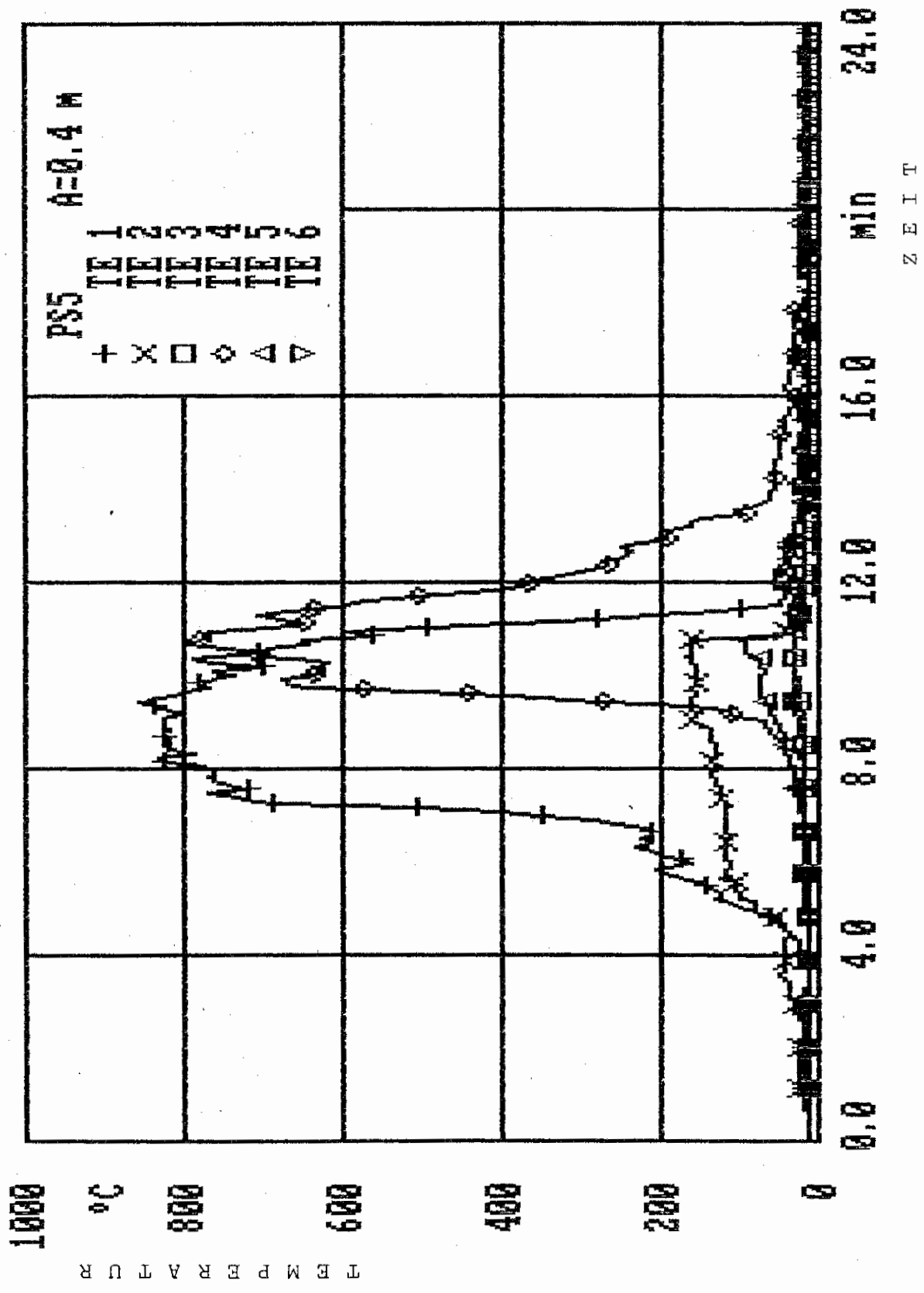


Bild 9. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen TE1 bis TE6. Stoßschutzmaterial Polystyrol, Abstand der Stapel 0,4 m.

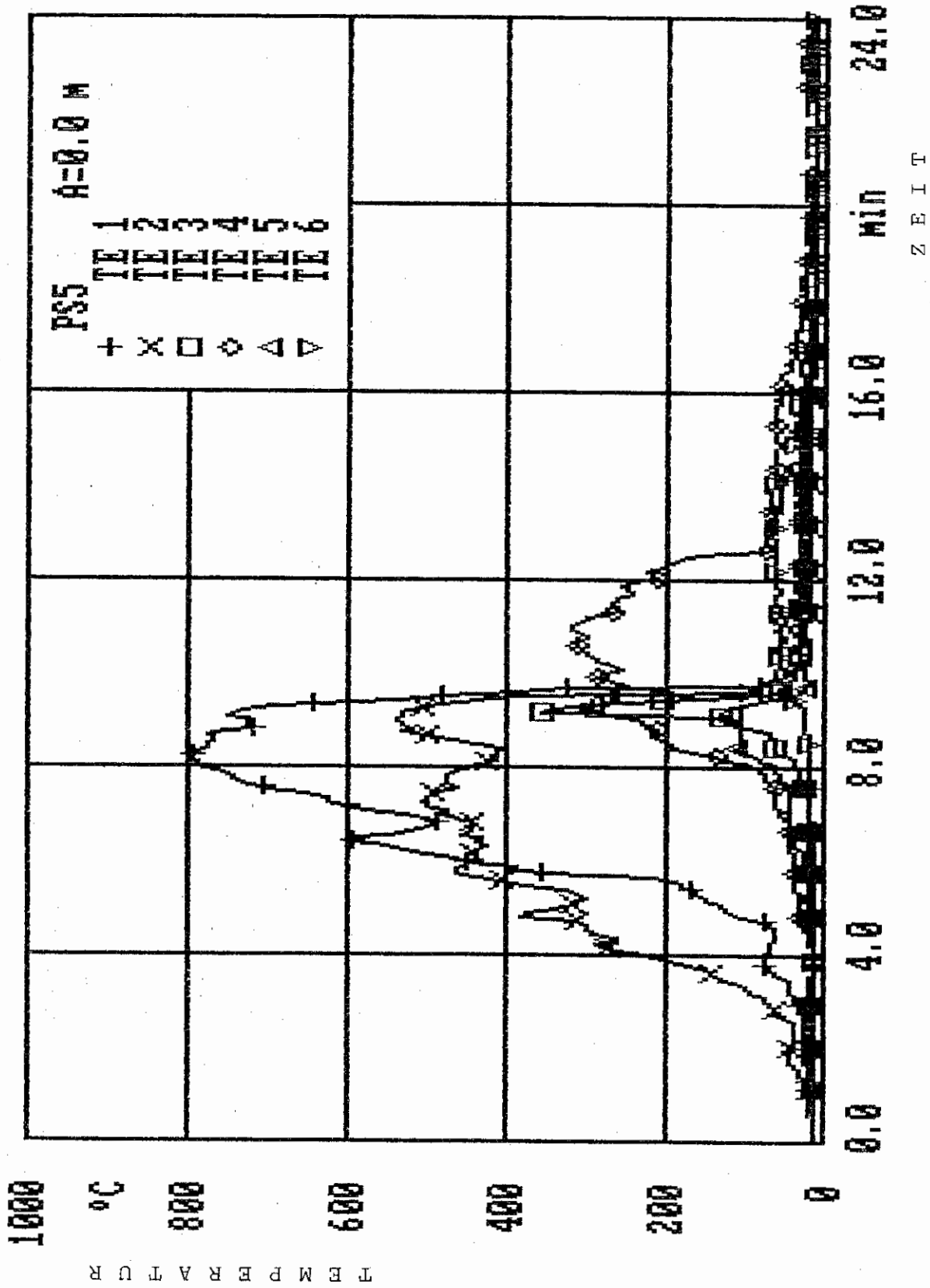


Bild 10. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen TE1 bis TE6.
 Stoßschutzmaterial Polystyrol, Abstand der Stapel 0,0 m.

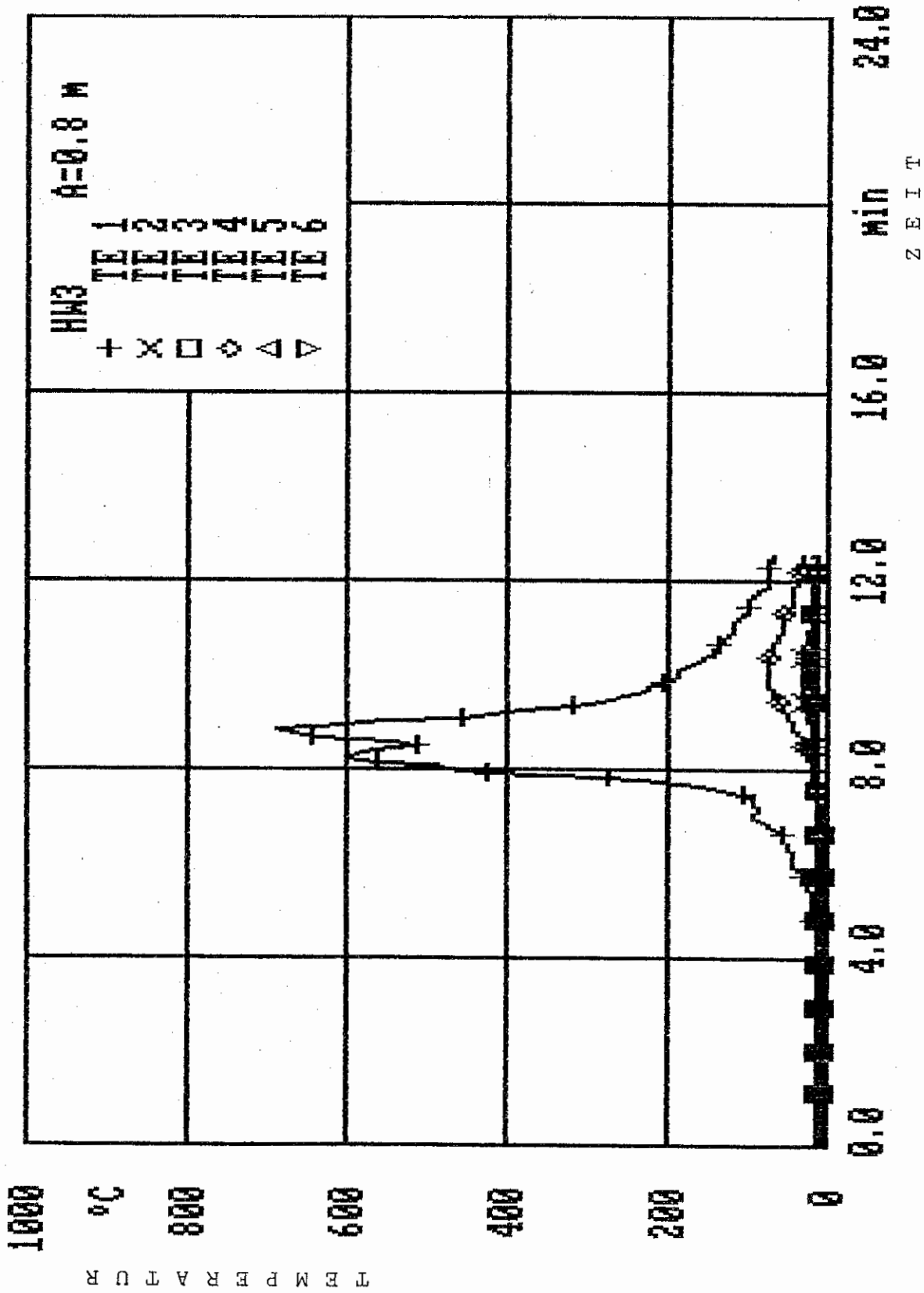


Bild 11. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen TE1 bis TE6. Stoßschutzmaterial Holzwolle, Abstand der Stapel 0,8 m.

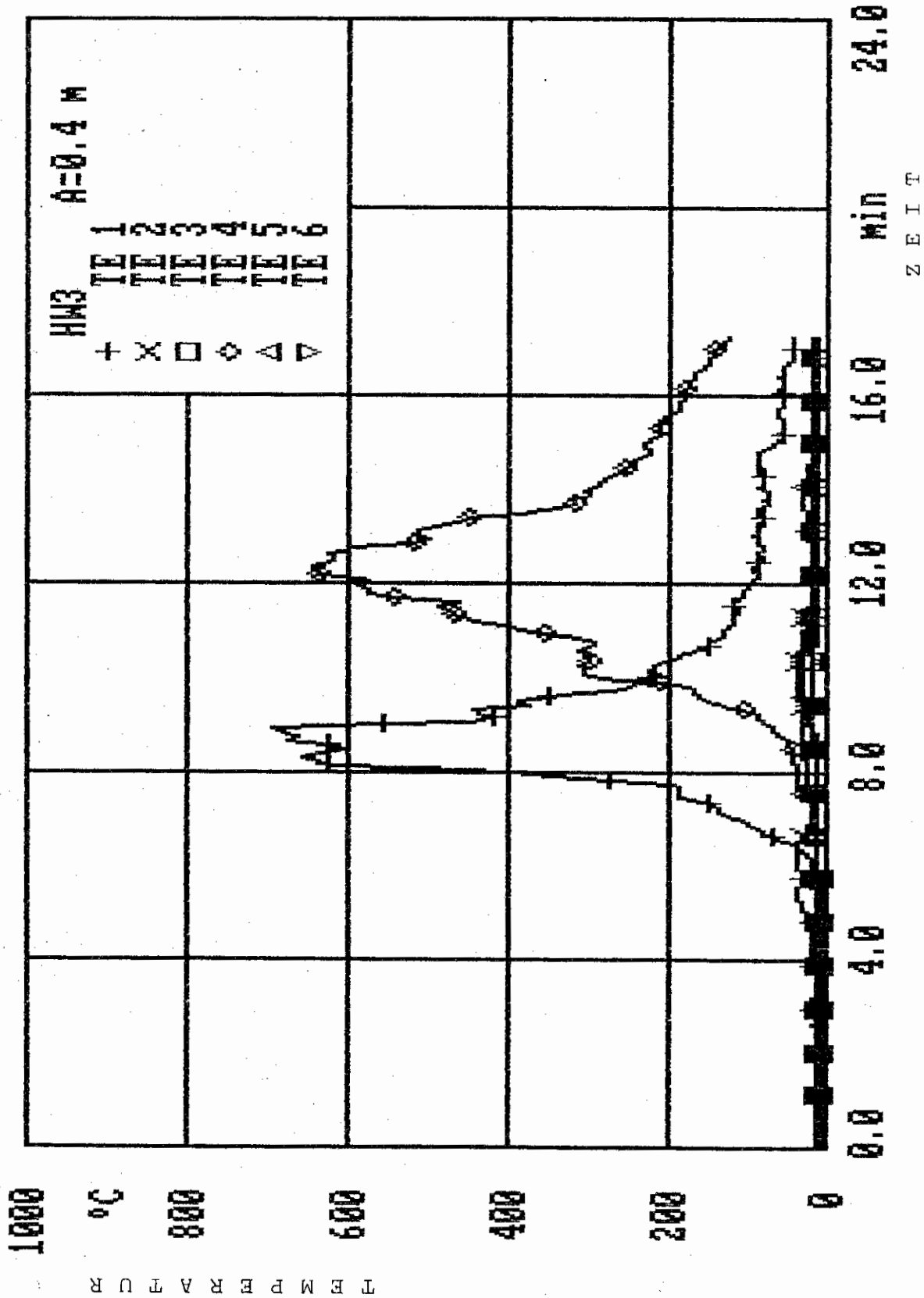


Bild 12. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Messstellen TE1 bis TE6. Stoßschutzmaterial Holzwolle, Abstand der Stapel 0,4 m.

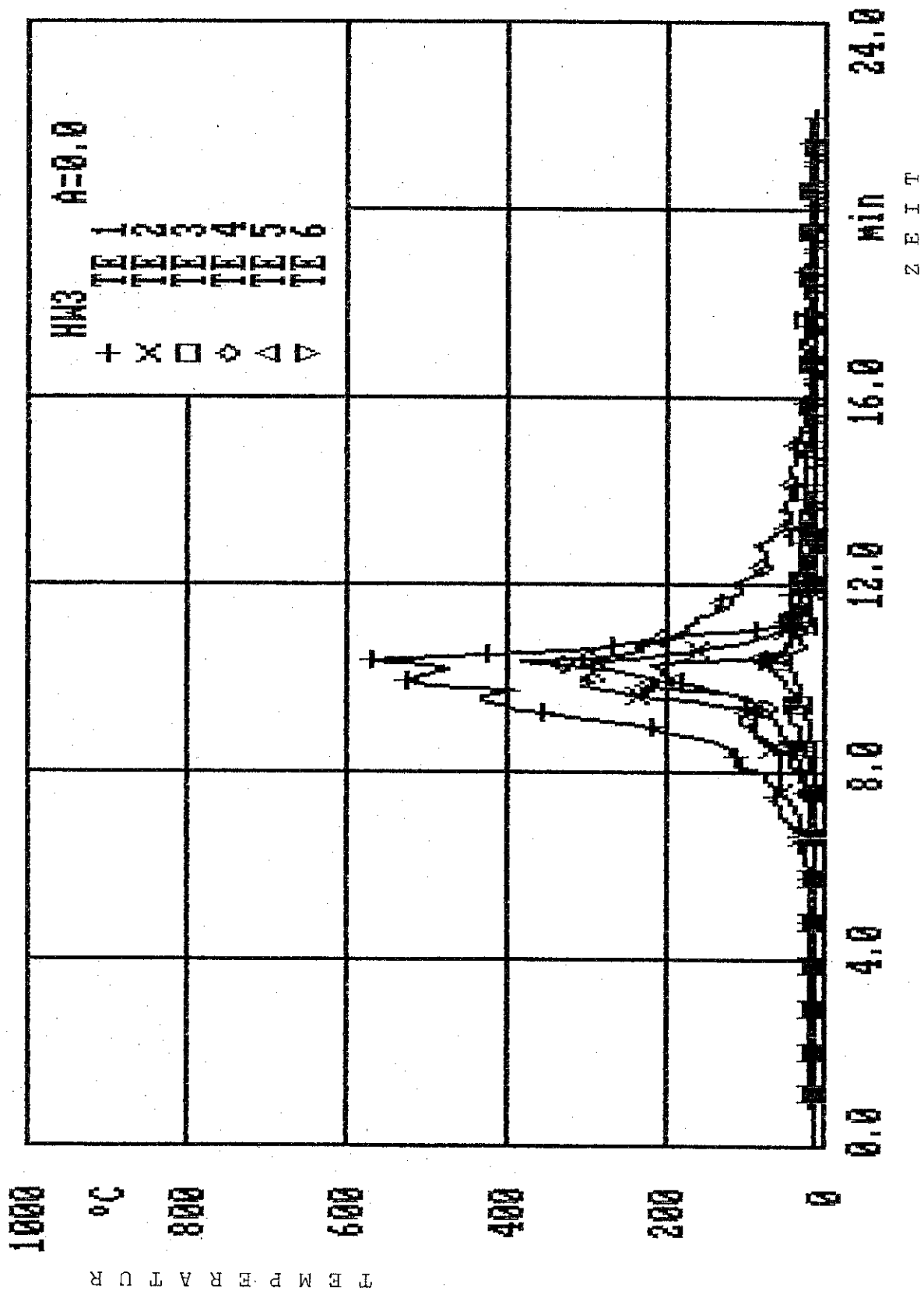


Bild 13. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen TE1 bis TE6. Stoßschutzmaterial Holzwolle, Abstand der Stapel 0,0 m.

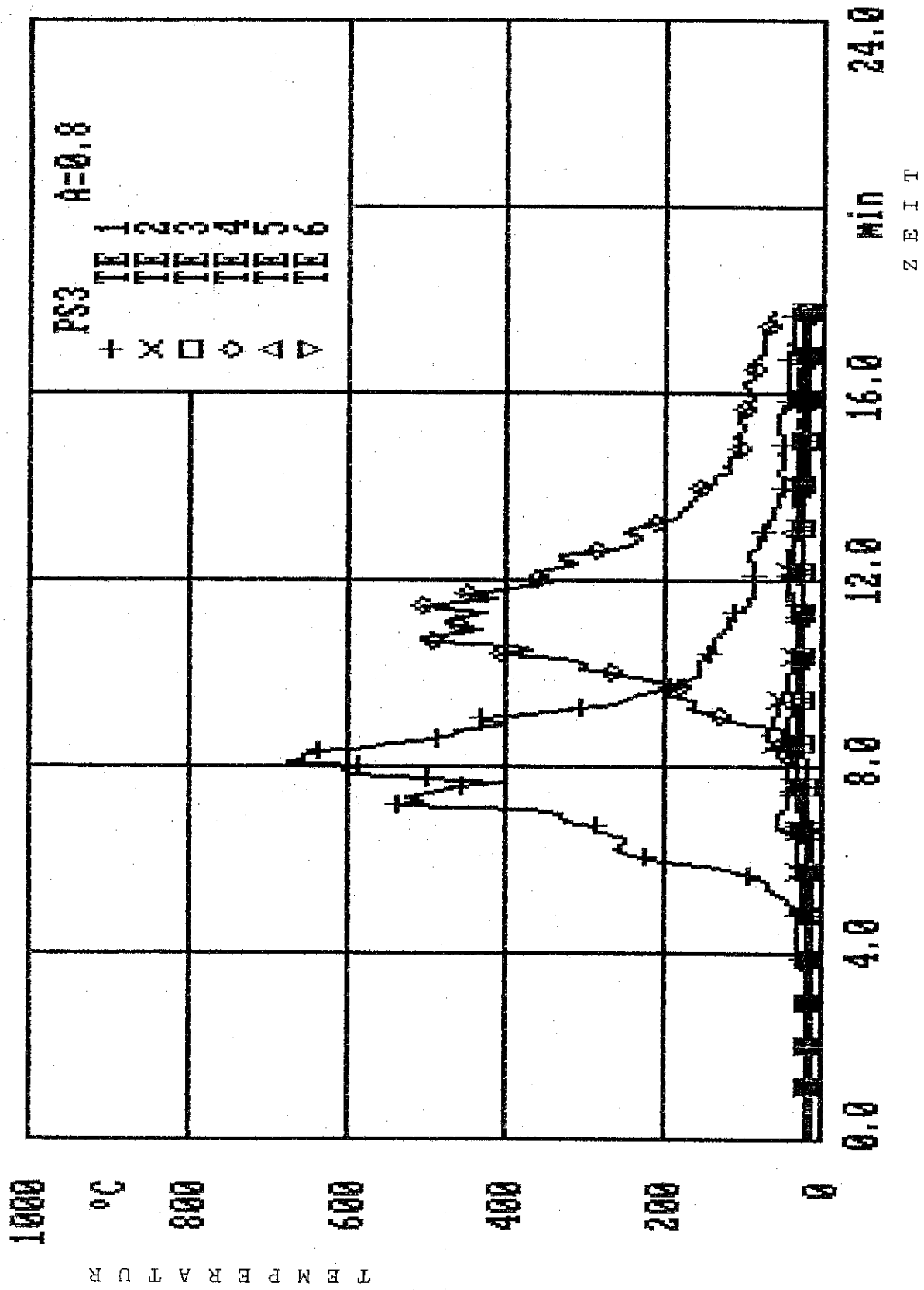


Bild 14. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen TE1 bis TE6. Stoßschutzmaterial Polystyrol, Abstand der Stapel 0,8 m.

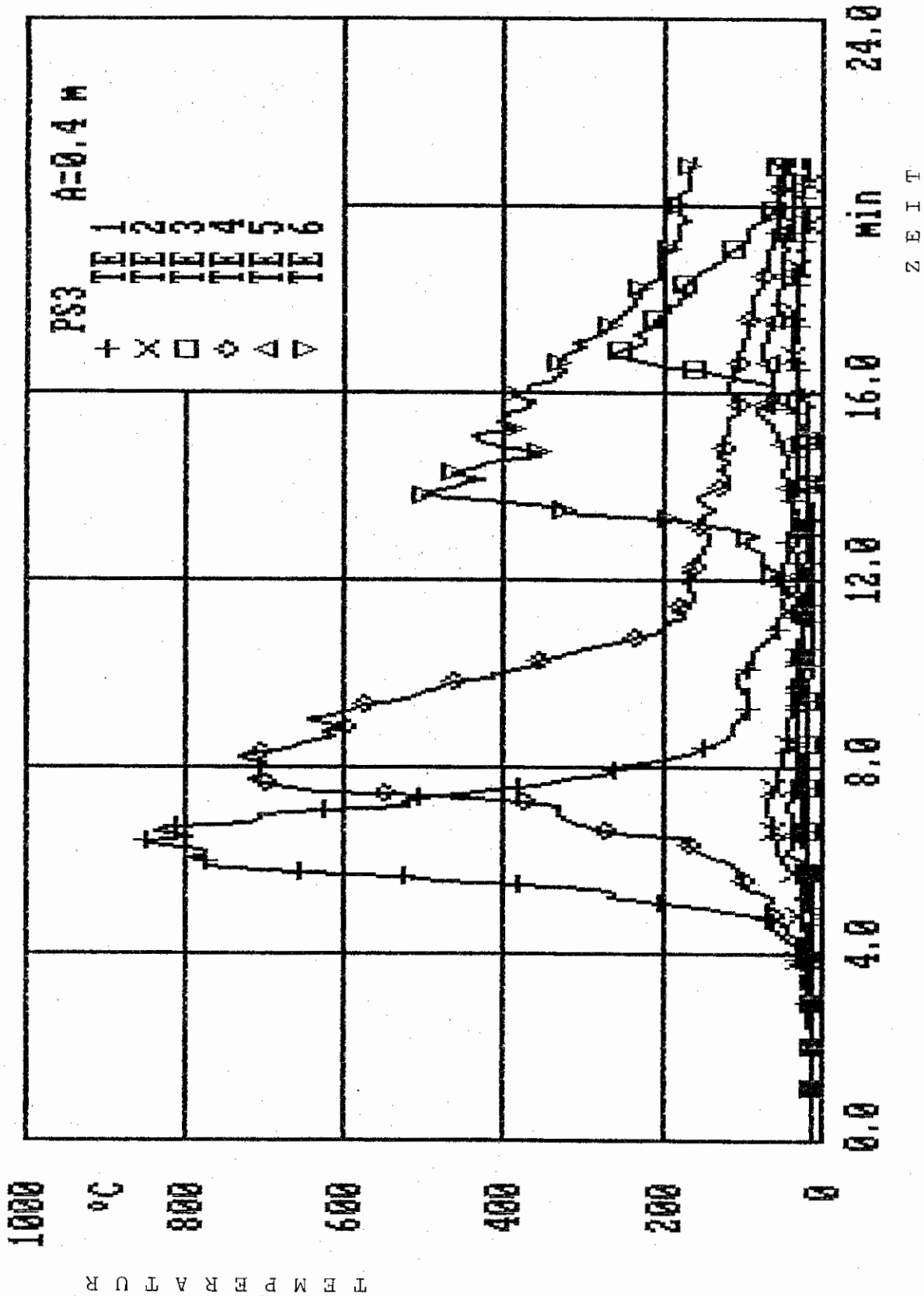


Bild 15. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen TE1 bis TE6. Stoßschutzmaterial Polystyrol, Abstand der Stapel 0,4 m.

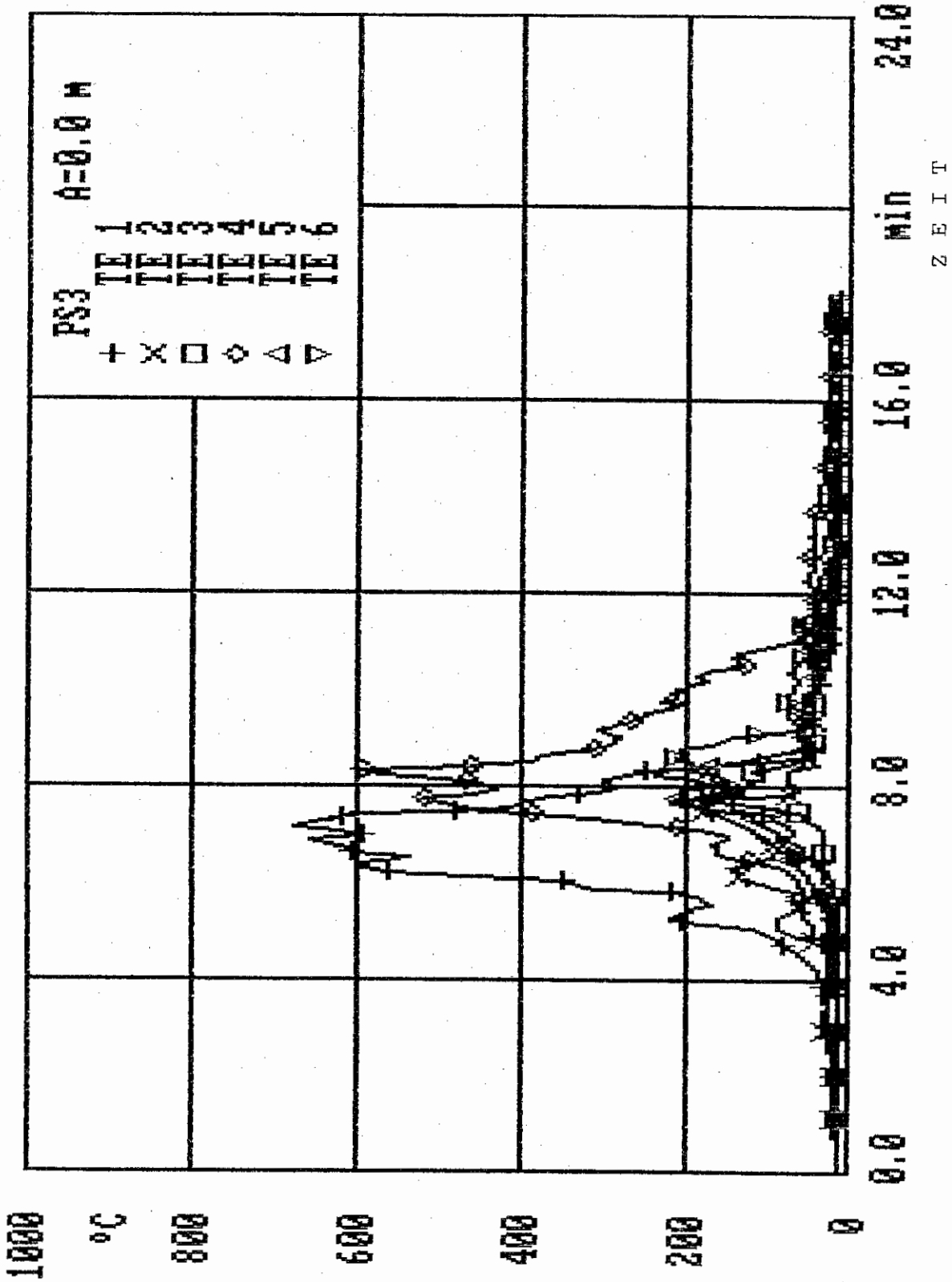


Bild 16. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen TE1 bis TE6. Stoßschutzmaterial Polystyrol, Abstand der Stapel 0,0 m.

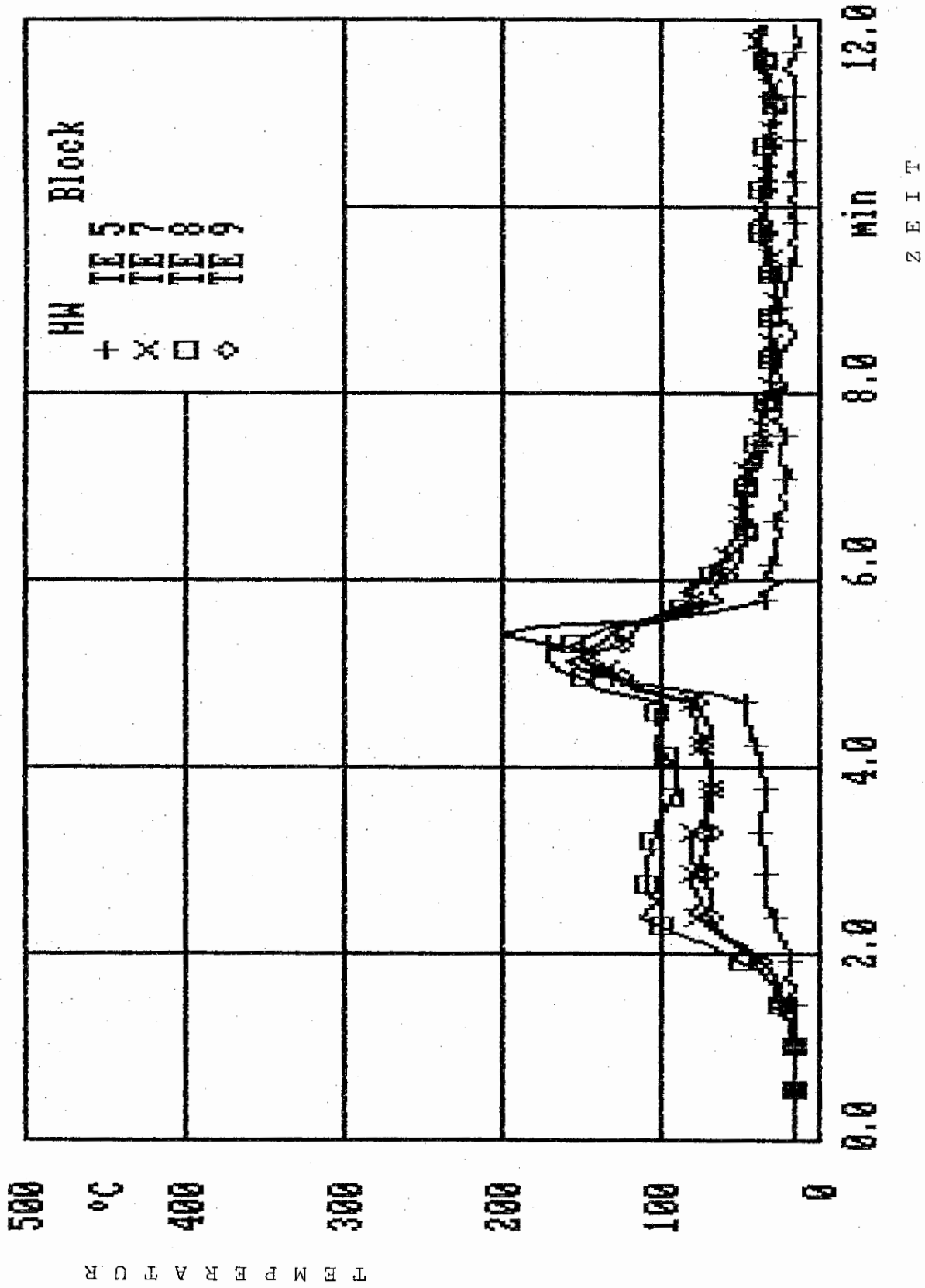


Bild 17. Zeitlicher Verlauf der örtlichen Temperaturen an den Meßstellen

TE5, TE7, TE8 und TE9.

Stoßschutzmaterial Holzwolle, Blocklager.



Bild 18. PS3, Brandbeginn



Bild 19. PS5, fortgeschr. Brand



Bild 20. Block, vert. Brandverlauf



Bild 21. Block, Brandentwicklung



Bild 22. Block, Zusammenstürzen



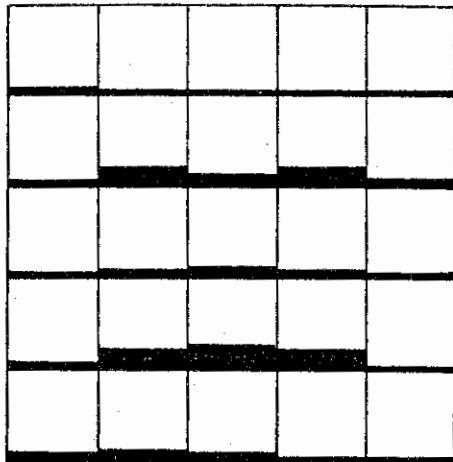
Bild 23. Block, Löscheinsatz



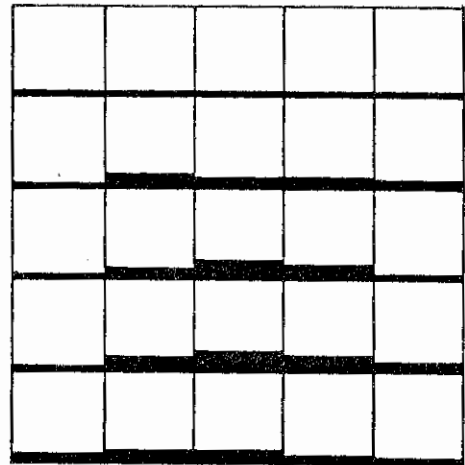
Bild 24. Block, Zusammenstürzen



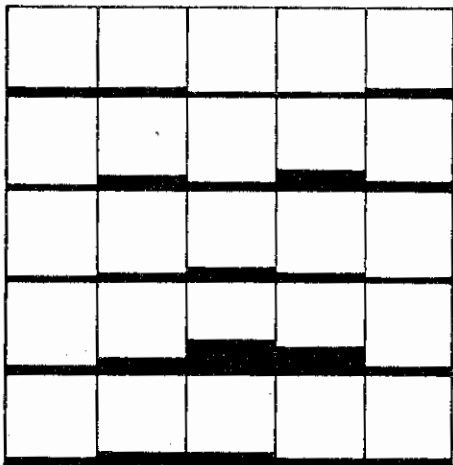
Bild 25. Block, nichtgelöschte Reste



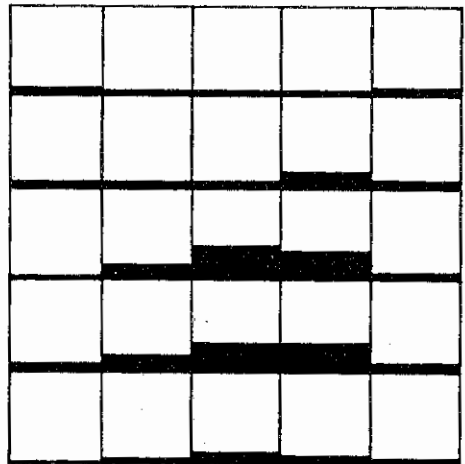
HW5 Abstand 0 m



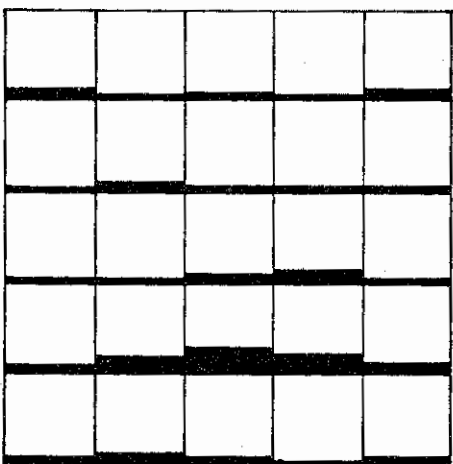
PS5 Abstand 0 m



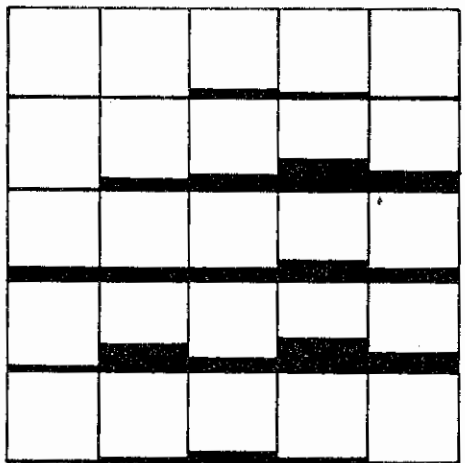
HW3 Abstand 0 m



PS5 Abstand 0,4 m



PS3 Abstand 0 m



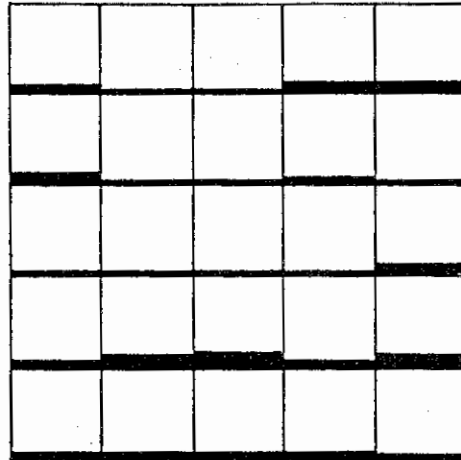
PS5 Abstand 1,0 m

I 15mm/min

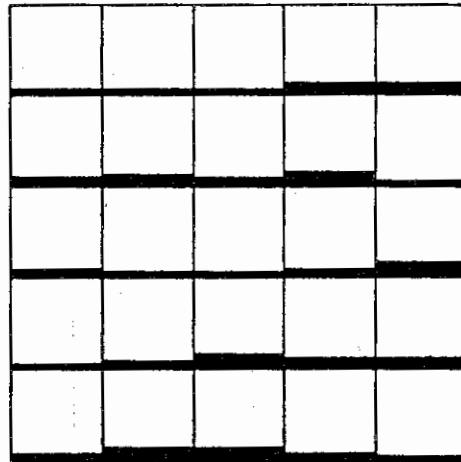
Sprinkler Typ C

Bild 26. Wasserbeaufschlagung bzw. Wasserverteilung auf eine vorgegebene Fläche bei Gitterboxenlagerung mit unterschiedlichen Brandlasten und Abständen.

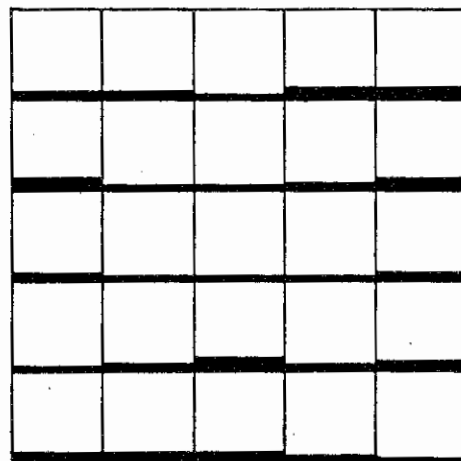
Block PS
72 Kartons



Block HW
72 Kartons



Block HW
60 Kartons



I 15 mm/min Sprinkler Typ C

Bild 27. Wasserbeaufschlagung bzw. Wasserverteilung auf eine vorgegebene Fläche bei Blocklagerung mit unterschiedlichen Brandlasten.

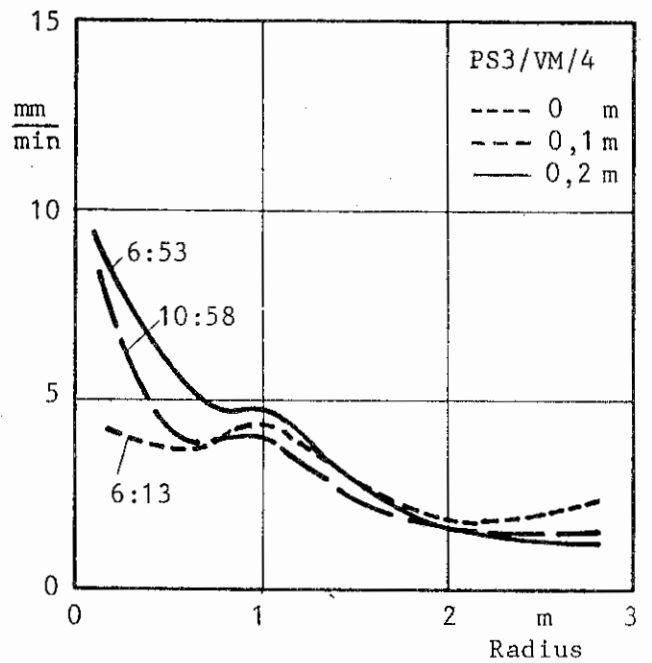
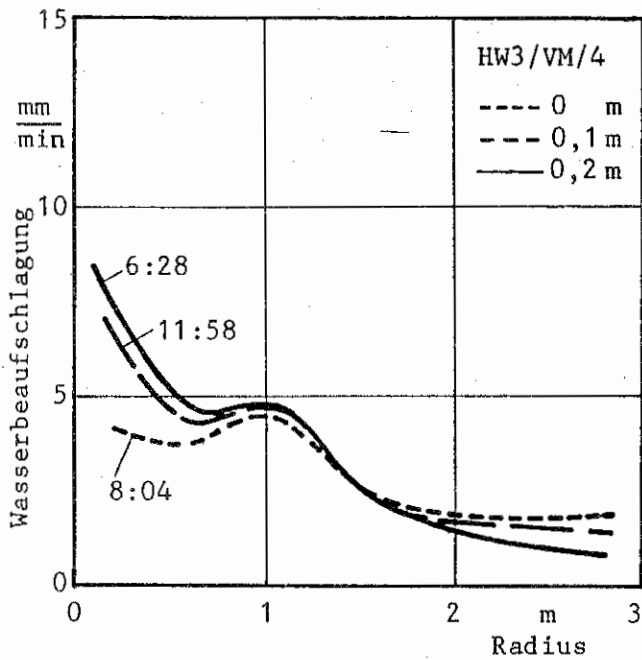
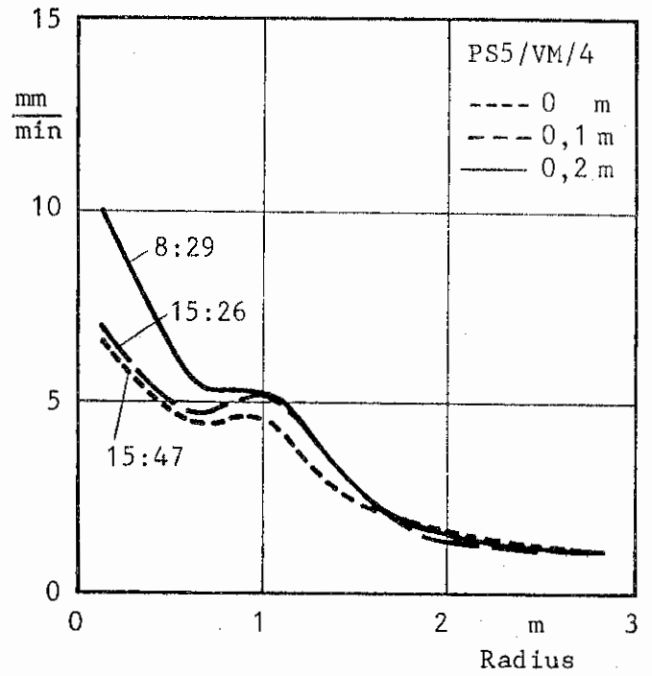
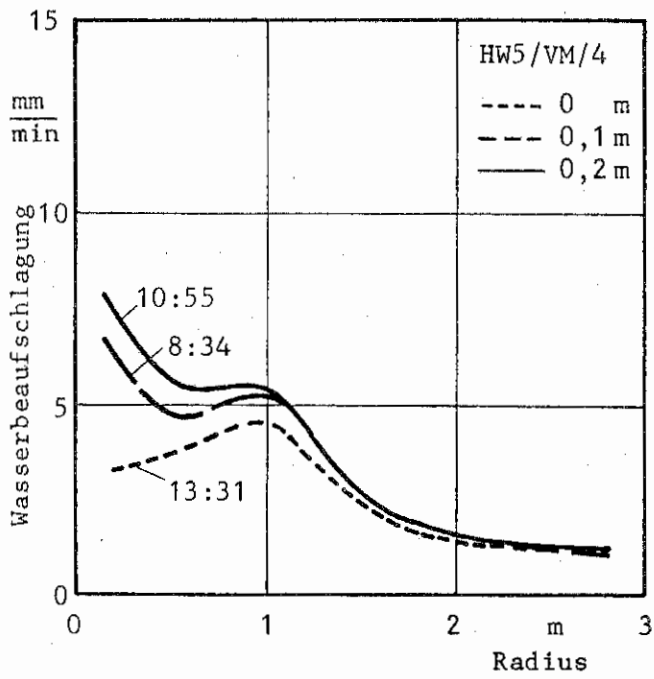


Bild 28. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius bei unterschiedlichen Brandlasten und Abständen zwischen den Gitterboxen.

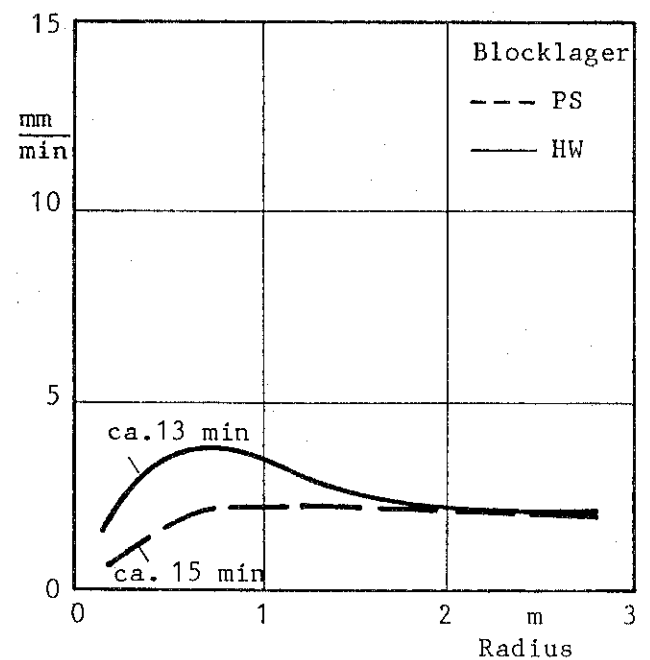
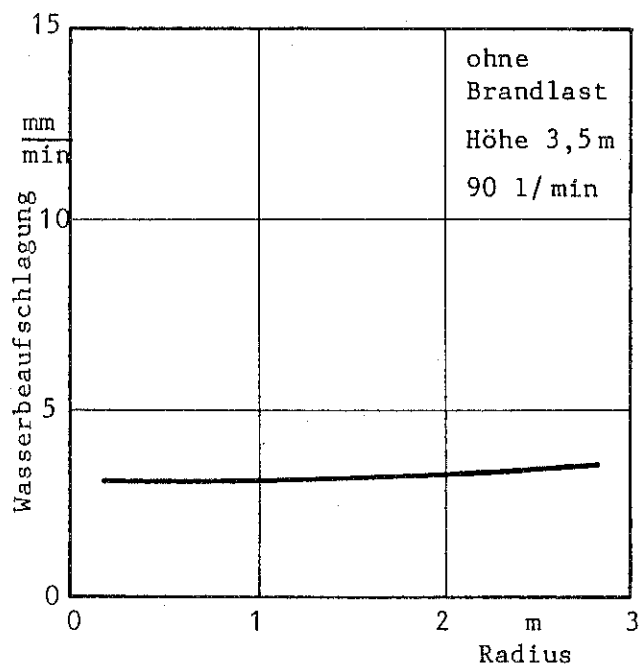
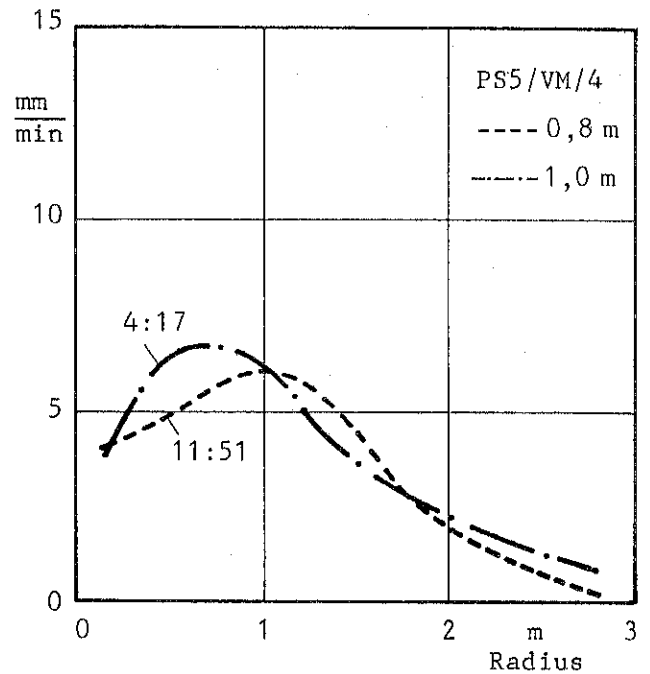
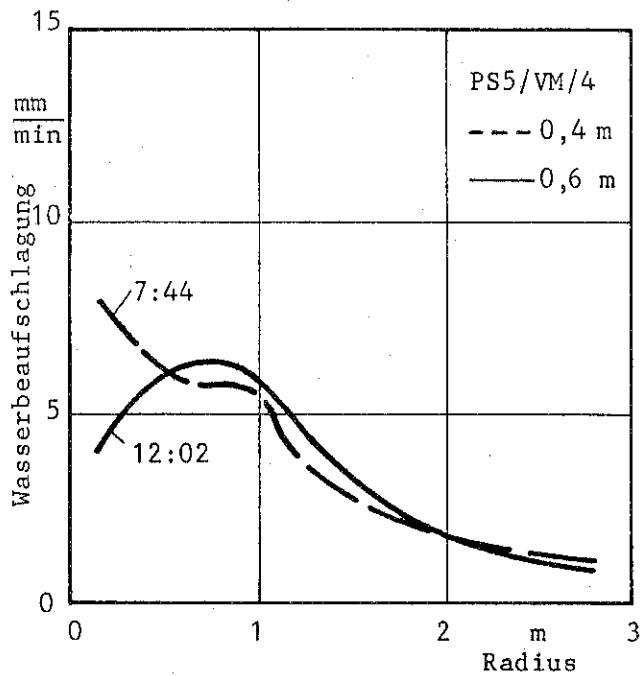


Bild 29. Wasserbeaufschlagung in Abhängigkeit vom Radius bei unterschiedlichen Brandlasten und Abständen zwischen den Gitterboxen, ohne Brandlast und beim Blocklager.