

# BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Anforderungsprofil für Schutzkleidung der Feuerwehr  
für die Brandbekämpfung

– Grundsatz der Einsatzkräfte beim gesamten  
Einsatzspektrum –

99

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER  
ARBEITSKREIS V – AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHRANGELEGENHEITEN

**Anforderungsprofil für Schutzkleidung der  
Feuerwehr für die Brandbekämpfung**  
**- Grundsatz der Einsatzkräfte beim gesamten Einsatzspektrum -**

Forschungsbericht Nr. 99

Im Auftrag  
der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer  
Arbeitskreis V - Unterausschuß „Feuerwehrangelegenheiten“

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Ulrich Pasch

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt  
Heyrothsberge  
Februar 1996

ISSN 0179-0060

---

# BERICHTS-KENNBLETT

1. BERICHTSNUMMER

99

Instituts-Bericht Nr. 343

2. TITEL DES BERICHTES (KURZ)

Anforderungsprofil für Schutzkleidung  
der Feuerwehr

3. AUTOR(EN)

Brandoberrat Dipl.-Ing. Ulrich Pasch

4. DURCHFÜHRENDE INSTITUTION (NAME/ANSCHRIFT)

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt  
Biederitzer Straße 5  
D-39175 Heyrothsberge  
Direktor: Prof. Dr. rer. nat. habil. Grabski

5. FÖRDERNDE INSTITUTION/AUFTRAGGEBER (NAME/ANSCHRIFT)

Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer  
Arbeitskreis V - Unterausschuß „Feuerwehrangelegenheiten“

6. ABSCHLUDDATUM

Februar 1996

7. FÖRDER-/ AUFTRAGS-NR.

Forschungsauftrag Nr. 18 (1/96) H

8. SEITENZAHL

85

9. ABBILDUNGEN

15

10. TABELLEN/DIAGRAMME

12 Tabellen

11. LITERATURANGABEN

4

49 Diagramme

12. KURZFASSUNG

Auf der Basis des im Ergebnis einer Bewertung der Risiken bei Einsätzen der Feuerwehr erkannten Schwerpunktes der thermischen Beanspruchung wird im Rahmen der Untersuchungen zu einem Anforderungsprofil an eine universelle Feuerwehr-Einsatzkleidung (FEK) die thermische Beanspruchung von unterschiedlicher FEK durch Wärmestrahlung im Experiment nachvollzogen. Als relevante Untersuchungsmethoden kommen zur Anwendung:

1. Prüfverfahren des IdF (Dummy vor Wärmestrahlerwand) zur Ermittlung auftretender Temperaturen an konfektionierter FEK,
2. Thermografieverfahren zur Bestimmung von Oberflächentemperaturprofilen und
3. Verfahren zur Bestimmung des Wärmedurchlaßgrades von Materialproben.

Im Ergebnis der Untersuchungen werden Vorschläge für quantitative Kriterien und Prüfverfahren zur Beurteilung der thermischen Schutzwirkung von FEK unterbreitet.

13. SCHLAGWÖRTER

Feuerwehr-Einsatzkleidung, Schutzkleidung,  
persönliche Schutzausrüstung, Anforderungs-  
profil, Wärmestrahlung, Prüfung

14. VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

Februar 1996

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
	Inhaltsverzeichnis	1
	Anlagenverzeichnis	2
0.	Vorwort	7
1.	Durchgeführte Untersuchungen	8
1.1	Untersuchung konfektionierter Feuerwehr-Einsatzkleidung	8
1.1.1	Beaufschlagung konfektionierter Feuerwehr-Einsatzkleidung mit Wärmestrahlung	8
1.1.2	Untersuchung von Einsatzjacken mit dem Infrarot-Thermografiesystem	10
1.2	Untersuchung thermisch belasteter Materialien von Feuerwehr-Einsatzkleidung	10
2.	Ergebnisse der Untersuchungen	12
2.1	Allgemeine Erkenntnisse	12
2.1.1	Langzeituntersuchung	12
2.1.2	Anstieg der Temperatur nach Entfernung der Wärmequelle	13
2.2	Ergebnisse der Untersuchung konfektionierter Feuerwehr-Einsatzkleidung	14
2.3	Ergebnisse der Untersuchung thermisch belasteter Materialien Maximalwerte der gemessenen Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 bei 0,6 W/cm <sup>2</sup>	17
3.	Schlußfolgerungen	19
4.	Empfehlungen	19
	Literatur	20
	Freiblatt für persönliche Aufzeichnungen	21

## Anlagen

	Seite	Seite in Anlage
<b>Anlage 0</b>		
Inventarverzeichnis „Feuerwehr-Einsatzkleidung“ IMK 1-96	22	1
Verzeichnis der Versuche zum Forschungsthema IMK 1-96	25	4
Verzeichnis der Materialproben für Prüfung nach EN 366	28	7
<b>Anlage 1</b>		
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 01-02 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	29	1
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 05-04 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	30	2
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 06-02 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	31	3
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 07-02 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	32	4
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 08-21 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	33	5
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 09-10 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	34	6
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 14-02 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	35	7
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 15-16 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	36	8
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 17-18 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	37	9
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 19-21 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	38	10
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 37-21 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	39	11

	Seite	Seite in Anlage
<b>Anlage 2</b>		
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr.05-04 bei $0,6 W \cdot cm^{-2}$	40	1
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 06-02 bei $0,6 W \cdot cm^{-2}$	41	2
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr.07-02 bei $0,6 W \cdot cm^{-2}$	42	3
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 08-21 bei $0,6 W \cdot cm^{-2}$	43	4
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 09-10 bei $0,6 W \cdot cm^{-2}$	44	5
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 14-02 bei $0,6 W \cdot cm^{-2}$	45	6
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr.15-16 bei $0,6 W \cdot cm^{-2}$	46	7
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 17-18 bei $0,6 W \cdot cm^{-2}$	47	8
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr.19-21 bei $0,6 W \cdot cm^{-2}$	48	9
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehreinsatzkleidung Nr. 37-21 bei $0,6 W \cdot cm^{-2}$	49	10
<b>Anlage 3</b>		
Maximalwerte der gemessenen Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 bei $0,4 W \cdot cm^{-2}$	50	-
<b>Anlage 4</b>		
Maximalwerte der gemessenen Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 bei $0,6 W \cdot cm^{-2}$	51	-

	Seite	Seite in Anlage
<b>Anlage 5</b>		
Temperaturen an der Meßstelle 19 (Dummy Brust-Mitte) bei $0,4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	52	1
Temperaturen an der Meßstelle 19 (Dummy Brust-Mitte) bei $0,6 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	53	2
<b>Anlage 6</b>		
Zeiten bis zum Erreichen einer Temperatur von $45 \text{ }^\circ\text{C}$ an Meßstelle 19 (Dummy Brust-Mitte) bei $0,4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	54	-
<b>Anlage 7</b>		
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 02 bei $0,4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	55	1
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 04 bei $0,4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	56	2
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 21 bei $0,4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	57	3
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 10 bei $0,4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	58	4
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 16 bei $0,4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	59	5
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 18 bei $0,4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	60	6
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 04 bei $0,6 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	61	7
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 02 bei $0,6 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	62	8
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 21 bei $0,6 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	63	9
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 10 bei $0,6 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	64	10

	Seite	Seite in Anlage
<b>Anlage 7</b>		
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 16 bei $0,6 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	65	11
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 18 bei $0,6 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	66	12
<b>Anlage 8</b>		
Langzeitversuch über 8 Stunden mit Feuerwehr-Einsatzjacke Nr. 37 bei $0,1 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$	67	-
<b>Anlage 9</b>		
Beispiel für den Anstieg der Temperatur auf der Innenseite der Einsatzjacke Nr. 37 nach Entfernung der Wärmequelle	68	-
<b>Anlage 10</b>		
Ermittlung der Steigung $dT/dt$ zur Bestimmung der Wärmestromdichte $q_c$ (Material Nr. 01)	69	1
Ermittlung der Steigung $dT/dt$ zur Bestimmung der Wärmestromdichte $q_c$ (Material Nr. 05)	70	2
Ermittlung der Steigung $dT/dt$ zur Bestimmung der Wärmestromdichte $q_c$ (Material Nr. 06)	71	3
Ermittlung der Steigung $dT/dt$ zur Bestimmung der Wärmestromdichte $q_c$ (Material Nr. 14)	72	4
Ermittlung der Steigung $dT/dt$ zur Bestimmung der Wärmestromdichte $q_c$ (Material Nr. 15)	73	5
Ermittlung der Steigung $dT/dt$ zur Bestimmung der Wärmestromdichte $q_c$ (Material Nr. 19)	74	6
Ermittlung der Steigung $dT/dt$ zur Bestimmung der Wärmestromdichte $q_c$ (Material Nr. 32)	75	7
Ermittlung der Steigung $dT/dt$ zur Bestimmung der Wärmestromdichte $q_c$ (Material Nr. 43)	76	8

	Seite	Seite in Anlage
<b>Anlage 11</b>		
Berechnungsergebnisse zur Ermittlung des Wärmedurchlaßgrades $TF(q_0)$ nach DIN EN 366	77	-
<b>Anlage 12 - Bildteil</b>		
Abb. 1: Instrumentierter Dummy	78	-
Abb. 2: Oberkörper Dummy	78	-
Abb. 3: Instrumentierte F - Einsatzkleidung	79	-
Abb. 4: Instrumentierte F - Einsatzjacke	79	-
Abb. 5: Versuchsaufbau	80	-
Abb. 6: Radiometer zur Messung der Wärmestrahlung	80	-
<b>Anlage 13</b>		
Niveau der Risiken bei Einsätzen nach BAGUV	81	-
<b>Anlage 14</b>		
Thermogramme - Einsatzjacke Nr. 13	82	1
Thermogramme - Einsatzjacke Nr. 14	83	2
Thermogramme - Einsatzjacke Nr. 15	84	3
Thermogramme - Einsatzjacke Nr. 43	85	4

## 0. Vorwort

Die im Zusammenhang mit einem Anforderungsprofil für Schutzkleidung der Feuerwehr im Sinne der Verwirklichung des Grundschatzes der Feuerwehr-Einsatzkräfte beim gesamten Einsatzspektrum zu berücksichtigenden Aspekte erfordern die Beantwortung komplexer Fragestellungen.

Die durch den Forschungsauftrag vorgegebene Zielstellung der Erarbeitung eines alle Belange berücksichtigenden Anforderungsprofils konnte auf Grund der Komplexizität der Probleme im vorgegebenen Bearbeitungszeitraum nicht erreicht werden. Die Bearbeitung der sehr umfanglichen Problematik konzentrierte sich deshalb auf die Abarbeitung erkannter Schwerpunkte, die Gegenstand des Inhaltes des vorliegenden Berichtes sind. Unter Nutzung der im Bericht dargelegten Erkenntnisse wird es Aufgabe einer, durch den AK V eingesetzten, länderübergreifenden Arbeitsgruppe sein, kurzfristig eine Herstellungs- und Prüfungsbeschreibung für eine bundeseinheitliche universelle Einsatzkleidung der Feuerwehren zu erarbeiten.

Drei Kriterien waren ausschlaggebend für die Bearbeitungsschwerpunkte zum Forschungsthema im vorliegenden Bericht.

1. Aktuelle Brandereignisse mit schwerwiegenden Folgen für die Feuerwehr-Einsatzkräfte, die im nachhinein Fragen des sicheren Schutzes der Feuerwehr-Einsatzkräfte, insbesondere vor der bei Bränden auftretenden thermischer Einwirkung, durch die im Einsatz getragene Feuerwehr-Einsatzkleidung aufwarfen;
2. Die konträren Standpunkte in Feuerwehrkreisen zu den Festlegungen der EN 469, die insbesondere aus den Festlegungen dieser europäischen Norm zu den Fragen der thermischen Belastbarkeit von Feuerwehr-Einsatzkleidung resultierten, woraus sich ein spezieller Handlungsbedarf in dieser Hinsicht abzeichnete;
3. Die Risikoanalyse des BAGUV [4], durch die, bezogen auf die Einsatzarten der Feuerwehren, der Brandbekämpfung ein Anteil von 35 % an Einsätzen der Feuerwehr bescheinigt wurde und das durch Hitze und Feuer bedingte Risiko mit der Bewertung 5,0 mit an der Spitze der Risikobewertung steht (siehe Anlage 13).

Auf der Basis der vorgenannten Kriterien konzentrierten sich die Arbeiten im Rahmen der Realisierung des Forschungsthemas deshalb auf den am wichtigsten erscheinenden Bereich der thermischen Belastung der Feuerwehr-Einsatzkleidung unter dem Aspekt ihres universellen Einsatzes.

Unter universellem Einsatz ist die Eignung der Feuerwehr-Einsatzkleidung für alle Einsatzarten der Feuerwehr unter Berücksichtigung der jeweils spezifischen Erfordernisse zu verstehen. Unberücksichtigt in diesem Zusammenhang bleiben Einsatzfälle, die gemäß der UVV das Tragen spezieller persönlicher Schutzausrüstung erfordern.

# 1. Durchgeführte Untersuchungen

## 1.1 Untersuchung konfektionierter Feuerwehr-Einsatzkleidung

### 1.1.1 Beaufschlagung konfektionierter Feuerwehr-Einsatzkleidung mit Wärmestrahlung

Die Zielstellung der Untersuchung konfektionierter Feuerwehr-Einsatzkleidung bestand darin, das thermische Verhalten der kompletten Feuerwehr-Einsatzkleidung zu untersuchen. Als einsatzrelevanteste thermische Belastung des Feuerwehrangehörigen wurde im Rahmen der geführten Untersuchungen die Beaufschlagung der Feuerwehr-Einsatzkleidung mit Wärmestrahlung realisiert.

Wärmestrahlung führt, trifft sie ungehindert auf die menschliche Haut, zu folgenden Reaktionen [1]:

<b>Menschliche Reaktion auf Wärmestrahlung</b>	
<b>Wärmestrahlung in <math>W/cm^2</math></b>	<b>menschliche Reaktion</b>
0,006 - 0,01	spürbare Wärme
0,02 - 0,06	Wärmeempfindung
0,1 - 0,23	Heißempfindung
0,3 - 0,5	Schmerzempfindung

Die im Einsatzfall auch auftretende konvektive Wärmeübertragung auf die Feuerwehr-Einsatzkleidung sowie der direkte Flammenkontakt mit der Feuerwehr-Einsatzkleidung war nicht Gegenstand der geführten Untersuchungen.

Die Intensität der Wärmestrahlung für die Untersuchungen wurde mit  $0,4 W/cm^2$  bzw.  $0,6 W/cm^2$  festgelegt. Dies ist eine Größenordnung, die entsprechend der Angaben in obiger Tabelle Schmerzempfindung auf der ungeschützten Haut hervorrufen würde und die an sich über der im Ergebnis eines internationalen Vergleichs für den praktischen Brandeinsatz anzusetzenden Wärmestromdichte von  $0,1 W/cm^2$  ( $1 kW/m^2$ ) liegt. Im Rahmen von Voruntersuchungen wurde jedoch eine Wärmestromdichte von  $0,6 W/cm^2$  als Grenzwert für irreversible Veränderungen des Obermaterials der Feuerwehr-Einsatzjacken nachgewiesen. Da mit den Untersuchungen der Grenzfall der thermischen Belastbarkeit von Feuerwehr-Einsatzkleidung nachvollzogen werden sollte, wurden die o.g. Größenordnungen der Wärmestromdichte für die Untersuchungen gewählt.

Diese Wärmestromdichten wurden mittels der Wärmestrahlerwand des IdF, für die der Nachweis ihrer Eignung einerseits sowie die Reproduzierbarkeit ihrer Parameter andererseits bereits erbracht wurde, realisiert (siehe Anlage 12, Abb. 5).

Die für die Untersuchungen festgelegten o.a. Wärmestrahlungsintensitäten wurden über den Abstand zur bei voller Leistung fahrenden Wärmestrahlerwand realisiert. Während der Untersuchungen wurde jeweils mittels des auf einem motorgetriebenen Positionierungssystem installierten Radiometers (siehe Anlage 12, Abb. 6) die Wärmestrahlung gemessen und aufgezeichnet.

Auf gleichem Positioniersystem installiert wurde ein eigens für die Untersuchung konfektionierter Feuerwehr-Einsatzkleidung angefertigter Dummy in Form einer Gliedergelenkuppe aus geleimtem Hartholz mit insgesamt 13 Gelenken (siehe Anlage 12, Abb. 1). Der Dummy, dessen Körperproportionen nach DIN 33402 gestaltet wurden und der in bezug auf die Größe mit der einheitlichen Größe der zu untersuchenden Feuerwehr-Einsatzkleidung übereinstimmte, wurde an bestimmten, nachfolgend noch aufgeführten, Positionen (Körperpartien) mit Meßelementen (Sensoren) bestückt (siehe Anlage 12, Abb. 1 und 2). Damit sollte das in der EN 469 [2] als zusätzliche Kleidungsprüfung global

beschriebene Verfahren am praktischen Beispiel nachvollzogen werden. Eine Auswahl an Feuerwehr-Einsatzkleidung (siehe Anlage 0, Seiten 1 bis 3) wurde von den verschiedensten Herstellern beschafft und in die Untersuchungen einbezogen. Anlage 0, Seiten 4 bis 6, weist die entsprechende Feuerwehr-Einsatzkleidung aus, mit der die Versuche durchgeführt wurden. Dabei stehen die im dort ausgewiesenen Dateinamen verwendeten Buchstaben und Zahlen für folgendes:

- D - Untersuchung der Einsatzkleidung auf dem Dummy;
- A - Untersuchung bei einer Wärmestromdichte von  $0,4 \text{ W/cm}^2$ ;
- B - Untersuchung bei einer Wärmestromdichte von  $0,6 \text{ W/cm}^2$ ;
- erste Zahl - Material der Einsatzjacke nach Inventarverzeichnis Anlage 0, Seiten 1 bis 3
- zweite Zahl - Material der Einsatzhose nach Inventarverzeichnis Anlage 0, Seiten 1 bis 3

Die Feuerwehr-Einsatzkleidung wurde ebenfalls an vorgegebenen Positionen mit Meßelementen (Sensoren) bestückt.

Der mit der jeweils zu untersuchenden Feuerwehr-Einsatzkleidung bestückte Dummy wurde mittels des Positioniersystems bis auf den, der geforderten Wärmestromdichte entsprechenden, Abstand zur Wärmestrahlerwand gefahren und mittels eines Strahlenschutzschirmes vor einfallender Wärmestrahlung durch die in Betrieb gesetzte Wärmestrahlerwand geschützt. Nach Erreichung des Beharrungszustandes der Wärmestrahlerwand wurde der Strahlenschutzschirm entfernt und somit die Feuerwehr-Einsatzkleidung auf der Vorderseite mit Wärmestrahlung beaufschlagt. Die Erfassung der Meßwerte im 2 - Sekunden-Takt sowie die Darstellung der Meßergebnisse am Dummy und an der Feuerwehr-Einsatzkleidung erfolgte rechnergestützt über ein Präzisionsmeßwerterfassungssystem. Die Dauer der Einwirkung der Wärmestrahlung erfolgte bei  $0,6 \text{ W/cm}^2$  in der Regel so lange, bis an der Feuerwehr-Einsatzkleidung äußerlich erkennbare Materialveränderungen visuell festgestellt wurden. Bei  $0,4 \text{ W/cm}^2$  betrug die Einwirkdauer der Wärmestrahlung 20 min.

Die folgende Tabelle weist die Positionen der Meßstellen am instrumentierten Dummy und der instrumentierten Feuerwehr-Einsatzkleidung aus.

### Position der Meßstellen an Dummy und Feuerwehr-Einsatzkleidung

Meßstelle				
1	2	3	4	5
Brust-links, außen	Brust-links, innen	Brust-mitte, außen	Brust-mitte, innen	Brust-rechts, außen
Meßstelle				
6	7	8	9	10
Brust-rechts, innen	Bauch-außen	Oberarm-seitlich-links, außen	Oberarm-seitlich-links, innen	Schulter-rechts, außen
Meßstelle				
11	12	13	14	15
Schulter-rechts, innen	Schulter-links, außen	Schulter-links, innen	Hose-Knie-links, außen	Hose-Knie-links, innen

## Position der Meßstellen an Dummy und Feuerwehr-Einsatzkleidung

Meßstelle				
16	17	18	19	20
Nacken-außen	Nacken-innen	Dummy-Rücken- mitte	Dummy-Brust- mitte	Dummy- Schulter-links
Meßstelle				
21	22	23	24	25
Dummy- Schulter-rechts	Dummy- Oberarm-seitlich, links	Dummy- Oberschenkel	Dummy-Knie- links	Raumtemperatur- frei
Meßstelle				
26	27	28	29	-
Raumtemperatur- abgeschirmt	Wärmefluß- Dummy	Wärmefluß-Latz	Wärmestrahlung	-

An den Temperaturmeßstellen kamen Thermoelemente der Genauigkeitsklasse B mit einer zulässigen Meßwertabweichung von  $\pm 5$  K bei 1000 °C zum Einsatz.

### 1.1.2 Untersuchung von Einsatzjacken mit dem Infrarot-Thermografiesystem

Zielstellung dieser Untersuchungsmethode war die Ermittlung des Oberflächentemperaturprofils auf der Innenseite einiger willkürlich ausgewählter Feuerwehr-Einsatzjacken (Einsatzjacken Nr. 13, 14, 15 und 43). Dazu wurden diese längs aufgetrennt und das jeweilige Vorderteil in einem speziell für diese Untersuchung angefertigten Rahmen eingespannt. Mittels der o.a. Wärmestrahlerwand wurde das Vorderteil von der Außenseite her mit Wärmestrahlung beaufschlagt und dessen Innenseite mit einer Wärmebildkamera beobachtet. Um exakte Vergleichsuntersuchungen anstellen zu können, wurde jeweils nach einem festgelegten Zeitraum ab Beginn der Bestrahlung das für die Auswertung benötigte Bild „geschossen“ und zur weiteren Bearbeitung abgespeichert. Gewählt wurde für die Untersuchungen eine Wärmestromdichte von  $0,1 \text{ W/cm}^2$ . Diese Untersuchungsmethode sollte im Rahmen von Vergleichsuntersuchungen mit den auch für die Untersuchungen nach 1.1.1 verwendeten Einsatzjacken thermische Schwachstellen, wenn vorhanden, nachweisen, um so Schlußfolgerungen in bezug auf die Konfektionierung und den Materialeinsatz der Feuerwehr-Einsatzkleidung ableiten zu können.

## 1.2 Untersuchung thermisch belasteter Materialien von Feuerwehr-Einsatzkleidung

Die Bestimmung des Wärmedurchlaßgrades nach DIN EN 366 war Gegenstand der geführten Untersuchungen. Die Untersuchungen wurden geführt mit Materialien, die dem jeweiligen Rückenteil der Einsatzjacken entnommen wurden, die für die Untersuchungen nach 1.1.2 zur Anwendung kamen. Das Verzeichnis der Materialproben ist in Anlage 0, Seite 7, aufgeführt. Für die Prüfung der Materialproben kam das nach DIN EN 366 vorgeschriebene Wärmedurchgangsprüfgerät zum Einsatz. Das Gerät wurde zur Ermöglichung einer rechnergestützten Erfassung der Meßergebnisse mit einem Zweikanal-Datenlogger nachgerüstet. Zur Auswertung der Meßergebnisse wurde eine spezielle Software eingesetzt. Die Prüfung der Materialien erfolgte bei Wärmestromdichten von  $2 \text{ W/cm}^2$  und  $4 \text{ W/cm}^2$ .

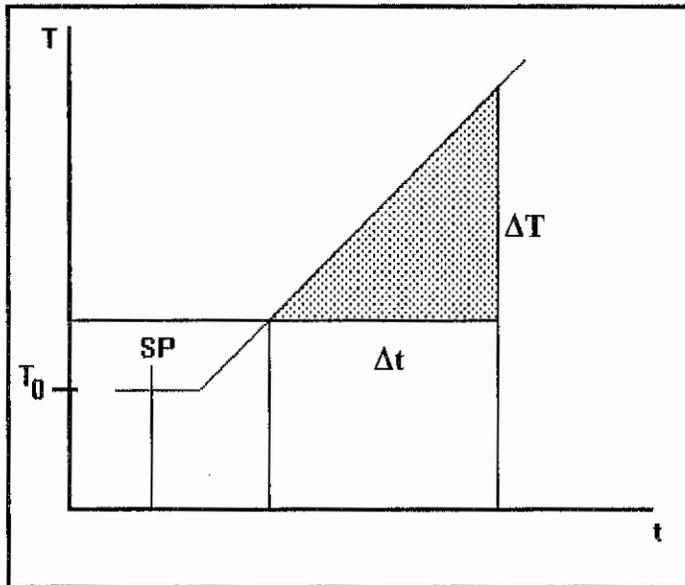
Die Strahlungsquelle des Wärmedurchgangsprüfgerätes wurde vor Beginn der Untersuchungen gemäß DIN EN 366 [3] geeicht.

Im Ergebnis wurden folgende Abstände der Kalorimeteroberfläche zum Strahler zur Erreichung der vorgenannten Wärmestromdichten ermittelt:

$$2 \text{ W/cm}^2 = 34 \text{ cm}$$

$$4 \text{ W/cm}^2 = 22,5 \text{ cm}$$

Die Messung ergibt eine Kurve, wie im folgenden Bild dargestellt. Der Punkt SP ist der



Zeitpunkt des Bestrahlungsanfangs.

Im linearen Teil der Kurve wird die Steigung  $\Delta T/\Delta t$  bestimmt und daraus die Wärmestromdichte  $q_0$  in Watt pro Quadratmeter der auf das Kalorimeter auftreffenden Wärmestrahlung nach der Beziehung

$$q_0 = \frac{C}{\alpha \cdot S} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

bestimmt.

Dabei gilt:

$C =$  Wärmekapazität des Kalorimeters (482,02 J/K nach Herstellerangabe)

Auswertung der Temperaturkurve

$\alpha =$  Absorptionskoeffizient der geschwärzten Stirnfläche des Kalorimeters (Toluol:  $\alpha = 0,99$ )

$S =$  Fläche der Kalorimetervorderseite ( $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ )

$\frac{\Delta T}{\Delta t} =$  Steigung im linearen Teil des Temperaturverlaufes des Kalorimeters in K/s.

Berechnung von  $q_0$ :

$$q_0 = \frac{C}{\alpha \cdot S} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}} \cdot \frac{\text{K}}{\text{s}} \quad \text{da } \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W} \Rightarrow q_0 [\text{W/m}^2]$$

$$q_0 = \frac{482,02 \cdot 10^3}{0,99 \cdot 2,5} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} = 194755,56 \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] = 19,48 \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \left[ \frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \right]$$

## Bestimmung des Wärmedurchlaßgrades

Der Wärmedurchlaßgrad kann nur bestimmt werden, wenn die Temperatur als Funktion der Zeit einen linearen Anstieg aufweist. Dieser ist dann nicht gegeben, wenn das Material sich während der Prüfung verändert und kein stationärer Zustand erreicht wird.

Bei linearem Anstieg erfolgt die Auswertung der aufgenommenen Kurve. Aus der Steigung

$\frac{\Delta T}{\Delta t}$  der gemäß Abschnitt 10.2 der DIN EN 366 ermittelten Kurve (Bestrahlungsdauer der

Probe: Beendigung der Bestrahlung, wenn sich die Temperatur des Kalorimeters um 10 K erhöht hat, spätestens aber nach 5 min. Früherer Abbruch möglich, wenn Probematerial durch Bestrahlung offensichtlich zerstört wird.) wird die Wärmestromdichte  $q_c$  auf der Materialprobenrückseite in Kilowatt pro Quadratmeter gemäß

$$q_c = \frac{C}{S} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

bestimmt, mit C, S und  $\frac{\Delta T}{\Delta t}$  wie oben definiert. Der Wärmedurchlaßgrad  $TF(q_0)$  wird nach

$$TF(q_0) = \frac{q_c}{q_0}$$

bestimmt, wobei gilt

$TF(q_0)$  = Wärmedurchlaßgrad bei der Wärmestromdichte  $q_0$  der einfallenden Strahlung;  
 $q_c$  = Wärmestromdichte auf der Probenrückseite bei einer einfallenden Strahlung mit der Wärmestromdichte  $q_0$ .

## 2. Ergebnisse der Untersuchungen

### 2.1 Allgemeine Erkenntnisse

#### 2.1.1 Langzeituntersuchung

In Anlehnung an DIN EN 469, Abschnitt 8. - Zusätzliche Kleidungsprüfung - wurde ein Langzeitversuch über 8 Stunden mit der Feuerwehr-Einsatzjacke Nr. 37 bei einer Wärmestromdichte von  $1 \text{ kW/m}^2$  ( $0,1 \text{ W/cm}^2$ ) durchgeführt. Die im Ergebnis des Versuches sich an den Meßstellen 1 bis 6 (Brust-links, außen und innen, Brust-mitte, außen und innen sowie Brust-rechts, außen und innen) sowie an Meßstelle 19 (Dummy Brust-Mitte) einstellenden Temperaturen sind in **Anlage 8** dargestellt. Zur Darstellungsweise der Grafik in Anlage 8 sei folgendes bemerkt. Wegen der Beschränkung der Darstellungsmöglichkeit auf maximal 4000 Meßwerten durch das Auswerteprogramm (erfaßt wurden pro Meßstelle 5800 Meßwerte) wurde die Darstellung des Restes der Meßwerte aller Meßstellen (je 1800) ab Zeitpunkt 0 fortgeschrieben. Die Zuordnung der grafisch dargestellten Restwerte der einzelnen Meßstellen zu den vom Zeitpunkt her vorher erfaßten ergibt sich (außer bei Meßstelle 29 - Wärmestrahlung) durch die gleiche Farbgebung der Kurvenverläufe.

Festgestellt werden kann, daß nach Versuchsende die jeweiligen Innentemperaturen nur um ca. 10 bis 15 °C von den außen gemessenen Temperaturen abwichen und die Innentemperaturen an den Meßstellen der Einsatzjacke bei ca. 75 °C lagen. Zum Verständnis soll in diesem Zusammenhang erwähnt werden, daß die zur Messung der Temperaturen jeweils innen und außen an der Feuerwehr-Einsatzjacke angebrachten Thermoelemente die gleiche Position innehatten, also direkt hintereinander lagen. Die Temperatur an Meßstelle 19 lag bei

Versuchsende bei 73 °C, wick also nur geringfügig von den gemessenen Temperaturen auf der Innenseite der Einsatzjacke ab.

Die folgende Tabelle weist aus, nach welchen Zeiten an den einzelnen Meßstellen eine kritische Temperatur von 45 °C erreicht wurde.

<b>Zeiten in Minuten bis zum Erreichen einer Temperatur von 45 °C an den Meßstellen</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>19</b>
Brust links außen	Brust links innen	Brust mitte außen	Brust mitte innen	Brust rechts außen	Brust rechts innen	Dummy Brust mitte
0,92	4,42	0,92	4,34	0,92	3,5	16,42

Hintergrund der Festlegung einer kritischen Temperatur von 45 °C sind die Wirkungen von Kontakttemperaturen auf die menschliche Haut, die in nachfolgender Tabelle [1] dargestellt sind.

<b>Wirkung von Kontakttemperaturen auf die menschliche Haut</b>		
Hauttemperatur [°C]	Oberflächliche Verbrennungen	Tiefe Verbrennungen
50	nach 2 min	nach 4 min
55	15 s	25 s
60	3 s	5 s
65	1 s	2 s
70	0,4 s	1 s

Auf die Bedeutung der o.g. Meßergebnisse wird im Rahmen der Darlegung der Ergebnisse der Untersuchungen eingegangen.

### **2.1.2 Anstieg der Temperatur nach Entfernung der Wärmequelle**

Bei sämtlichen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beaufschlagung konfektionierter Feuerwehr-Einsatzkleidung mit Wärmestrahlung nach 1.1.1 konnte der Fall konstatiert werden, daß die Temperaturen an der Inneseite der Feuerwehr-Einsatzjacken auch nach Entfernung der Wärmequelle durch Abschalten der Wärmestrahlerwand über einen bestimmten Zeitraum hinweg weiter anstiegen. Dafür verantwortlich sind die noch ablaufenden Prozesse der Wärmeleitung auch nach Entfernung der Wärmequelle. In **Anlage 9** ist ein Beispiel für den Anstieg der Temperaturen auf der Innenseite der Einsatzjacke Nr. 37 nach Entfernung der Wärmequelle mit einer Wärmestromdichte von 0,1 W/cm<sup>2</sup> quantitativ dargestellt. Die Größenordnungen des Zeitraumes für den Anstieg der Temperatur sowie der Temperaturdifferenz können variieren, wofür die jeweils relevante Wärmestromdichte und das Einsatzjackenmaterial ausschlaggebend ist. Zu beobachten ist in der grafischen Darstellung des Temperaturverlaufes an Meßstelle 19 (Dummy Brust - mitte), daß der Prozeß des Ansteigens der Temperatur nach Entfernung der Wärmequelle noch wesentlich länger anhält als an den Meßstellen der Innenseite der Einsatzjacke. Hier ist ein weiteres Ansteigen der Temperatur um ca. 3,5 °C über einen Zeitraum von ca. 4 Minuten erkennbar. Analoge, wie in Anlage 9 dargestellte Temperaturverläufe an den Meßstellen auf den Innenseiten der Einsatzjacken können auch in den in den Anlagen 1 und 2 dargestellten Temperaturverläufen beobachtet werden.

## 2.2 Ergebnisse der Untersuchung konfektionierter Feuerwehr-Einsatzkleidung

In die Auswertung der Untersuchungen wurden ausschließlich die Meßstellen einbezogen, die auf Grund der Einwirkung der Wärmestrahlung von allen Meßwerten an den Meßstellen die höchsten Meßwerte auswiesen.

Das sind folgende Meßstellen:

- M1 - Brust-links, außen
- M2 - Brust-links, innen
- M3 - Brust-mitte, außen
- M4 - Brust-mitte, innen
- M5 - Brust-rechts, außen
- M6 - Brust-rechts, innen
- M19 - Dummy Brust-mitte

Darüber hinaus wurden ausgewertet die Meßstellen:

- M14 - Hose-Knie-links, außen
- M15 - Hose-Knie-links, innen
- M24 - Dummy Knie-links

Die Meßergebnisse der in die Untersuchungen einbezogenen Feuerwehr-Einsatzkleidungen sind in folgenden Anlagen dargestellt:

- Anlage 1 - Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 durch Einwirkung einer Wärmestromdichte von  $0,4 \text{ W/cm}^2$
- Anlage 2 - Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 durch Einwirkung einer Wärmestromdichte von  $0,6 \text{ W/cm}^2$
- Anlage 3 - Maximalwerte der gemessenen Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 bei  $0,4 \text{ W/cm}^2$
- Anlage 4 - Maximalwerte der gemessenen Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 bei  $0,6 \text{ W/cm}^2$
- Anlage 5 - Temperaturen an der Meßstelle 19 bei  $0,4 \text{ W/cm}^2$   
Seite 1
- Anlage 5 - Temperaturen an der Meßstelle 19 bei  $0,6 \text{ W/cm}^2$   
Seite 2
- Anlage 6 - Zeiten bis zum Erreichen einer Temperatur von  $45 \text{ }^\circ\text{C}$  an Meßstelle 19 bei  $0,4 \text{ W/cm}^2$  und  $0,6 \text{ W/cm}^2$
- Anlage 7 - Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 bei  $0,4 \text{ W/cm}^2$   
Seiten 1 bis 6
- Anlage 7 - Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 bei  $0,6 \text{ W/cm}^2$   
Seiten 7 bis 12

Die nachfolgende Tabelle weist die in den Anlagen 3 und 4 grafisch dargestellten Maximalwerte der Meßergebnisse in Form von Zahlenwerten aus.

Maximalwerte der gemessenen Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 bei 0,4 W/cm<sup>2</sup>

Meßstellen												
Einsatz- kleidung	1		2		3		4		5		6	
	Brust-links, außen	Brust-links, innen	Brust-links, innen	Brust-links, innen	Brust-mitte, außen	Brust-mitte, innen	Brust-mitte, innen	Brust-mitte, innen	Brust-rechts, außen	Brust-rechts, außen	Brust-rechts, innen	Brust-rechts, innen
DA01-02	156,4	104,3	104,3	104,3	167,7	167,7	109,5	109,5	142,80	142,80	94,90	94,90
DA05-04	141,2	73,2	73,2	73,2	167,4	167,4	96,9	96,9	141,00	141,00	87,10	87,10
DA06-02	134,9	86,5	86,5	86,5	155,3	155,3	93,7	93,7	125,60	125,60	99,20	99,20
DA07-02	151,5	119,9	119,9	119,9	162,6	162,6	123,0	123,0	121,70	121,70	93,00	93,00
DA08-21	151,2	115,1	115,1	115,1	166,2	166,2	127,0	127,0	169,70	169,70	40,10	40,10
DA09-10	160,8	85,7	85,7	85,7	173,1	173,1	96,7	96,7	153,60	153,60	118,60	118,60
DA14-02	132,7	80,1	80,1	80,1	146,3	146,3	123,2	123,2	156,90	156,90	120,40	120,40
DA15-16	121,5	91,2	91,2	91,2	145,6	145,6	109,8	109,8	134,90	134,90	121,00	121,00
DA17-18	109,2	104,7	104,7	104,7	158,8	158,8	90,1	90,1	144,60	144,60	111,80	111,80
DA19-21	114,4	74,4	74,4	74,4	163,2	163,2	69,5	69,5	166,20	166,20	146,20	146,20
DA37-21	162,0	130,3	130,3	130,3	176,8	176,8	132,2	132,2	165,60	165,60	127,20	127,20

Maximalwerte der gemessenen Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 bei 0,6 W/cm<sup>2</sup>

Abbruch wegen Ausfall Meßweiterfassung; Wiederholung nicht möglich, da Einsatzjacke thermisch geschädigt	
DA01-02	172,3
DB05-04	172,3
DB06-02	154,1
DB07-02	178,2
DB08-21	177,6
DB09-10	210,8
DB14-02	161,9
DB15-16	150,5
DB17-18	135,1
DB19-21	145,3
DB37-21	193,5
	172,3
	154,1
	178,2
	177,6
	210,8
	161,9
	150,5
	135,1
	145,3
	193,5
	210,9
	162,0
	176,5
	203,2
	219,0
	169,8
	186,3
	195,2
	206,6
	213,0
	95,7
	61,0
	172,7
	161,0
	121,7
	144,9
	139,4
	114,5
	104,3
	154,9
	177,3
	135,0
	151,3
	211,7
	196,9
	185,5
	169,2
	171,0
	212,4
	195,4
	116,5
	84,2
	112,4
	42,5
	144,4
	149,1
	153,0
	142,0
	192,0
	153,0

Die Zeit bis zum Erreichen der kritischen Temperatur von 45 °C auf der Oberfläche der menschlichen Haut (repräsentiert durch die Körperoberfläche des Dummys) wurde im Versuch ermittelt. Die folgende Tabelle weist diese Zeiten in Minuten aus. Der schraffierte Teil der Tabelle zeigt die ermittelten Werte im Ergebnis der Beaufschlagung durch Wärmestrahlung mit einer Wärmestromdichte von 0,6 W/cm<sup>2</sup> aus. Die anderen Tabellenwerte wurden bei Beaufschlagung durch Wärmestrahlung mit einer Wärmestromdichte von 0,4 W/cm<sup>2</sup> ermittelt.

Zeiten in min bis zum Erreichen der kritischen Temperatur von 45 °C an Meßstelle 19 (Dummy Brust - mitte)					
DA01-02	B-W	2,57	DA37-21	EN 469	4,34
DA05-04	R-P	13,16	DB05-04	R-P	9,33
DA06-02	EN 469	8,90	DB07-02	EN 469	6,13
DA07-02	EN 469	8,36	DB08-21	EN 469	3,67
DA08-21	EN 469	4,70	DB09-10	EN 469	3,24
DA09-10	EN 469	3,17	DB14-02	EN 469	8,13
DA14-02	EN 469	9,53	DB15-16	EN 469	4,8
DA15-16	EN 469	5,17	DB17-18	EN 469	5,37
DA17-18	EN 469	6,74	DB19-21	R-P	5,93
DA19-21	R-P	11,50	DB37-21	EN 469	3,77

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Feststellung in Auswertung der durchgeführten Versuche, daß nach EN 469 zugelassene Feuerwehr-Einsatzkleidung offensichtlich qualitativ unterschiedlich ist und das die bisher nach der Herstellungsrichtlinie Rheinland-Pfalz (R-P) zugelassene Feuerwehr-Einsatzkleidung bei diesem Vergleich nicht schlechter abschneidet. In bezug auf die Gesamtbewertung der R-P Feuerwehr-Einsatzkleidung muß die getroffene Aussage jedoch relativiert werden, denn die thermische Bewertung des Materialaufbaus fällt vergleichsweise schlechter aus als die einer EN 469 entsprechenden Feuerwehr-Einsatzkleidung (siehe Tabelle auf Seite 17).

Feststellbar ist auch die Relevanz der Wärmestromdichte in bezug auf die erzielten Zeiten bis zum Erreichen der kritischen Temperatur. Verdeutlicht wird dieses am Beispiel der Meßergebnisse an Meßstelle 19 (Dummy Brust-mitte) der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 37-21. Während die Zeit bei 0,6 W/cm<sup>2</sup> 3,77 min beträgt, liegt sie bei 0,4 W/cm<sup>2</sup> bei 4,34 min, während bei 0,1 W/cm<sup>2</sup> die kritische Temperatur erst nach ca. 16,5 min (siehe Tabelle auf Seite 12) erreicht wird.

### 2.3 Ergebnisse der Untersuchungen mit dem Infrarot-Thermografiesystem

Die Untersuchungsergebnisse verdeutlichen die in Anlage 14 jeweils für die Einsatzjacken Nr. 13, 14, 15 und 43 dargestellten zwei Thermogramme. Das jeweils obere Thermogramm weist das Oberflächentemperaturprofil der noch nicht mit Wärmestrahlung beaufschlagten Innenseite

der Einsatzjacke zum Zeitpunkt x aus, während das untere Thermogramm das durch die thermische Belastung veränderte Oberflächentemperaturprofil der Innenseite der Einsatzjacke nach einer Bestrahlungszeit von 5,5 Minuten zeigt. Die infolge der thermischen Belastung durch Wärmestrahlung eingetretenen Veränderungen des Oberflächentemperaturprofils lassen sich in bezug auf die jeweilige Einsatzjacke folgendermaßen interpretieren.

#### Einsatzjacke Nr. 13 (Anlage 14, Seite 1)

Die maximal auftretende Temperatur auf der Innenseite der thermisch beanspruchten Einsatzjacke beträgt 64 °C. Ausgegangen werden kann von einer durchschnittlichen Temperatur, bezogen auf die Gesamtfläche der Innenseite der Einsatzjacke, von ca. 56 °C. Erkennbar ist im unteren Teil des Thermogramms, daß im Bereich der aufgesetzten Taschen, bedingt durch die dort vorhandene Mehrlagigkeit des Materials, die auftretenden Temperaturen mit ca. 40 °C wesentlich geringer sind. Weiterhin ist feststellbar, daß im Bereich der Nahtzusammenfassung neben dem Verschlusselement (Reißverschluss) sich eine Wärmebrücke ausbildet, welche die Ursache für den Temperaturanstieg bis zum Maximalwert ist. Diese offensichtliche thermische Schwachstelle sollte durch entsprechende Maßnahmen der Konfektionierung beseitigt werden.

#### Einsatzjacke Nr. 14 (Anlage 14, Seite 2)

Hier können Temperaturen in der Größenordnung von ca. 57 °C auf der Innenseite der Einsatzjacke festgestellt werden. Ausgeprägte Wärmebrücken sind nicht feststellbar. Auch hier ist im Bereich der aufgesetzten Brusttaschen feststellbar, daß die dortigen Temperaturen mit  $\leq 40$  °C unter den sonst gemessenen Temperaturen liegen.

#### Einsatzjacke Nr. 15 (Anlage 14, Seite 3)

Die auftretenden Oberflächentemperaturen auf der Innenseite der Einsatzjacke betragen ca. 59 °C. Die Temperaturverteilung im Bereich von ca. 55 °C bis 59 °C ist nahezu gleichmäßig. Feststellbar ist in den Bereichen, wo die Materiallagen offensichtlich nicht durch Luftschlüsse (Luft ist ein schlechter Wärmeleiter) getrennt sind (die Materialschichten liegen direkt aufeinander), daß hier lokal höhere Temperaturen zu verzeichnen sind. Auch hier ist wiederum erkennbar, daß im Bereich der aufgesetzten Taschen die Temperaturwerte mit 40 °C bis 45 °C unter den ansonsten auf der Innenseite der Einsatzjacke gemessenen Temperaturen liegen.

#### Einsatzjacke Nr. 43 (Anlage 14, Seite 4)

Die maximalen Oberflächentemperaturen auf der Innenseite der Einsatzjacke werden mit ca. 52 °C ausgewiesen. Lokale Temperaturunterschiede sind auch hier bedingt durch jeweils vorhandene oder nicht vorhandene Luftschichten zwischen den einzelnen Materiallagen. Ausgeprägte Wärmebrücken sind nicht erkennbar.

## **2.4 Ergebnisse der Untersuchung thermisch belasteter Materialien**

Die Berechnungsergebnisse zur Ermittlung des Wärmedurchlaßgrades  $TF(q_0)$  sind in **Anlage 11** dargestellt. Der für die Anwendung des Berechnungsverfahrens erforderliche Nachweis des linearen Anstiegs der Meßkurve wird, bezogen auf die einzelnen Materialarten, in **Anlage 10**, Seiten 1 bis 8, erbracht. In den dort aufgezeigten linearen Teil der jeweiligen Meßkurven wurde jeweils eine Trendkurve hineingelegt und deren Gleichung berechnet. Die darin ausgewiesenen Anstiege stimmen gut mit den berechneten und in Anlage 11 ausgewiesenen Anstiegen überein.

In der auf der Folgeseite ausgewiesenen Tabelle wird eine Bewertung der untersuchten Materialien vorgenommen.

Bewertung der untersuchten Materialien von Feuerwehr-Einsatzjacken auf der Grundlage der Berechnungsergebnisse zur Ermittlung des Wärmedurchlaßgrades  $TF(q_0)$  nach DIN EN 366 (Anlage 11)

Rangfolge	Material-Nr. Material	2W/cm <sup>2</sup>	Material-Nr. Material	4W/cm <sup>2</sup>
		TF(q <sub>0</sub> ) in %		TF(q <sub>0</sub> ) in %
1	14 Nomex III; Nomex-Gestrick mit Kermel-Gewebe	28,49	14 Nomex III; Nomex-Gestrick mit Kermel-Gewebe	35,09
2	05 PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Baumwolle schwerentflammbar mit Koller	33,10	15 Nomex III; Nomex-Strick; Nomex III	35,70
3	43 PU-Beschichtung flammhemmend auf Baumwolle; Wollfutter Baumwolle flammhemmend imprägniert	33,52	32 Nomex III; Sympatex-Membran; Thermofutter Nomex III; Nomex-Gewirk	39,82
4	32 Nomex III; Sympatex-Membran; Thermofutter Nomex III; Nomex-Gewirk	35,09	06 PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Isolationsfutter FR, System 007	56,34
5	15 Nomex III; Nomex-Strick; Nomex III	35,14	01 Baumwolle schwerentflammbar mit eingehängtem Futter	64,57
6	01 Baumwolle schwerentflammbar mit eingehängtem Futter	46,47	05 PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Baumwolle schwerentflammbar mit Koller	70,10
7	06 PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Isolationsfutter FR, System 007	56,27	43 PU-Beschichtung flammhemmend auf Baumwolle; Wollfutter Baumwolle flammhemmend imprägniert	71,71

### 3. Schlußfolgerungen

Die durchgeführten Untersuchungen belegen, daß die derzeit in der EN 469 festgelegte thermische Beanspruchung durch Wärmestrahlung nach dem Verfahren der DIN EN 366 (Materialprüfung) für eine „universelle“ Feuerwehr-Einsatzkleidung mit  $4 \text{ W/cm}^2$  zu hoch angesetzt ist. Die Beaufschlagung von Materialproben mit Wärmestrahlung in dieser Größenordnung ist unverhältnismäßig hoch im Vergleich zu den im praktischen Feuerwehreinsatz auftretenden Wärmestrahlungsintensitäten. Die Untersuchungen EN 469 - geprüfter Feuerwehr-Einsatzkleidung in konfektionierter Form haben ergeben, daß ein schnelles Ansteigen der Temperaturen bis hin zu physiologisch bedenklichen Werten schon nach relativ kurzen Einwirkzeiten bei einer zur vorgenannten Belastung vergleichsweise geringen thermischen Belastung auf der Innenseite der Einsatzjacken bzw. auf der, die Körperoberfläche repräsentierenden, Dummyoberfläche zu verzeichnen war. Unberücksichtigt blieb bei den durchgeführten Untersuchungen der konvektive Anteil der Wärmeübertragung auf die Feuerwehr-Einsatzkleidung, wie er beispielsweise bei Raumbränden gegeben ist. Kommt dieser Anteil zusätzlich zum Tragen, kann ein noch rascheres Ansteigen der Temperaturen innerhalb der Feuerwehr-Einsatzkleidung erwartet werden.

Eine ausschließliche Beurteilung der thermischen Eigenschaften von Materialproben wird für nicht sinnvoll erachtet. Sie kann eine lediglich unterstützende Funktion bei der Beurteilung des thermischen Verhaltens der konfektionierten Feuerwehr-Einsatzkleidung ausüben.

Die thermische Beanspruchung der Feuerwehr-Einsatzhosen ist gegenüber der Beanspruchung der Feuerwehr-Einsatzjacke als geringer einzuschätzen. Demzufolge besteht hier nicht das Erfordernis nach gleicher thermischer Stabilität wie bei der Einsatzjacke für die Brandbekämpfung. Bestimmte Partien der Einsatzhose, besonders im Kniebereich, die gegenüber der sonstigen materialmäßigen Ausführung der Hose aus anderen Gründen verstärkt auszuführen sind, weisen ohnehin einen dadurch bedingten erhöhten thermischen Schutz auf. Eine Feuerwehr-Einsatzjacke, die nicht für Einsätze zur Brandbekämpfung vorgesehen ist, kann gleichfalls eine geringere thermische Stabilität aufweisen.

### 4. Empfehlungen

- Feuerwehreinsatzkleidung sollte generell auch in fertig konfektionierter Form unter praxisrelevanten Einsatzbedingungen geprüft werden. Als zusätzliches Prüfverfahren sollte das im Rahmen der geführten Untersuchungen angewendete Prüfverfahren des IdF unter Zugrundelegung definierter thermischer Parameter eingeführt werden. Dabei sollte die Prüfung der kompletten Einsatzkleidung bei Einwirkung der für die Brandbekämpfung praxisrelevanten Wärmestromdichte von  $0,1 \text{ W/cm}^2$  ( $1 \text{ kW/m}^2$ ) erfolgen. Als Kriterium der Eignung der für die Brandbekämpfung vorgesehenen Einsatzjacke (Überjacke) sollte das Erreichen der kritischen Temperatur  $T_{\text{krit}} = 43 \text{ °C}$  an Meßstelle 1 nach  $t \geq 15 \text{ min}$  bei  $0,1 \text{ W/cm}^2$  ( $1 \text{ kW/m}^2$ ) festgeschrieben werden (Bei dieser Festlegung wurde das weitere Ansteigen der Temperatur im Inneren der Feuerwehr-Einsatzkleidung nach Entfernung der Wärmequelle, wie im Abschnitt 2.1.2 beschrieben, berücksichtigt). Für eine nicht zur Brandbekämpfung vorgesehene Einsatzjacke, die aber dennoch eine gewisse thermische Stabilität aufweisen sollte, sowie für die Einsatzhose, sollte gelten:  $T_{\text{krit}} = 43 \text{ °C}$  an Meßstelle 1 und 2 nach  $t \geq 7,5 \text{ min}$  bei  $0,1 \text{ W/cm}^2$  ( $1 \text{ kW/m}^2$ )  
Meßstelle 1: Dummy Brust - mitte  
Meßstelle 2: Dummy Knie - links

- Die Untersuchung thermisch belasteter Materialproben wird als notwendige Ergänzung zur abschließenden Beurteilung der Eignung der Feuerwehr-Einsatzkleidung als „universelle“ Feuerwehr-Einsatzkleidung angesehen. Der Grad der thermischen Belastung der zu prüfenden Materialien sollte mit  $2 \text{ W/cm}^2$  (bisher nach EN 469  $4 \text{ W/cm}^2$ ) festgelegt werden.
- Die Brennbarkeit der für Feuerwehr-Einsatzkleidung zum Einsatz gelangenden Materialien ist zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang sollte eine praktikable Beflammungszeit der Materialien gewählt werden, um bekanntermaßen der Tatsache Rechnung zu tragen, daß längere Beflammungszeiten zu verfälschenden Aussagen in bezug auf die Brennbarkeit der Materialien führen können.
- Die Untersuchungen haben ergeben, daß die gegenwärtig bundeseinheitliche (nach Herstellungsrichtlinie Rheinland-Pfalz geprüfte) Feuerwehr-Einsatzkleidung durchaus einen Grundschutz gewährleistet, der sich an den praktischen Erfordernissen des Feuerwehreinsatzes orientiert. Andererseits wurde aber erkannt und nachgewiesen, daß neuere Erzeugnisse in einzelnen Parametern eine höhere Schutzwirkung gewährleisten.
- Ein Kosten / Nutzen - Vergleich sollte ergänzend zur Entscheidung bei der Beschaffung von Feuerwehr-Einsatzkleidung herangezogen werden. Darüber hinaus ist bei der Beschaffung das konkrete Einsatzprofil der jeweiligen Feuerwehr zu berücksichtigen.
- Die vorgenommenen Untersuchungen lassen es ratsam erscheinen, bundeseinheitlich Mindestanforderungen an eine universelle Feuerwehr-Einsatzkleidung aus der Sicht der thermischen Beanspruchung zu empfehlen. Da die übrigen Risiken als weniger problematisch angesehen werden können, sollten die vorgenannten Mindestanforderungen eine Erweiterung in bezug auf alle das Anforderungsprofil der Feuerwehreinsatzkleidung bestimmenden Parameter erfahren.

## Literatur

- [1] Schmiedtchen, P.: Die Belastung des Feuerwehrmannes im Einsatz: brandschutz - Deutsche Feuerwehrzeitung (1991) Nr. 5
- [2] DIN EN 469 Schutzkleidung für die Feuerwehr; Anforderungen und Prüfverfahren für Schutzkleidung für die Brandbekämpfung
- [3] DIN EN 366 Schutzbekleidung; Schutz gegen Hitze und Feuer; Prüfmethode: Beurteilung von Materialien und Materialkombinationen, die einer Hitze-Strahlungsquelle ausgesetzt sind
- [4] Bundesverband der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand (BAGUV): Risikobewertung für die Auswahl von Feuerwehr-Schutzkleidung (Fassung September 1995)

**Freiblatt für persönliche Aufzeichnungen**

**Inventarverzeichnis „Feuerwehr-Einsatzkleidung IMK 1-96“**

<b>Registrier-Nr.:</b>	<b>Bekleidungs- teil</b>	<b>Norm/ Richtlinie</b>	<b>Materialzusammen- setzung</b>
01	Jacke	„Baden-Württemberg“	Baumwolle schwerentflammbar mit eingehängtem Futter
02	Hose	„Baden-Württemberg“	Schurwolle schwerentflammbar
03	Uniformjacke	„Rheinland-Pfalz“	Baumwolle schwerentflammbar imprägniert
04	Hose	„Rheinland-Pfalz“	Schurwolle schwerentflammbar imprägniert
05	Überjacke	„Rheinland-Pfalz“	PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar, orange; Wollfutter
06	Jacke	EN 469 Z 93/95 - 157/95	PU-Beschichtung schwerentflammbar auf Baumwolle, orange; Isolationsfutter FR System 007
07	Jacke	EN 469 Z 93/95 - 158/95	PU-Beschichtung schwerentflammbar auf Baumwolle, orange; Isolationsfutter FR System 007
08	Jacke	EN 469 Z 93/95 - 159/95	PU-Beschichtung schwerentflammbar auf Baumwolle, schwarz; Isolationsfutter FR System 007
09	Jacke	EN 469	Kermel/Viskose FR ; Kermelvlies mit PU-Beschichtung und Kermel/Viskose Steppfutter;
10	Hose	EN 469	Kermel/Viskose FR; Kermelvlies mit PU-Beschichtung und Kermel/Viskose Steppfutter;
11	Kopfhaube		Kermel-Viskose Jersey mit Baumwollzwischenlage
12	Kopfhaube		Kermel-Viskose Jersey ohne Baumwollzwischenlage
13	Jacke	EN 469	PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar, orange; Isolationsfutter FR, System 007
14	Jacke	EN 469 Z 33/95 - 4/95	Nomex III Nomex-Gestrick mit Kermel-Gewebe
15	Jacke	EN 469	Nomex III Nomex Strick Nomex III
16	Hose	EN 469	Nomex III Nomex-Strick Nomex III

Registrier-Nr.:	Bekleidungs- teil	Norm/ Richtlinie	Materialzusammen- setzung
17	Jacke	EN 469 95042S01	Nomex III Nomex Watte Nomex Rip-Stop
18	Hose	EN 469 95042S01	Nomex III Nomex Watte Nomex Rip-Stop
19	Überjacke	„Rheinland-Pfalz“	PU-Beschichtung flammhemmend auf Baumwolle Wollfutter
20	Uniformjacke	„Rheinland-Pfalz“	Baumwolle flammhemmend imprägniert
21	Hose	„Rheinland-Pfalz“	Baumwolle flammhemmend imprägniert
22	Uniformmacke	Bayern II	Baumwolle nicht flammfest; Öl- und Wasserabweisend
23	Hose	Bayern II	Baumwolle nicht flammfest; Öl- und Wasserabweisend
24	Jacke	„Nordrhein-Westfalen“	Kermel-Viskose
25	Hose	„Nordrhein-Westfalen“	Kermel-Viskose
26	Jacke	EN 469	PBI 6.0 oz Gore-Tex Membran auf Kevlar Futter
27	Hose	EN 469	PBI 6.0 oz Gore-Tex Membran auf Kevlar Futter
28	Jacke	EN 469	PBI 6.0 oz Gore-Tex Membran auf Kevlar Futter
29	Hose	EN 469	PBI 6.0 oz Gore-Tex Membran auf Kevlar Futter
30	Jacke	EN 469	Nomex III; Gore-Tex Fireliner; Nomex-Nadelfilz
31	Hose	EN 469	Nomex III; Gore-Tex Fireliner; Nomex-Nadelfilz
32	Jacke	EN 469	Nomex III; Synpatex-Membran; Thermofutter Nomex III
33	Hose	EN 469	Nomex III; Synpatex Membran; Thermofutter Nomex III
34	Jacke	EN 469	Nomex III; Gore-Tex Membran; Futterjacke aus Aramid-Regenerat
35	Jacke	EN 469	Nomex III mit integrierter Gore- Tex Membran; P84-Futter

<b>Registrier-Nr.:</b>	<b>Bekleidungs- teil</b>	<b>Norm/ Richtlinie</b>	<b>Materialzusammen- setzung</b>
37	Überjacke	EN 469	PU-Beschichtung schwerent- flammbar auf Baumwolle (schwarz); Isolationsfutter FR System 007
38	Uniformjacke	„Rheinland-Pfalz“	Baumwolle flammhemmend imprägniert mit Schulterkoller
39	Hose	„Rheinland-Pfalz“	Baumwolle flammhemmend imprägniert
40	Uniformjacke	„Rheinland-Pfalz“	Baumwolle flammhemmend imprägniert mit Schulterkoller
41	Hose	„Rheinland-Pfalz“	Baumwolle flammhemmend imprägniert
42	Überjacke	EN 469	PU-Beschichtung auf Baumwolle, orange DUFLOT- Futter
43	Überjacke	„Rheinland-Pfalz“	PU-Beschichtung „TAIFUN“ auf Baumwolle FR; Aramid-Regenerat

### Verzeichnis der Versuche zum Forschungsthema IMK 1-96

Lfd.-Nr.:	Dateiname	Anzahl der Materiallagen	Materialzusammensetzung
1	DA01-02.XLS	2	Jacke 01:Baumwolle schwerentflammbar Hose 02: Baumwolle
2	DA06-02.XLS	2	Jacke 06: PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Isolationsfutter FR, System 007 Hose 02: Baumwolle
3	DB06-02.XLS	2	Jacke 06:PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Isolationsfutter FR, System 007 Hose 02: Baumwolle
4	DA07-02.XLS	2	Jacke 07: PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Isolationsfutter FR, System 007 Hose 02: Baumwolle
5	DB07-02.XLS	2	Jacke 07: PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Isolationsfutter FR, System 007 Hose 02: Baumwolle
6	DA14-02.XLS	2	Jacke 14: Nomex III;Nomex-Gestrick abgesteppt mit Kermel-Gewebe Hose 02: Baumwolle
7	DB14-02.XLS	2	Jacke 14: Nomex III;Nomex-Gestrick abgesteppt mit Kermel-Gewebe Hose 02: Baumwolle
8	DA09-10.XLS	2	Jacke 09:Kermel/Viskose FR; Kermelvlies mit PU-Beschichtung und Kermel/Viskose Steppfutter Hose 10: Kermel/Viskose FR; Kermelvlies mit PU-Beschichtung und Kermel/Viskose Steppfutter
9	DB09-10.XLS	2	Jacke 09: Kermel/Viskose FR; Kermelvlies mit PU-Beschichtung und Kermel/Viskose Steppfutter Hose 10: Kermel/Viskose FR; Kermelvlies mit PU-Beschichtung und Kermel/Viskose Steppfutter
10	DA17-18.XLS	3	Jacke 17:Nomex III; Nomex-Watte; Nomex Rip-Stop Hose 18: Nomex III; Nomex-Watte; Nomex Rip-Stop
11	DB17-18.XLS	3	Jacke 17:Nomex III;Nomex-Watte;Nomex Rip-Stop Hose 17: Nomex III; Nomex-Watte; Nomex Rip-Stop
12	DA19-21.XLS	2 3-teiliger Anzug	Überjacke 19:PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Wollfutter Jacke 20: Baumwolle mit Koller (1-lagig) Hose 21: Schurwolle (1-lagig)
13	DB19-21.XLS	2 3-teiliger Anzug	Überjacke 19: PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Wollfutter Jacke 20: Baumwolle mit Koller (1-lagig) Hose 21: Schurwolle (1-lagig)
14	DA15-16.XLS	3	Jacke 15: Nomex III;Nomex-Strick;Nomex III Hose 16: Nomex III; Nomex-Strick; Nomex III
15	DB15-16.XLS	3	Jacke 15: Nomex III;Nomex-Strick;Nomex III Hose 16: Nomex III; Nomex-Strick; Nomex III

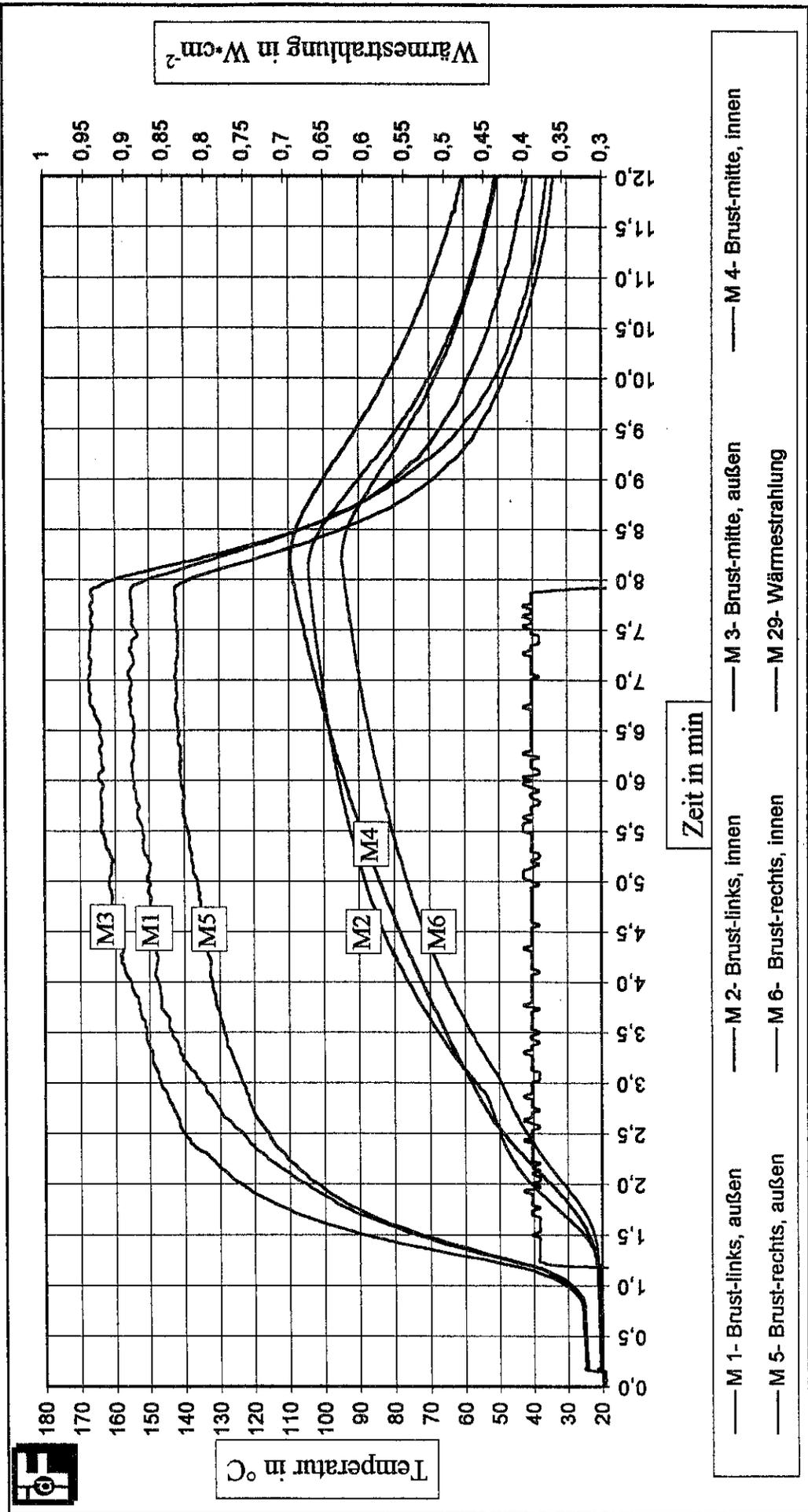
Lfd.-Nr.:	Dateiname	Anzahl der Materiallagen	Materialzusammensetzung
16	DA08-21.XLS	3	Jacke 08: PU-Beschichtung auf Baumwolle; Isolationsfutter FR, System 007 Hose 21: Schurwolle (1-lagig)
17	DB08-21.XLS	3	Jacke 08: PU-Beschichtung auf Baumwolle; Isolationsfutter FR, System 007 Hose 21: Schurwolle (1-lagig)
18	DC08-21.XLS	3	Jacke 08: PU-Beschichtung auf Baumwolle; Isolationsfutter FR, System 007 Hose 21: Schurwolle (1-lagig)
19	DA37-21.XLS	3	Jacke 37: PU-Beschichtung auf Baumwolle; Isolationsfutter FR, System 007 Hose 21: Schurwolle (1-lagig)
20	DB37-21.XLS	3	Jacke 37: PU-Beschichtung auf Baumwolle; Isolationsfutter FR, System 007 Hose 21: Schurwolle (1-lagig)
21	DA05-04.XLS	2 3-teiliger Anzug	Überjacke 05: PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar Jacke 03: Baumwolle schwerentflammbar mit Koller Hose 04: Schurwolle schwerentflammbar
22	DB05-04.XLS	2 3-teiliger Anzug	Überjacke 05: PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar Jacke 03: Baumwolle schwerentflammbar mit Koller Hose 04: Schurwolle schwerentflammbar
23	DA42-04.XLS	2	Überjacke 42: PU-Beschichtung auf Baumwolle, DUFLOT- Futter Hose 04: Schurwolle schwerentflammbar
24	DB42-04.XLS	2	Überjacke 42: PU-Beschichtung auf Baumwolle, DUFLOT-Futter Hose 04: Schurwolle schwerentflammbar
25	DA30-31.XLS	3	Überjacke 30: Nomex III; Gore-Tex Fireliner; Nomex-Nadelfilz Hose 31: Nomex III; Gore-Tex Fireliner; Nomex- Nadelfilz
26	DB30-31.XLS	3	Überjacke 30: Nomex III; Gore-Tex Fireliner; Nomex-Nadelfilz Hose 31: Nomex III; Gore-Tex Fireliner; Nomex- Nadelfilz
27	DA26-27.XLS	2	Überjacke 26: PBI 6,0 oz; Gore-Tex Membran auf Kevlar Futter Hose 27: PBI 6,0 oz; Gore-Tex Membran auf Kevlar Futter
28	DB26-27.XLS	2	Überjacke 26: PBI 6,0 oz; Gore-Tex Membran auf Kevlar Futter Hose 27: PBI 6,0 oz; Gore-Tex Membran auf Kevlar Futter
29	DA32-33.XLS	3	Überjacke 32: Nomex III; Sympatex-Membran; Thermofutter Nomex III Hose 33: Nomex III; Sympatex-Membran; Thermofutter Nomex III

<b>Lfd.- Nr.:</b>	<b>Dateiname</b>	<b>Anzahl der Materiallagen</b>	<b>Materialzusammensetzung</b>
30	DB32-33.XLS	3	Überjacke 32: Nomex III; Sympatex-Membran; Thermofutter Nomex III Hose 33: Nomex III; Sympatex-Membran; Thermofutter Nomex III
31	DA34-41.XLS	3	Überjacke 34: Nomex III; Gore-Tex Membran; Aramid-Futterjacke Hose 41: Baumwolle flammhemmend imprägniert
32	DB34-41.XLS	3	Überjacke 34: Nomex III; Gore-Tex Membran; Aramid-Futterjacke Hose 41: Baumwolle flammhemmend imprägniert
33	DA35-41.XLS	3	Überjacke 35: Nomex III; Gore-Tex Membran; Futter P84 Hose 41: Baumwolle flammhemmend imprägniert
34	DB35-41.XLS	3	Überjacke 35: Nomex III; Gore-Tex Membran; Futter P84 Hose 41: Baumwolle flammhemmend imprägniert

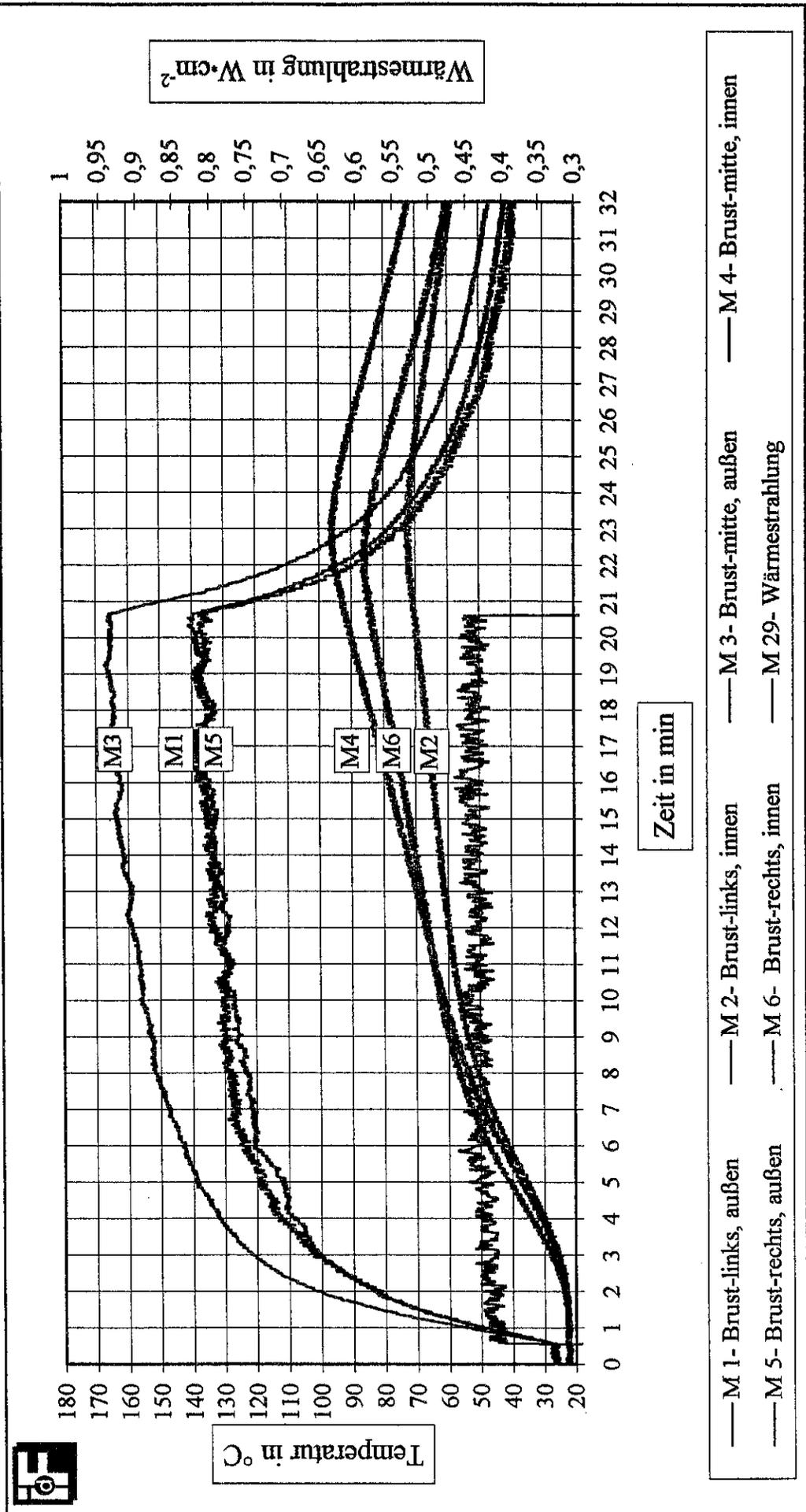
**Verzeichnis der Materialproben für Prüfung nach DIN EN 366:**

<b>Lfd.-Nr.:</b>	<b>Datei-name</b>	<b>Material-lagen</b>	<b>Materialzusammensetzung</b>
1	M001A	2	Baumwolle schwerentflammbar mit eingehängtem Futter
2	M001B	2	Baumwolle schwerentflammbar mit eingehängtem Futter
3	M005A	2	PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar Baumwolle schwerentflammbar mit Koller
4	M005B	2	PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar Baumwolle schwerentflammbar mit Koller
5	M006A	2	PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Isolationsfutter FR, System 007
6	M006B	2	PU-Beschichtung auf Baumwolle schwerentflammbar; Isolationsfutter FR, System 007
7	M014A	2	Nomex III; Nomex-Gestrick mit Kermel-Gewebe
8	M014B	2	Nomex III; Nomex-Gestrick mit Kermel-Gewebe
9	M015A	3	Nomex III; Nomex Strick; Nomex III
10	M015B	3	Nomex III; Nomex Strick; Nomex III
11	M019A	2	PU-Beschichtung flammhemmend auf Baumwolle Wollfutter
12	M019B	2	PU-Beschichtung flammhemmend auf Baumwolle Wollfutter
13	M032A	4	Nomex III; Sympatex-Membran; Thermofutter Nomex III; Nomex-Gewirk
14	M032B	4	Nomex III; Sympatex-Membran; Thermofutter Nomex III; Nomex-Gewirk
15	M043A	2 2-teilig	PU-Beschichtung flammhemmend auf Baumwolle, Wollfutter Baumwolle flammhemmend imprägniert
16	M043B	2 2-teilig	PU-Beschichtung flammhemmend auf Baumwolle, Wollfutter Baumwolle flammhemmend imprägniert

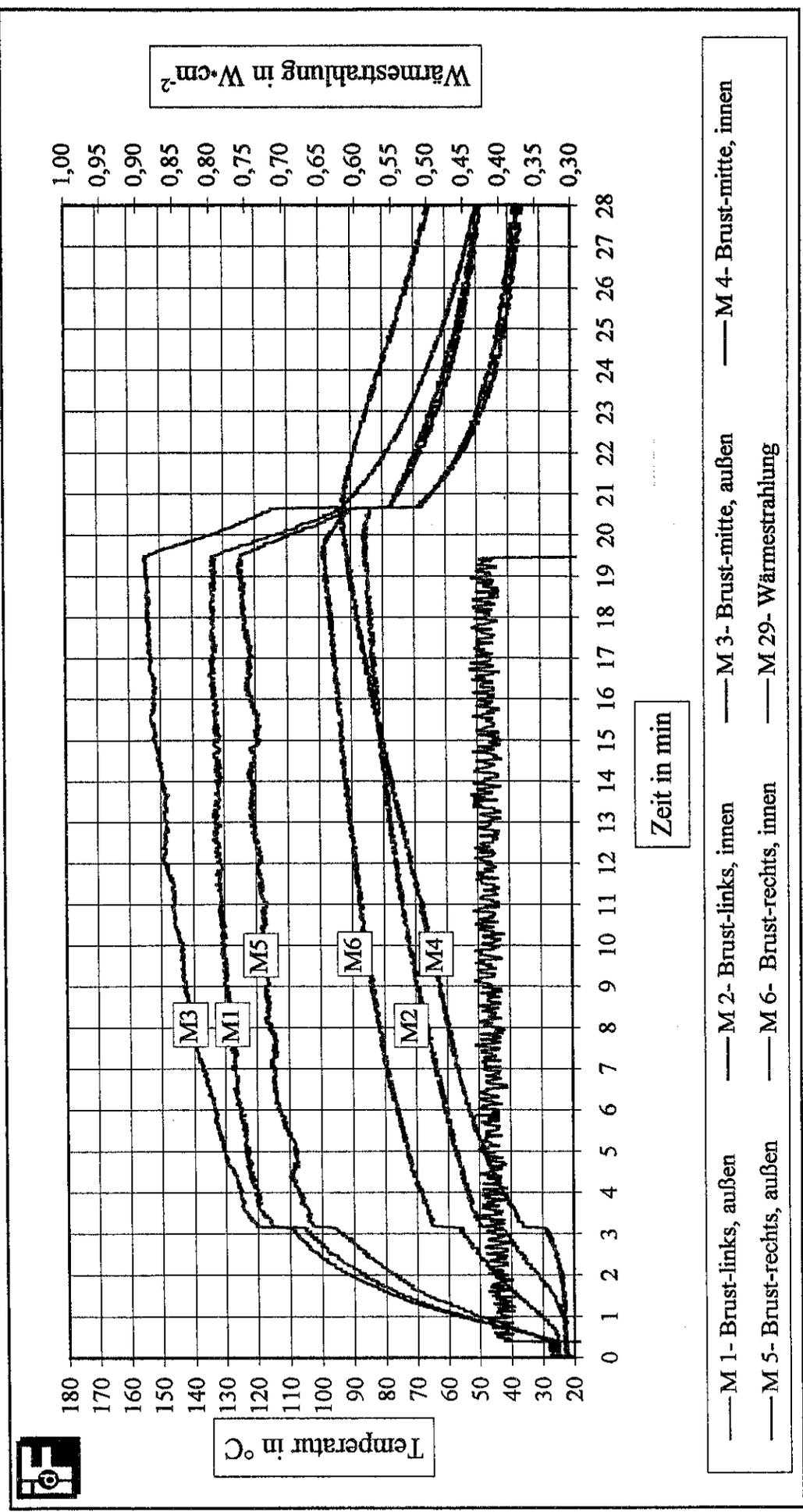
### Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 01-02



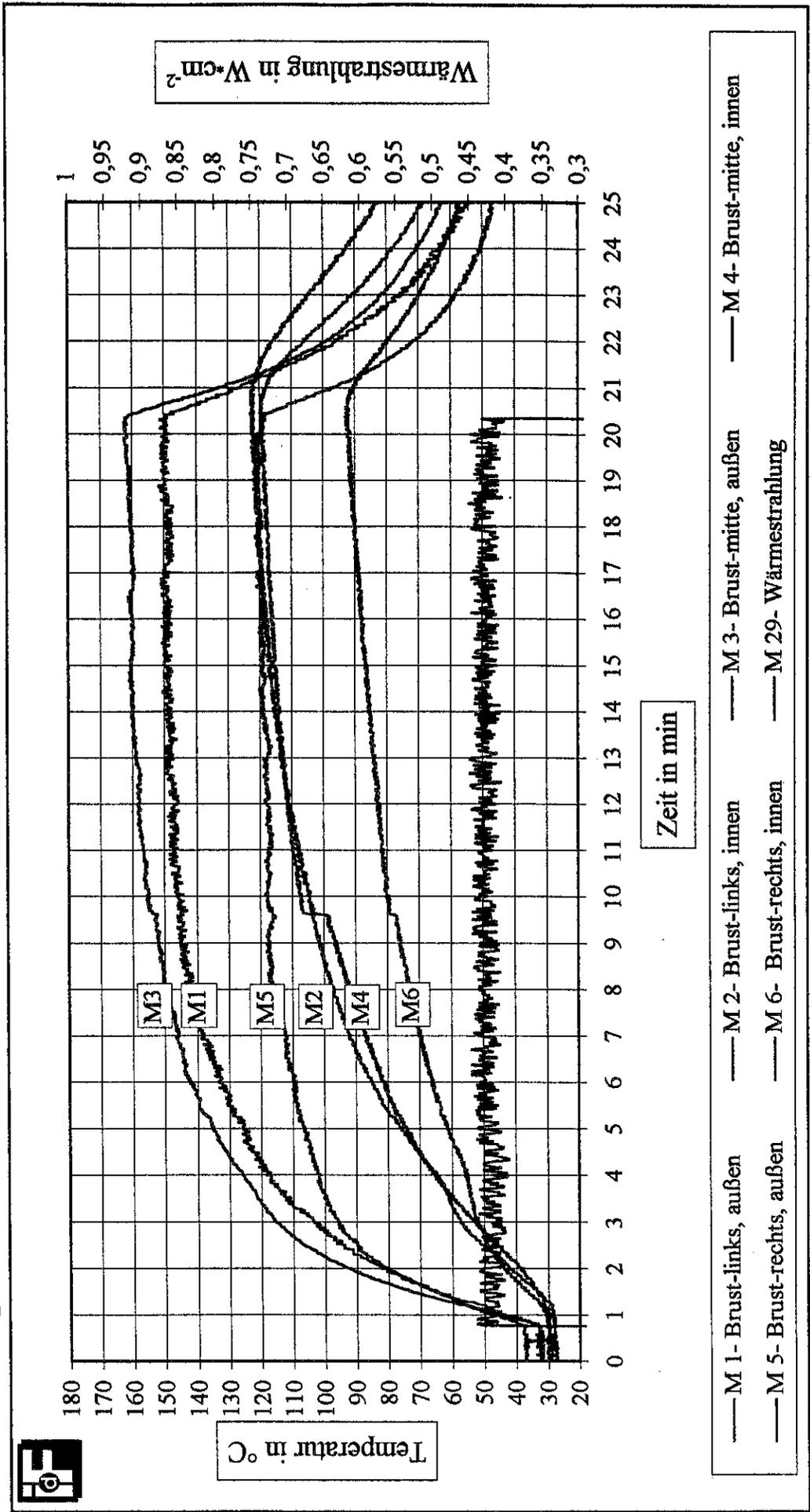
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 05-04



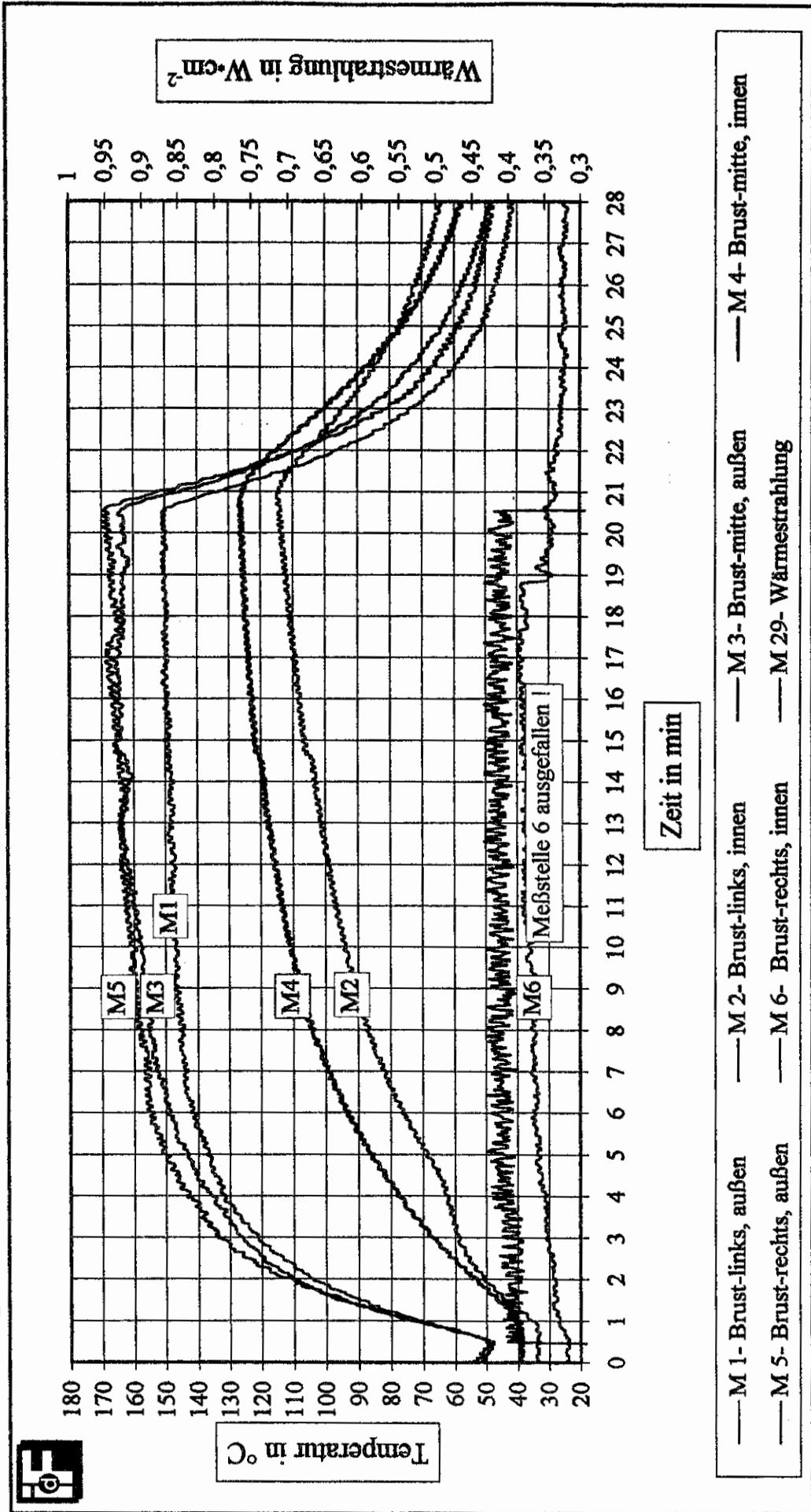
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 06-02



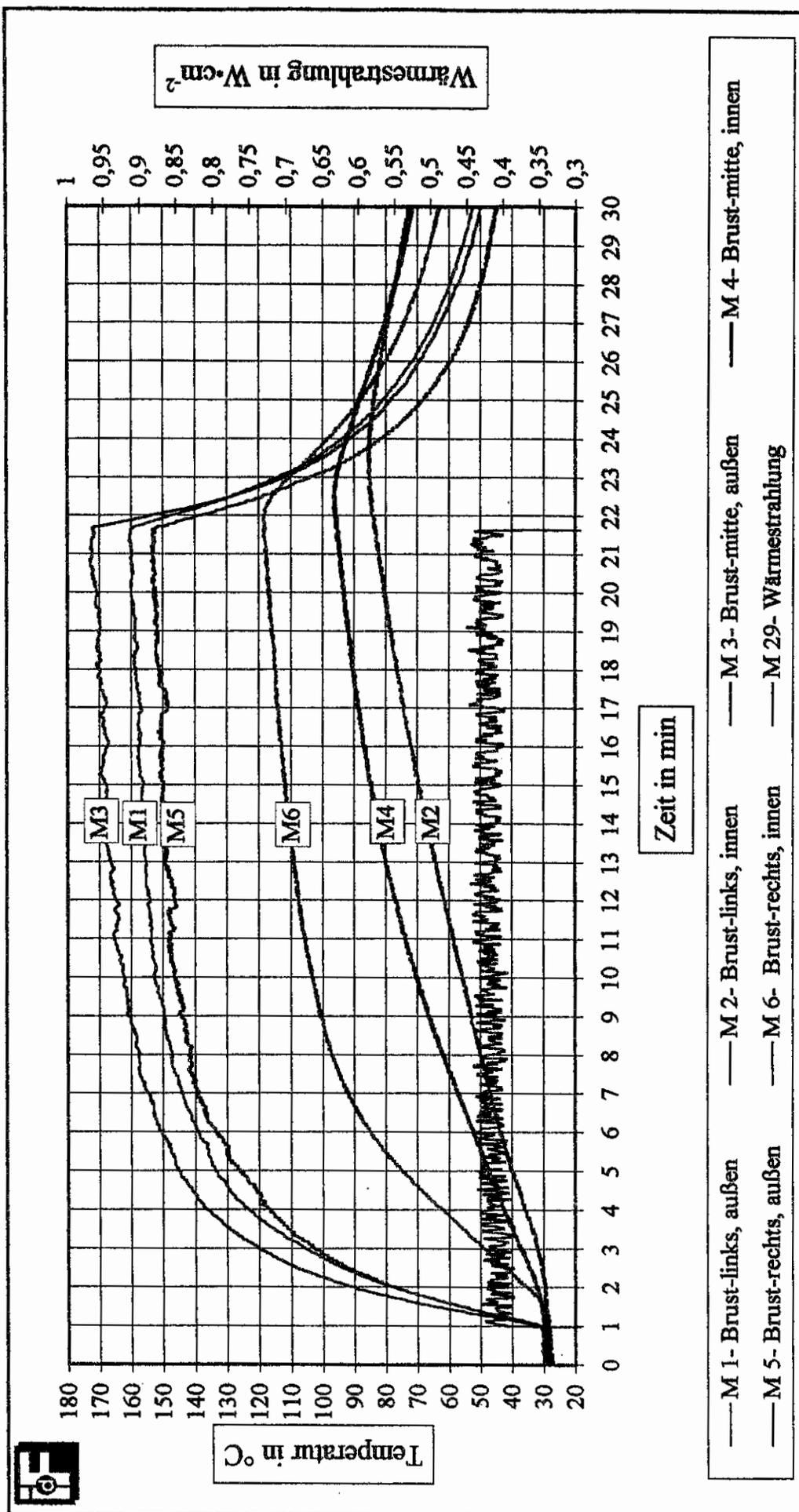
Temperaturen an den Messstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 07-02



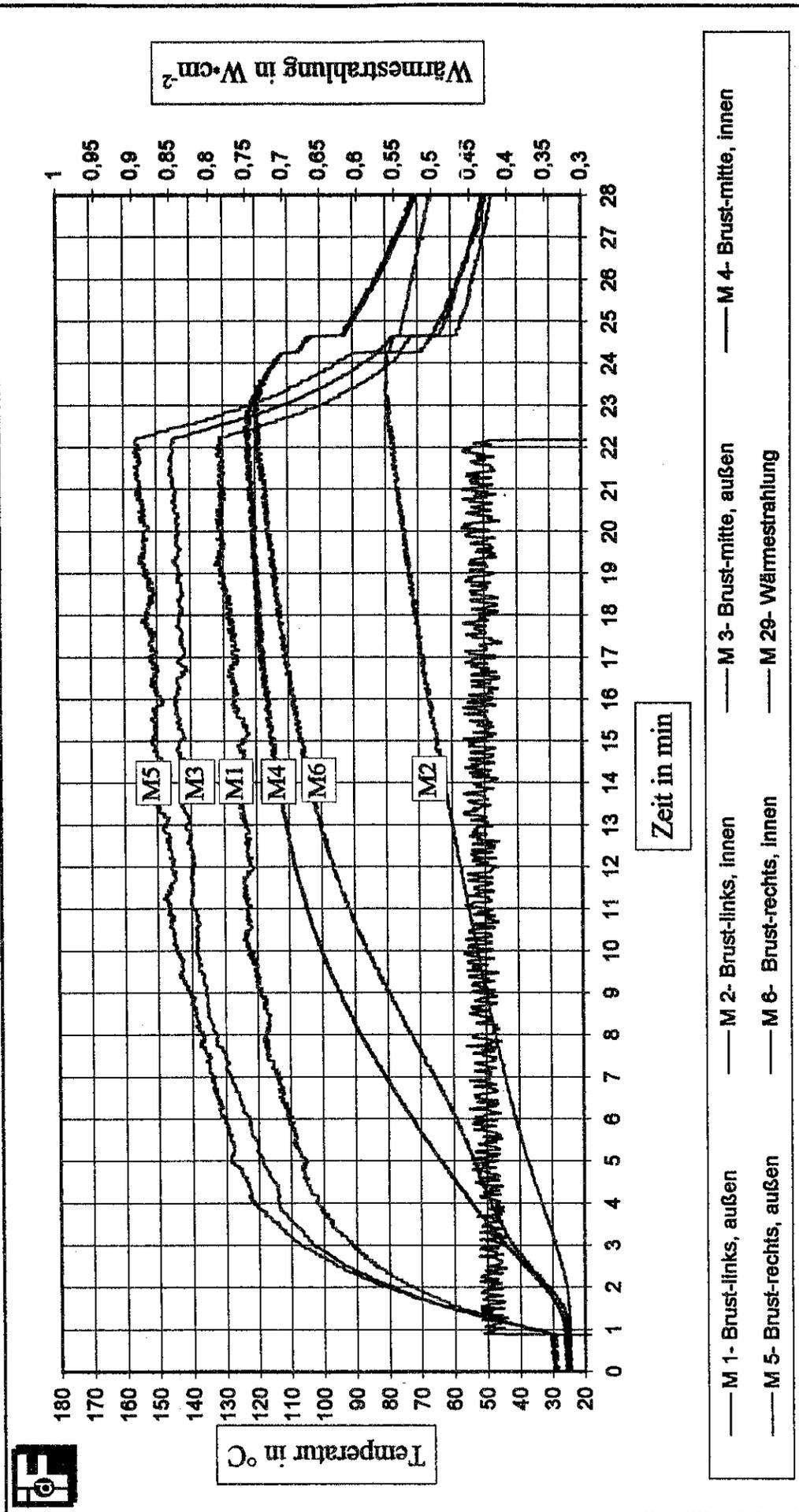
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 08-21



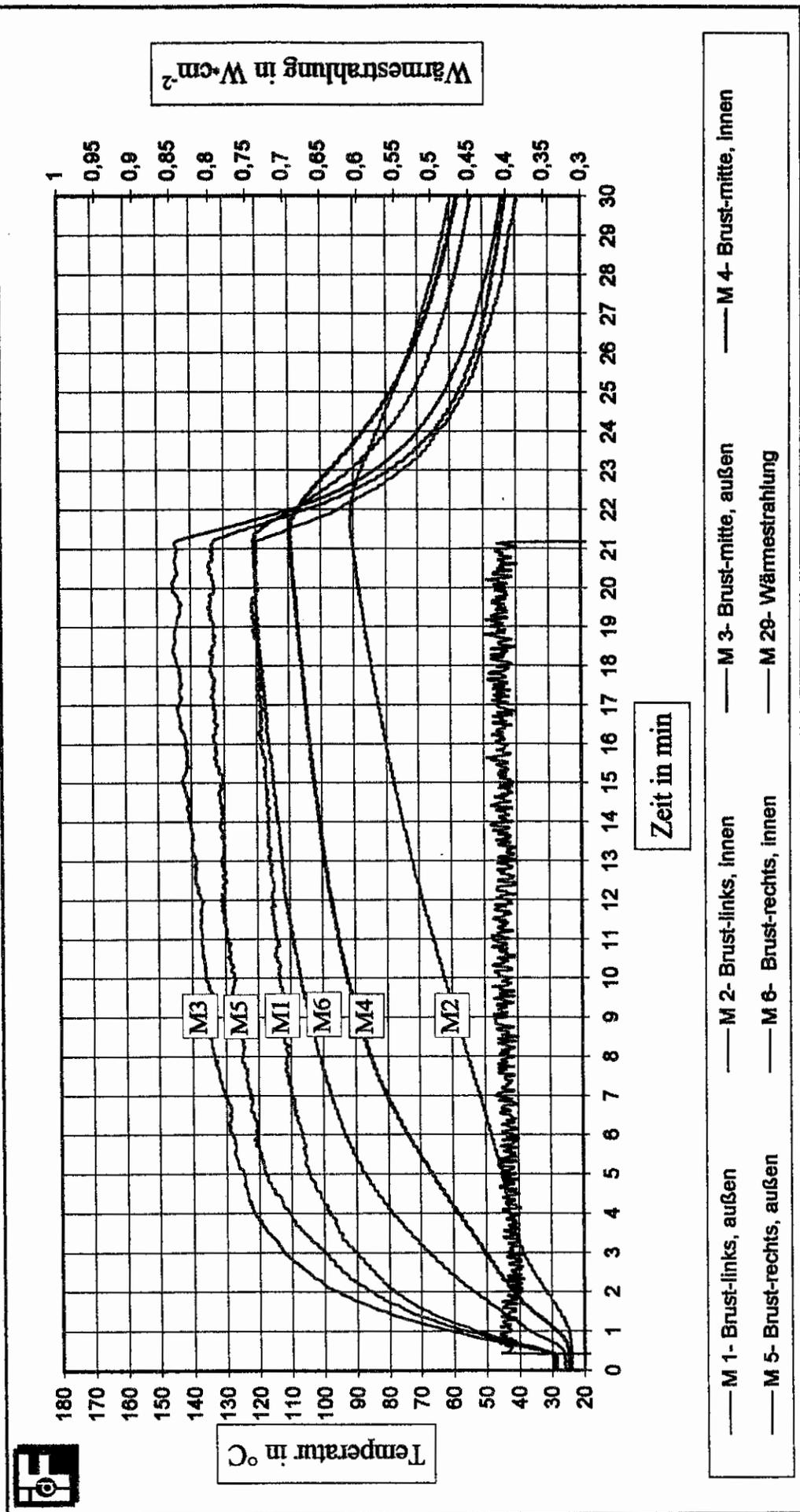
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 09-10



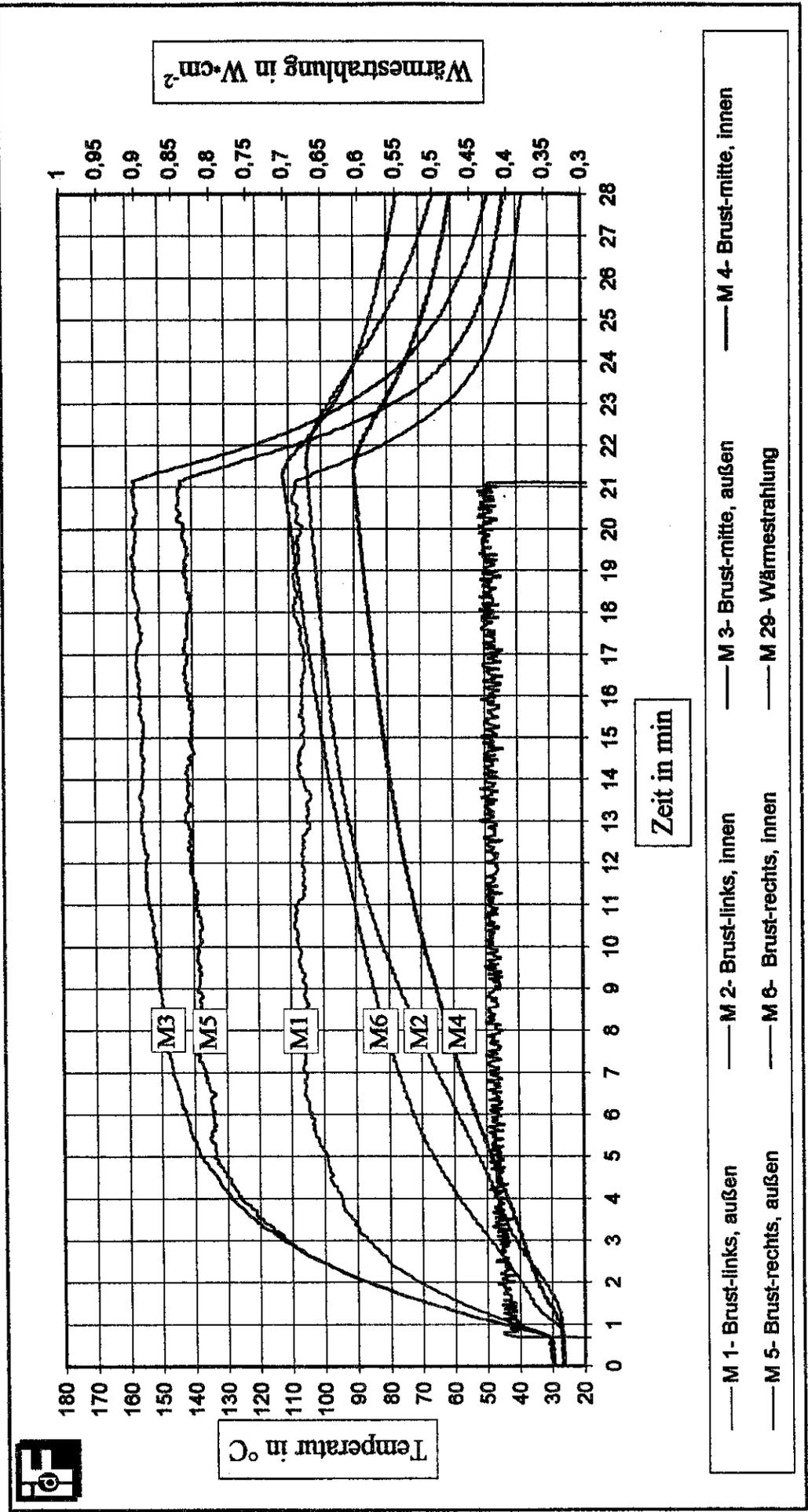
### Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 14-02



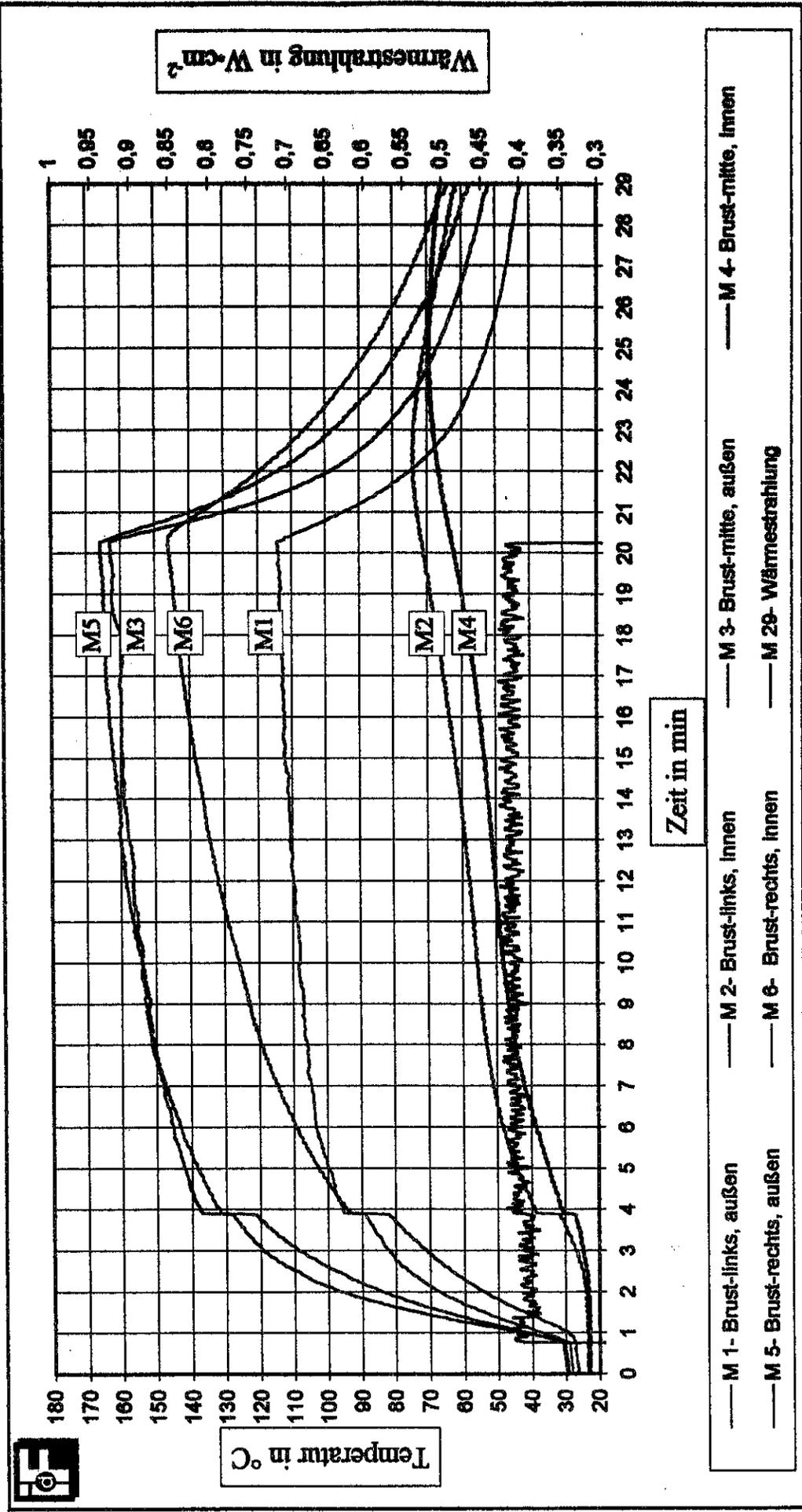
### Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 15-16



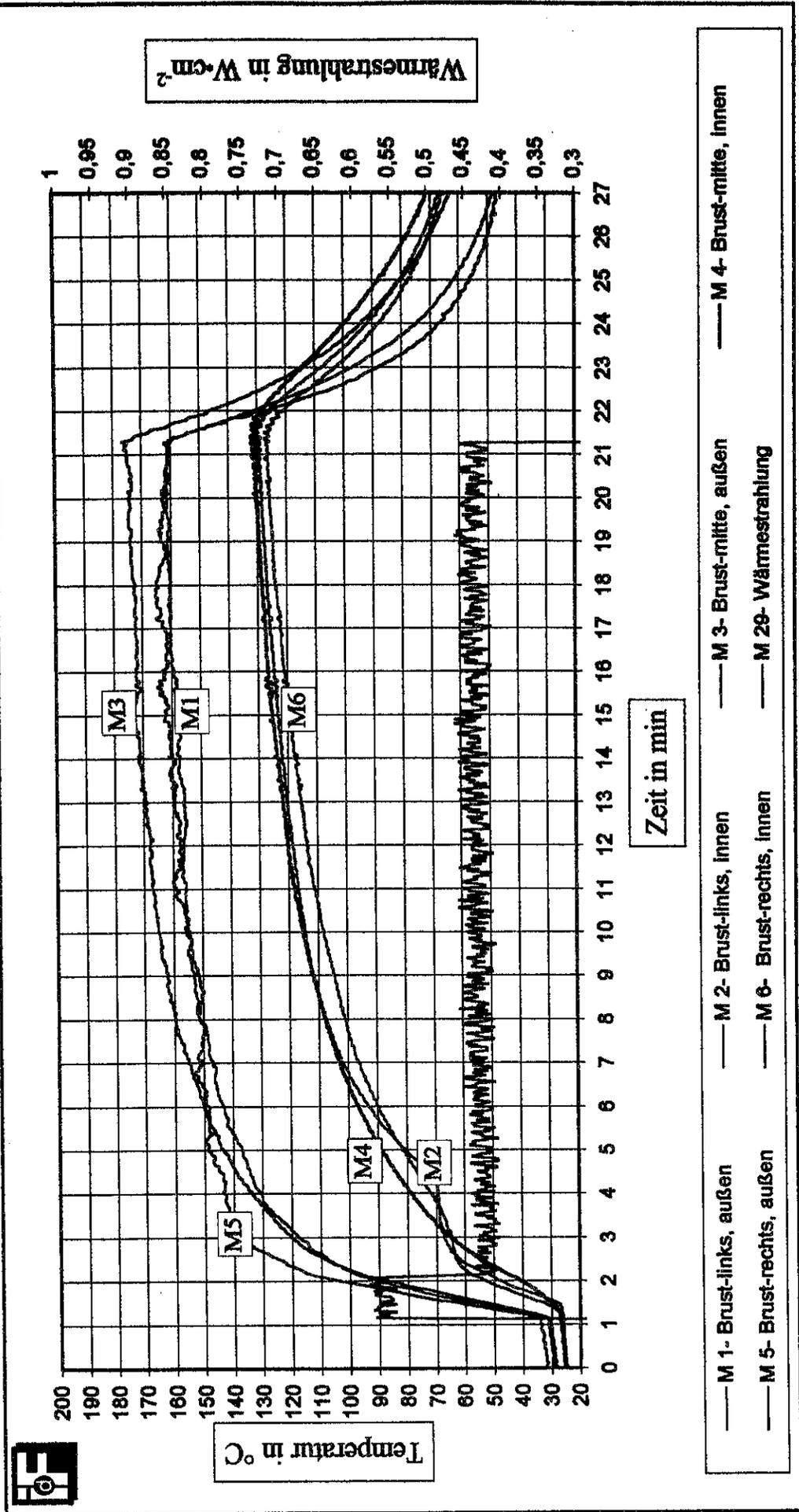
### Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 17-18



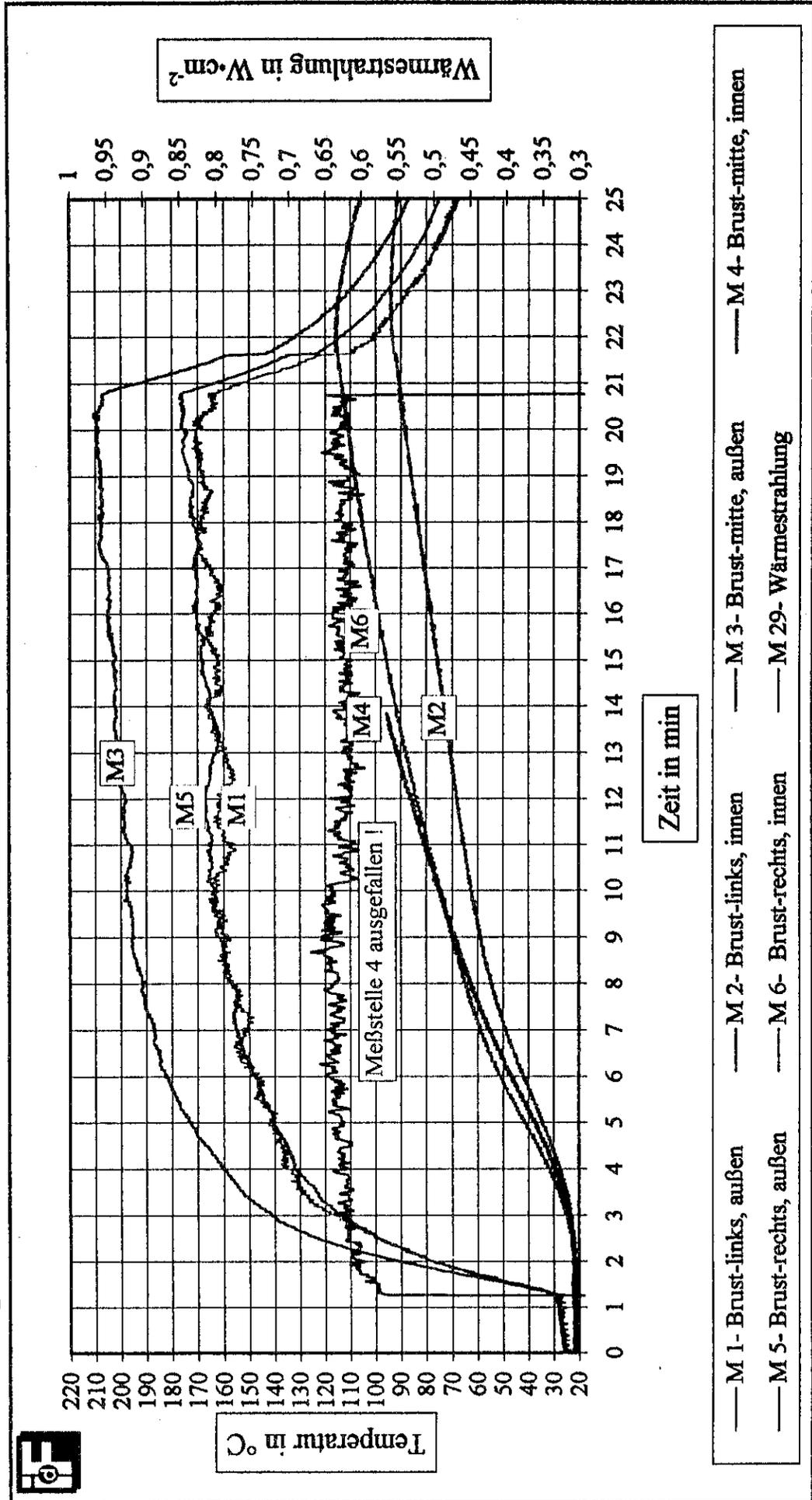
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 19-21



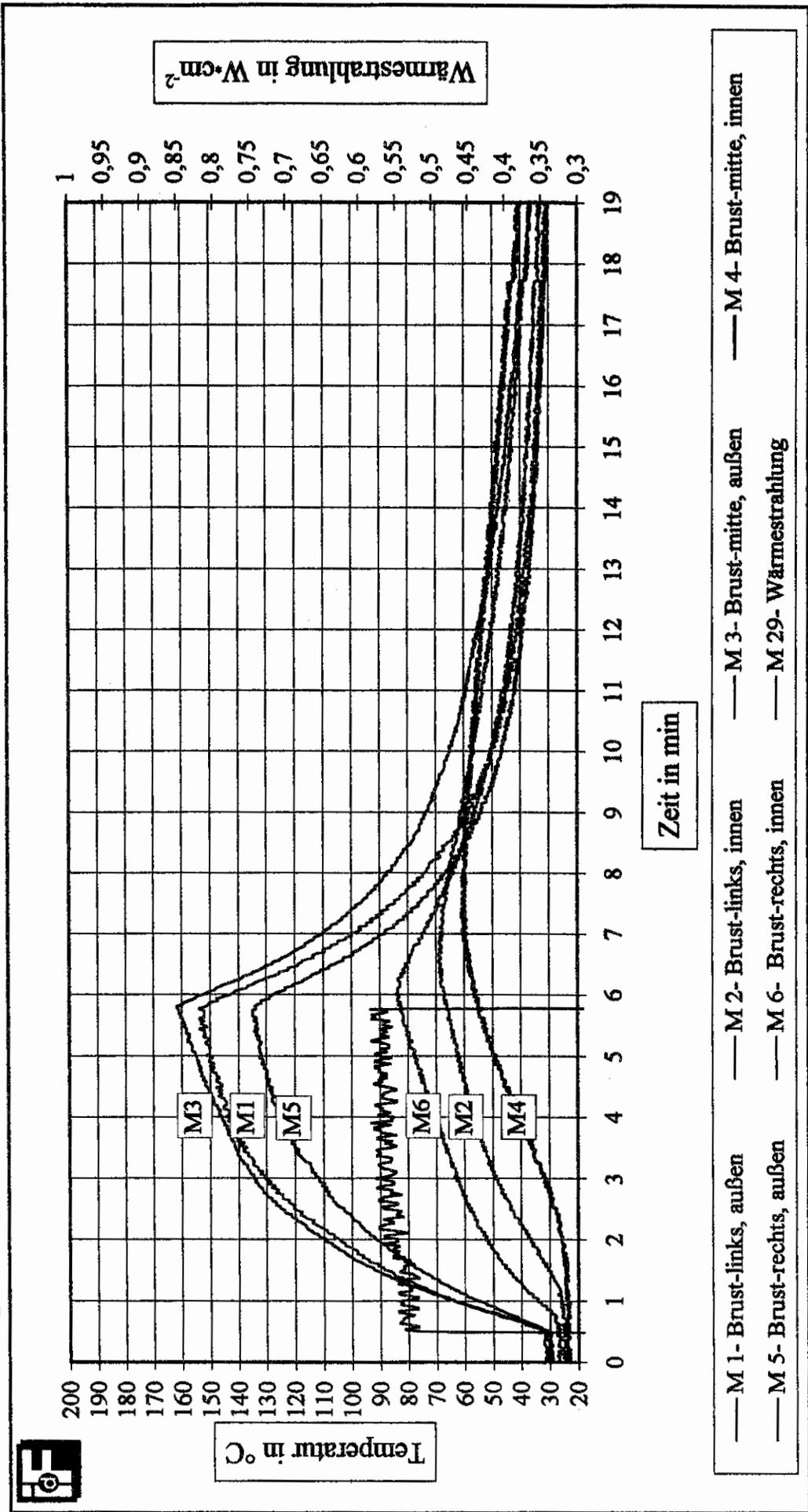
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 37-21



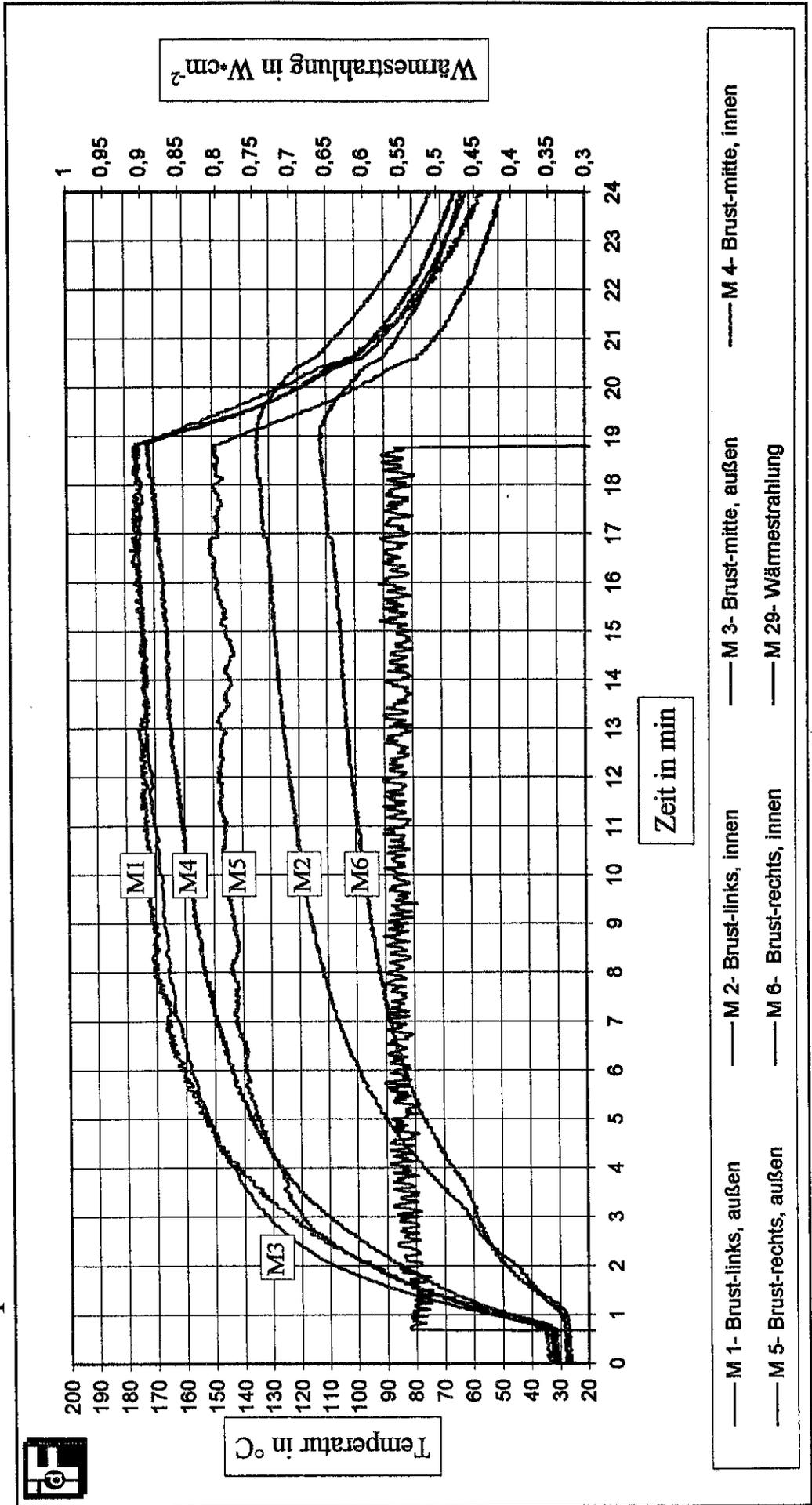
### Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 05-04



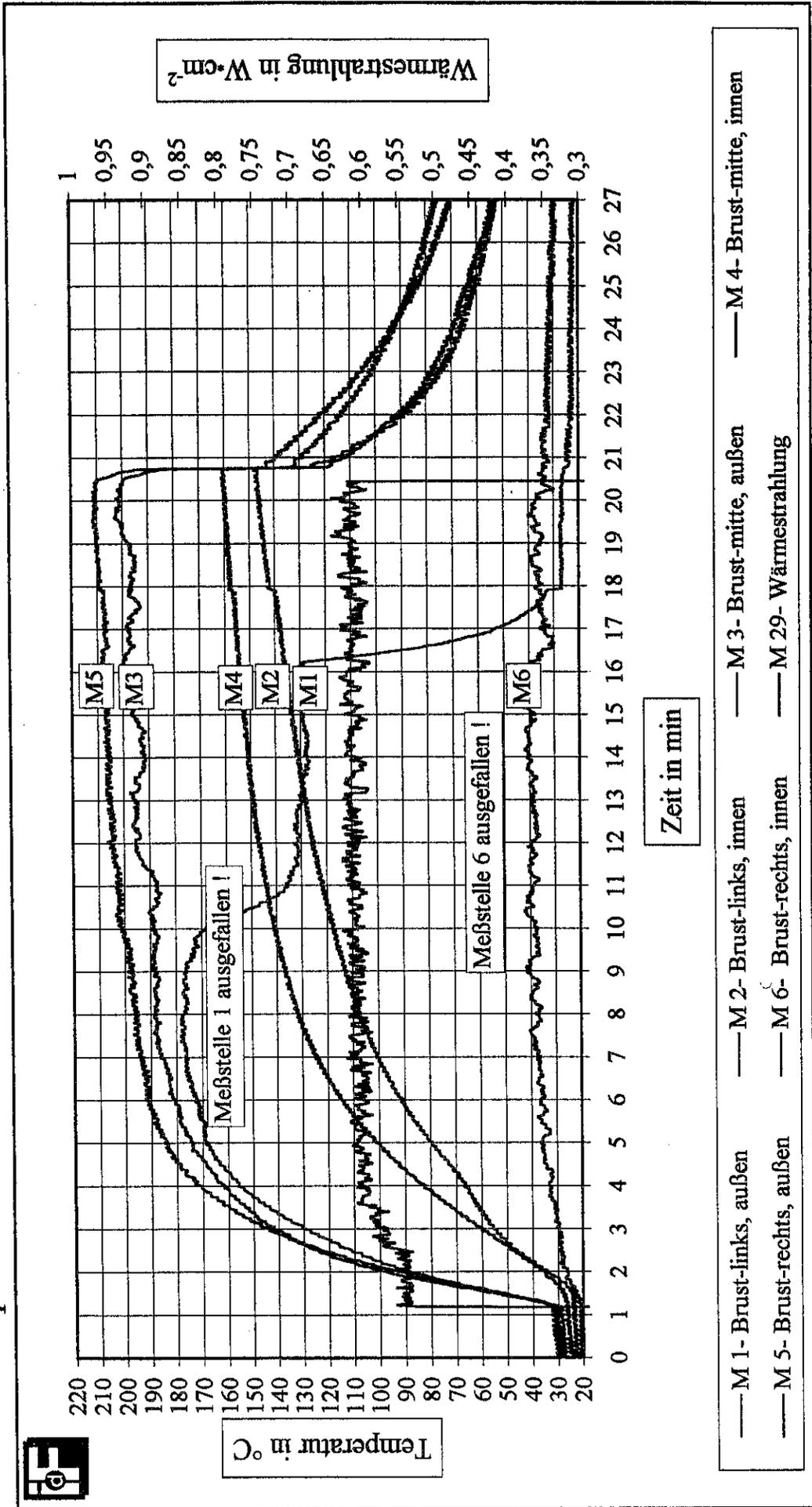
### Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 06-02



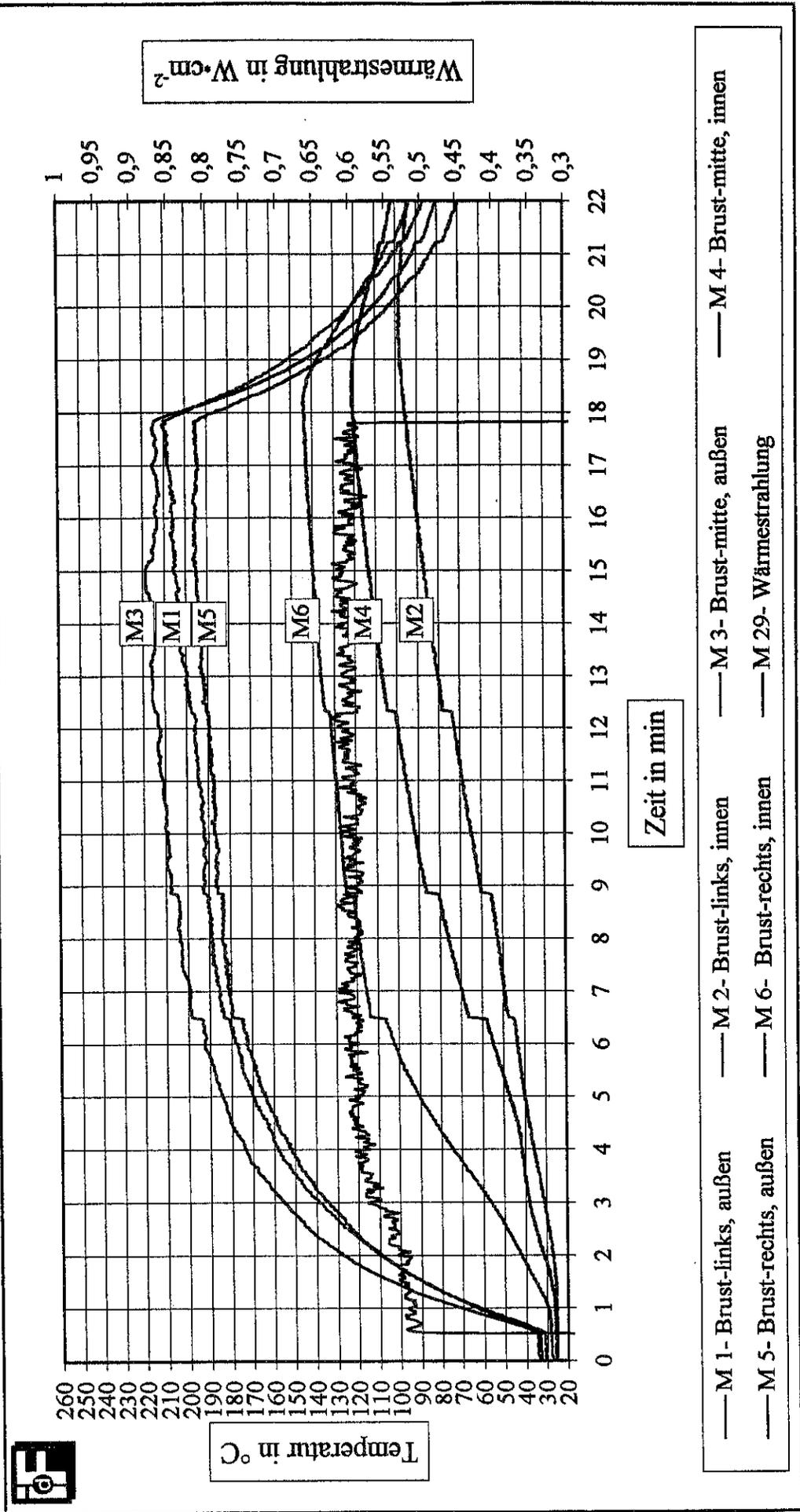
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 07-02



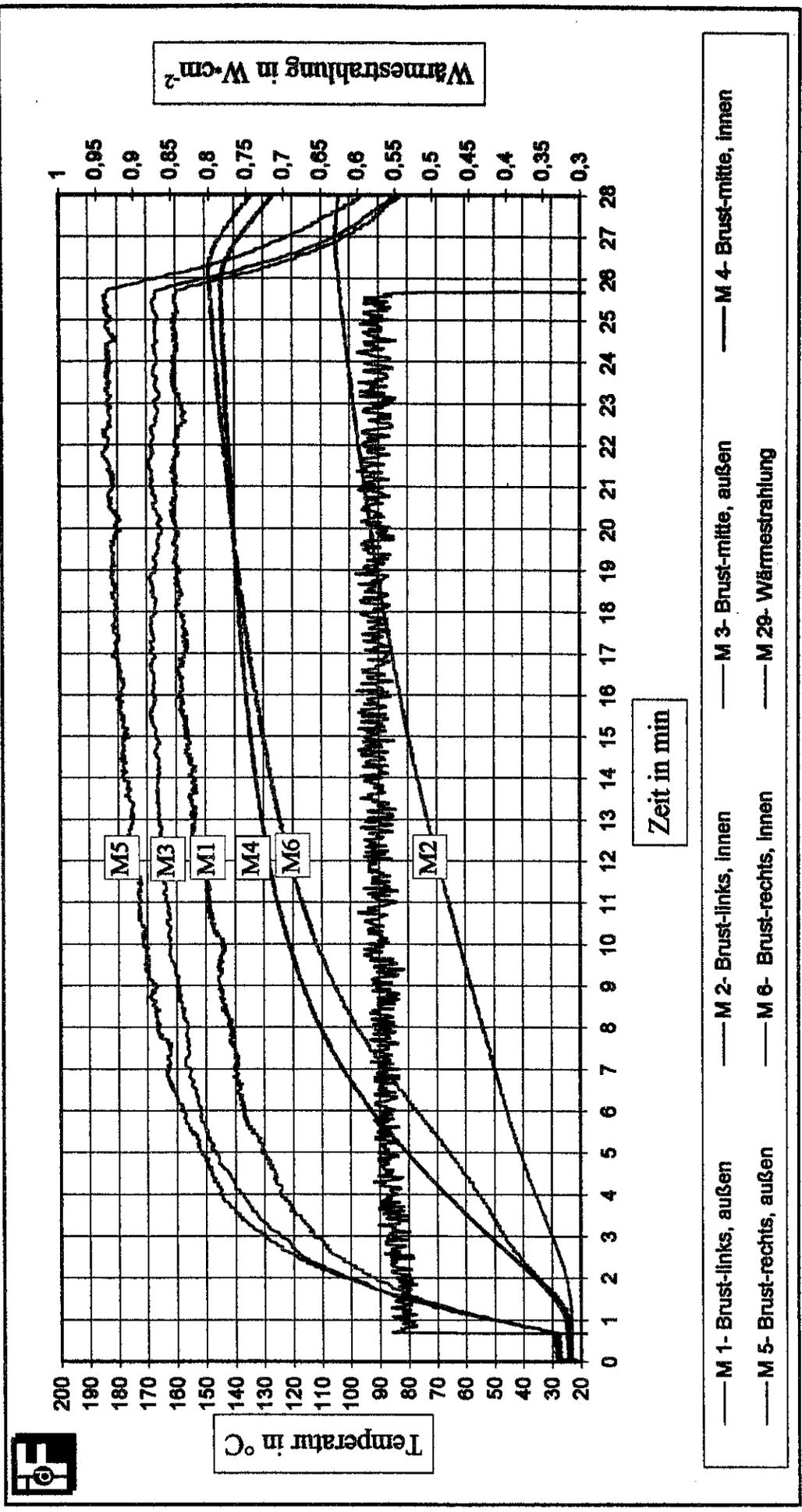
### Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 08-21



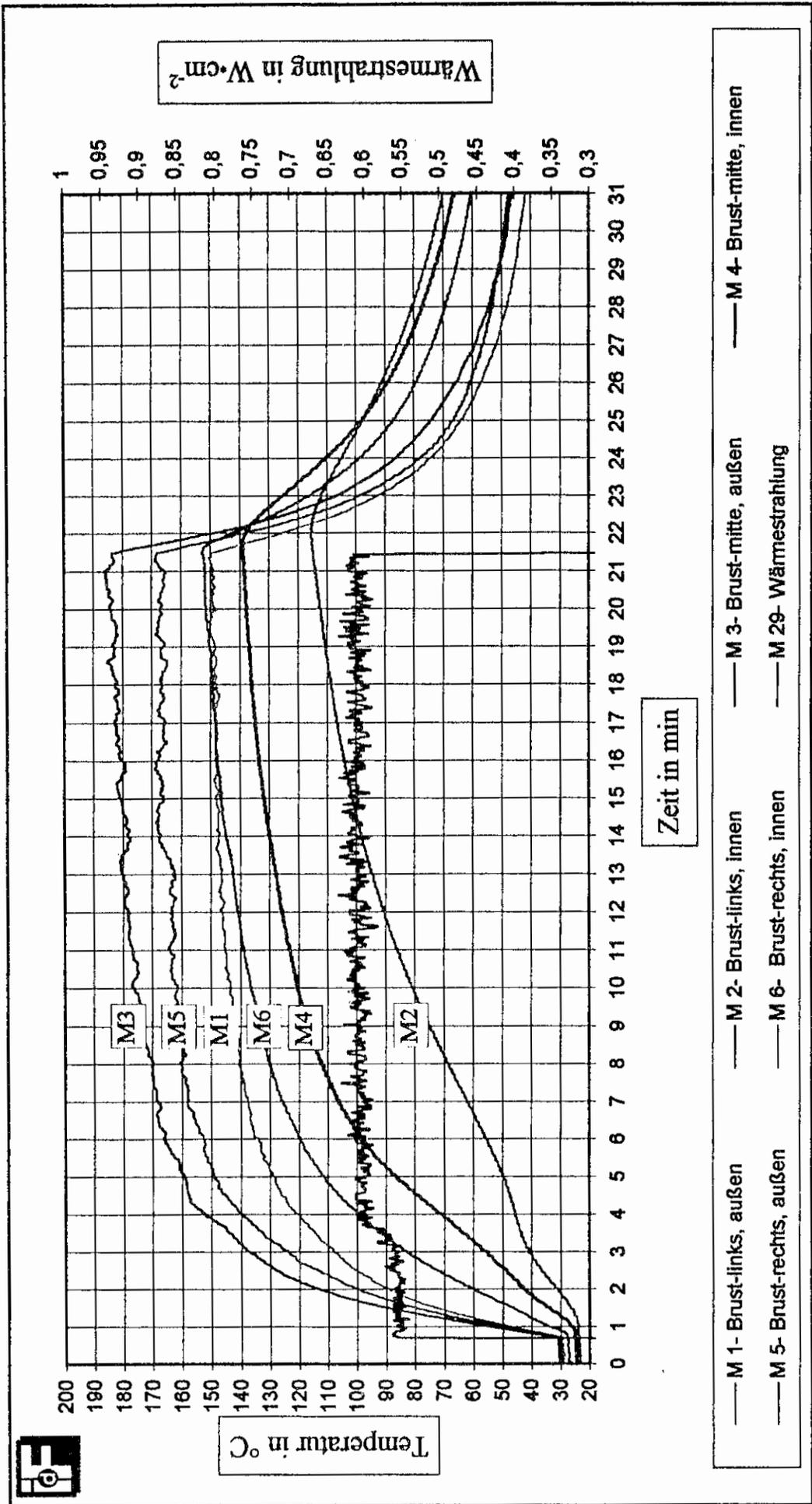
### Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 09-10



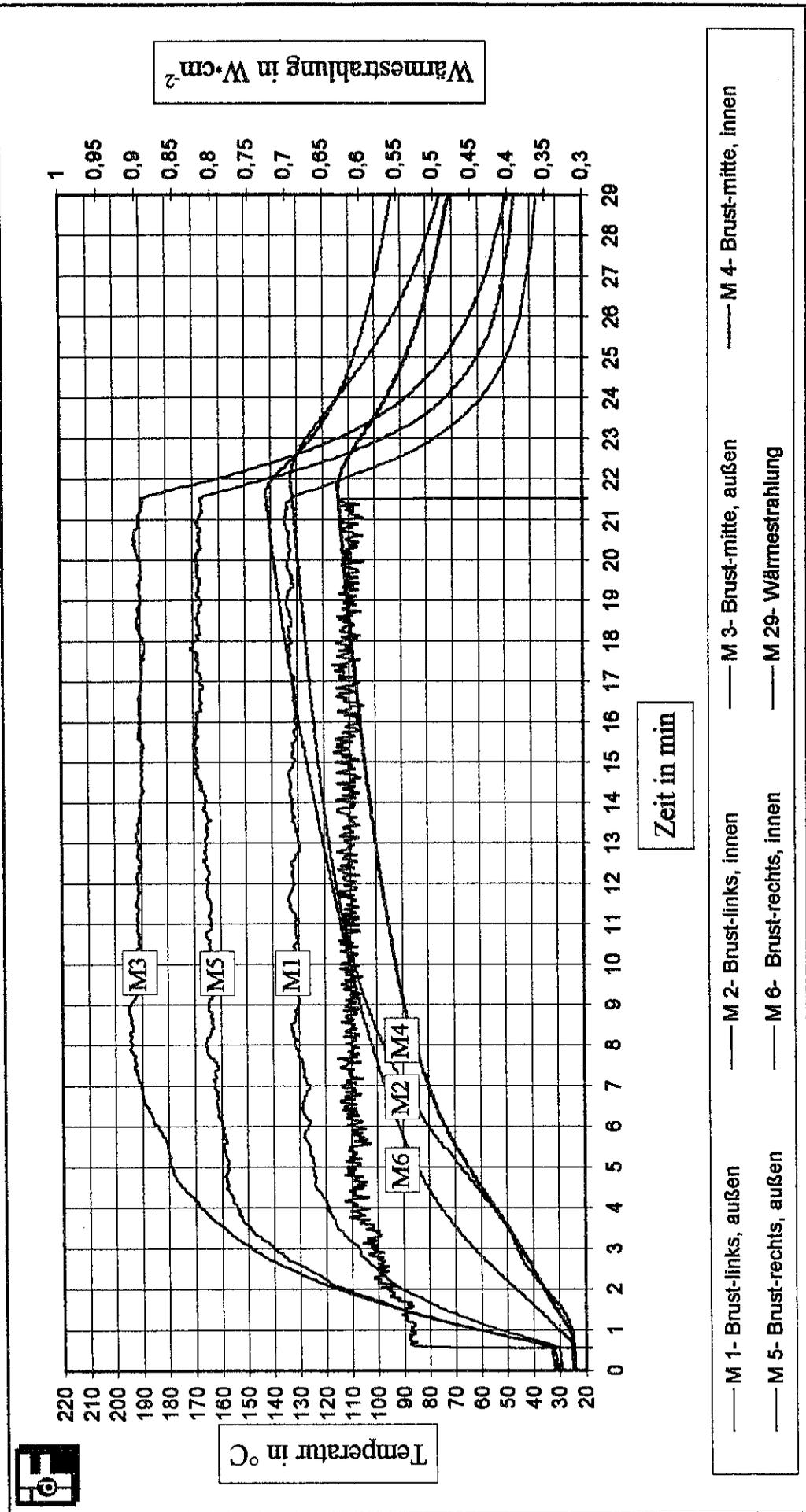
### Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 14-02



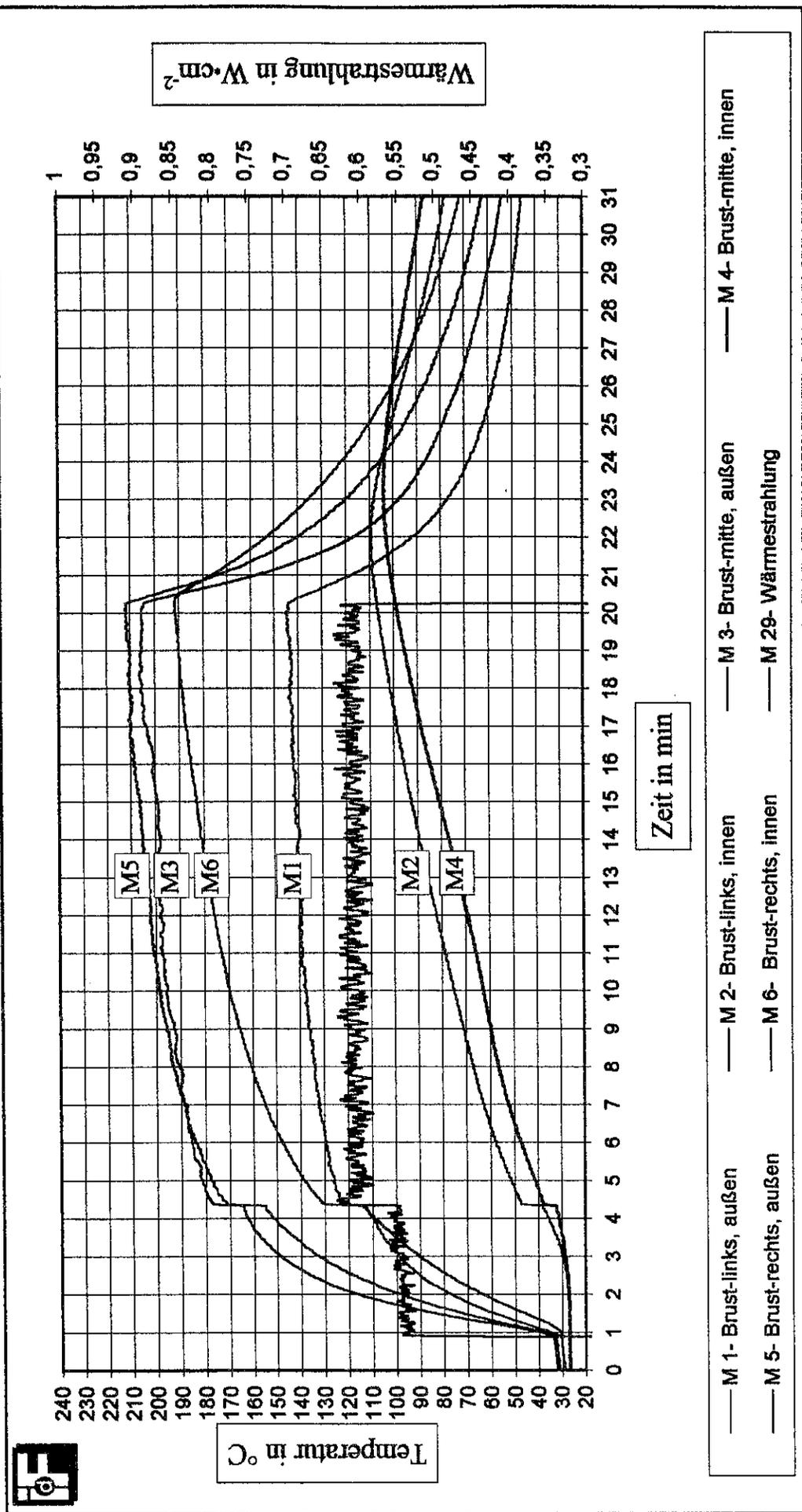
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 15-16



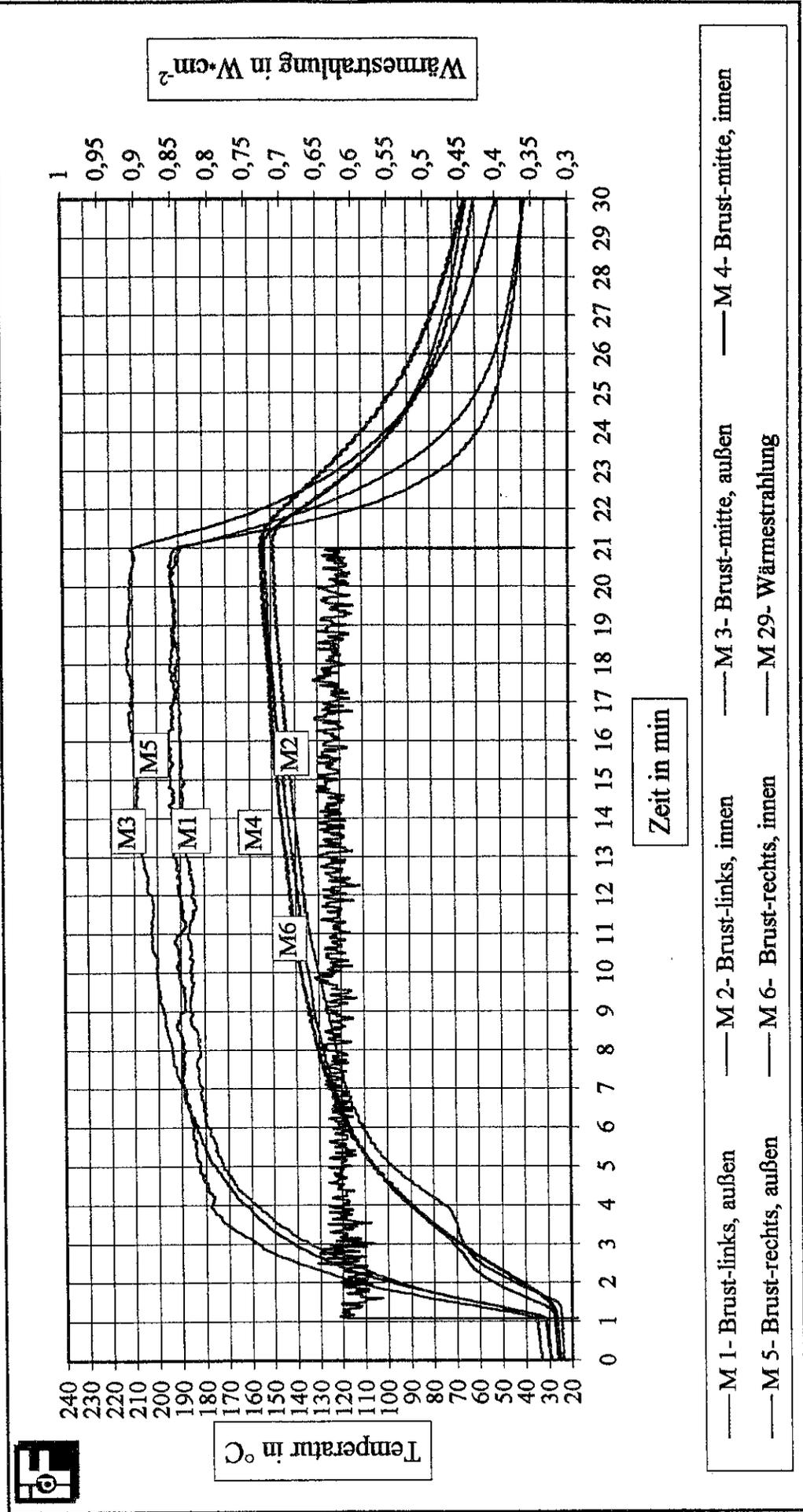
### Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 17-18



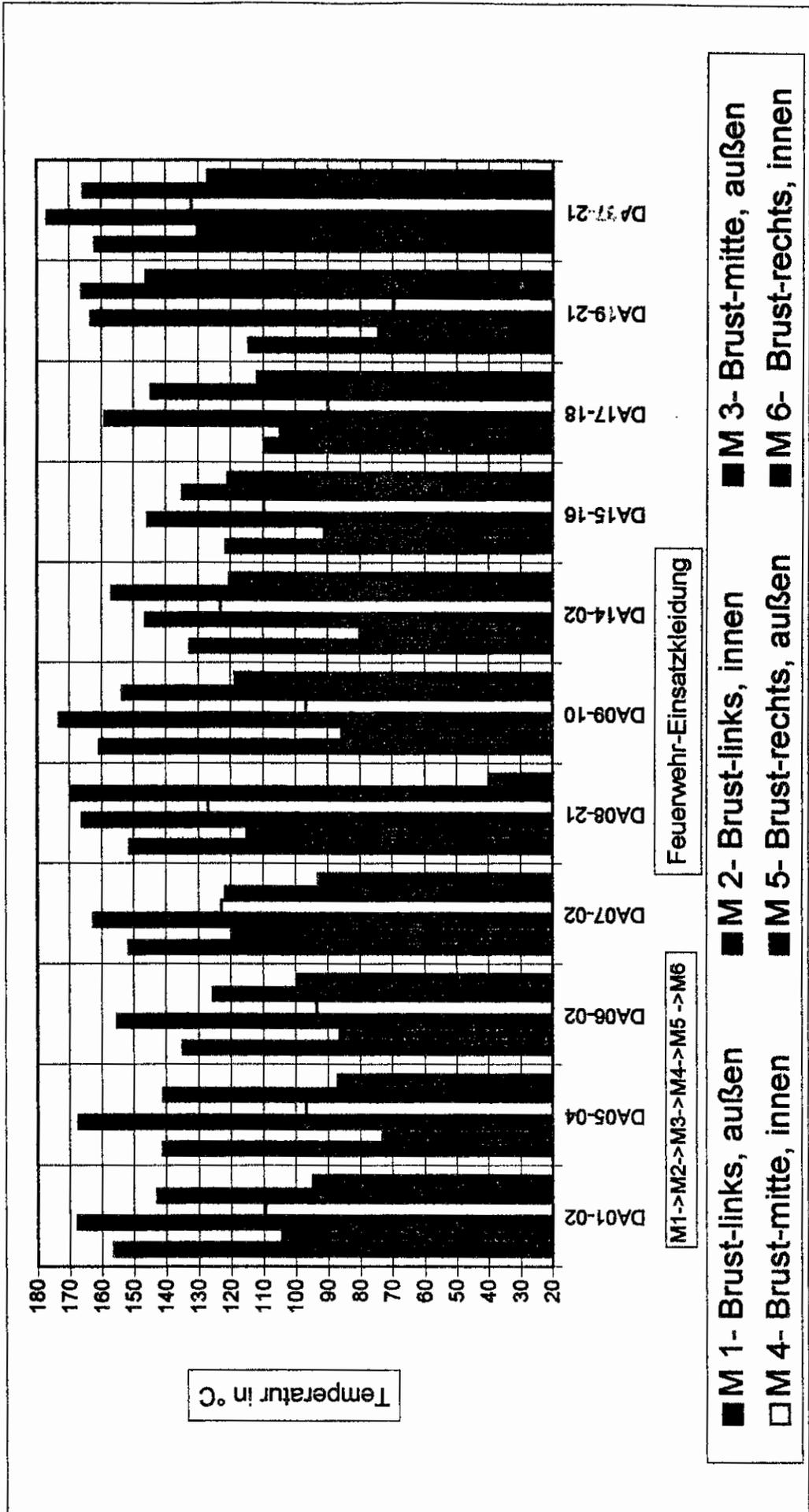
### Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 19-21



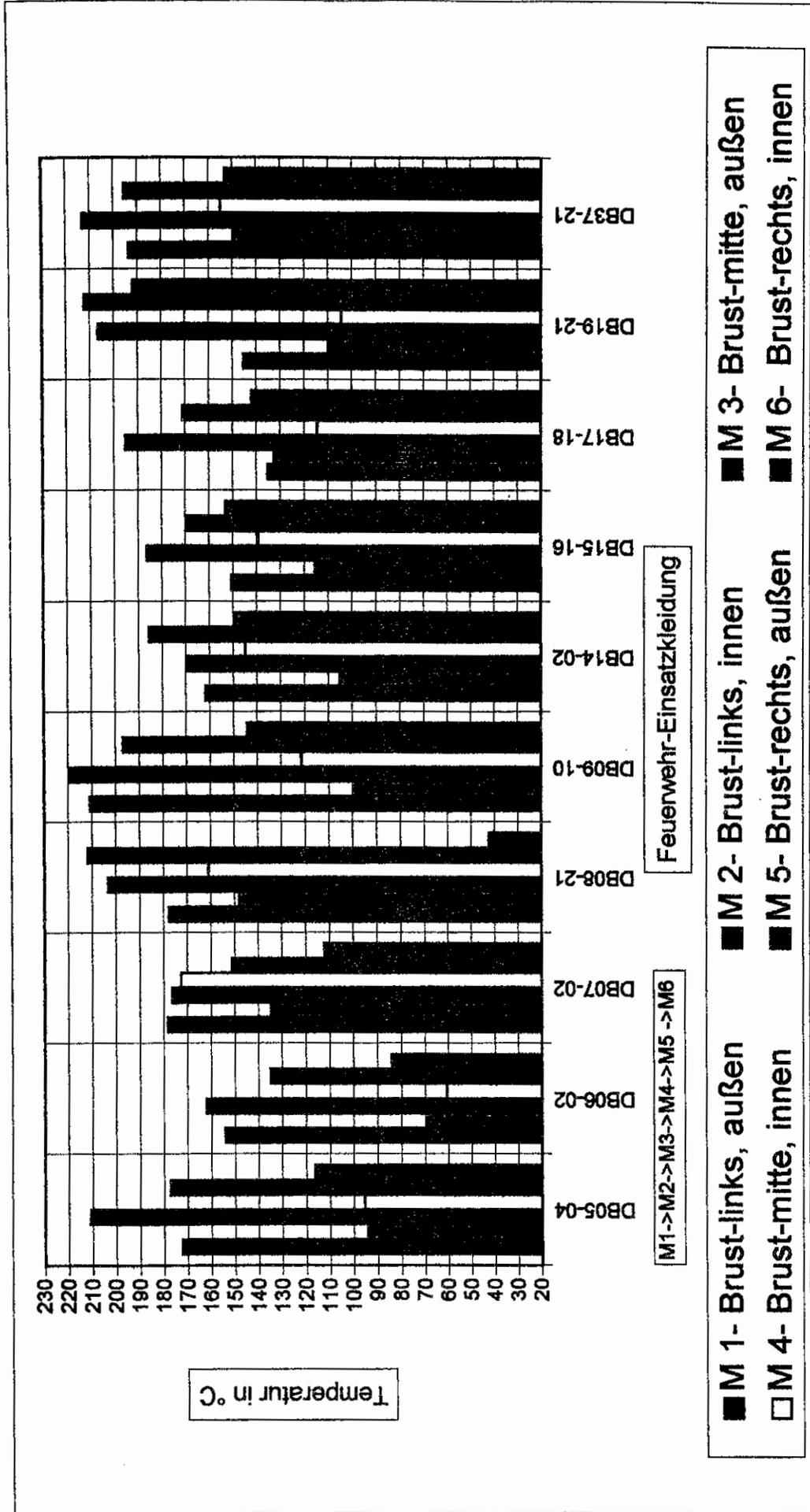
Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 der Feuerwehr-Einsatzkleidung Nr. 37-21



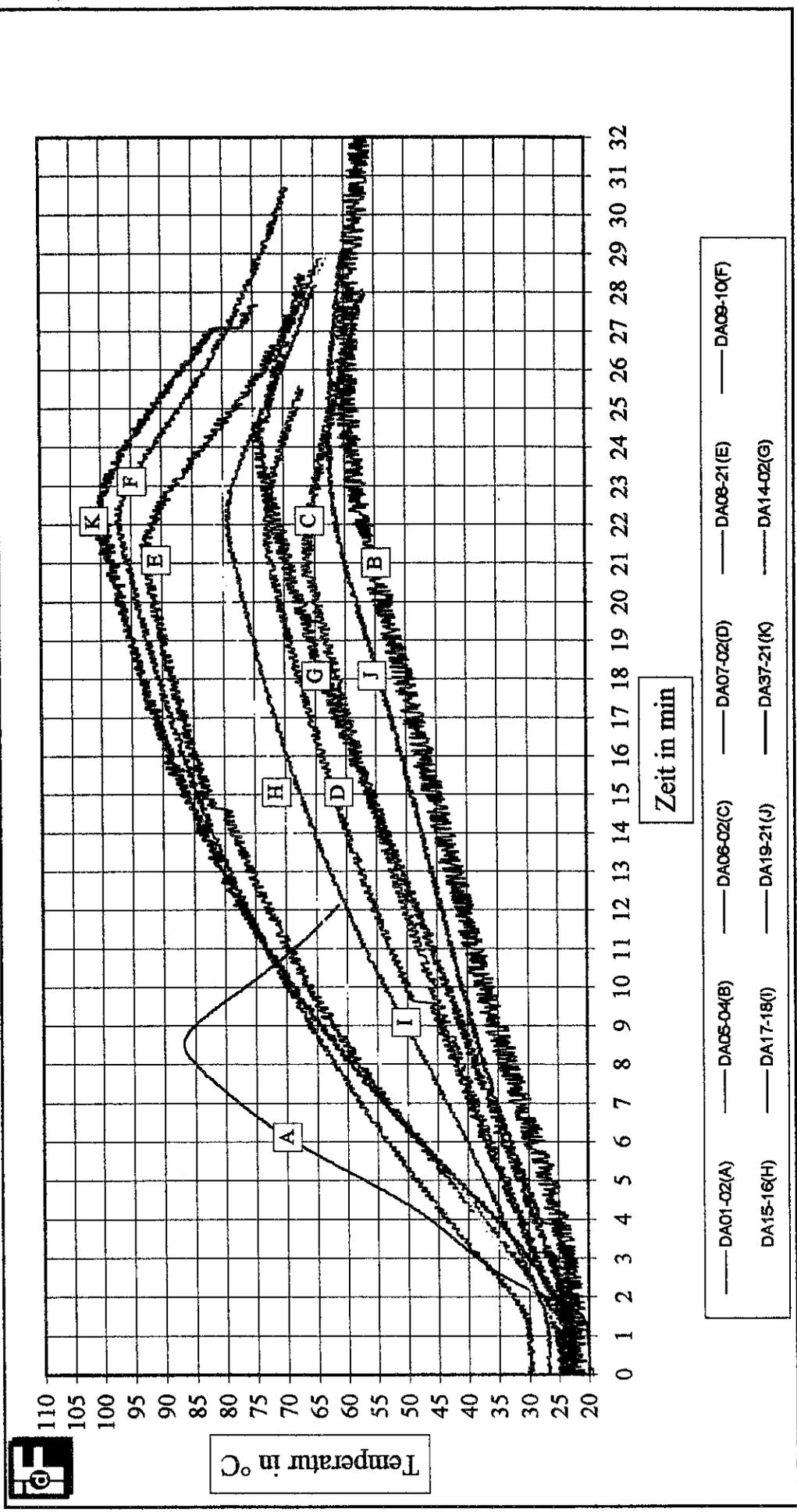
Maximalwerte der gemessenen Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 bei 0,4 W/cm<sup>2</sup>



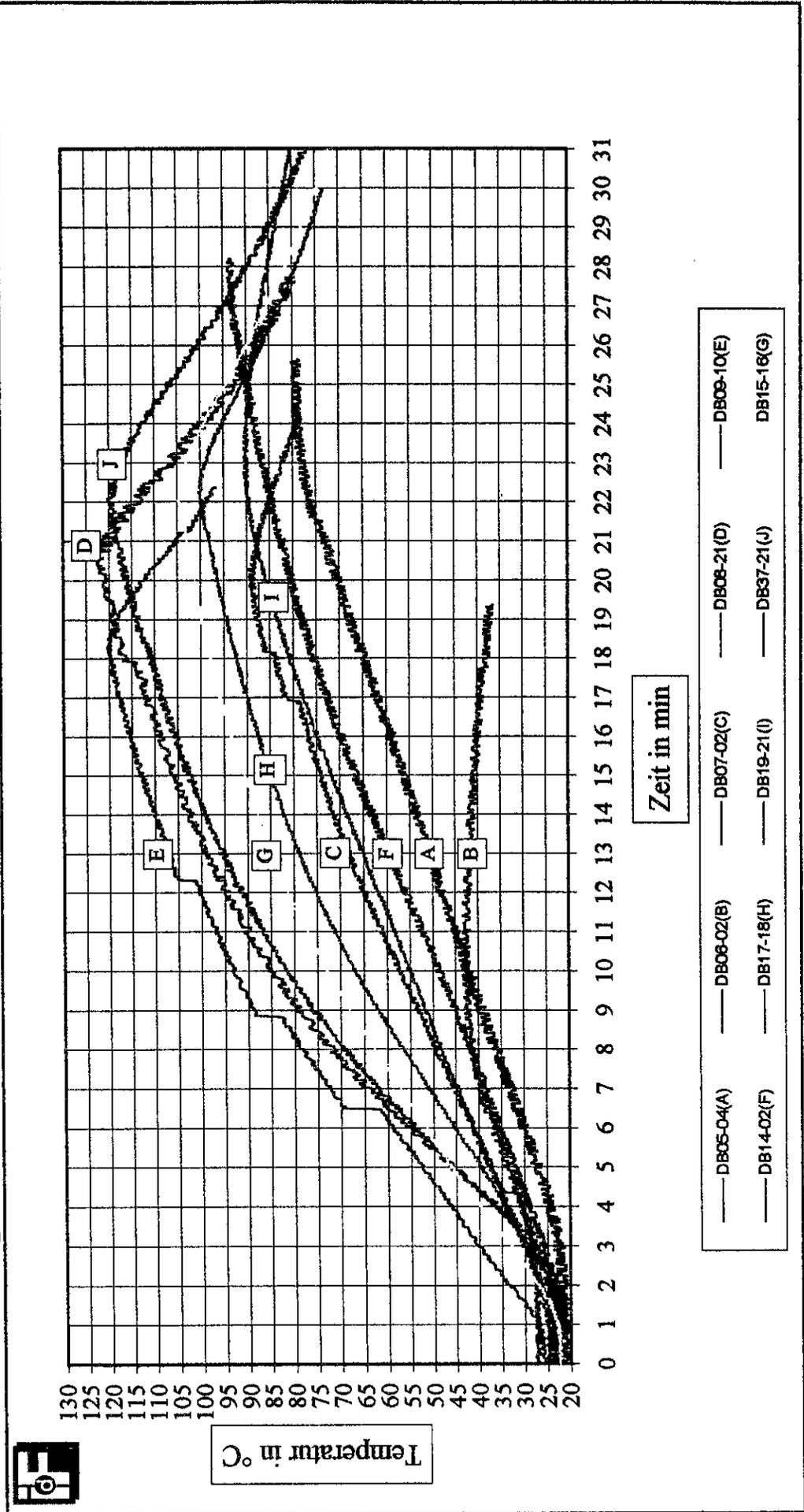
Maximalwerte der gemessenen Temperaturen an den Meßstellen 1 bis 6 bei 0,6 W/cm<sup>2</sup>



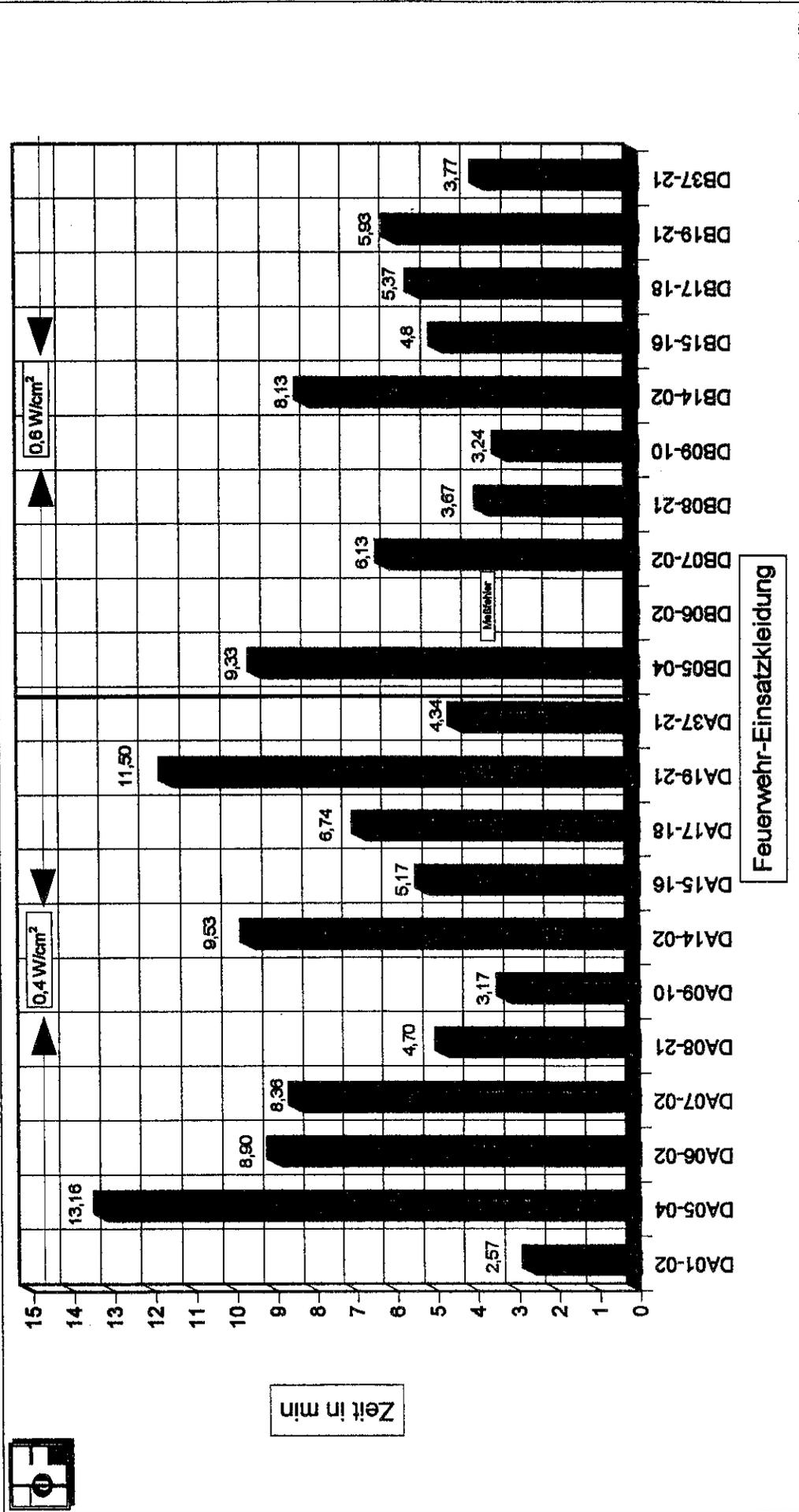
### Temperaturen an der Meßstelle 19 (Dummy Brust-Mitte) bei 0,4 W/cm<sup>2</sup>



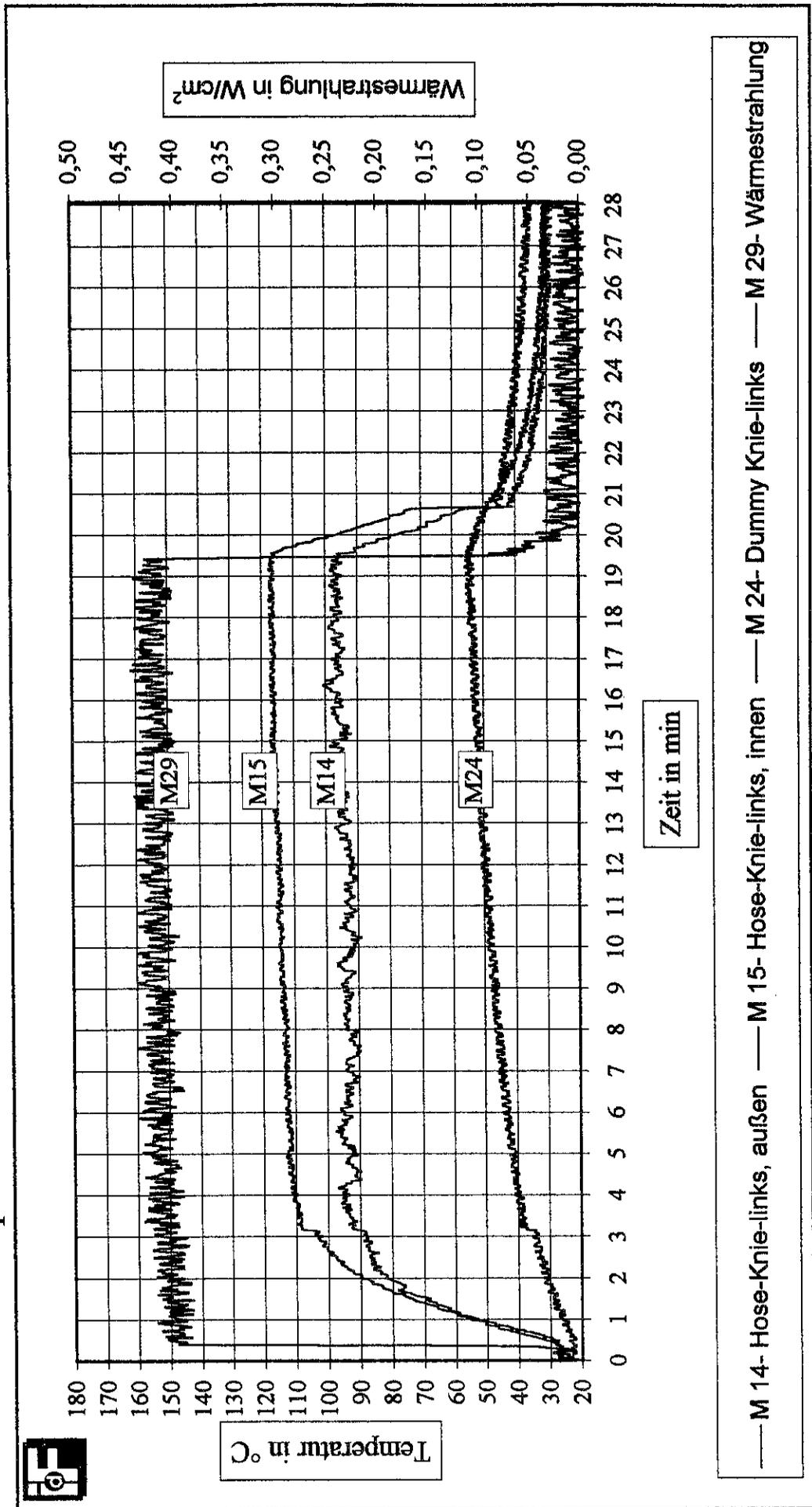
Temperaturen an der Meßstelle 19 (Dummy Brust-Mitte) bei 0,6 W/cm<sup>2</sup>



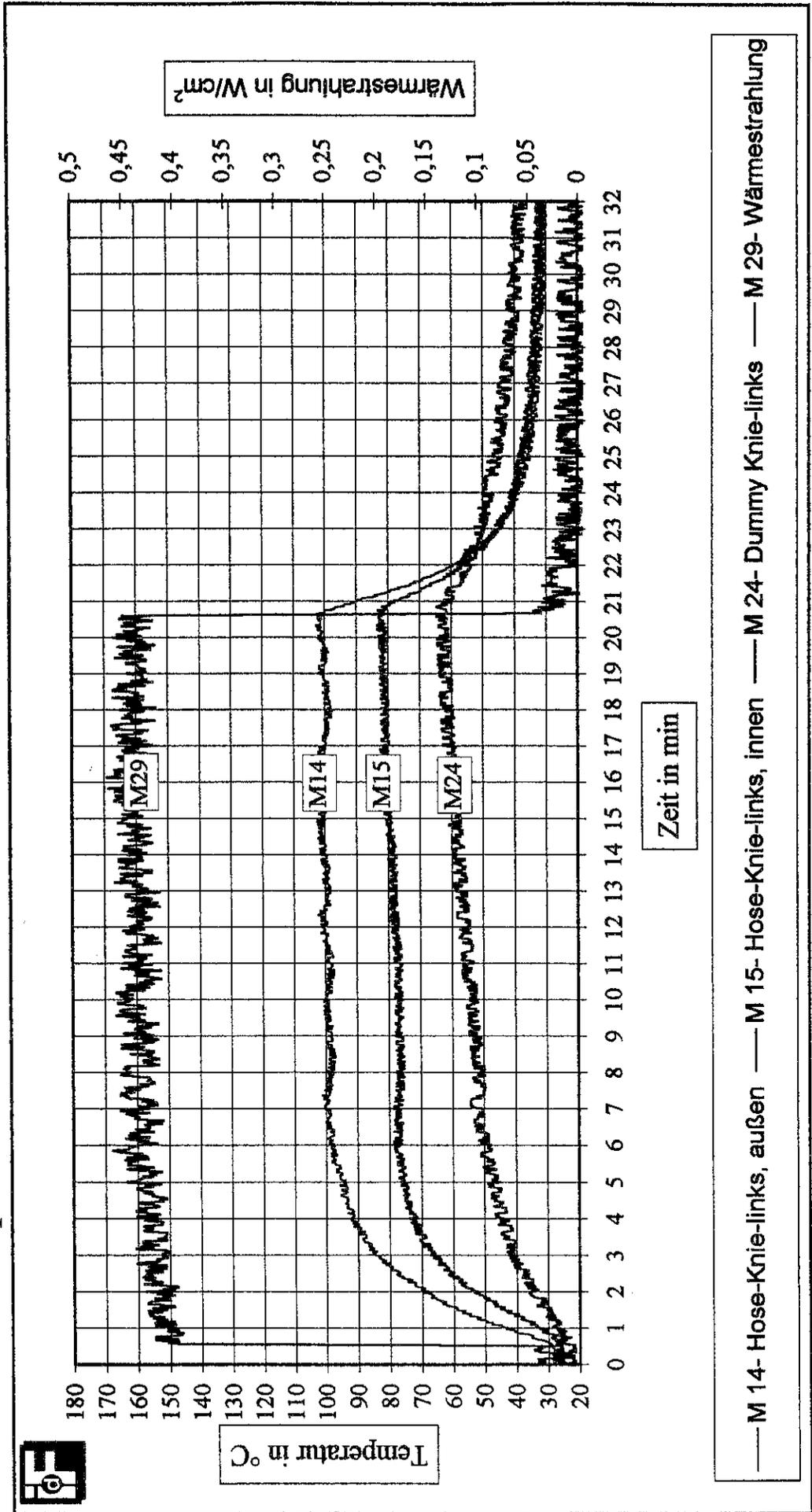
Zeiten bis zum Erreichen einer Temperatur von 45 °C an Meßstelle 19 (Dummy Brust-Mitte)



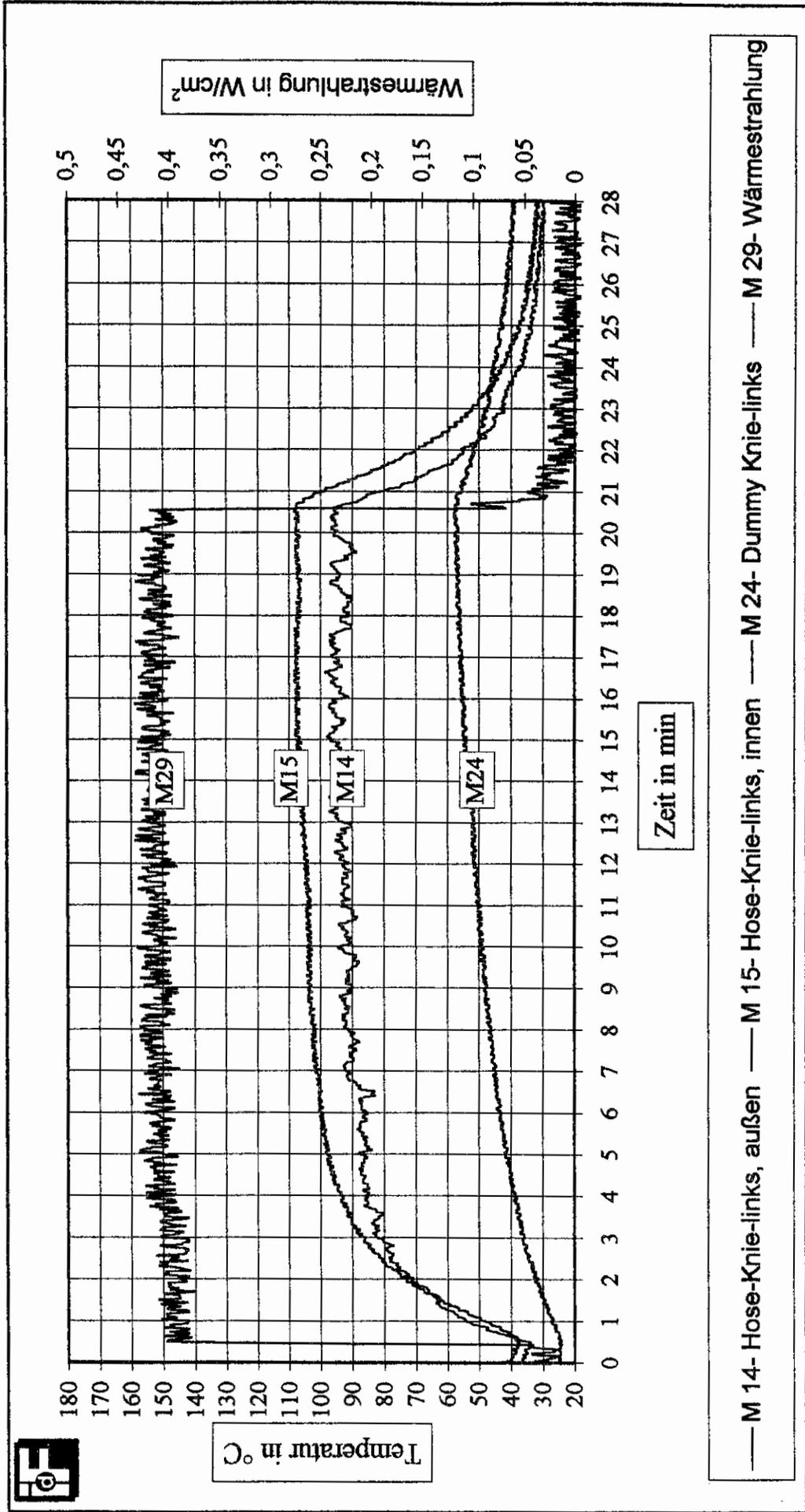
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 02



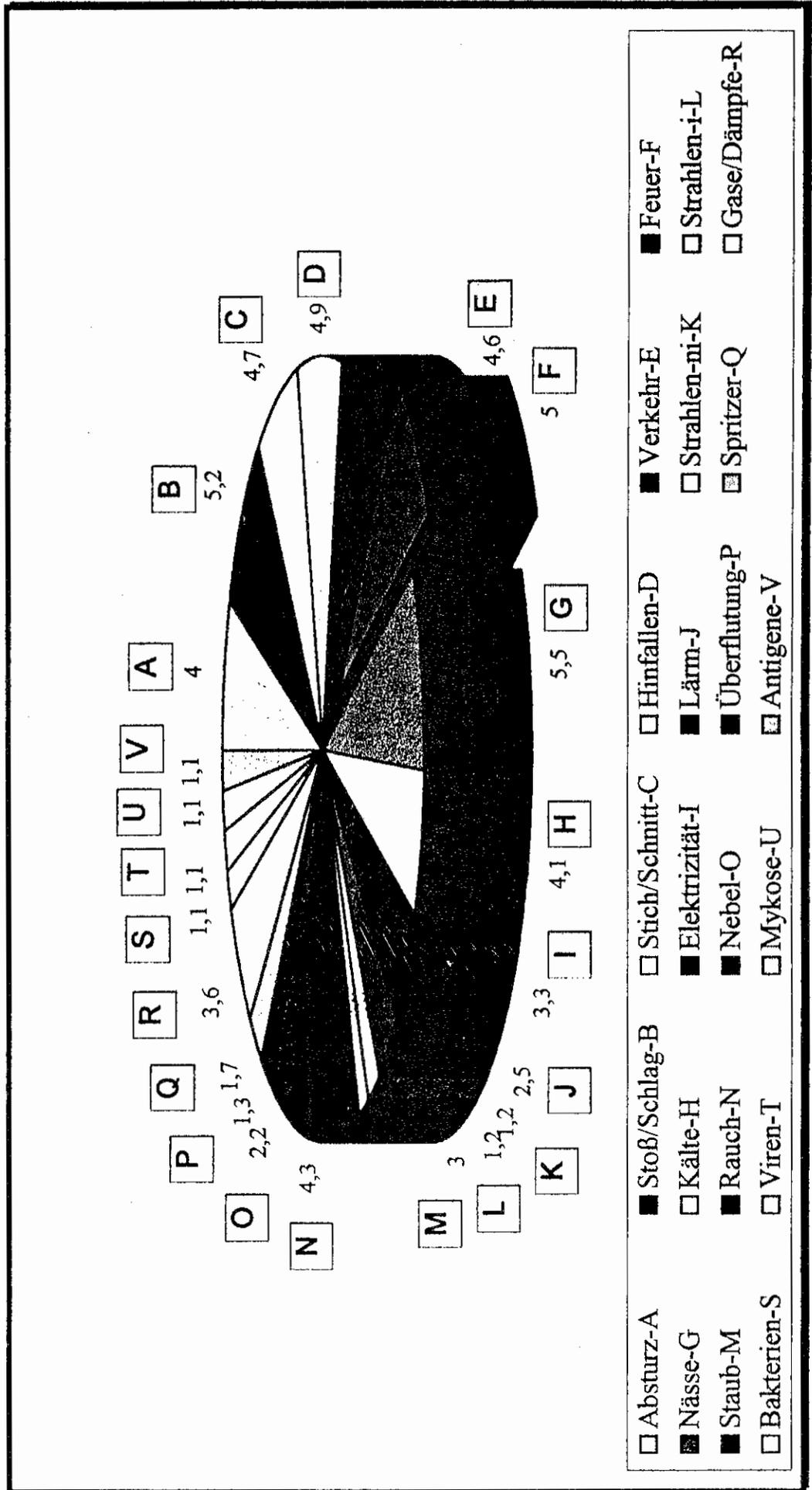
### Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 04

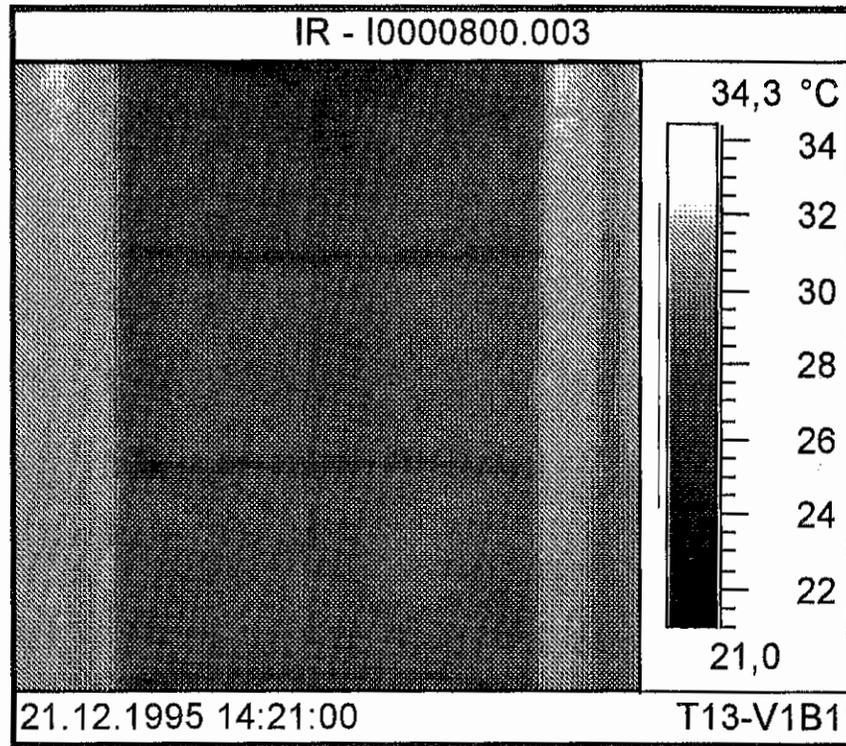


Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 21

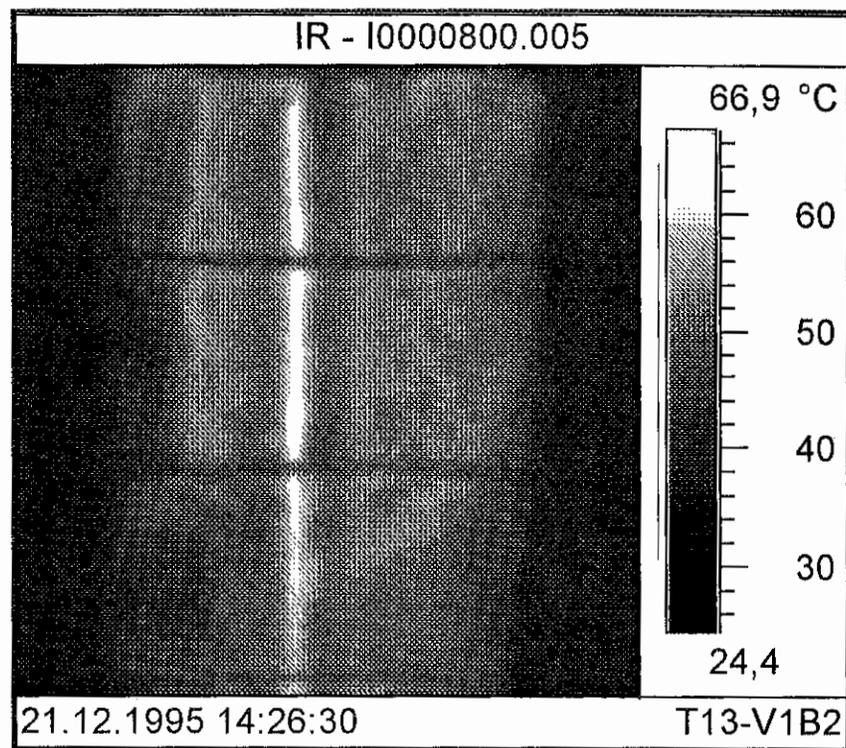


Niveau der Risiken bei Einsätzen nach BAGUV

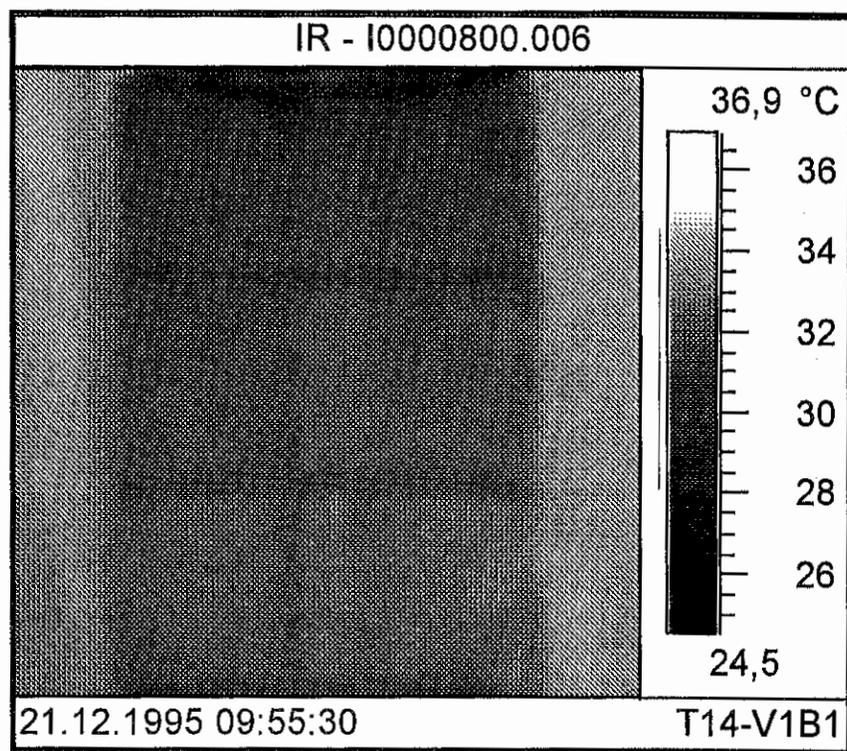


**Einsatzjacke Nr. 13**

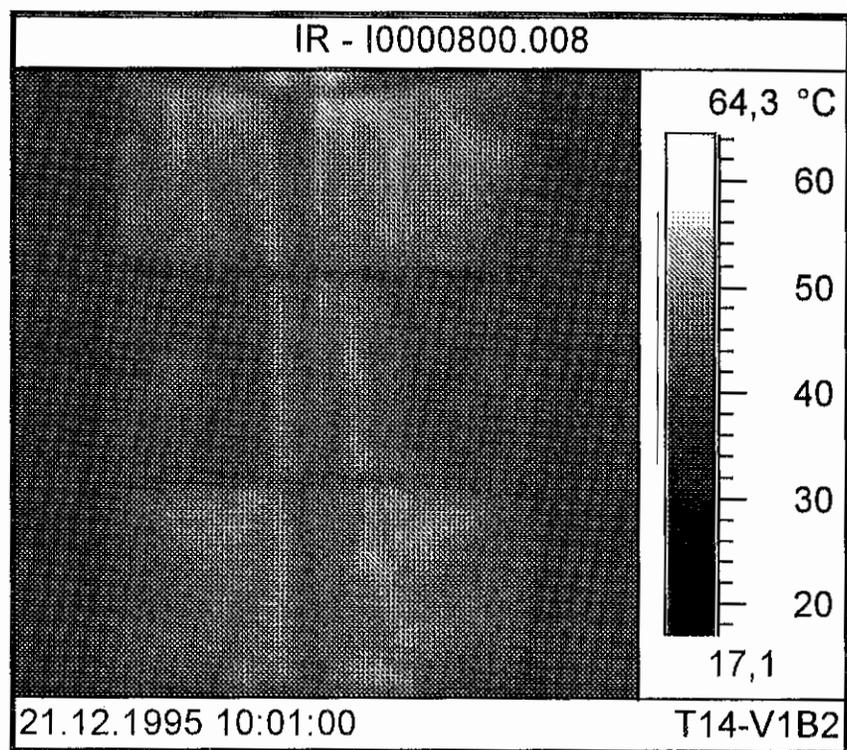
Thermogramm zum Zeitpunkt x



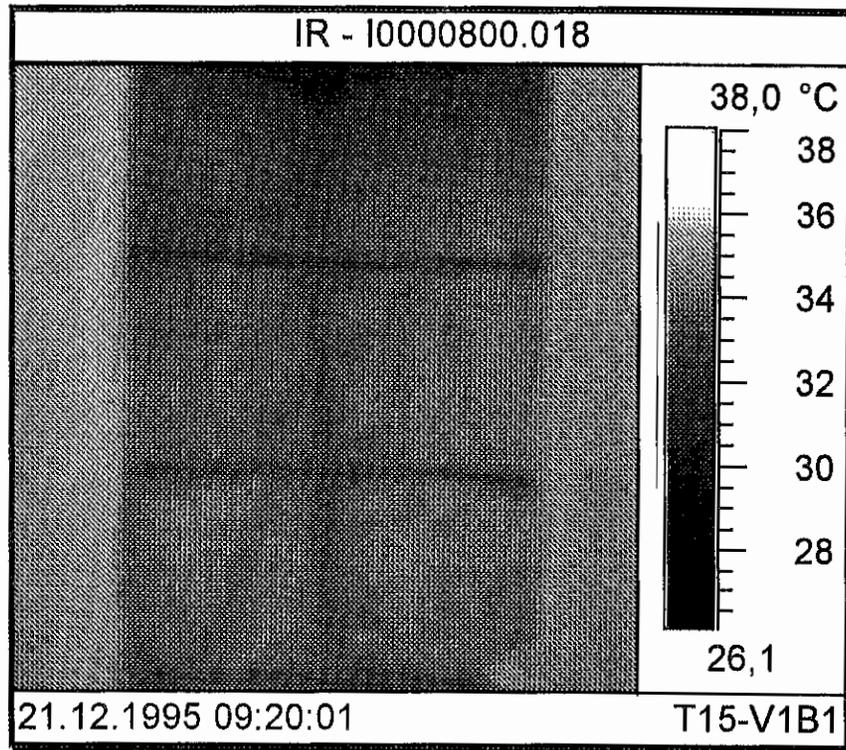
Thermogramm zum Zeitpunkt x + 5,5 Minuten

**Einsatzjacke Nr. 14**

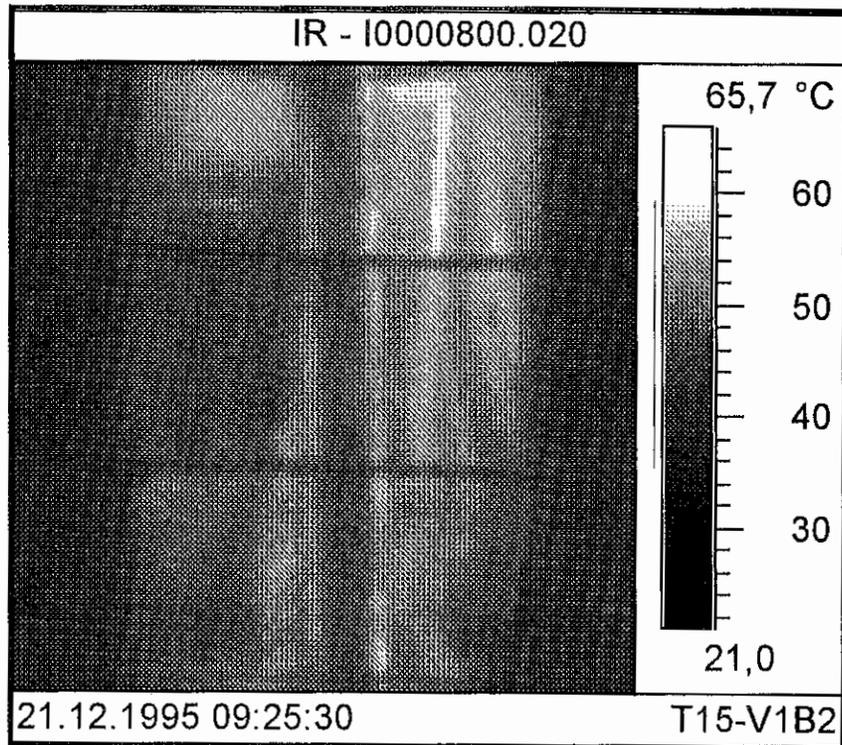
Thermogramm zum Zeitpunkt x



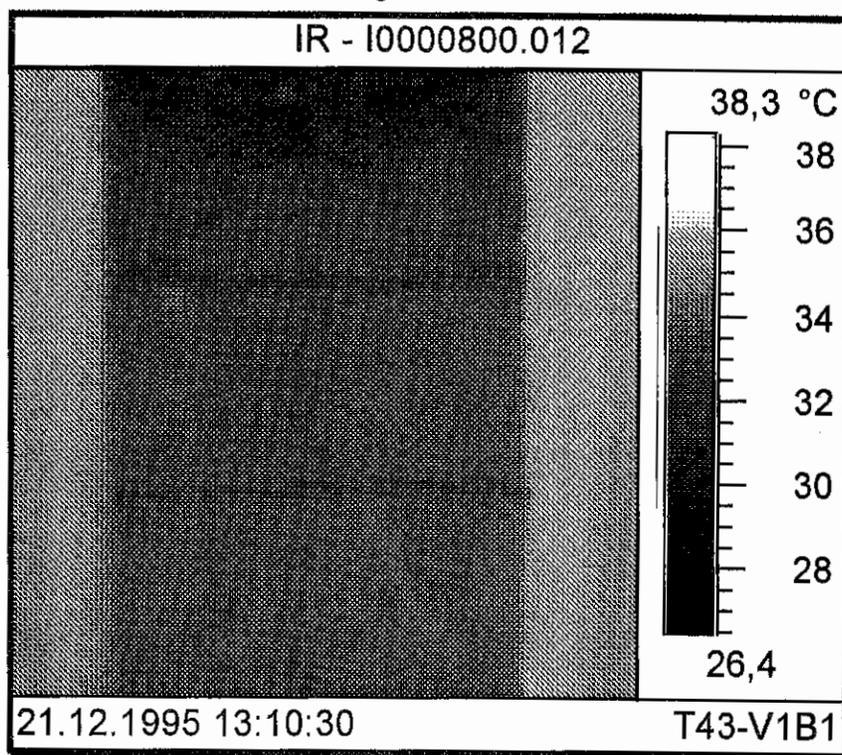
Thermogramm zum Zeitpunkt x + 5,5 Minuten

**Einsatzjacke Nr. 15**

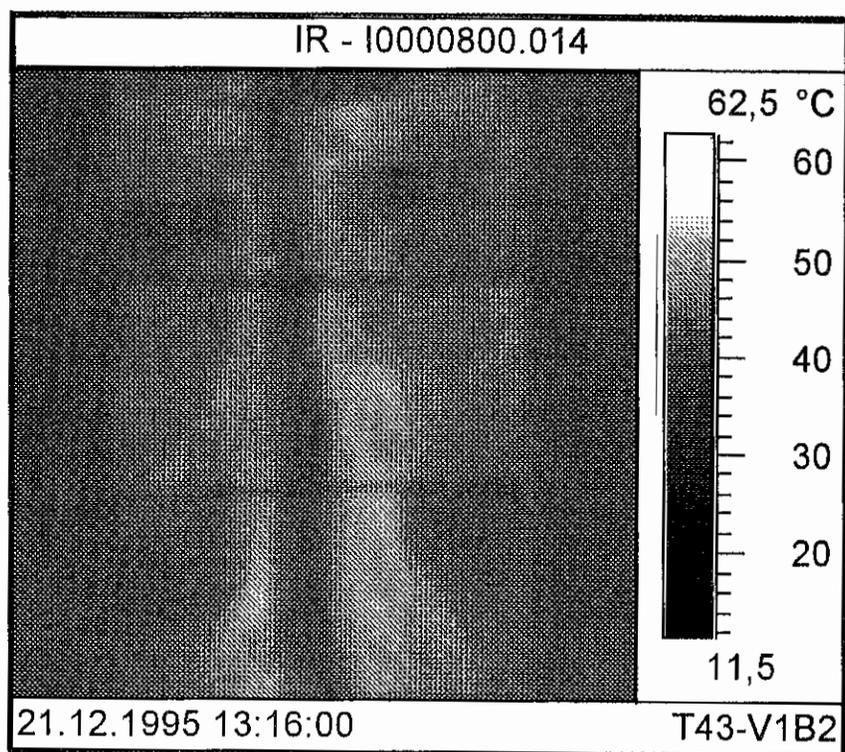
Thermogramm zum Zeitpunkt x



Thermogramm zum Zeitpunkt x + 5,5 Minuten

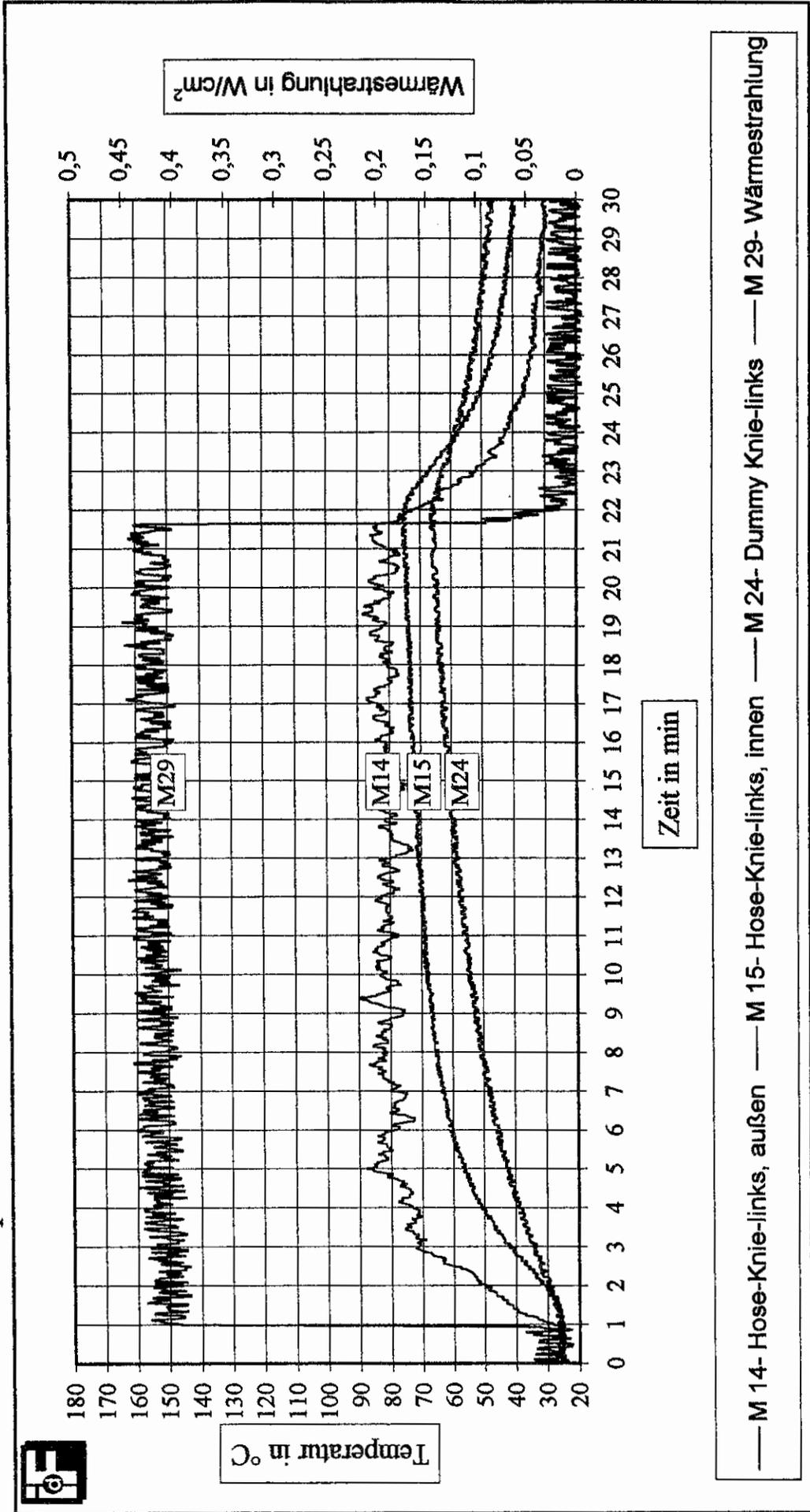
**Einsatzjacke Nr. 43**

Thermogramm zum Zeitpunkt x



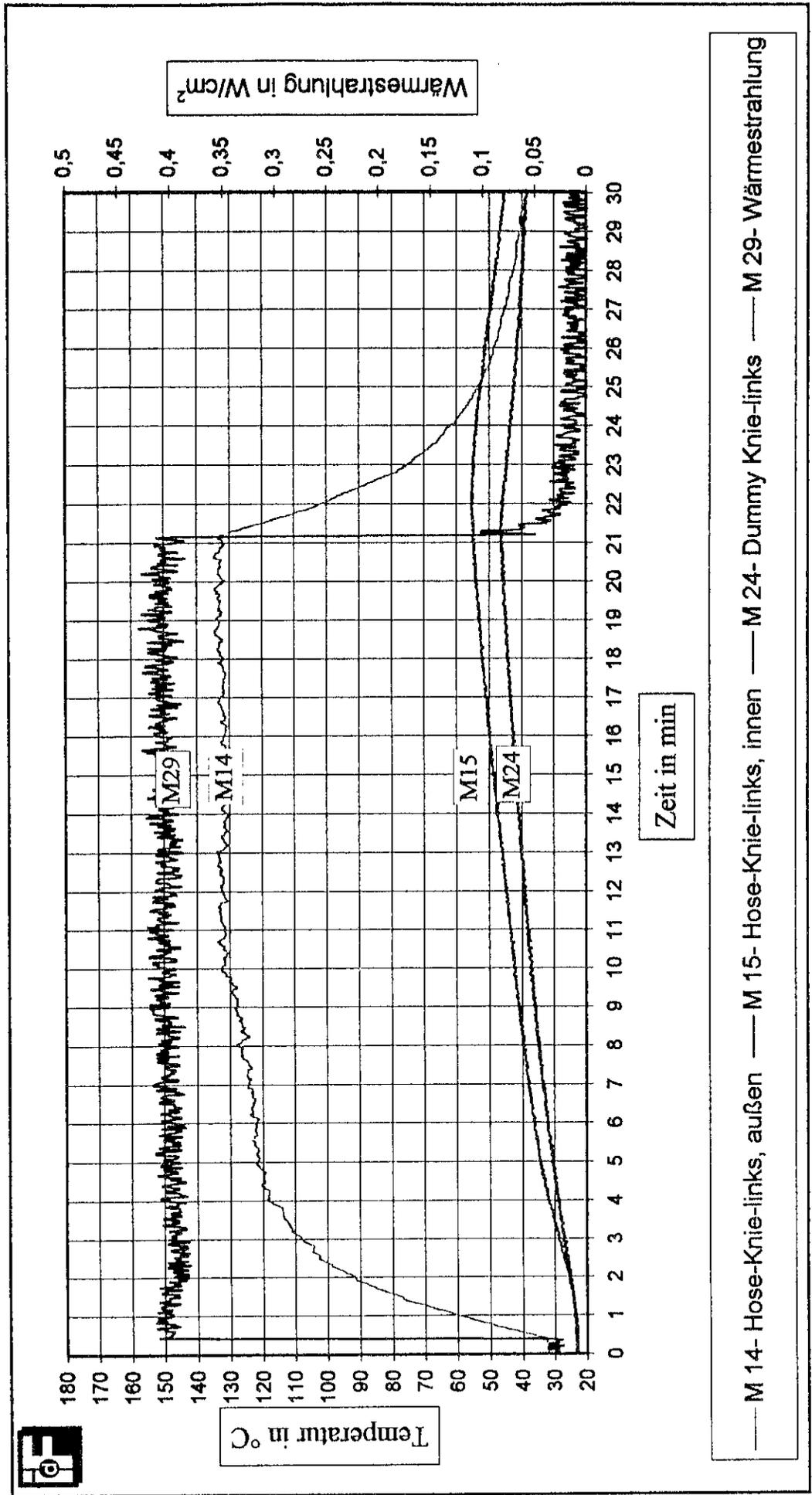
Thermogramm zum Zeitpunkt x + 5,5 Minuten

Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 10

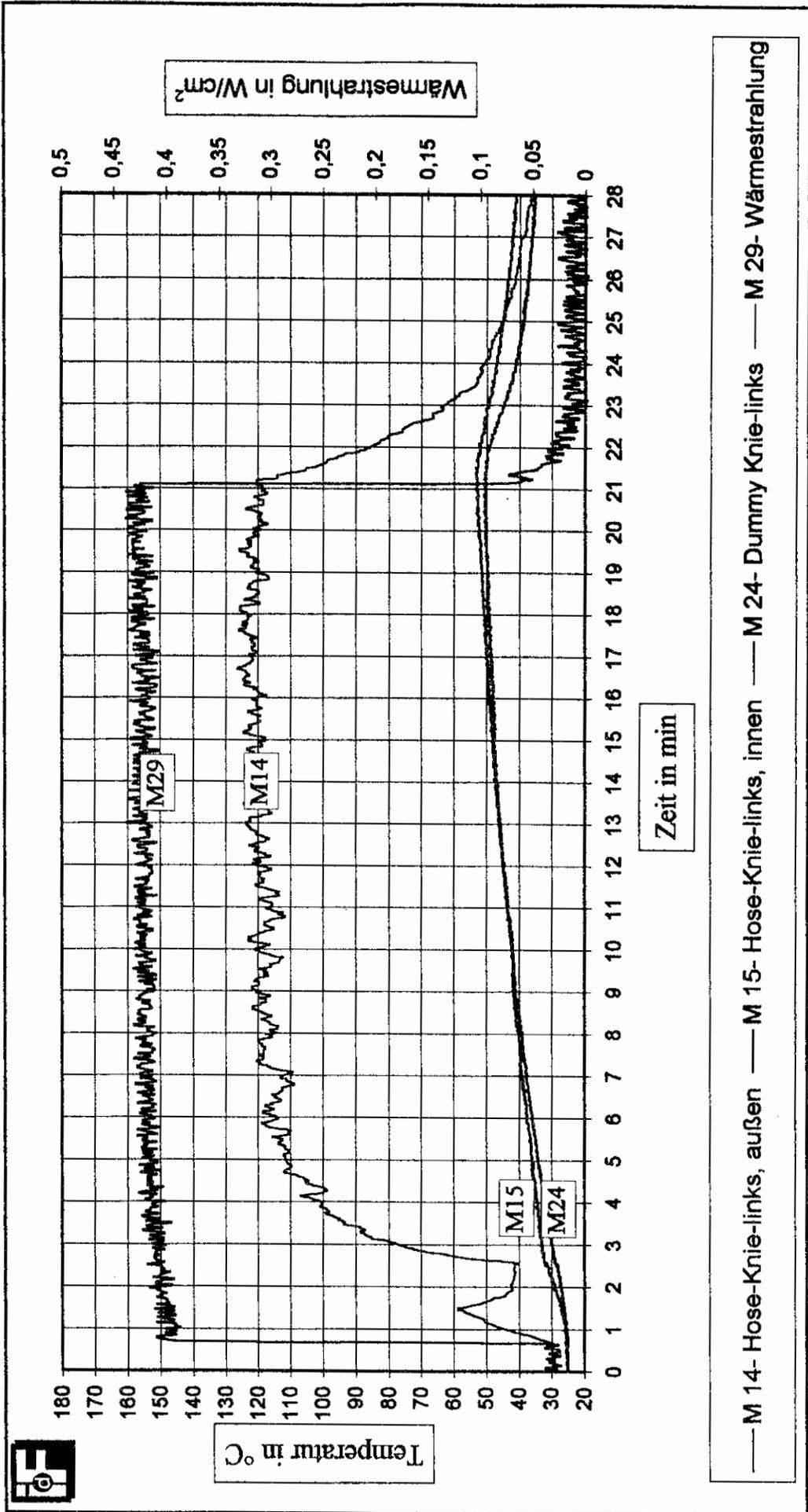


— M 14- Hose-Knie-links, außen — M 15- Hose-Knie-links, innen — M 24- Dummy Knie-links — M 29- Wärmestrahlung

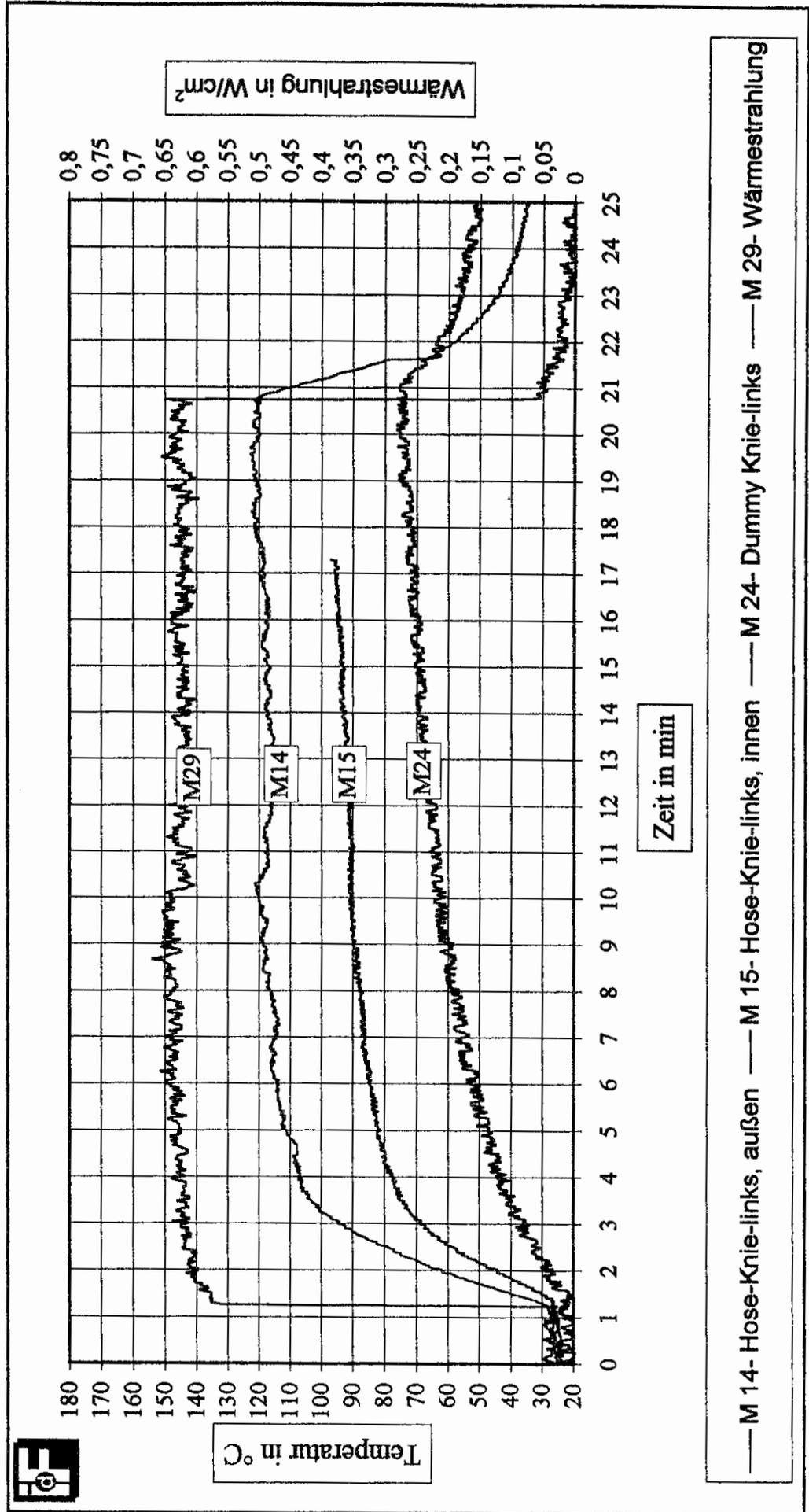
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 16



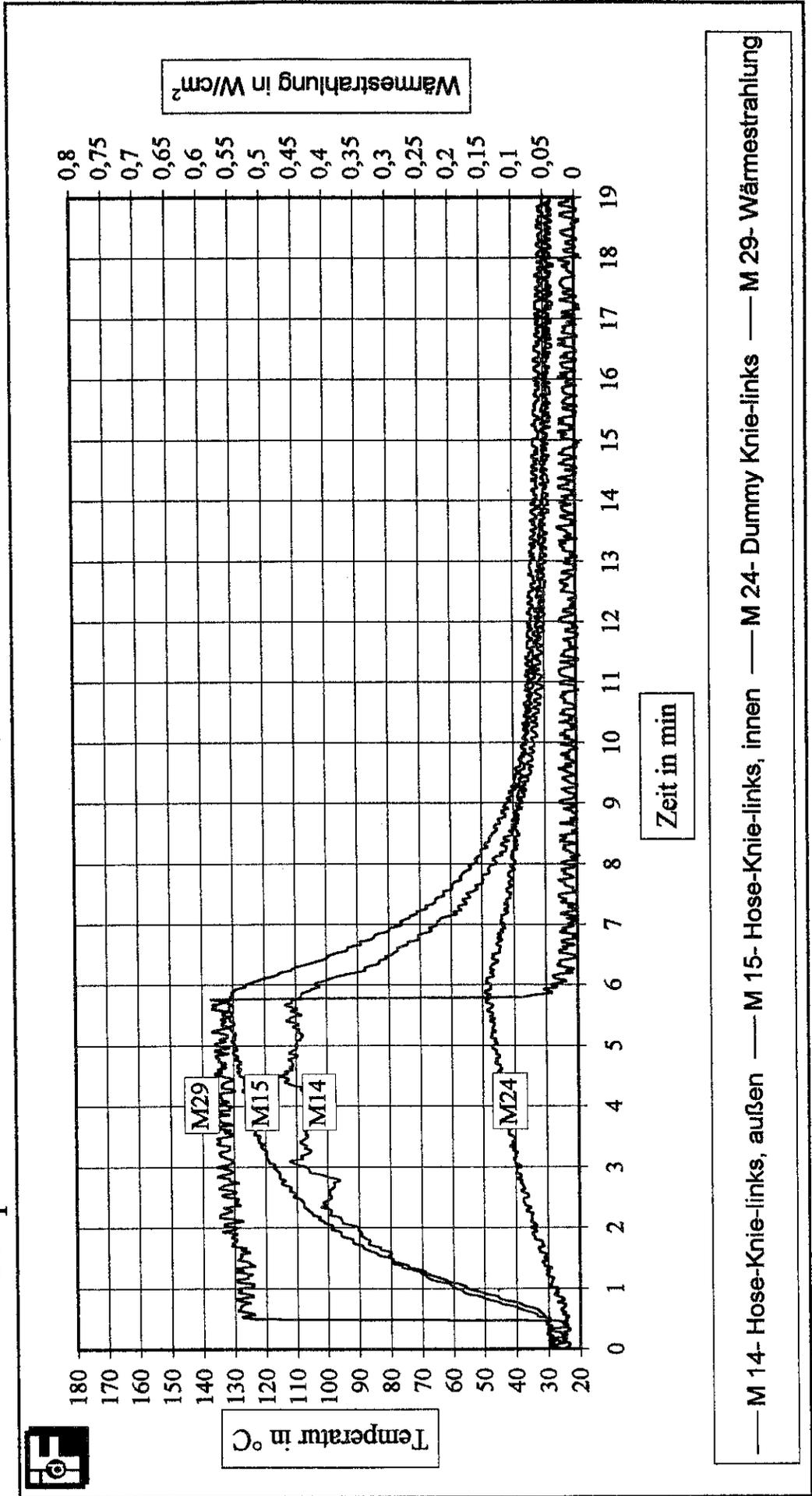
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 18



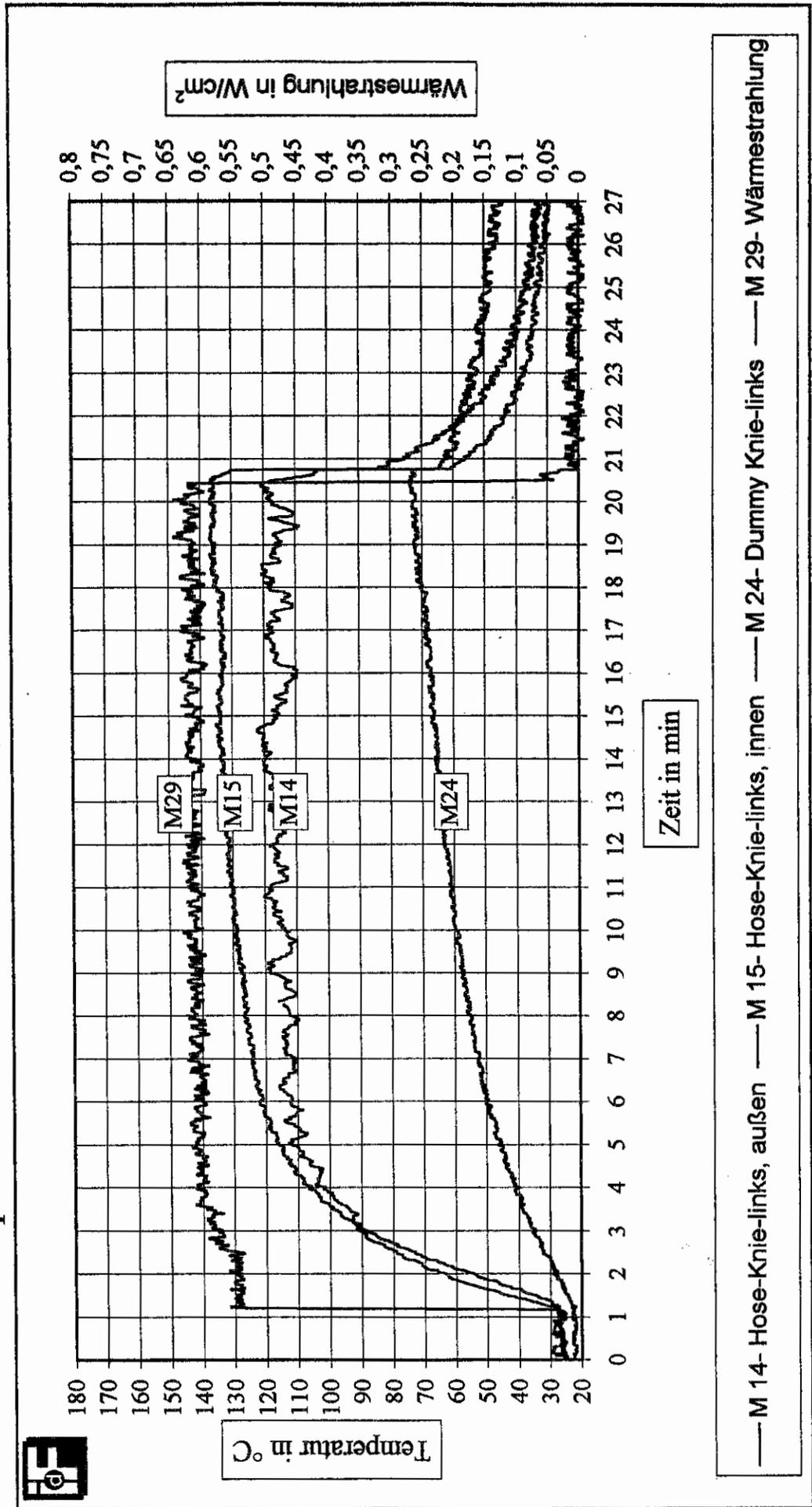
Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 04



### Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 02

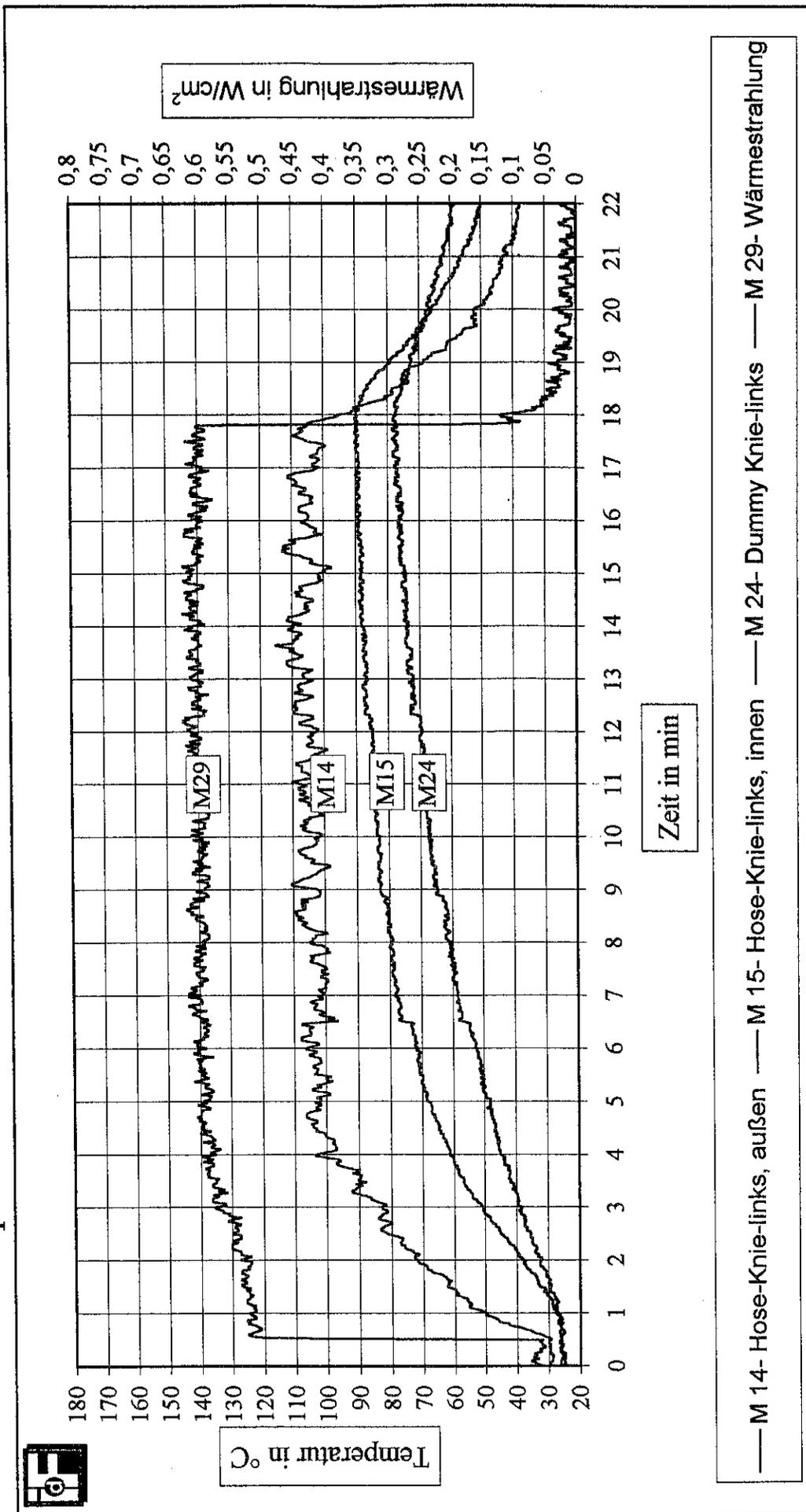


### Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 21



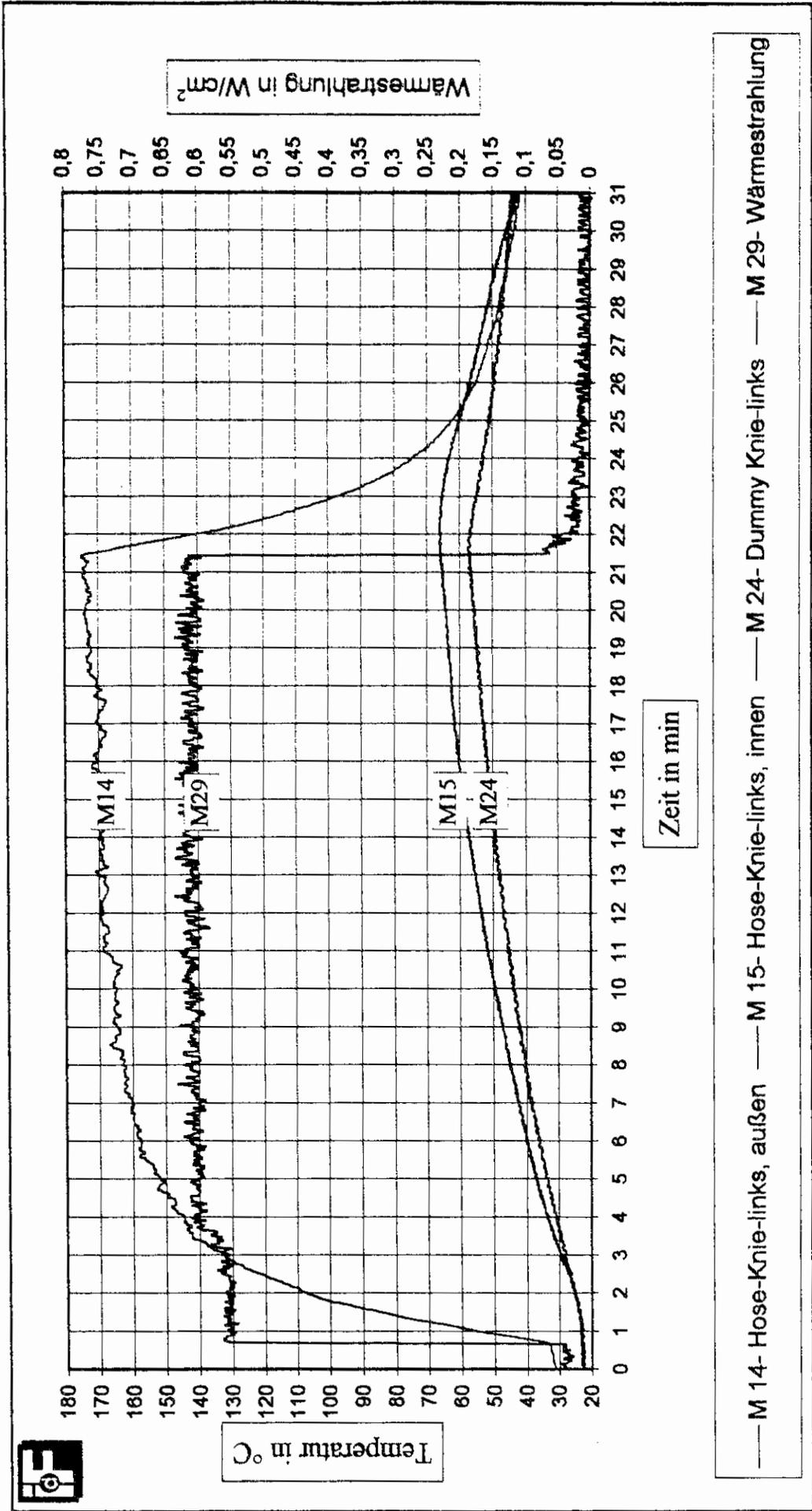
— M 14- Hose-Knie-links, außen — M 15- Hose-Knie-links, innen — M 24- Dummy Knie-links — M 29- Wärmestrahlung

### Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 10

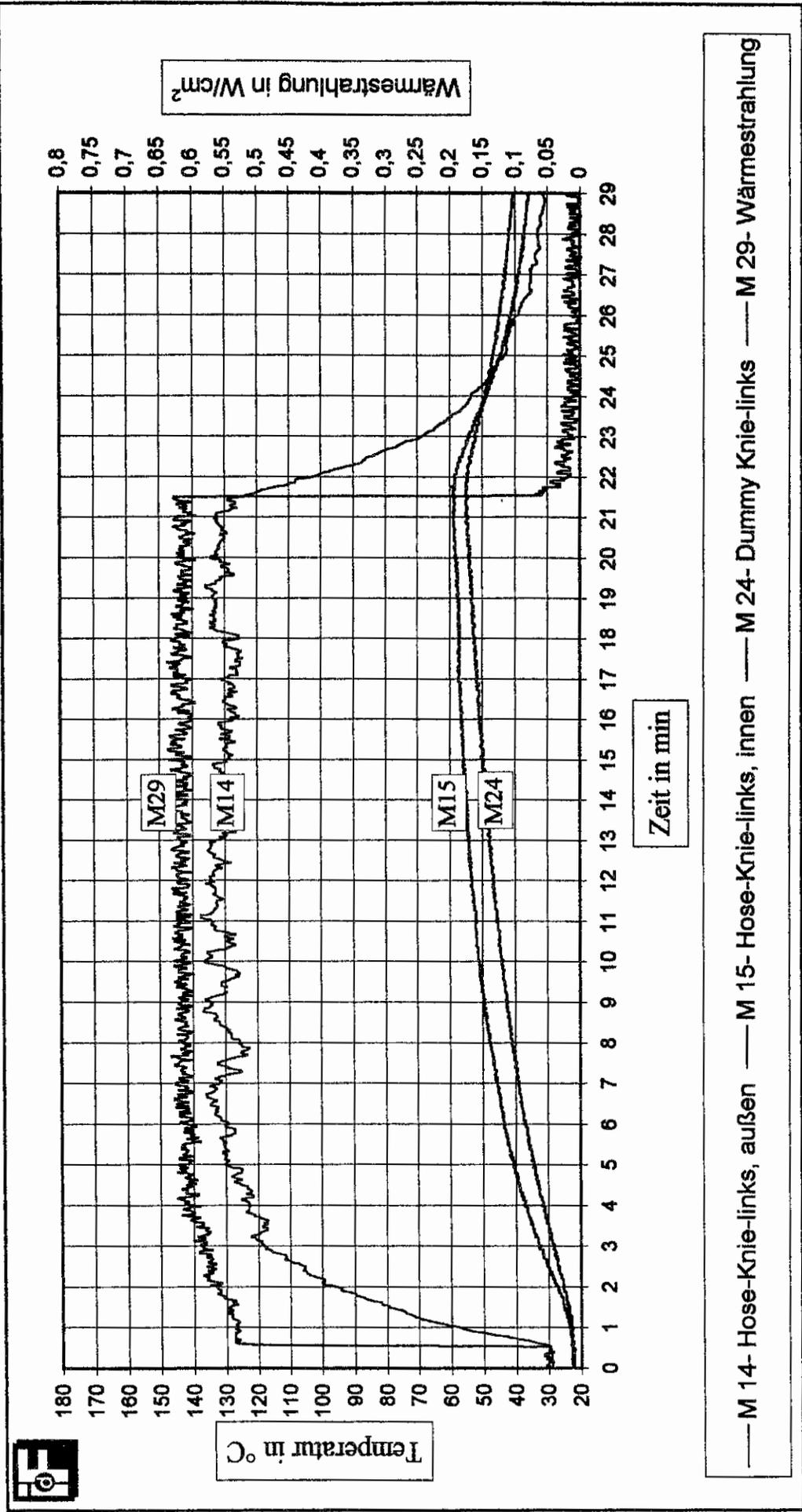


— M 14- Hose-Knie-links, außen — M 15- Hose-Knie-links, innen — M 24- Dummy Knie-links — M 29- Wärmestrahlung

### Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 16

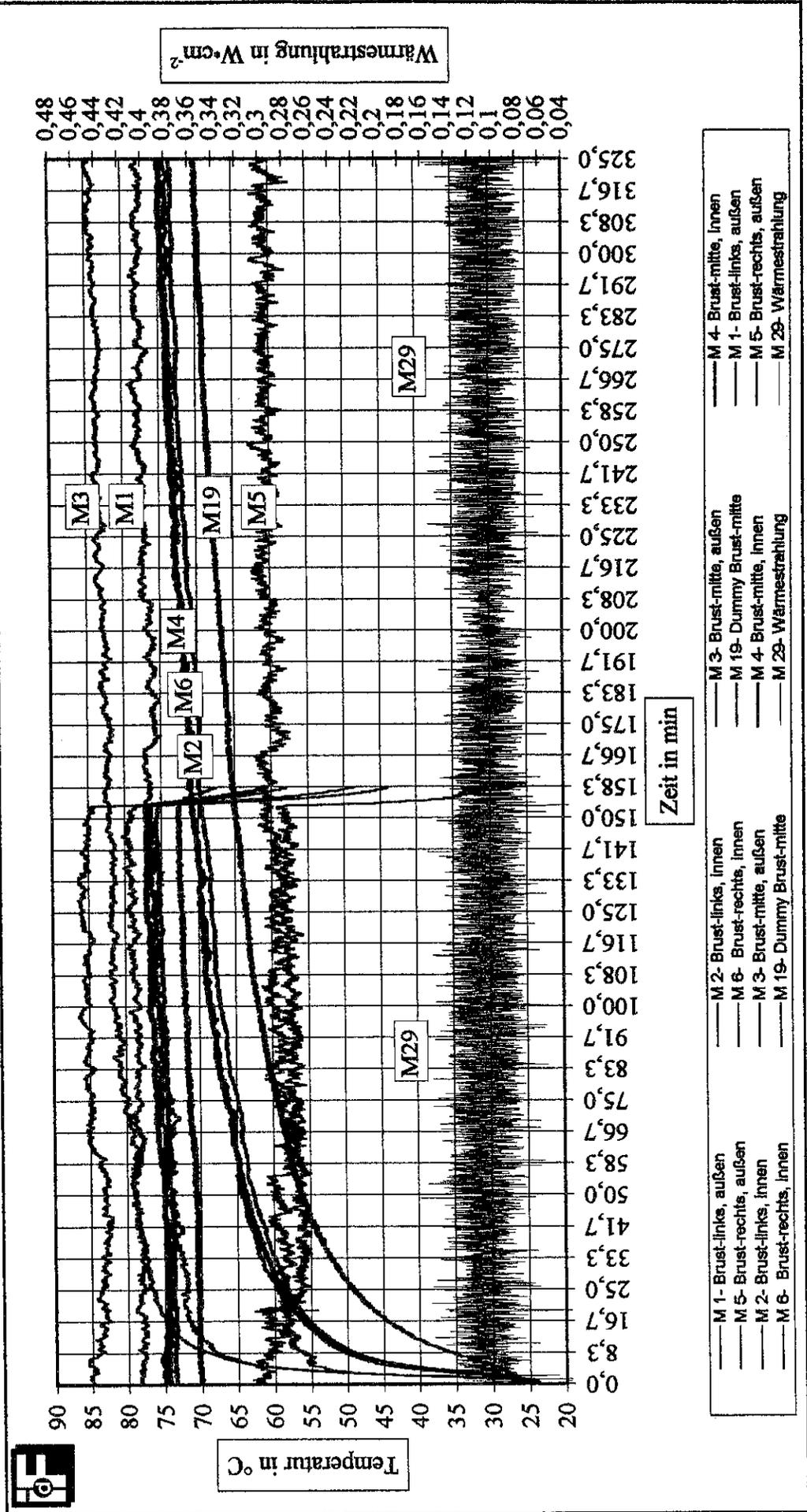


### Temperaturen an den Meßstellen 14, 15 und 24 der Einsatzhose Nr. 18

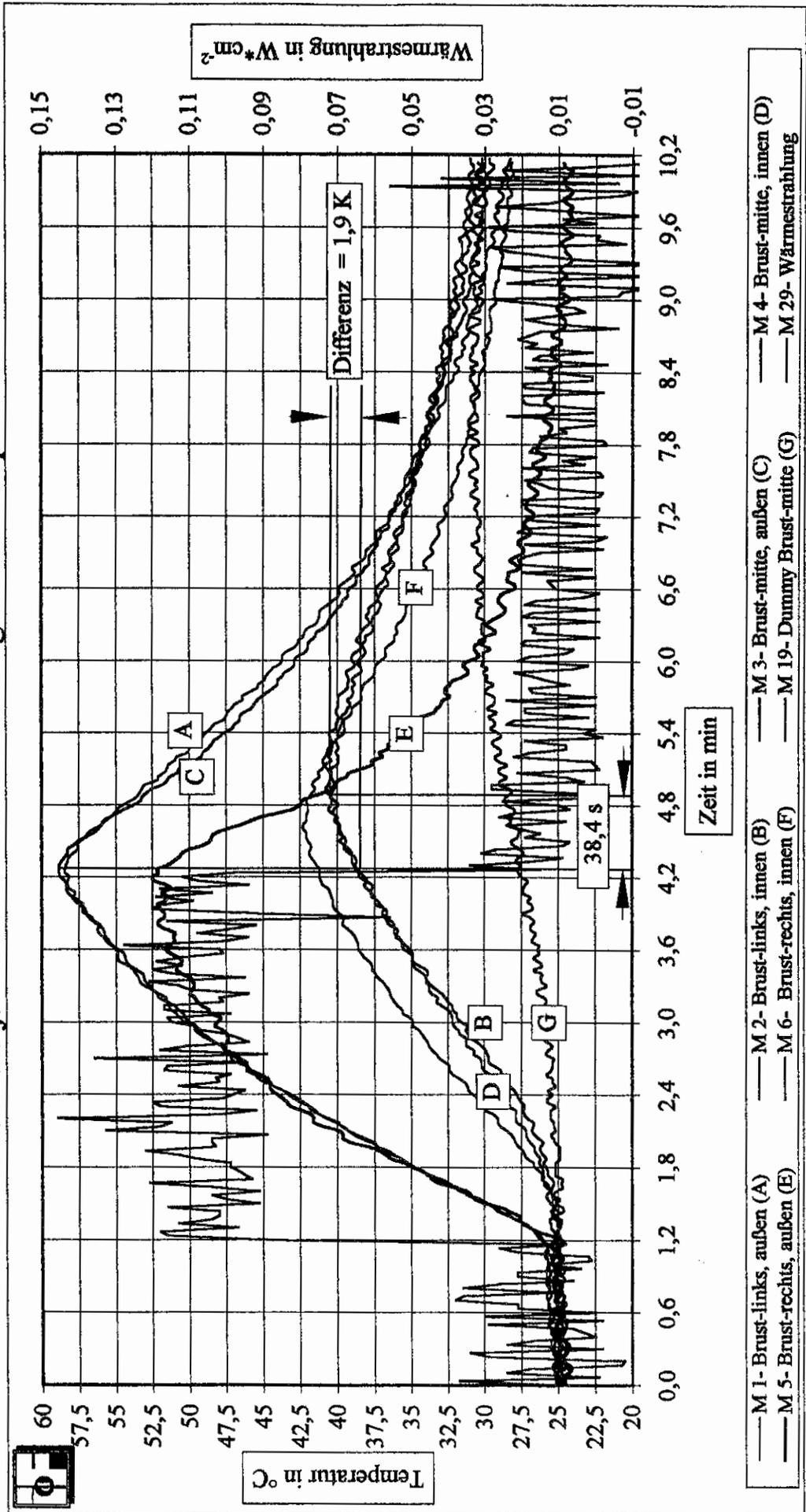


DATEI: LANGZEIT.XLS

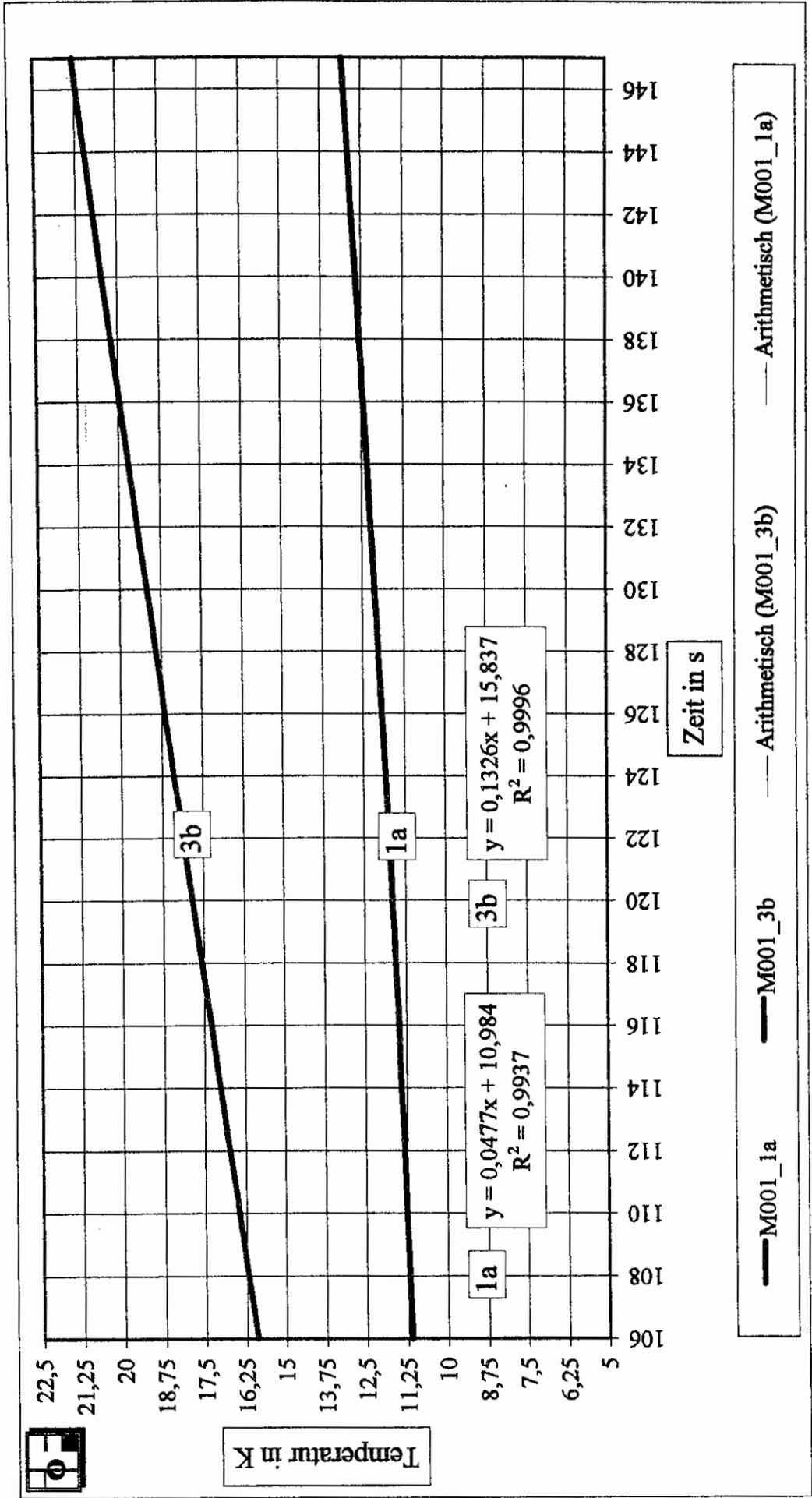
### Langzeitversuch über 8 Stunden mit Feuerwehr-Einsatzjacke Nr. 37 bei 0,1 W/cm<sup>2</sup>



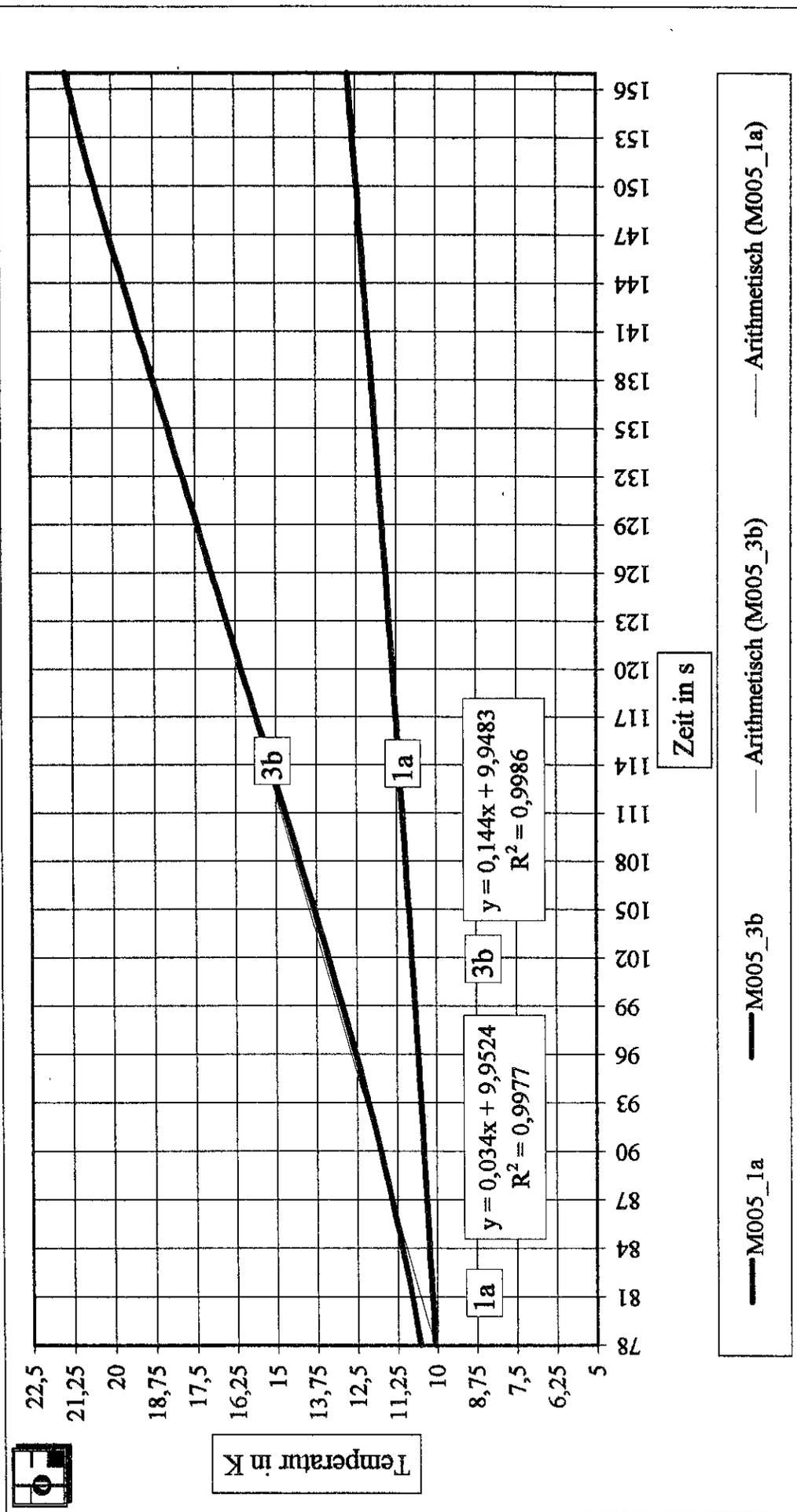
Beispiel für den Anstieg der Temperatur auf der Innenseite der Einsatzjacke Nr. 37 nach Entfernung der Wärmequelle



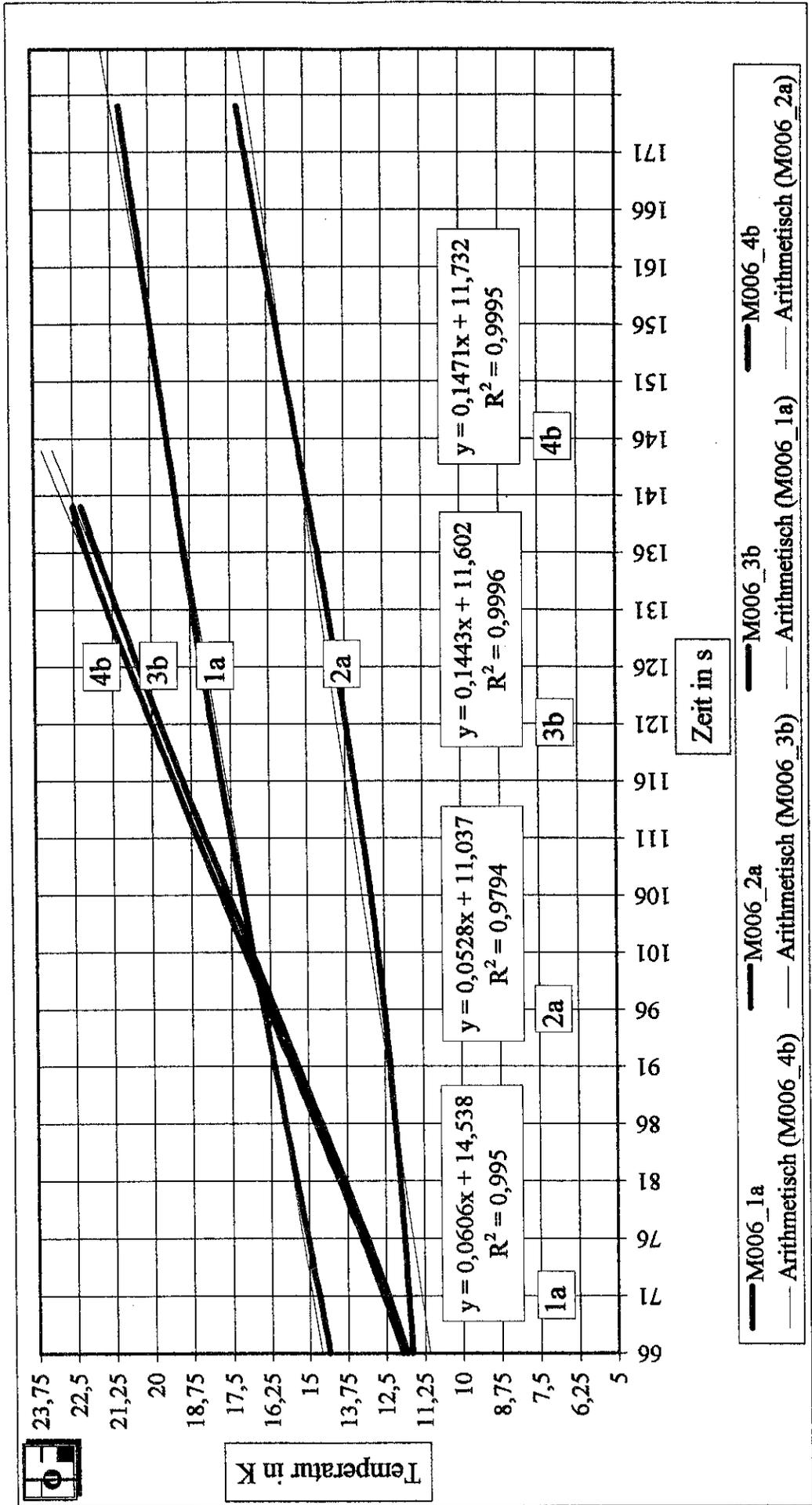
Ermittlung der Steigung  $dT/dt$  zur Bestimmung der Wärmestromdichte  $q_c$  (Material Nr. 01)



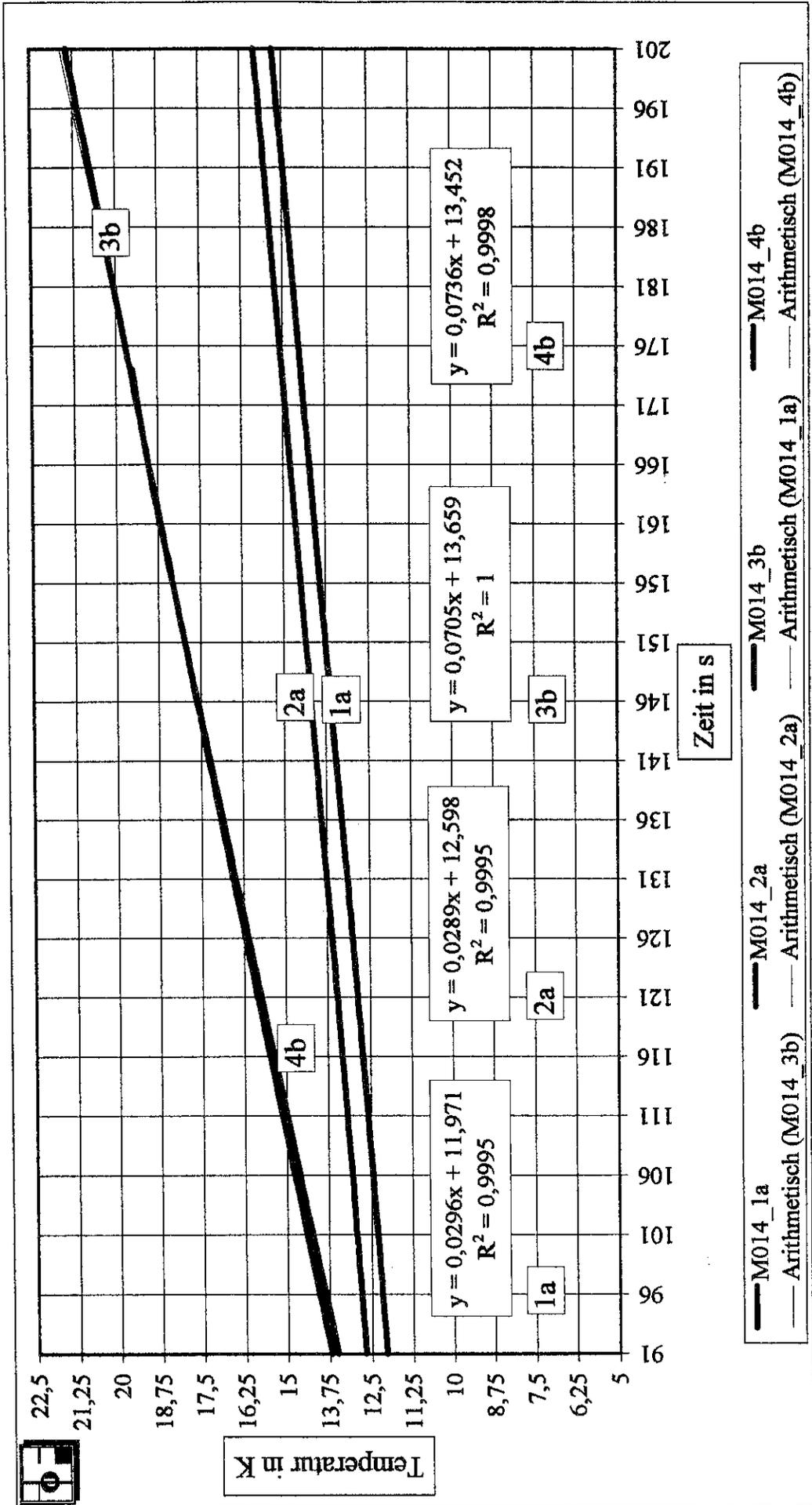
Ermittlung der Steigung  $dT/dt$  zur Bestimmung der Wärmestromdichte  $q_c$  (Material Nr. 05)



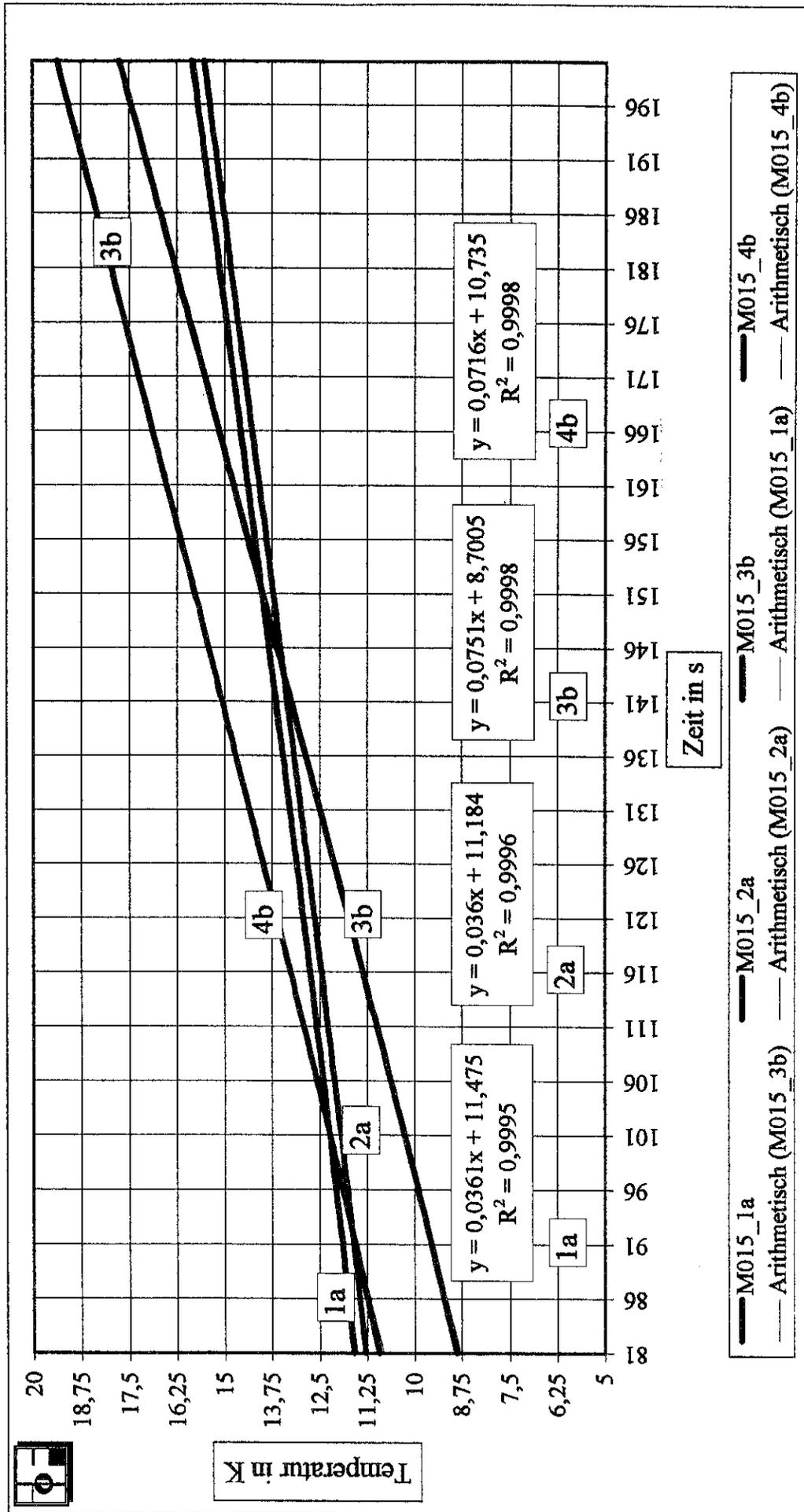
Ermittlung der Steigung  $dT/dt$  zur Bestimmung der Wärmestromdichte  $q_c$  (Material Nr. 06)



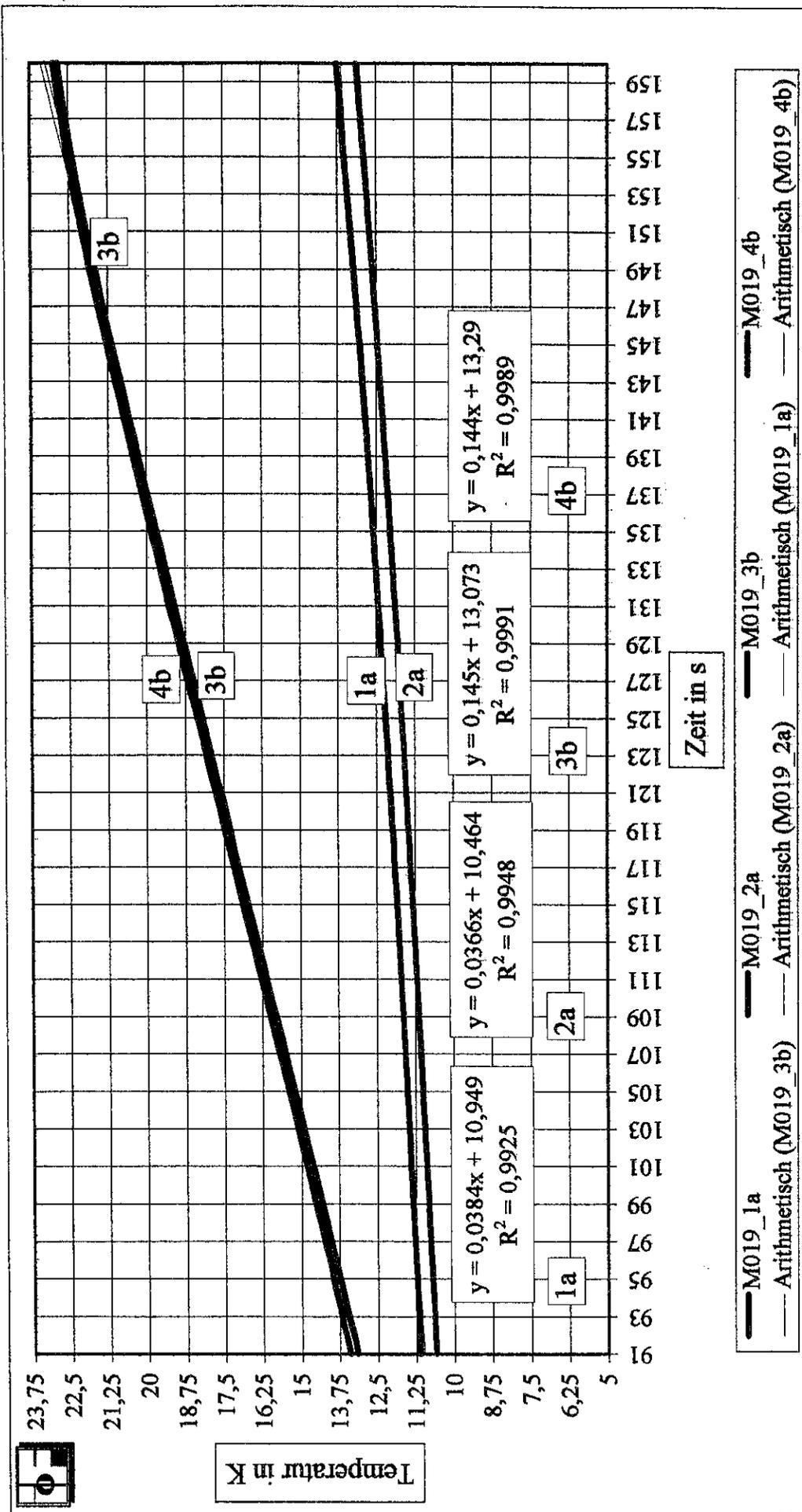
Ermittlung der Steigung dT/dt zur Bestimmung der Wärmestromdichte q<sub>c</sub> (Material Nr. 14)



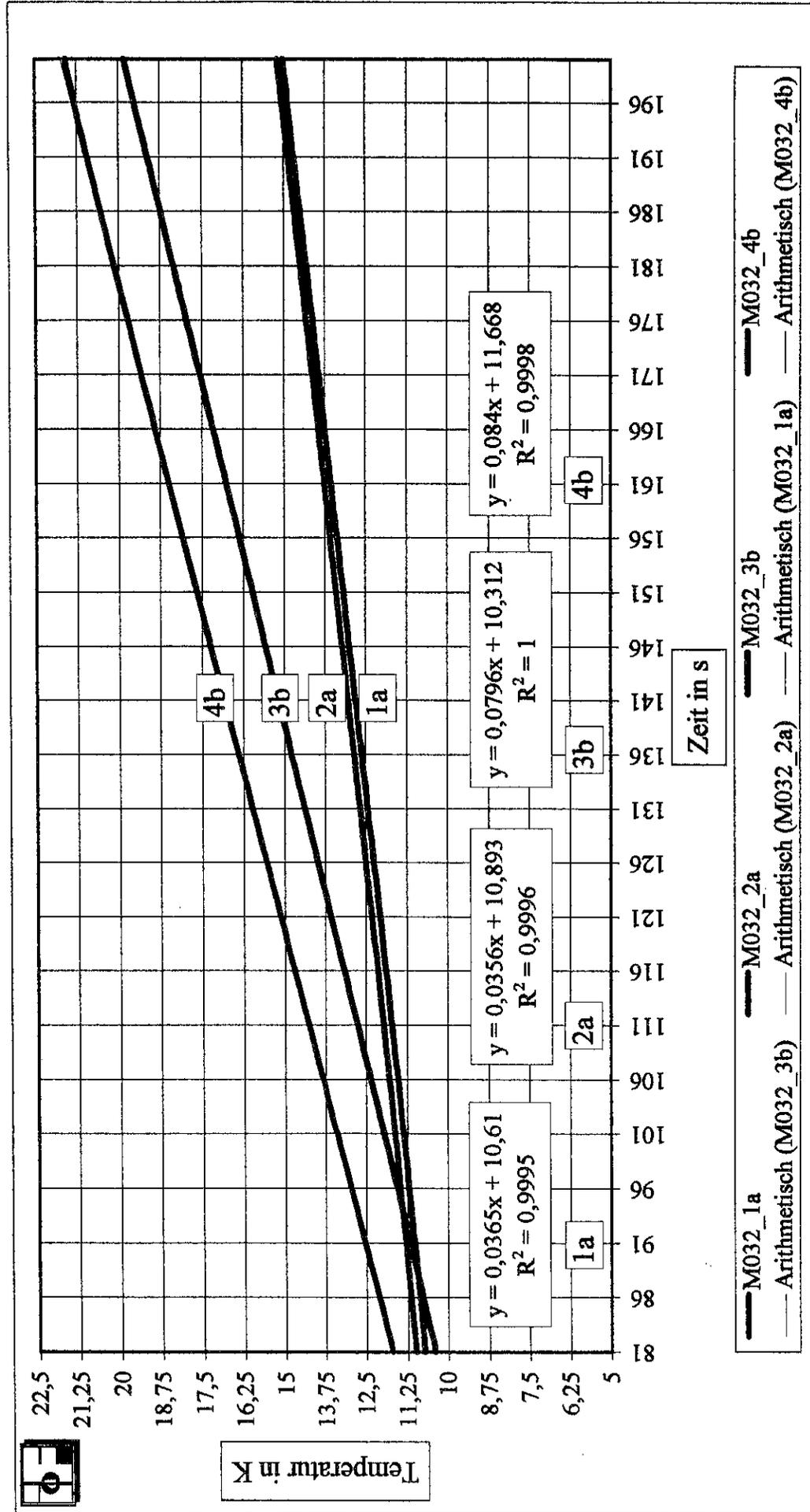
Ermittlung der Steigung dT/dt zur Bestimmung der Wärmestromdichte q<sub>c</sub> (Material Nr. 15)



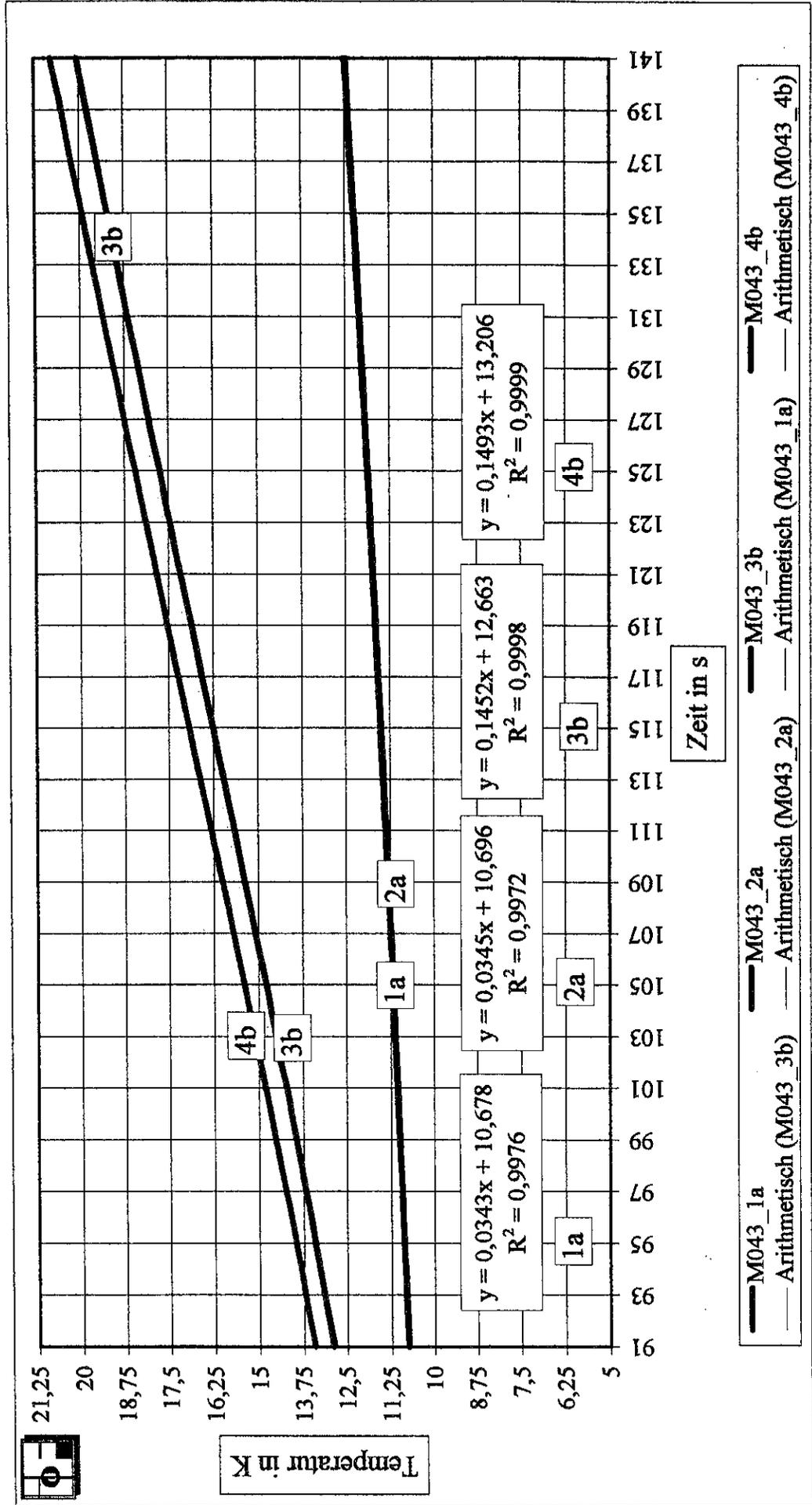
Ermittlung der Steigung dT/dt zur Bestimmung der Wärmestromdichte q<sub>c</sub> (Material Nr. 19)



Ermittlung der Steigung  $dT/dt$  zur Bestimmung der Wärmestromdichte  $q_c$  (Material Nr. 32)



Ermittlung der Steigung  $dT/dt$  zur Bestimmung der Wärmestromdichte  $q_c$  (Material Nr. 43)



Berechnungsergebnisse zur Ermittlung des  
Wärmedurchlaßgrades  $TF(q_0)$  nach DIN EN 366

MATERIAL	STEIGUNG	GRADZAHL	$q_c$	$TF(q_0) = q_c / q_a$	$TF(q_0)$ in %
M001_1a	0,05	2,73	0,93	0,46	46,47
M001_3b	0,13	7,55	2,58	0,65	64,57
M005_1a	0,03	1,95	0,66	0,33	33,10
M005_3b	0,14	8,19	2,80	0,70	70,10
M006_1a	0,06	3,31	1,13	0,56	56,36
M006_2a	0,08	3,30	1,12	0,56	56,19
M006_3b	0,11	6,41	2,19	0,55	54,69
M006_4b	0,12	6,79	2,32	0,58	57,99
M014-1a	0,03	1,70	0,58	0,29	28,82
M014_2a	0,03	1,66	0,56	0,28	28,16
M014_3b	0,07	4,03	1,37	0,34	34,34
M014_4b	0,07	4,21	1,43	0,36	35,85
M015_1a	0,04	2,07	0,70	0,35	35,20
M015_2a	0,04	2,06	0,70	0,35	35,08
M015_3b	0,08	4,29	1,46	0,37	36,55
M015_4b	0,07	4,09	1,39	0,35	34,85
M032_1a	0,04	2,09	0,71	0,36	35,55
M032_2a	0,04	2,04	0,69	0,35	34,63
M032_3b	0,08	4,55	1,55	0,39	38,76
M032_4b	0,08	4,80	1,64	0,41	40,88
M043_1a	0,03	1,97	0,67	0,33	33,42
M043_2a	0,03	1,98	0,67	0,34	33,62
M043_3b	0,15	8,26	2,83	0,71	70,71
M043_4b	0,15	8,49	2,91	0,73	72,70



Abb. 1: Instrumentierter Dummy

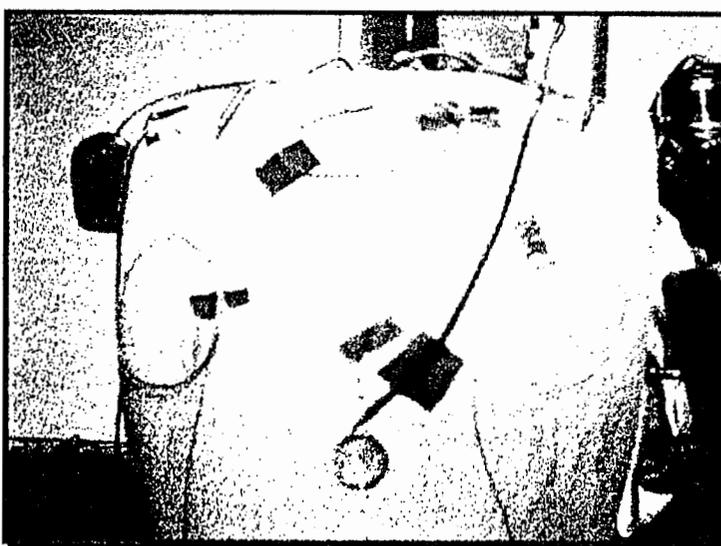


Abb. 2: Oberkörper Dummy

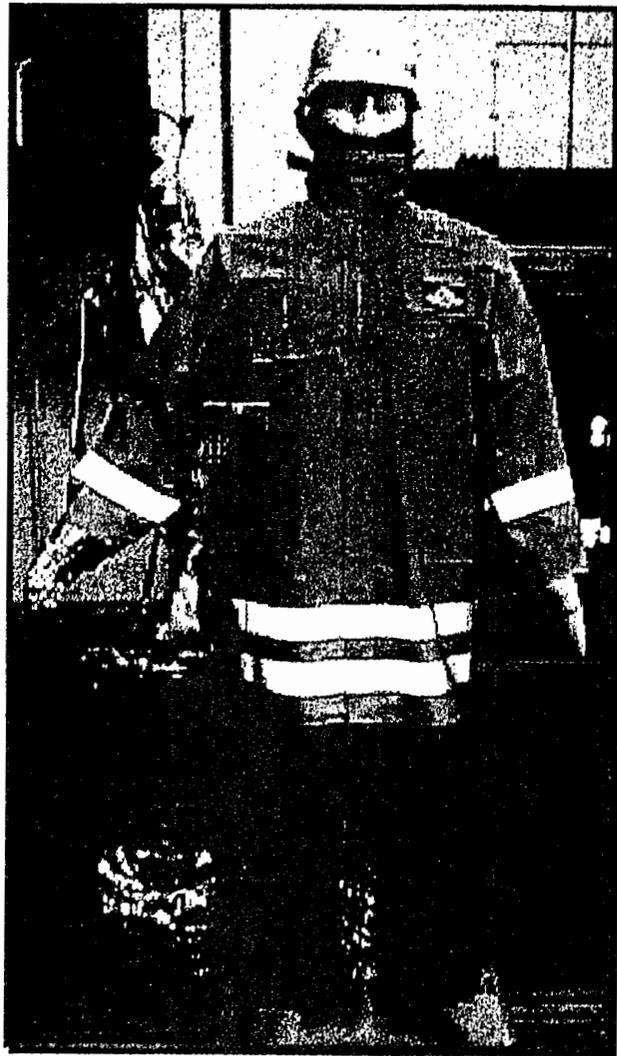


Abb. 3: Instrumentierte F - Einsatzkleidung



Abb. 4: Instrumentierte F - Einsatzjacke

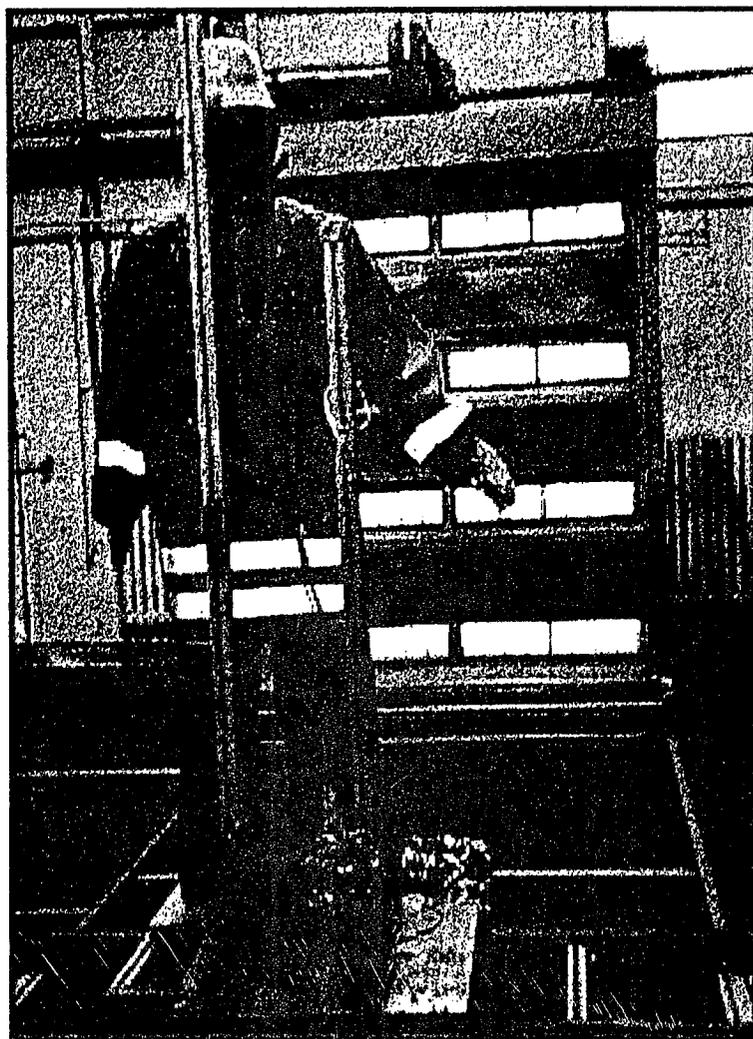


Abb. 5: Versuchsaufbau

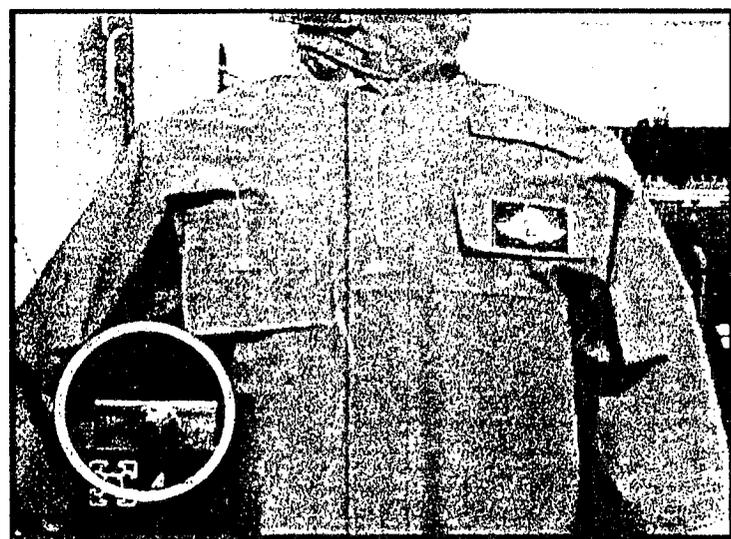


Abb. 6: Radiometer zur Messung der Wärmestrahlung