

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

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

31

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

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

Forschungsbericht Nr 31

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

von
Dipl.-Ing. Peter Fuchs

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe
Februar 1977

FA.Nr. 69 (2/75)

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. VERSUCHSANLAGE UND MESSEINRICHTUNG	1
3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	3
4. VERSUCHSAUSWERTUNG UND DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE	4
4.1. Brandentwicklung	4
4.2. Temperaturentwicklung	6
4.3. Optische Rauchdichte	8
4.4. Schadenswasser	8
4.5. Löschmittel und Löschzeiten	10
4.6. Brand- und Löschversuch mit halber Brandlast	16
5. ENTWICKLUNG EINER MODELLBRANDLAST	18
6. BEURTEILUNG DER LÖSCHWIRKUNG	20
7. ZUSAMMENFASSUNG	22
8. LITERATURVERZEICHNIS	24
9. TABELLE UND BILDER	26

1. EINLEITUNG

Der bei einem Schadenfeuer entstehende Brandschaden wird zum einen unmittelbar durch den Brand, zum anderen aber auch durch die Löschmaßnahmen selbst verursacht. Dabei kommt es immer wieder vor, daß der durch überschüssiges Löschwasser entstandene Schaden einen erheblichen Anteil am Gesamtschaden ausmacht. Es ist daher Ziel dieses Forschungsvorhabens, geeignete Löschmittel und -methoden zur Brandbekämpfung zu finden, die den Wasserschaden verringern. Dazu werden Brand- und Löschversuche in einem Versuchsraum natürlicher Größe durchgeführt, wobei der Brand in Zusammenarbeit mit der Berufsfeuerwehr Karlsruhe möglichst praxisnah gelöscht wird.

Für die Beurteilung der Löschwirkung verschiedener Löschmittel ist es wesentlich, daß für jeden Versuch vergleichbare Versuchsbedingungen vorliegen. Von dieser Überlegung ausgehend wurde eine Versuchsanlage zur Simulation von Zimmerbränden im Maßstab 1 : 1 erstellt. Sie wurde so ausgelegt, daß alle Daten, die für die Beurteilung der Größe und des Verlaufs eines Brandes wichtig sind, gemessen werden können. Die hier vorliegende Arbeit beschreibt den 2. Teil des Forschungsprogramms, wobei alte Möbel als Brandgut verwendet werden und diese Versuche mit den im ersten Teil [1] durchgeführten Versuchen mit Holzkrippen als Brandgut verglichen werden [6].

2. VERSUCHSANLAGE UND MESSEINRICHTUNG

Der Versuchsraum mit einer Grundfläche von ca. $12,8 \text{ m}^2$ weist eine Gesamthöhe von ca. 2,80 m auf. Ein Zwischenboden ist als Waageplattform konstruiert, so daß die lichte Höhe im Raum ca. 2,20 m beträgt. Der Zwischenboden wird über zwei Waagebalken auf drei Kraftmeßdosen abgestützt. Diese Kraftmeßdosen bilden ein Dreieck, dessen

Schwerpunkt aus meßtechnischem Gründen mit dem Schwerpunkt des Zwischenbodens übereinstimmt. Bild 1 zeigt den Grundriß des Versuchsraums mit Anordnung der Waagebalken. Die Kraftmeßdosen sind mit K1, K2 und K3 bezeichnet. Die während eines Versuches auftretenden Rauchgase können durch eine 1 m x 1 m große Fensteröffnung abziehen. Durch eine 90 cm x 200 cm große feuerhemmende Tür kann der Versuchsraum betreten werden. Bild 2 zeigt den schematischen Aufbau der Versuchsanlage. Der Versuchsraum ist innen mit 15 mm starken Asbestzementplatten verkleidet, um die Wände vor zu starker Hitzebelastung zu schützen. Das Brandgut befindet sich auf dem Zwischenboden, der von den Kraftmeßdosen getragen wird. Das Meßsignal der Kraftmeßdosen wird von einem Trägerfrequenz Meßverstärker verstärkt und durch eine elektronische Schaltung in eine digitale Anzeige umgewandelt. Ein Schreiber registriert analog die Gewichtsänderung mit einer Genauigkeit von etwa 0,1 % während des Versuches. Der Raum unter dem Zwischenboden ist als Auffangwanne ausgebildet, so daß sich ansammelndes Wasser mittels einer Pumpe abgepumpt und in einem Gefäß mengenmäßig als Teil des Schadenswassers erfaßt werden kann.

Vor der Fensteröffnung ist eine Meßeinrichtung installiert, die die optische Dichte des aus dem Fenster austretenden Rauchgases bestimmt und auf einem Schreiber registriert. Die Meßeinrichtung arbeitet wie folgt: Eine Lichtquelle strahlt mit konstanter Intensität in 10 cm Abstand parallel zur Fensterfront ca. 10 cm unter der Fensteroberkante auf einen Empfänger. Befindet sich Luft zwischen Strahler und Empfänger, so trifft das Licht mit der Intensität I_0 auf den Empfänger. Wird das Licht durch Rauchpartikel abgeschwächt, so gelangt nur noch der Anteil I auf den Empfänger. Ein zweiter Empfänger ist elektronisch so mit der Meßanordnung geschaltet, daß das von der Umgebung (z.B. Hallenfenster) eingestrahlte Licht kompensiert wird.

Die zum Löschen benötigte Löschwassermenge wird von einem elektronischen Wasserzähler erfaßt und die Durchflußmenge sowie der Gesamtverbrauch ebenfalls auf einem Schreiber aufgezeichnet.

Im ganzen Versuchsraum sind 24 Thermoelemente verteilt, deren Thermospannung von zwei 12-Punktdruckern gemessen werden. Die Lage der Thermoelemente im Versuchsraum ist aus Bild 3 zu erkennen. Es werden Mantelthermoelemente aus Chromel/Alumel verwendet, deren Außendurchmesser 1,6 mm beträgt. Die an den Wänden und am Zwischenboden angebrachten Thermoelemente liegen an diesen Bauteilen an, während die Thermoelemente an der Decke ca. 5 cm in den Versuchsraum hineinragen. Damit die Ansprechempfindlichkeit dieser Thermoelemente etwas gedämpft wird, sind sie mit kleinen Blechscheiben versehen.

3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Nachdem im ersten Teil des Forschungsprogramms [1], wie bereits erwähnt, Holzkrippen als Brandgut dienten, wurden bei der hier vorliegenden Untersuchung alte Möbel verwendet. Dabei wurde der Versuchsraum mit folgenden Gegenständen eingerichtet:

1 Teppich	4 Sessel
1 Couch	3 Stühle
1 Tisch	1 großer Schrank
2 kleine Schränke, sowie Papier, Holz, Textilien	

Die Verteilung der Brandlast im Versuchsraum ist aus Bild 4 zu ersehen. Die gesamte Masse des Brandgutes betrug bei allen Versuchen ca. 380 kg, was einer Brandbelastung von ca. $31,7 \text{ kg/m}^2$ entspricht. Es wurde darauf geachtet, daß die textilen Anteile an der Gesamtmasse bei allen Versuchen in etwa gleich waren. Die Masse des Brandgutes bei den einzelnen Versuchen ist in Tabelle 1 eingetragen. Die Zündung erfolgte jeweils am großen Schrank (siehe Bild 4) mittels 300 ml Spiritus in einer Zündwanne der Größe 20 cm x 30 cm x 3 cm.

Das Ablöschen des Brandes wurde bei allen Versuchen von demselben Feuerwehrmann vorgenommen. Damit wurde vermieden,

daß der Löscherfolg von der Geschicklichkeit der jeweils mit dem Löschen beauftragten Person abhängt, wie dies bei früheren Untersuchungen festgestellt wurde [2].

Das Löschen erfolgte zu dem Zeitpunkt, an dem ca. 40 % des Brandgutes abgebrannt waren. Damit wurde hier der Zeitpunkt des Löschangriffes durch den Abbrand während des Versuches festgelegt und nicht wie bei anderen Untersuchungen (2, 3, 4) durch eine willkürliche Zeitspanne (z.B. 2 Minuten nach dem Feuerübersprung). Die Branddauer bis zum Löschangriff ist für alle Versuche in Tabelle 1 eingetragen. Aus dieser Tabelle geht auch hervor, welche Löschmethoden und Löschmittel bei den jeweiligen Versuchen angewendet wurden.

4. VERSUCHSAUSWERTUNG UND DISKUSSION DER VERSUCHSERGEBNISSE

4.1. Brandentwicklung

Um die Brandentwicklung beurteilen zu können, wurde der Massenverlust während des Brandes sowie der Temperaturanstieg im Versuchsraum gemessen. In Bild 5 sind drei Kurven dargestellt, die den charakteristischen Verlauf des Massenverlustes der Brandlast bezogen auf die Anfangsmasse in Prozent beim Abbrand verschiedener Brandgüter in Abhängigkeit von der Versuchszeit $t - t_{40}$ erkennen lassen. t_{40} gibt die Zeitspanne zwischen Zündung und dem Zeitpunkt an, an dem die Anfangsmasse zu 40 % verbrannt ist. Die Differenz $t - t_{40}$ berücksichtigt, daß die Brandentstehungsphase bei allen Versuchen stark schwankte.

Kurve a zeigt den typischen Verlauf des Massenverlustes beim Abbrand von Holzkrippen als Brandgut. Auffallend ist der allmähliche Übergang von der Brandentstehungsphase mit geringer Steigung in die Phase des vollentwickelten Brandes in der die Kurve einen geradlinigen Verlauf mit maximaler Steigung zeigt. In diesem Bereich nimmt die Abbrandgeschwindigkeit einen konstanten Wert an.

Kurve b zeigt den typischen Verlauf des Massenverlustes beim Abbrand von Möbeln als Brandgut. Man sieht, daß hier der Übergang von der Entstehungsphase in die Phase des vollentwickelten Brandes im Vergleich zum Abbrand der Holzkrippen rascher erfolgt.

Die mittlere maximale Abbrandgeschwindigkeit betrug ca. 10,4 kg/min bei Holzkrippen als Brandgut und ca. 11,3 kg/min beim Abbrand von Möbeln. Dieser Unterschied ist gering, wenn man berücksichtigt, daß die der Verbrennung zu Verfügung stehende Oberfläche bei Versuchen mit Holzkrippen ca. 112 m², bei Möbeln dagegen nur ca. 40 m² betrug.

Analog zu der Theorie von Harmathy [5] wurde bei diesen Versuchen die Abbrandgeschwindigkeit hauptsächlich von den Ventilationsbedingungen im Versuchsraum bestimmt.

Kurve c gibt den Verlauf des Massenverlustes wieder, wie er bei einem Abbrandversuch mit 185 kg Möbeln als Brandgut gemessen wurde, wobei die freie Oberfläche des Mobiliars ebenfalls ca. 40 m² betrug. Auch hier ist der Übergang von der Entstehungsphase in die Phase des vollentwickelten Brandes durch eine starke Krümmung gekennzeichnet.

Die Brandentwicklung von der Zündung bis zur Phase der Entstehung des vollentwickelten Brandes mit konstanter Abbrandgeschwindigkeit erfolgte bei Möbelbränden rascher als bei Holzkrippenbränden. Dies wird darauf zurückgeführt, daß die leicht entzündlichen textilen Anteile der Möbel die Brandentwicklung in der Anfangsphase fördern, so daß der Feuerübersprung schneller auftritt als bei Holzkrippenbränden. Nach dem Feuerübersprung, dessen Zeitpunkt in der Tabelle 1 als t_{f1} eingetragen ist, stellt sich eine konstante Abbrandgeschwindigkeit ein, wobei bei Holzkrippen als Brandgut im Mittel 10,4 kg/min und bei Möbel als Brandgut im Mittel 11,3 kg/min registriert

wurde. Die Stoffeigenschaften des Brandgutes spielen also in dieser Phase des Brandes eine geringere Rolle als in der Anfangsphase oder beim Übergang zum vollentwickelten Brand.

4.2. Temperaturentwicklung

Ein weiteres Kriterium für die Beurteilung des Brandverlaufes ist der Temperaturanstieg im Brandraum. Die Bilder 6 - 23 zeigen die an den fünf Stellen ca. 5 cm unter der Decke gemessenen Temperaturen sowie die arithmetischen Mittelwertkurven über der Versuchszeit t bzw. $t - t_p$. Der Übersichtlichkeit wegen werden lediglich die Deckentemperaturen der Versuche dargestellt.

Die Versuchszeit t gibt die gesamte Versuchsdauer von der Zündung bis zum Ende des Löschangriffes an.

Die Temperatur über der Zündstelle, bei Möbel die Stelle T 16, bei Holzkrippen die Stelle T 17, stieg bei allen Versuchen als erste an, da sich diese Meßstelle über dem anfänglichen Brandherd befand. Die heißen Rauchgase strömten in Richtung Fenster, so daß die Meßstelle T 14 in der Mitte der Decke erwärmt wurde. Als nach dem Feuerübersprung das gesamte Brandgut im Raum in Flammen stand, sank die Temperatur an der Stelle T 16 bzw. T 17 wieder ab, was damit begründet werden kann, daß an diese Stelle des Raumes weniger Sauerstoff gelangte. Ein Teil des Sauerstoffes, der vom Fenster her einströmenden Luft, reagiert bereits auf dem Weg zu den inneren, vom Fenster weg gelegenen Regionen des Raumes mit den Brandstoffgasen. Da nun an diesen Stellen weniger Sauerstoff zur Verfügung steht, ist die Wärmeentwicklung nicht mehr so stark, so daß die Temperaturen wieder sinken. Diese Tendenz ist bei allen Versuchen zu beobachten.

Die Deckentemperaturen der Versuche V 1 bis V 4 mit Holzkrippen als Brandgut, die in den Bildern 6 - 9 dargestellt sind, stiegen analog zu den Abbrandkurven von der Zündung allmählich an, bis sie im Raum annähernd konstant blieben.

Auch hieran erkennt man, daß der Übergang von der Entstehungsphase in die Phase des vollentwickelten Brandes relativ langsam vor sich ging.

Bei Möbelbränden ist nach einer mehr oder weniger langen Entstehungsphase ein steiler Anstieg der Temperatur im Raum zu verzeichnen. In den Bildern 10 - 19 sind die Deckentemperaturen der Versuche V5 bis V14 mit Möbeln als Brandgut über der Versuchszeit t dargestellt. Die Dauer der Entstehungsphase ist zufälliger Natur, da sie lediglich von dem Brandgut bzw. dessen Brenneigenschaften, sowie Art und Lage der Zündquelle abhängt. Entzündet sich das Brandgut rasch und zeigt sich eine große Brandausbreitungsgeschwindigkeit, dann ist die Entstehungsphase des Brandes kurz, der Feuerübersprung tritt sehr bald auf, und dementsprechend steigen die Temperaturen im Versuchsraum rasch an. Die Branddauer wird also bei den hier durchgeführten Versuchen wesentlich von dieser Brandentstehungsphase bestimmt. Da diese aber bei allen Versuchen stark variierte, wurden die mittleren Deckentemperaturen, die aus dem arithmetischen Mittel der an den Stellen T 14 bis T 18 gemessenen Deckentemperaturen bestimmt wurden, in den Bildern 20 bis 23 über der Versuchszeit $t - t_p$ aufgetragen. t_p ist die Zeitspanne von der Zündung bis zum Löschangriff. Durch diese Darstellung liegt für alle Versuche der Beginn des Löschangriffes auf der Null-Linie $t - t_p = 0$. Man ersieht aus dieser Darstellung, daß die Phase des vollentwickelten Brandes, also die Phase, in der die Mitteltemperaturen annähernd konstante maximale Werte annehmen, sowohl bei den Holzkrippen, als auch bei den Möbelbränden etwa gleich lang dauerte. Sie schwankte zwischen 10 und 16 Minuten, was unter anderem auch darauf zurückzuführen ist, daß der Löschangriff versuchsbedingt nicht immer exakt zu dem Zeitpunkt erfolgen konnte, an dem das Abbrandstadium mit exakt $A = 40 \%$ erreicht war.

4.3. Optische Rauchdichte

Die optische Rauchdichte konnte nur solange gemessen werden, bis Flammen aus dem Fenster schlugen, da diese Flammen weitgehend dicht sind und somit bei dieser Meßanordnung den Meßwert verfälschen. Die optische Rauchdichte ist sehr stark abhängig von den Materialeigenschaften des Brandgutes sowie von der Brandentwicklung im Entstehungsstadium des Brandes. Da aber gerade diese Einflußgrößen bei allen Versuchen stark variierten, kann die Rauchdichte der aus dem Fenster austretenden Rauchgase nur im Komplex mit der Brandentwicklung und der Brandgutzusammensetzung beurteilt werden. Es zeigte sich, daß die Rauchentwicklung umso stärker war, je mehr Kunststoff im Versuchsraum verbrannte. Bild 24 zeigt einen typischen Verlauf der optischen Rauchdichte bzw. der gemessenen Lichtintensität I/I_0 über der Versuchszeit t . Das Ende der Messung ist mit einem Kreis gekennzeichnet, da ab diesem Zeitpunkt Flammen aus dem Fenster schlugen. Der unstete Verlauf der Kurve erklärt sich damit, daß im Verlauf des Brandversuches nacheinander unterschiedliche Materialien verbrannten bzw. pyrolytische Zersetzung erfuhren, so daß die Brandgaszusammensetzung bezüglich der optischen Dichte starken Schwankungen unterworfen war.

4.4. Schadenswasser

Die Beurteilung der Schadenshöhe durch Löschwasser wirft bei diesen Untersuchungen die Frage auf, was überhaupt als Löschwasser bezeichnet werden soll. Eine Wohnungseinrichtung, die bei einem wirklichen Brand derart verbrennt, daß ein Massenverlust von 40 % auftritt, kann kaum noch durch Löschwasser beschädigt werden. Der Anteil des Löschwassers, der von den verkohlten Überresten absorbiert wird, kann in einem solchen Fall wohl nicht als Schadenswasser bezeichnet werden. Dagegen verursacht der Teil des Löschwassers, der nicht verdampft oder von dem Mobiliar absorbiert wird, zum Teil erhebliche Schäden an den Wänden und am Boden des Raumes.

Um diese Frage zu beantworten, wird eine kurze Betrachtung der Löschwirkung von Wasser herangezogen. Der Lösch-effekt des Wassers beruht hauptsächlich auf seiner kühlenden Wirkung, d.h. dem Brandherd wird so viel Wärme entzogen, daß das Brandgut unter seine Entzündungstemperatur abgekühlt wird. Dabei nimmt das Wasser bei einer Erwärmung bis 100 °C bei einem Druck von 1 bar 4,187 kJ/kg °C auf. Bei einer Erwärmung von 20 °C auf 100 °C, also etwa 335 kJ/kg. Beim Verdampfen nimmt das Wasser aber bei 1 bar 2.257 kJ/kg auf, also etwa das 6,7-fache. Die effektivste Kühlung wird also durch verdampfendes Wasser hervorgerufen. Da nun die Entzündungstemperatur von Holz weit über der Verdampfungstemperatur von Wasser liegt, muß es möglich sein, das Brandgut durch eine vollständige Verdampfung der aufgebrauchten Löschwassermenge zu löschen. Von diesem Gesichtspunkt aus setzt sich die Schadenswassermenge bei diesen Versuchen aus zwei Teilen zusammen:

1. Dem Anteil des Löschwassers, der sich in der Auffangwanne des Versuchsraumes sammelt, von dort abgepumpt und mengenmäßig erfaßt wird.
2. Dem Anteil des Löschwassers, der nach dem Löschen auf dem Zwischenboden bzw. im Mobiliar verbleibt und als Gewichtsänderung erfaßt wird.

Da die Temperaturen an den Wänden des Versuchsraumes auch nach dem Löschen noch über 100 °C betragen, verdampft das Wasser, das während des Löschens an die Wände gelangt. Dieser Anteil kann deshalb nicht zur Schadenswassermenge gerechnet werden. In Tabelle 1 sind die Beträge der Schadenswassermengen für alle Versuche eingetragen. Betrachtet man in Tabelle 1 den verdampften Anteil der Löschwassermenge, so sieht man, daß diese bei allen Versuchen etwa gleich ist, obwohl unterschiedliche Mengen aufgegeben wurden. Im Mittel sind ungefähr 100 l Wasser verdampft, was einem Wärmeentzug von ca. 260.000 kJ entspricht. Im Vergleich dazu trägt das überschüssige Löschwasser, das

nicht verdampft kaum zur Abkühlung des Brandgutes bei. Man kann deshalb davon ausgehen, daß die beim Löschen verdampfte Wassermenge in etwa der Mindestlöschwassermenge entspricht, die für das Ablöschen des hier vorliegenden Brandgutes nötig ist.

4.5. Löschmittel und Löszeiten

Der Zeitpunkt des Löschangriffes wurde hier im Gegensatz zu anderen Untersuchungen [2, 3, 4] vom Abbrandstadium des Brandes bestimmt. Der Löschangriff erfolgte in der Regel von der Tür aus und im Verlauf des Löschens auch vom Fenster her, um die Brandnester in den Ecken des Raumes abzulöschen. Die dabei benötigte Löszeit t_1 ist die Zeitspanne vom Beginn des Löschangriffes bis zu dem Zeitpunkt, zu dem der Brand gelöscht ist. Nach dem Einsetzen des Löschangriffes waren die Flammen nach ca. 1 bis 3 Minuten niedergeschlagen, die gesamte Löszeit betrug aber bis zu 25 min, da das Brandgut häufig wieder entflammte. Während bei Holzkrippenbränden der Brand vollkommen gelöscht werden konnte, ohne den Versuchsraum zu betreten, war dies bei Möbelbränden nicht möglich. Die Brandnester waren zum Teil so versteckt, daß sie mit dem Wasserstrahl nicht erreicht werden konnten und zum Ablöschen erst auseinandergerissen werden mußten. Die bereits in [1, 6] beschriebenen Versuche mit Holzkrippen werden hier nicht mehr ausführlich geschildert. Die Versuchsdaten (siehe Tabelle 1, V1 bis V4) und die Ergebnisse aus den Temperaturmessungen (siehe Bilder 6 bis 9) sowie aus den Abbrandbestimmungen werden allerdings zum Vergleich mit den Möbelbränden herangezogen. Aus Tabelle 1 ersieht man, daß zum Löschen von Holzkrippenbränden CM-Stahlrohre mit einem maximalen Durchfluß von ca. 100 l/min bei einem Wasserdruck von 5 bar, ein Schaumrohr L 200 mit ca. 200 l/min Durchfluß bei 5 bar Wasserdruck sowie ein Pistolenstrahlrohr mit ca. 50 l/min Durchfluß bei einem Wasserdruck von ca. 35 bar verwendet wurden. Es zeigte sich, daß mit dem Pistolenstrahlrohr etwas weniger Löschwasser verbraucht wurde als bei Versuchen mit CM-Strahlrohren. Auch die Schadenswassermenge war mit 57 l

etwas geringer als bei den anderen Versuchen. Beim Versuch V3 wurde ein Schaumrohr L 200 verwendet. Der mit diesem Schaumrohr aus einem handelsüblichen Mehrbereichs-Schaummittel hergestellte Schaum wies eine Verschäumungsgabe von ca. 10 auf. Bei der Anwendung von Schaum wirkte sich hier, ebenso wie beim Versuch V9, die Konstruktion des Zwischenbodens ungünstig auf die Versuchsergebnisse aus. Zwischen den Wänden des Versuchsraumes und dem Zwischenboden besteht ein Spalt von ca. 5 cm (siehe Bild 1). Durch diesen Spalt kann ein Teil des Schaumes in die darunterliegende Auffangwanne abfließen, was bei der Beurteilung der Meßwerte zu berücksichtigen ist.

Bei den Versuchen mit Möbeln als Brandgut wurden bei den Versuchen V5 und V8 ebenfalls CM-Strahlrohre bei einem Wasserdruck von 5 bar und einem Durchfluß von ca. 100 l/min eingesetzt. Dabei zeigte sich sowohl beim Löschwasserverbrauch mit 221 l und 228 l als auch bei der Schadenswassermenge mit 122 l und 129 l eine sehr gute Übereinstimmung. Auch die Löschzeiten sind mit 7 bzw. 6,6 min annähernd gleich. Im Vergleich zu den Holzkrippenbränden bei den Versuchen V1 und V2 wurde allerdings deutlich mehr Löschwasser verbraucht und auch die Schadenswassermenge lag deutlich höher. Dies läßt sich damit erklären, daß bei Holzkrippen wie schon erwähnt das Brandgut mit dem Löschwasserstrahl leichter zu erreichen war als bei den Möbelbränden, bei denen zum Teil versteckte Brandnester vorlagen. Die längere Löschzeit bei Holzkrippen erklärt sich damit, daß bei diesen Versuchen das Brandgut oft an mehreren Stellen entflammte und durch kurzzeitige Wasseraufgabe gelöscht wurden. Bei Möbelbränden dagegen wurden die Brandnester auseinander gerissen und abgelöscht, sodaß der Brand nach 7 - 8 Minuten Löschzeit vollkommen gelöscht war. Beim Versuch V7 wurde ebenfalls ein CM-Strahl-Rohr bei einem Wasserdruck von 5 bar eingesetzt. Als Löschmittel diente hier aber Wasser, dem 1 % eines handelsüblichen Netzmittels zugesetzt wurde. Dabei wurde mit 193 l Löschmittel und 99 l Schadenswasser etwas

günstigere Werte als bei den Versuchen V5 und V8 gemessen. Beim Versuch V6 wurde ein DM-Strahlrohr verwendet, wobei der Wasserdurchfluß bei 5 bar und Vollstrahleinstellung ca. 25 l/min und bei Sprühstrahleinstellung ca. 15 l/min betrug. Die Löschzeit war mit 8 min nur geringfügig höher als bei der Verwendung von CM-Strahlrohren, allerdings konnte der Brand in der Anfangsphase des Löschangriffes nicht so schnell unter Kontrolle gebracht werden, so daß die Flammen noch ca. 30 s nach Löschanfang heftig aus dem Fenster und aus der geöffneten Tür schlugen. Der Löschwasserverbrauch war mit 152 l wesentlich geringer als bei der Anwendung von CM-Strahlrohren. Auch die Höhe der Schadenswassermenge war mit 50 l deutlich geringer als bei den anderen Versuchen. Dies erklärt sich damit, daß bei einer niedrigen Wasserbeaufschlagungsrate, wie das hier der Fall ist, das Wasser gezielter auf die Brandnester aufgegeben werden kann, so daß seine Löscheigenschaft effektiver genutzt wird. Die Tatsache, daß auch bei diesem Versuch die verdampfte Löschwassermenge mit 102 l in etwa so groß war wie bei allen anderen Versuchen, zeigt, daß dem Brandherd die gleiche Wärmemenge wie bei den anderen Versuchen entzogen wurde. Dieser Versuch macht deutlich, daß bei vorsichtiger und gezielter Beaufschlagung des Brandherdes mit Wasser, dessen Löschwirkung am effektivsten genutzt werden kann, sodaß sowohl der Löschwasserbedarf als auch die entstehende Schadenswassermenge niedrig bleiben. Allerdings nimmt man mit einer geringen Anwendungsrate wie hier mit ca. 25 l/min in Kauf, daß der Brand nur allmählich eingedämmt und unter Kontrolle gebracht werden kann, was besonders zu Beginn eines Löschvorgangs nachteilig sein kann.

Beim Versuch V9 wurde als Löschmittel Mittelschaum gewählt, der vom Fenster her auf den Brandherd aufgegeben wurde. Der Schaum wurde mittels eines Schaumrohres L 400 bei einer Zumischung von etwa 3 % eines handelsüblichen Mehrbereichs-Schaummittels mit einer Verschäumungszahl

von ca. 40 erzeugt. Bemerkenswert ist die außerordentlich kurze Löschzeit von nur 37 s, in der der Brand vollkommen gelöscht wurde. Der Löschmittelverbrauch war allerdings mit 250 l ebenso wie die Schadenswassermenge mit 166 l höher als bei den anderen Versuchen. Dabei ist der schon beim Versuch V3 genannte Umstand zu berücksichtigen, daß der Schaum zum Teil unwirksam durch den Spalt zwischen Wand und Zwischenboden abfloß. Im Vergleich zum Schwerschaum zeigte die Anwendung von Mittelschaum deutlich günstigere Werte, die unter Berücksichtigung der oben genannten Umstände eventuell sogar mit den Versuchs-Werten bei der Anwendung von Wasser als Löschmittel vergleichbar sind. Es ist zu vermuten, daß bei einem Löschversuch mit Leichtschaum noch günstigere Werte erzielt worden wären. Allerdings ist der apparative Aufwand beim Einsatz von Leichtschaum so groß, daß eine Anwendung bei Zimmerbränden in der Praxis kaum realisierbar ist. Aus diesem Grund wurde in dieser Versuchsreihe auf den Einsatz von Leichtschaum verzichtet.

Bei den Versuchen V10, V11, V12 und V13 wurde versucht, durch kombinierten Einsatz verschiedener Löschmittel und Wasser den Bedarf an Löschwasser sowie die Schadenswassermenge zu reduzieren. Dabei sollte die Anwendung von Löschmitteln wie Kohlendioxid, Löschpulver oder Halon 1211 zunächst die Flammen im Brandraum niederschlagen, so daß der Brand anschließend durch gezielten Einsatz von Wasser mittels eines CM-Strahlrohres endgültig gelöscht werden kann. Der Löschangriff mit Kohlendioxid beim Versuch V10 erfolgte von der Tür aus. Dabei wurde das Kohlendioxid aus einem Druckbehälter mittels eines Schneerohres mit einer Ausstoßrate von ca. 20 kg/min auf den Brandherd aufgegeben. Der Versuch wurde nach ca. 30 s abgebrochen, weil keinerlei Löschwirkung zu erkennen war.

Eine mögliche Ursache dafür könnten Strömungsvorgänge im Brandraum gewesen sein, die das Kohlendioxid, nachdem es verdampfte, mit den Rauchgasen aus dem Raum abführten.

Dadurch kam der Löscheffekt, der bei Kohlendioxid vornehmlich auf der Verdrängung des Luftsauerstoffes beruht, nicht zur Wirkung. Nach dem Einsatz von Kohlendioxid wurde der Brand sofort mit Wasser mit einem CM-Strahlrohr bekämpft. Dabei wurden 215 l Löschwasser verbraucht, wobei 96 l verdampften und insgesamt 129 l als Schadenswasser registriert wurden. Diese Werte sind vergleichbar mit denen, die beim Löschen mit Wasser mittels CM-Strahlrohren erzielt wurden.

In Bild 22 ist der zeitliche Verlauf der Mittelwerte der Deckentemperaturen während des Versuchs V10 eingezeichnet. Man sieht, daß nach dem Löschangriff ein Temperaturanstieg eintrat, was darauf zurückzuführen ist, daß durch die geöffnete Tür und durch die vom Löschmittelstrahl mitgerissene Luft der Brand angefacht wurde.

Bei den Versuchen V11 und V12 wurde jeweils ein 50 kg-Pulverlöcher (P 50) mit ABC-Löschpulver eingesetzt. Der Löschangriff erfolgte von der Tür aus, wobei die Flammen durch die Einwirkung des Löschpulvers bei beiden Versuchen zunächst eingedämmt werden konnten. Während beim Versuch V11 ca. 45 kg Löschpulver in Intervallen während einer Zeitspanne von insgesamt 3,5 min verbraucht wurden, wurden beim Versuch V12 nur 28 kg Löschpulver in ca. 47 s ununterbrochen eingesetzt. Die Wirkung der beiden Einsatzfälle sind anhand des zeitlichen Verlaufes der Mittelwerte der Deckentemperaturen in Bild 22 gut zu erkennen.

Während beim Versuch V11 nach dem Löschangriff ein Anstieg der mittleren Deckentemperatur gemessen wurde, sank diese beim Versuch V12 stetig. Im ersteren Fall reichte die Anwendungsrate des Löschpulvers nicht aus, die Flammen längere Zeit niederzuhalten. Nach ca. 2,3 min flammte das Brandgut wieder auf, was deutlich am Temperaturanstieg im Bild 22 zu erkennen ist. Nach etwa 3,5 min wurde der Brand mit Wasser mit einem CM-Strahlrohr abgelöscht,

wobei 200 l Löschwasser verbraucht wurden. Davon verdampften 97 l und 103 l wurden als Schadenswasser registriert.

Beim Versuch V12 wurde für eine Dauer von etwa 47 s Löschpulver in den Brandraum eingeblasen, wobei die Flammen zum großen Teil niedergeschlagen wurden. Die mittlere Deckentemperatur in Bild 22 sank stetig ab, da ein erneutes Anfachen des Feuers unterblieb. Nach dem Löscheintritt mit Pulver wurde der Brand sofort mit Wasser mit einem CM-Strahlrohr bekämpft, wobei mit 180 l Löschwasser etwas weniger verbraucht wurde als bei den anderen Einsätzen mit CM-Strahlrohren. Auch die Schadenswassermenge war mit 95 l ebenso wie die verdampfte Löschwassermenge mit 85 l etwas niedriger als bei den anderen Versuchen. Allerdings war bei beiden Versuchen festzustellen, daß die Anwendung von Löschpulver zu einer erheblichen Sichtbeeinträchtigung führte und eine Reizung der Schleimhäute auftrat. Außerdem ist die Korrosivität von Löschpulvern (7) gerade in Verbindung mit Wasser zu beachten, so daß unter Umständen ein Folgeschaden nicht allein durch Schadenswasser entstehen kann.

Als weiteres Löschmittel wurde Halon 1211 im Versuch V13 verwendet. Dabei wurde Halon 1211 aus einem Druckbehälter bei einem Druck von ca. 10 bar und mit einer Ausstoßrate von ca. 9 kg/min in flüssiger Form auf den Brandherd aufgegeben. Es wurden bei geschlossener Tür ca. 9,5 kg Halon 1211 mit dem Frischluftstrom durch das Fenster in den Brandraum eingeleitet. Bild 27 a zeigt die aus dem Fenster schlagenden Flammen unmittelbar vor dem Einsatz von Halon 1211. In Bild 27 b ist die Wirkung des Löschmittels deutlich zu erkennen:

Die Länge der Flammen wird stark gekürzt, was auf die Inhibitionswirkung des Halons 1211 zurückzuführen ist. Allerdings reichte die Löschwirkung des Halons 1211 nicht aus, die Entstehung brennbarer Gase im Versuchsraum zu

unterbinden, so daß nach dem Einsatz von 1 min und 5 s Dauer die Flammen genau so heftig aus dem Fenster schlugen wie vor dem Löscheinsatz. Bild 22 zeigt, daß nach dem Einsetzen des Löschangriffes mit Halon 1211 die mittlere Deckentemperatur leicht anstieg, daß also eine Wirkung des Löschmittels auf den Verbrennungsvorgang im Inneren des Versuchsraumes nicht gleich eintrat. Gründe dafür sind auch hier, wie bei der Anwendung von CO_2 , eventuell in den Strömungsvorgängen zu suchen, die die Ausbreitung des Löschmittels im gesamten Versuchsraum unterbanden und das verdampfte Halon mit den Rauchgasen aus dem Versuchsraum strömen ließen. Zudem wurde beim Einblasen von Halon Luft mitgerissen, die den Brand anfachen konnte. Nach dem Löschangriff mit Halon 1211 wurde der Brand mit Wasser mit einem CM-Strahlrohr in der üblichen Weise bekämpft. Dabei wurden 288 l Löschwasser verbraucht, wovon 149 l verdampften und 139 l als Schadenswasser bestimmt wurden. Diese Werte liegen deutlich über den Meßergebnissen der anderen vergleichbaren Versuche, wobei besonders die verdampfte Löschwassermenge auffallend hoch ist. Eine Erklärung dafür ist darin zu suchen, daß bei diesem Versuch eine andere Person mit dem Löschen beauftragt war als bei den übrigen Versuchen. Anhand der gemessenen Wandtemperaturen im Versuchsraum kann man darauf schließen, daß die Wände während des Löschens stärker abkühlten als sonst. Ein Teil des Löschwassers spritzte an die Wände, verdampfte dort und trug somit nicht zum Ablöschen des Brandes bei.

4.6. Brand- und Löschversuch mit halber Brandlast

Mit dem Versuch wurde untersucht, inwieweit sich eine Reduzierung der Brandlast auf die Brandentwicklung, den Abbrand und die Temperatur sowie auf den Löschwasserbedarf auswirkte. Die Gewichtsreduzierung wurde dadurch erreicht, daß leichteres Mobiliar verwendet wurde, so daß die in Bild 4 gezeigte schematische Einrichtung beibehalten werden

konnte. Auch die freie Oberfläche des Mobiliars entsprach etwa der der anderen Versuchen. Allerdings wurde auf Papier und Holzstäbe als zusätzliche Brandlast verzichtet. Im Bild 5 ist der Verlauf des Massenverlustes bezogen auf die Anfangsmasse R in % über der Versuchszeit $t - t_{40}$ aufgetragen (Kurve c). Auch hier ist der für Möbelbrände typische rasche Übergang vom Entstehungsbrand in den vollentwickelten Brand zu erkennen. Der steilere Verlauf des geraden Kurventeils erklärt sich aus der Berechnung des prozentualen Massenverlustes R , da, wie Tabelle 1 zeigt, die maximale Abbrandgeschwindigkeit mit $10,4 \text{ kg/min}$ nicht von den Werten bei den anderen Versuchen differiert. Da die der Verbrennung zu Verfügung stehende freie Oberfläche ebenfalls ca. 40 m^2 betrug, hing die maximale Abbrandgeschwindigkeit auch in diesem Fall im Wesentlichen von den Ventilationsbedingungen im Versuchsraum ab [5].

Der Verlauf der Deckentemperaturen ist in Bild 19 über der Versuchszeit t aufgetragen. Nach dem Feuerübersprung steigen die Temperaturen ähnlich wie bei den anderen Versuchen nur noch langsam an. Die Zeitspanne vom Feuerübersprung bis zum Löschangriff ist mit ca. 6 min etwa halb so groß wie die bei den anderen Versuchen. Dies ist mit der geringeren Anfangsmasse zu erklären, so daß der Zeitpunkt, an dem die Anfangsmasse auf 60 % abgefallen bzw. 40 % verbrannt sind, früher erreicht wird als bei den Versuchen mit einer Anfangsmasse von 380 kg.

Das Ablöschen des Brandes erfolgte mit Wasser mittels eines CM-Strahlrohres, um gute Vergleichsmöglichkeiten mit den anderen Versuchen zu erhalten. Dabei wurden folgende Werte gemessen:

Löschzeit 7,8 Minuten, Löschwasserverbrauch 133 l, Schadenswasser 50 l und verdampfte Löschwassermenge 83 l. Der Löschwasserverbrauch war ebenso wie die Schadenswassermenge deutlich geringer als bei den vergleichbaren anderen Versuchen. Dagegen lag die verdampfte Löschmittelmenge mit 83 l nicht wesentlich niedriger. Das deutet da-

rauf hin, daß die Oberfläche des Brandgutes und das Abbrandstadium hauptsächlich für die verdampfte Löschwassermenge bestimmend sind.

5. ENTWICKLUNG EINER MODELLBRANDLAST

Die Brandversuche mit Holzkrippen haben gezeigt, daß bei dieser Art von Brandlast die Temperatur- und damit Wärmeentwicklung bis zum Feuerübersprung geringer als bei Möbelbränden ist. Die Gründe dafür liegen, wie bereits erwähnt, darin, daß bei Möbeln leicht entzündliche Textilien und Kunststoffe vorhanden sind, die neben stärkerer Wärmeentwicklung in der Entstehungsphase eines Brandes auch den Feuerübersprung erleichtern. Da Versuche mit Möbeln als Brandgut sehr aufwendig sind, besonders wenn hinsichtlich der chemischen und physikalischen Beschaffenheit stets Gleichheit gefordert wird, wurde eine Modellbrandlast konzipiert, die aus verschiedenen Materialien zusammengesetzt ist. [6,8]. Mit dieser Modellbrandlast wurden zwei Versuche VI und VII durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 1 mit aufgenommen sind.

Beim Versuch VI wurden im einzelnen 168 kg Holzstäbe verschiedener Abmessungen, 4 kg Textilien in Form von Gardinestoffen und ca. 8 kg Kunststoffe verwendet. Die Anordnung der einzelnen Materialien auf einer Palette ist in Bild 28 dargestellt. Es konnte festgestellt werden, daß beim Abbrand dieser Modellbrandlast die Temperaturentwicklung im Versuchsraum sowie die Rauchentwicklung während des Brandes mit den bei Möbelbränden registrierten Werten gut übereinstimmen. In Bild 25 ist der Verlauf der Deckentemperaturen über der Versuchszeit aufgetragen. Man sieht, daß die Phase der Brandentstehung fast nicht vorhanden war und die Temperaturen ähnlich den Temperaturen bei Möbelbränden bis zum Zeitpunkt des Feuerübersprunges schnell anstiegen. Auch hier ist die Tendenz zu erkennen, daß die Deckentemperaturen nach dem

Feuerübersprung einen Maximalwert erreichen, danach leicht abfallen und anschließend wieder allmählich ansteigen.

Auf einen Löschversuch wurde verzichtet, da die Materialien nicht im Raum verteilt, sondern kompakt auf einer Palette angeordnet waren. Die Grundfläche der Modellbrandlast betrug nur $4,5 \text{ m}^2$, so daß ein Löschangriff auf diese kleine Fläche weitaus effektiver gewesen wäre, als das bei den Holzkrippen und den Möbelbränden mit ca. 12 m^2 Grundfläche der Fall war.

Um vergleichbare Bedingungen für einen Löschversuch vorliegen zu haben, wurden beim Versuch VII die Materialien der Modellbrandlast nicht mehr auf Paletten wie in Bild 28 angeordnet, sondern im gesamten Versuchsraum verteilt. Dabei wurde die Masse der Modellbrandlast auf insgesamt 312 kg erhöht wobei die Zusammensetzung der in Bild 28 entsprach. Aus dem Verlauf der Deckentemperatur über der Versuchszeit t in Bild 26 erkennt man, daß auch beim Abbrand dieser Modellbrandlast der Temperaturverlauf von Zimmerbränden besser angenähert wurde als mit Holzkrippen. In Bild 21 ist die mittlere Deckentemperatur zum Vergleich zu Möbelbränden über $t - t_p$ aufgetragen. Man sieht, daß nach der Zündung die Temperatur stark anstieg und ihr Verlauf im stationären Bereich dem der Temperatur bei Zimmerbränden glich. Auch die Abbrandkurve ist in der Tendenz mit den Abbrandkurven bei Zimmerbränden zu vergleichen. Nach einer sehr kurzen, nur andeutungsweise vorhandenen Entstehungsphase trat bald der Feuerübersprung ein und wurde die Phase konstanter Abbrandgeschwindigkeit erreicht. Der Wert dieser Abbrandgeschwindigkeit lag bei $10,1 \text{ kg/min}$. Die Rauchentwicklung war zu Anfang des Brandes stärker als bei den Möbelbränden, was auf den relativ hohen Kunststoffanteil zurückzuführen ist.

In Bild 23 sind die mittleren Deckentemperaturen der Versuche V14, VI und VII über der Versuchszeit $t - t_p$ aufge-

tragen. Man sieht, daß bei allen 3 Versuchen der maximale Temperaturanstieg in etwa der gleichen Größenordnung lag. Bei Versuch V14, bei dem 185 kg Möbel als Brandlast verwendet wurden, dauerte die Phase des Temperaturanstiegs bis zum Zeitpunkt des Feuerübersprunges länger an als bei den Versuchen mit der Modellbrandlast. Die erreichten Endtemperaturen liegen bei allen 3 Versuchen bei etwa 800 °C.

Beim Versuch VII wurde der Löschangriff wie üblich zu dem Zeitpunkt begonnen, an dem 40 % der anfänglichen Masse verbrannt waren. Dabei wurde Wasser mit einem CM-Strahlrohr eingesetzt. Es wurden 78 l Löschwasser verbraucht. Als Schadenswasser wurden 17 l gemessen und die verdampfte Löschwassermenge betrug 61 l. Diese Werte sind auffallend niedriger als die der vergleichbaren Löschangriffe. Die Ursache dafür ist darin zu suchen, daß das Brandgut sehr leicht zugänglich war und daß sich hier keine versteckten Brandnester bilden konnten. Dementsprechend war auch die Löschanzeit mit 1,1 min sehr kurz.

6. BEURTEILUNG DER LÖSCHWIRKUNG

Die Löschwirkung eines Löschmittels kann auf verschiedenen Effekten beruhen. Vornehmlich kommen kühlende, erstickende oder inhibitorische Effekte in Betracht, wobei diese auch kombiniert auftreten können. Die Löschwirkung verschiedener Mittel kann bei einem vorgegebenen Brand nach verschiedenen Kriterien beurteilt werden. So kann man z.B. die benötigte Löschanzeit oder den Gesamtverbrauch an Löschmitteln als Kriterien für die Effektivität eines Löschmittels heranziehen. Beide Werte sind aus Tabelle 1 zu ersehen. Um den Effekt der Abkühlung bei den verschiedenen Löschmethoden mit Wasser bzw. Schaum als Löschmittel beurteilen zu können, wurde in Bild 29 der Temperaturgradient an der Decke des Versuchsraumes während

des Löschvorganges, der aus den mittleren Deckentemperaturen ermittelt wurde, über der Löschzeit t_1 aufgetragen. Man sieht, daß beim Löschen mit einem DM-Strahlrohr bei einem Wasserdurchfluß von ca. 25 l/min der Temperaturgradient am geringsten war. Damit stimmt auch überein, daß bei dieser Art der Brandbekämpfung der Brand erst später unter Kontrolle gebracht werden konnte als bei den anderen Löschmethoden. Dies ist auf die geringere Wasserbeaufschlagung zurückzuführen. Bemerkenswert ist, daß beim Ablöschen des Brandes mit einem Pistolen-Strahlrohr bei einem Wasserdruck von ca. 35 bar der Temperaturgradient in der Anfangsphase des Löschvorgangs sehr hoch lag, obwohl der Wasserdurchfluß bei Sprühstrahl-Einstellung nur etwa 50 l/min betrug. Eine Erklärung dafür ist, daß das Pistolenstrahlrohr bei Sprühstrahl-Einstellung bei diesem hohen Druck eine sehr feine Tröpfchenverteilung erzeugt. Diese feinen Tröpfchen verdampfen wegen ihrer großen volumenbezogenen Oberfläche sehr rasch, so daß dem Brandherd sehr viel Verdampfungswärme entzogen wird.

Bei dem Löschversuch V9, bei dem Mittelschaum verwendet wurde, war der Temperaturgradient 0,5 min nach Löschbeginn mit 265 °C/min in der Größenordnung der mit den CM-Strahlrohren erzielten Temperaturgradienten. Dagegen lag später der Temperaturgradient deutlich unter den Werten der anderen Versuche, was auf eine geringere Kühlwirkung des Mittelschaums zurückzuführen ist. Dies zeigt aber, daß der Temperaturgradient für sich alleine keine Beurteilung der Löschwirkung zuläßt, da beim Versuch V9 der Brand mit Mittelschaum bereits nach ca. 37 s gelöscht wurde. Die Löschwirkung beruhte hier hauptsächlich auf dem erstickenden Effekt des Schaumes.

Nach 4 min lagen die Temperaturgradienten - mit Ausnahme des Versuches V6 - bei ca. 40 °C/min. Da zu diesem Zeitpunkt der Brand weitgehend unter Kontrolle war, wurden nur noch geringe Wassermengen auf den Brandherd aufgegeben, sodaß der Temperaturgradient im wesentlichen auf die Wärmeabgabe an die Umgebung zurückzuführen ist.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Im zweiten Teil eines längerfristigen Forschungsprogramms wurden Brand- und Löschversuche in natürlichem Maßstab mit Möbeln als Brandgut durchgeführt. Dabei konnten mit der im ersten Teil errichteten Versuchsanlage die für die Beurteilung des Brandverlaufs wesentlichen Versuchsdaten wie Abbrandgeschwindigkeit und Temperaturentwicklung ermittelt werden. Die Versuche bei denen mit Möbeln als Brandgut Zimmerbrände simuliert wurden, wurden mit den im ersten Teil beschriebenen Versuchen verglichen, bei denen Holzkrippen als Brandlast verwendet wurden. Es zeigte sich, daß der Feuerübersprung, also der Beginn des vollentwickelten Brandes, bei Möbelbränden früher erreicht wird als bei Holzkrippenbränden. In der Entstehungsphase ist bei Möbeln die Brandentwicklung stärker als bei Holzkrippen, was auf die leicht entflammabaren Textilanteile des Mobiliars zurückgeführt wird. Die maximale Abbrandgeschwindigkeit in der Phase des vollentwickelten Brandes lag bei Holzkrippen mit ca. 10,4 kg/min etwas niedriger als bei Möbelbränden, bei denen im Mittel 11,3 kg/min gemessen wurde. Die Temperaturentwicklung war - abgesehen von der Brandentstehungsphase - bei allen Versuchen etwa gleich, wobei die maximalen Temperaturen bei etwa 800 °C lagen.

Das Ablöschen des Brandes erfolgte in Zusammenarbeit mit der Berufsfeuerwehr Karlsruhe, wobei verschiedene Löschmittel und -methoden angewendet wurden. Der Löschangriff erfolgte zu dem Zeitpunkt, an dem ca. 40 % der anfänglichen Masse abgebrannt waren. Es wurden die verbrauchten Löschmittelmengen, die beim Löschen entstandene Schadenswassermenge und die Löschzeit gemessen. Neben DM-, CM- und Pistolenstrahlrohren wurden auch Schaumrohre L 200 (Schwerschaum) und L 400 (Mittelschaum) eingesetzt. Die Auswertung ergab, daß bei geringerer Wasserbeaufschlagungsrate der Löschwasserbedarf und die Schadenswassermenge tendenziell niedriger lagen.

Weiterhin wurde untersucht, inwieweit sich der Löschwasserbedarf und die Schadenswassermenge senken läßt, wenn der Brand zunächst mit einem anderen Löschmittel bekämpft wird. Dabei wurden CO₂, ABC-Pulver und Halon 1211 eingesetzt. Die Meßergebnisse zeigten, daß der Löschwasserbedarf nicht wesentlich gesenkt werden konnte und die Schadenswassermengen etwa den bei den anderen Versuchen entsprach. Da Brandversuche mit Möbeln sehr aufwendig sind, wurde eine Modellbrandlast konzipiert, die aus verschiedenen Materialien zusammengesetzt ist. Diese Modellbrandlast eignet sich besser als Holzkrippen dazu, auf relativ einfache Weise Zimmerbrände hinsichtlich des Abbrandverhaltens sowie der Temperatur- und Rauchentwicklung zu simulieren.

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. 29 der Arbeitsgemeinschaft Feuer-
schutz 1975
- [2] Salzberg, F.
Vodvorka, F.J.,
Maatman, G.L.: "Minimum Water Requirements for suppression of Room Fires"
Fire Technology, Febr. 1970
- [3] Hird, D.: "Extinguishing room fires with high and low pressure water sprays"
VFDB - Z. 9 (1960) Sonderheft
Nr. 3 S. 58
- [4] Zeilmayr, A.: "Löschversuche mit Pulver"
Die österreichische Feuerwehr
22 (1968) H. 8, S 169
- [5] Harmathy, T.Z.: "A New Look at Compartment Fires" Part I, Fire Technology
Vol. 8 No 3 Aug. 1972
- [6] Fuchs, P.: "Brand- und Löschversuche mit verschiedenen Löschmitteln in einem Versuchsraum natürlicher Größe"
5. Internationales Brandschutz-
Seminar

[7] Hoffmann, W.:

"Folgeschäden von Löschpulvern
an Maschinen und sonstigen
empfindlichen Gegenständen
durch Korrosion"

Forschungsbericht Nr. 25 der
Arbeitsgemeinschaft Feuer-
schutz 1972

[8] John, R.:

"Rauchfreihaltung eines innen-
liegenden Treppenraumes mit-
tels eines Druckbelüftungs-
systems

Bauvorhaben: Hamburg, Großer
Burstah 46-48"

Zu beziehen über

Dok. Stelle für Bautechnik in
der Fhg. Stuttgart

9. T A B E L L E U N D B I L D E R

Tabelle 1 Versuchsergebnisse

Vers. Nr.	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
Brandgut	Holz- krippen	Holz- krippen	Holz- krippen	Holz- krippen	Möbel	Möbel	Möbel	Möbel
Masse des Brand- gutes in kg	381	384	381	374	383	381	379	379
Branddauer t_b in min	42,3	42,3	39,5	46,5	22,8	34,1	23,9	19,2
Branddauer t_{fl} bis Feuer- übersprung	31,5	29,5	27,5	34,5	9	23	12	7
Abbrand A in % z.Z. $t = t_b$	40,6	44,9	43,9	41,9	41,8	43,4	42,0	40,1
Branddauer t_{40} bis A = 40 % in min	42,1	40,5	38,1	45,9	22,2	33,1	23,4	19,1
Max. Abbrandge- schwindigkeit kg/min	10,7	10,1	10,2	10,5	11,6	12,3	12,6	11,8
Löschmethode	Wasser CM- Rohr	Wasser CM- Rohr	Schaum- Rohr L 200	Pistol. Rohr	Wasser CM- Rohr	Wasser DM- Rohr	CM-Rohr + Netz- mittel	Wasser CM- Rohr
Löschzeit t_l in min	15	13	25	15	7	8	6	6,6
Löschmittelmenge in l bzw. kg	170	164	349	153	221	152	193	228
Schadenswasser- menge in l	71	63	240	57	122	50	99	129
Verdampfte Lösch- wassermenge in l	99	101	109	96	99	102	94	99

Tabelle 1 Versuchsergebnisse (Fortsetzung)

Vers. Nr.	V9	V10	V11	V12	V13	V14	VI	VII
Brandgut	Möbel	Möbel	Möbel	Möbel	Möbel	Möbel	Modell- brandl.	Modell- brandl.
Masse des Brandgutes in kg	378	381	380	382	383	185	180 kg	312
Branddauer t_b in min	23,6	20,5	41,3	19,5	19,6	12,6	21,1	22,7
Branddauer t_{fl} bis Feuerübersprung	9,5	8	25	9,5	5,5	6,5	4,9	9,8
Abbrand A in % z.Z. $t = t_b$	40,1	41,2	42,7	40,3	40,0	39,5	40,0	40,0
Branddauer t_{40} bis A = 40 % in min	23,5	19,8	40,3	19,4	19,6	--	21,1	22,7
Max. Abbrandgeschwindigkeit kg/min	11,3	11,8	9,6	11,5	9,7	10,4	6,5	10,1
Löschmethode	Schaum- Rohr L 400	CO ₂ + Wasser CM-Rohr	Pulver + CM-Rohr	Pulver + CM-Rohr	Halon 1211 CM- Rohr	Wasser CM- Rohr	--	Wasser CM- Rohr
Löschzeit t_l in min	0,62	0,5 CO ₂ 6,5 Wass.	3,5 Pulv. 6,8 Wass.	0,8 Pulv. 7,0 Wass.	1,1 Halon 4,1 Wass.	7,8	--	1,1
Löschmittelmenge in l bzw. kg	250	10 kg CO ₂ 215l Wass	45kg Pulv 200l Wass	28kg Pulv 180l Wass	9,5kg Hal 288l Wass	133	--	78
Schadenswassermenge in l	166	129	103	95	139	50	--	17
Verdampfte Löschwassermenge in l	84	96	97	85	149	83	--	61

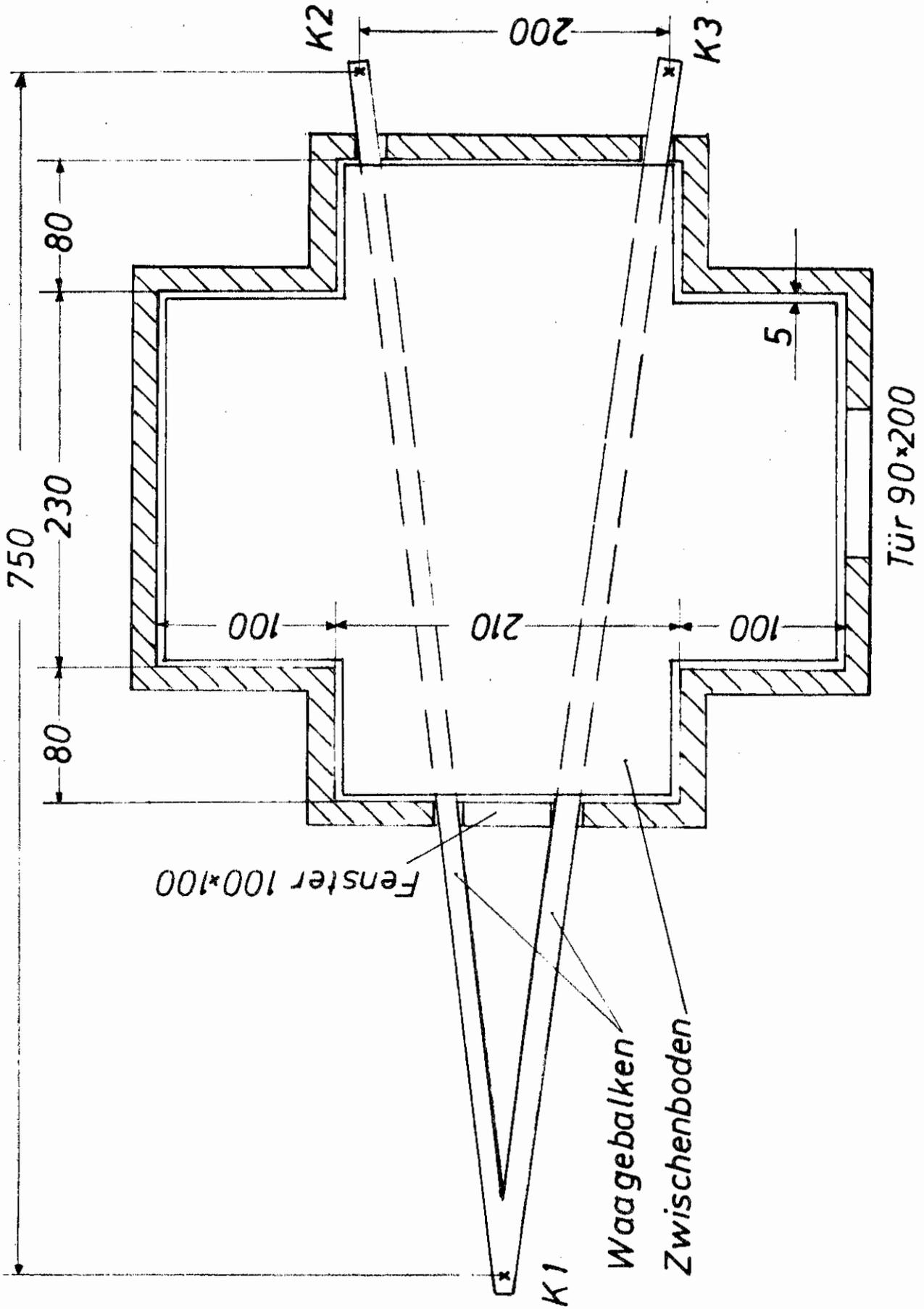
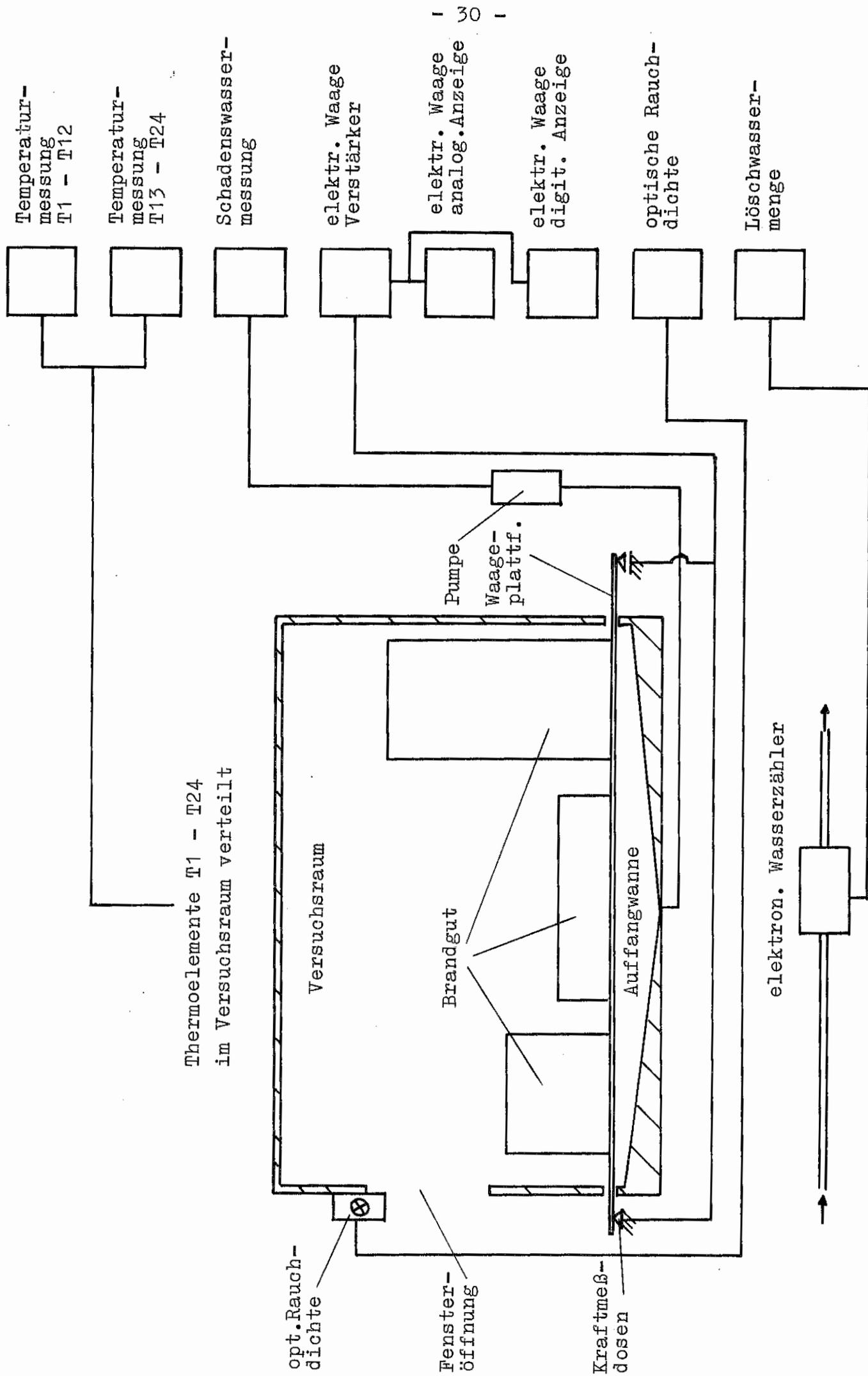


Bild 1 Grundriß des Versuchsraumes mit Anordnung der Waagebalken und des Zwischenbodens
Maße in cm



Thermoelemente T1 - T24
im Versuchsraum verteilt

Bild 2 Schematischer Aufbau der Versuchsanlage

- ⌋ ca 5 cm unter der Decke
- ⌋ unmittelbar an der Wand
ca 50 cm über dem Zwischenboden
- ⌋ unmittelbar an der Wand
ca 170 cm über dem Zwischenboden
- ⌋ unmittelbar auf dem Zwischenboden
T7, T8 und T13 sind Meßstellen an
verschiedenen Bauteilen des Ver-
suchsraumes

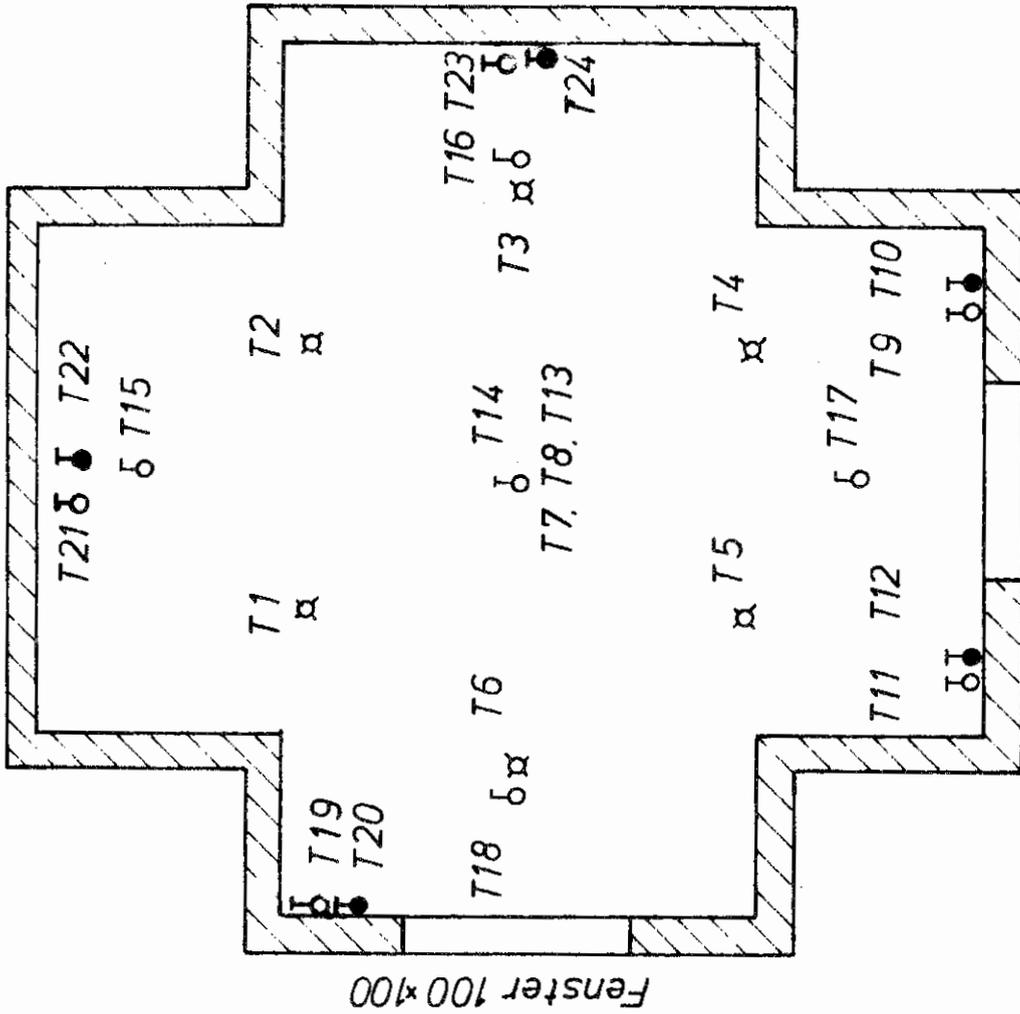


Bild 3 Lage der Temperaturmeßstellen im Versuchsraum

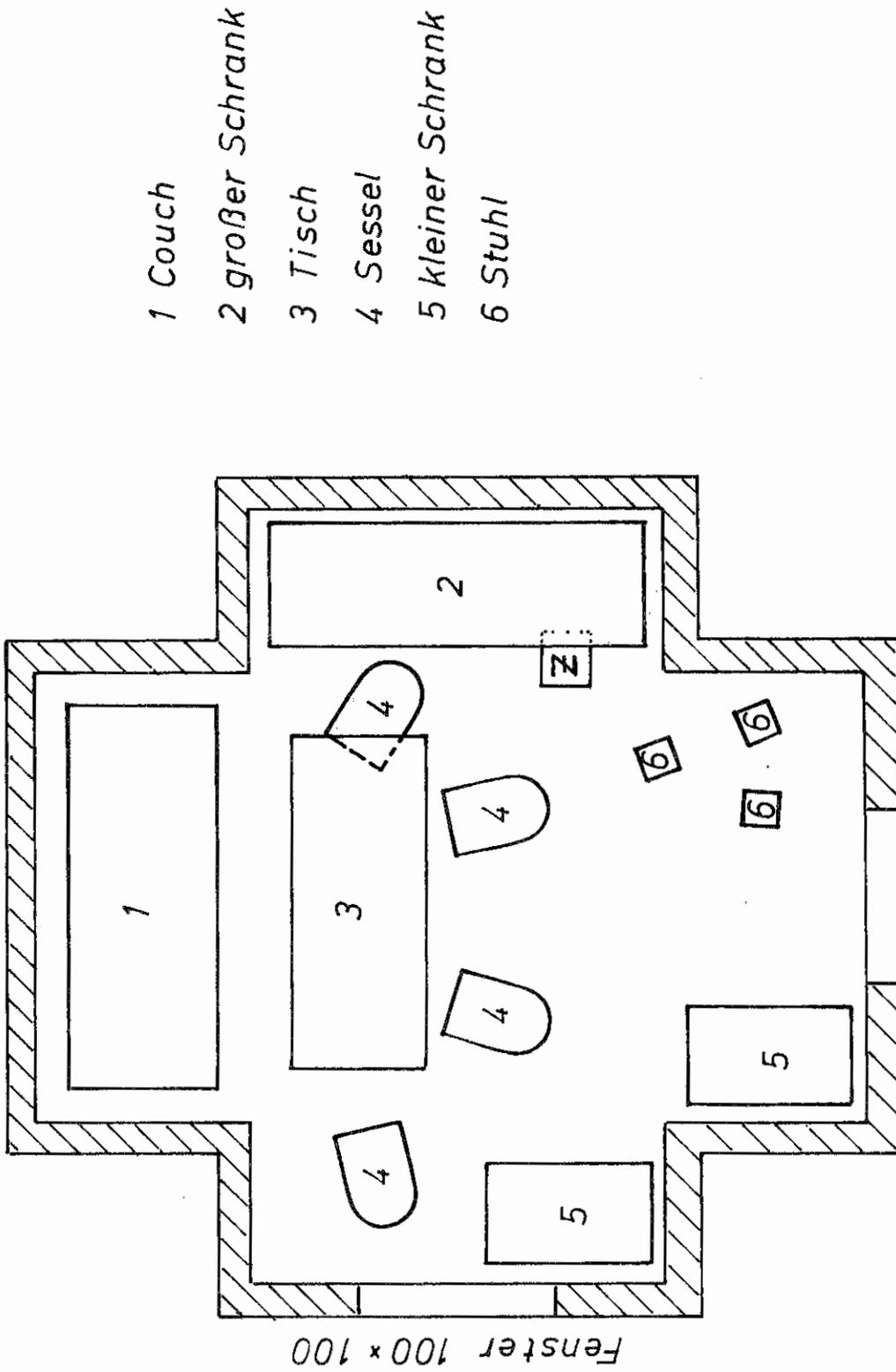


Bild 4 Verteilung des Brandgutes im Versuchsraum

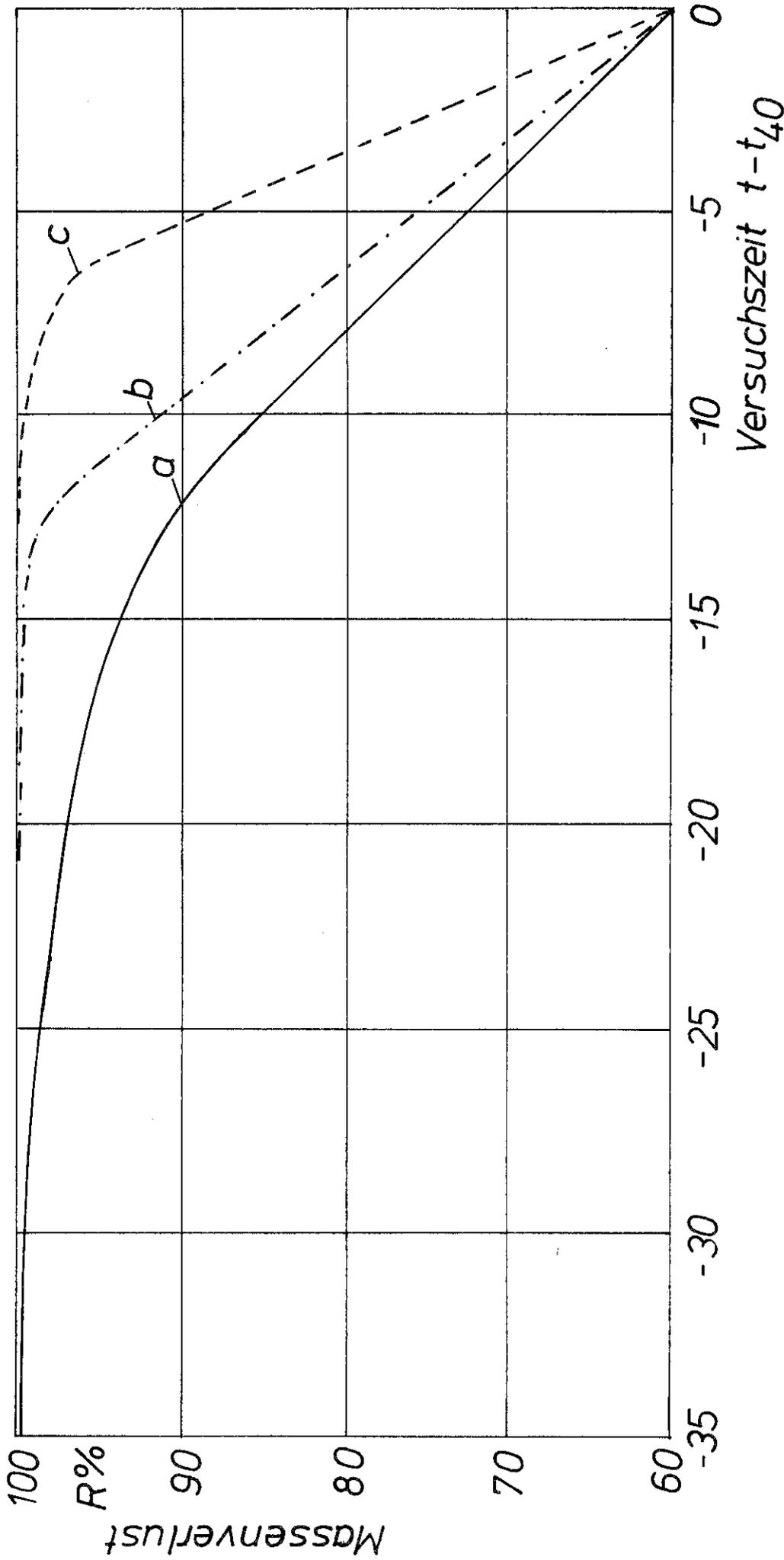


Bild 5 Charakteristischer Verlauf des Massenverlustes der Brandlast R beim Abbrand verschiedener Brandgüter über der Versuchszeit t-t₄₀

a = Holzkruppen, b = Möbel 380 kg, c = Möbel 185 kg.

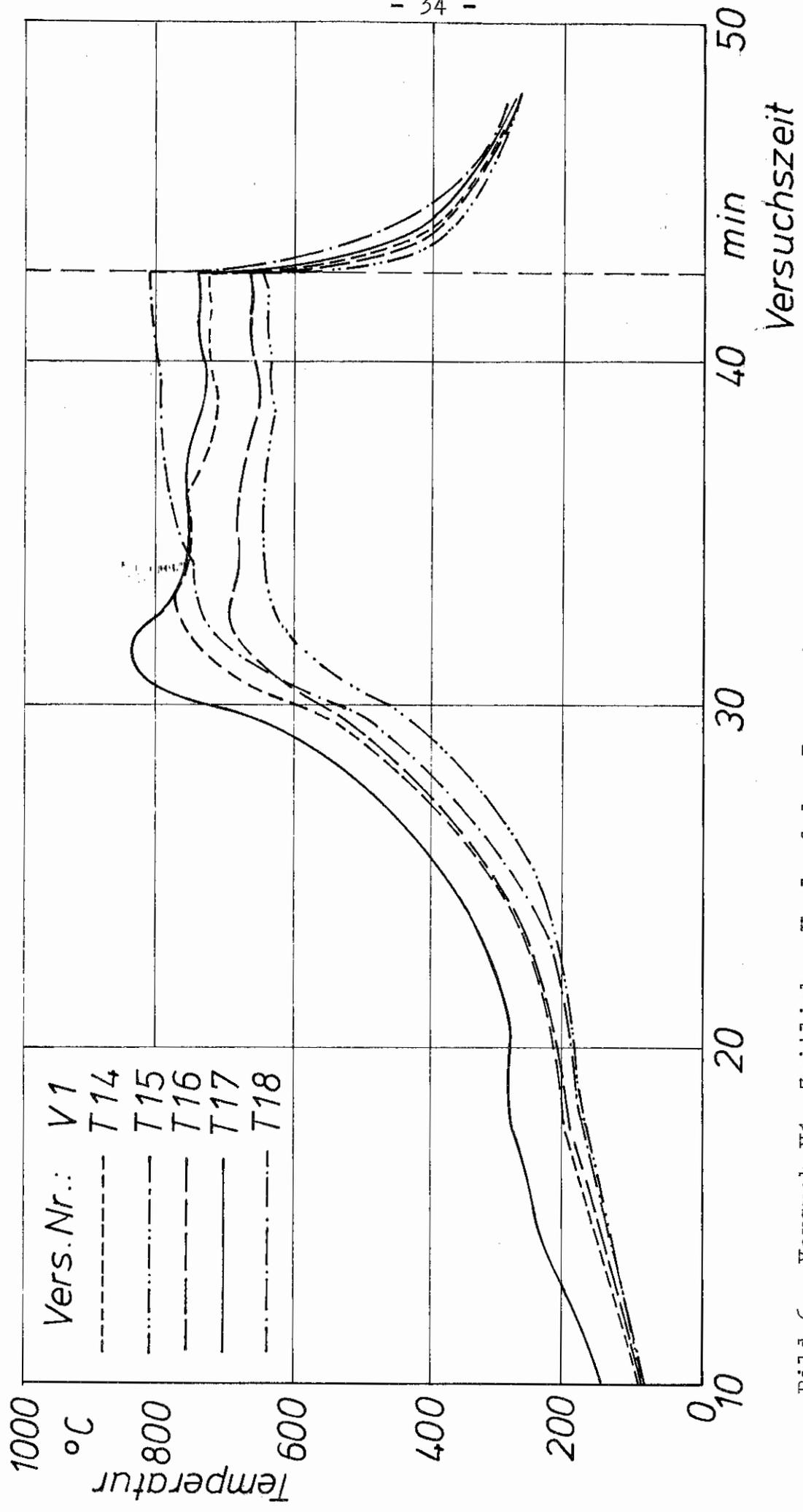


Bild 6 Versuch V1. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

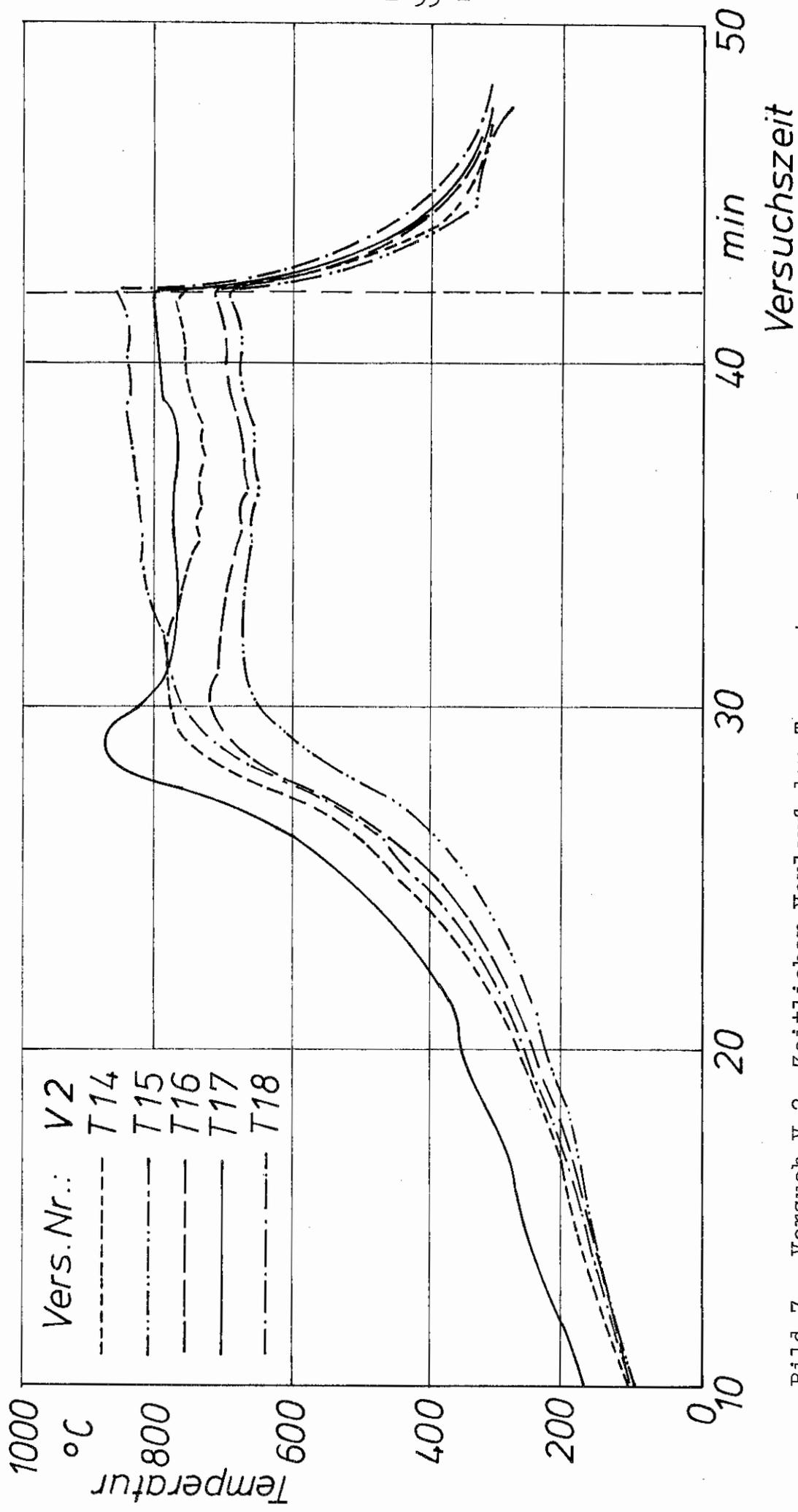


Bild 7 Versuch V 2. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

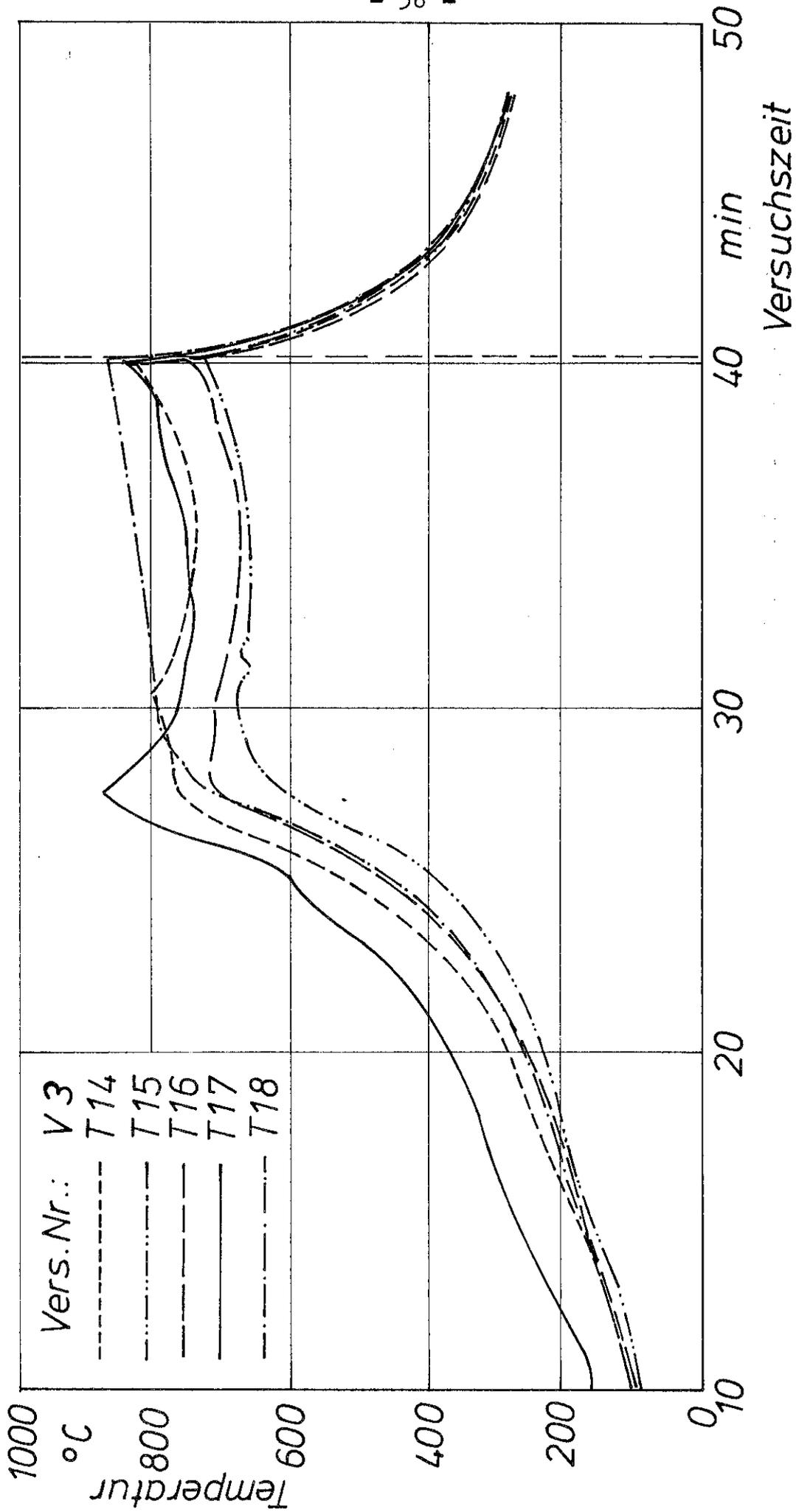


Bild 8 Versuch V3. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

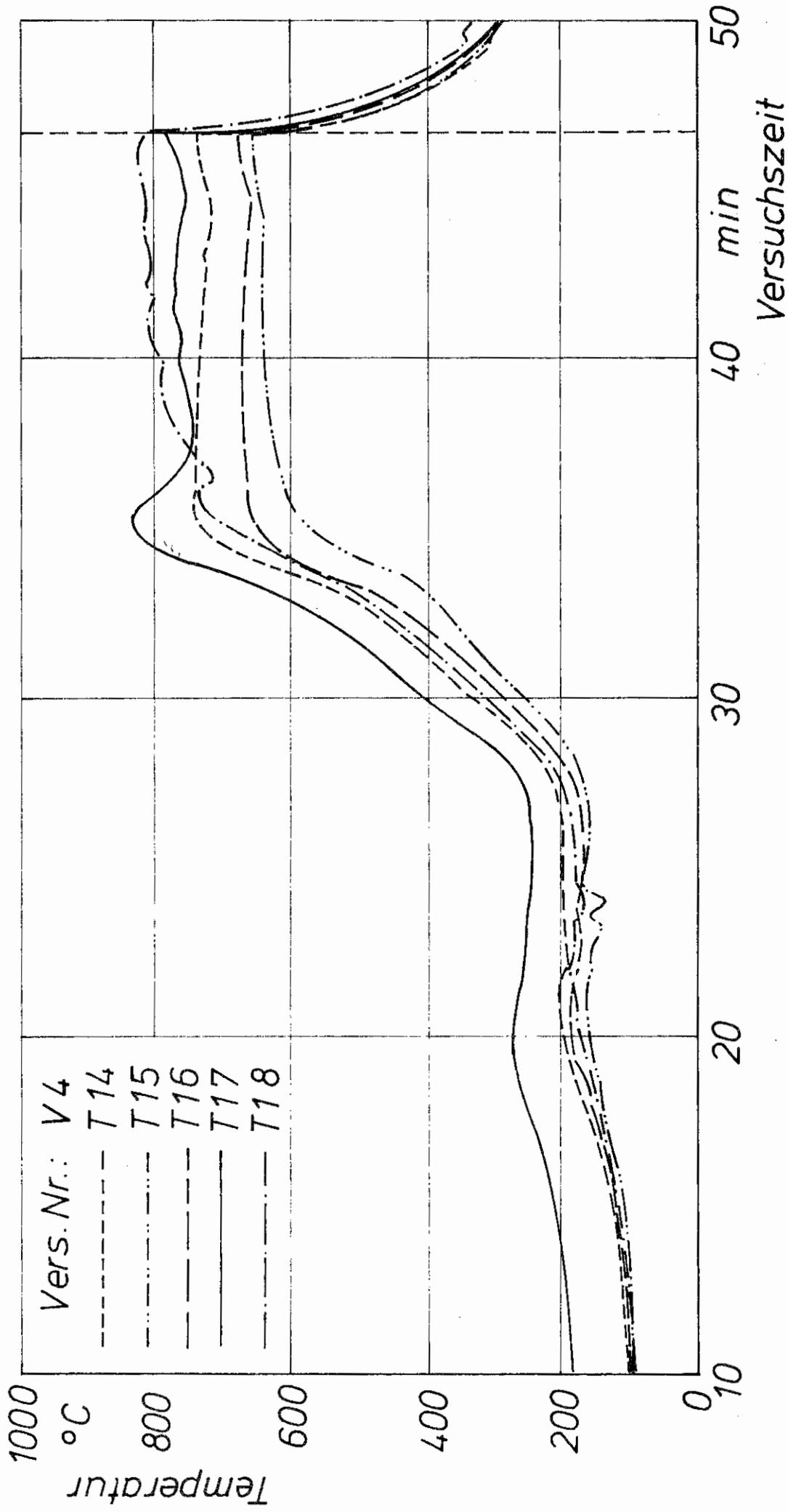


Bild 9 Versuch V4. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

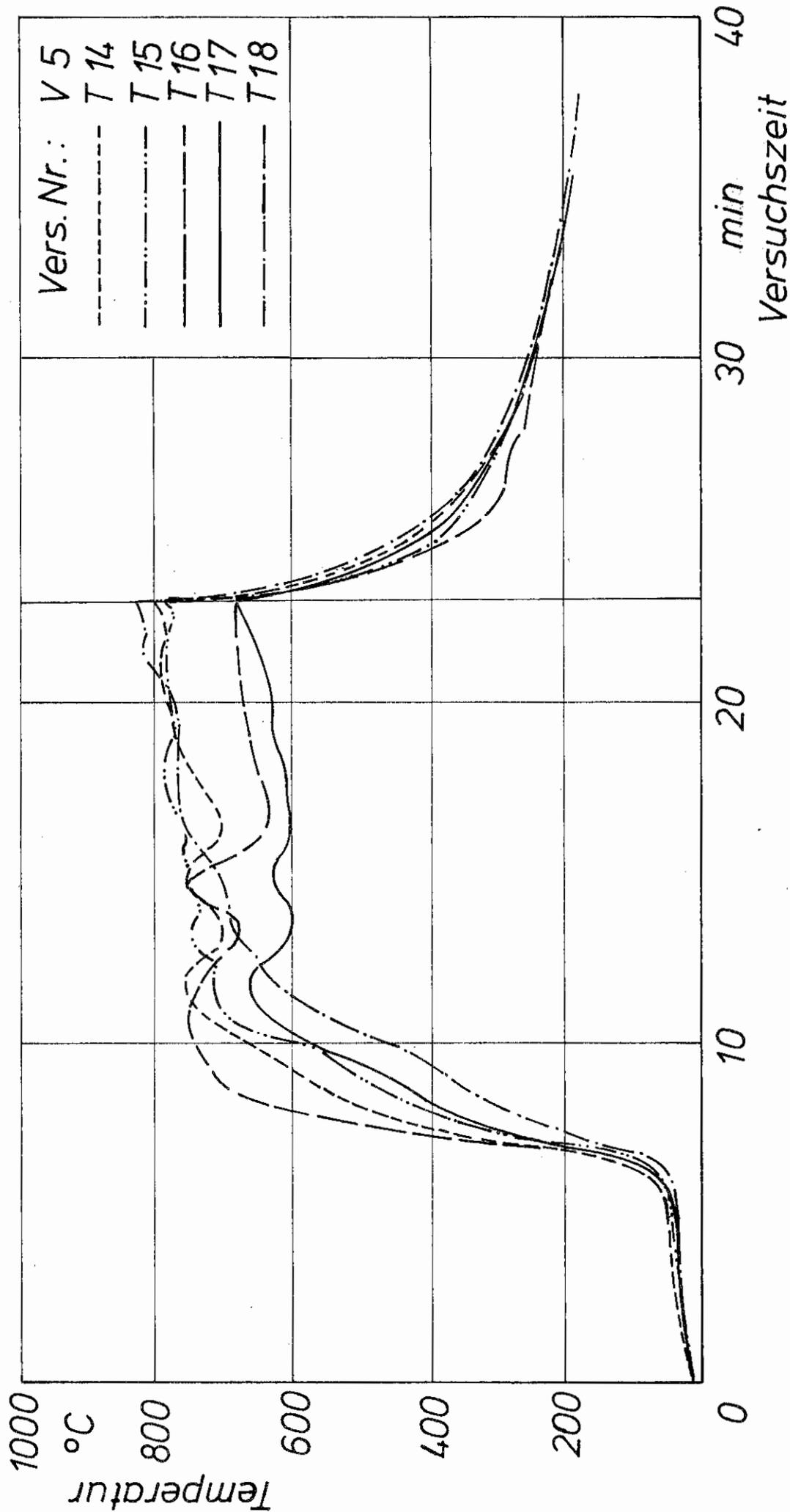


Bild 10 Versuch V5 Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

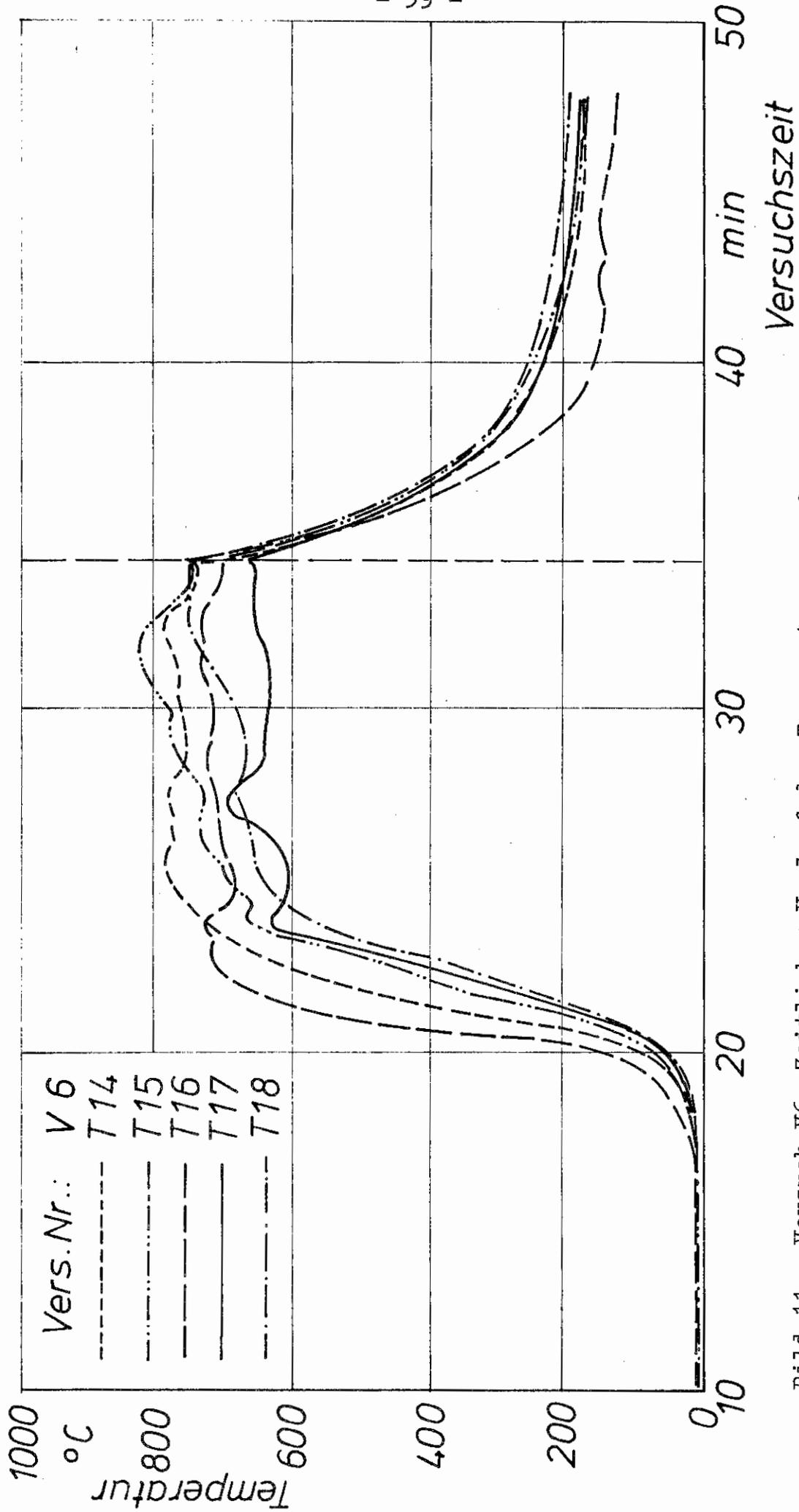


Bild 11 Versuch V6 Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

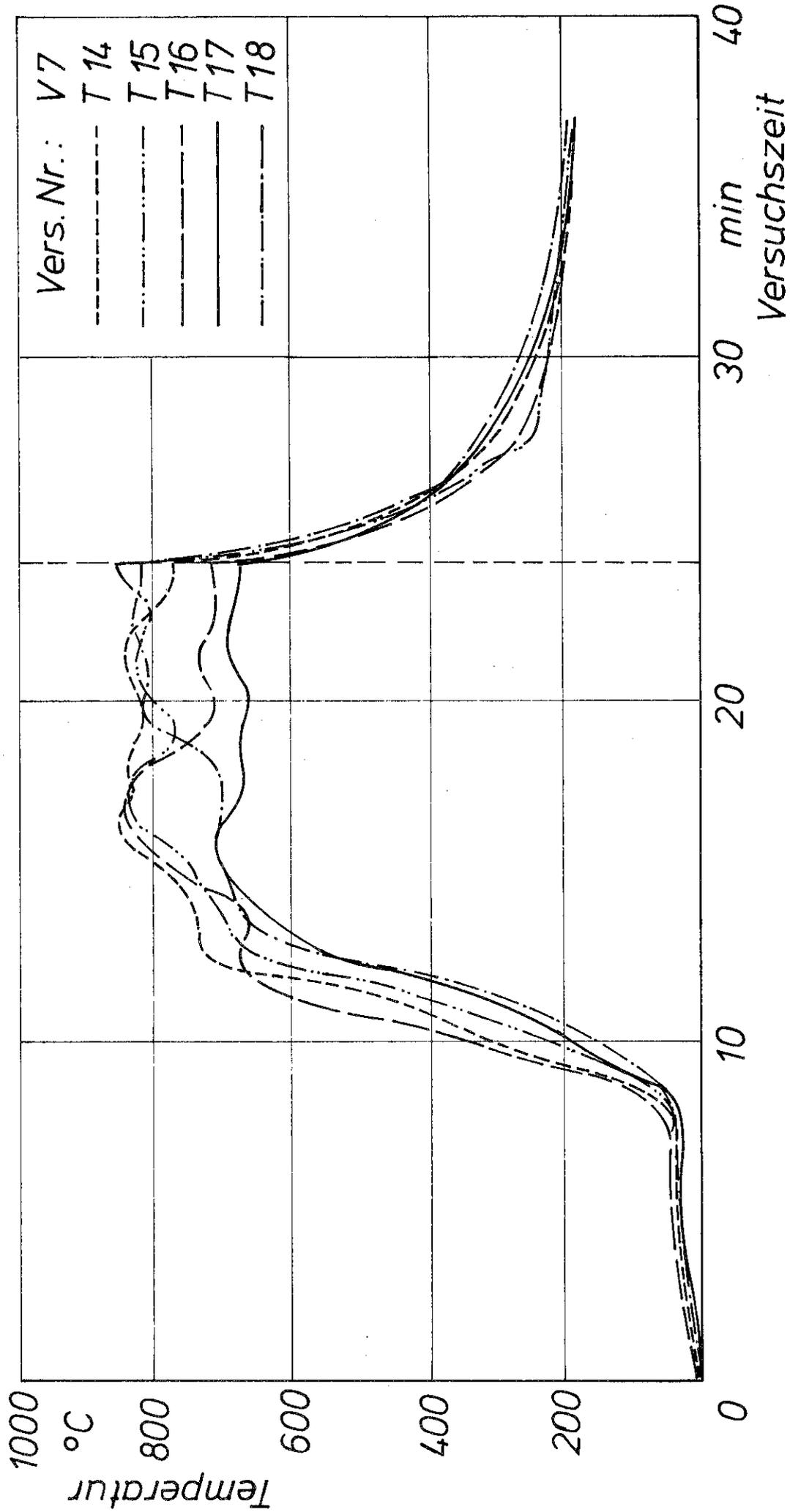


Bild 12 Versuch V7 Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

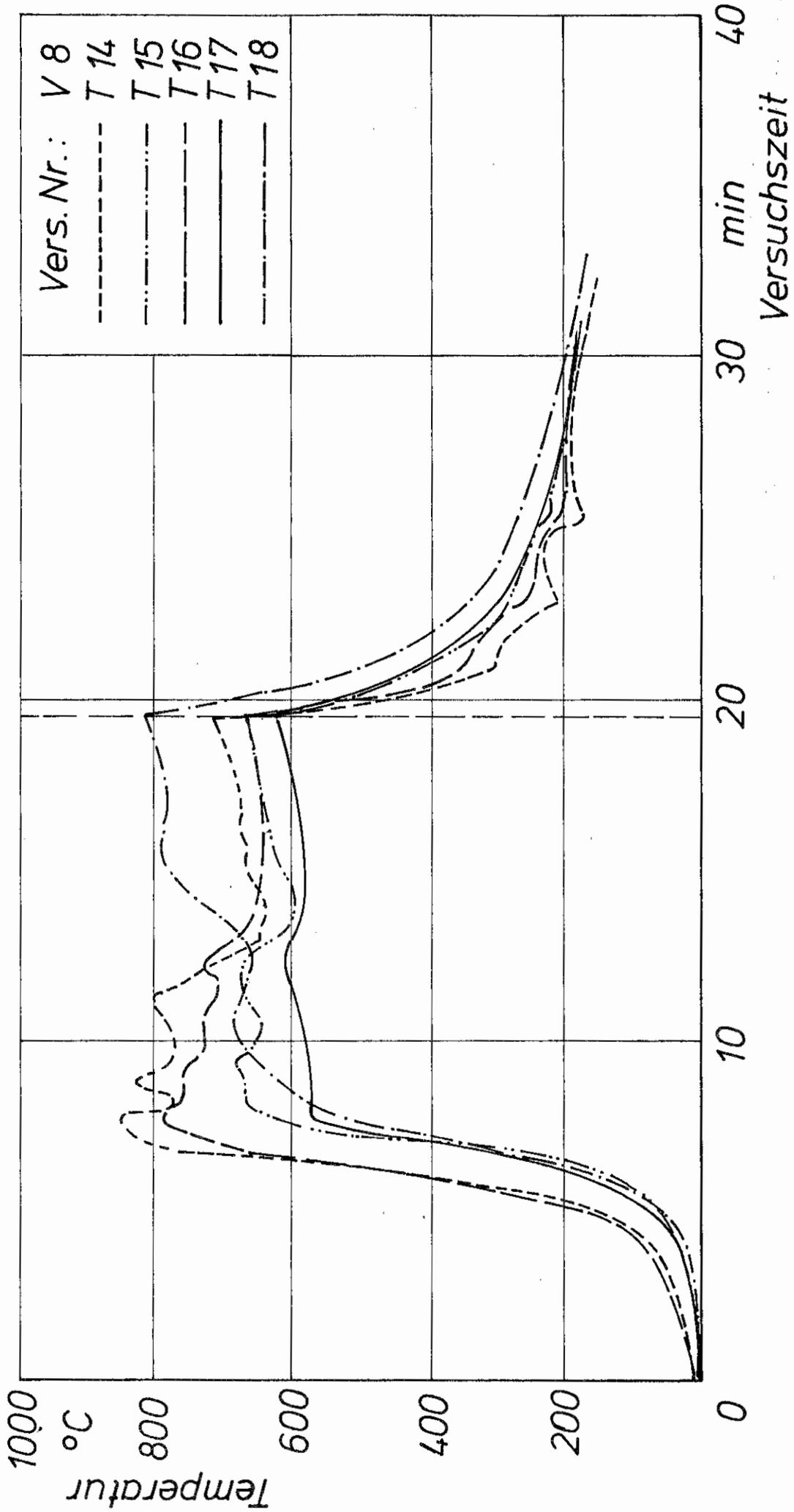


Bild 13 Versuch V8 Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

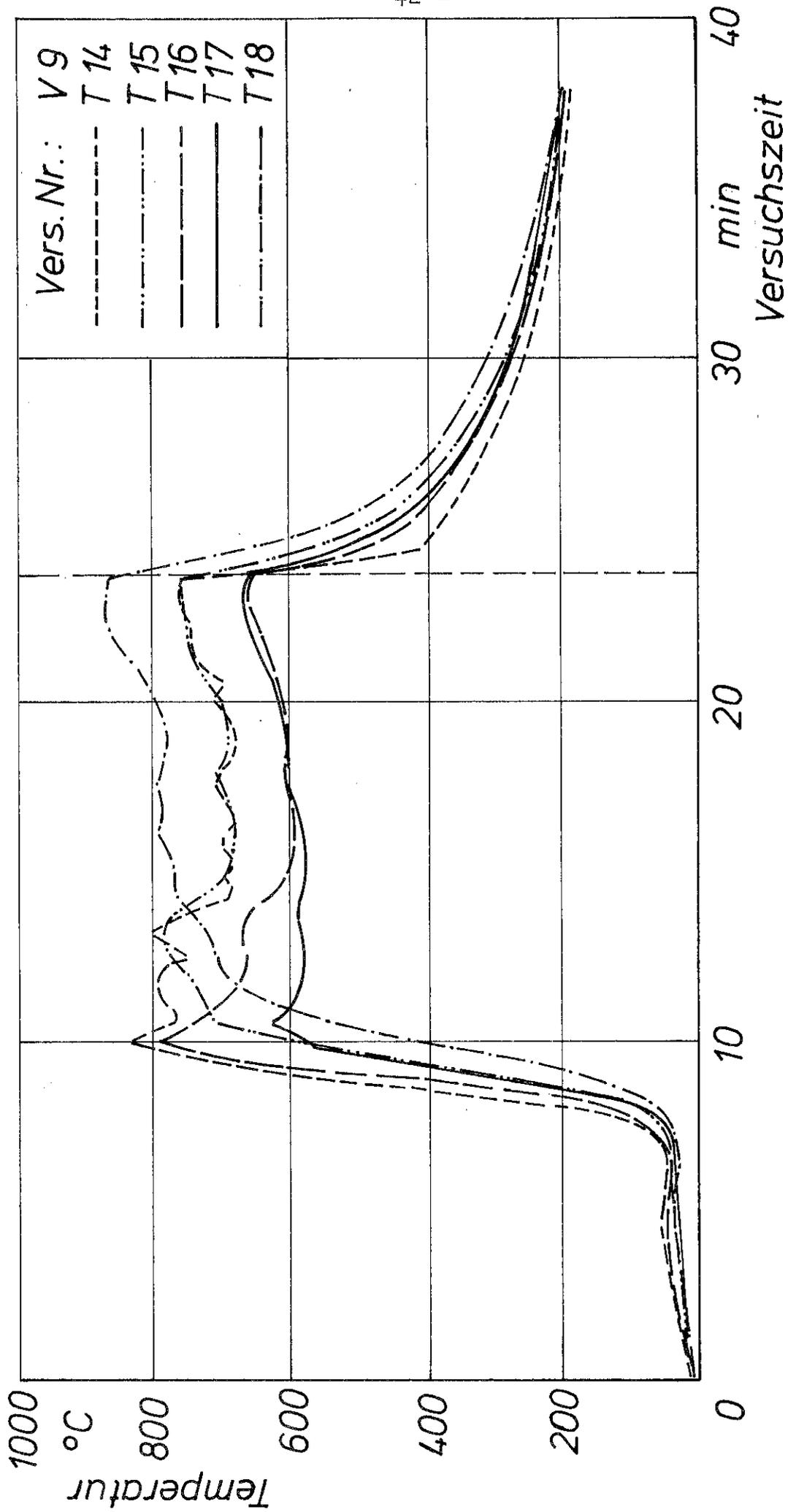


Bild 14 Versuch V9. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

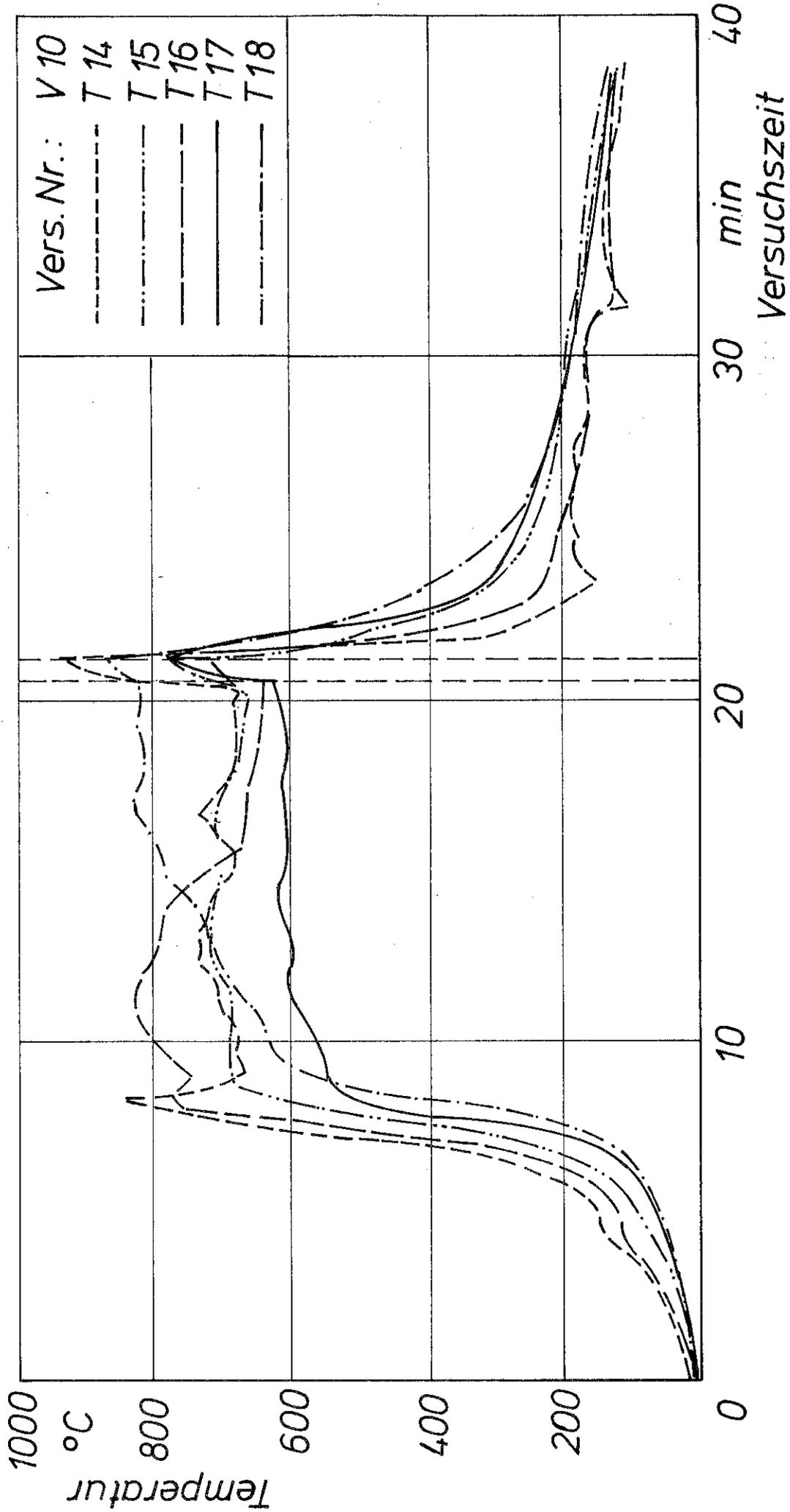


Bild 15 Versuch V10. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

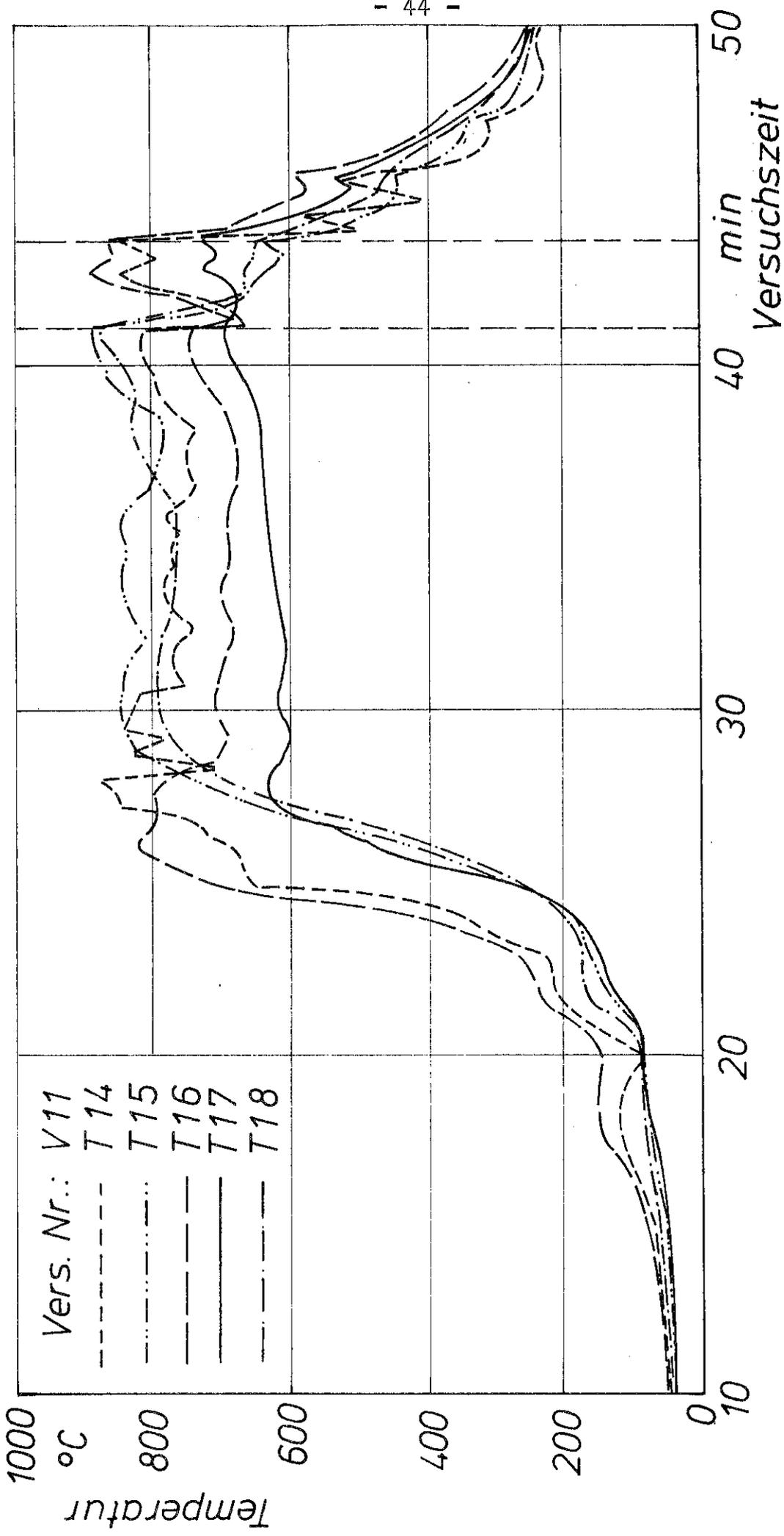


Bild 16 Versuch V11. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

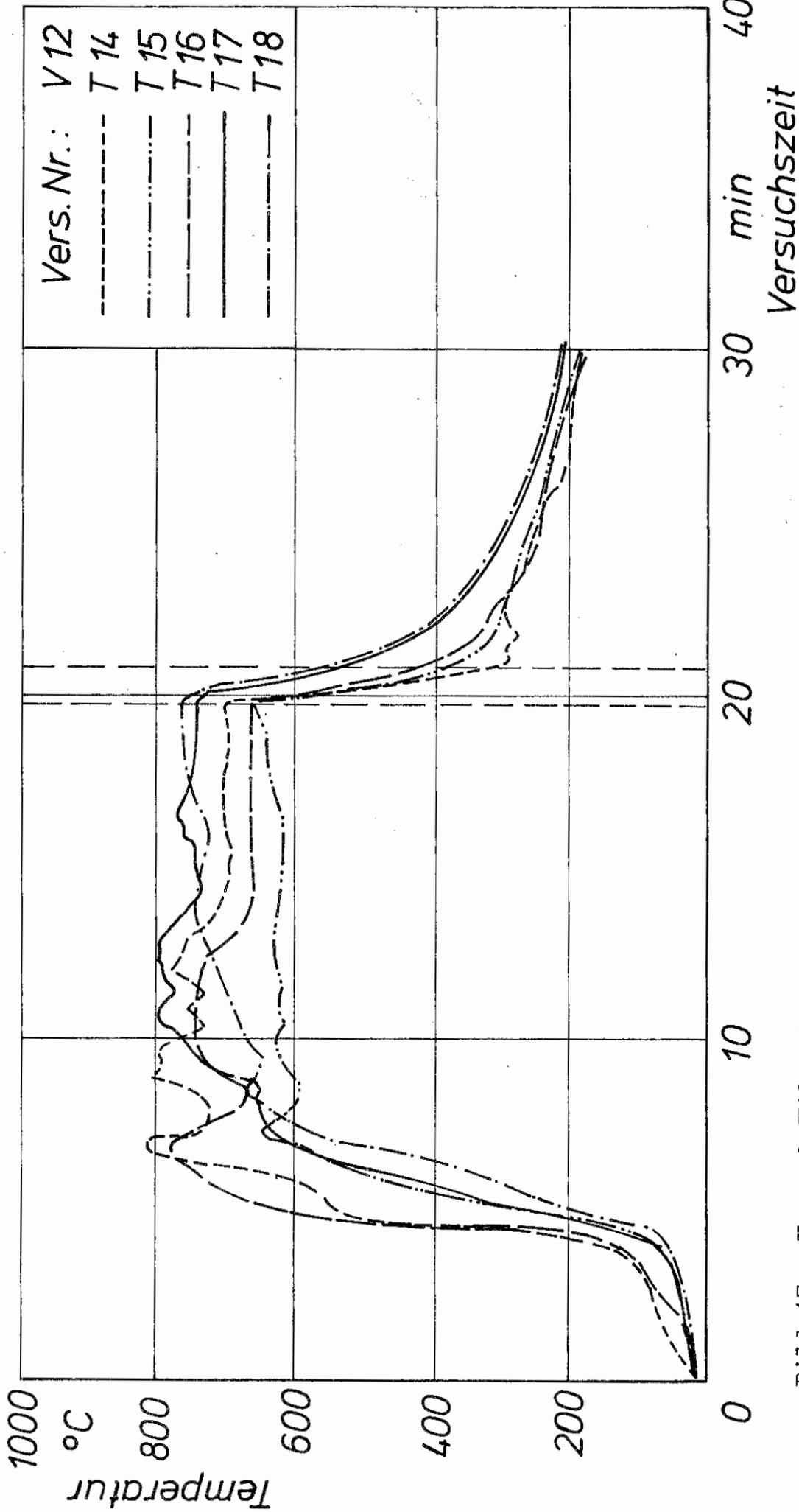


Bild 17 Versuch V12. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

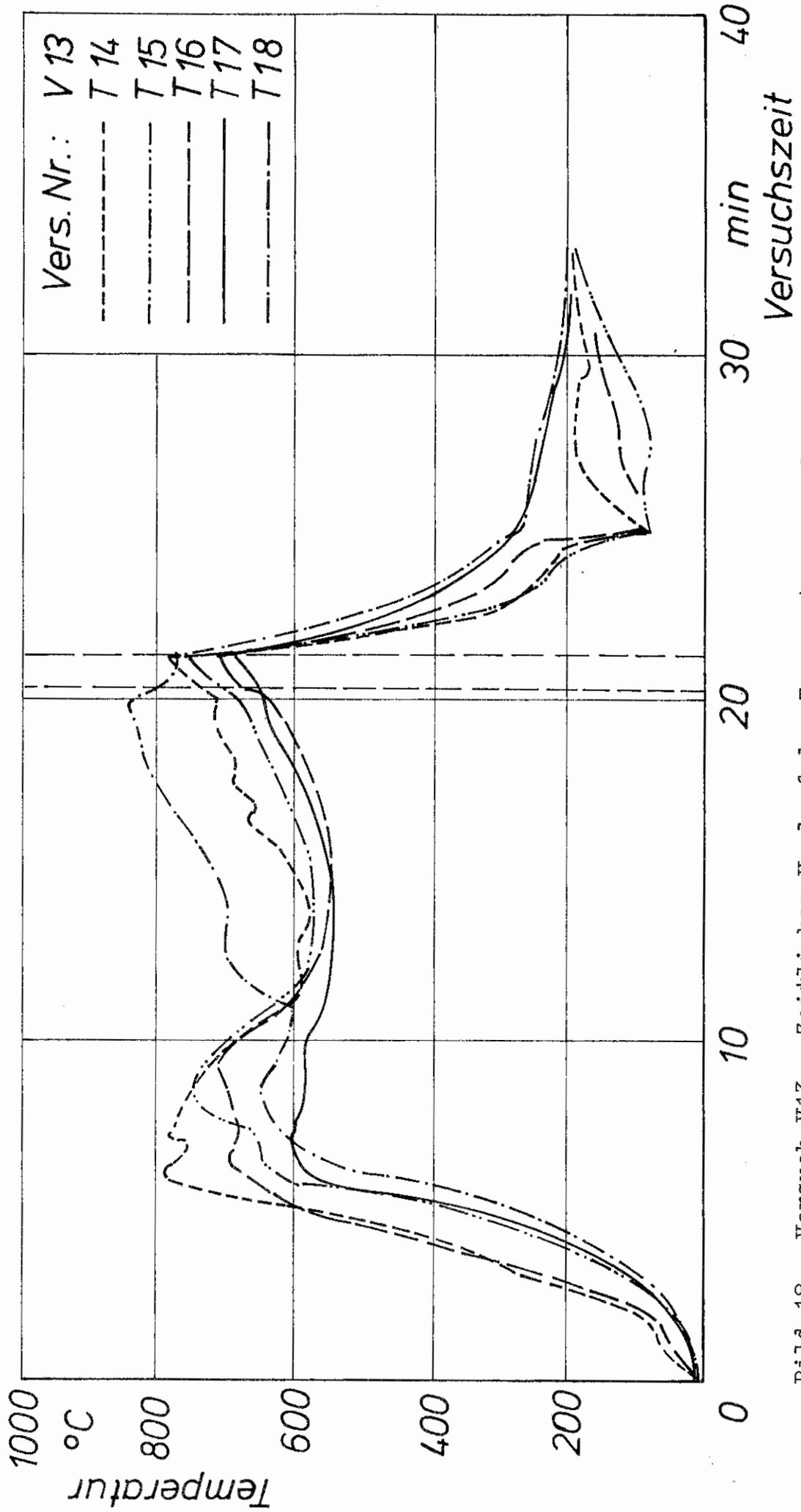


Bild 18 Versuch V13. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

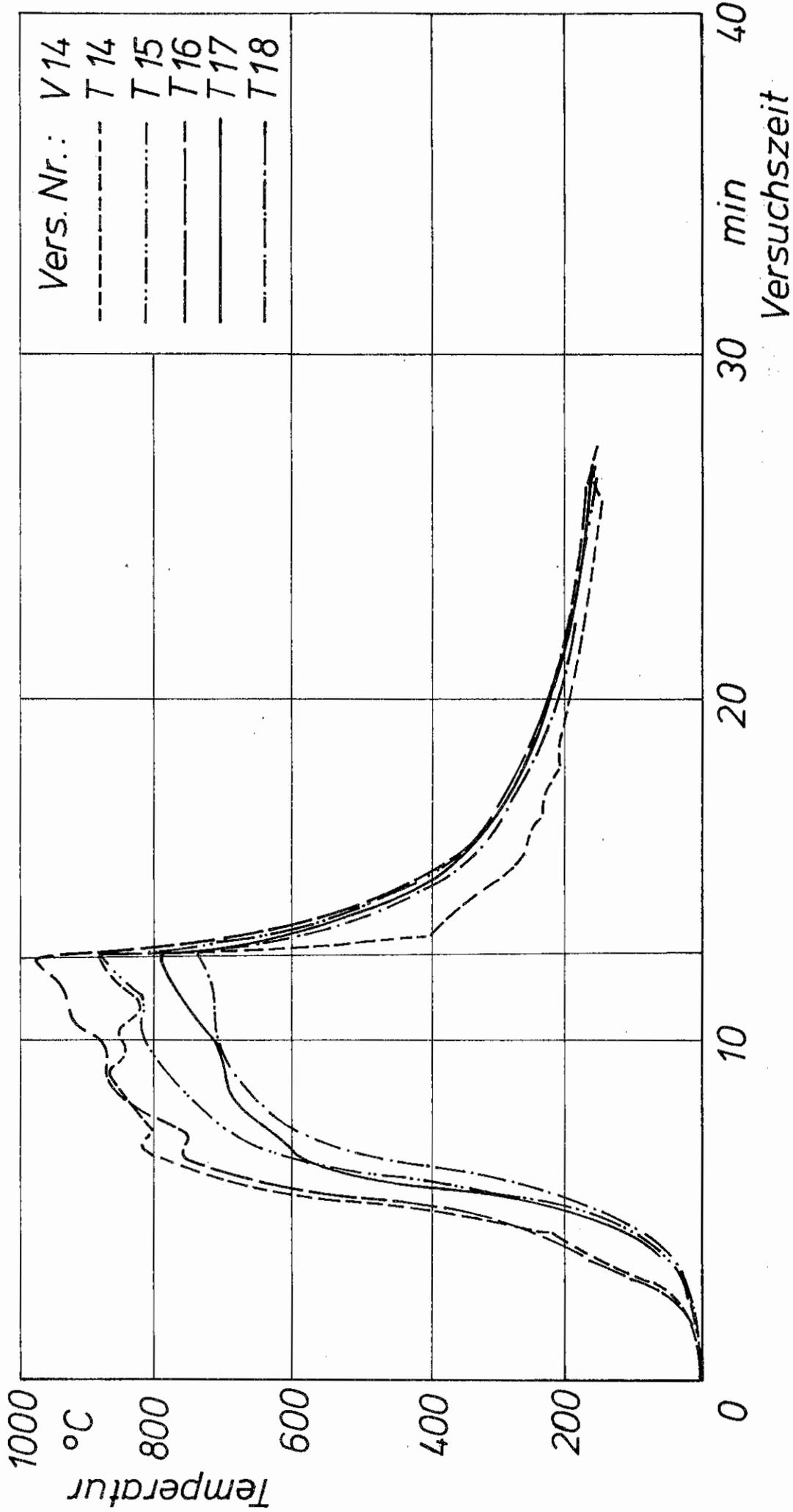


Bild 19 Versuch V14. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

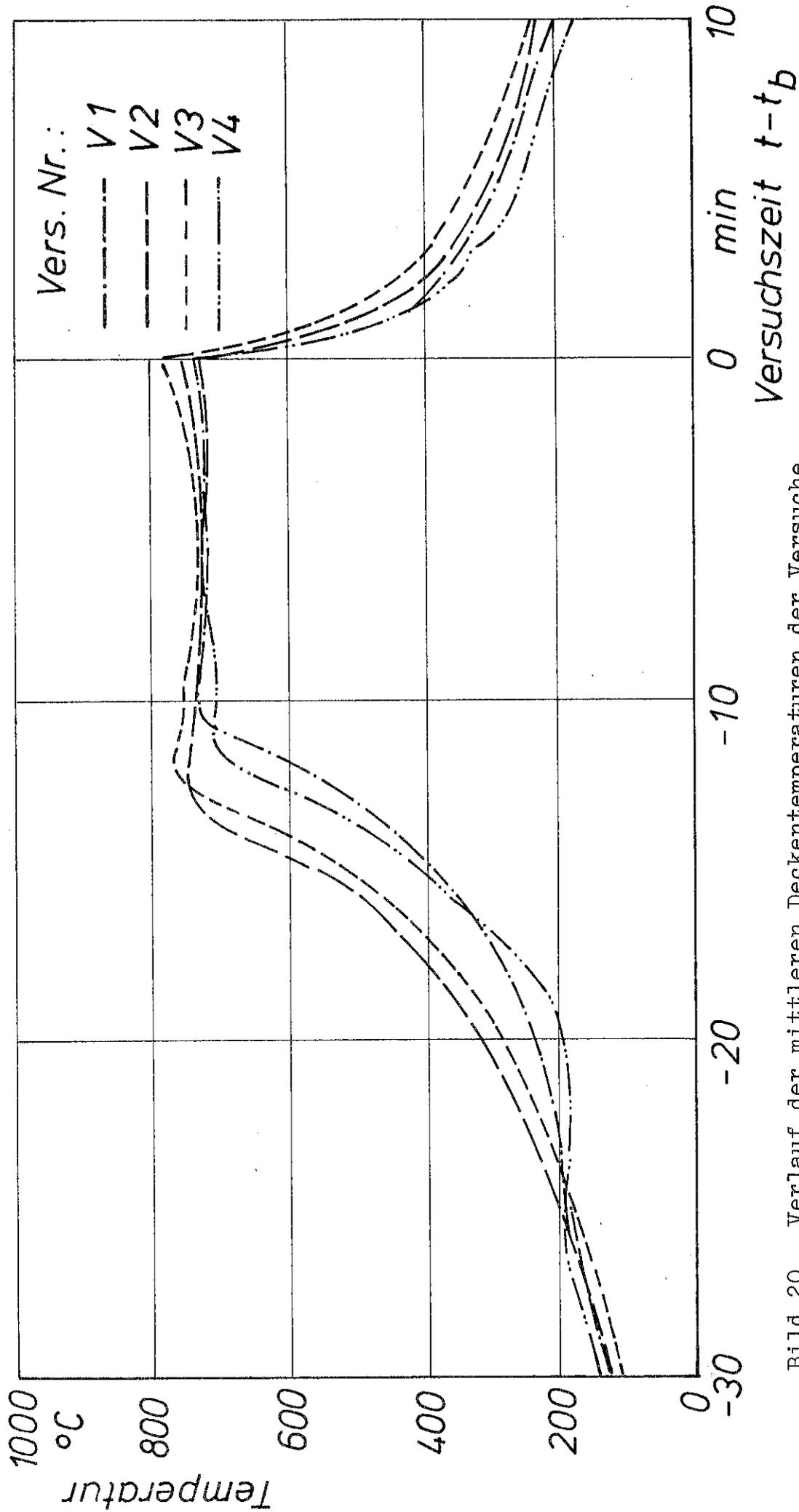


Bild 20 Verlauf der mittleren Deckentemperaturen der Versuche V1, V2, V3 und V4 über der Versuchszeit $t - t_b$

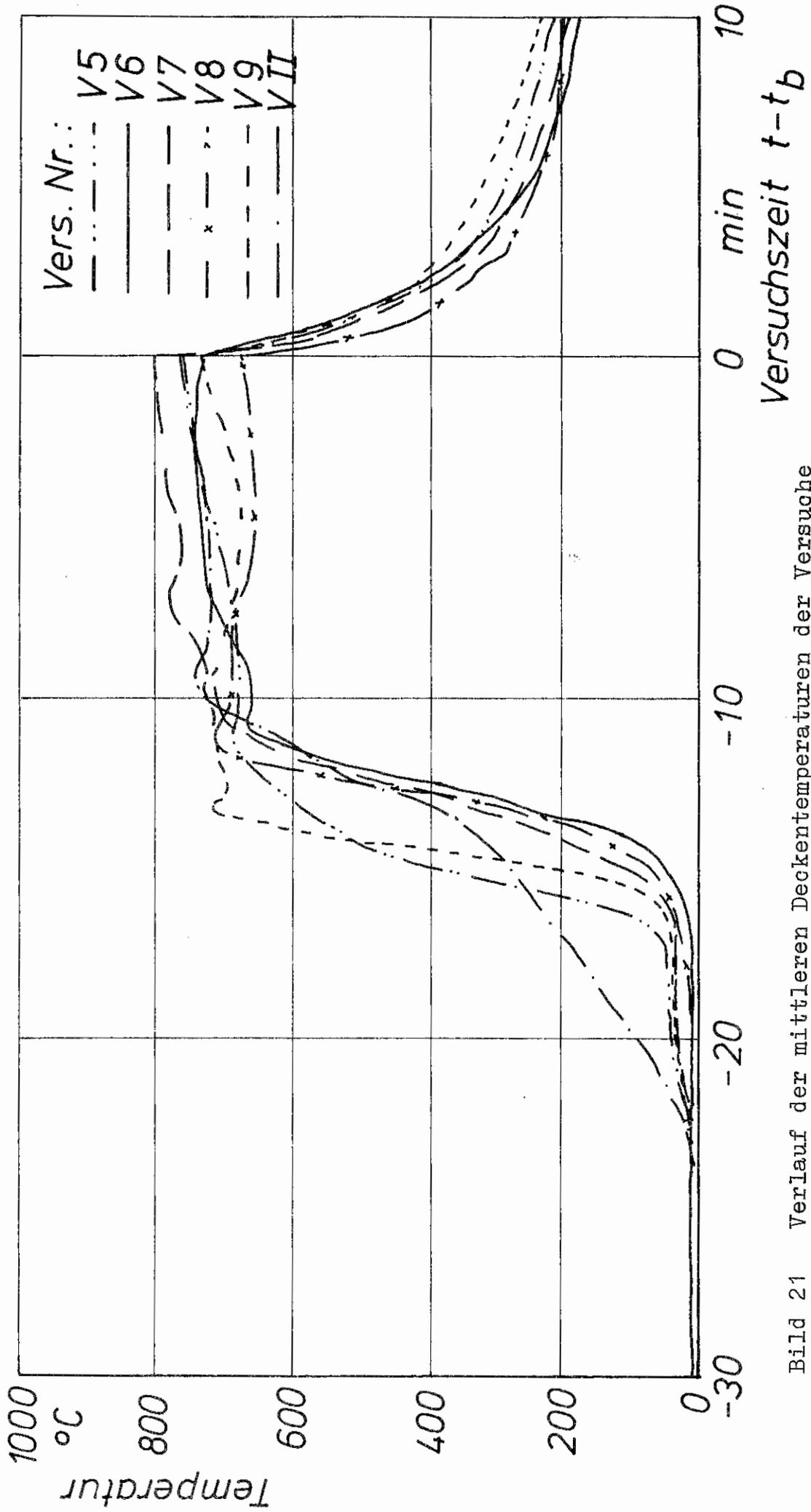


Bild 21 Verlauf der mittleren Deckentemperaturen der Versuche V5, V6, V7, V8, V9 und VII über der Versuchszeit $t - t_b$

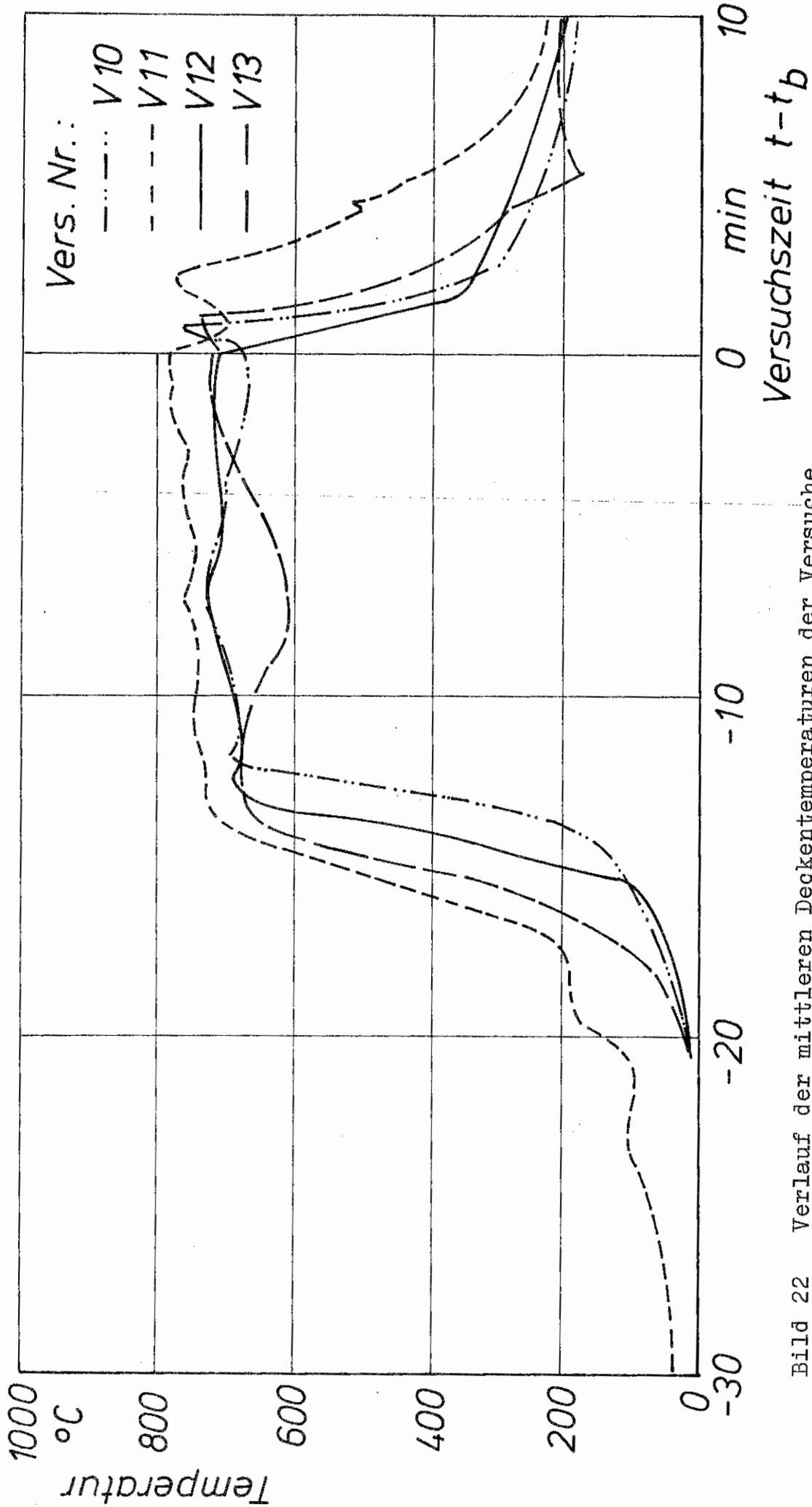


Bild 22 Verlauf der mittleren Deckentemperaturen der Versuche V10, V11, V12, V13 über der Versuchszeit $t - t_b$

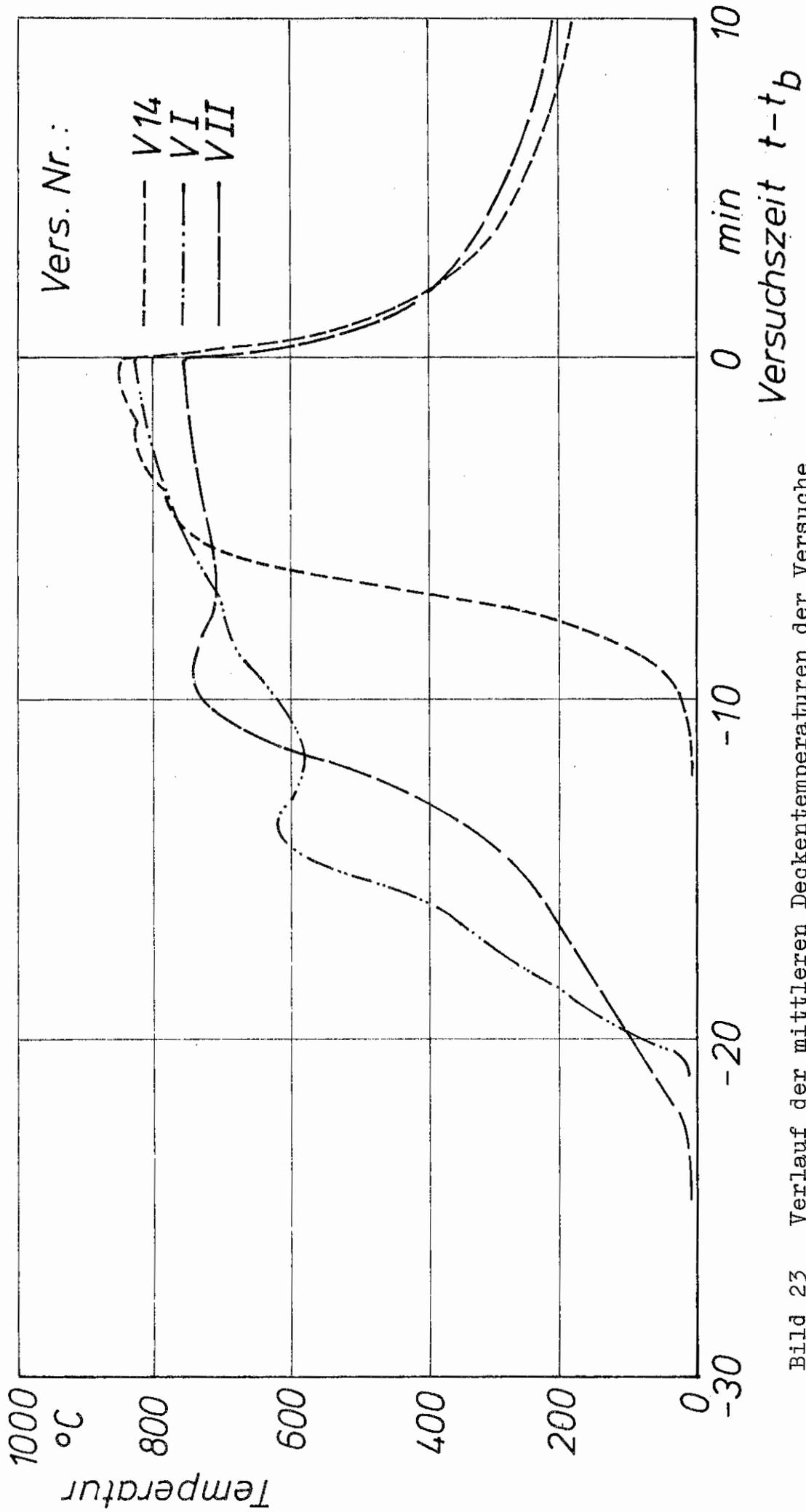


Bild 23 Verlauf der mittleren Deckentemperaturen der Versuche V14, VI und VII über der Versuchszeit $t - t_b$

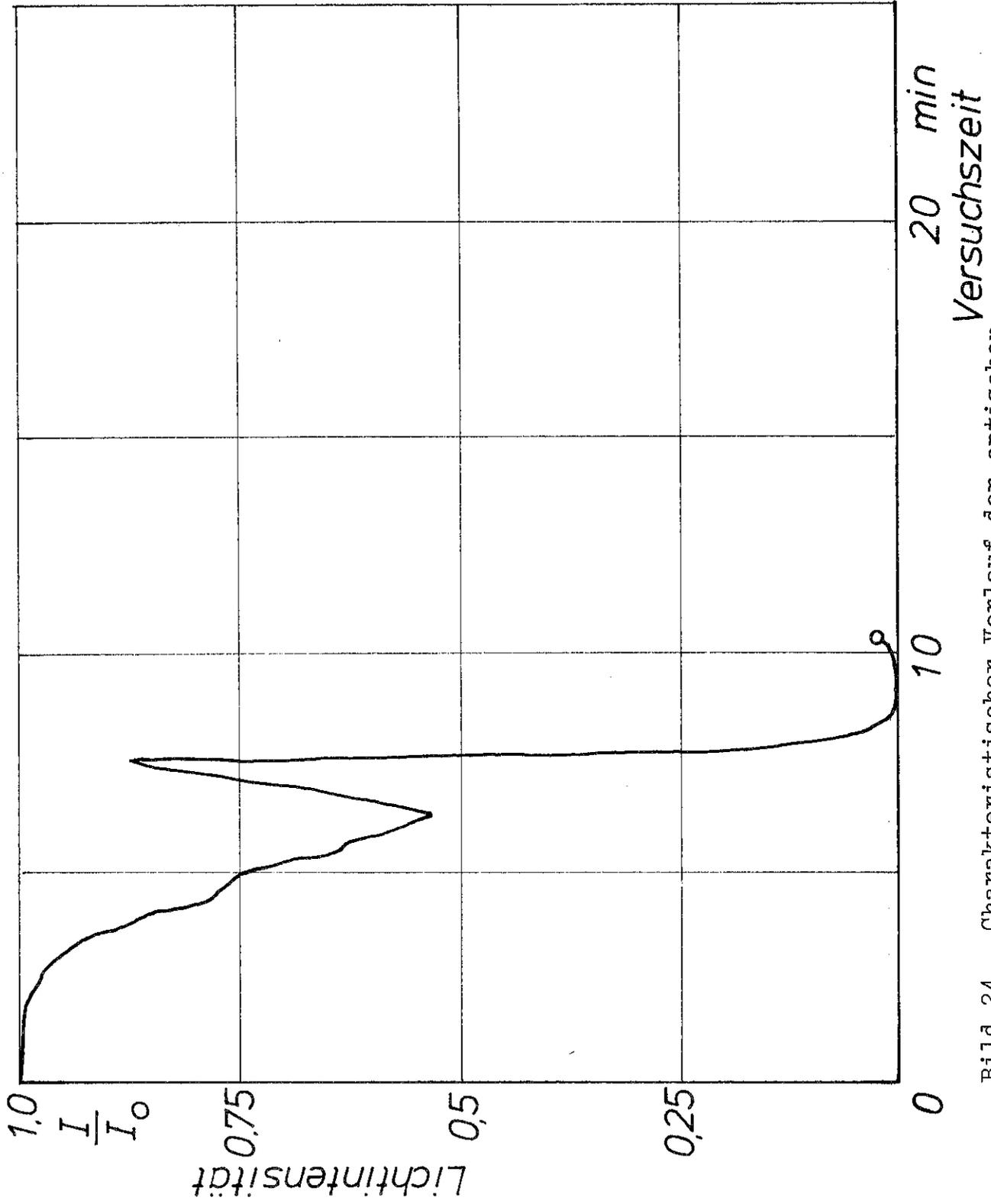


Bild 24 Charakteristischer Verlauf der optischen Rauchdichte über der Versuchszeit t

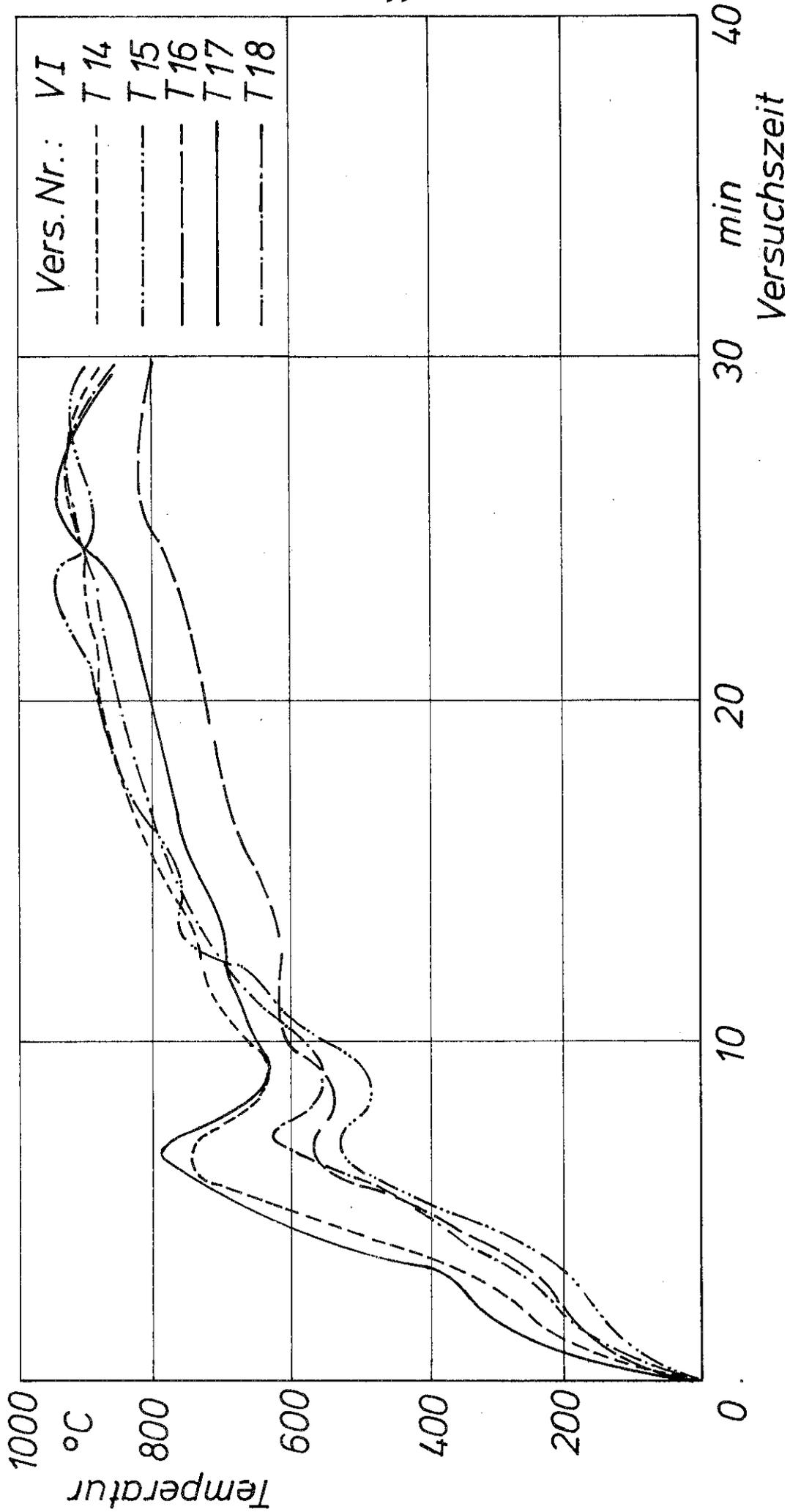


Bild 25 Versuch VI. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18

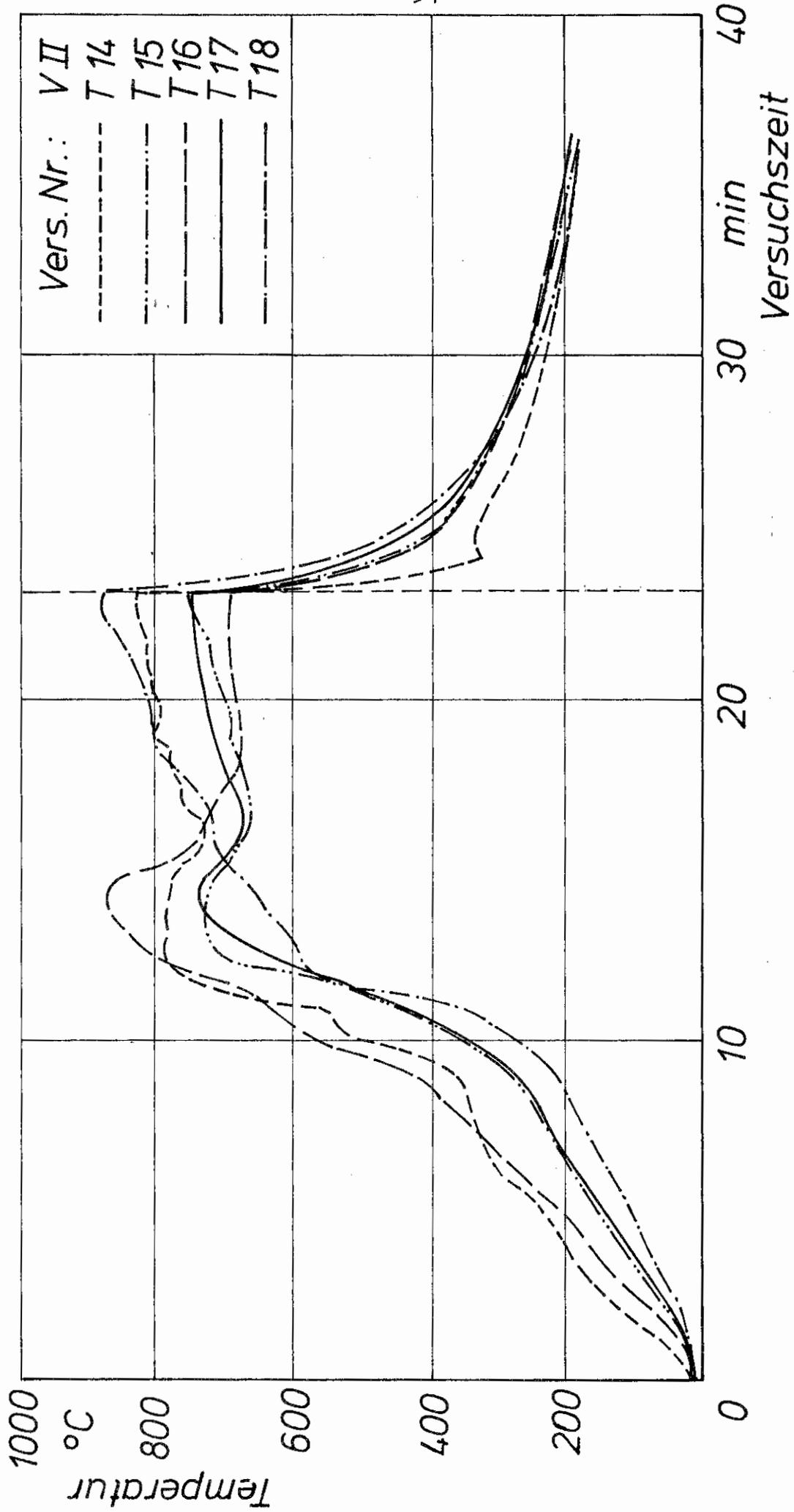


Bild 26 Versuch VII. Zeitlicher Verlauf der Temperaturen an den Meßstellen T14, T15, T16, T17 und T18



Bild 27a Versuch V13

Flammenerscheinung unmittelbar vor dem Einsatz von Halon 1211

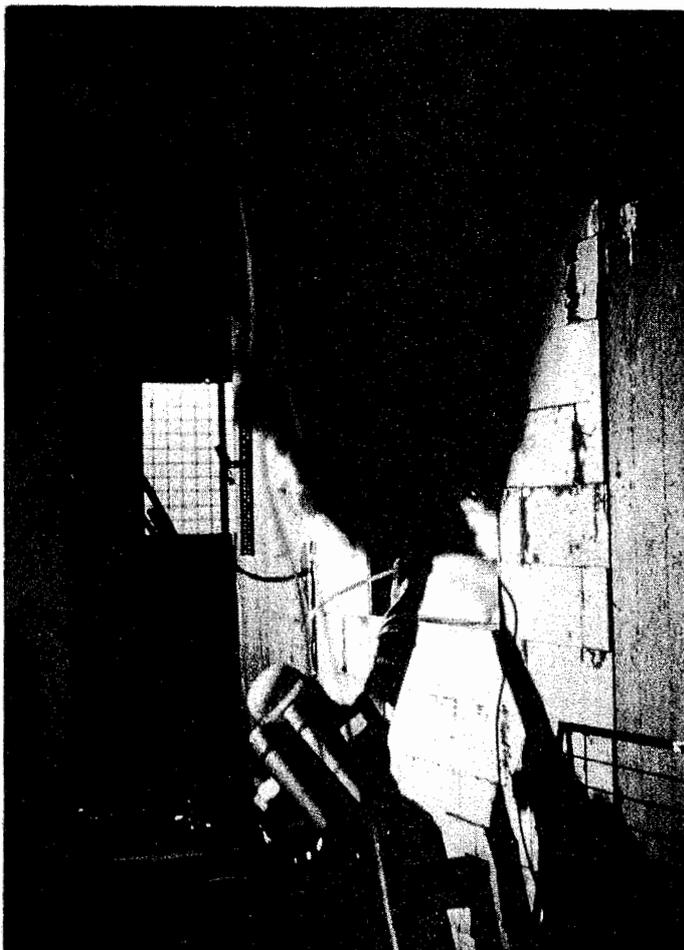


Bild 27b Versuch V13

Veränderung der Flammenlänge durch die Einwirkung von Halon 1211

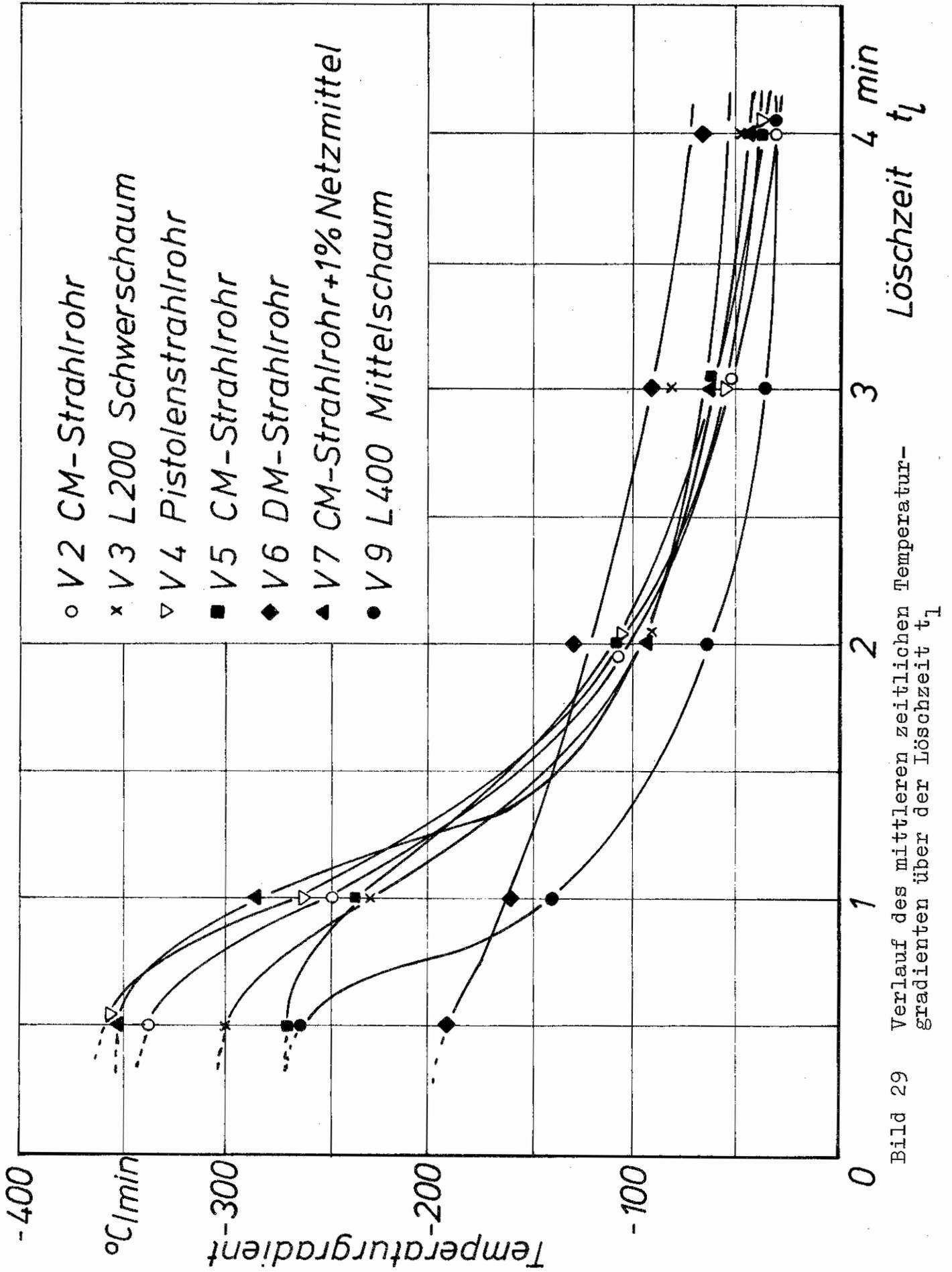


Bild 29 Verlauf des mittleren zeitlichen Temperaturgradienten über der Löschzeit t_l