

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Entwicklung eines reproduzierbaren Prüfverfahrens
zur Komplexprüfung persönlicher Schutzausrüstung
am Beispiel der Prüfung eines Wärmestrahlen-
schutzanzeuges

109

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V – AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHRANGELEGENHEITEN

**Entwicklung eines reproduzierbaren Prüfverfahrens zur
Komplexprüfung persönlicher Schutzausrüstung am Beispiel der
Prüfung eines Wärmestrahlschutzanzuges**

Forschungsbericht Nr. 109

Im Auftrag
der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer
Arbeitskreis V - Ausschuß Feuerwehrangelegenheiten

Bearbeiter: Dipl.-Ing. U. Pasch (Projektleiter)
Dipl.-Phys. F. Wienecke

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt
Heyrothsberge
November 1997

ISSN 0170-0060

Inhaltsverzeichnis

		Seite
	Inhaltsverzeichnis	1
	Anlagenverzeichnis	2
0	Vorwort	4
1	Betrachtungen zum Forschungsgegenstand	5
1.1	Erfahrungen des IdF	5
1.2	Erkenntnisse des Forschungsinstitutes Hohenstein	8
2	Konzept der Gestaltung von HARDY II	11
2.1	Körperaufbau	11
2.2	Realisierung des Thermoregulations- und Temperaturmeßstellensystems	11
2.3	Prinzip der Thermoregulation	15
2.4	Meßwerterfassung	16
3	Thermische Belastung des Dummys	16
4	Untersuchung des Temperierverhaltens	17
4.1	Der Einfluß der Einbaulage der Thermoelemente auf die Meßergebnisse	17
4.2	Parallelmessung zweier Temperaturfelder	20
4.3	Untersuchung mit bekleidetem Dummy Hardy II	22
5	Nachweis der Eignung des Dummys Hardy II zur Prüfung persönlicher Schutzausrüstung	22
6	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	27
	Literatur	29

	Seite
<u>Anlagen</u>	
Anlage 1: Ansichten des Grundkörpers von HARDY II	30
Anlage 2: Technische Ausrüstung des Dummys HARDY II	31
Anlage 3: Positionen der bezifferten Temperaturmeßstellen auf der Vorderseite von HARDY II	32
Anlage 4: Gerätebeschreibung Umwälzkühler Kryo-Thermat 140	33
Anlage 5: entfällt	-
Anlage 6: DIN EN 1486 Schutzkleidung für die Feuerwehr; Prüfverfahren und Anforderungen für reflektierende Kleidung für die spezielle Brandbekämpfung; Deutsche Fassung EN 1486:1996; Ausgabe August 1996	39
Anlage 7: Richtlinien über die Zulassung von Hitzeschutzanzügen der See-Berufsgenossenschaft Hamburg	40
Anlage 8: Vorversuche mit Hardy II bei 0,1 W/cm ² - Temperierung auf 34 °C	42
Anlage 9: Vorversuche mit Hardy II bei 0,2 W/cm ² - Temperierung auf 34 °C	45
Anlage 10: Vorversuche mit Mensch bei 0,2 W/cm ²	48
Anlage 11: Externe Bestrahlung des Brustbereiches des Dummys Hardy II mittels Infrarotstrahler (Aufheizung); Anschließende Kühlung durch Temperierkreislaufwassertemperatur 5 °C	49
Anlage 12: Darstellung von zwei Temperaturfeldern durch unterschiedliche Positionierung der Thermoelemente auf der Dummykörperoberfläche von Hardy II	51
Anlage 13: Untersuchung des Einflusses der Einbaulage der Thermoelemente zu den Temperierkreisläufen (ohne äußere thermische Belastung)	52
Anlage 14: Thermogramme und Temperaturprofile des Dummys Hardy II ohne äußere thermische Belastung; Aufheizen der Temperierkreisläufe mit 50 °C und ihr Abkühlen mit 5 °C Wassertemperatur	54

	Seite
Anlage 15: Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehr- überjacke <u>Bedingung:</u> Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C, Wärmestrahlung: 0,1 W/cm ²	57
Anlage 16: Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehr- überjacke <u>Bedingung:</u> Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C, Wärmestrahlung: 0,3 W/cm ²	62
Anlage 17: Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehr- überjacke <u>Bedingung:</u> Temperierung Hardy II auf 37 °C vor Versuchsbeginn. Danach Abstellen der Umwälzpumpe und Einstellung Kryo-Thermat auf 5 °C. Nach Erreichen dieser Temperatur Einschalten der Umwälzpumpe und Versuchs- beginn Wärmestrahlung: 0,3 W/cm ²	67
Anlage 18: Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehr- überjacke <u>Bedingung:</u> Temperierung Hardy II auf 31 °C (Vorwärmung und während des Versuches) Wärmestrahlung: 0,3 W/cm ²	72
Anlage 19: Hauttemperatur als Funktion der Zeit an Meßstelle 29	77
Anlage 20: Temperaturen auf der Brust des Dummys aus Holz und an der Feuerwehrüberjacke bei einer Wärmestrahlung von 0,3 W/cm ²	79
Anlage 21: Temperaturen auf der Brust von Hardy II und an der Feuerwehrüberjacke bei einer Wärmestrahlung von 0,3 W/cm ² und unterschiedlicher Temperierung	80
Anlage 22: Temperaturen auf der Brust eines Menschen und an der Feuerwehrüberjacke bei einer Wärmestrahlung von 0,3 W/cm ²	83
Anlage 23: Vergleich der Hauttemperaturen Mensch - Hardy I - Hardy II	84

0 Vorwort

Die Notwendigkeit, die Aufgabenstellung „Entwicklung eines reproduzierbaren Prüfverfahrens am Beispiel der Prüfung eines Wärmestrahlschutzanzuges (WSA)“ als Forschungsthema zu bearbeiten, liegt ursächlich darin begründet, daß aus der Sicht der Bearbeiter gegenwärtig kein qualifiziertes und den Erfordernissen entsprechendes Prüfverfahren für eine spezielle persönliche Schutzausrüstung, wie der Wärmestrahlschutzanzug gemäß der Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren [UVV 98] deklariert ist, existiert. Aus dieser Sicht gesehen, kann der Nachweis des notwendigen bzw. sicheren Schutzes des Feuerwehrmannes vor einer extremen thermischen Belastung mittels eines WSA bislang zumindest nicht umfassend erbracht werden.

Wenn von keinem qualifizierten und den Erfordernissen entsprechenden Prüfverfahren die Rede ist, so ist damit gemeint, daß einerseits Materialprüfverfahren für die Bewertung der Schutzwirkung von Wärmestrahlschutzanzügen (siehe Anlage 6 [EN1486 96]) als nicht ausreichend anzusehen sind, andererseits Prüfverfahren, bei denen ein realer Mensch als „Testobjekt“ in bezug auf die Überprüfung der Schutzwirkung von Schutzkleidung eingesetzt wird (siehe Anlage 7 [See-BG 88]), grundsätzlich nicht vertretbar sind. Insofern ist als Alternative zu den vorgenannten Verfahren bzw. als sinnvolle Ergänzung zu den Materialprüfverfahren an sich nur ein Prüfverfahren denkbar und sinnvoll, bei dem ein Dummy die Funktion des Menschen als Testperson übernehmen kann. So war es dann auch die ursprüngliche Zielstellung des zu bearbeitenden Forschungsthemas, auf der Basis eines zu entwickelnden Dummies, das angestrebte Prüfverfahren zu entwickeln.

Die Komplexität der mit der Entwicklung und dem Bau des Dummies verbundenen Aufgaben sowie die Vielfalt der in diesem Zusammenhang durchzuführenden Untersuchungen zwangen zu einer Reduzierung des Umfanges des ursprünglich angedachten Aufgabenvolumens und damit zwangsläufig zu einer Umorientierung in der Zielstellung.

So wird aus den genannten Gründen nunmehr ausschließlich von der Zielstellung ausgegangen, einen für das angedachte Prüfverfahren geeigneten Dummy zu entwickeln und den Nachweis seiner Eignung durch eine Vielzahl ausschließlich experimenteller Untersuchungen zu erbringen. Das Prüfverfahren selbst wird nicht behandelt, es muß einer späteren Bearbeitung vorbehalten bleiben.

1. Betrachtungen zum Forschungsgegenstand

1.1 Erfahrungen des IdF

Der Einsatz von Dummies zur vergleichenden Bewertung der Reaktion des menschlichen Körpers auf äußere Einflüsse (z.B. mechanische und thermische Einwirkungen) gewinnt zunehmend an Bedeutung. Bekannt sind derartige Untersuchungsmethoden vor allem aus dem Bereich der Automobilindustrie, um die in der Folge von Crash's bedingten Auswirkungen bzw. Schädigungen am menschlichen Körper nachzuvollziehen und so wiederum Rückschlüsse auf erforderliche konstruktive sicherheitsrelevante Veränderungen an den Fahrzeugen ziehen zu können. Auch auf dem Gebiet der Untersuchung und Prüfung von persönlicher Schutzausrüstung des Feuerwehrangehörigen gibt es zwischenzeitlich einige Festlegungen in Normen, wie beispielsweise in der EN 469 [EN 469 96], die ein Prüfen solcher Ausrüstungen mittels Dummy empfiehlt bzw. vorschreibt. Mit gutem Grund, denn einerseits werden dadurch mögliche schädigende Auswirkungen auf den Menschen, wie im Falle der Richtlinie der See-BG [See-BG 88], die für die Prüfungen den Einsatz eines Probanden vorschreibt (siehe Anlage 7), vermieden, andererseits berücksichtigen Prüfverfahren mit Dummies in doch realerer Art und Weise das in der Praxis des Feuerwehreinsatzes auftretende Verhalten der Schutzausrüstung als Ganzes gegenüber einer nur selektiven Bewertung von Teilen davon oder gar nur von Materialproben dieser Teile. Schließlich ist auch hier, ebenso wie bei Autounfällen, wo es um das Leben des Fahrers oder der Insassen geht, das Leben des die Schutzausrüstung tragenden Feuerwehrmannes gefährdet und auch hier müssen ggf. im Ergebnis der Untersuchungen mittels Dummy konstruktive sicherheitsrelevante Veränderungen an der Schutzkleidung realisiert werden.

Am Institut der Feuerwehr wurde aus eben diesen Gründen bereits 1995 damit begonnen, einen Dummy mit der Zielstellung zu entwickeln, diesen im Rahmen von Forschungsaufgaben zur Bewertung der thermischen Stabilität von Feuerwehreinsatzkleidung zu verwenden. Dieser erste, mit HARDY I bezeichnete Dummy, wurde aus Holz gefertigt und verfügte über Gliedmaßen, die über Gelenke mit dem Rumpf verbunden waren. Damit sollte eine beliebige Positionierung (Haltung) des Dummies ermöglicht werden. Zum Zwecke der Bewertung des thermischen Verhaltens wurde der mit Feuerwehreinsatzkleidung ausgerüstete Dummy an bestimmten relevanten Körperpartien mit Thermoelementen versehen. Das gleiche geschah mit der Feuerwehreinsatzkleidung, die ebenfalls an bestimmten Stellen mit Thermoelementen ausgerüstet wurde. Der so bekleidete und ausgerüstete Dummy wurde sodann einer definierten Wärmestrahlung über einen vorgeschriebenen Zeitraum hinweg ausgesetzt. Sämtliche Meßwerte wurden während des Versuches online erfaßt und nach Versuchsende entsprechend ausgewertet. Im Ergebnis einer Vielzahl von Untersuchungen wurde letztlich ein Prüfverfahren konzipiert, welches u.a. in die neue Herstellungs- und Prüfungsbeschreibung für eine universelle Feuerwehrsutzkleidung (HuPF) Eingang gefunden hat [HuPF 96]. Geprüft wird nach diesem als Wärmestrahlungstest bezeichneten Verfahren zunächst nur die Feuerwehrüberjacke. Die in dieses Prüfverfahren eingegangenen Vorgaben und Kriterien stellen sich wie folgt dar:

Der mit der zu prüfenden Feuerwehrüberjacke bekleidete Dummy HARDY I besitzt im Brustbereich drei Temperaturmeßstellen. Darüber hinaus ist die

Feuerwehrüberjacke, ebenfalls im Brustbereich, mit jeweils drei auf ihrer Außen- und Innenseite angeordneten Temperaturmeßstellen ausgerüstet. Während die an diesen Meßstellen bei der Prüfung ermittelten Meßergebnisse in Bezug auf das Prüfergebn an sich nicht relevant sind, sondern im nachhinein lediglich vergleichende Aussagen zwischen den geprüften Feuerwehrüberjacken zulassen sollen, sind die während der Prüfung gewonnenen Meßergebnisse an den drei Meßstellen im Brustbereich des Dummy ausschlaggebend für das Prüfergebn.

Als Prüfkriterium für den sogenannten Wärmestrahlungstest ist festgelegt, daß die Prüfung bestanden ist, wenn unter der Bedingung des Beaufschlagens der Feuerwehrüberjacke mit einer Wärmestrahlung von $0,1 \text{ W/cm}^2$ über einen Zeitraum von 15 Minuten an keiner der drei Meßstellen auf dem Dummy die Temperatur von 43 °C überschritten wird. Auf die Begründung dieses Prüfkriteriums soll hier verzichtet werden.

Es erscheint logisch, daß eine immer vollkommeneren "Vermenschlichung" eines Dummys in Hinblick auf seine Anpassung an die reale Physiologie des menschlichen Körpers erstrebenswert erscheint, würden sich damit doch zugleich auch realere und somit in Bezug auf die Reaktionen des menschlichen Körpers vergleichbarere Erkenntnisse ableiten lassen. Dies erscheint insbesondere auch wünschenswert unter dem Aspekt der am Institut der Feuerwehr zu untersuchenden Problematik der Feuerwehreinsatzkleidung unter thermischer Belastung bei Brandeinsätzen der Feuerwehr. So war man sich schon bei der Entwicklung des Dummys HARDY I darüber im klaren, daß eine spätere Weiterentwicklung aus verschiedenen Gründen nicht ausbleiben kann. Da jedoch solche Entwicklungen vom Umfang her immer auch an materielle Grenzen stoßen, kann nur Schritt für Schritt vorangegangen werden. Der angestrebte Folgeschritt hin zur Vervollkommnung des Dummys wurde im Rahmen der Bearbeitung des Forschungsthemas, deren Ergebnisse im vorliegenden Bericht dargelegt sind, entwickelt.

Was war die Zielstellung dieser Entwicklung und welche Gründe rechtfertigten sie?

Zielstellung der Entwicklung eines neuen Dummys, nunmehr HARDY II genannt, war die Realisierung eines dem Verhalten des menschlichen Körpers nahekommenden Thermoregulationssystems. Sein Vorgänger, HARDY I, der aus Holz gefertigte Dummy, heizte sich bei externer thermischer Beaufschlagung auf, was im Widerspruch zum Bestreben des menschlichen Körpers, eine nahezu konstante Temperatur zu halten, steht. Die qualitative Darstellung in Bild 1 zeigt am Beispiel von Thermogrammen deutlich, wie sich der Körper von HARDY I nach überstandenen Wärmestrahlungstest aufgeheizt hat.

Deutlich sichtbar sind die Bereiche auf der Feuerwehrüberjacke mit Materialverstärkungen (Patte, Taschen) - erkennbar durch die helleren Bereiche (höhere Temperaturen durch schlechte Wärmeableitung nach innen). Auf dem Dummy sind gleiche Bereiche demzufolge dunkler (geringere thermische Beaufschlagung durch die thermisch schützenden Materialverstärkungen).

Durch das Aufheizverhalten weichen die bei Temperaturmessungen auf der Oberfläche des Holzkörpers ermittelten Temperaturen auch von denen bei gleichen Versuchsbedingungen auf der realen Hautoberfläche des menschlichen Körpers gemessenen ab. Diesem Verhalten wurde zwar im Rahmen des o.g. Prüfverfahrens mit HARDY I in gebührendem Maße Rechnung getragen, dennoch erschien es durchaus sinnvoll, gerade auch in Hinblick auf die Qualifizierung des Prüfverfahrens

und unter dem Aspekt der Realisierung weiterer angedachter Forschungsprojekte, ein solches Thermoregulationssystem bei dem zu entwickelnden Dummy HARDY II

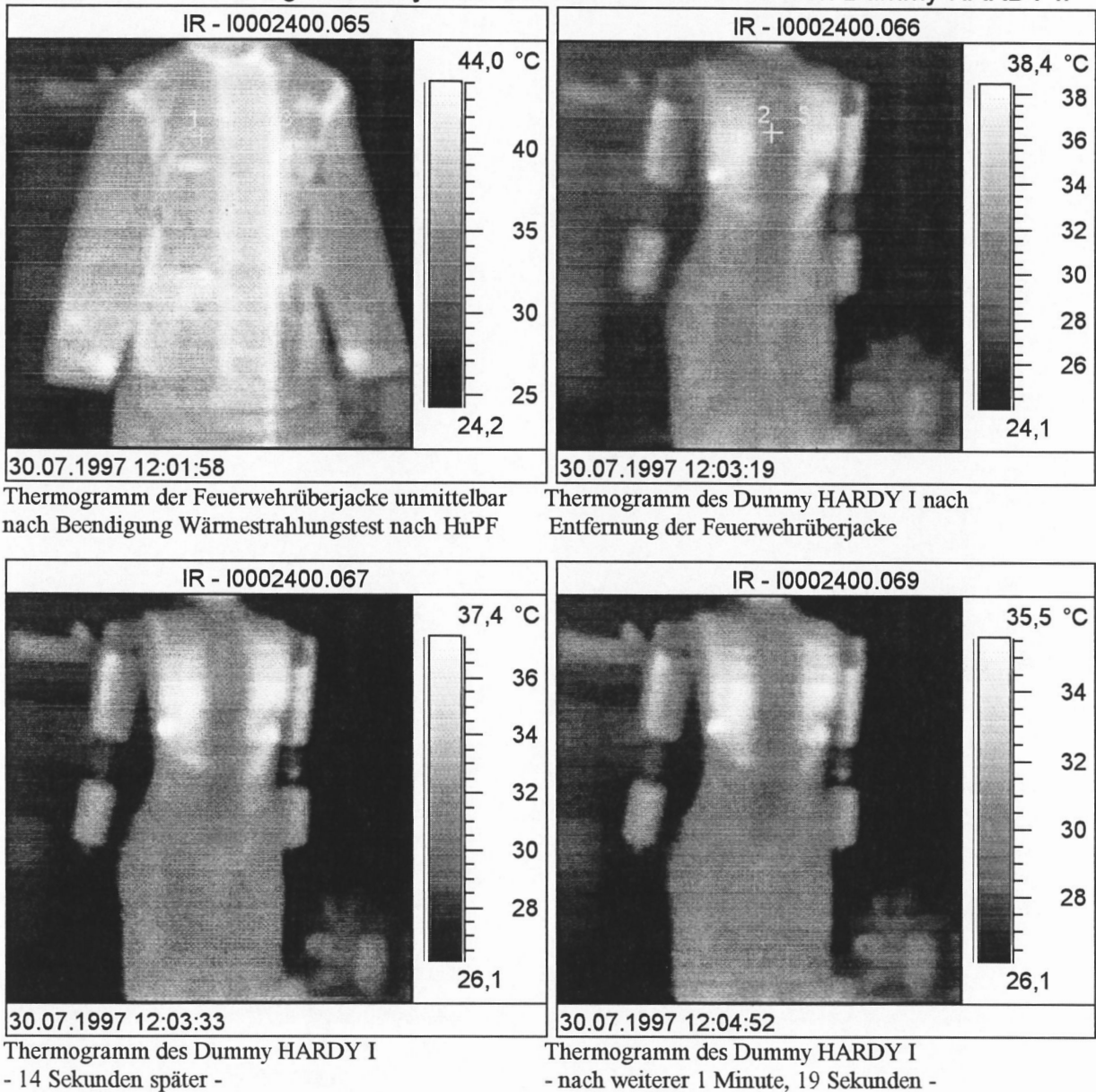


Bild 1: Qualitative Darstellung der Aufheizung von HARDY I

zu verwirklichen. Dabei war auch hier wiederum klar, daß eine umfassende Simulation des Thermoregulationssystems des menschlichen Körpers mit seinen vielfältigen Regelmechanismen auf Grund des derzeitigen Entwicklungs- und Erkenntnisstandes auf diesem Gebiet und wegen der begrenzten materiellen Ressourcen vom Grundsatz her umfassend noch nicht möglich ist. Daher war es Anliegen der vorzunehmenden Entwicklung, mit minimalem Aufwand zu einem möglichst effektiven Ergebnis mit der nötigen und nicht möglichen Genauigkeit in Bezug auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den am realen Menschen gewonnenen zu gelangen.

Zwei Kriterien mußten bei der Konzipierung von HARDY II berücksichtigt werden. Erstens galt es, ein wirksames und möglichst optimales Prinzip der Thermoregulation zu entwickeln und praktisch umzusetzen. Zum anderen sollte durch eine möglichst hohe Temperaturmeßstellenanzahl auf der Körperoberfläche gewährleistet werden, alle relevanten Meßpunkte am menschlichen Körpers zu

erfassen. Auf diese Art und Weise sollte perspektivisch auch das angedachte Konzept einer flächenbezogenen Auswertung der Temperaturverhältnisse auf der Körperoberfläche von HARDY II realisiert werden. Zu berücksichtigen galt es außerdem, daß durch das Messen der Hauttemperatur einerseits nur eine Kontroll- bzw. Überwachungsfunktion in Bezug auf das Funktionieren des Thermoregulationssystems ausgeübt wird, andererseits jedoch hier auch die aus physiologischer Sicht bedeutsamen und aus der Sicht der Prüfung von Bekleidungssystemen auf dem Dummy für Entscheidungsfindungen relevanten Körperoberflächentemperaturen zu ermitteln sind. Rein energetisch betrachtet und unter Auslassung tragephysiologischer Aspekte wird durch das realisierte Thermoregulationssystem ja auch der „Schwitzvorgang“ des Menschen als eine Komponente der Thermoregulation berücksichtigt. Insofern könnte durch eine energetische Abschätzung in Form der Messung der erforderlichen Kühlung auf den unter gleichen Bedingungen notwendigen „Schwitzvorgang“ des Menschen geschlossen werden. Eine weitere Forderung an die vom Dummy erwarteten Meßergebnisse war die Forderung nach der quantitativen Bestimmung auftretender Temperaturen auf der dem Körper zugewandten Innenseite des jeweils zu untersuchenden Bekleidungssystems. Vergleiche der gewonnenen Meßergebnisse am Dummy mit den am Original des menschlichen Körpers sich unter gleichen Bedingungen einstellenden Realwerten der Temperaturen, sollten die Untersuchungsergebnisse abrunden.

1.2 Erkenntnisse des Forschungsinstitutes Hohenstein

Am Forschungsinstitut Hohenstein wurden Anfang der 90iger Jahre Untersuchungen aus bekleidungsphysiologischer Sicht geführt, bei denen ein Dummy zum Einsatz kam. Die Ergebnisse wurden in einem Forschungsbericht dargelegt. Auszugsweise sollen hier aus [Bilger 93] einige auch für die Untersuchungen am IdF bedeutsame grundsätzliche Aspekte wiedergegeben und der für die Untersuchungen dort zum Einsatz gelangte Dummy CHARLIE 4 beschrieben werden.

Bekleidungssystem

Ein Bekleidungssystem besteht im allgemeinen aus mehreren Komponenten wie Unterwäsche, Oberbekleidung etc., die zum Teil übereinander getragen werden. Ein Schnitt durch ein Bekleidungssystem ergibt somit eine Folge von abwechselnden Luftschichten und Textillagen unterschiedlicher Dicke. Für ein durchschnittliches Kleidungssystem werden ca. 80 % der Wärmeisolation von den Luftschichten innerhalb der Bekleidung und der angrenzenden Haftluftschicht gebildet. Der Wärmedurchgangswiderstand eines ebenen Bekleidungs Ausschnitts kann u.a., wie im Hohensteiner Forschungsinstitut realisiert, mit dem sogenannten Hautmodell gemessen werden. Der Aufbau einer realen Kleidung ist jedoch wesentlich komplizierter als ein solcher Ausschnitt. Die Luftschichten sind in Abhängigkeit vom Ort unterschiedlich dick, es treten verschiedene Krümmungen und Falten im Textil auf, die Bedeckung des Körpers und die Schichtenfolge ist über den Körper verteilt stark inhomogen, und die Geometrie der Oberfläche ist komplex. Auch können die bei Bewegungen des Trägers auftretende Konvektion und Ventilation, welche die Wärmeisolation eines Bekleidungssystems um bis zu 35 % herabsetzen, nicht erfaßt werden.

Die mittlere Gesamtwärmeisolation einer Bekleidung ist somit keine absolute, nur durch das Bekleidungssystem gegebene Größe. Sie ist u.a. über das Volumen der eingeschlossenen Luftschichten von der Körperhaltung abhängig und aufgrund der

erzwungenen Konvektion innerhalb der Luftschichten auch von der Bewegung des Trägers.

Aus den genannten Gründen wird vom Forschungsinstitut Hohenstein für die Messung der Wärmeisolation eines Bekleidungssystems ein Dummy für notwendig erachtet, der auch Gehbewegungen durchführen kann.

Aufbau des Dummys

Der Körper des Dummys, genannt CHARLIE 4, ist aus getriebenem Kupferblech gefertigt und auf der Innenseite verzinkt. Darauf sind Widerstandsdrähte als Heizleitungen aufgebracht. Die Oberfläche von CHARLIE 4 wurde mit einem schwarzen Mattlack überzogen, um die Wärmestrahlungsabsorptions- und Emissionscharakteristik der des Menschen anzugleichen. Die menschliche Haut verhält sich nach Aussage des Forschungsinstitutes Hohenstein, unabhängig von der sichtbaren Hautfarbe, im Wellenlängenbereich der Temperaturstrahlung bei Hauttemperatur (4 - 50 μm) nahezu wie ein idealer schwarzer Strahler. Da die Paßform die Dicke der Luftschichten und somit die Bekleidungsisolation entscheidend beeinflusst, wurden die Maße von CHARLIE 4 entsprechend der Konfektionsgröße 50 ausgelegt. Er ist 1,76 m groß und weist eine Körperoberfläche von 2,01 m^2 auf. Sein Gewicht beträgt 75,3 kg. An den Schultern, Ellenbogen, Hüften und Knien ist CHARLIE 4 mit beweglichen, kugelgelagerten Gelenken ausgestattet. Dadurch kann der Dummy verschiedene Körperhaltungen, wie Liegen, Sitzen und Stehen, einnehmen. Hände und Füße können über Stangen mit rotierenden Exzentrerscheiben verbunden werden, die es ermöglichen, Gehbewegungen variabler Geschwindigkeit zu simulieren.

Da die mittlere Gesamtwärmeisolation einen flächenhaft verteilten Widerstand mit z. T. sehr unterschiedlichen lokalen Wärmeisolationen darstellt, und demzufolge auch die Wärmeflüsse durch die Bekleidung und die Hauttemperatur über die Körperoberfläche entsprechend variieren, ist CHARLIE 4 in folgende 15 getrennte Segmente unterteilt:

- Kopf
- Brust
- Rücken
- Oberarm rechts und links
- Unterarm rechts und links
- Hand rechts und links
- Oberschenkel rechts und links
- Unterschenkel rechts und links
- Fuß rechts und links.

Jedes der Segmente ist mit einer eigenen Heizleitung ausgestattet und kann von einem Personalcomputer separat angesprochen und geregelt werden. Die Temperaturmessung erfolgt getrennt für jedes Segment als Mittelwert über je vier im Segment verteilt angebrachte Pt 100 - Temperaturfühler. Die einzelnen Segmente sind gegenüber benachbarten Segmenten mittels Trennscheiben aus Teflon thermisch isoliert, um zu verhindern, daß unkontrollierte Wärmeübergänge an den Grenzflächen zwischen den Segmenten das Meßergebnis verfälschen. Um Konvektionsströme und unkontrollierte Wärmeübergänge im Inneren von CHARLIE 4 zu unterbinden und um eine effektivere Wärmeabgabe der Heizleistung nach außen zu erzielen, ist das Innere von CHARLIE 4 mit Polyurethan ausgeschäumt.

Die Messung der Wärmeisolation erfolgt getrennt für die 15 Bereiche. Dabei werden die Oberflächentemperaturen T_s^k der Segmente vorgegeben und die bei der gegebenen Umgebungstemperatur T_a zur Aufrechterhaltung der vorgegebenen Oberflächentemperatur erforderlichen Heizleistungen pro Fläche h_c^k gemessen. Der Wärmedurchgangswiderstand R_c^k der Bekleidung incl. der angrenzenden Haftluftschicht berechnet sich dann gem. Definitionsgleichung [Umbach 1992]:

$$R_c^k = (T_s^k - T_a) / h_c^k \quad \text{für jedes Segment } k$$

Die Temperaturregelung erfolgt mit Hilfe des Personalcomputers. Er gibt für jedes Segment separat die Heizleistung vor. In regelmäßigen kurzen Zeitabständen wird die momentane Temperatur eines Segments über das Datenerfassungsgerät in den Rechner eingelesen und die neue Heizleistung nach dem Algorithmus eines Proportional-Integral-Reglers berechnet und an das Segment ausgegeben.

Nach welchen Grundsätzen die vom Stoffwechsel des Menschen produzierte Wärme auf die einzelnen Bereiche (Segmente) verteilt werden muß, um die Hauttemperaturen des Menschen zu simulieren, soll im folgenden dargelegt werden.

Die Temperaturregelung des Menschen

Als homöothermes Lebewesen ist der Mensch zur Aufrechterhaltung seiner Lebensfunktionen auf eine konstante Körperkerntemperatur nahe 37 °C angewiesen. Dies bedeutet, daß sich Wärmeproduktion und Wärmeabgabe des menschlichen Körpers über die Zeit gemittelt die Waage halten müssen, oder in anderen Worten: Die Leistungsbilanz des Menschen muß im zeitlichen Mittel ausgeglichen sein.

Für die Leistungsbilanz gilt:

$$H = (M - P_{ex}) = H_{res} + H_{ges} + dS / dt$$

H	-	Wärmebildung im Körper [W]
M	-	gesamter metabolischer Leistungsumsatz [W]
P_{ex}	-	verrichtete physikalische Leistung [W]
H_{res}	-	Wärmeverluste aufgrund der Atmung [W]
H_{ges}	-	über die Körperoberfläche abgegebener Wärmefluß [W]
S	-	Wärmeinhalt des Körpers [J]
t	-	Zeit [s]

Übersteigt die momentane Wärmeproduktion des Körpers H die Wärmeabgabe $H_{res} + H_{ges}$, so erhöht sich der Wärmeinhalt des Körpers, dS/dt ist positiv und die Körpertemperatur steigt. Ist umgekehrt die Wärmeabgabe größer als die Wärmeproduktion, dann fällt die Körpertemperatur und dS/dt wird negativ. Die Temperaturregelungsmechanismen des Menschen beeinflussen die Wärmeproduktion und Wärmeabgabe in der Weise, daß im zeitlichen Mittel die Änderung des Wärmeinhalts dS/dt verschwindet und die Körpertemperatur nahezu konstant bleibt.

Zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur nahe 37 °C verfügt der Mensch über mehrere Möglichkeiten, einer äußeren Temperaturstörung entgegenzuwirken. Unterschieden wird dabei zwischen zwei Arten von Effektormaßnahmen, die

weitgehend unabhängig voneinander sind. Unter Verhaltensregulation werden alle Maßnahmen zusammengefaßt, die der Mensch bewußt vornimmt, um die Körpertemperatur auf einen moderaten Wert zu halten. Dazu gehören z. B. das An- und Ablegen von Kleidungsstücken oder das Aufsuchen z. B. von schattigen oder wärmeren Orten. Unter autonomer Regulation versteht man die unbewußten Reaktionen des Körpers auf klimatische Situationen. Im einzelnen sind dies die Durchblutung der Extremitäten und der Blutgefäße unter der Hautoberfläche, die Stoffwechselaktivität und die Aktivität der Schweißdrüsen.

2 Konzept der Gestaltung von HARDY II

2.1 Körperaufbau

Das Grundmodell des Dummys stellt eine Schaufensterpuppe dar, die für den speziell vorgesehenen Verwendungszweck entsprechend hergerichtet wurde. Die Größe der Puppe beträgt 1,80 m. Die Beine der Schaufensterpuppe, ursprünglich entfernbar, wurden aus Stabilitätsgründen fest mit dem Rumpf verbunden (verklebt). Die angewinkelten Arme wurden zum Zwecke des leichten Anziehens der Puppe mit zu prüfender Kleidung entsprechend gerichtet. Das gleiche traf auf den Kopf zu, der von einer seitlichen Blickrichtung in eine nach vorn gerichtete Blickrichtung gebracht wurde und außerdem derart angebracht wurde, daß er über ein Gelenk nach vorn geschwenkt werden kann. Die Nachbildung und Richtung der Gliedmaßen erfolgte mit Polyester.

Zur Realisierung der erforderlichen Standsicherheit des Dummys wurde dieser an einem Stahlgalgen befestigt, der wiederum direkt mit einer Stahlplatte verbunden ist. Die Puppe wiegt ohne installierte Meß- und Thermoregulationstechnik ca. 50 kg. Zur Installation und Wartung der Meßtechnik wurden abnehmbare und verschließbare Arbeitsöffnungen an Rücken, Armen und Beinen in den Hohlkörper der Puppe eingearbeitet. Zur Installation und zur Trassierung des vorgesehenen Thermoregulationssystems und der Thermoelementleitungen wurden jeweils zwischen Kopf und Gliedmaßen und dem Rumpf entsprechende Durchführungen (Öffnungen) vorgesehen. Die Füße wurden bis zum Spann abgeschnitten, so daß die Möglichkeit des Anziehens von Stiefeln besteht. Die Hände des Dummys sind abnehmbar und drehbar gestaltet. Gegenüber dem Rumpf und den anderen Gliedmaßen sind sie jedoch nicht hohl. Das bedeutet, daß die Hände nicht mit in das Thermoregulationssystem und das vorgesehene Temperaturmeßsystem eingebunden sind. Das verschließbare hohle Rückenteil des Dummys ist für spezielle Einbauten vorgesehen. Anlage 1 zeigt die einzelnen Entstehungsphasen des Grundkörpers von HARDY II.

2.2 Realisierung des Thermoregulations- und Temperaturmeßstellensystems

Hauptaufgabe des Dummys ist das möglichst realitätsnahe Nachbilden des Thermoregulationssystems des menschlichen Körpers und die Realisierung eines Temperaturmeßsystems, welches gestattet, die sich auf der gesamten Körperoberfläche einstellenden Temperaturen zu erfassen. Dazu sollte der Dummy HARDY II mit insgesamt 10 Kreisläufen in Form von wasserdurchflossenen Schläuchen sowie mit insgesamt 205 Temperaturmeßstellen versehen werden. Obwohl mit Pt 100 Meßfühlern gegenüber Thermoelementen bekanntlich eine

weitaus höhere Meßgenauigkeit zu erzielen ist, wurden zur Messung der Temperaturen an den einzelnen Meßstellen Ni-Cr-Ni-Thermoelemente verwendet. Hintergrund hierfür war, daß das schon vorhandene moderne 150-kanalige Vielstellenmeßsystem, welches speziell für die Thermoelementmessung konzipiert ist, genutzt werden konnte, wodurch sich die kostspielige Anschaffung eines Parallelsystems erübrigte.

Der Fühleraufbau selbst ist im Bild 2 dargestellt und wie folgt ausgeführt.

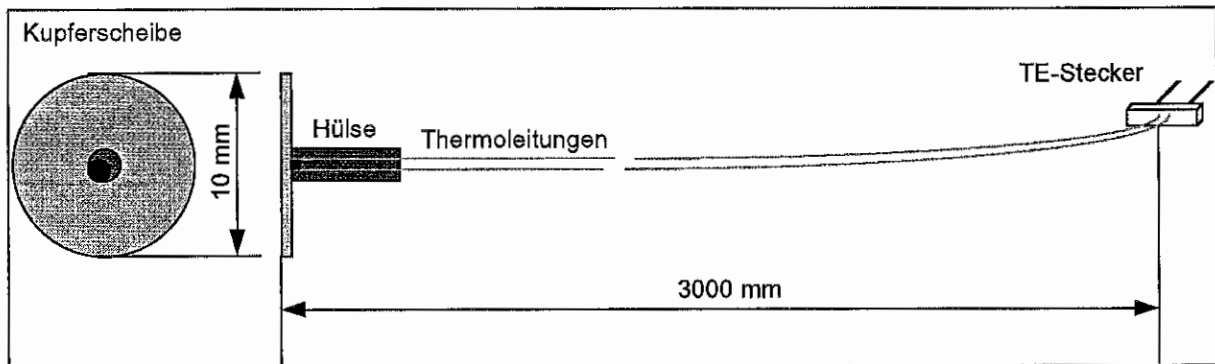


Bild 2: Thermoelement-Fühleraufbau

Auf einer Kupferscheibe von 10 mm Durchmesser ist in deren Zentrum senkrecht eine dünne Kupferhülse aufgelötet, die als Führung und Halterung der Thermodrähte dient. Die Meßperle befindet sich am Ende der Hülse auf dem Kupferplättchen. Die Kupferplättchen haben einerseits den Vorteil, daß sie eine gute Wärmeleitfähigkeit aufweisen und relativ schnell reagieren, andererseits aufgrund der hohen Wärmekapazität stabilisierend auf die Meßwerterfassung wirken.

Die Thermodrähte (2 x 0,2 mm Durchmesser, verdreht) sind jeweils 3000 mm lang und mit freien Drahtenden versehen. Somit ist es möglich, die im vorgesehenen Raster vorbereiteten Meßorte jederzeit mit Thermoelementen zu bestücken, diese gegebenenfalls zu entfernen oder austauschen. Die Realisierung der Integration der Kreisläufe und der Temperaturmeßstellen in den Körper von HARDY II wurde folgendermaßen vorgenommen.

Mit einem Projektor wurde das vorgesehene Thermoelementenraster auf die Körperoberfläche des Dummys projiziert und angezeichnet. Das Raster stellte die Orte des Anbringens der Thermoelemente dar. An diesen Orten wurden jeweils Bohrungen mit einem Durchmesser von 5 mm eingebracht. In diese wurden ca. 3 cm lange Silikonschläuche eingeführt und mit Silikon eingeklebt. Diese Silikonschläuche sollten der Durchführung der später noch zu installierenden Thermoelemente dienen. Um die Temperaturmeßstellen wurden, jeweils im gleichen Abstand zu den Thermoelementen (gleiche Kühlbedingungen) die Schlauchsysteme zur Realisierung des Thermoregulationssystems angebracht. Die Anbringung erfolgte derart, daß die Schläuche mittels Befestigungselementen, die durch Bohrungen im Körper des Dummys geführt wurden, verankert wurden. Insgesamt wurden so 10 Kreisläufe realisiert. Die Zielstellung bestand darin, sämtliche Kreisläufe in geeigneter Art und Weise in eine aus Silikongummi zu schaffende Körperoberfläche zu integrieren bzw. einzubetten. Dazu kam folgende Technologie zur Anwendung.

Der gesamte Körper wurde mit einer gleichmäßig dicken Tonschicht eingehüllt.

Danach wurde eine aus Gips bestehende Gegenform auf die Tonschicht aufgebracht. Nach Austrocknen der Gipsschicht wurde diese wieder entfernt bzw. abgenommen und die Tonschicht entfernt. In der weiteren Folge wurde die Gipsschicht, die mit entsprechenden Gießlöchern versehen war, wieder aufgebracht. In die so entstandene Gußform wurde flüssiger Silikonkautschuk(gummi) gefüllt. Separat wurden die Arme und der Kopf, während Rumpf und Beine in einem Stück modelliert wurden. Nach Aushärtung des Silikongummi wurde die Gipsform erneut entfernt und die über den Silikongummi für die Durchführung der Thermoelemente vorgesehenen herausragenden Silikonschläuche bündig zur Silikongummioberfläche abgeschnitten. Die Silikongummihaut wurde an den für die Öffnung vorgesehenen Flächen entsprechend beschnitten und begradigt, um die Abdeckfähigkeit der abnehmbaren Elemente zum Grundkörper zu gewährleisten.

Die jeweiligen Eingänge bzw. Ausgänge der 10 Kühlkreisläufe wurden, wie in Anlage 2 dargestellt, über Verteiler mit der Wasserzuführungsleitung bzw. der Wasserabführungsleitung verbunden. In jeden Eingang der 10 Kreisläufe wurde zwecks Regulierung des Volumenstromes ein Dreiwegehahn bzw. ein Regelventil eingebaut, um den Wasserbedarf entsprechend der in Vorversuchen ermittelten Ergebnisse nachträglich noch regeln zu können. Vor Einbringung der Verteiler und Regeleinrichtungen mit den Schläuchen in das Körperinnere wurden die Schläuche auf die erforderliche Länge geschnitten sowie die Thermoelemente an den dafür vorgesehenen Körperdurchführungen eingebracht. Dazu wurden die Thermoelemente von außen durch die sich bereits im Dummykörper befindlichen vorbereiteten Silikonschlauch-Kanäle gezogen und nach Erreichen ihrer vorgesehenen Position mechanisch festgesetzt. In 10-er Bündeln segmentiert, wurden die Thermoelemente zu einer Verteiler-Box geführt. Hier befindet sich zugleich auch die aus Thermoelement-Miniatursteckverbindern bestehende Trennstelle zwischen den Thermoelementleitungen und den zum Meßwerterfassungssystem führenden Ausgleichsleitungen. Die verschiedenen Arten der Anbringung der Thermoelemente sind im Bild 3 dargestellt.

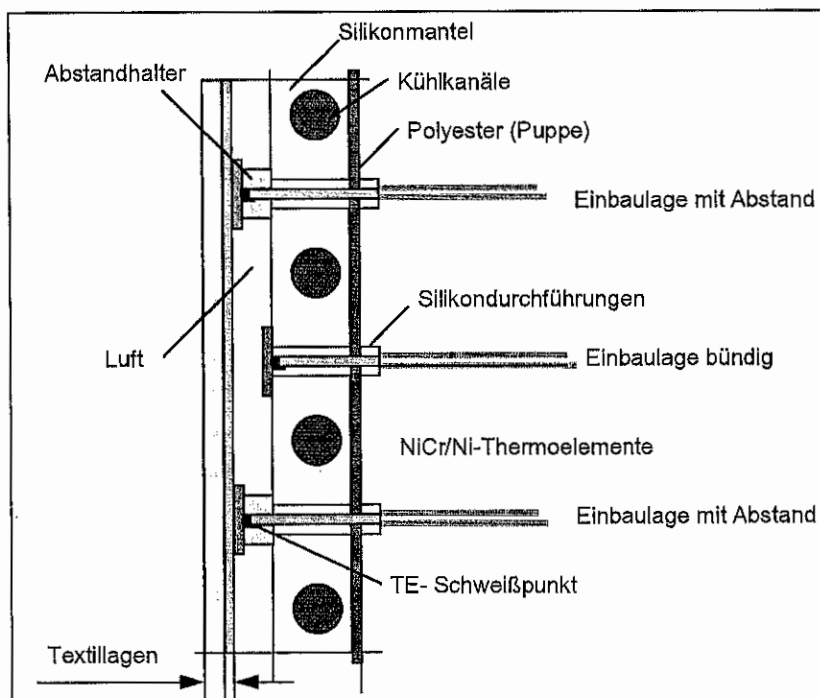


Bild 3: Positionen der Thermoelemente auf der Dummykörperoberfläche

Durch die in Bild 3 dargestellte unterschiedliche Anordnung der Thermoelemente werden zwei Zielstellungen erreicht.

1. Thermoelemente liegen direkt auf der Silikongummihautoberfläche des Dummy auf. Damit wird bewirkt, daß die Körperoberflächentemperatur des Dummy an den einzelnen Positionen direkt ermittelt wird.

2. Thermoelemente werden durch Abstandshalter in einem Abstand von 5 mm zur Dummykörperoberfläche gehalten. Zielstellung ist hier die Messung der Temperaturen auf der Innenseite der auf dem Dummykörper aufliegenden Kleidung, die geprüft werden soll. Durch die Einbaulage der Thermoelemente auf Abstandhaltern ist es möglich, die Temperatur auf der Innenseite der Einsatzkleidung „abzutasten“. Die Thermoelementplättchen nehmen also die Temperatur der inneren (zum Körper gerichteten) Textillage der zu untersuchenden Bekleidung an. Durch die Konstruktion der Thermoelemente mittels Abstandhaltern wird zugleich der Wärmetransport zur Dummykörperoberfläche minimiert und ist somit vernachlässigbar. Außerdem wird dadurch verhindert, daß die Kleidung direkt auf der Körperoberfläche bzw. auf den für die Messung der Körperoberflächentemperatur vorhandenen Thermoelementen (ohne Abstandshalter) aufliegen kann. Die Abstandshalter sind als Hohlzylinder ($l = 5 \text{ mm}$) aus schlechtleitendem Material ausgeführt.

Bei der Anordnung der Thermoelemente wurde von der Hypothese ausgegangen, daß in der Luftschicht zwischen der inneren, zum Körper gerichteten, Textillage und der Dummyoberfläche sich eine mittlere Temperatur einstellt, die durch die Temperaturen auf beiden Oberflächen bestimmt wird. Im Falle einer äußeren thermischen Belastung wirkt die Dummyoberfläche als Kühlfläche. Aufgrund des verwendeten Materials, in das das Thermoregulationssystem eingebettet ist (Silikonkautschuk), und der durch Kühlkanalquerschnitt, Wasserdurchsatz und Belegungsdichte des Systems auf der Dummykörperoberfläche gegebenen Kühlmöglichkeiten, reagiert das Thermoregulationssystem träge. Teilweise ist diese „ausgleichende“ Funktion von Vorteil und es sind, wie die noch vorzustellenden Untersuchungen zeigen werden, Szenarien möglich, bei denen eine gute Übereinstimmung zwischen dem thermischen Verhalten des Dummy und dem des realen Menschen erreicht werden kann.

Wie bereits erwähnt, können insgesamt 205 Thermoelemente in den Dummykörper integriert werden. Nicht alle müssen bzw. sollen installiert werden, dies richtet sich nach der jeweiligen Meßaufgabe. Eine beliebige Rasterung, d. h. Positionierung der Thermoelemente nach Aufgabenstellung ist grundsätzlich möglich, was durch Umstecken von Thermoelementen bzw. durch Ergänzung unbelegter Positionen mit Thermoelementen möglich ist. In der Regel wird das Meßraster so ausgelegt, daß es auf der Vorderseite des Dummys (siehe Anlage 3), die thermisch am stärksten beaufschlagt wird, mit 5 mal 5 cm dichter ist, als das der Rückseite des Dummys zugeordnete grobe Meßraster von 10 mal 10 cm. Aber auch eine vollständige Rasterung des Dummys mit dem Meßraster 10 mal 10 cm ist möglich, um die Temperaturen vollflächig auf der gesamten Dummykörperoberfläche ermitteln zu können (z.B. Dummy im aufgeheizten Brandraum oder sich im thermischen Bereich bewegendes Dummy). Nach der Installation wurden alle Körperausschnitte verschlossen.

2.3 Prinzip der Thermoregulation

Das Prinzip der Thermoregulation wurde im vorliegenden Fall mittels wasserdurchflossener Kreisläufe, realisiert durch in eine Silikongummischicht eingebettete Silikonschläuche, verwirklicht. Zur Anwendung gelangten 10 auf Kopf, Rumpf, Arme und Beine verteilte Kreisläufe. Die Aufteilung in mehrere Kreisläufe wurde unter dem Aspekt der Realisierung einer gleichmäßigen Temperaturverteilung über die gesamte Dummykörperoberfläche vorgenommen. In diesem Zusammenhang wurde Wert darauf gelegt, daß die flächenmäßige Kühlwirkung eines jeden Kreislaufes gleich war. Bei nur einem Kreislauf wären, bedingt durch die während der Untersuchungen von außen einwirkende thermische Belastung, die Wassertemperaturen an unterschiedlichen Positionen des Kreislaufes ebenfalls unterschiedlich gewesen, was gleichbedeutend wäre mit örtlich erheblich abweichenden Körperoberflächen- bzw. Hauttemperaturen. Dies würde dem realen Verhalten des menschlichen Körpers widersprechen.

In alle Kreisläufe wurde mittels eines Kryo-Thermat (Umwälzkühler) - Gerätebeschreibung in Anlage 4 - Wasser mit einer voreingestellten Sollwerttemperatur über eine gemeinsame Zuführungsleitung gepumpt. Nach Durchlaufen der Kreisläufe wurde das Wasser wieder dem Kryo-Thermat zugeführt. Die für die Konstanthaltung der Temperatur der Dummykörperoberfläche auf einen bestimmten Wert erforderliche Wassertemperatur wurde durch Vergleich der Temperatur an einem auf die Dummykörperoberfläche aufgebrachten Thermoelement mit der am Kryo-Thermat voreingestellten Sollwerttemperatur geregelt. Wenn also die Temperatur der Körperoberfläche des Dummy durch äußere thermische Belastung zu hoch wird, erfolgt eine Kühlung des Wassers, im umgekehrten Fall eine Erwärmung. In Bild 4 wird der Prozeß des Erwärmens und des Abkühlens des Dummies HARDY II durch zwei Thermogramme verdeutlicht.

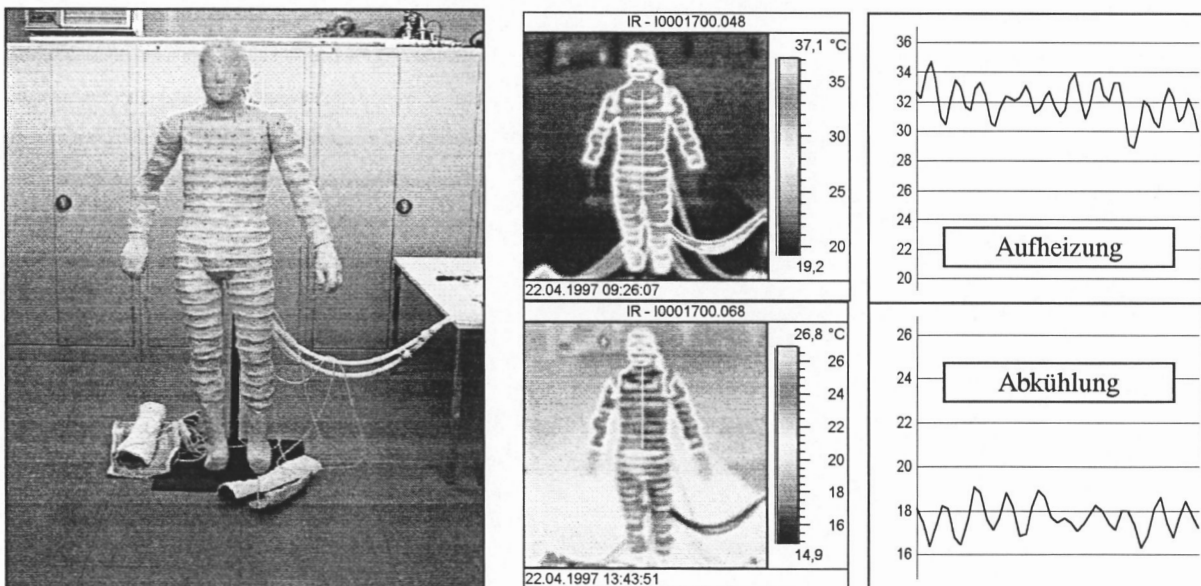


Bild 4: Aufheiz- und Abkühlprozeß des Dummies Hardy II

Der durch die einzelnen Kreisläufe fließende Wasservolumenstrom kann jeweils separat über die den Kreisläufen vorgeschalteten Ventile manuell eingestellt werden. Auf diese Art und Weise kann demzufolge, für jeden Kreislauf gesondert, ein jeweils unterschiedliches Temperaturniveau realisiert werden. Eine

komfortablere Lösung in dieser Hinsicht würde zweifellos durch eine jeweils separate Ansteuerung der einzelnen Kreisläufe erreicht werden. Dazu müßte jedoch für jeden Kreislauf ein Umwälzkühler vorgesehen werden, was aus Kostengründen nicht vertretbar ist.

2.4 Meßwerterfassung

Zur Meßwerterfassung wird das Vielstellen-Meßwerterfassungssystem genutzt, welches sich auf dem Mobilien Brandtechnischen LABOR (MOBLAB) des IdF befindet. Dieses System gestattet die gleichzeitige Erfassung und Auswertung von maximal 150 Meßstellen. Direkt nutzbar davon sind 120 Meßstellen für die Temperaturmessung, die alle im Zeitraum von 1 s abgefragt werden können. Bei Bedarf können jedoch auch die restlichen 30 Meßstellen für die Temperaturmessung genutzt werden. Die Meßzeit kann je nach Erfordernis bzw. Aufgabenstellung verlängert werden (z.B. 5 s oder 10 s für alle Meßstellen), um den Datenanfall und damit den Speicherplatzbedarf zu minimieren. Die Meßdatenverarbeitung und -auswertung mit grafischen Darstellungen über Temperaturverläufe stößt bei der großen Anzahl der einlaufenden Meßdaten (120 -150 Kanäle) an Grenzen sowohl hinsichtlich der Speicherkapazität und des Handlings der Meßwertdateien als auch hinsichtlich der Meßwertdarstellung und deren Anschaulichkeit.

Deshalb werden im vorliegenden Bericht auch nur die für die Aussagefähigkeit relevanten Meßebenen ausgewertet und grafisch dargestellt.

Die Meßwerterfassungsanlage ist über 20 m lange Meßleitungen mit den auf dem Dummy installierten Thermoelementen verbunden. Insgesamt ergeben sich auf Grund der Anzahl der Meßstellen (120 Stück) damit ca. 2,4 km Ausgleichsleitung.

3 Thermische Belastung des Dummies

HARDY II kann auf zweierlei Art thermisch belastet werden.

Thermische Belastung durch Wärmestrahlung

Die thermische Belastung wird durch eine propangasbetriebene Wärmestrahlerwand realisiert. Zu diesem Zweck wird HARDY II auf ein motorgetriebenes Positioniersystem aufgebaut, welches gestattet, den Dummy in x-Richtung (parallel zur Wärmestrahlerwand) und z-Richtung (senkrecht zur Wärmestrahlerwand) zu bewegen. Über diese Richtungsänderungen können die Bestrahlungsstärke und der Einfallswinkel der Strahlung variiert werden. Die Positionierung von HARDY II auf einer Drehscheibe gestattet es außerdem, ihn von jeder beliebigen Seite oder auch wechselseitig über festgelegte Zeiträume mit Wärmestrahlung zu beaufschlagen. Die Intensität der Wärmestrahlung an der jeweils eingestellten Position sowie die gemäß Aufgabenstellung zu ermittelnden Temperaturen auf dem Dummy oder an der Bekleidung können mit Hilfe des mit dem Meßwerterfassungssystem verbundenen Radiometers oder der installierten Thermoelemente ermittelt werden.

Thermische Belastung durch Wärmestrahlung und Konvektion

Beide Komponenten der Wärmeübertragung können durch Originalbrände im Brandhaus des IdF realisiert werden. Die für repräsentative Untersuchungen jeweils erforderlichen Parameter werden auf der Grundlage bereits stattgefundenener Modellbrände eingestellt oder im Rahmen von Vorversuchen ermittelt. Durch den Einsatz unterschiedlicher Brandmedien, der Nutzung unterschiedlicher

Brandraumgrößen und variabler Lüftungsbedingungen können die Parameter entsprechend variiert werden. Parameter wie zugeführte Verbrennungsluft, das Temperaturfeld im Raum oder die Intensität der Wärmestrahlung an unterschiedlichen Orten können meßtechnisch erfaßt werden. HARDY II wird mit der zu untersuchenden Schutzausrüstung und seiner meßtechnischen Ausstattung im Brandraum am Ort der geforderten und realisierten Parameter positioniert und die während der Versuchsdurchführung sich ergebenden Meßwerte werden an das Meßwerterfassungssystem übergeben. Die Variante der thermischen Belastung durch Wärmestrahlung und Konvektion kam bei den im vorliegenden Bericht beschriebenen Untersuchungen nicht zur Anwendung.

4 Untersuchung des Temperierverhaltens

Zur Gewinnung zunächst grundlegender Erkenntnisse über das Temperierverhalten des Dummies HARDY II wurden entsprechende Versuche durchgeführt.

Für später zu treffende Aussagen in Bezug auf das Funktionieren des Thermoregulationssystems waren zunächst einige grundsätzliche Untersuchungen notwendig. Vom Konzept her war das Funktionsprinzip zwar klar, dennoch lagen Unwägbarkeiten des Systems begründet im unbekanntem thermischen Verhalten des Systems als Ganzes. Insbesondere mußte auf Grund der Konstruktion des Thermoregulationssystems und des Einsatzes von Silikonkautschuk zu dessen Einbettung in die Dummykörperoberfläche eine Bewertung dieses thermischen Systems vorgenommen werden. Wichtig in diesem Zusammenhang war beispielsweise die Frage nach den Temperatenausgleichsprozessen auf der Hautoberfläche von HARDY II in Abhängigkeit von der Temperierung der Temperierkreisläufe des Thermoregulationssystems. Da dieser Nachweis der Temperatenausgleichsprozesse auf der Basis der Ermittlung der Temperaturen an relevanten Meßstellen mittels Thermoelementen vorzunehmen war, mußte zunächst unter Berücksichtigung der vorgenommenen Positionierung der Thermoelemente zum integrierten Thermoregulationssystem bzw. zu den Temperierkreisläufen überprüft werden, inwieweit dadurch die Meßergebnisse beeinflusst werden. Diese Untersuchungen erfolgten ohne äußere thermische Belastung von HARDY II.

4.1 Der Einfluß der Einbaulage der Thermoelemente auf die Meßergebnisse

Zielstellung der Untersuchungen war festzustellen, inwieweit Abweichungen der Meßergebnisse an den einzelnen Meßorten des Dummies HARDY II während des Aufheiz- bzw. Abkühlregimes des Thermoregulationssystems auf Grund der Lage der Thermoelemente zum Thermoregulationssystem auftreten. In diesem Zusammenhang sei nochmals auf die Positionierung der Thermoelemente jeweils mittig zwischen den einzelnen Lagen der Temperierkreisläufe gemäß Bild 3, 5 und Bild 6 verwiesen. Ein weiteres Ziel der Untersuchungen war die Bestimmung des thermisch-dynamischen Verhaltens von HARDY II. Es galt festzustellen, unter welchen Bedingungen und nach welchen Zeiträumen beim Aufheiz- bzw. Abkühlvorgang des Thermoregulationssystems sich stationäre Verhältnisse einstellen.

Für diese Untersuchungen wurde neben der Temperaturmessung an 12 Meßstellen (siehe Bild 5) im Brustbereich von HARDY II u. a. das sich bei analogen Untersuchungen bereits bewährte Thermografieverfahren eingesetzt.

Zur Bewertung der ablaufenden Temperatenausgleichsprozesse wurde HARDY II zunächst ohne äußere thermische Belastung und ohne Bekleidung folgendem Regime unterworfen:

Die Temperierkreisläufe des Thermoregulationssystems wurden mittels des Kryothermat in einer Aufheizphase mit Wasser der Temperatur von 50 °C über einen Zeitraum von 80 Minuten gespeist. Danach erfolgte durch Umstellung der Wassertemperatur auf 5 °C über einen Zeitraum von 60 Minuten eine Abkühlphase. Die (im Vergleich zu Körpertemperaturen des Menschen) relativ „extremen“ Temperaturen bzw. Temperaturunterschiede wurden gewählt, um erste und grundlegende Aussagen über die ablaufenden Temperatenausgleichsprozesse im Körper von HARDY II zu gewinnen.

Die Temperaturmeßstellen im Brustbereich waren wie in Bild 5 dargestellt,



Bild 5: Meßstellenanordnung

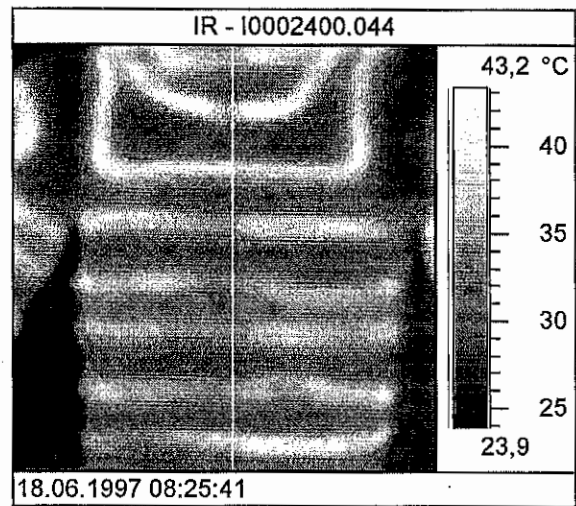


Bild 6: Beispielthermogramm

angeordnet. Sämtliche Meßstellen hatten direkten Kontakt zur Dummykörperoberfläche, d. h. die Thermoelementplättchen lagen direkt auf der Oberfläche auf. Deutlich ist im Bild 5 die Position der Thermoelemente zwischen den Temperierkreisläufen ersichtlich.

Zur Ermittlung des Temperaturprofils auf der Oberfläche des Körpers von HARDY II wurde, wie bereits erwähnt, das Thermografieverfahren eingesetzt. Die Wärmebildkamera erfaßte den Brustbereich des Dummys mit den vorgenannten zwölf Temperaturmeßstellen. Beispielhaft wird im Bild 6 ein Thermogramm des erfaßten Bereiches gezeigt.

In Anlage 13 wird das Aufheiz- (Bild 1) bzw. Abkühlverhalten (Bild 2) an den Meßstellen 1 bis 12 grafisch dargestellt. Zu relevanten Untersuchungszeitpunkten erfolgt außerdem eine Zuordnung des sich jeweils einstellenden Oberflächentemperaturprofils in Form eines Thermogramms. Anlage 14 zeigt Thermogramme und die ihnen zugeordneten Temperaturprofile im vordefinierten Bereich während des oben beschriebenen Aufheiz- bzw. Abkühlprozesses.

Aus den dargestellten Meßwerten in Anlage 13 ist zu erkennen, daß, bezogen auf sämtliche 12 Meßstellen, sich das Temperierverhalten während des

Aufheizprozesses über einen Zeitraum von 80 Minuten erstreckt. Gemessen an der Ausgangstemperatur von 22 °C und der vergleichsweise hohen Temperiertemperatur von 50 °C ($\Delta T=28$ K) findet ein relativ langsames „Aufheizen“ statt, wobei sich nach ca. 60 Minuten stationäre Verhältnisse einstellen. Die maximalen Abweichungen der gemessenen Temperaturwerte liegen in Abhängigkeit vom Einbauort der Thermoelemente bei maximal 2 K. Sie sind ab der 20. Minute im wesentlichen konstant. Die Position insbesondere der Meßstelle 12 (siehe Bild 5) belegt durch ihre gegenüber den anderen Meßstellen räumlichere Nähe zum Temperierkreislauf das Zustandekommen des höheren Meßwertes während des Aufheizvorganges. Die thermischen Ausgleichsprozesse während der Aufheizphase werden auch durch die in Anlage 14 dargestellten Thermogramme und Temperaturprofile verdeutlicht. Deutlich sind mit Zunahme der Aufheizzeit die sich über das ausgewiesene Temperaturprofil einstellenden geringerwerdenden Temperaturdifferenzen erkennbar.

Die in Bezug auf den Aufheizprozeß sich aus den Untersuchungen ableitenden Aussagen treffen im wesentlichen auch auf den Abkühlprozeß zu. Auch hier erfolgt der infolge Abkühlung sich einstellende Temperaturlausgleichsprozeß relativ langsam und auch hier treten maximale Temperaturdifferenzen von 2 K auf. Logischerweise sind dafür die gleichen Temperaturmeßstellen wie beim Aufheizprozeß wegen ihrer örtlich näheren Positionierung zum Temperierkreislauf verantwortlich. In Bezug auf die Interpretation der bildlichen Darstellungen zum Abkühlprozeß in den Anlagen 13 (Bild 2) und 14 wird auf die analogen Aussagen des Aufheizprozesses verwiesen.

Ergebnisse

Zusammenfassend kann zu den Untersuchungen des Einflusses der Einbaulage der Thermoelemente zu den Temperierkreisläufen geschlußfolgert werden:

- Die Silikonkautschukhaut von HARDY II übt eine wärmespeichernde und temperaturlausgleichende Funktion aus, was sich unter dem Aspekt der noch zu führenden Untersuchungen unter externer thermischer Beaufschlagung durch Wärmestrahlung positiv auswirken kann.
- Die gewählte Position der Thermoelemente mitten im Zwischenraum zwischen den Temperierkreisläufen hat sich als günstig erwiesen. Maximale Temperaturdifferenzen von 2 K, bedingt durch eine nicht exakte Positionierung von Thermoelementen zum jeweiligen Temperierkreislauf, sind unter dem Aspekt der Vielzahl vorhandener Meßstellen vernachlässigbar bzw. kompensierbar. Durch Nachjustierung der Lage der betreffenden Thermoelemente lassen sich außerdem noch bestehende Meßfehler korrigieren.
- In Abhängigkeit von der zu realisierenden Temperierkreislauftemperatur (beispielsweise überwacht durch Meßstelle 5 auf der Brust von HARDY II) besteht das Erfordernis einer ca. 1stündigen Temperierung von HARDY II, um in weiten Bereichen der Dummykörperoberfläche ein nahezu homogenes Temperaturfeld bewirken zu können.

4.2 Parallelmessung zweier Temperaturfelder

Ausgehend vom realistischen Versuchsaufbau bei einer Prüfung von persönlicher Schutzausrüstung unter Verwendung von HARDY II, bei der die Schutzausrüstung extern thermisch durch Wärmestrahlung beaufschlagt wird und gleichzeitig die Temperaturen an unterschiedlichen Positionen sowohl auf der Dummykörperoberfläche als auch auf der dem Körper zugewandten Innenseite der Schutzausrüstung zu ermitteln sind, wurde folgende Untersuchungsvariante gewählt. Im Brustbereich von HARDY II wurden 12 Thermoelemente in der Anordnung gemäß

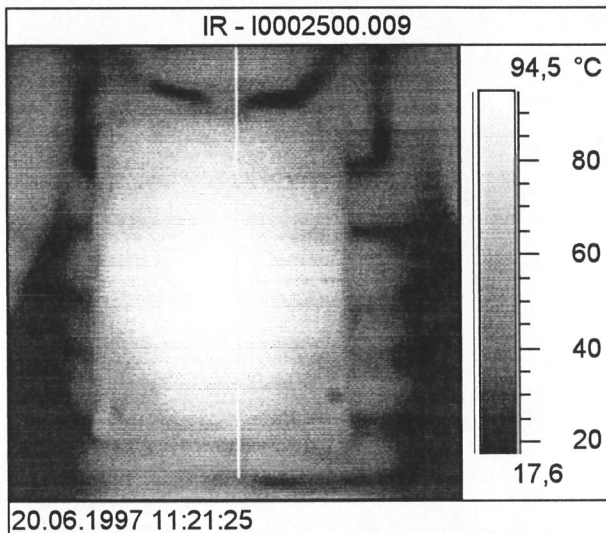


Bild 7: Thermogramm - externe lokale thermische Beaufschlagung



Bild 8: Meßstellenanordnung

Bild 8 installiert. Die Thermoelemente an den Meßstellen 1, 3, 5, 7, 9 und 11 waren so angeordnet, daß sie direkt auf der Dummykörperoberfläche auflagen. Mittels dieser Meßstellen sollte das sich während der Untersuchungen einstellende Temperaturfeld auf der Dummykörperoberfläche ermittelt werden. Die Thermoelemente an den Meßstellen 2, 4, 6, 8, 10 und 12 wurden mittels Distanzhülsen in einem Abstand von 5 mm zur Dummykörperoberfläche gehalten. Mit dieser Art der Positionierung der Thermoelemente wurde die Zielstellung verfolgt, eine direkte Auflage der Schutzausrüstung auf der Dummykörperoberfläche zu verhindern (was zur Verfälschung der Meßergebnisse des Dummykörperoberflächentemperaturprofils geführt hätte) und zugleich das sich auf der dem Körper zugewandten Innenseite der Schutzausrüstung einstellende Temperaturprofil zu ermitteln. Die zu prüfende Schutzausrüstung wurde simuliert durch eine mehrlagige Materialprobe einer Feuerweherschutzbekleidung, die auf den durch die Distanzhülsen im Abstand zur Körperoberfläche gehaltenen Thermoelementen bündig auflag. Als externe Wärmestrahlungsquelle kam ein Infrarotstrahler zur Anwendung.

Mit Hilfe dieses Versuchsaufbaus sollte geprüft werden, inwieweit es möglich ist, durch die vorgenommene unterschiedliche Positionierung (auf Dummykörperoberfläche und im festgelegten Abstand dazu) der in einem Raster angeordneten Thermoelemente gleichzeitig zwei Temperaturfelder (auf Dummy und auf Material) messen zu können. In diesem Zusammenhang sollte gleichzeitig überprüft werden, ob die Temperierkreislaufstruktur unter den gegebenen Bedingungen möglicherweise auch das Temperaturfeld des Materials beeinflusst.

Folgende Versuchsbedingungen wurden realisiert. Zunächst wurde über einen Zeitraum von 30 Minuten die sich im Brustbereich von HARDY II befindende Materialprobe bei nicht in Betrieb gesetztem Temperierkreislauf thermisch von außen beaufschlagt. Nach diesen 30 Minuten wurde bei weiterer und gleicher thermischer Beaufschlagung desselben Bereiches der Temperierkreislauf mit einer Temperierkreislaufwassertemperatur von 5 °C in Betrieb gesetzt und über einen Zeitraum von 40 Minuten in Betrieb gehalten. Danach erfolgte die Außerbetriebnahme der Infrarot-Wärmestrahlungsquelle und ein weiteres Beobachten des vorher thermisch beaufschlagten Bereiches über einen Zeitraum von 5 Minuten. Die sich auf Grund der vorgegebenen Bedingungen einstellenden Temperaturen an den einzelnen Meßstellen wurden ermittelt.

Die Oberflächentemperaturprofile im vordefinierten Bereich wurden unter Anwendung des Thermografieverfahrens ermittelt. In Bild 7 ist beispielhaft das Thermogramm nach 30-minütiger thermischer Beaufschlagung incl. 10-minütiger Kühlung dargestellt. Anlage 11 zeigt die Thermogramme und die ihnen zugeordneten Temperaturprofile auf der der Wärmestrahlungsquelle zugewandten Außenseite der Materialprobe während der einzelnen Phasen des gefahrenen Regimes. In Anlage 12 werden die an den einzelnen Meßstellen sich einstellenden Temperaturverläufe grafisch dargestellt.

Die grafische Darstellung der Temperaturverläufe in Anlage 12 verdeutlicht auf anschauliche Weise die eindeutige Zuordnung der Meßergebnisse zu den beiden Meßebenen (kein Kontakt zur Dummykörperoberfläche und Kontakt zur Dummykörperoberfläche). Dabei ist festzustellen, daß während der Zeit der Aufheizung durch äußere thermische Beaufschlagung bis zum Wirksamwerden der Kühlwirkung des Thermoregulationssystems ab der 30. Minute eine Erwärmung der Dummykörperoberfläche zu verzeichnen ist. So liegen die gemessenen Temperaturwerte zweier Meßstellen mit Kontakt zur Dummykörperoberfläche teilweise sogar über den Werten von Meßstellen, die damit keinen Kontakt haben. Eindeutig separiert werden beide Meßebenen mit Beginn des Wirksamwerdens der Kühlwirkung des Thermoregulationssystems. Nachweisbar in diesem Zusammenhang ist der Einfluß des Thermoregulationssystems auch in Bezug auf die sich auf der Innenseite der Materialprobe an den Meßstellen 1, 3, 5, 7, 9 und 11 einstellenden Temperaturen, die direkt proportional dem Absinken der Dummykörperoberflächentemperatur folgen. Diese Sachverhalte werden auch verdeutlicht durch die in Anlage 11 auf der Basis von Thermogrammen ausgewiesenen Temperaturprofile, die sich entsprechend des jeweiligen Regimes des Thermoregulationssystems auf der Außenseite der Materialprobe einstellen.

Ergebnisse

Durch die vorgenommenen Untersuchungen wurde der Nachweis erbracht, daß eine Darstellung von zwei Temperaturfeldern durch unterschiedliche Positionierung der Thermoelemente auf der Dummykörperoberfläche von HARDY II möglich ist. Des weiteren wurde deutlich, daß im Zuge des Wirksamwerdens des Thermoregulationssystems eine Beeinflussung aller Temperaturmeßstellen im Sinne einer der gewählten Temperatur des Thermoregulationssystems adäquaten Korrektur der Temperaturwerte an den Meßstellen gegeben ist. Dieser Einfluß ist um so gravierender, je höher die Temperaturdifferenzen zwischen der Kreislaufwassertemperatur des Thermoregulationssystems und der sich infolge externer thermischer Beaufschlagung einstellenden Oberflächentemperatur sind.

4.3 Untersuchung mit bekleidetem Dummy HARDY II

Die vorgenommenen Untersuchungen dienten einer ersten Vorabschätzung des thermischen Verhaltens von HARDY II in bekleidetem Zustand bei einer externen thermischen Belastung durch Wärmestrahlung von $0,1 \text{ W/cm}^2$ und $0,2 \text{ W/cm}^2$. Die Temperierungstemperatur des Thermoregulationssystems wurde mit $34 \text{ }^\circ\text{C}$ vorgegeben. Bekleidet wurde HARDY II mit einer Feuerwehrüberjacke, die auf der Außenseite mit drei Meßstellen in Brusthöhe ausgestattet war. Der Dummy HARDY II war am Oberkörper mit 25 Meßstellen versehen (siehe Anlagen 8 und 9 in Verbindung mit Anlage 3). Die Meßergebnisse sind in den Anlagen 8 (Wärmestrahlung von $0,1 \text{ W/cm}^2$) und 9 (Wärmestrahlung von $0,2 \text{ W/cm}^2$) dargestellt. Analoge Vorversuche mit dem Menschen wurden bei einer externen thermischen Belastung durch Wärmestrahlung von $0,2 \text{ W/cm}^2$ durchgeführt. Das Ergebnis dieser Untersuchung in Bezug auf die auf der Außenseite der getragenen Feuerwehrüberjacke auftretenden Temperaturen sowie hinsichtlich der gemessenen Hauttemperatur enthält Anlage 10. Ableitend aus den Voruntersuchungen wurden die im folgenden Abschnitt beschriebenen Hauptuntersuchungen durchgeführt.

5 Nachweis der Eignung des Dummies HARDY II für die Prüfung persönlicher Schutzausrüstung

Basierend auf den Ergebnissen der geführten Untersuchungen wurden nunmehr unter Variation sowohl der Temperierungsbedingungen des Thermoregulationssystems als auch der Intensitäten der thermischen Beaufschlagung durch Wärmestrahlung Versuche mit dem mit einer Feuerwehrüberjacke bekleideten Dummy HARDY II durchgeführt. Zielstellung der Untersuchungen war die Optimierung der Temperierungsbedingungen von HARDY II, um ein möglichst realitätsnahes Nachbilden der Verhältnisse bei analogen Untersuchungen mit dem Menschen zu erreichen. Daraus ableitend sollte die Eignung von HARDY II als Ersatz für den Menschen bei derartigen Untersuchungen nachgewiesen werden.

Als Wärmestrahlungsquelle kam die Wärmestrahlerwand des IdF zum Einsatz. Der mit der Jacke bekleidete HARDY II wurde entsprechend der jeweils gewählten Bedingungen in Bezug auf die Intensität der thermischen Beaufschlagung mittels des Positioniersystems auf den der Intensität der Wärmestrahlung entsprechenden Abstand zur Wärmestrahlerwandoberfläche gefahren und mittig der Wärmestrahlerwand positioniert. Zur Bestimmung des Oberflächentemperaturprofils auf der Innenseite der Feuerwehrüberjacke wurden im Brustbereich des Dummies insgesamt 30 Thermoelemente eingesetzt, welche über Distanzhülsen in einen Abstand von 5 mm zur Dummykörperoberfläche fixiert wurden. Die Bezifferung der Meßstellen enthält Tabelle 1. Die örtliche Zuordnung der Meßstellen ist Anlage 3 zu entnehmen.

Tabelle 1: Bezeichnung und Position der Meßstellen

	A	B	C	D	E
1	34	35	36	37	38
2	42	43	44	45	46
3	50	51	52	53	54
4	58	59	60	61	62
5	66	67	68	69	70
6	73	74	75	76	77

Außer den vorgenannten Meßstellen war zusätzlich noch die Meßstelle 29 installiert. An dieser Meßstelle wurde bei allen durchgeführten Untersuchungen die Hauttemperatur auf der Dummykörperoberfläche ermittelt. Die Position von Meßstelle 29 ist Anlage 3 zu entnehmen.

Die in Tabelle 2 wiedergegebenen Parameter wurden im Rahmen der geführten Untersuchungen realisiert:

Tabelle 2: Untersuchungsparameter

Untersuchung Nr.	Temperierung Dummy [°C]	Wärmestrahlung [W/cm ²]	Ergebnisse in Anlage
1	37	0,1	15
2	37	0,3	16
3	37 vor Versuchsbeginn	0,3	17
	Abschalten Pumpe, Einstellung auf 5		
	Nach Erreichen von 5 Einschalten Pumpe und Versuchsbeginn		
4	31	0,3	18

Für die jeweils relevanten Versuchsparameter werden in den Anlagen 15 bis 18 die sich auf die Meßebebene bezogenen Oberflächeninnentemperaturprofile der Feuerwehrüberjacke nach den Zeiten 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 und 20 Minuten in Form von Oberflächendiagrammen dargestellt. Die bei den Untersuchungen Nr. 1 bis Nr. 4 gemäß Tabelle 2 an Meßstelle 29 gemessenen Werte der Hauttemperatur werden in Anlage 19 grafisch dargestellt.

Der Vergleich der Oberflächentemperaturprofile bei gleicher Temperierung des Thermoregulationssystems von 37 °C, jedoch unterschiedlicher thermischer Belastung der Feuerwehrüberjacke durch 0,1 W/cm² (Anlage 15) bzw. 0,3 W/cm² (Anlage 16) zeigt, daß die höhere thermische Belastung zwangsläufig auch zu höheren Temperaturen auf der Innenseite der Feuerwehrüberjacke führt. Diese höhere thermische Belastung macht sich auch bemerkbar in Bezug auf das Ansteigen der Hauttemperatur. Die Gegenüberstellung des Anstiegs der Hauttemperatur als Funktion der Zeit durch die Bilder 1 und 2 in Anlage 19 zeigt, daß insbesondere ab der Dauer der Einwirkung der Wärmestrahlung von 5 min die Hauttemperaturdifferenzen zwischen der Belastungsvariante 0,1 W/cm² und der von 0,3 W/cm² deutlich größer werden. Dieser Trend wird auch deutlich durch die grafische Darstellung des Vergleiches der Hauttemperaturen in Anlage 22.

Die Anlagen 16, 17 und 18 widerspiegeln die Untersuchungsergebnisse unter den Bedingungen einer gleichen thermischen Belastung der Feuerwehrüberjacke durch Wärmestrahlung von 0,3 W/cm² aber unterschiedlichen Temperierungsbedingungen des Thermoregulationssystems. Hier bestand die Zielstellung der Untersuchungen darin, bei gleicher thermischer Belastung die Temperierungsbedingungen des Thermoregulationssystems derart zu variieren, daß die gewonnenen Meßwerte sich in annähernder Übereinstimmung mit den sich unter gleichen thermischen Bedingungen beim Menschen einstellenden Werten befinden. Die Bewertung der sich auf Grund der gegebenen Bedingungen einstellenden Oberflächeninnen-

temperaturprofile unter Zugrundelegung der in Tabelle 3 ausgewiesenen Meßwerte ergibt folgendes:

Die stärkste thermische Beanspruchung der untersuchten Feuerwehrüberjacke tritt bei der Temperierung von HARDY II mit 37 °C (Anlage 16), gefolgt von der Temperierung mit 31 °C (Anlage 18), auf.

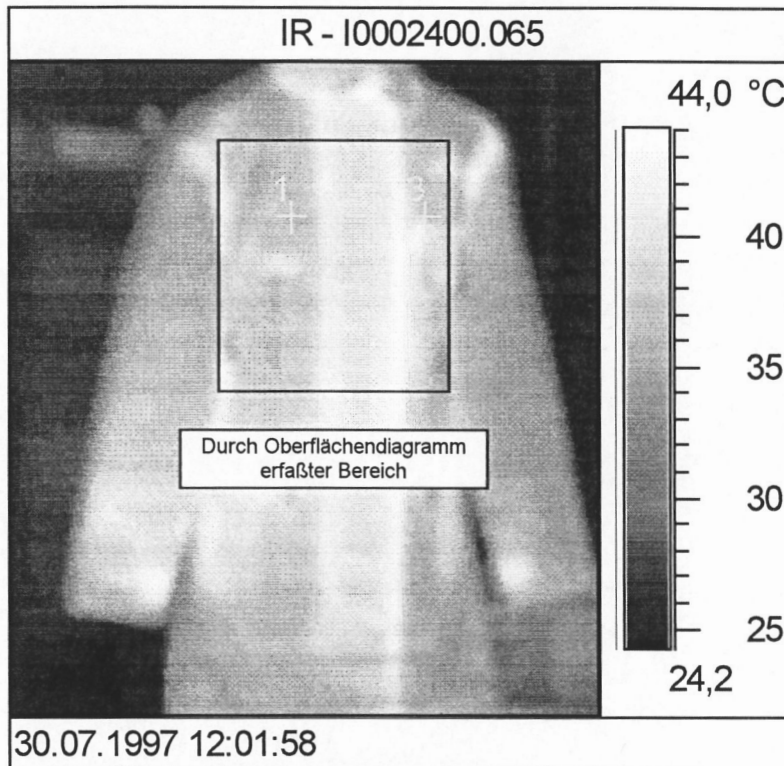


Bild 9: Thermogramm einer thermisch belasteten Feuerwehrüberjacke

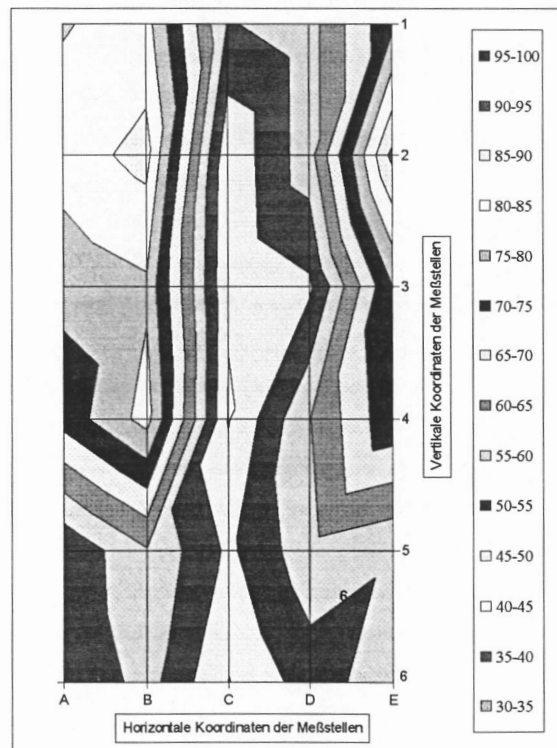


Bild 10: Oberflächendiagramm

Tabelle 3

Meßwerte für die grafischen Darstellungen in den Anlagen 16 bis 18

Meßwerte nach 1 Minute					
Anlage 16	A	B	C	D	E
1	43,05	41,42	34,99	35,82	42,03
2	43,25	46,07	35,04	36,12	45,83
3	41,89	44,42	35,43	36,58	41,96
4	40,25	43,64	35,11	36,92	40,79
5	38,76	39,25	34,84	35,85	38,05
6	38,17	38,15	34,77	35,99	37,39

Meßwerte nach 3 Minuten					
Anlage 16	A	B	C	D	E
1	59,63	56,92	38,28	43,45	58,27
2	61,5	68,1	37,76	44,59	68,36
3	58,66	63,07	39,03	45,15	60,73
4	54,63	63,36	40,62	49,74	59,24
5	49,18	51,78	37,96	44,4	48,48
6	48,26	48,82	38,32	44,93	47,58

Meßwerte nach 5 Minuten					
Anlage 16	A	B	C	D	E
1	66,03	64,73	44,57	48,97	63,96
2	67,81	76,42	42,7	49,72	78,82
3	64,73	69,3	42,55	49,29	72,19
4	60,67	70,63	44,62	57,41	71,42
5	52,65	56,9	41,46	50,25	55,36
6	51,85	53,93	41,99	50,81	55,75

Meßwerte nach 10 Minuten					
Anlage 16	A	B	C	D	E
1	74,16	72,65	50,94	56,59	71,78
2	76,76	86,25	46,76	56,42	89,98
3	72,77	77,91	44,99	53,62	83,05
4	68,99	80,67	48,15	67,72	83,92
5	56,38	64,06	45,38	57,51	63,08
6	55,68	61,63	46,28	57,75	65,6

Meßwerte nach 15 Minuten					
Anlage 16	A	B	C	D	E
1	78,17	77,14	54,76	60,96	76,56
2	82,07	91,57	49,77	61,25	96,35
3	76,78	82,67	47,2	57,12	87,67
4	72,48	86,08	51,98	74,91	89,98
5	58,67	68,18	47,83	62,72	67,79
6	57,22	65,92	48,61	62,14	70,68

Meßwerte nach 20 Minuten					
Anlage 16	A	B	C	D	E
1	79,11	79,47	57,02	63,82	78,05
2	84,18	94,53	52,51	64,71	99,24
3	78,26	85,28	49,33	59,7	88,46
4	74,06	88,94	55,72	79,56	91,9
5	59	70,34	50,11	66,66	69,98
6	57,46	68,44	50,88	65,5	73,05

Meßwerte nach 1 Minute					
Anlage 17	A	B	C	D	E
1	38,55	41,04	33,64	33,96	41,45
2	38,03	40,7	33,72	34,18	42,45
3	39,18	42,09	34,36	34,9	38,81
4	38,18	42,62	34,43	34,36	37,44
5	37,62	37,64	33,64	33,35	35,48
6	36,29	36,71	34,11	34,11	34,9

Meßwerte nach 3 Minuten					
Anlage 17	A	B	C	D	E
1	51,49	56,3	37,2	42,29	57,92
2	52,39	60,33	37,4	43,41	64,54
3	55,48	59,7	36,89	42,55	54,85
4	51,06	63,15	36,94	45,43	53,91
5	47,1	49,17	35,83	41,51	45,33
6	46,71	48,78	35,64	40,87	43,97

Meßwerte nach 5 Minuten					
Anlage 17	A	B	C	D	E
1	57,31	62,66	42,06	46,61	64,35
2	57,46	66,92	39,6	46,05	73,15
3	61,39	66,08	39,6	44,18	64,71
4	57,58	71,7	39,82	49,06	64,13
5	49,84	53,23	37,79	43,89	49,65
6	48,68	53,64	38,42	42,94	49,06

Meßwerte nach 10 Minuten					
Anlage 17	A	B	C	D	E
1	62,21	69,5	46,74	52,68	71,63
2	63,46	76,06	41,02	50,98	83
3	66,54	73,24	40,38	45,47	74,25
4	65,05	81,94	41,19	56,73	75,6
5	53,74	58,23	38,3	48	55,31
6	51	59,87	39,33	46,08	55,45

Meßwerte nach 15 Minuten					
Anlage 17	A	B	C	D	E
1	64,92	72,35	50	57,43	74,68
2	67,3	79,72	42,62	54,92	88,5
3	69,54	76,77	40,94	47,53	77,23
4	68,33	87,06	42,59	62,73	80,57
5	55,54	61,07	39,2	52,31	58,25
6	52,31	63,26	39,89	49,59	59,91

Meßwerte nach 20 Minuten					
Anlage 17	A	B	C	D	E
1	64,9	72,83	52,09	60,33	75,4
2	68,8	81,1	43,91	57,89	91,06
3	69,95	77,97	40,87	48,51	78,1
4	69,35	88,29	43,11	65,91	81,82
5	55,72	62,13	39,77	55,19	60,01
6	52,6	64,44	40,53	51,27	61,1

Meßwerte nach 1 Minute					
Anlage 18	A	B	C	D	E
1	39,5	37,61	30,86	31,33	36,19
2	38,45	36,95	31,13	31,06	38,62
3	38,1	37,37	31,72	31,72	35,46
4	35,78	36,46	32,17	31,18	34,33
5	35,16	33,86	32,12	31,04	33,03
6	33,94	32,63	31,6	31,16	31,8

Meßwerte nach 3 Minuten					
Anlage 18	A	B	C	D	E
1	57,54	54,76	36,11	37,21	49,41
2	56,57	55,46	34,39	37,77	59,78
3	54,64	53,5	36,45	36,69	48,44
4	49,19	52,83	37,94	39,95	46,62
5	45,31	42,24	37,8	37,92	41,02
6	42,61	40,78	35,22	38,24	40

Meßwerte nach 5 Minuten					
Anlage 18	A	B	C	D	E
1	64,76	63,66	40,78	41,39	56,72
2	64,28	64,67	37,4	41,56	70,25
3	62,24	61,71	38,24	40,17	57,39
4	56,31	61,59	39,87	43,92	55,92
5	46,38	47,08	40,49	41,44	45,07
6	44	45,14	38,29	40,41	43,85

Meßwerte nach 10 Minuten					
Anlage 18	A	B	C	D	E
1	73,92	74,74	47,93	48,83	66,5
2	73,83	77,74	41,58	48,39	83,03
3	70,63	72,05	41,1	44,14	69,33
4	66,4	73,49	41,83	51,21	67,75
5	49,75	53,72	44,31	48,71	50,89
6	47,4	51,42	40,66	45,14	51,3

Meßwerte nach 15 Minuten					
Anlage 18	A	B	C	D	E
1	77,95	79,82	52,38	54,53	71,34
2	78,98	83,41	44,2	54,15	88,14
3	74,47	76,17	43,33	47,24	73,86
4	70,45	78,67	43,43	56,63	72,52
5	50,93	57,14	46,68	54,46	54,34
6	49,18	54,75	42,43	49,35	56,39

Meßwerte nach 20 Minuten					
Anlage 18	A	B	C	D	E
1	79,63	82,03	54,53	58,03	73,93
2	82,42	86,65	46,07	57,93	91,13
3	76,48	79,17	45,37	49,08	75,04
4	72,03	81,86	44,66	59,86	73,79
5	50,63	59,57	48,94	58,37	55,64
6	50,05	57,02	44,81	52,5	58,03

Die in den Anlagen ausgewiesenen Oberflächendiagramme weisen unter Zugrundlegung des gewählten Meßrasters recht gut die sich zeitabhängig einstellenden Temperaturprofile auf der Innenseite der Feuerwehrüberjacke aus. Auch der durch die Bilder 9 und 10 vorgenommene quantitative Vergleich eines Oberflächendiagramms mit einem Thermogramm einer thermisch beaufschlagten Feuerwehrüberjacke veranschaulicht eine gute Reproduzierbarkeit der thermischen Verhältnisse durch das gewählte System der Anordnung der Thermoelemente auf der Dummykörperoberfläche.

Vergleicht man die in Tabelle 3 in Abhängigkeit von der Belastungsdauer ausgewiesenen Temperaturwerte, so sind an sich gravierende Unterschiede in Größenordnungen nicht erkennbar. Ableitbar aus den Untersuchungsergebnissen ist aber wiederum, daß die Temperierungsbedingungen sich unmittelbar auswirken auch auf das Temperaturprofil auf der Innenseite der Feuerwehrüberjacke, obwohl die dieses Temperaturprofil messenden Thermoelemente in keinem direkten Kontakt zur temperierten Dummykörperoberfläche stehen. Geschlußfolgert werden muß in diesem Zusammenhang, daß in der Luftschicht zwischen Dummykörperoberfläche und der Innenseite des Materials der Feuerwehrüberjacke, deren Dicke ja 5 mm beträgt, ein Temperatúrausgleich zwischen „heißer und kalter Fläche“ stattfindet. Insofern trägt die beispielsweise kühlere Dummykörperoberfläche zur „Kühlung“ der gegenüberliegenden Materiallage bzw. der Thermoelemente und somit zur Erniedrigung der gemessenen Temperaturen bei. Entscheidenden Einfluß auf die Meßergebnisse auf der Innenseite der Feuerwehrüberjacke muß also der vom Dummy durch das Thermoregulationssystem vorgegebene „Grad der Kühlung“ sein.

Um die Realitätsnähe der Meßergebnisse bestimmen zu können und damit Schlußfolgerungen in Bezug auf das erforderliche Regime des Thermoregulationssystems ziehen zu können, wurden Vergleichsuntersuchungen durchgeführt. Einbezogen in die Untersuchungen wurden:

- HARDY I - der aus Holz gefertigte Dummy,
- HARDY II - der Dummy mit Thermoregulationssystem und
- der Mensch,

die alle die gleiche Feuerwehrüberjacke trugen.

Unter Zugrundelegung einer thermischen Belastung von $0,3 \text{ W/cm}^2$ und im Falle von HARDY II unter Variation der Temperierung des Thermoregulationssystems wurden jeweils die Temperaturen auf der Außen- und Innenseite der Feuerwehrüberjacke sowie auf der Haut des Menschen bzw. der jeweiligen Dummyoberfläche gemessen. Die Meßergebnisse werden in den Anlagen 20 für HARDY I, 21 für HARDY II und 22 für den Menschen ausgewiesen. Eine zusammenfassende Darstellung des Vergleiches der Hauttemperaturen zwischen Mensch, HARDY I und HARDY II zeigt Bild 11 (siehe auch Anlage 23).

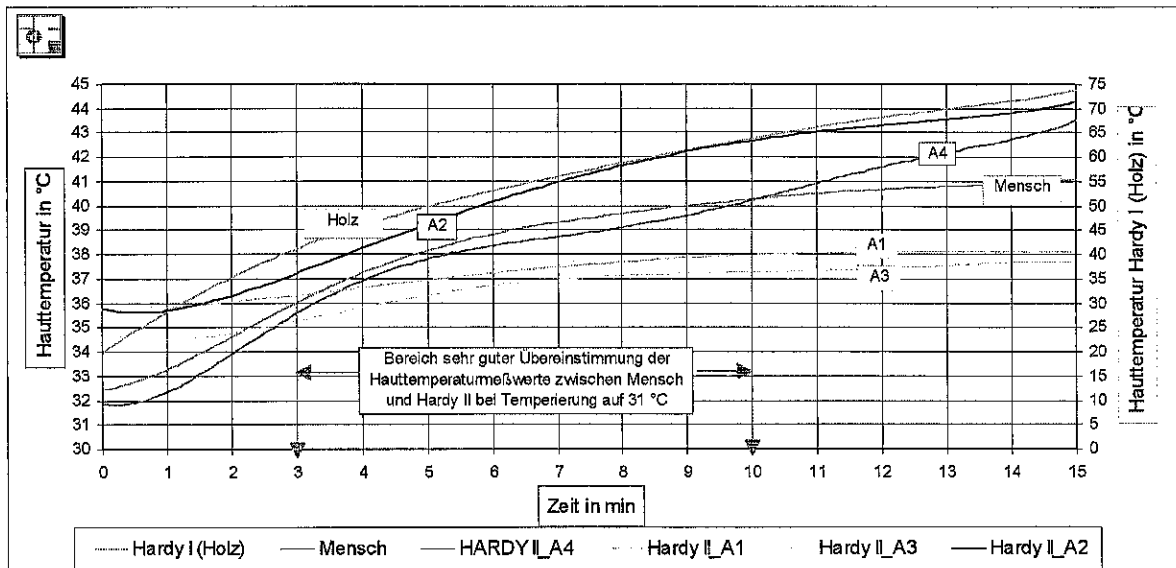


Bild 11: Vergleich der Hauttemperaturen Mensch -HARDY I - HARDY II

Der Vergleich aller in Anlage 23 ausgewiesenen Meßkurven mit der des Menschen läßt erkennen, daß die beste Übereinstimmung mit der Hauttemperaturkurve des Menschen erreicht wird durch die Kurve A4 und zwar im Bereich von ca. 3 bis 10 Minuten. Die Kurve A4 repräsentiert die Meßergebnisse auf der Dummykörperoberfläche von HARDY II bei einer Temperierung des Thermoregulationssystems von 31 °C. Feststellbar ist, daß die unter anderen Temperierungsbedingungen ermittelten Hauttemperaturen von HARDY II doch schon erheblich von der „Normkurve“ des Menschen abweichen. Wird die Hauttemperaturkurve von HARDY I (Holzkörper) betrachtet, so ist die Aufheizung des Holzkörpers wegen der fehlenden Wärmeableitung eindeutig ersichtlich. Insofern konnte also der Nachweis des Funktionierens des Thermoregulationssystems von HARDY II eindeutig erbracht werden. Hierzu muß jedoch bemerkt werden, daß diese Aussage strenggenommen nur zutreffend ist für die konkret vorliegenden Bedingungen während der Untersuchungen. So wird eine Veränderung der externen thermischen Belastung von HARDY II immer zu einer Neubestimmung des Regimes der Temperierung des Thermoregulationssystems führen müssen.

6 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In Auswertung der vorgenommenen Untersuchungen kann die grundsätzliche Aussage getroffen werden, daß die mit der Entwicklung von HARDY II angestrebte Zielstellung, ein dem thermischen Verhalten des menschlichen Körpers näherkommendes Modell eines Dummys zu schaffen, erreicht wurde. Damit wurden wichtige Grundlagen für perspektivische Aufgaben auf dem Gebiet der Prüfung persönlicher Schutzausrüstung geschaffen. Der Vorteil des entwickelten Dummys HARDY II gegenüber existierenden Versuchspuppen besteht vor allem darin, daß das verwirklichte Thermoregulationssystem in der Lage ist, auf jede thermische Situation zu reagieren. Das heißt, HARDY II ist sowohl in der Lage, seinen Körper bei kühlen Umgebungsbedingungen zu erwärmen, als auch, im Falle äußerer thermischer Belastung, entsprechend zu kühlen. Damit lassen sich aus energetischer Sicht zugleich Rückschlüsse ziehen in Bezug auf eine Komponente der Thermoregulation des menschlichen Körpers, das Schwitzen. Das verwendete

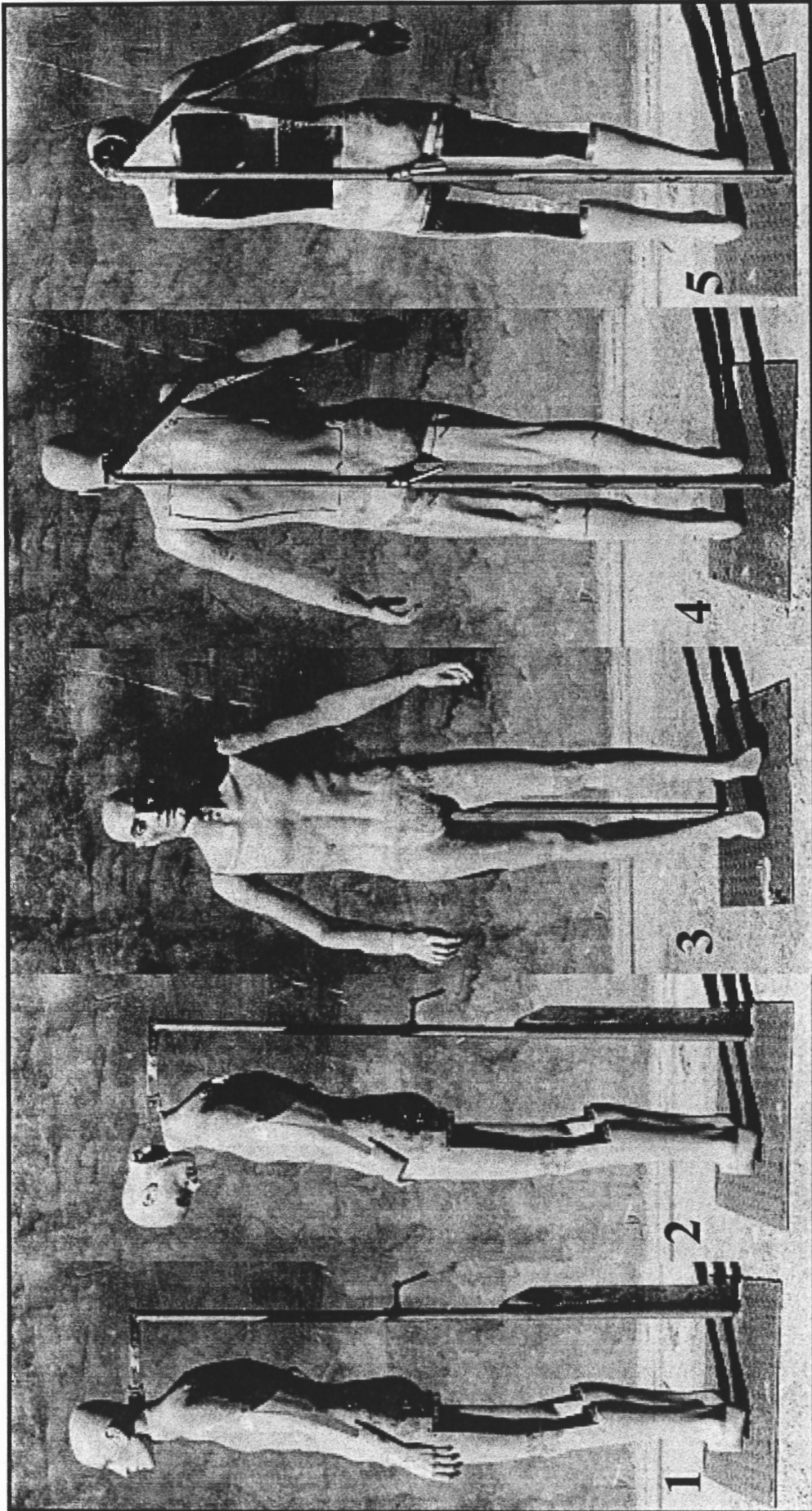
Prinzip der Thermoregulation in Form von sektionierten wasserdurchflossenen Kreisläufen kann als praktikabel bewertet werden. Nachteilig wirkt sich gegenwärtig noch aus, daß das System entsprechend der jeweiligen thermischen Belastung einer Justierung bedarf. Das heißt, daß auf der Grundlage der vorliegenden Belastung durch Voruntersuchungen zu ermitteln ist, welche Temperierkreislauftemperatur zu realisieren ist, damit die Temperaturverhältnisse auf der Dummykörperoberfläche denen auf der Haut des Menschen unter gleichen Belastungsbedingungen entsprechen. Ein noch zu vertretender Nachteil, der nur durch einen weitaus höheren materiellen Aufwand auszugleichen wäre, besteht darin, daß entgegen der Realität gegenwärtig noch davon ausgegangen wurde, daß auf der gesamten Körperoberfläche von HARDY II eine einheitliche Temperatur herrscht.

Trotz der noch vorhandenen Mängel konnte nachgewiesen werden, daß durch den Einsatz von HARDY II erheblich realistischere Temperaturmessungen an der zu untersuchenden persönlichen Schutzausrüstung zu erzielen sind als an Dummys ohne Thermoregulationssystem. Eingeschätzt werden kann außerdem, daß sich das verwirklichte Prinzip der Messung von Temperaturen auf der dem Körper zugewandten Innenseite der persönlicher Schutzausrüstung durch Realisierung eines definierten Abstandes der Thermoelemente zur Dummykörperoberfläche als tragfähig erwiesen hat. Unberücksichtigt bleiben mußten im Rahmen der Untersuchungen jedoch Aspekte, die in Zusammenhang zu sehen sind mit den Bewegungsvorgängen des Menschen, die sich ebenfalls auf die Temperaturengleichprozesse innerhalb der persönlichen Schutzausrüstung auswirken. Darunter zu verstehen ist vordergründig die mit den Luftschichten zwischen den Materiallagen der persönlichen Schutzausrüstung verbundene Problematik des Luftaustausches durch Ventilationsvorgänge infolge Bewegung.

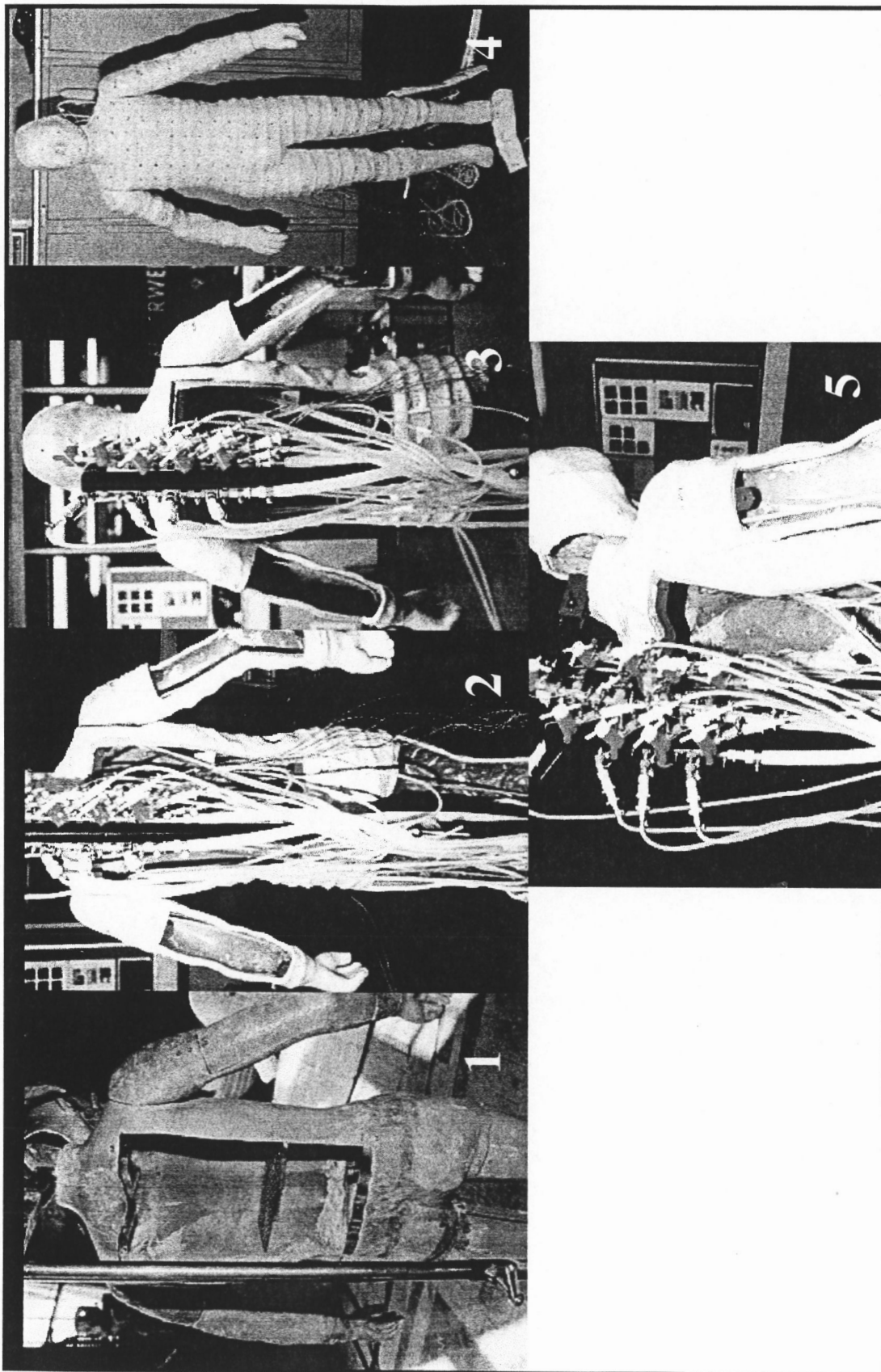
Mit den vorgenommenen und im Bericht dargelegten Untersuchungen wurden erste Schritte getan, um eine realistischere Basis für die als notwendig erkannte Komplexprüfung persönlicher Schutzausrüstung zu schaffen. Es wird jedoch aus Gründen eines effektiven Einsatzes von HARDY II notwendig sein, weitergehende Untersuchungen durchzuführen. Dabei sollten sämtliche zur Verfügung stehenden Meßstellen in diese Untersuchungen einbezogen werden, um das Konzept einer flächenbezogenen Auswertung der Temperaturverhältnisse auf der Körperoberfläche von HARDY II perspektivisch realisieren zu können. Auch sollten vor allem die für unterschiedliche thermische Belastungen von HARDY II relevanten Parameter für ein jeweils stabiles Thermoregulationssystem ermittelt werden.

Literatur

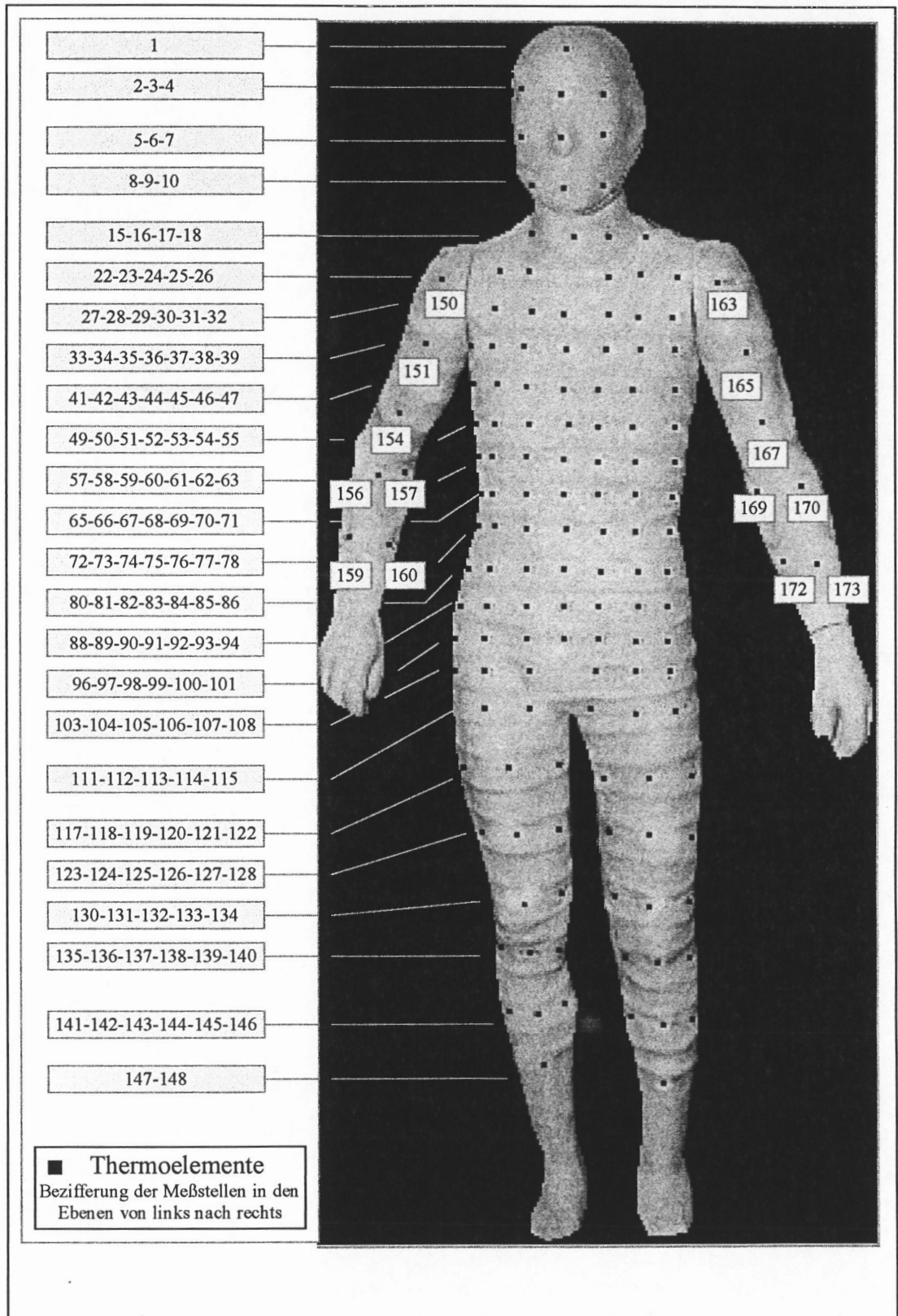
- [UVV 89] Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren (GUV 7.13); Mai 1989
- [Bilger 93] Bilger, B.: Charlie 4 - ein neues Thermoregulationsmodell des Menschen zur genaueren physiologischen Bewertung von Kleidung
Hohensteiner Forschungsbericht Bekleidungsphysiologie; Ergebnisse und Informationen zu wichtigen Sachfragen und aktuellen Problemen, Mai 1993
- [EN 469 96] Schutzkleidung für die Feuerwehr; Anforderungen und Prüfverfahren für Schutzkleidung für die Brandbekämpfung; Deutsche Fassung EN 469 : 1995; Ausgabe Januar 1996
- [EN 1486 96] DIN EN 1486 Schutzkleidung für die Feuerwehr; Prüfverfahren und Anforderungen für reflektierende Kleidung für die spezielle Brandbekämpfung; Deutsche Fassung EN 1486:1996; Ausgabe August 1996
- [Pasch 96] Pasch U.: Anforderungsprofil für Schutzkleidung der Feuerwehr für die Brandbekämpfung - Grundsatz der Einsatzkräfte beim gesamten Einsatzspektrum -; Forschungsbericht der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V - Ausschuß für Feuerwehrangelegenheiten; 1996
- [See-BG 88] Richtlinien über die Zulassung von Hitzeschutzanzügen der See-Berufsgenossenschaft Hamburg vom 18. August 1970 i. d. F. vom 30. September 1988
- [HuPF 96] Herstellungs- und Prüfungsbeschreibung für eine universelle Feuerwehrsutzkleidung - eine Empfehlung der Arbeitsgruppe Feuerwehrsutzkleidung des Ausschusses für Feuerwehrangelegenheiten; Stand 12/96-A
- [Haake 96] Bedienungsanleitung Umwälzkühler Kryo-Thermat 140



Ansichten des Grundkörpers von HARDY II



Technische Ausrüstung des Dummys HARDY II



Positionen der bezifferten Temperaturmeßstellen auf der Vorderseite von Hardy II

Gerätebeschreibung Umwälzkühler Kryo-Thermat® 140*

Anwendungen

Umwälzkühler halten eine vorbestimmte Menge an Flüssigkeit in einem geschlossenen Temperierkreislauf. Die Flüssigkeit nimmt beim Durchströmen eines externen Objektes Wärme auf, die ihr im Kühler entzogen und an die Umgebung abgegeben wird. Hierdurch wird z.B. Leitungswasserkühlung ersetzt.

Der Ersatz von Leitungswasserkühlung ist nur eine der Anwendungen des Umwälzkühlers. Auch die Temperierung bei konstanter Temperatur unterhalb der üblichen Leitungswasser-Temperatur ist häufig erforderlich. Für Kühlfallen oder Wärmetauscher werden auch Temperaturen um ca. 0 °C verlangt, um Temperaturdifferenzen zum Entziehen von Wärme auszunutzen. Für Destillationen sind häufig sogar Temperaturen im Minusbereich erforderlich, um die Kondensationsleistung des Glaskühlers zu erhöhen.

Eine andere Anwendung des Umwälzkühlers besteht darin, *reproduzierbare Versuchsbedingungen* sicherzustellen (Umwälzkühler erbringen eine konstante Kühltemperatur und einen konstanten Flüssigkeitsdruck).

Sicherheitseinrichtungen

Dem umfangreichen Sicherheitssystem des Gerätes liegt das Konzept des „einzelnen Fehlers“ zugrunde (EN 61010). Hierbei geht man davon aus, daß zwei voneinander unabhängige Fehler nicht gleichzeitig auftreten. Das System bietet also Schutz gegen *einen* (einzig) Fehler. Dieser eine Fehler liegt bereits vor, wenn

- die Betriebsanleitung nicht befolgt wird,
- der Übertemperatur-Begrenzer nicht richtig eingestellt wird.

Die Sicherheitsreserve ist somit bereits aufgebraucht.

Die Kryothermate sind für den unbeaufsichtigten Dauerbetrieb geeignet.

Ein fest eingestellter Unterniveauschutz, ein Pumpen-, Rührer- und Kompressorschutz und eine Fühlerüberwachung sind vorhanden.

Wenn eine der Sicherheitseinrichtungen anspricht, schaltet das Gerät bleibend ab.

* [Haake 96]

Funktionen

Stand-by-Funktion

Alle Bedienungsschritte werden vor dem Start des Gerätes ausgeführt. Bei Gerätestart ist gesichert, daß alles richtig gewählt ist.

Pumpe separat schaltbar

Vorgekühlte Flüssigkeit kann so dem Kreislauf zugeführt werden.

RTA = Real-Temperatur-Abgleich

Durch Eingabe eines Korrektur-Faktors kann die Ist-Temperatur-Anzeige kalibriert werden. Das erleichtert die Verwendung des Gerätes als Prüfmittel nach DIN/ISO 9000.

Serielle Schnittstelle RS 232C

Die serielle Schnittstelle ermöglicht die Ansteuerung und Abfrage durch einen Computer oder die Einbindung des Umwälzkühlers in automatische Prozesse.

Externregelung

Ein separater Pt100-Fühler kann im externen Objekt plaziert und an den Kühler angeschlossen werden. Die vorgewählte Soll-Temperatur wird dann im externen System gehalten. Um unzulässige Temperaturüberschreitungen im Bad des Kühlers zu verhindern, werden eine obere und untere Temperaturgrenze vorgewählt.

Fernalarm

Relaiskontakte (offen und geschlossen) stehen für den Anschluß von Fehlalarmgebern zur Verfügung. Auch eine Auslösung des Sicherheitskreises im Kühler durch ein externes Element ist möglich. Permanente Fernüberwachung ist möglich.

Automatische Nachfüllung

Besonders zu empfehlen bei höheren Arbeitstemperaturen 30° - 60 °C). Über ein Magnetventil kann verdunstete Flüssigkeit automatisch nachgefüllt werden. Es muß lediglich eine Wasserleitung oder ein Nachfüllgefäß angeschlossen werden. Das Ventil öffnet kurz bevor das Gerät wegen Wassermangels auf Störung geht.

		Kryo-Thermat		
		45	90	140
Temperaturbereich	°C	-10..60 °C	-20..60 °C	-25..60 °C
Temperaturkonstanz	+/- K	0,2	0,2	0,2
Kühlleistung bei 15°C *)	kW	0,45	0,9	1,4
Heizleistung	kW	2	2	2
Pumpenleistung *)		4 verschiedene Pumpen zur Auswahl		
Pumpe TP1: Druck max.	bar	0,6	0,6	0,6
Förderstrom max.	l/min	55	55	55
Pumpe TP2: Druck max.	bar	1,3	1,3	1,3
Förderstrom max.	l/min	95	95	95
Pumpe BP1: Druck max.	bar	6	6	6
Förderstrom max.	l/min	4,5	4,5	4,5
Pumpe BP2: Druck max.	bar	6	6	6
Förderstrom max.	l/min	11	11	11
Pumpenanschluß		R 1/2"	R 1/2"	R 1/2"
Pumpe separat schaltbar		ja	ja	ja
Füllvolumen	l	11,5..14	11,5..14	11,5..14
Füllöffnung		R 1 1/4"	R 1 1/4"	R 1 1/4"
Nachfüllanschluß	mm	6	6	6
Überlauföffnung	mm	NW20	NW20	NW20
Ablaßöffnung		R 1"	R 1"	R 1"
Übertemperaturschutz		variabel	variabel	variabel
Unterniveauschutz		fest	fest	fest
Schallpegel (1m) von..bis **)	dB(A)	56..59	56..59	56..59
Abmessungen: Breite x Tiefe	mm	373x730	373x730	373x730
Höhe	mm	700	700	700
Gewicht von..bis **)	kg	57..64	60..67	61..68
Kältemittel		R134a	R134a	R134a
zul. Umgebungstemperatur	°C	10..40	10..40	10..40
Netzanschluß	V/Hz	230 ± 10%/5	230 ± 10%/5	230 ± 10%/5
		0	0	0
Leistungsaufnahme bei Kühlen	VA	750	1030	1710
Leistungsaufnahme bei Heizen	VA	2590	2750	3360
Bestellnummern:				
mit Pumpe TP1		324-0111	325-0111	326-0111
mit Pumpe TP2		324-0121	325-0121	326-0121
mit Pumpe BP1		324-0211	325-0211	326-0211
mit Pumpe BP2		324-0221	325-0221	326-0221

*) siehe auch Diagramm

**) Schallpegel und Gewicht von..bis=Pumpe TP1..Pumpe BP2

Bild 1: Technische Daten Kryo-Thermat 140
(relevante Parameter grau unterlegt)

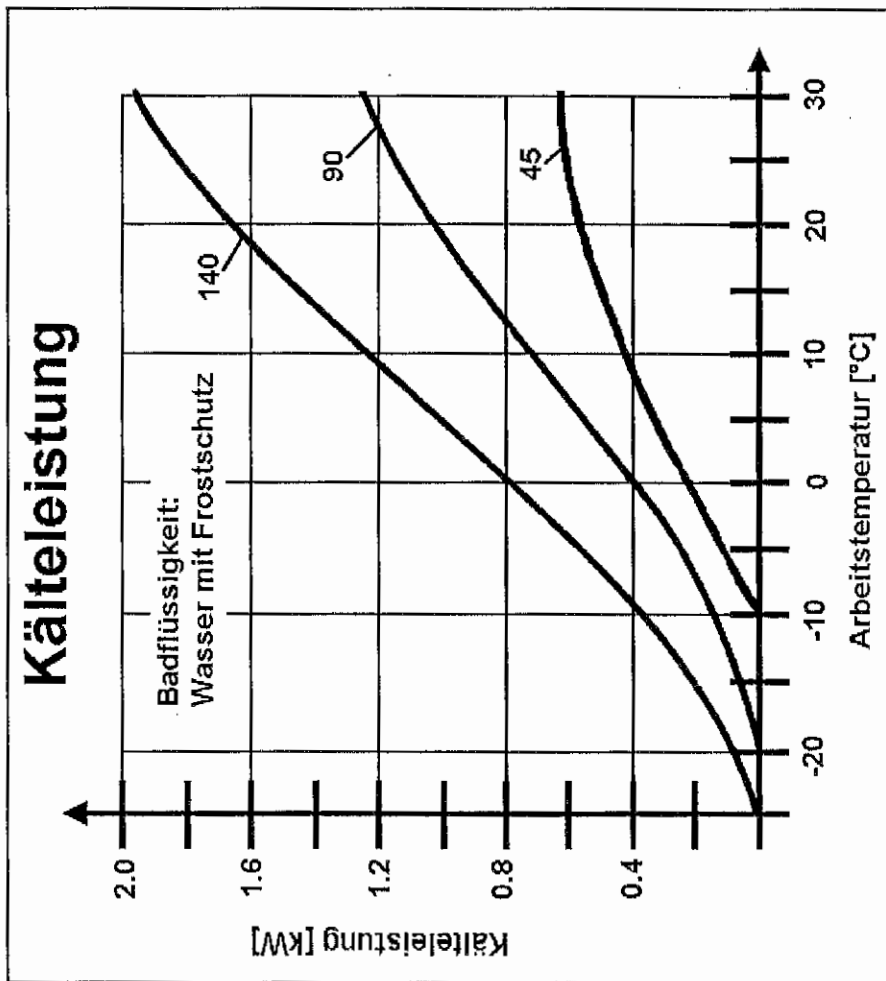
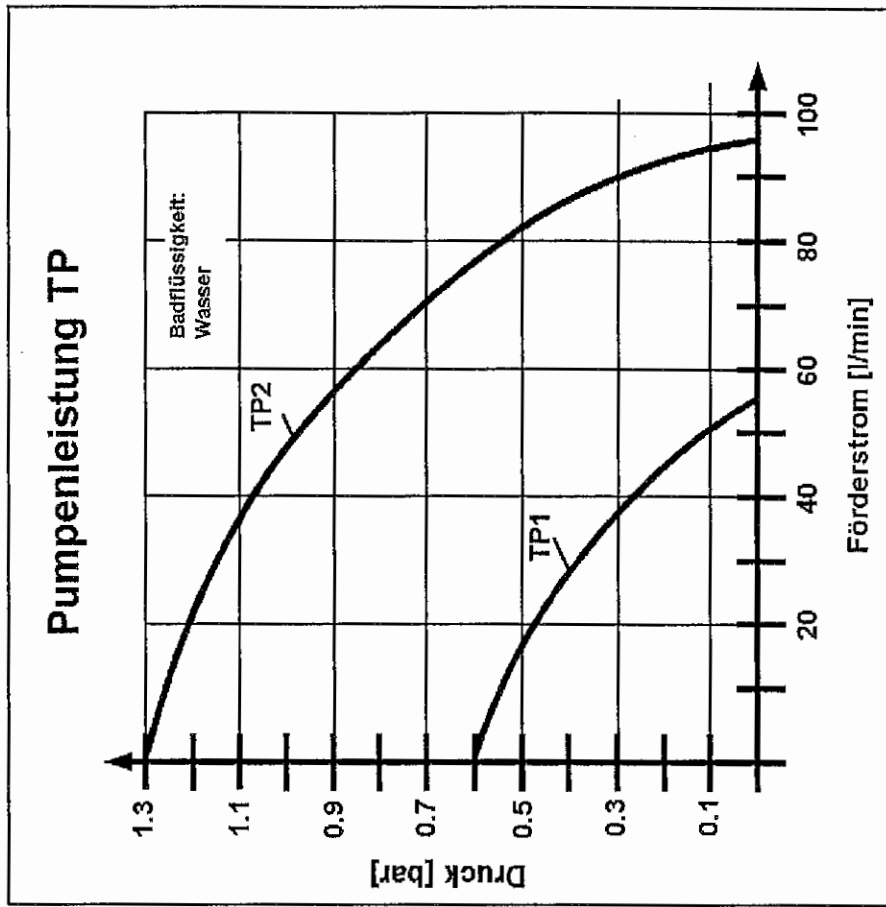
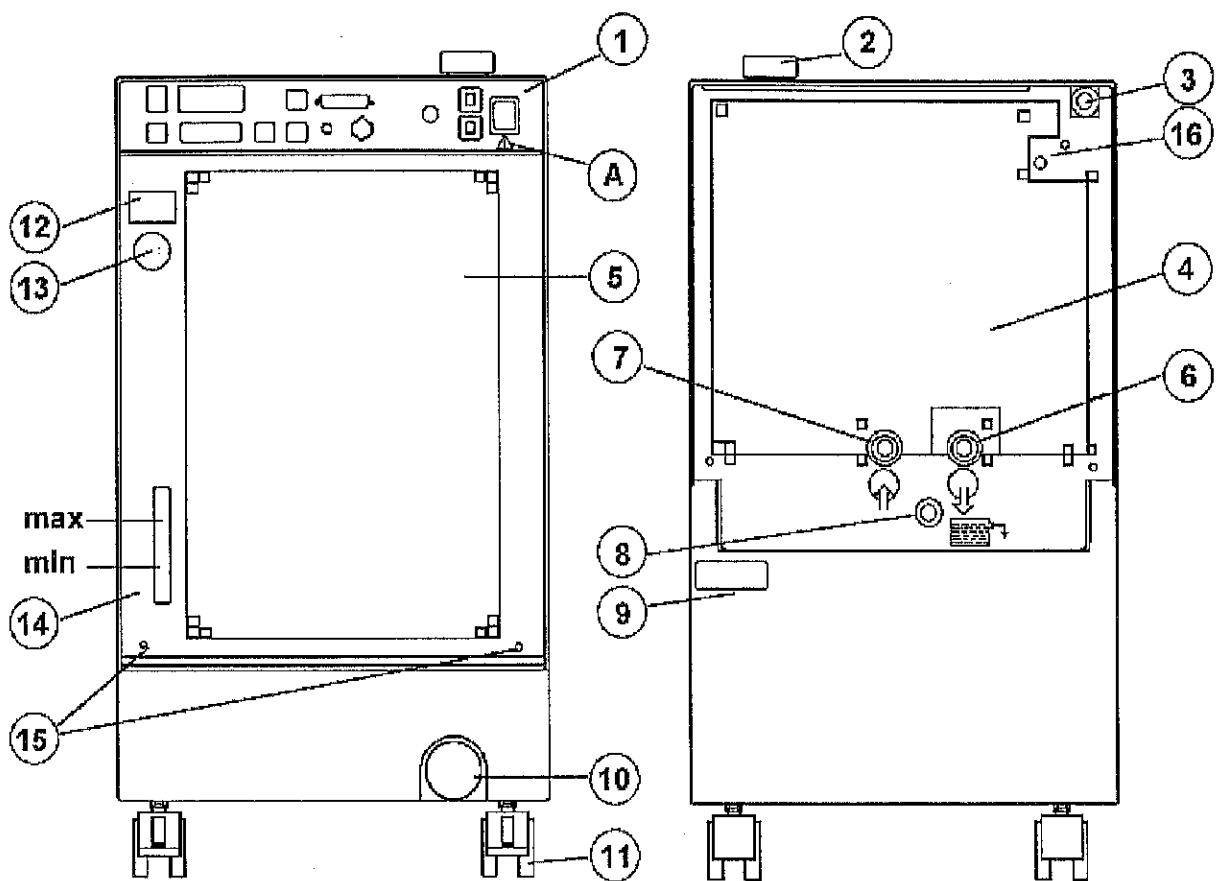


Bild 2: Kälte- und Pumpenleistung des Kryo-Thermat 140



- A** Hinweis: Die Bedienanleitung lesen!
- 1 Bedienungsfeld
 - 2 Einfüllöffnung für Badflüssigkeit
 - 3 Netzanschluß
 - 4 Lüftungsgitter (Luftaustritt)
 - 5 Lüftungsgitter (Luft Eintritt)
 - 6 Druckstutzen der Pumpe
 - 7 Rücklauf
 - 8 Überlauf
 - 9 Typenschild
 - 10 Ablaßschlauch
 - 11 Fahrrollen
 - 12 Typbezeichnung des Gerätes
 - 13 Typbezeichnung der Pumpe
 - 14 Füllstandsanzeige
 - 15 Befestigungsschrauben des Frontgitters
 - 16 Schlauchanschluß automatische Nachfülleinrichtung

Bild 3: Funktions- und Bedienungselemente an der Front- und Rückseite des Kryo-Thermat 140

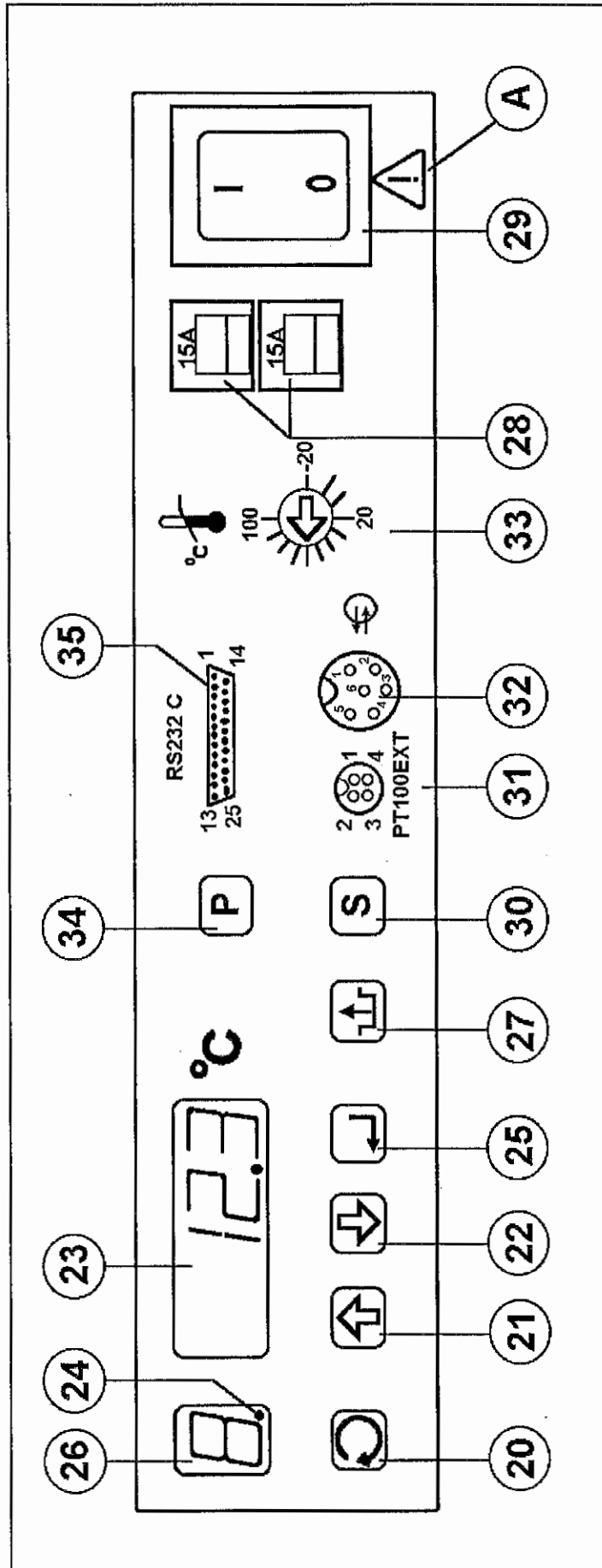


Bild 4: Bedienungsfeld des Kryo-Thermat 140

Schutzkleidung für die Feuerwehr
 Prüfverfahren und Anforderungen für reflektierende
 Kleidung für die spezielle Brandbekämpfung
 Deutsche Fassung EN 1486:1996

DIN
EN 1486

ICS 13.340.10

Deskriptoren: Schutzkleidung, Feuerwehr, Prüfverfahren, Anforderung, Brandbekämpfung

Protective clothing for firefighters – Test methods and requirements for reflective clothing for specialized fire fighting;
 German version EN 1486:1996

Vêtements de protection pour sapeurs-pompiers – Méthodes d'essai et exigences relatives aux vêtements réfléchissants pour opérations spéciales de lutte contre l'incendie;
 Version allemande EN 1486:1996

Die Europäische Norm EN 1486 : 1996 hat den Status einer Deutschen Norm.

Beginn der Gültigkeit

EN 1486:1996 wurde am 1996-06-20 angenommen.

Nationales Vorwort

Diese Norm enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

Diese von der Arbeitsgruppe 5.2 "Schutzkleidung gegen Hitze und Feuer" des Europäischen Komitees CEN/TC 162 "Schutzkleidung einschließlich Hand- und Armschutz und Rettungswesten" ausgearbeitete Norm wurde vom Normenausschuß "Persönliche Schutzausrüstung (NPS)" in das Deutsche Normenwerk übernommen.

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 1421 siehe DIN 53354

ISO 4674 siehe DIN 53356

ISO 5081 siehe DIN 53857-1

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN 53354

Prüfung von Kunstleder – Zugversuch

DIN 53356

Prüfung von Kunstleder und ähnlichen Flächengebilden – Weiterreißversuch

DIN 53857-1

Prüfung von Textilien – Einfacher Streifen-Zugversuch an textilen Flächengebilden, Gewebe und Webbänder

Fortsetzung 8 Seiten EN

Normenausschuß Persönliche Schutzausrüstung (NPS) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
 Normenausschuß Feuerwehrwesen (FNFV) im DIN

Unter den in Abschnitt B festgelegten Prüfbedingungen muß der Schutanzug im praktischen Versuch folgenden Forderungen genügen:

1. Der Schutanzug muß gegen die Strahlungswärme beständig bleiben, d. h. er darf keine brennbaren oder giftigen Gase absondern, nicht schmelzen und nicht tropfen.
2. Die Innenschichten müssen atmungsaktiv und feuerwiderstandsfähig sein. Die Schwerentflammbarkeit nach DIN 53 906 ist nachzuweisen.
3. Die dem Körper unmittelbar zugewandte Seite des Schutanzuges muß hautverträglich sein.
4. Die Schutzwirkung der Außen- und Innenschichten des fertigen Anzuges darf nicht durch zusätzlich verwendetes Material, wie Knöpfe, Haken, Ösen, Reißverschlüsse usw., beeinträchtigt werden.
5. Die relative Wärmedämmung $\Delta T/T_a$ des Schutanzugstoffes darf nicht geringer als 0,7 sein. Demzufolge muß sein:

$$\frac{\Delta T}{T_a} = \frac{T_a - T_i}{T_a} \geq 0,7$$

ΔT ist die Temperaturdifferenz zwischen der Außentemperatur T_a an der der Flammenwand zugekehrten Stoffseite und der Innentemperatur T_i an der dem Träger zugekehrten Stoffseite.

6. Material und Bauart des Schutanzuges müssen gewährleisten, daß auch bei Durchschreiten der Flammenwand die Einsatzperson nicht zu Schaden kommt.

Das Ergebnis der Erprobung ist schriftlich festzuhalten.

Die See-Berufsgenossenschaft läßt den Schutanzug zu, wenn die Forderungen erfüllt sind.

RICHTLINIEN über die Zulassung von Hitzeschutanzügen

A. Allgemeines

Der Hitzeschutanzug (im folgenden als Schutanzug bezeichnet) muß aus einem Werkstoff bestehen, der die Haut des Trägers vor der Strahlungswärme des Brandes sowie vor Verbrennungen und Verbrühungen durch Dampf schützt. Die Außenfläche des Schutanzuges muß wasserdicht sein.

Der Schutanzug setzt sich zusammen aus Hose, Jacke, Kopfhaube mit Schutzhelm, Stiefeln und Handschuhen. Die Kopfhaube muß angesetzt oder fest anknüpfbar mit der Jacke verbunden sein. Der Schutzhelm muß in der Kopfhaube eingearbeitet und austauschbar sein. Werden Reißverschlüsse benutzt, so müssen sie seewasserbeständig und gleichsicher sein. Genügende Überlappung des Schutanzugstoffes muß vorhanden sein.

Der Schutanzug muß leicht anzuziehen sein und darf den Träger in seiner Bewegung und Tätigkeit nicht wesentlich behindern. Auch nach längerem Tragen des Schutanzuges muß das Tragegefühl noch einwandfrei sein. Der Schutanzug darf nicht aus Asbest-Gewebe bestehen. Unter dem Schutanzug muß der Preßluftatmer getragen werden können.

Der Schutanzug muß wasserdicht, abriebfest, alterungsbeständig und weitgehend widerstandsfähig gegen Einreißen sein.

Die Panorama-Sichtscheibe in der Kopfhaube muß austauschbar und bruchsicher nach DIN 4647, Blatt 5 sein; sie muß mindestens die gleichen Reflexionseigenschaften wie der Schutanzug aufweisen und eine

Lichtdurchlässigkeit von 100/85 besitzen. Die Sichtscheibe muß bei den Normabmessungen von 15 cm x 25 cm ein größtmögliches Blickfeld gewähren. Eine Ersatzscheibe ist mitzuliefern.

Der Schutzhelm in der Kopfhabe muß den Träger gegen den Aufprall harter Gegenstände schützen. Die Schutzwirkung muß nach DIN 4840 sichergestellt sein. Schutzhelme mit Breitrand sind nicht zulässig.

Die Stiefel müssen aus wasserdichtem, elektrisch nicht-leitendem Material bestehen, rutschfest sein und Zehenschutzkappen besitzen. Sie müssen dem Einsatzzweck des Schutanzuges entsprechend beschaffen sein und aus Polychloropren mit einer die Strahlungswärme abweisenden Oberflächenschicht oder aus gleichwertigem Aufbau bestehen.

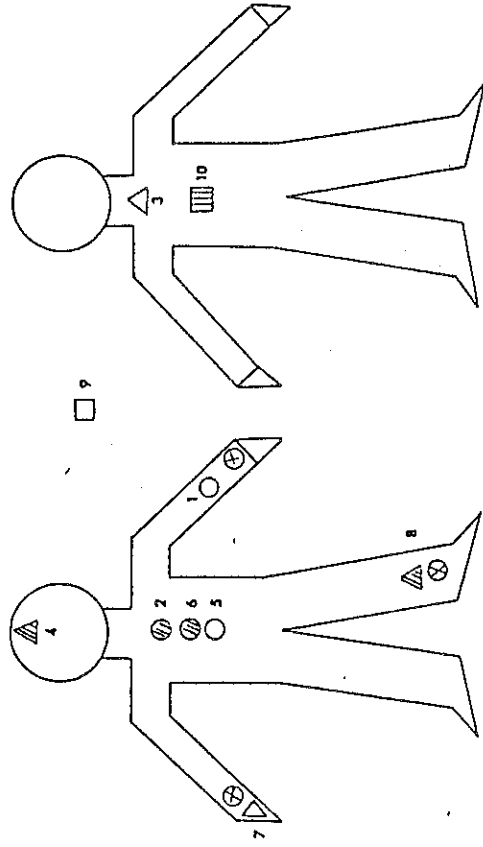
Als Handschuhe sind nur 3-Finger-Handschuhe mit langer Stulpe zu verwenden. Die Normlänge des Handschuhs einschließlich Stulpe muß 43 cm betragen. Das Material der Handschuhe muß dem des Schutzanzuges entsprechen und elektrisch nicht-leitend sein. Die Handinnenfläche darf durch Rohabest verstärkt sein, solange kein gleichwertiges Material zur Verfügung steht.

Jeder Schutzanzug ist in einer Tragetasche verpackt an Bord zu liefern. Die Bedienungsanweisung und die Verpackungs- und Wartungsvorschrift sind innen im klappbaren Teil der Tasche fest anzubringen. Anweisung und Vorschrift sind außerdem fünffach der Schiffsleitung zu übergeben.

B. Prüfbedingungen

Der Schutzanzug muß in einem geschlossenen Raum mit einer Grundfläche von etwa 6,5 m x 4 m und einer Höhe von etwa 2 m geprüft werden. Die Flammenwand im Versuchsraum, die als Hitzequelle dient, muß bei einer Flammenwandhöhe von etwa 1,5 m und einer Flammenwandlänge von etwa 1,6 m eine Temperatur von mindestens 1200 °C aufweisen. Der Abstand des Schutzanzugträgers von der Flammenwand muß 1,7 m betragen, die Einsatzdauer unter Atemschutz 7 Minuten.

Thermoelemente sind auf beiden Seiten des Schutzanzuges nach Abbildung anzubringen. Die Wärmedämmung des Anzuges ist aus den Werten der Meßstellen 5 und 6 zu ermitteln.



Vorderseite.

Rückseite

Thermoelement Nr.	Lage des Thermoelementes	Symbol
1	Arm links	○
2	Brust	⊗
3	Arm rechts / Nacken	△
4	Stirn	⊠
5	Brust-Innenseite Anzug	○
6	Brust-Außenseite Anzug	⊗
7	Hand rechts	△
8	Bein links	⊠
9	Raumluft	□
10	Rücken	▨
	Lage der EKG-Elektroden	⊗

Die Pulsfrequenz des Trägers ist vor, während und nach dem Versuch unter ärztlicher Aufsicht zu messen.

Vorversuche mit HARDY II bei 0,1 W/cm² - Temperierung auf 34 °C

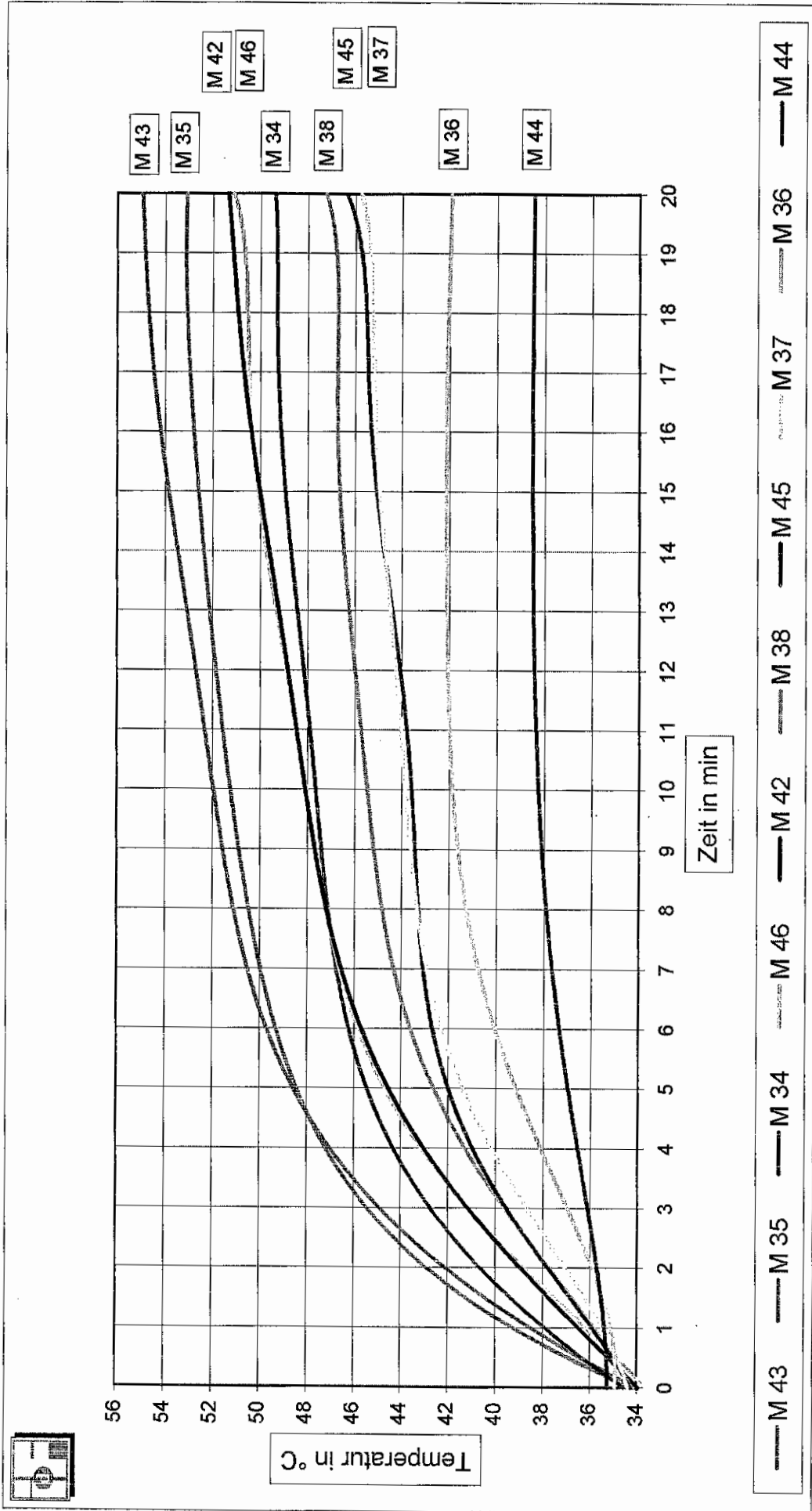


Bild 1

Vorversuche mit HARDY II bei 0,1 W/cm² - Temperierung auf 34 °C

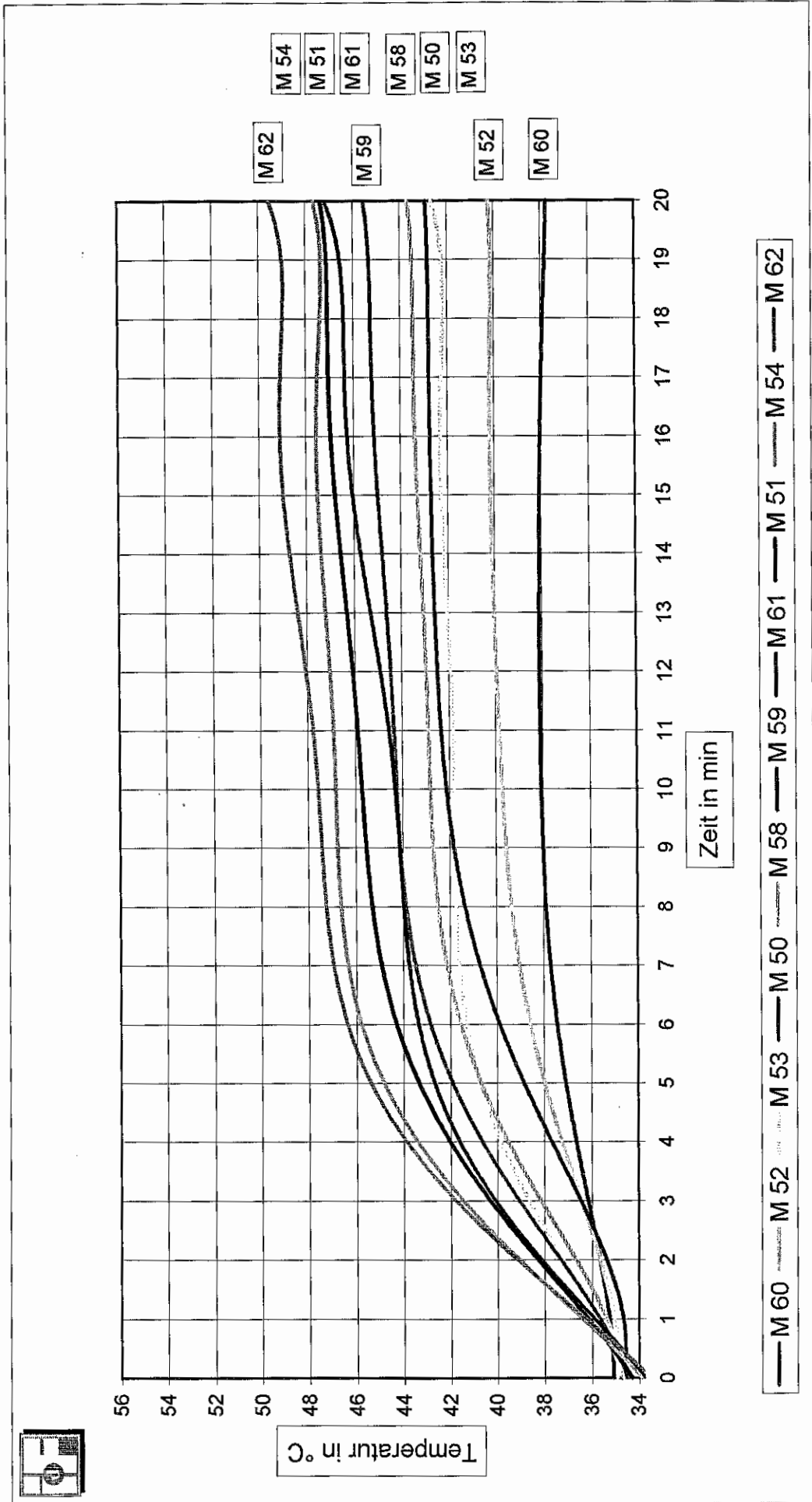
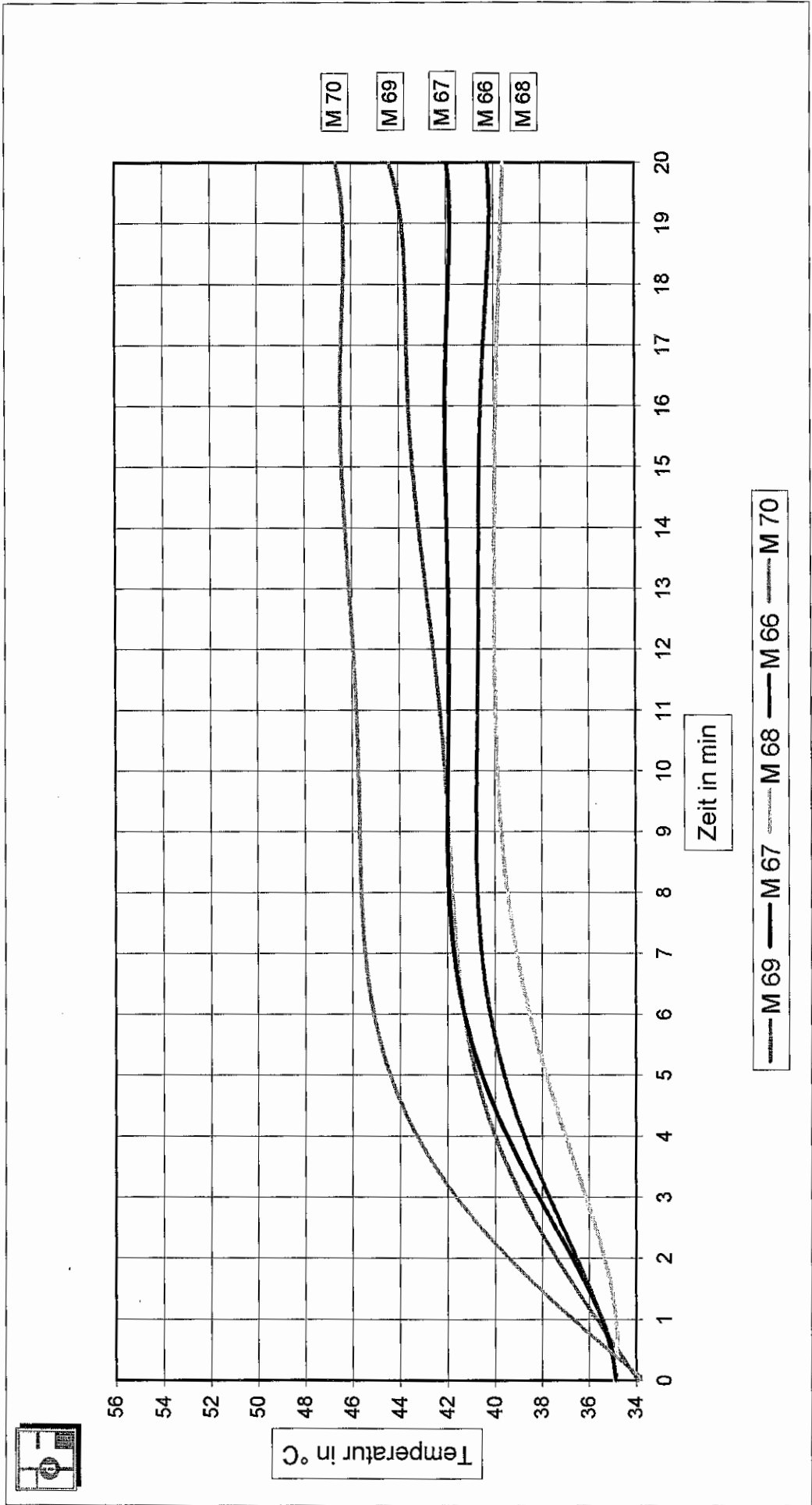
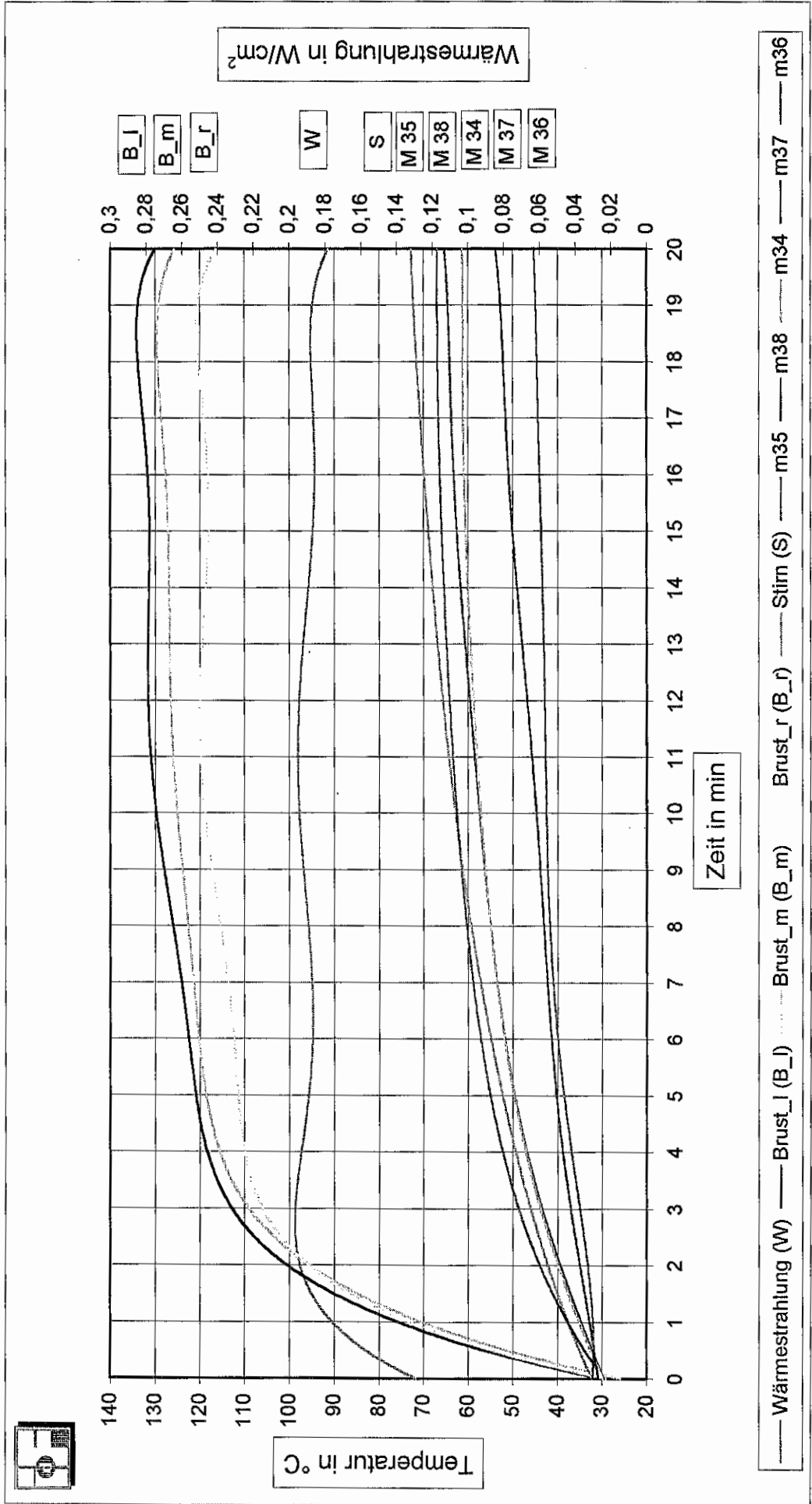


Bild 2

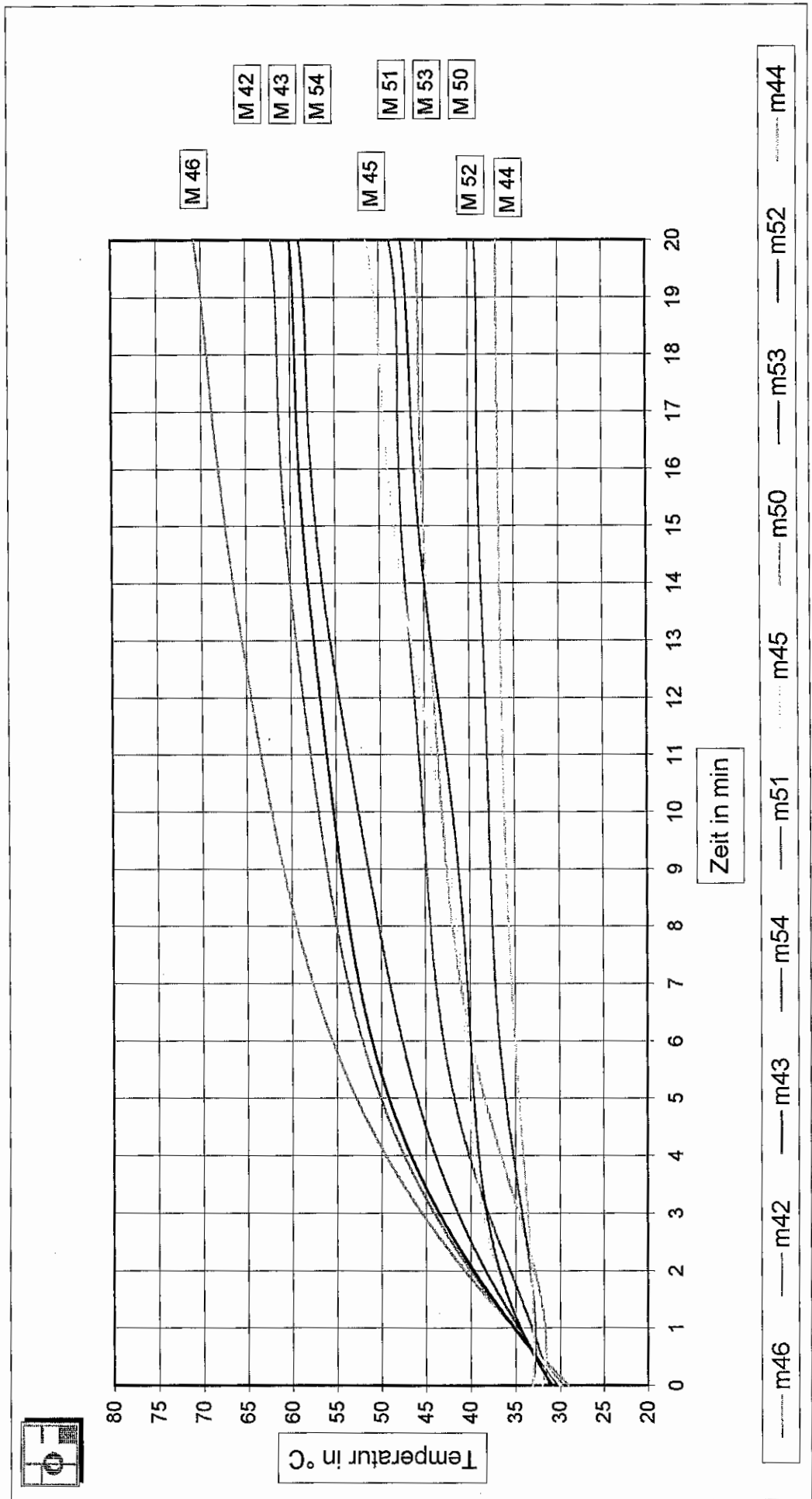
Vorversuche mit HARDY II bei 0,1 W/cm² - Temperierung auf 34 °C



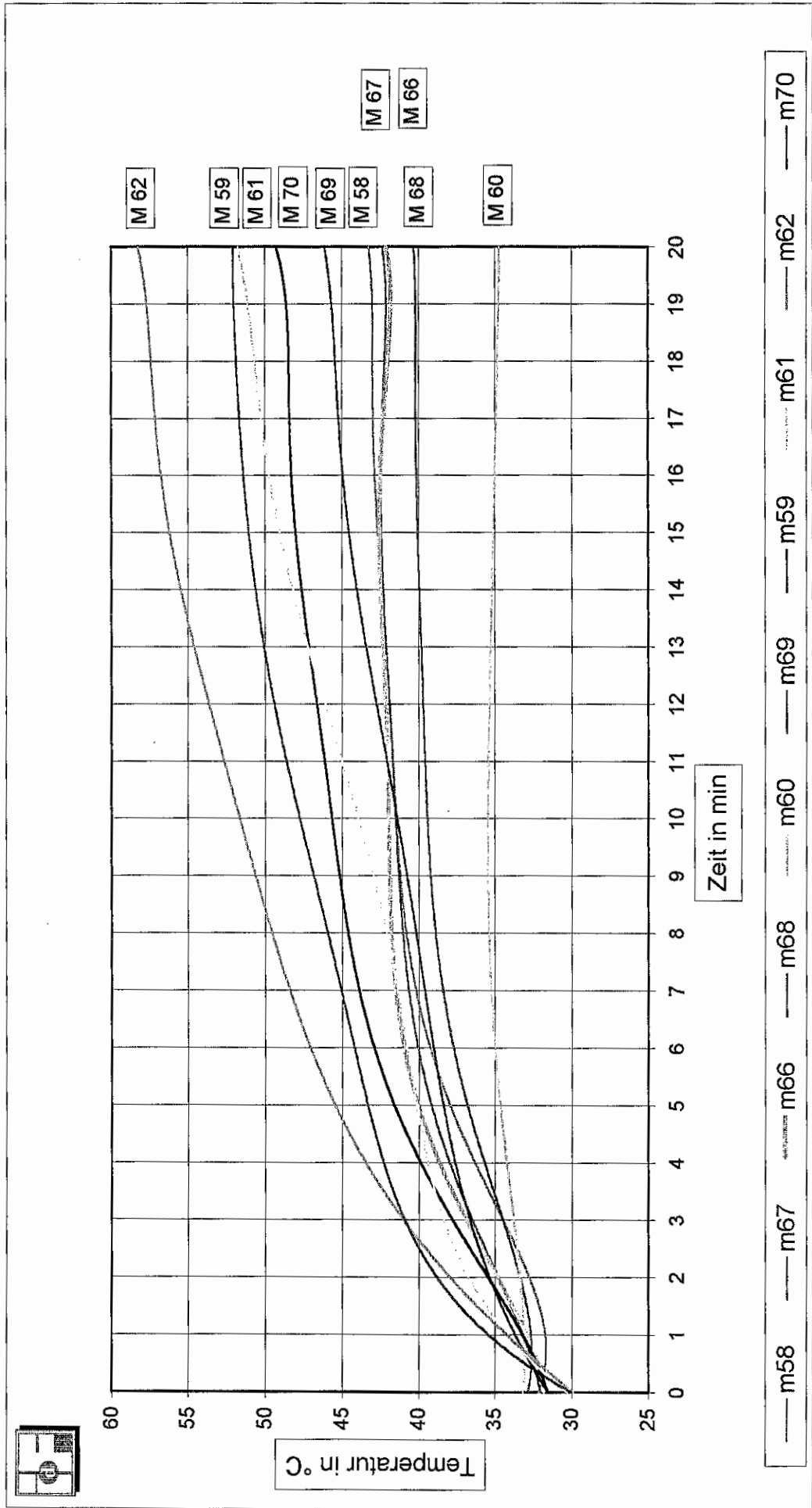
Vorversuche mit HARDY II bei 0,2 W/cm² - Temperierung auf 34 °C



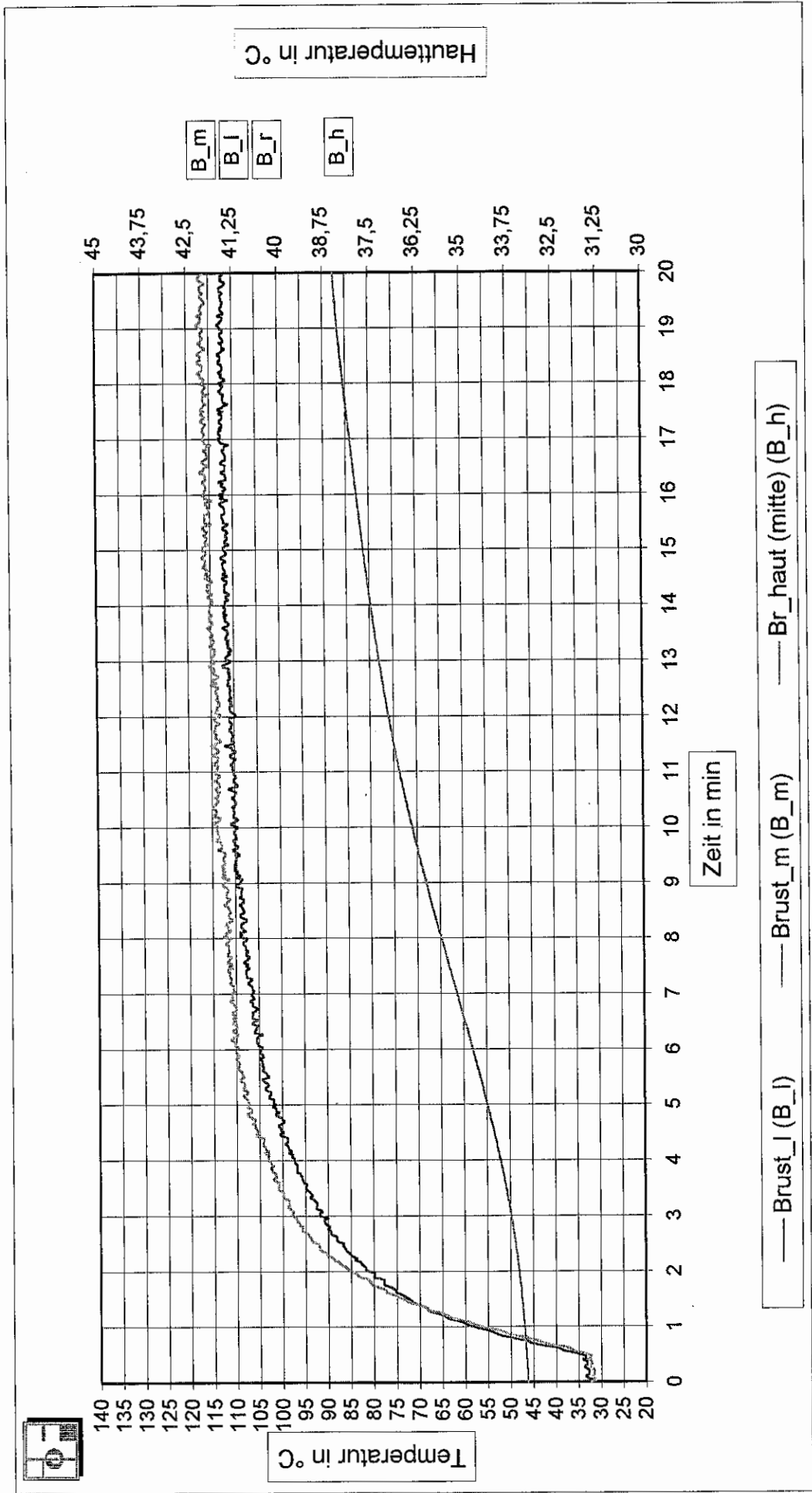
Vorversuche mit HARDY II bei 0,2 W/cm² - Temperierung auf 34 °C



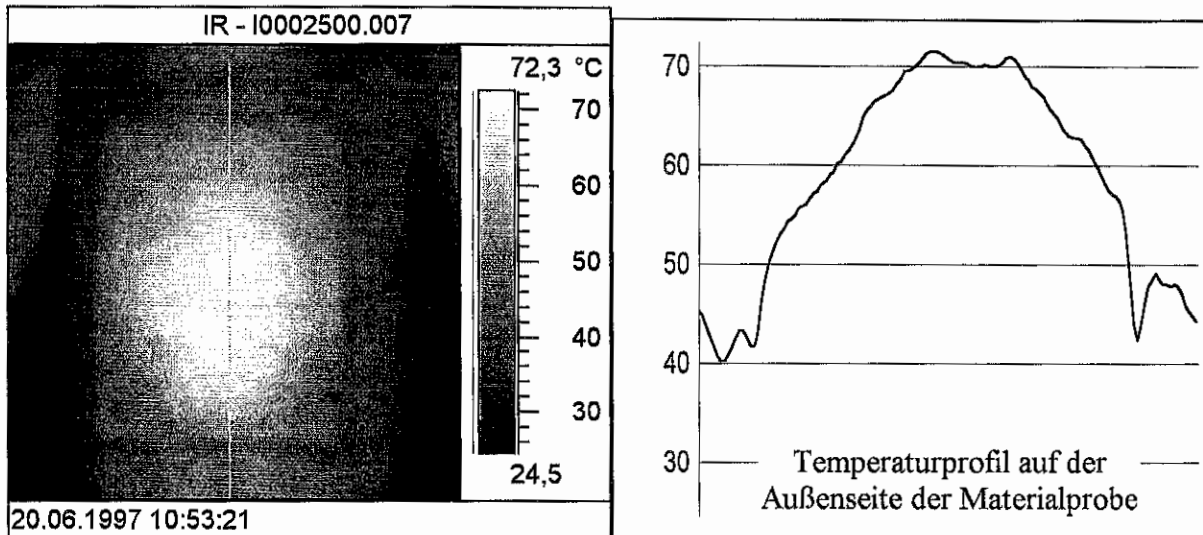
Vorversuche mit HARDY II bei 0,2 W/cm² - Temperierung auf 34 °C



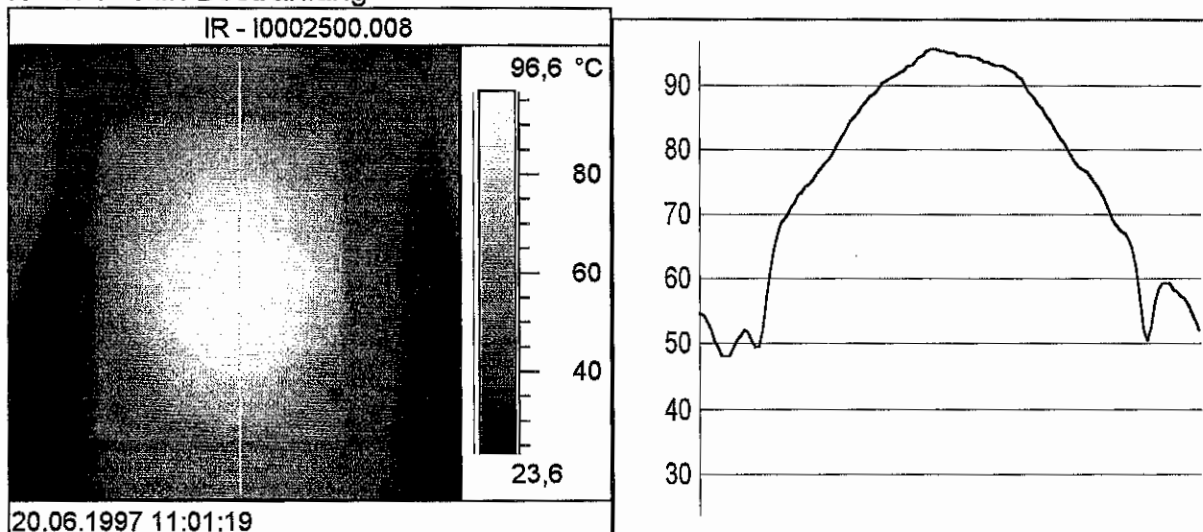
Vorversuche mit Mensch bei 0,2 W/cm²



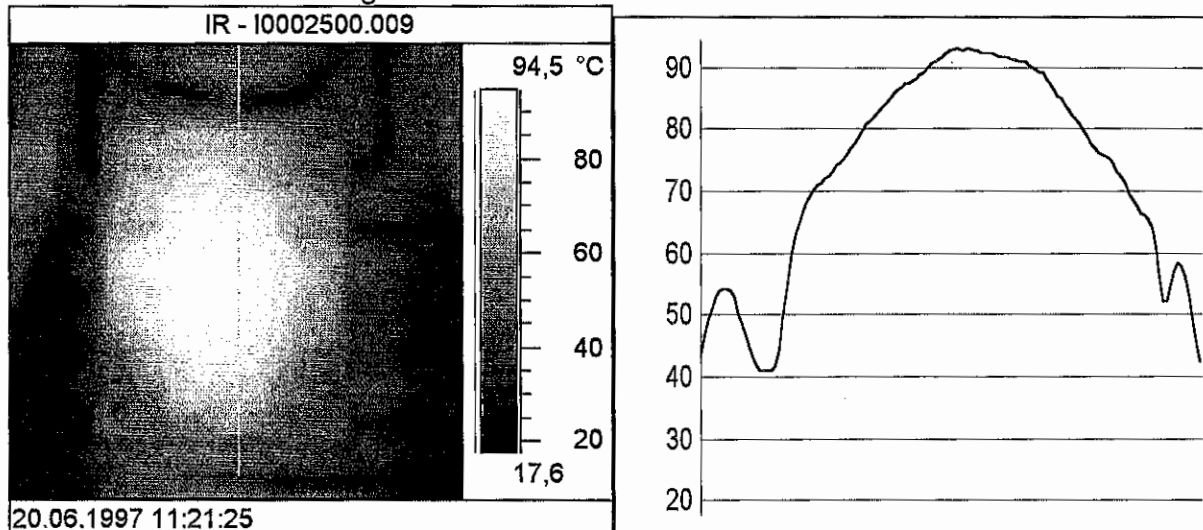
Der Einfluß des Thermoregulationssystems auf die Meßergebnisse von Oberflächentemperaturen bei externer Bestrahlung des Brustbereiches des Dummys Hardy II mittels Infrarotstrahler (Aufheizung) und Kühlung mittels des Thermoregulationssystems bei einer Temperierkreislaufwassertemperatur von 5 °C



Nach 10 min Bestrahlung

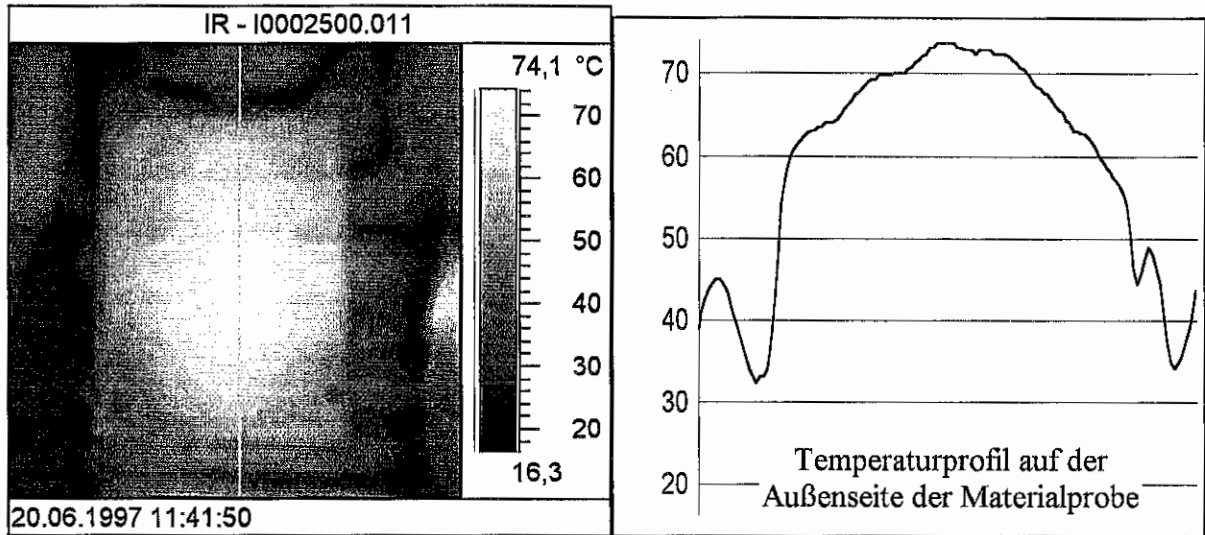


Nach 20 min Bestrahlung

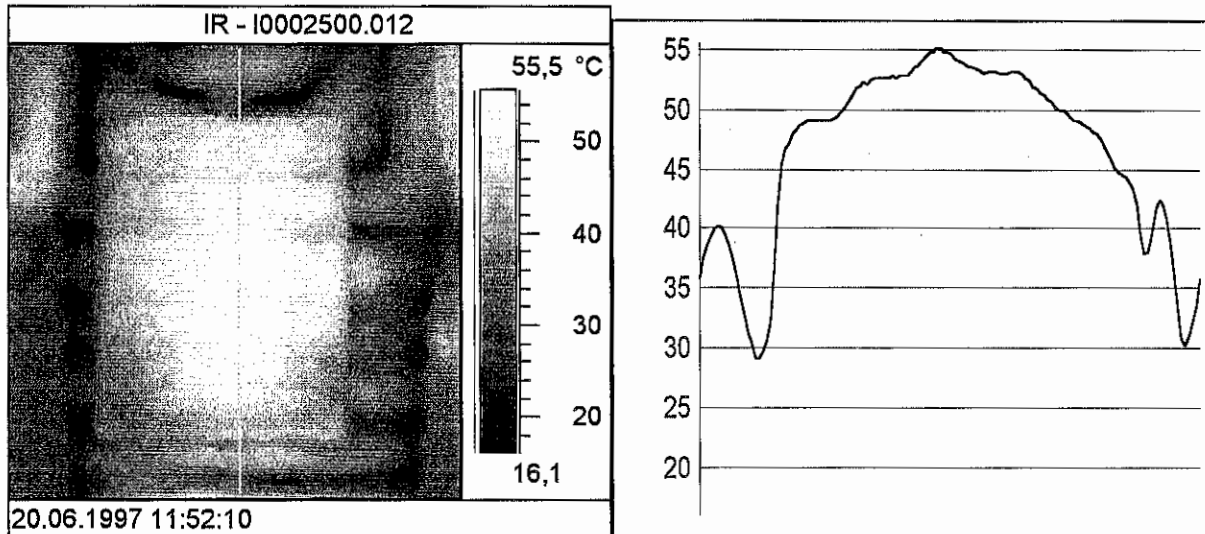


Nach 10 min Kühlen mit 5 °C Kühlwasser

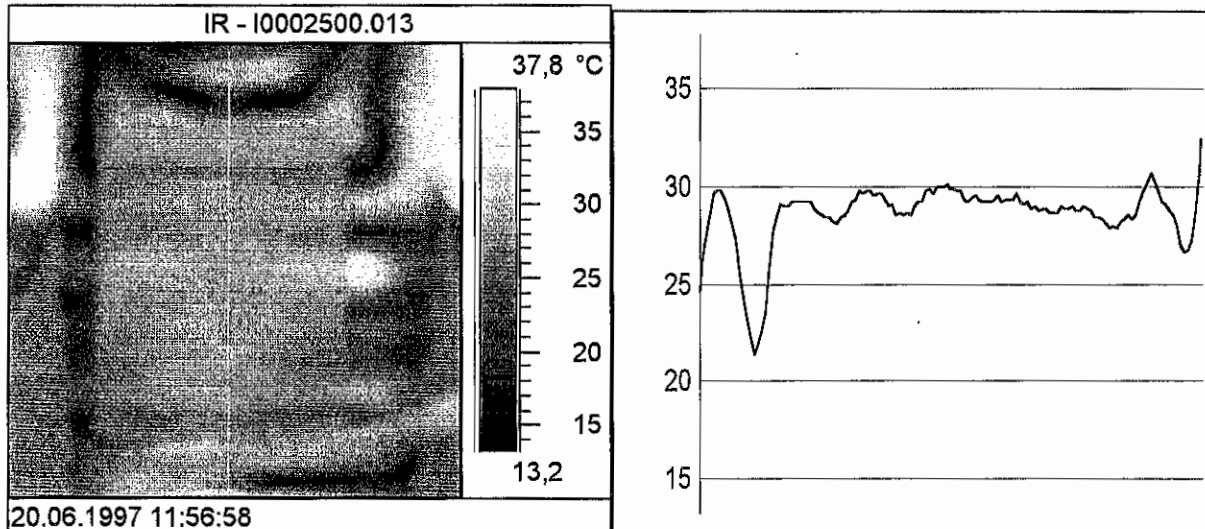
Der Einfluß des Thermoregulationssystems auf die Meßergebnisse von Oberflächentemperaturen bei externer Bestrahlung des Brustbereiches des Dummys Hardy II mittels Infrarotstrahler (Aufheizung) und Kühlung mittels des Thermoregulationssystems bei einer Temperierkreislaufwassertemperatur von 5 °C



Nach 30 min Kühlen mit 5 °C Kühlwasser

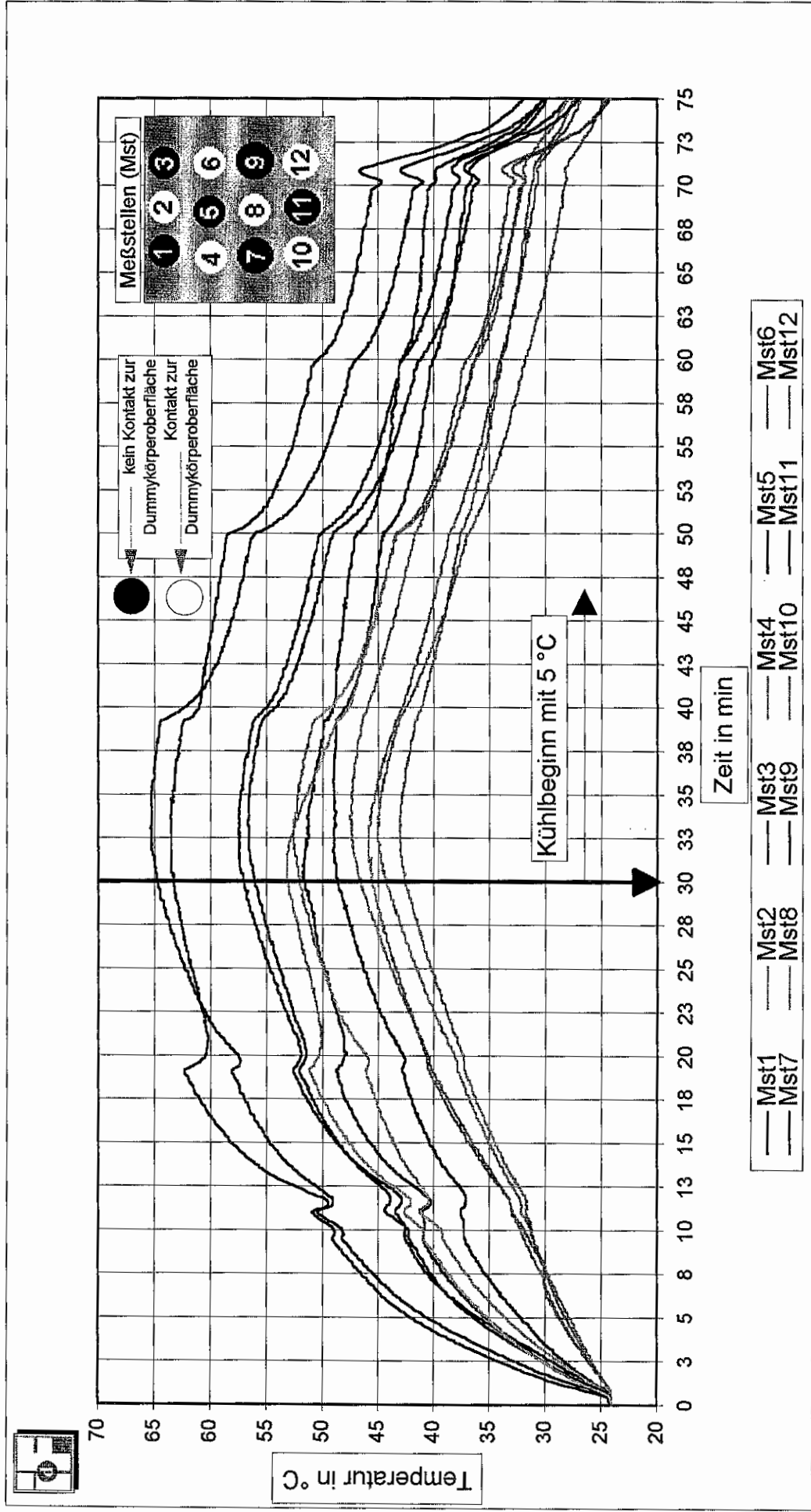


Nach 40 min Kühlen mit 5 °C Kühlwasser



5 min nach Abschalten der Wärmestrahlung

Darstellung von zwei Temperaturfeldern durch unterschiedliche Positionierung der Thermoelemente auf der Dummykörperoberfläche von HARDY II



Untersuchung des Einflusses der Einbaulage der Thermoelemente zu den Temperierkreisläufen (ohne äußere thermische Belastung)

Aufheizen der Temperierkreisläufe mit 50 °C Wassertemperatur

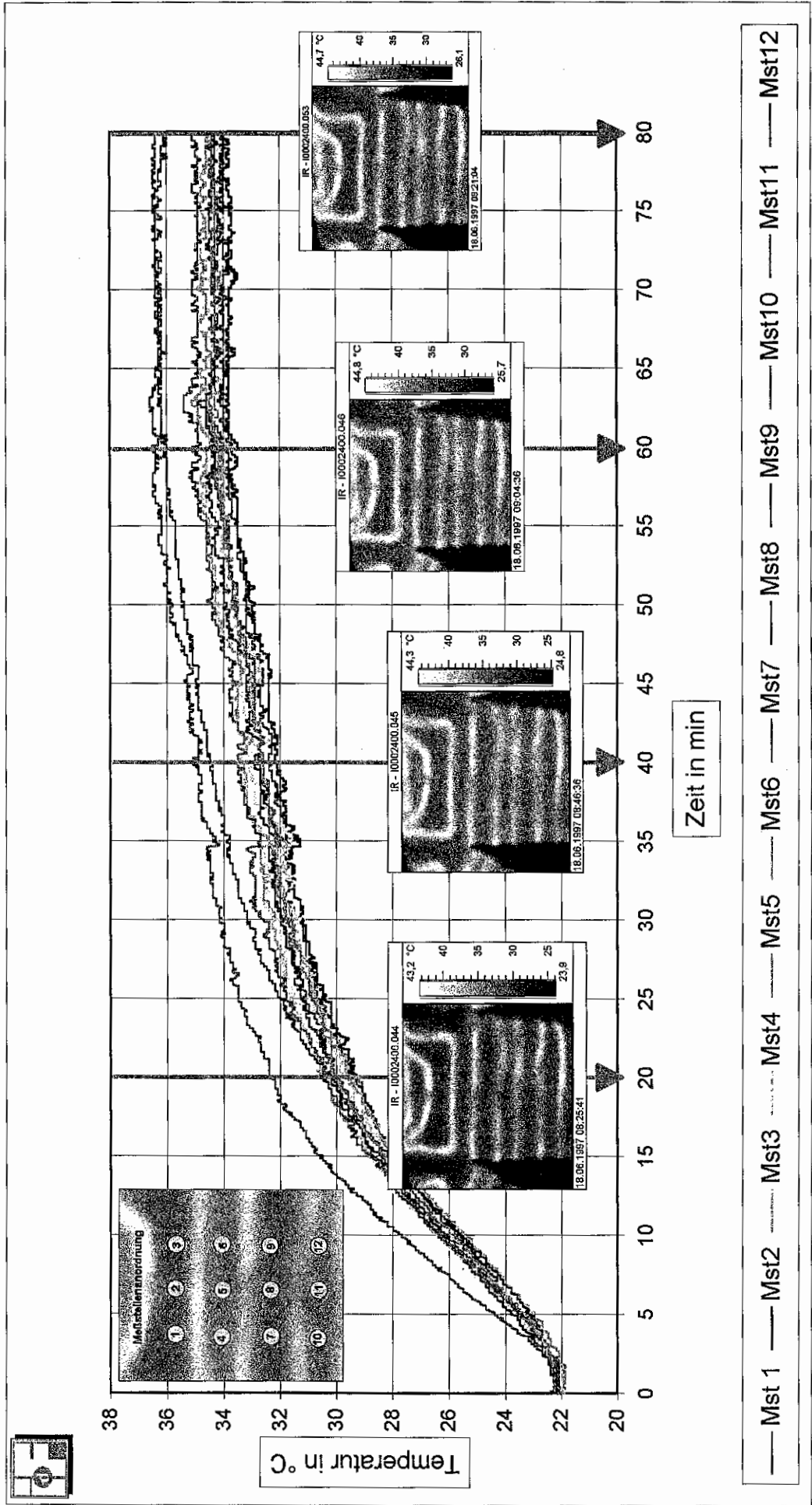
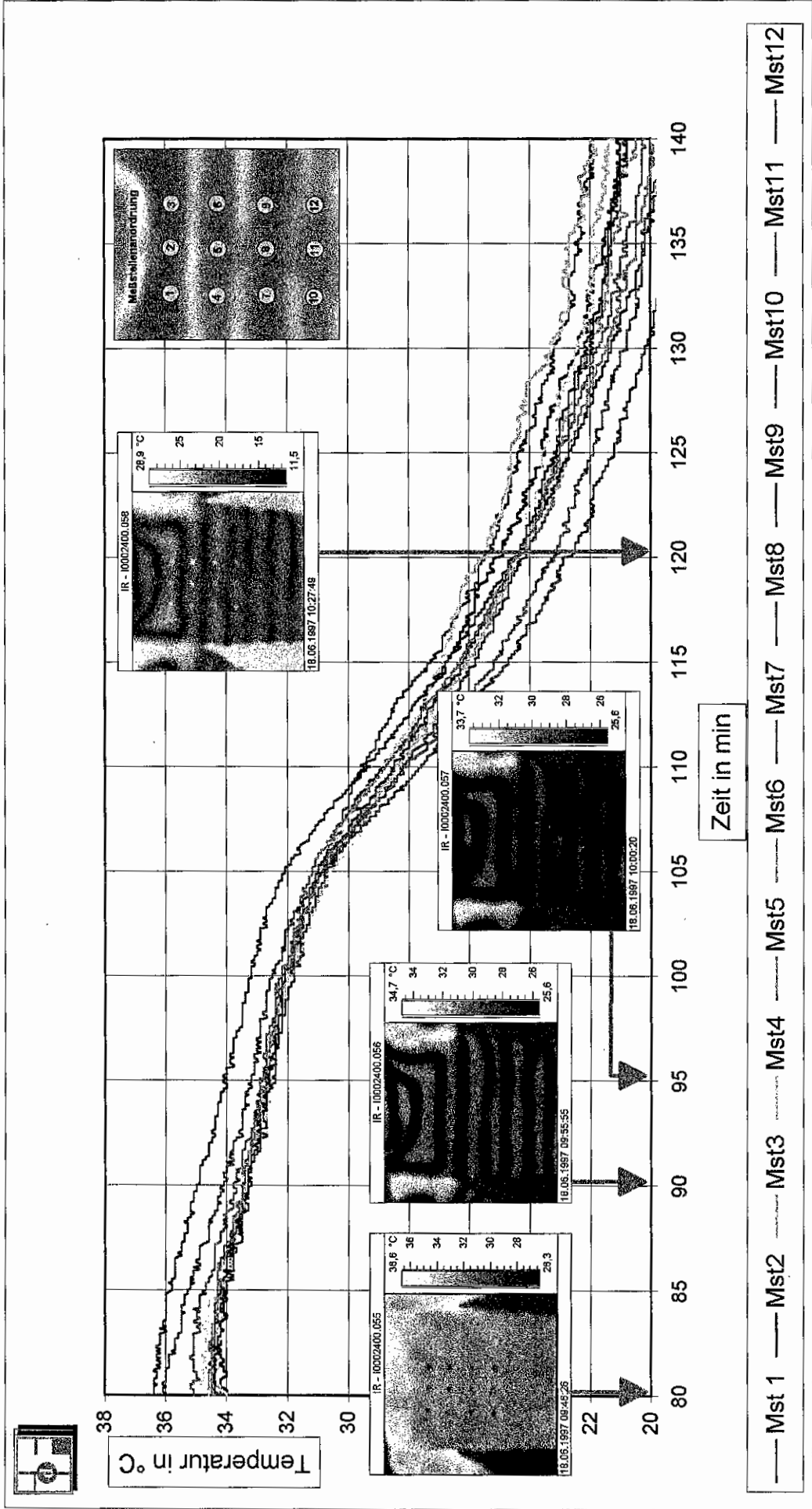


Bild 1

Untersuchung des Einflusses der Einbaulage der Thermoelemente zu den Temperierkreisläufen (ohne äußere thermische Belastung)

Abkühlung der Temperierkreisläufe mit 5 °C Wassertemperatur



Thermogramme und Temperaturprofile des Dummies Hardy II ohne äußere thermische Belastung

Aufheizen der Temperierkreisläufe mit 50 °C und ihr Abkühlen mit 5 °C Wassertemperatur

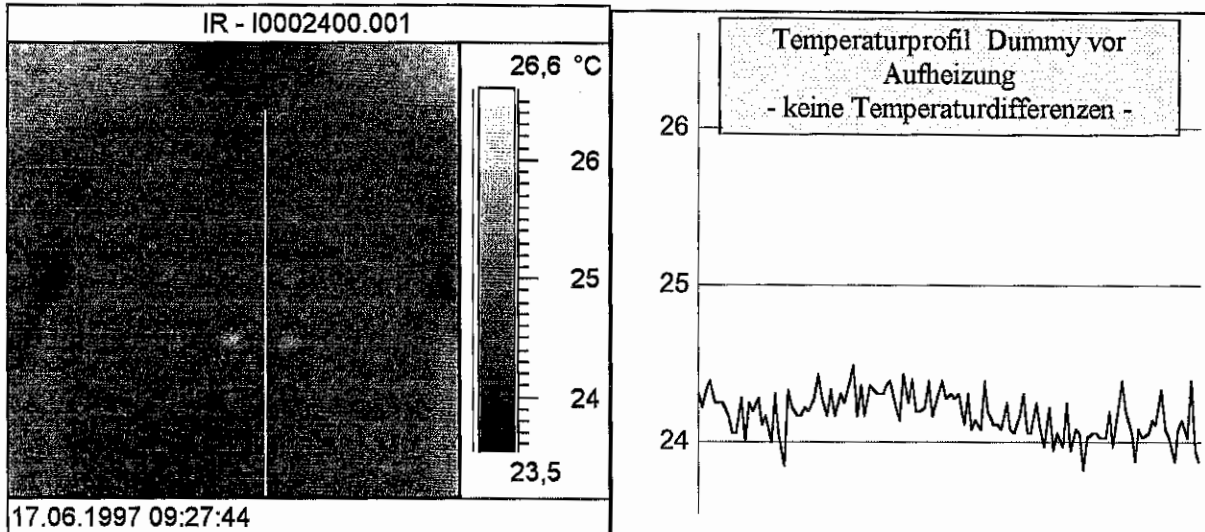


Bild 1

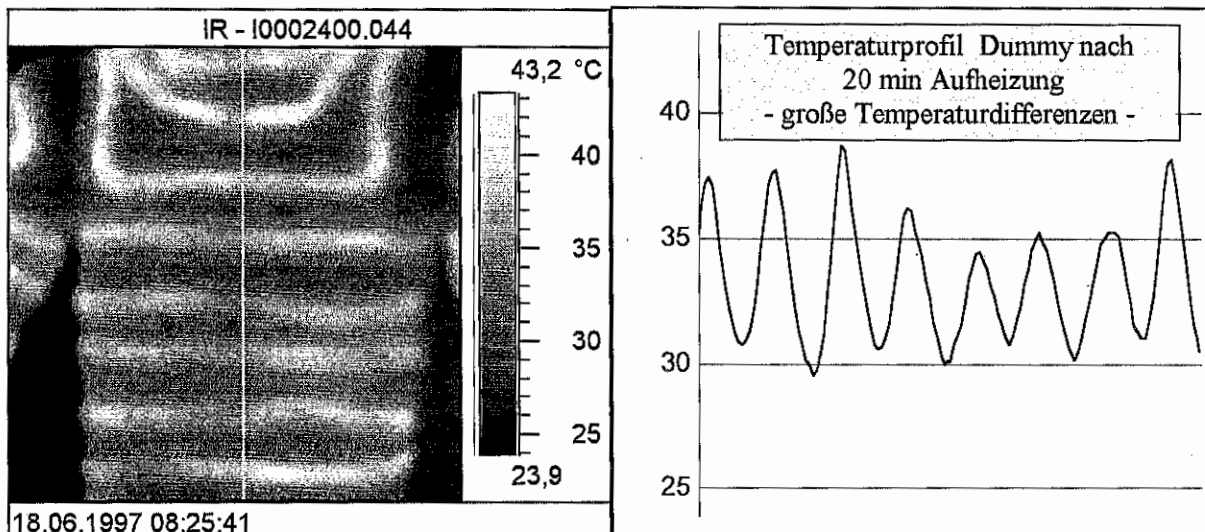


Bild 2

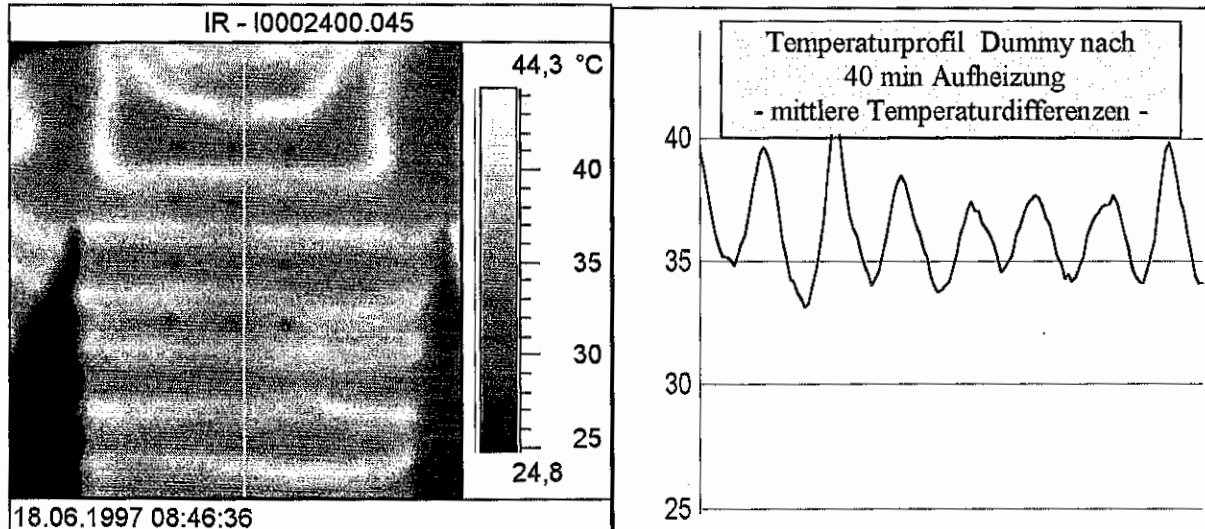


Bild 3

Thermogramme und Temperaturprofile des Dummys Hardy II ohne äußere thermische Belastung

Aufheizen der Temperierkreisläufe mit 50 °C und ihr Abkühlen mit 5 °C Wassertemperatur

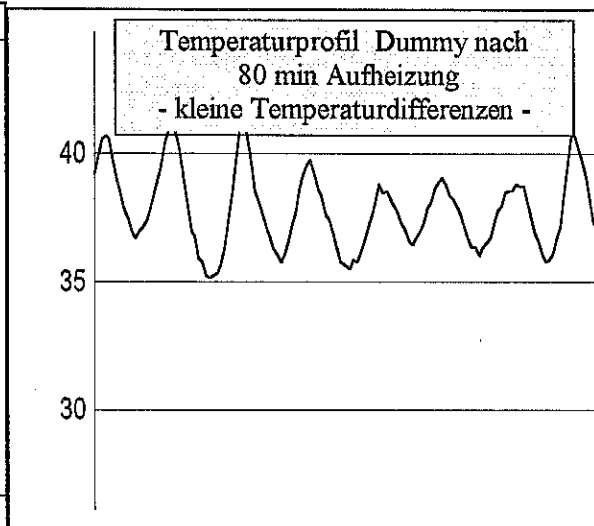
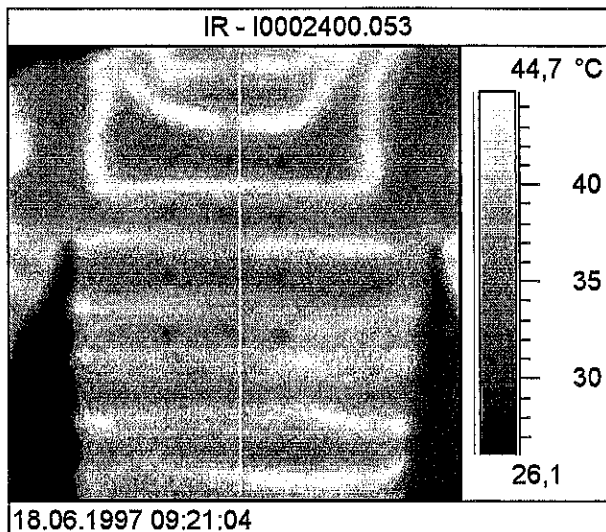


Bild 4

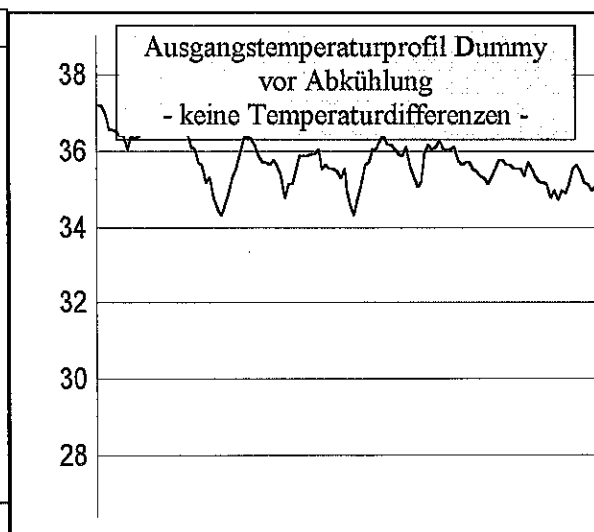
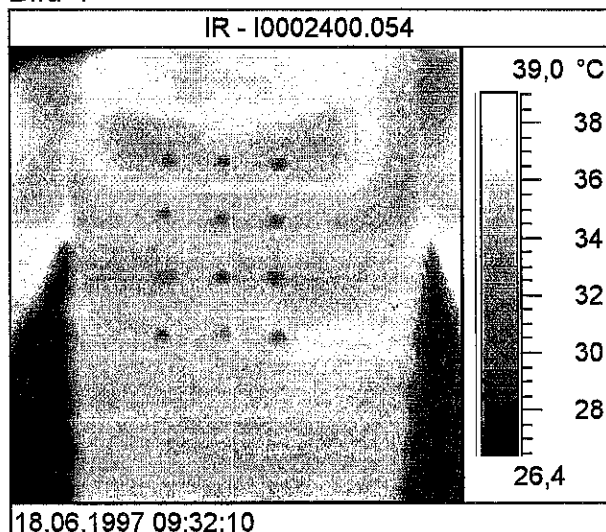


Bild 5

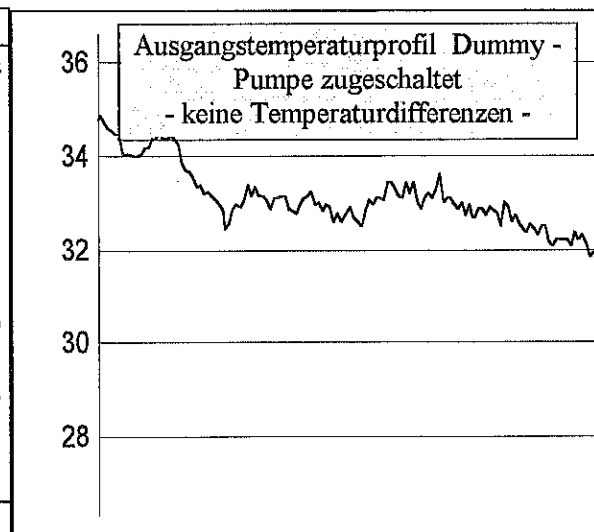
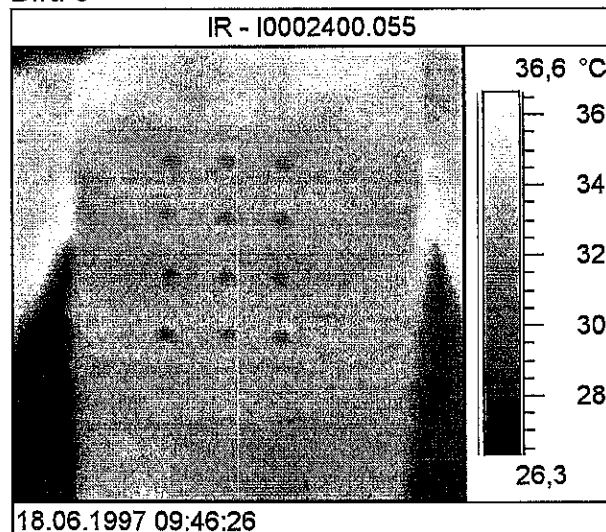


Bild 6

Thermogramme und Temperaturprofile des Dummys Hardy II ohne äußere thermische Belastung

Aufheizen der Temperierkreisläufe mit 50 °C und ihr Abkühlen mit 5 °C Wassertemperatur

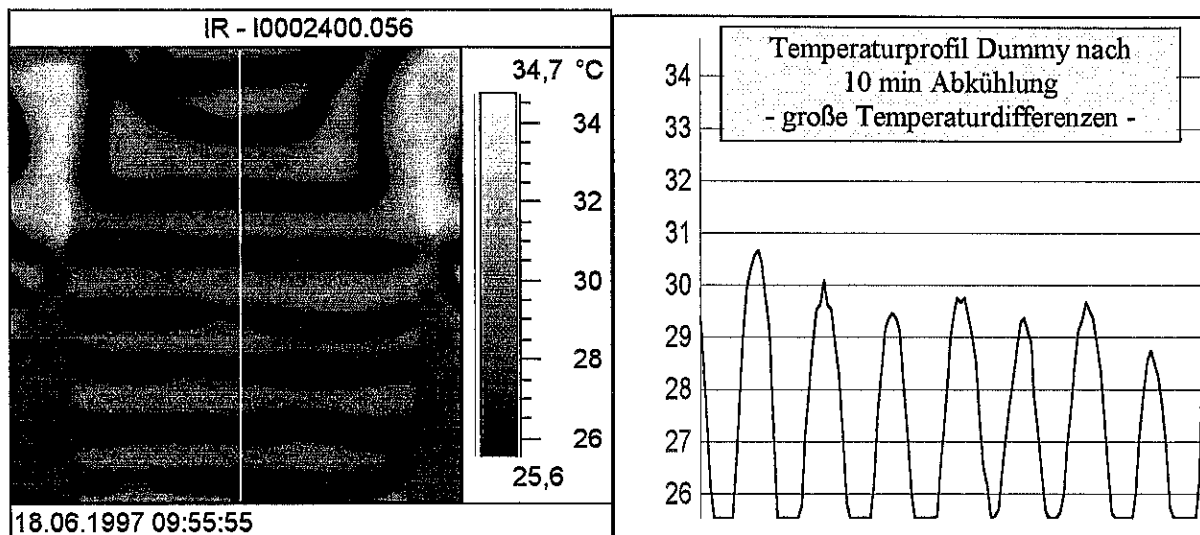


Bild 7

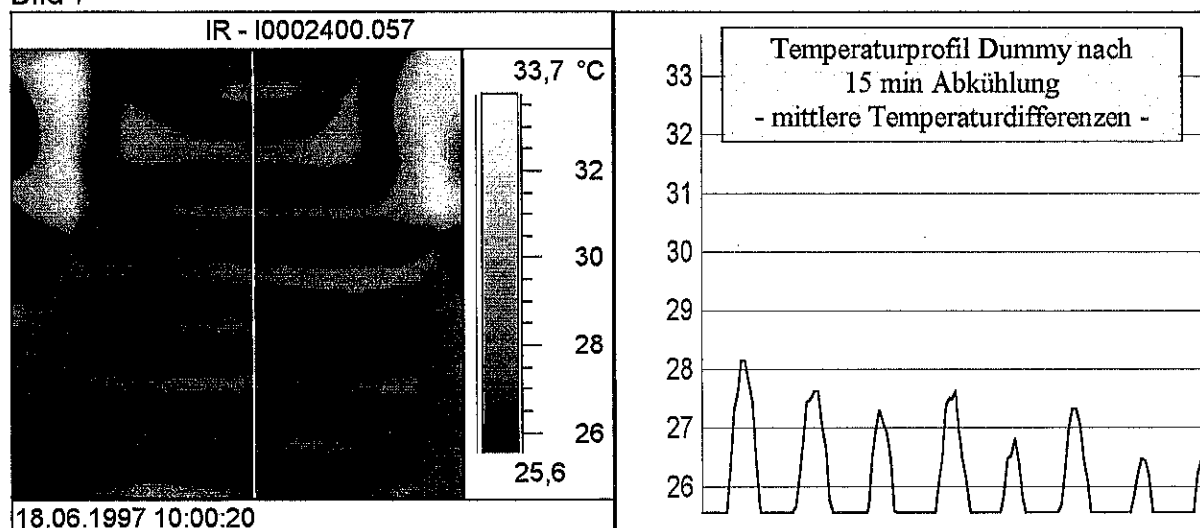


Bild 8

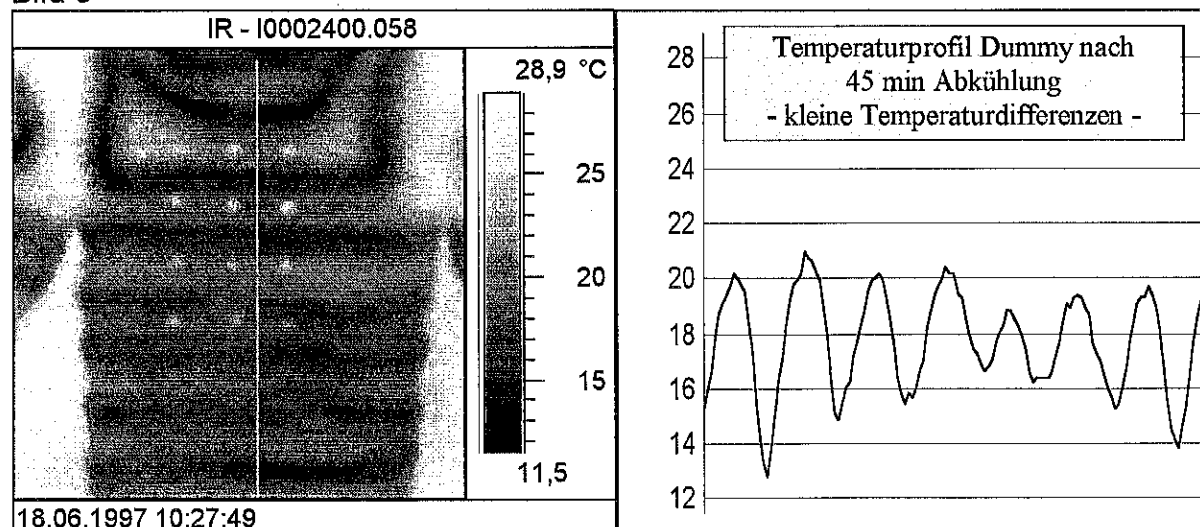


Bild 9

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9
 Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C
 Wärmestrahlung: 0,1 W/cm²

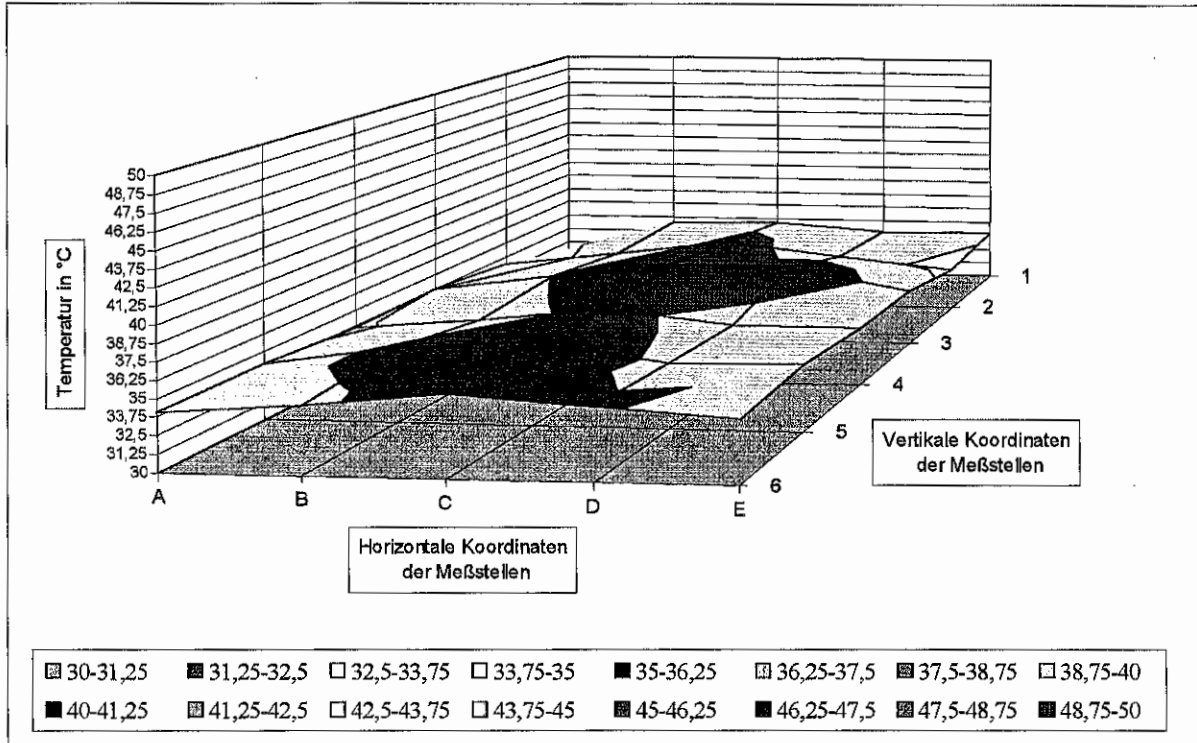


Bild 1: Temperaturprofil nach 0 Minuten

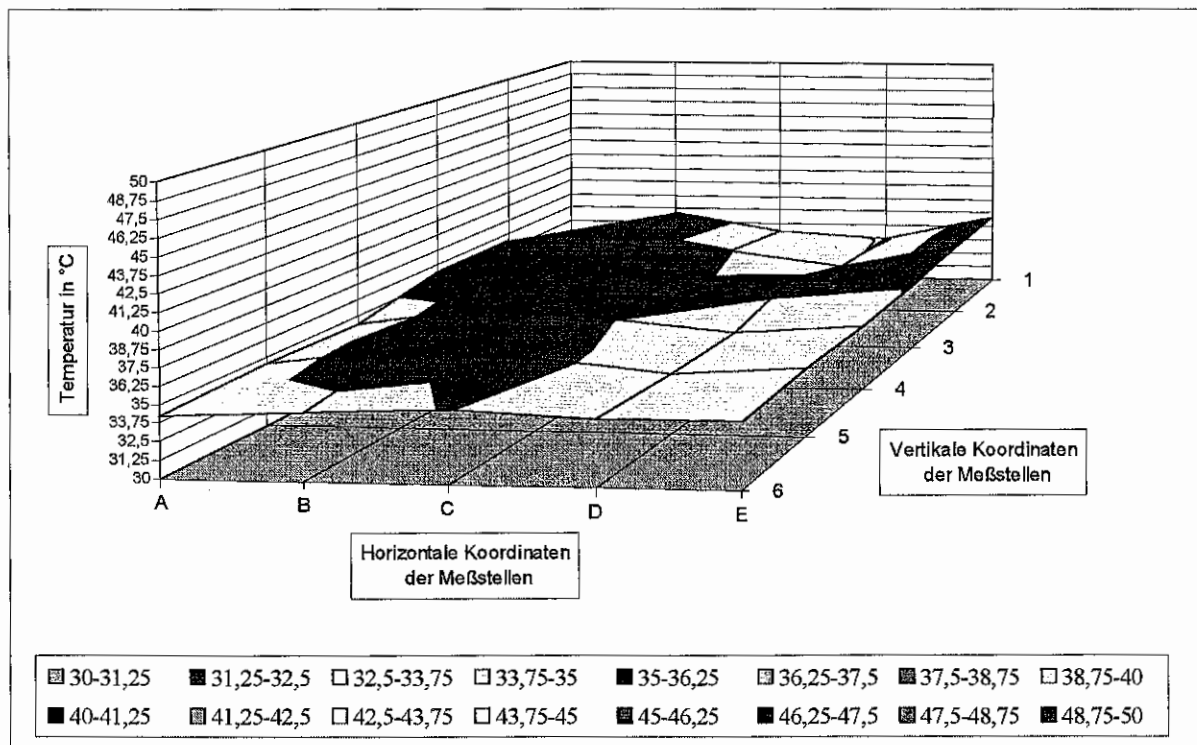


Bild 2: Temperaturprofil nach 1 Minute

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9
 Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C
 Wärmestrahlung: 0,1 W/cm²

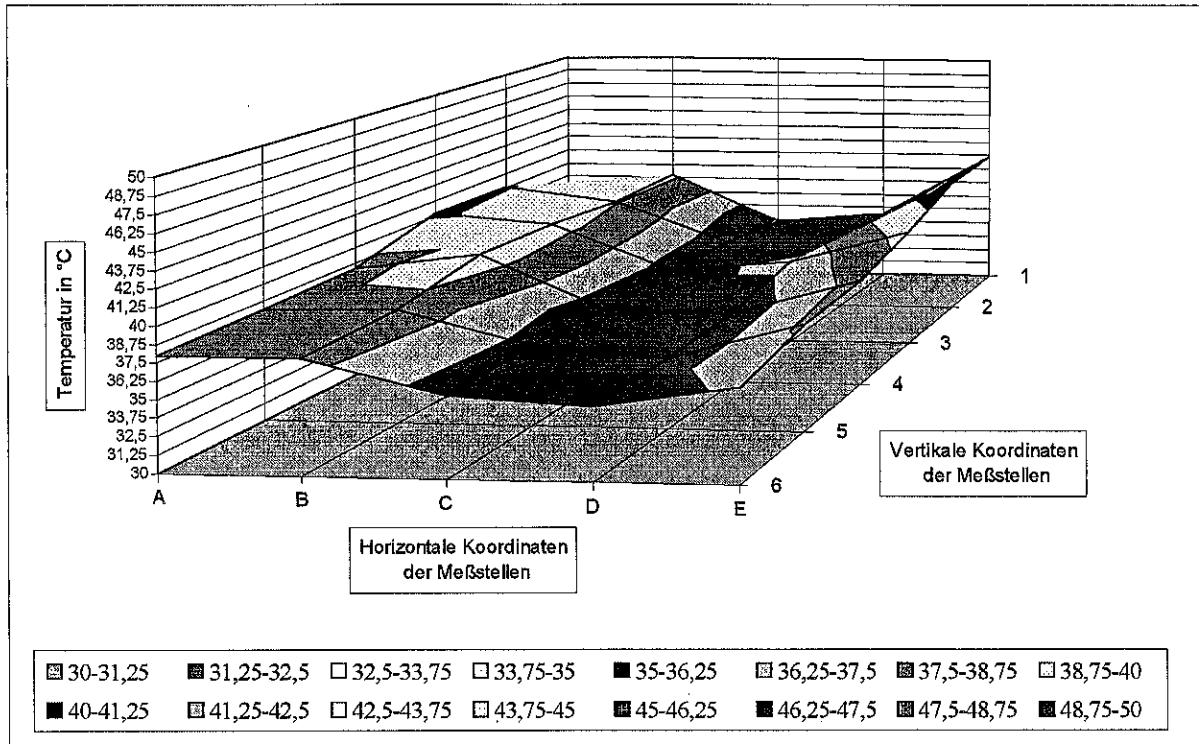


Bild 3: Temperaturprofil nach 2 Minuten

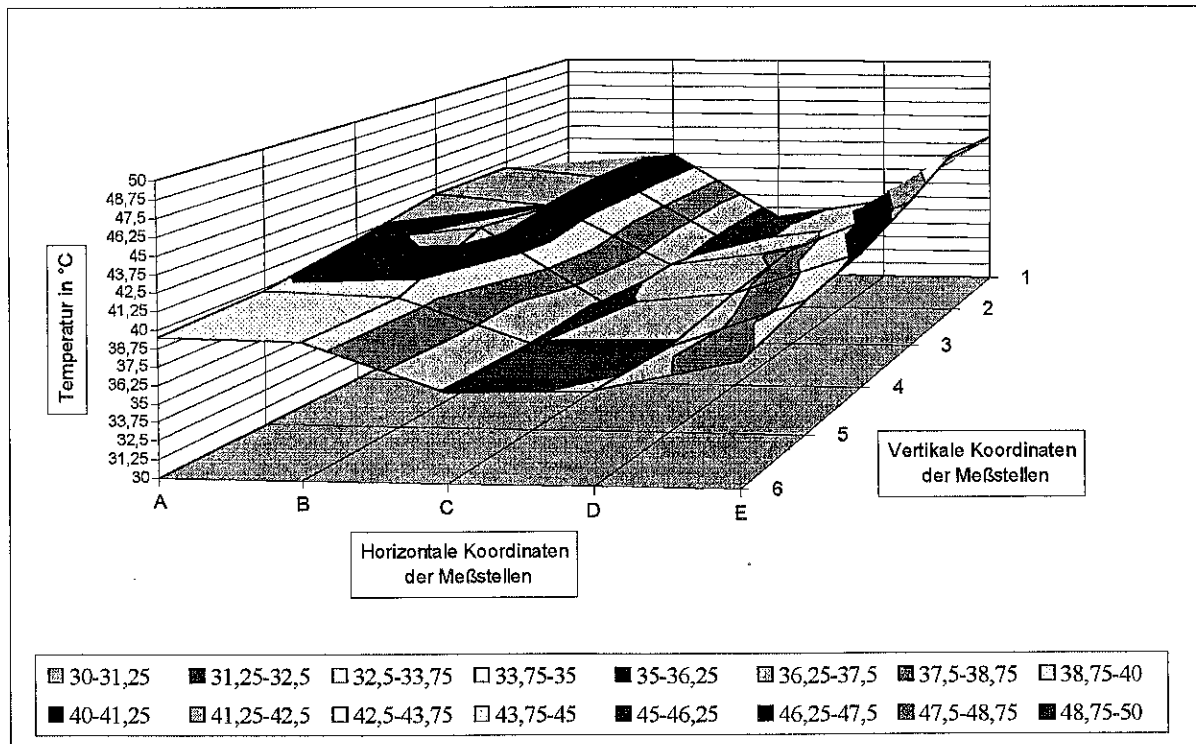


Bild 4: Temperaturprofil nach 3 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C

Wärmestrahlung: 0,1 W/cm²

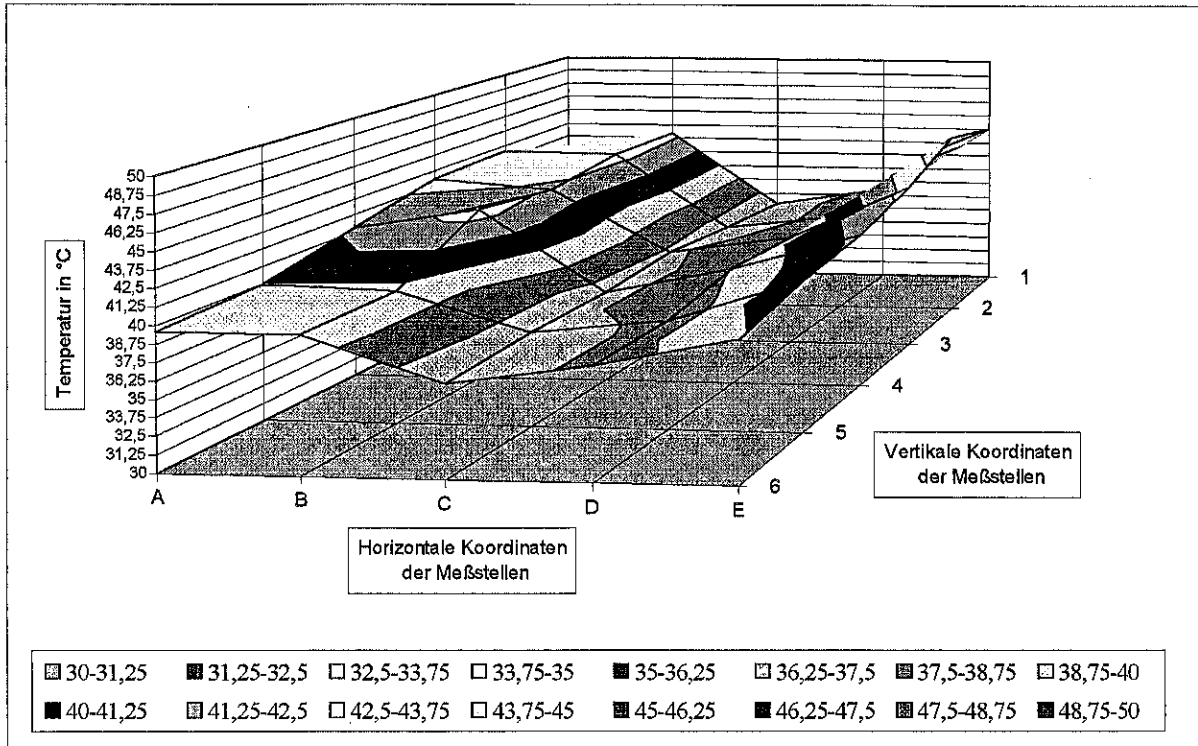


Bild 5: Temperaturprofil nach 4 Minuten

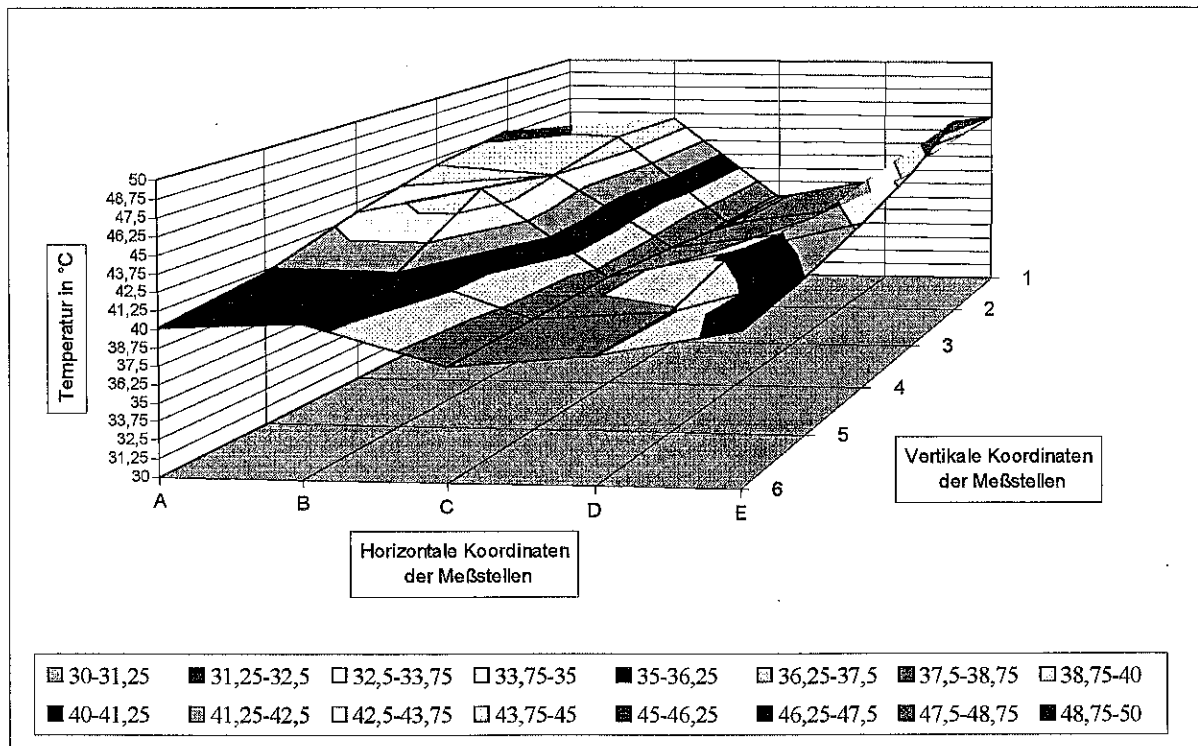


Bild 6: Temperaturprofil nach 5 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9
 Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C
 Wärmestrahlung: 0,1 W/cm²

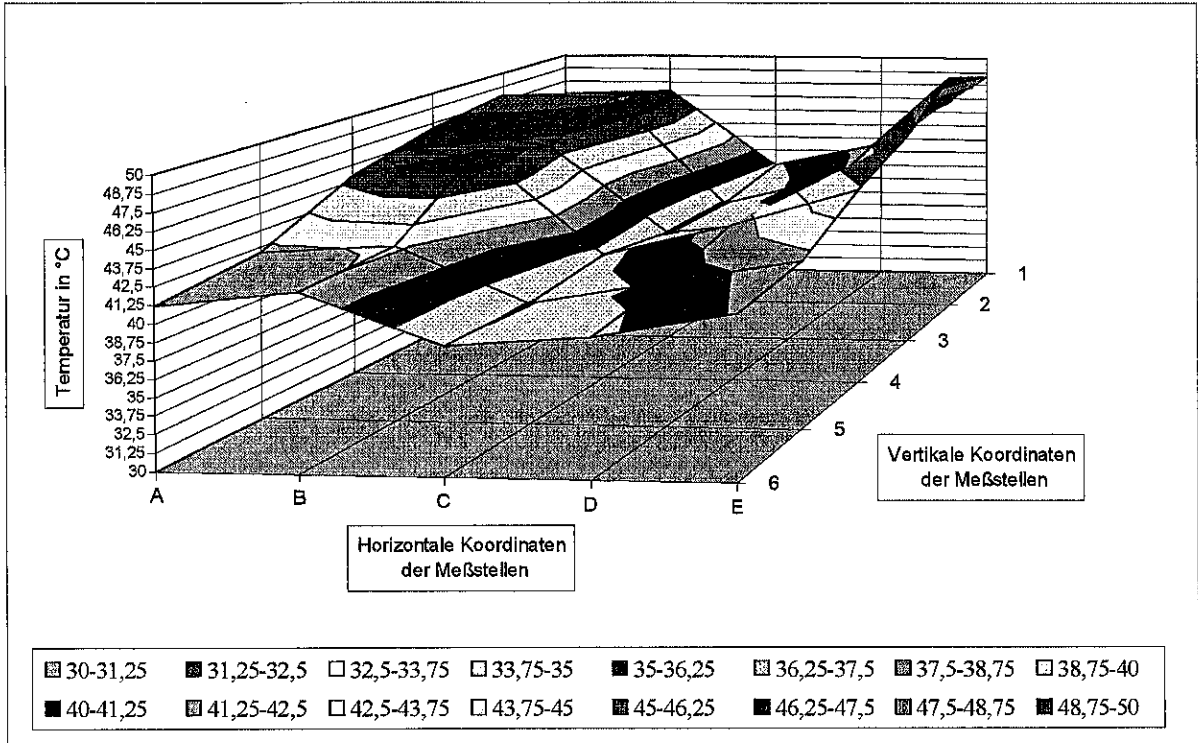


Bild 7: Temperaturprofil nach 10 Minuten

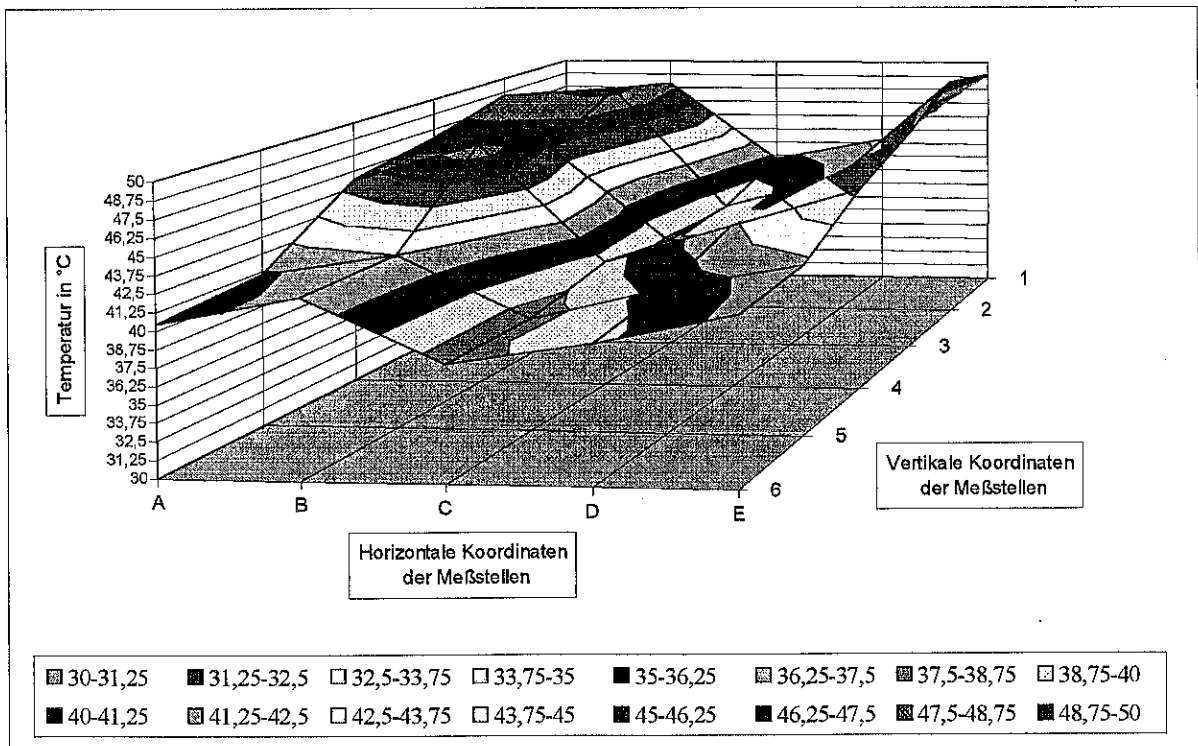


Bild 8: Temperaturprofil nach 15 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9
 Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C
 Wärmestrahlung: 0,1 W/cm²

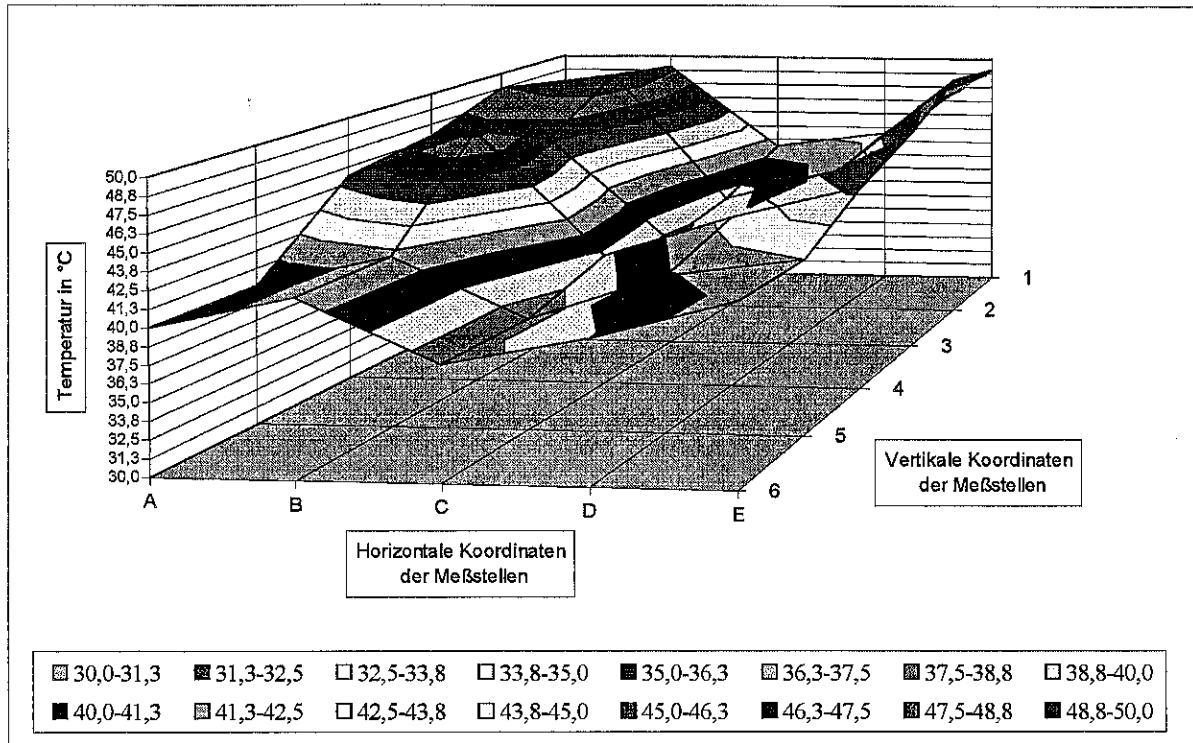


Bild 9: Temperaturprofil nach 20 Minuten



Meßstellenanordnung auf Dummy (siehe auch Anlage 3)

	A	B	C	D	E
1	34	35	36	37	38
2	42	43	44	45	46
3	50	51	52	53	54
4	58	59	60	61	62
5	66	67	68	69	70
6	73	74	75	76	77

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C

Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

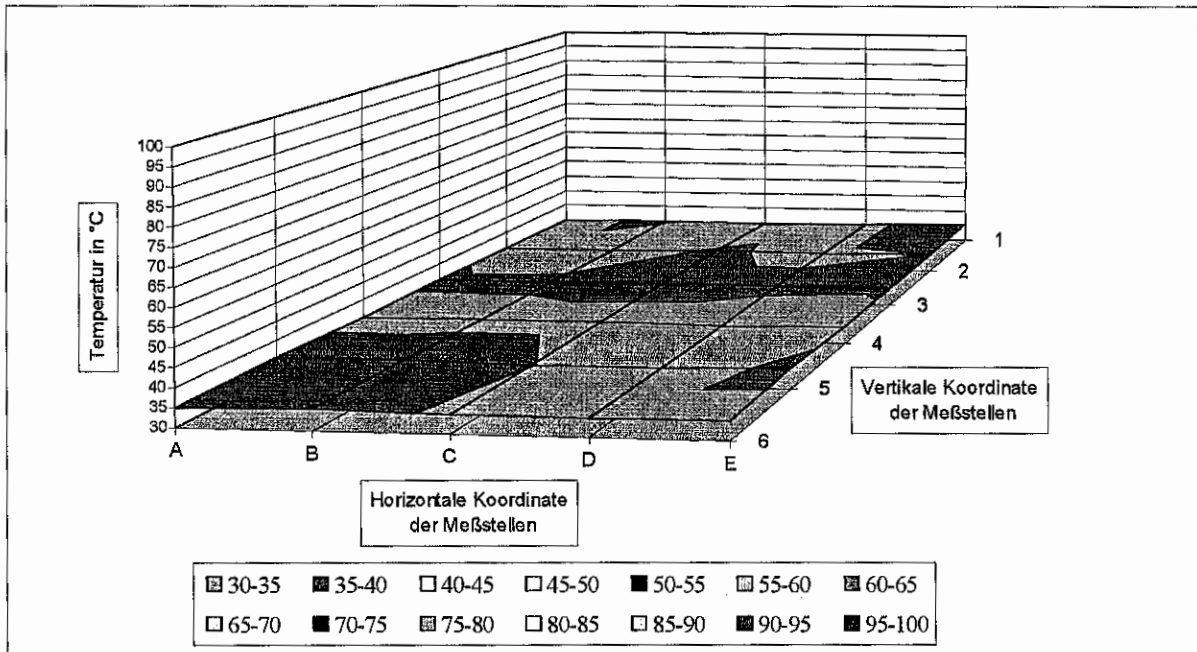


Bild 1: Temperaturprofil nach 0 Minuten

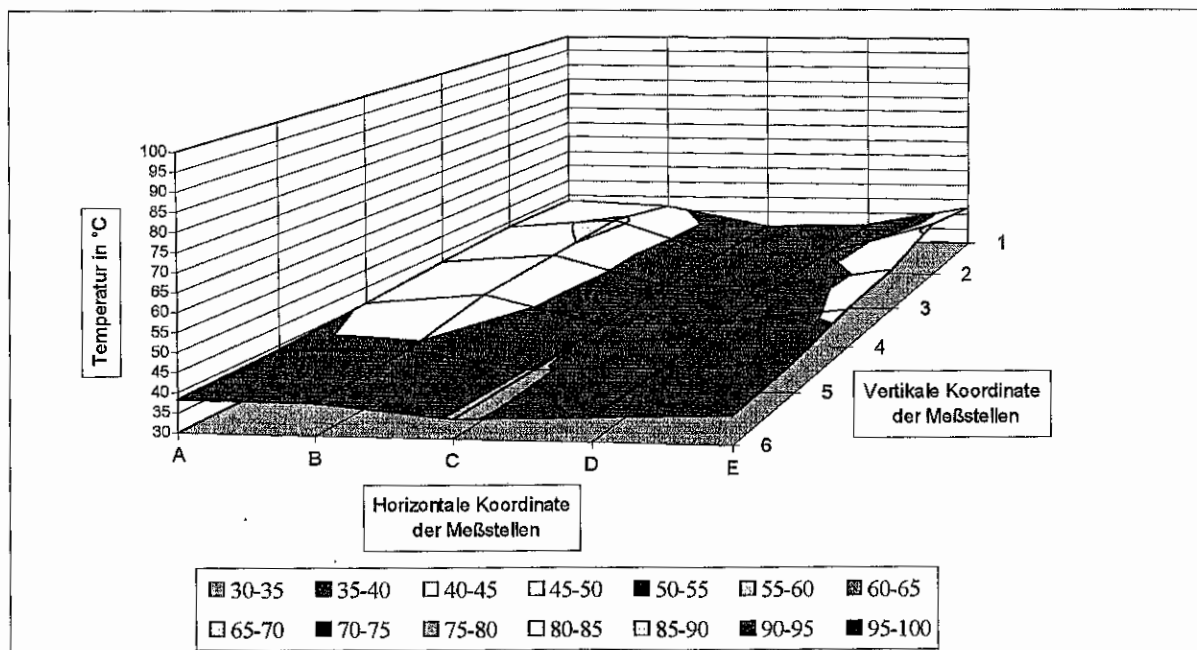


Bild 2: Temperaturprofil nach 1 Minute

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C

Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

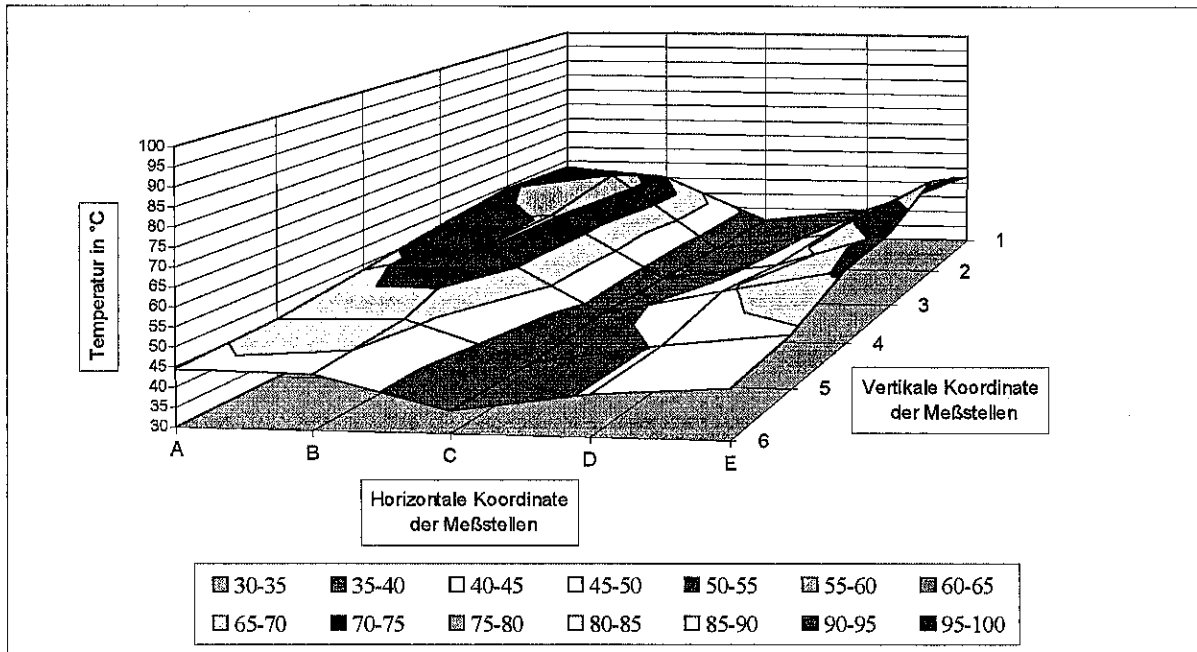


Bild 3: Temperaturprofil nach 2 Minuten

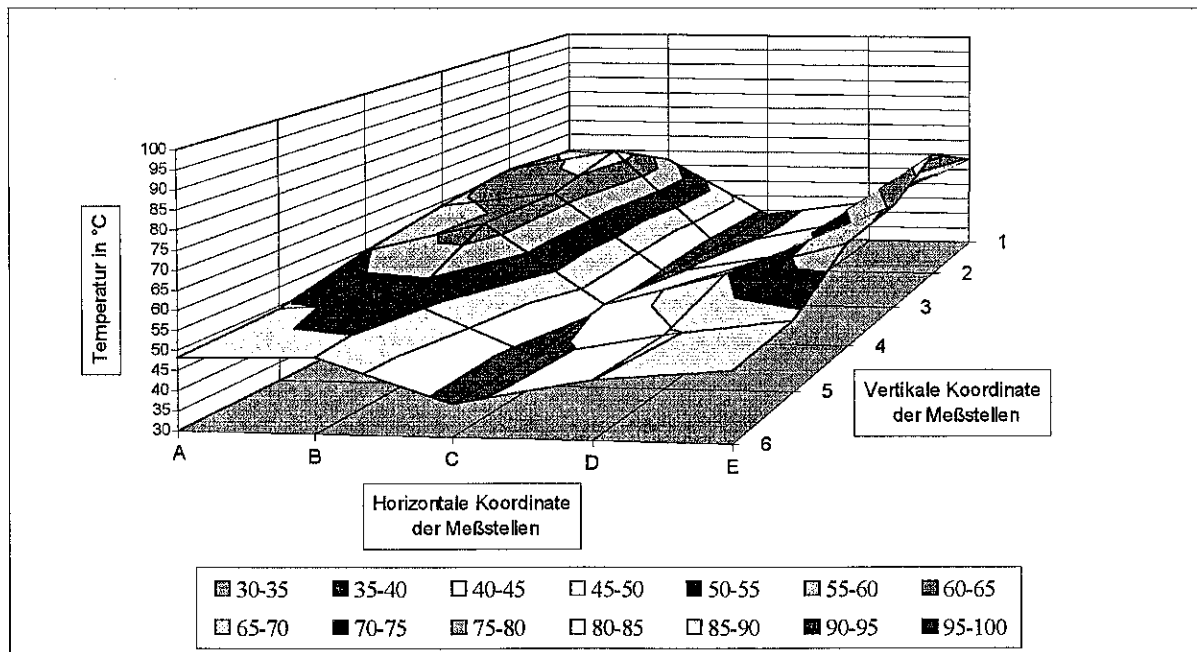


Bild 4: Temperaturprofil nach 3 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9
 Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C
 Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

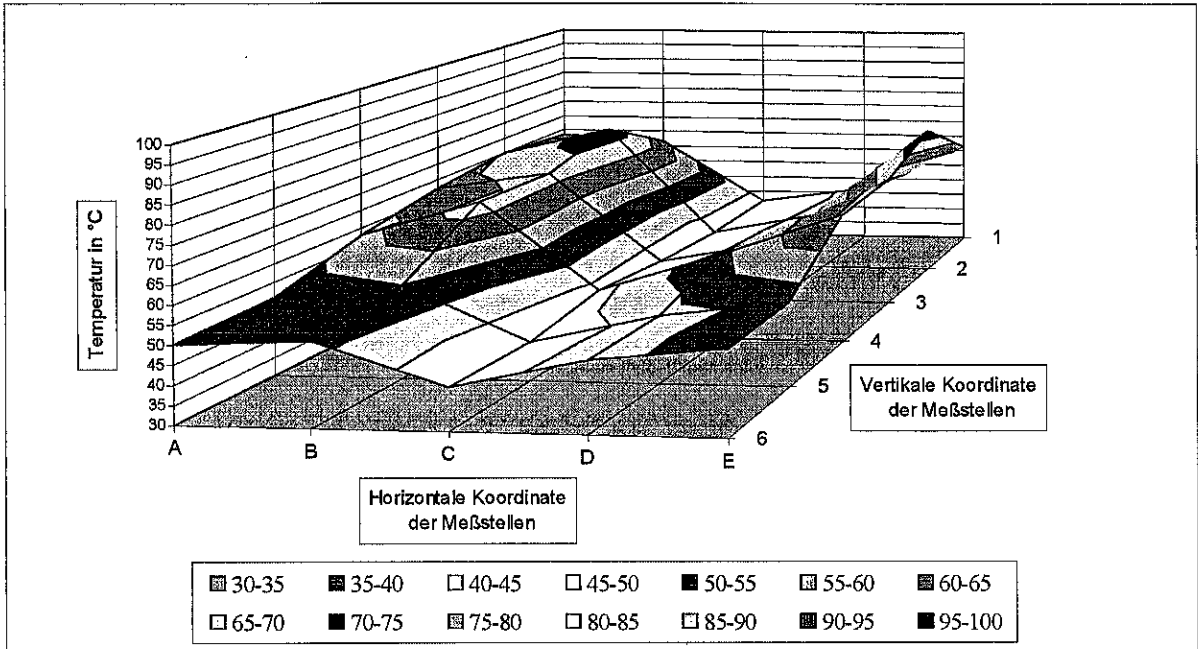


Bild 5: Temperaturprofil nach 4 Minuten

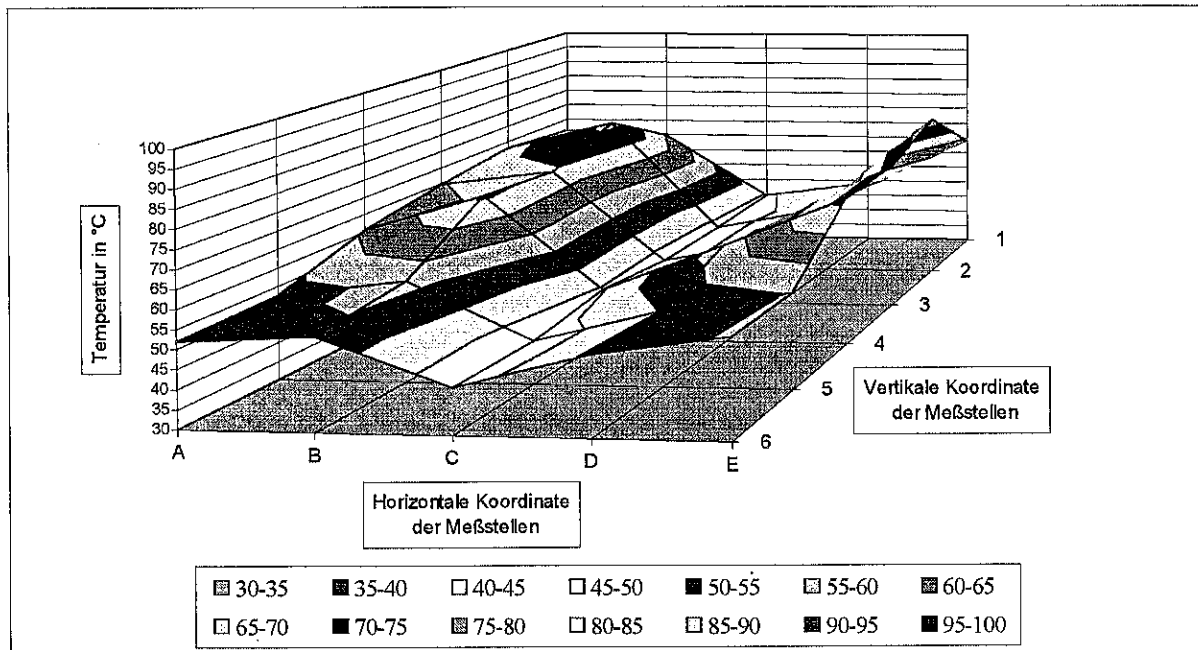


Bild 6: Temperaturprofil nach 5 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9
 Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C
 Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

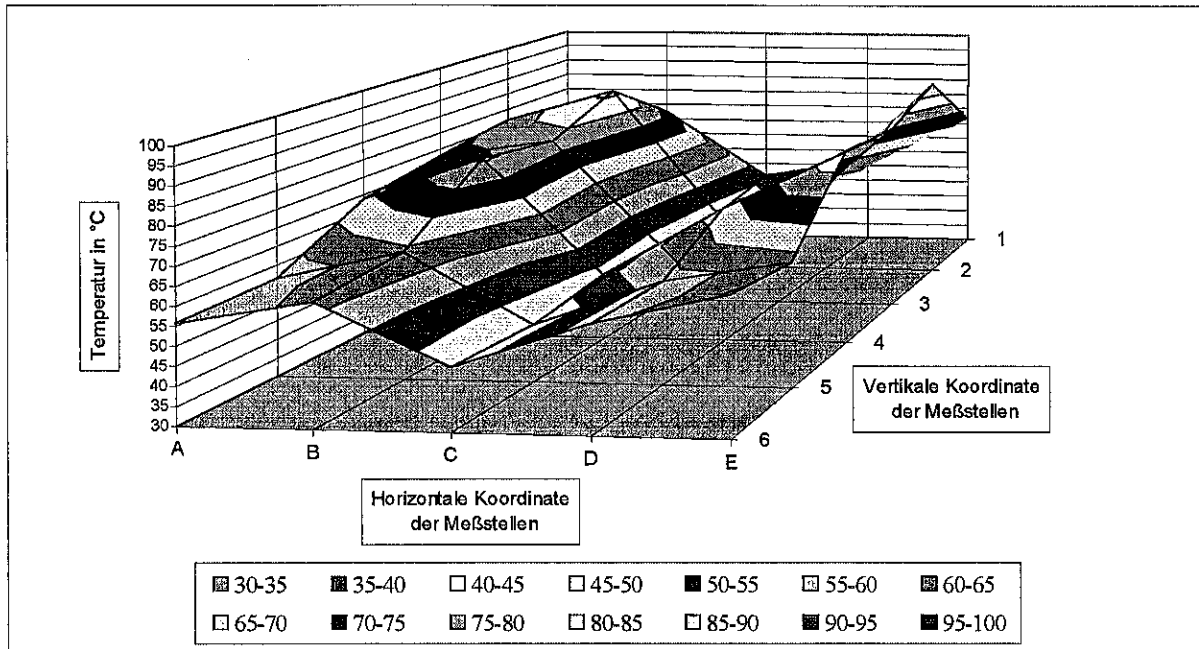


Bild 7: Temperaturprofil nach 10 Minuten

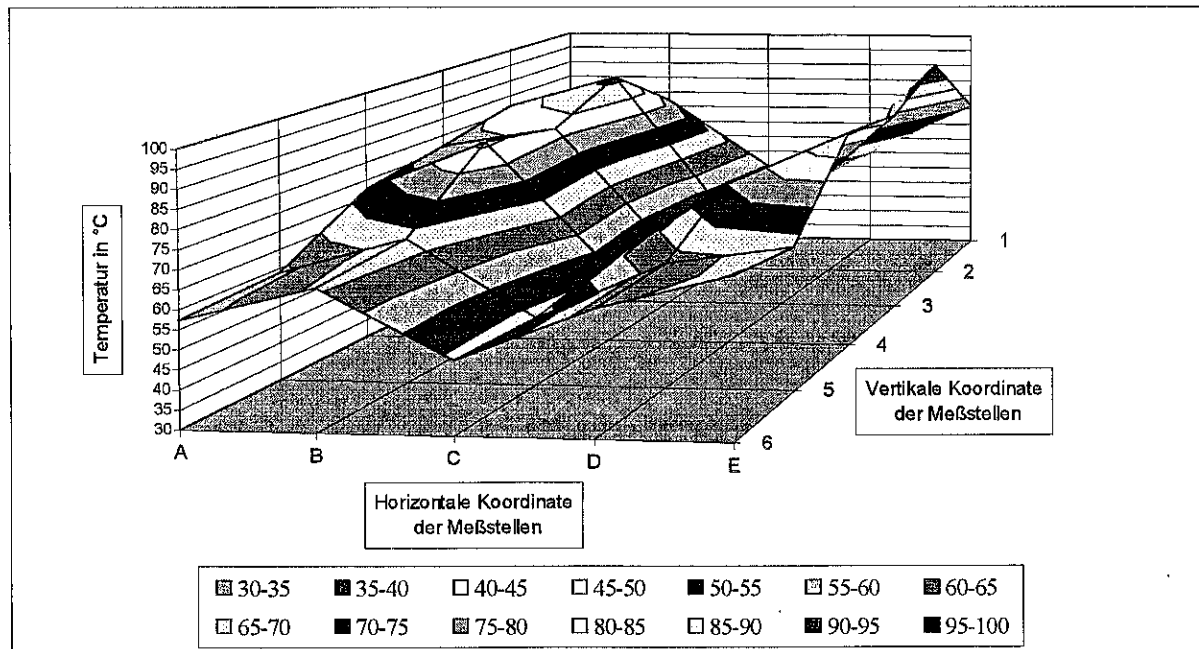


Bild 8: Temperaturprofil nach 15 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9
 Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C
 Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

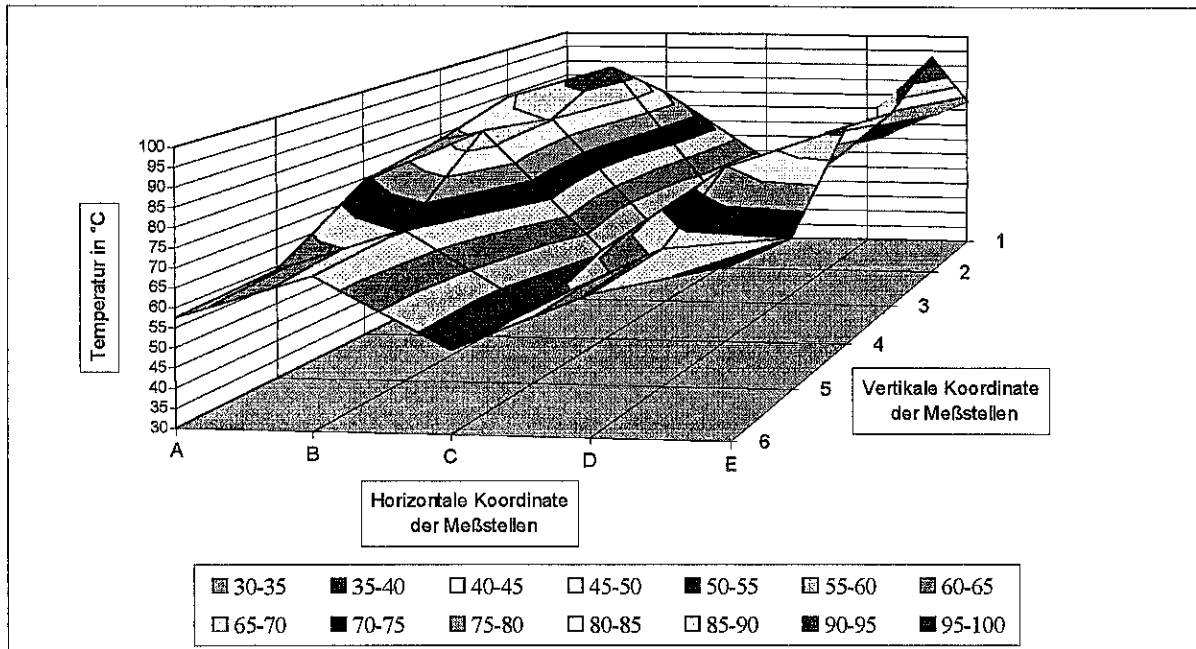


Bild 9: Temperaturprofil nach 20 Minuten



Meßstellenanordnung auf Dummy (siehe auch Anlage 3)

	A	B	C	D	E
1	34	35	36	37	38
2	42	43	44	45	46
3	50	51	52	53	54
4	58	59	60	61	62
5	66	67	68	69	70
6	73	74	75	76	77

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Temperierung Hardy II auf 37 °C vor Versuchsbeginn. Danach Abstellen der Umwälzpumpe und Einstellung Kryo-Thermat auf 5 °C. Nach Erreichen dieser Temperatur Einschalten der Umwälzpumpe und Versuchsbeginn
Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

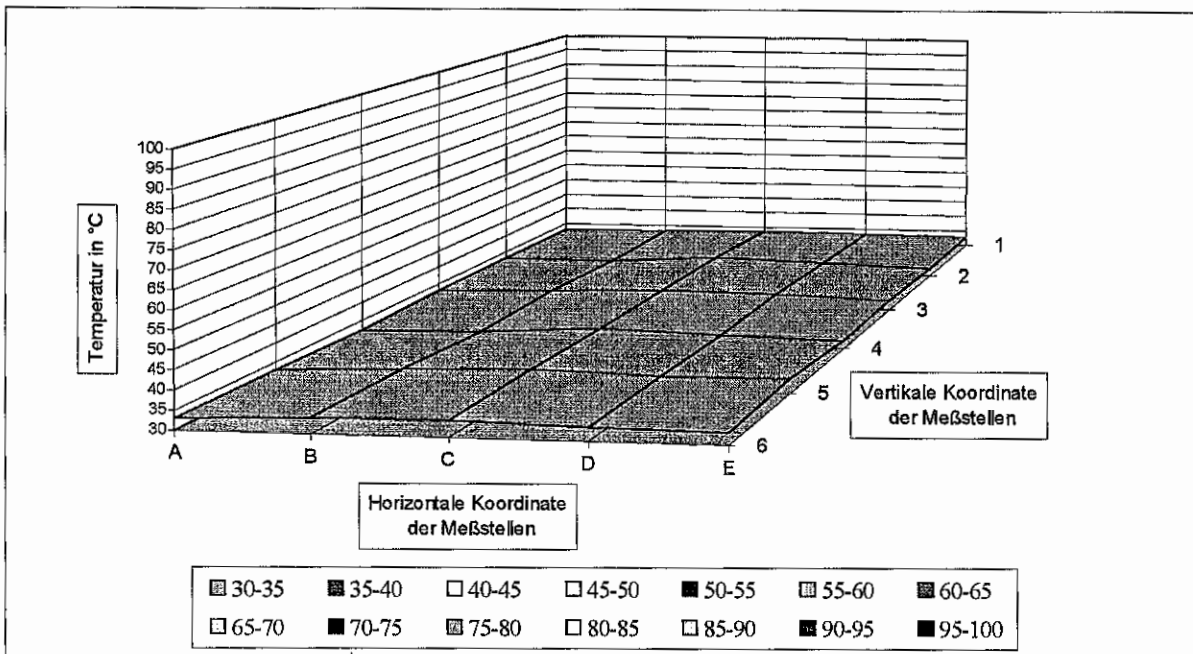


Bild 1: Temperaturprofil nach 0 Minuten

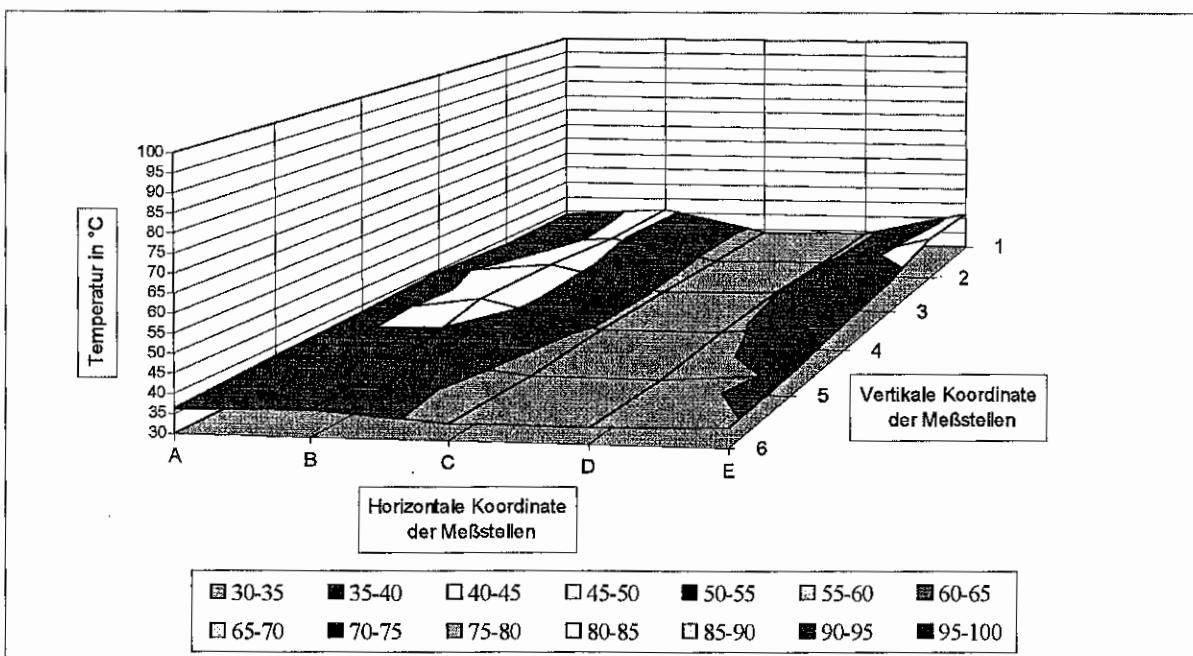


Bild 2: Temperaturprofil nach 1 Minute

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Temperierung Hardy II auf 37 °C vor Versuchsbeginn. Danach Abstellen der Umwälzpumpe und Einstellung Kryo-Thermat auf 5 °C. Nach Erreichen dieser Temperatur Einschalten der Umwälzpumpe und Versuchsbeginn
Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

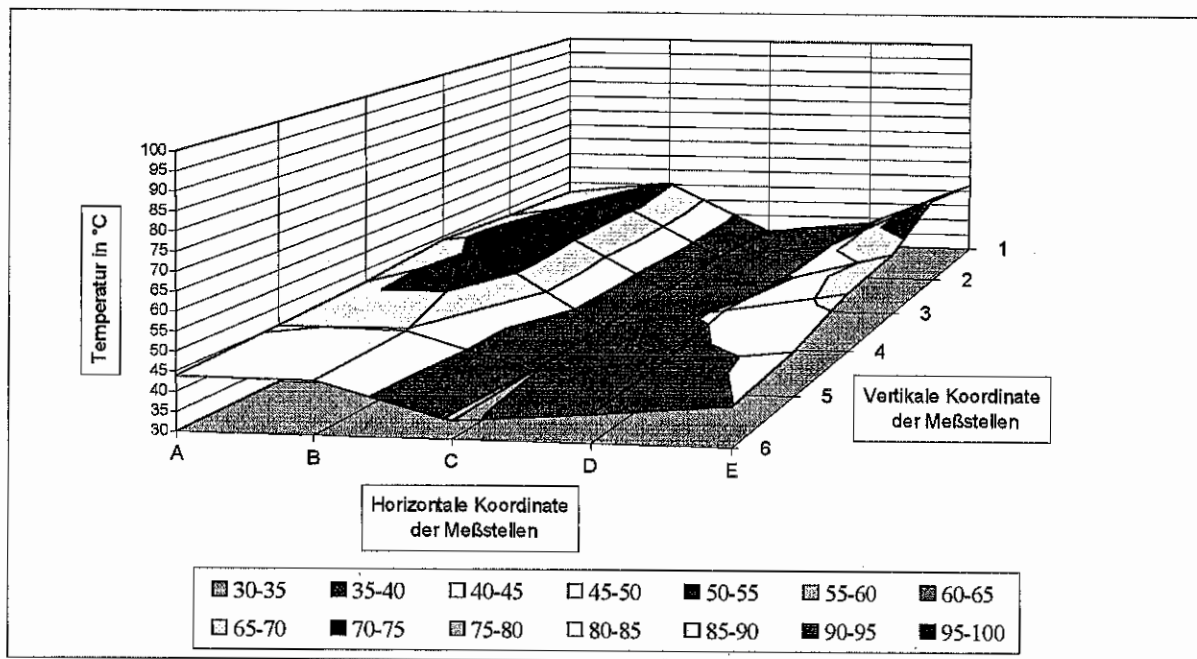


Bild 3: Temperaturprofil nach 2 Minuten

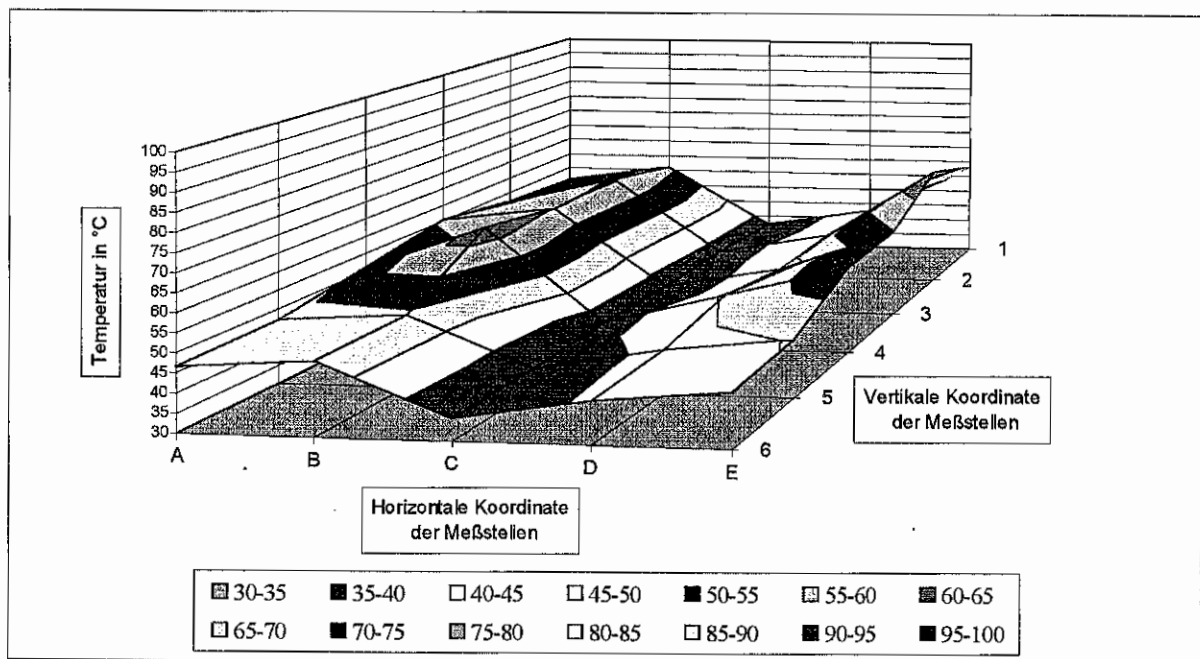


Bild 4: Temperaturprofil nach 3 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Temperierung Hardy II auf 37 °C vor Versuchsbeginn. Danach Abstellen der Umwälzpumpe und Einstellung Kryo-Thermit auf 5 °C. Nach Erreichen dieser Temperatur Einschalten der Umwälzpumpe und Versuchsbeginn
Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

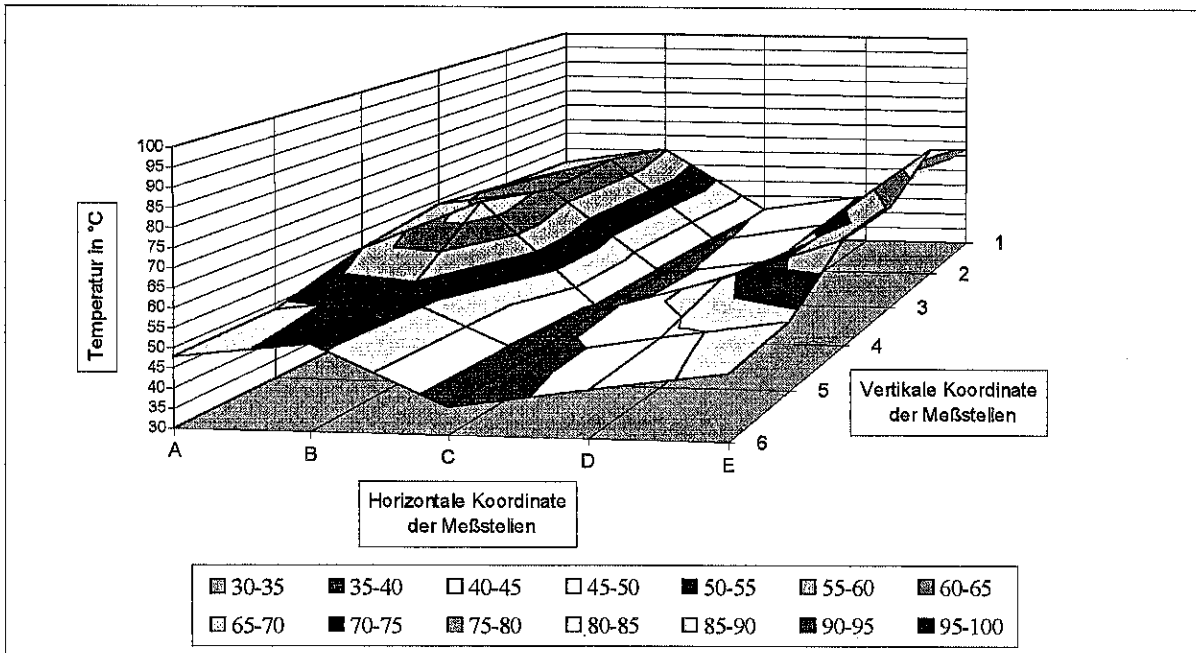


Bild 5: Temperaturprofil nach 4 Minuten

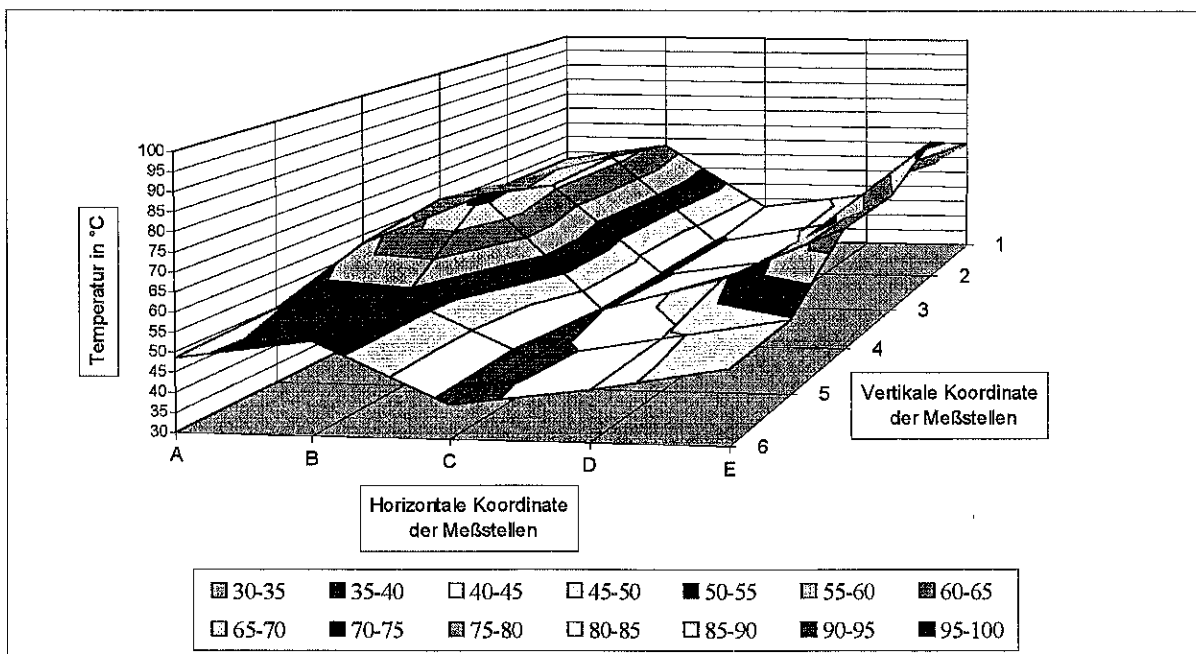


Bild 6: Temperaturprofil nach 5 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Temperierung Hardy II auf 37 °C vor Versuchsbeginn. Danach Abstellen der Umwälzpumpe und Einstellung Kryo-Thermostat auf 5 °C. Nach Erreichen dieser Temperatur Einschalten der Umwälzpumpe und Versuchsbeginn
Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

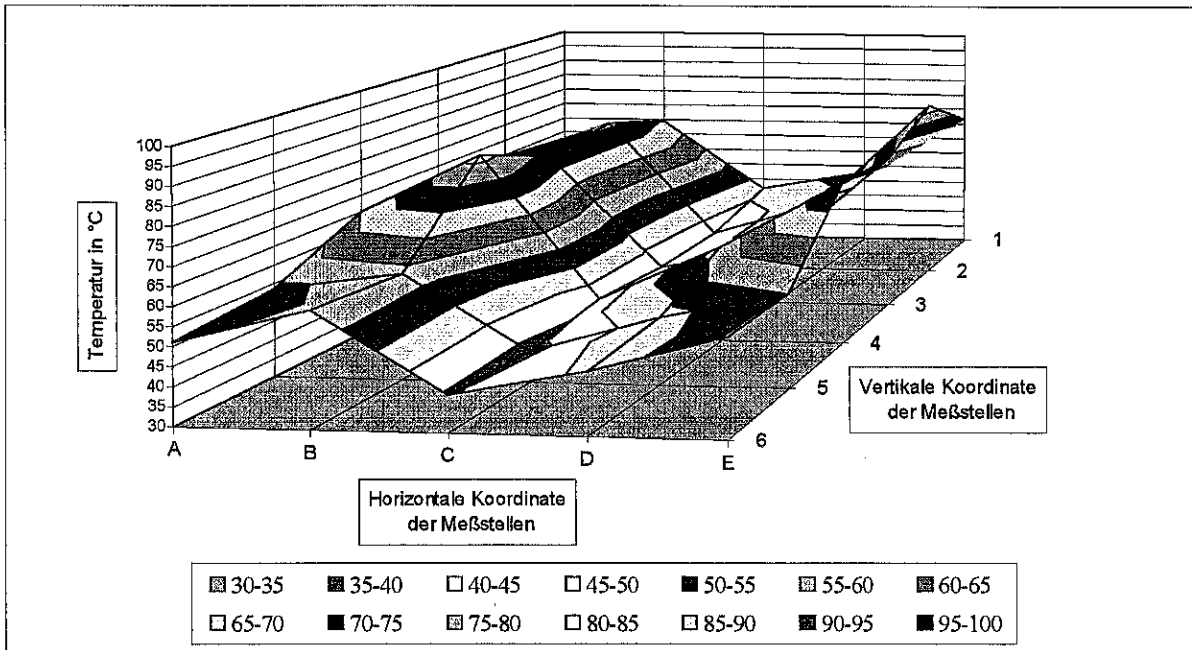


Bild 7: Temperaturprofil nach 10 Minuten

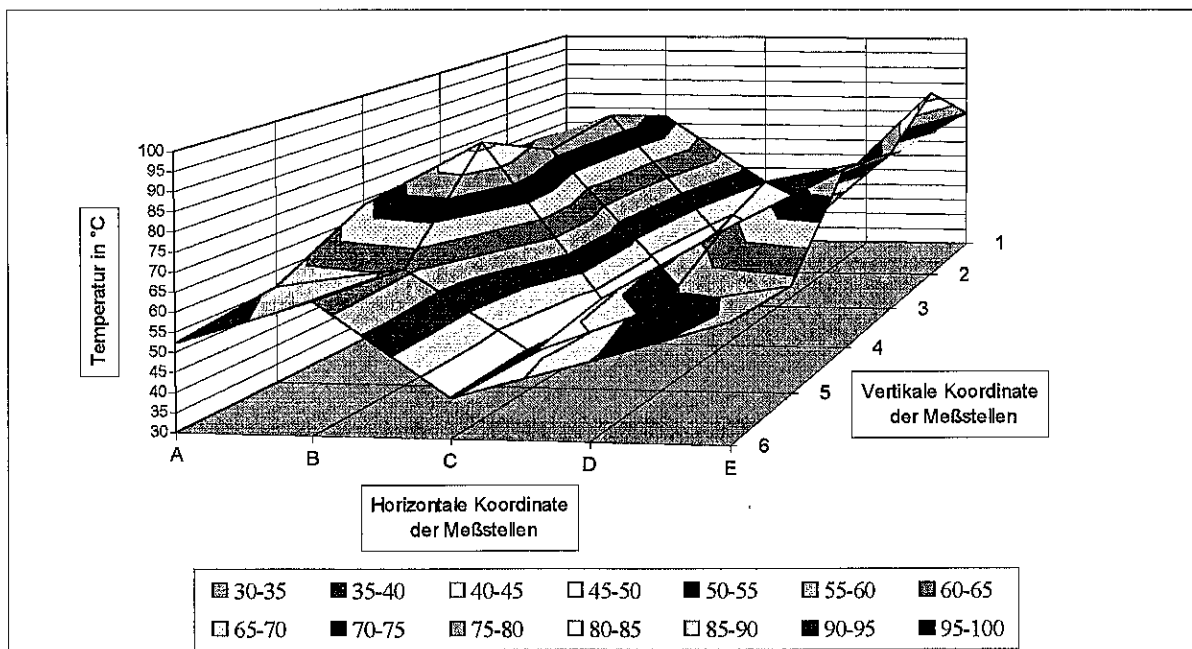


Bild 8: Temperaturprofil nach 15 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Temperierung Hardy II auf 37 °C vor Versuchsbeginn. Danach Abstellen der Umwälzpumpe und Einstellung Kryo-Thermat auf 5 °C. Nach Erreichen dieser Temperatur Einschalten der Umwälzpumpe und Versuchsbeginn
Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

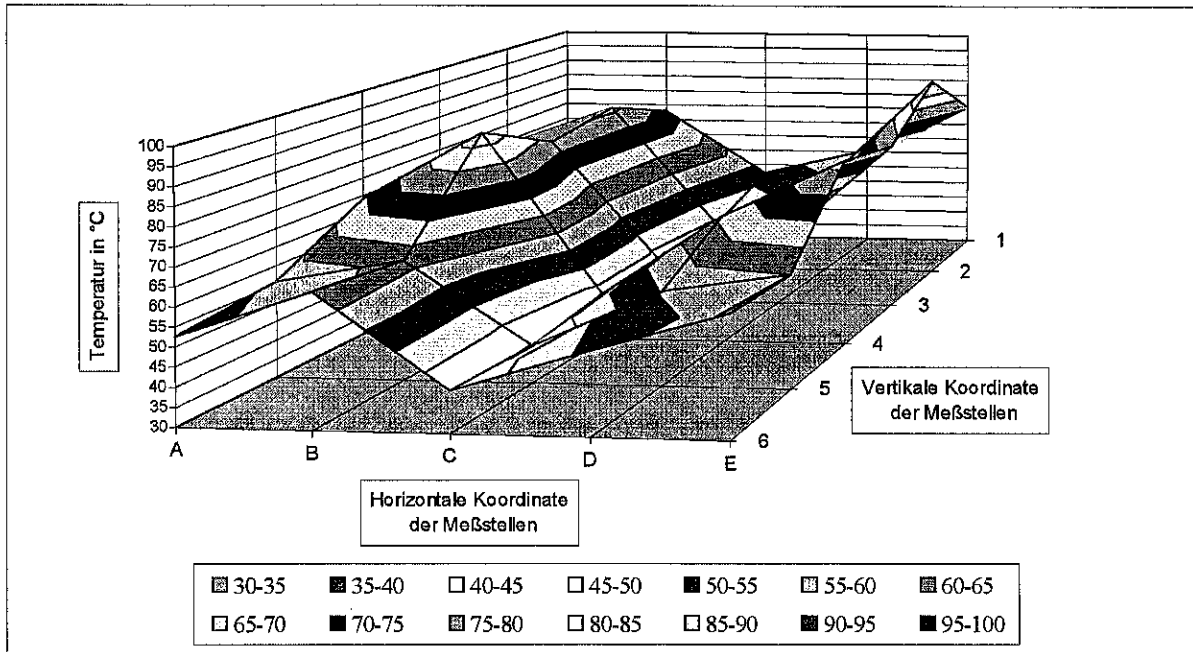


Bild 9: Temperaturprofil nach 20 Minuten



Meßstellenanordnung auf Dummy (siehe auch Anlage 3)

	A	B	C	D	E
1	34	35	36	37	38
2	42	43	44	45	46
3	50	51	52	53	54
4	58	59	60	61	62
5	66	67	68	69	70
6	73	74	75	76	77

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Einstellung Kryo-Thermat auf 31 °C als Vorheizung und während des Versuches

Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

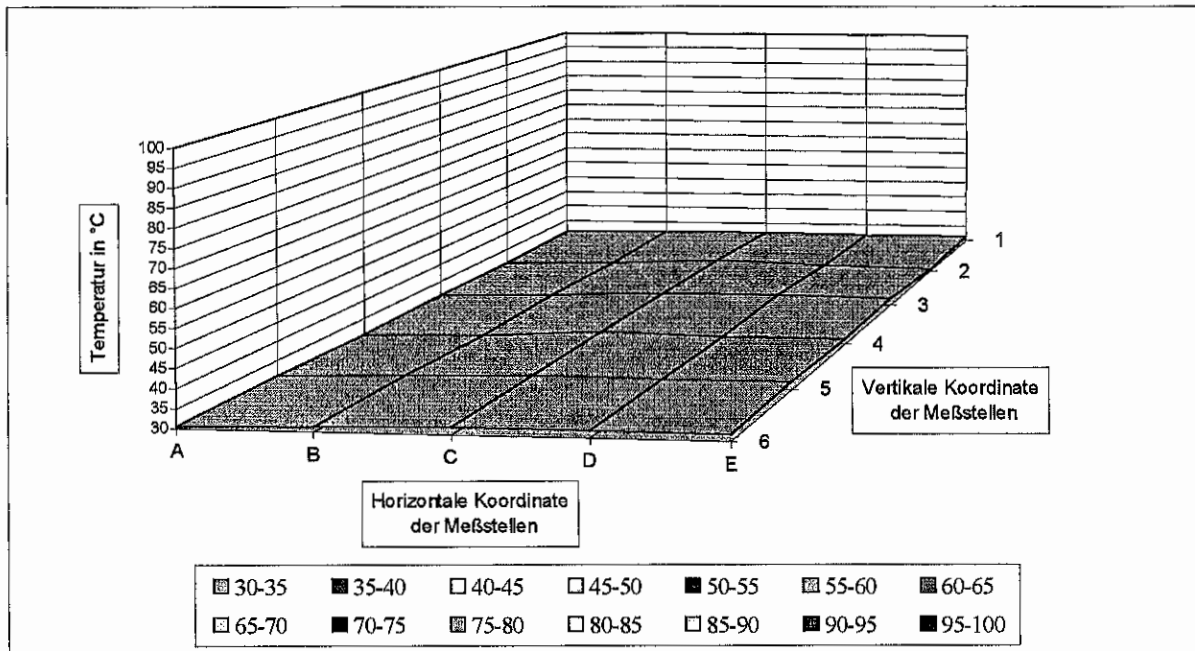


Bild 1: Temperaturprofil nach 0 Minuten

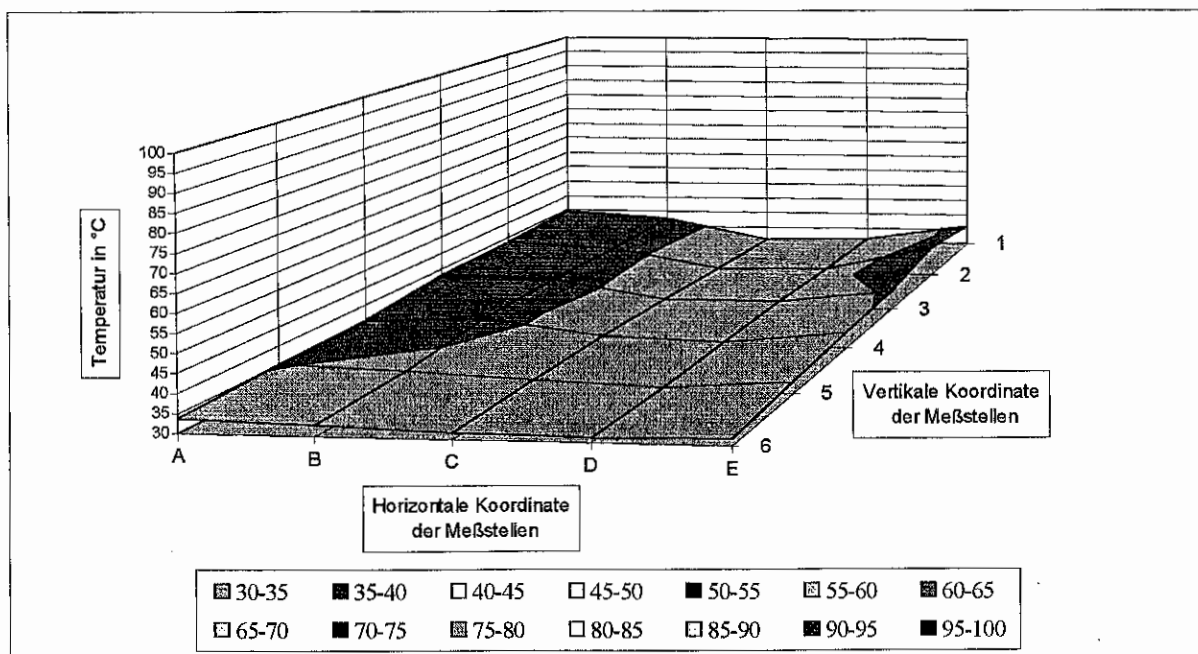


Bild 2: Temperaturprofil nach 1 Minute

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Einstellung Kryo-Thermat auf 31 °C als Vorheizung und während des Versuches

Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

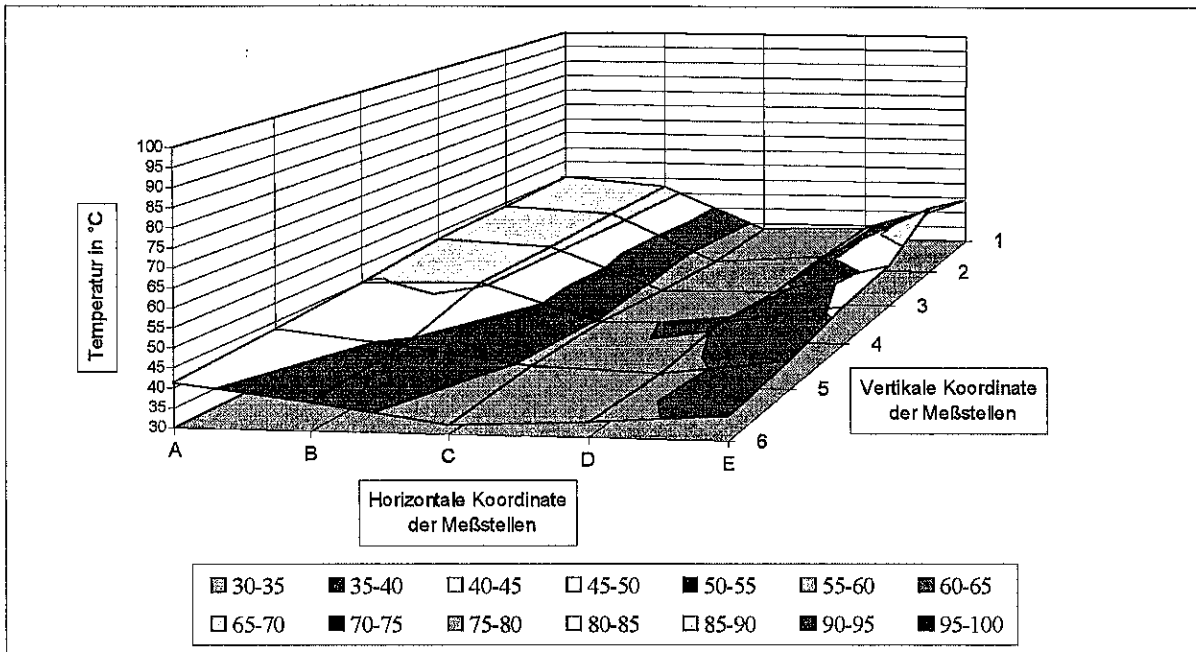


Bild 3: Temperaturprofil nach 2 Minuten

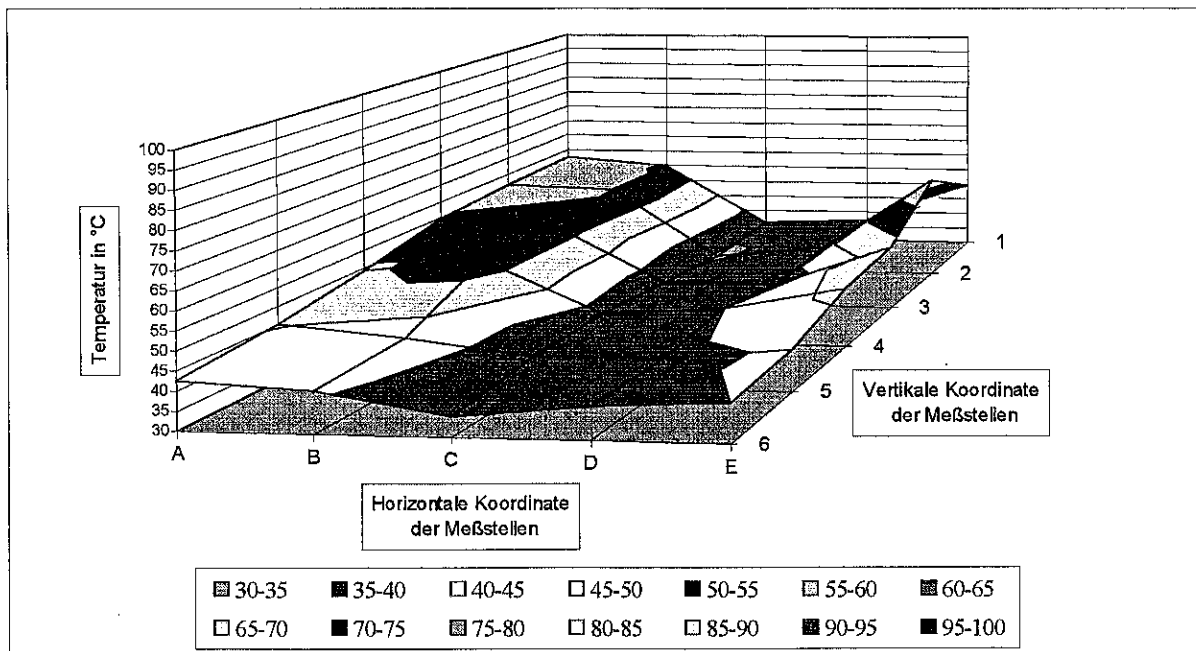


Bild 4: Temperaturprofil nach 3 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Einstellung Kryo-Thermat auf 31 °C als Vorheizung und während des Versuches

Wärmestahlung: 0,3 W/cm²

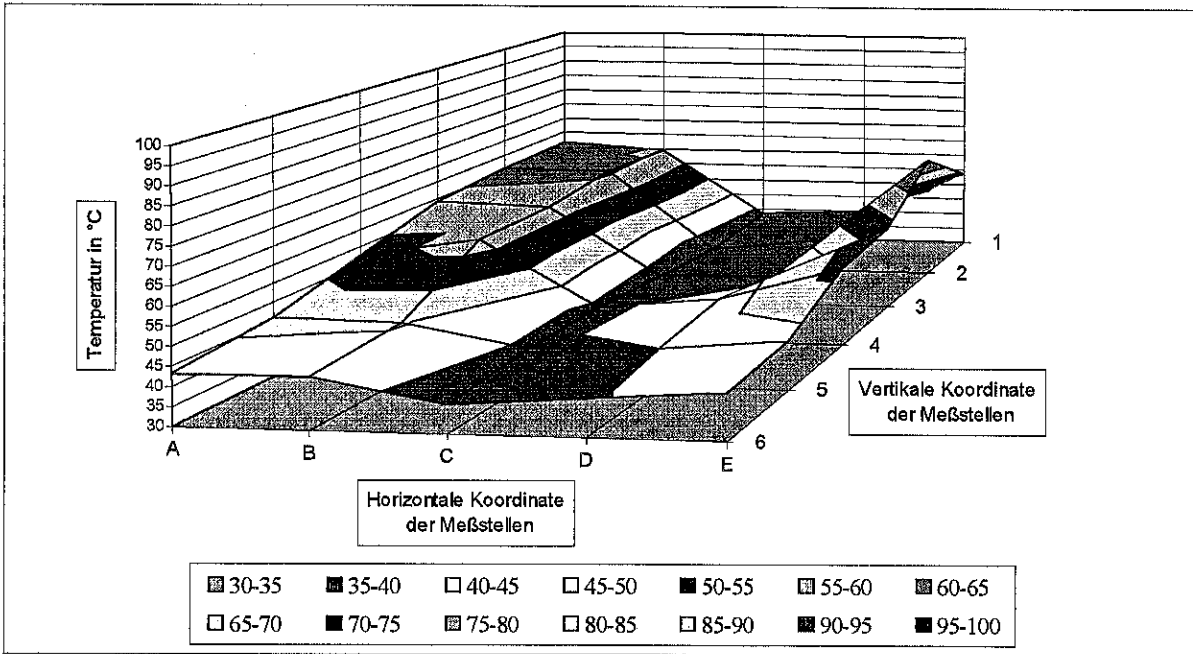


Bild 5: Temperaturprofil nach 4 Minuten

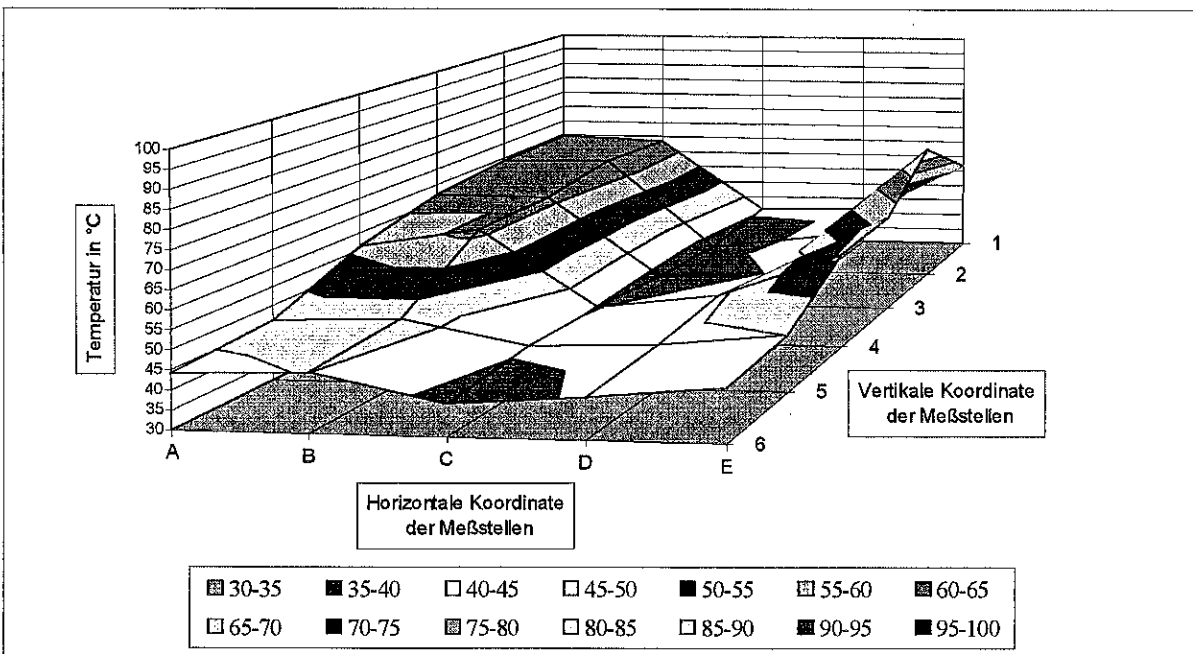


Bild 6: Temperaturprofil nach 5 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Einstellung Kryo-Thermat auf 31 °C als Vorheizung und während des Versuches

Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

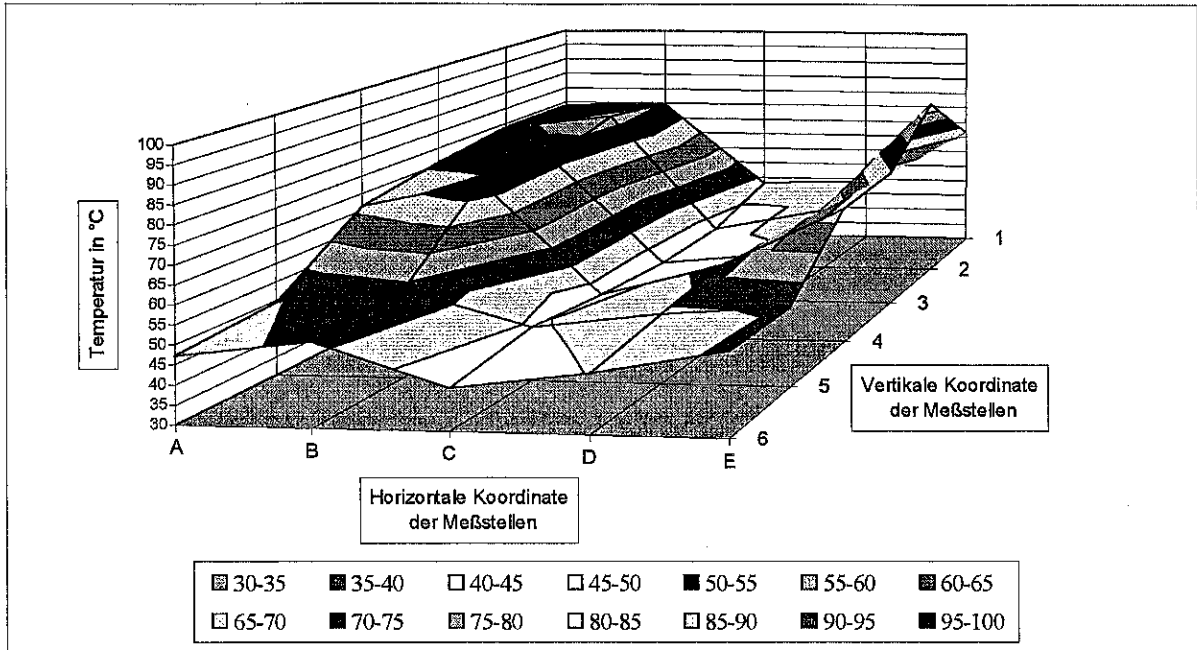


Bild 7: Temperaturprofil nach 10 Minuten

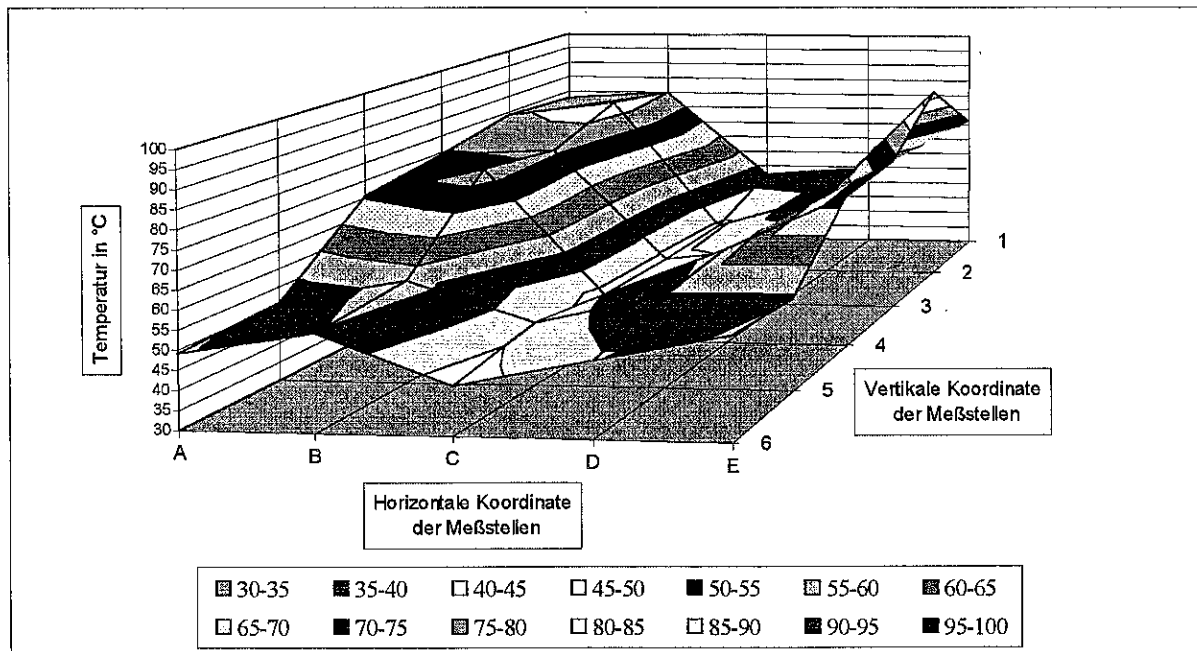


Bild 8: Temperaturprofil nach 15 Minuten

Oberflächeninnentemperaturprofil einer Feuerwehrüberjacke

Meßstellenanordnung siehe Tabelle nach Bild 9

Einstellung Kryo-Thermat auf 31 °C als Vorheizung und während des Versuches

Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

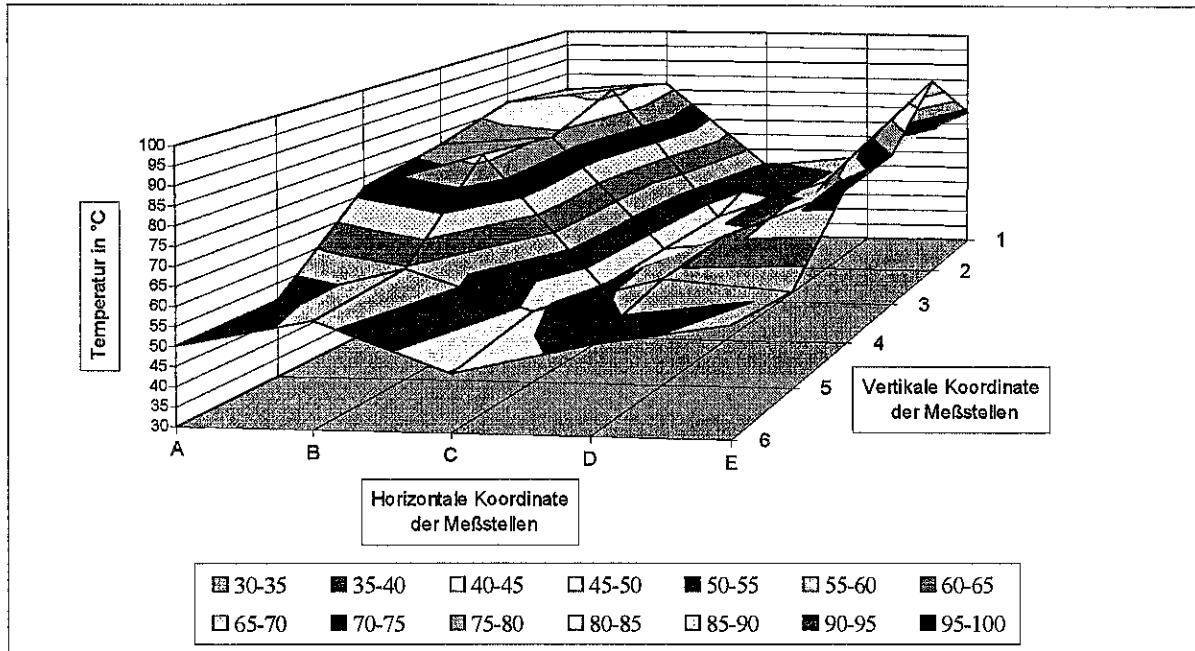


Bild 9: Temperaturprofil nach 20 Minuten



Meßstellenanordnung auf Dummy (siehe auch Anlage 3)

	A	B	C	D	E
1	34	35	36	37	38
2	42	43	44	45	46
3	50	51	52	53	54
4	58	59	60	61	62
5	66	67	68	69	70
6	73	74	75	76	77

Hauttemperatur als Funktion der Zeit an Meßstelle 29*

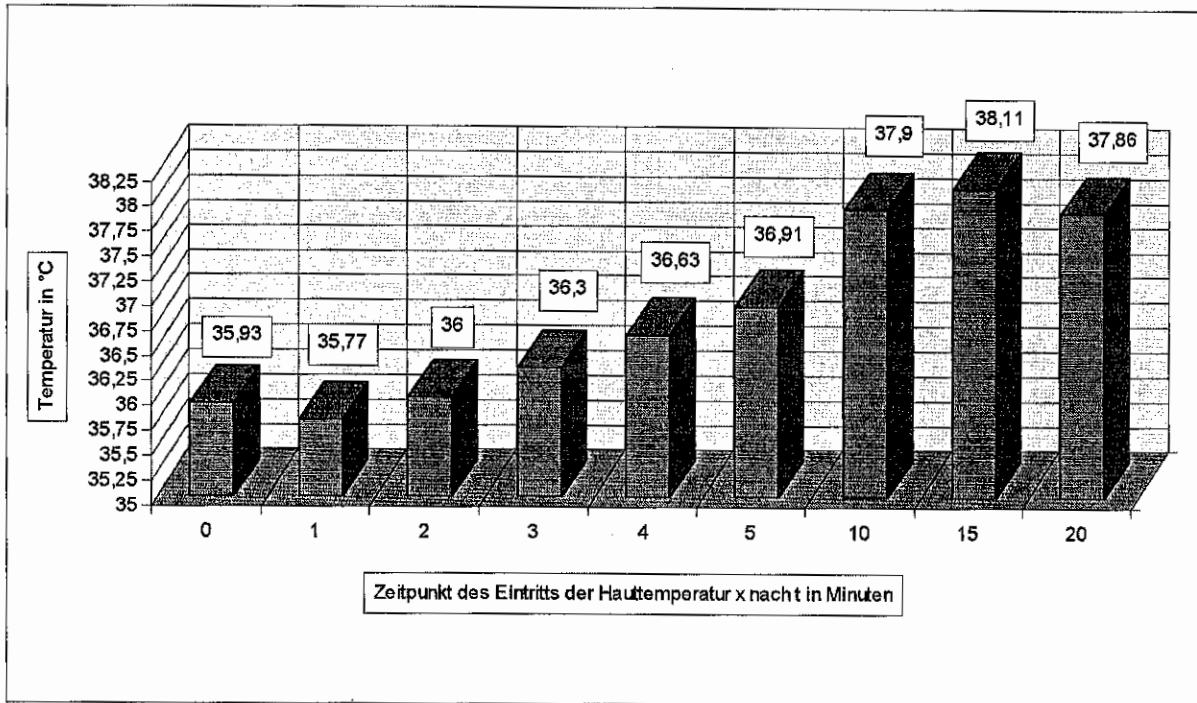


Bild 1: Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C
Wärmestrahlung: 0,1 W/cm²

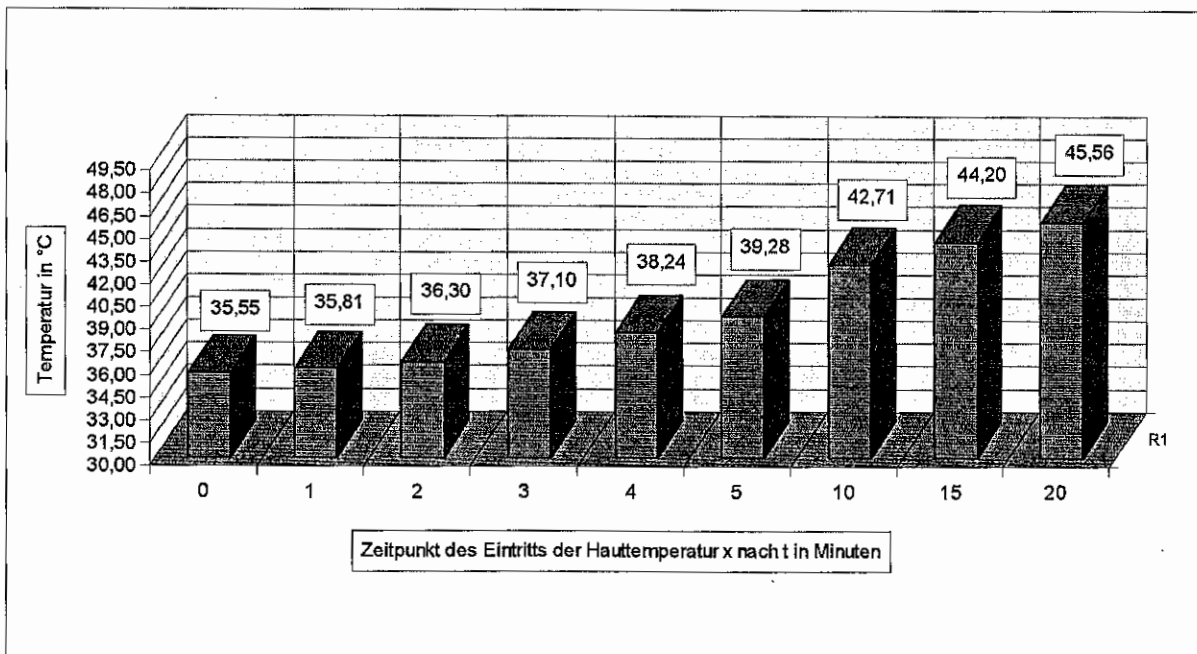


Bild 2: Wassertemperatur Kühlkreislauf Dummy: 37 °C
Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

* Ort der Meßstelle 29 siehe Anlage 3

Hauttemperatur als Funktion der Zeit an Meßstelle 29*

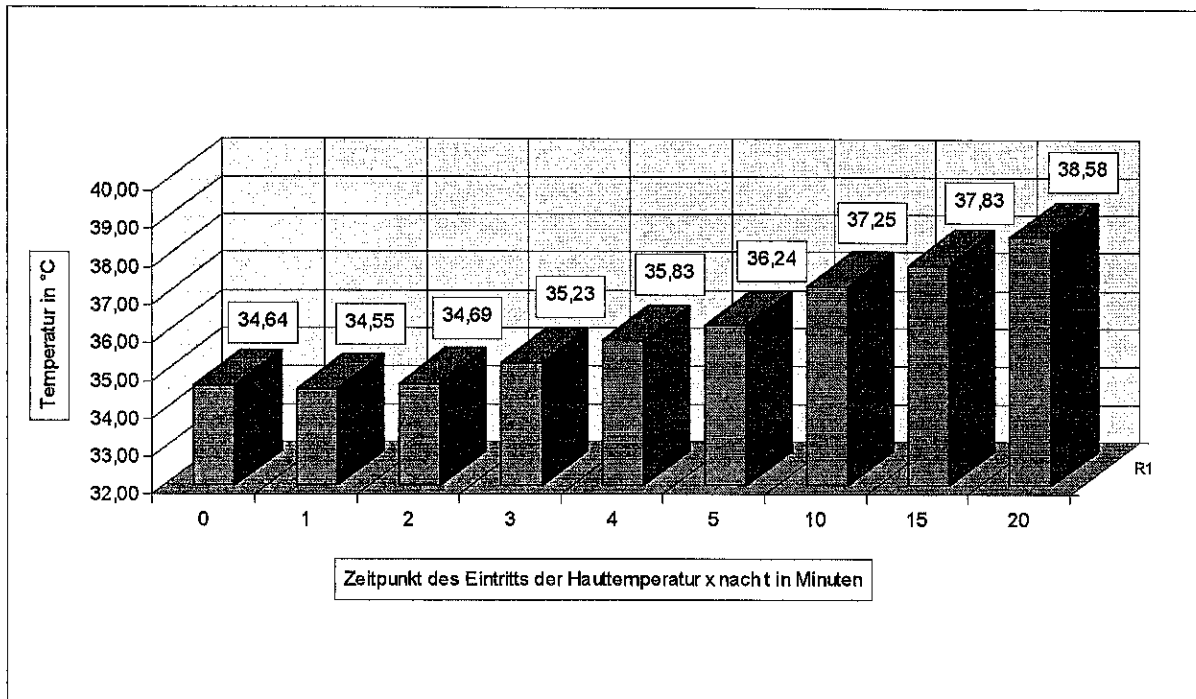


Bild 3: Temperierung Hardy II auf 37 °C vor Versuchsbeginn. Danach Abstellen der Umwälzpumpe und Temperatureinstellung auf 5 °C. Nach Erreichen dieser Temperatur Einschalten der Umwälzpumpe und Versuchsbeginn. Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

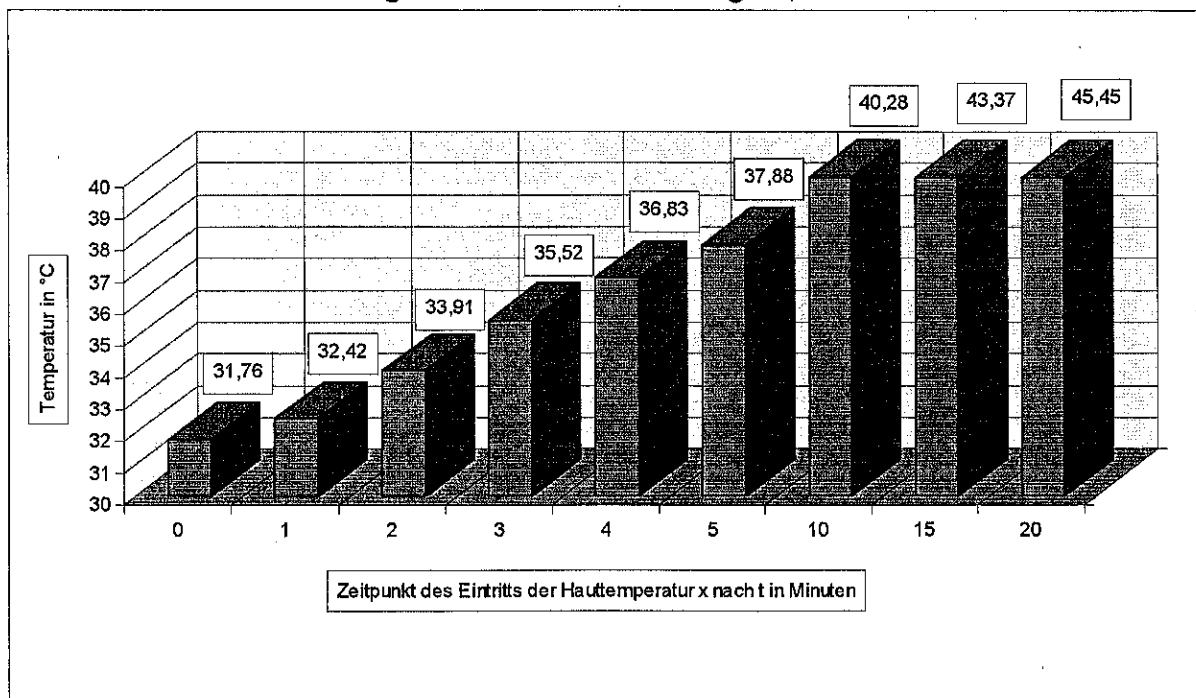
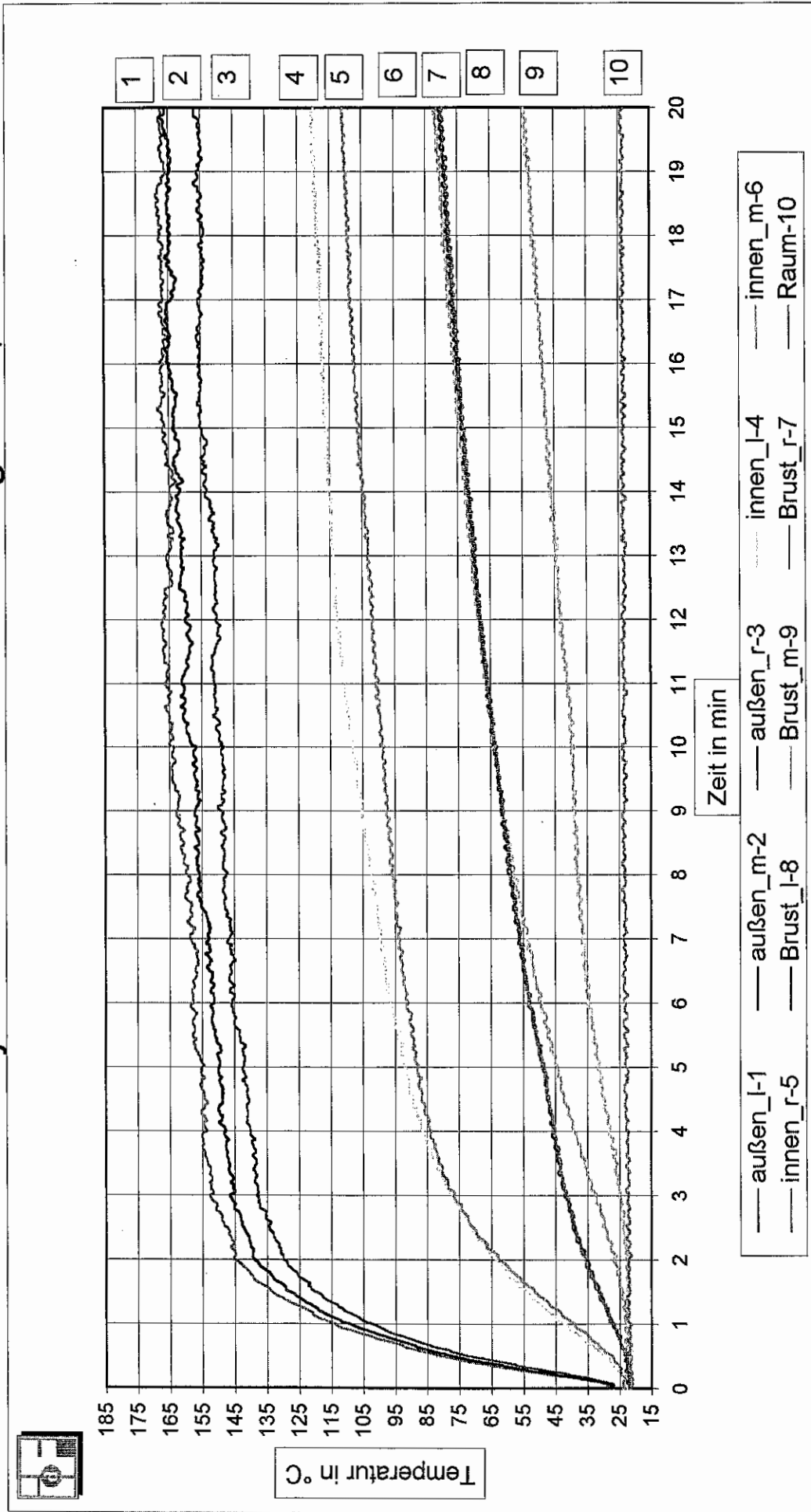


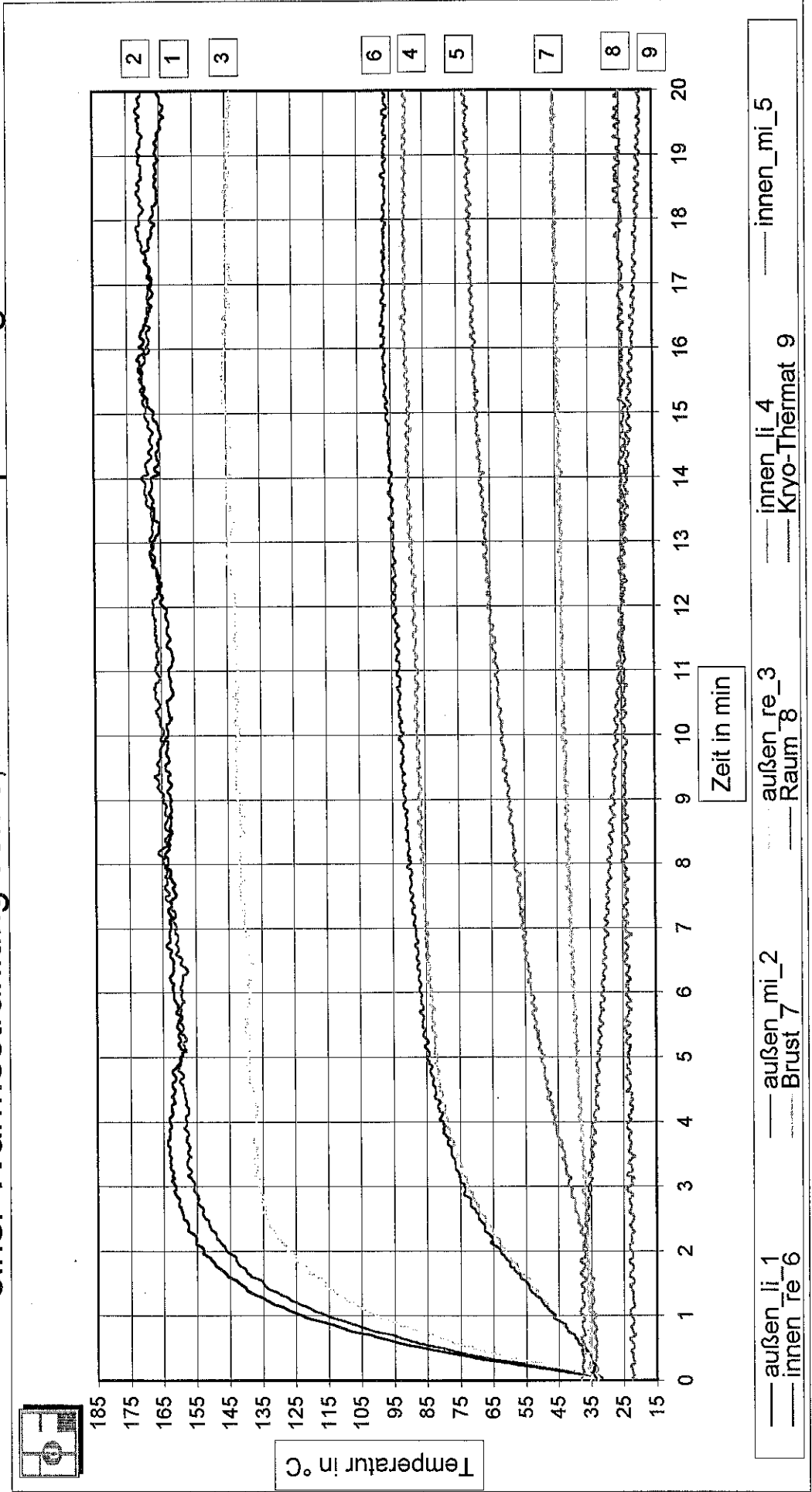
Bild 4: Temperierung Hardy II auf 31 °C (Vorwärmung und während des Versuches). Wärmestrahlung: 0,3 W/cm²

* Ort der Meßstelle 29 siehe Anlage 3

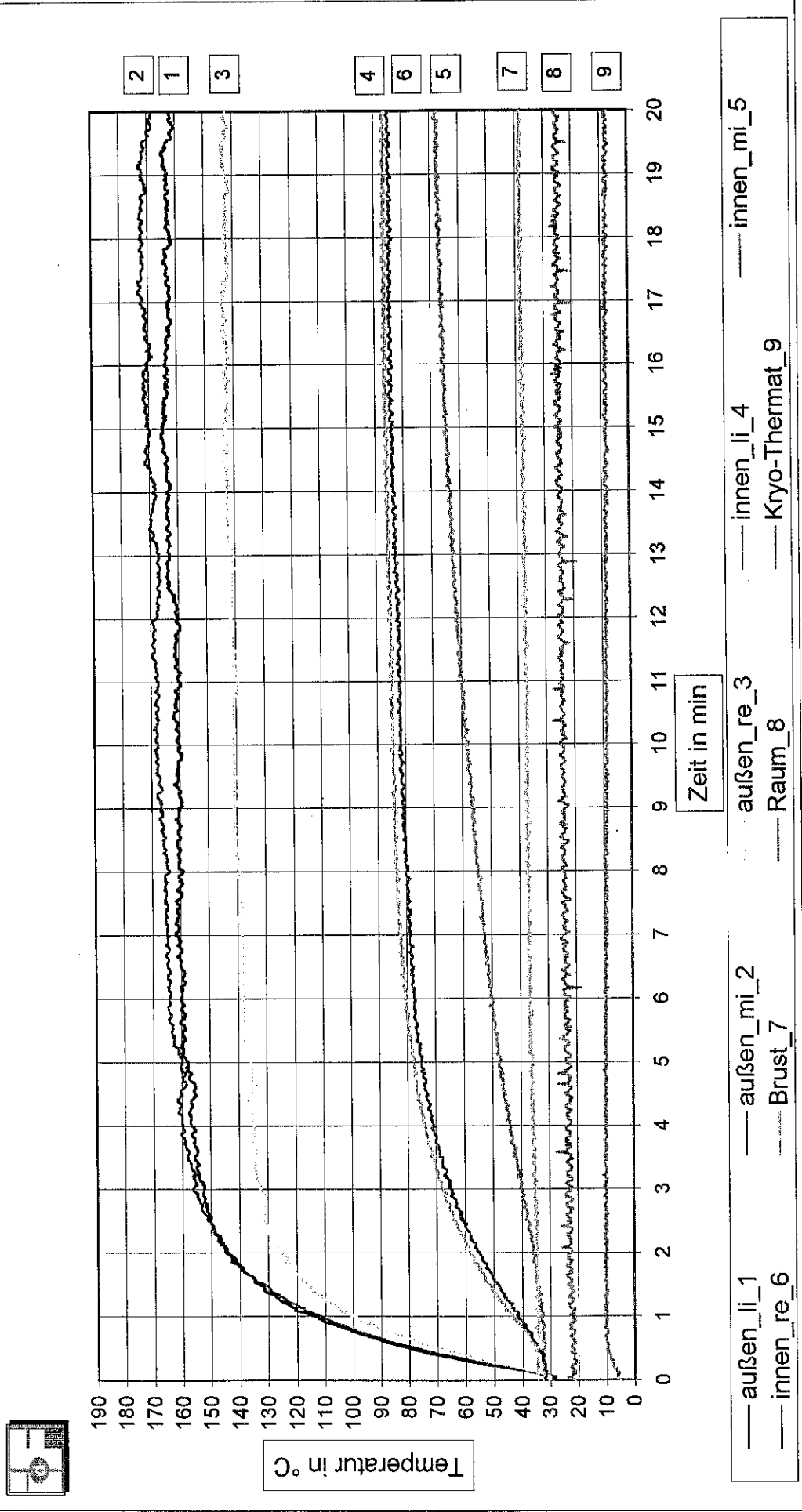
Temperaturen auf der Brust des Dummys aus Holz und an der Feuerwehrrüberjacke bei einer Wärmestrahlung von $0,3 \text{ W/cm}^2$



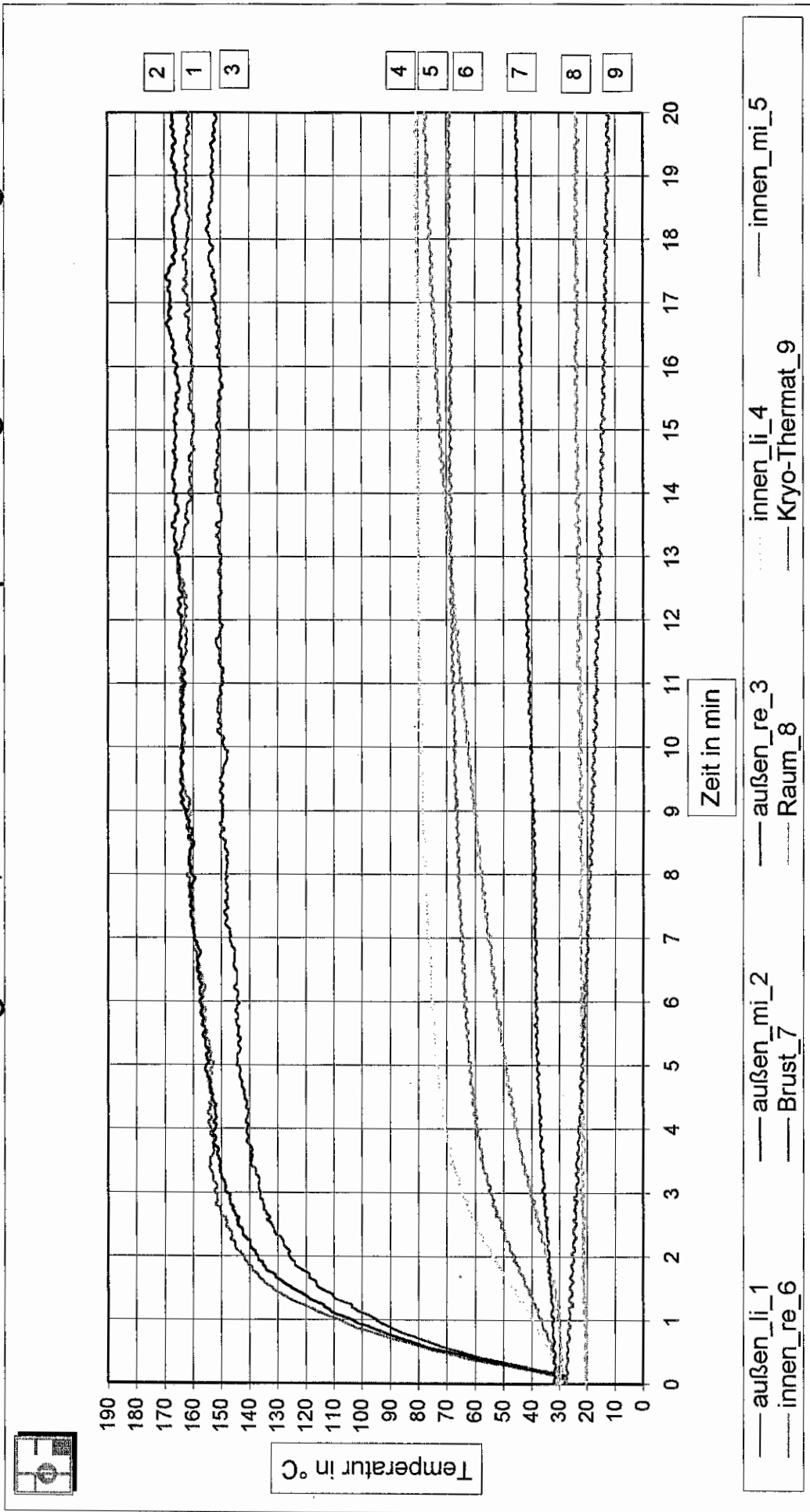
Temperaturen auf der Brust von HARDY II und an der Feuerwehrüberjacke bei einer Wärmestrahlung von $0,3 \text{ W/cm}^2$ - Temperaturung $37 \text{ }^\circ\text{C}$



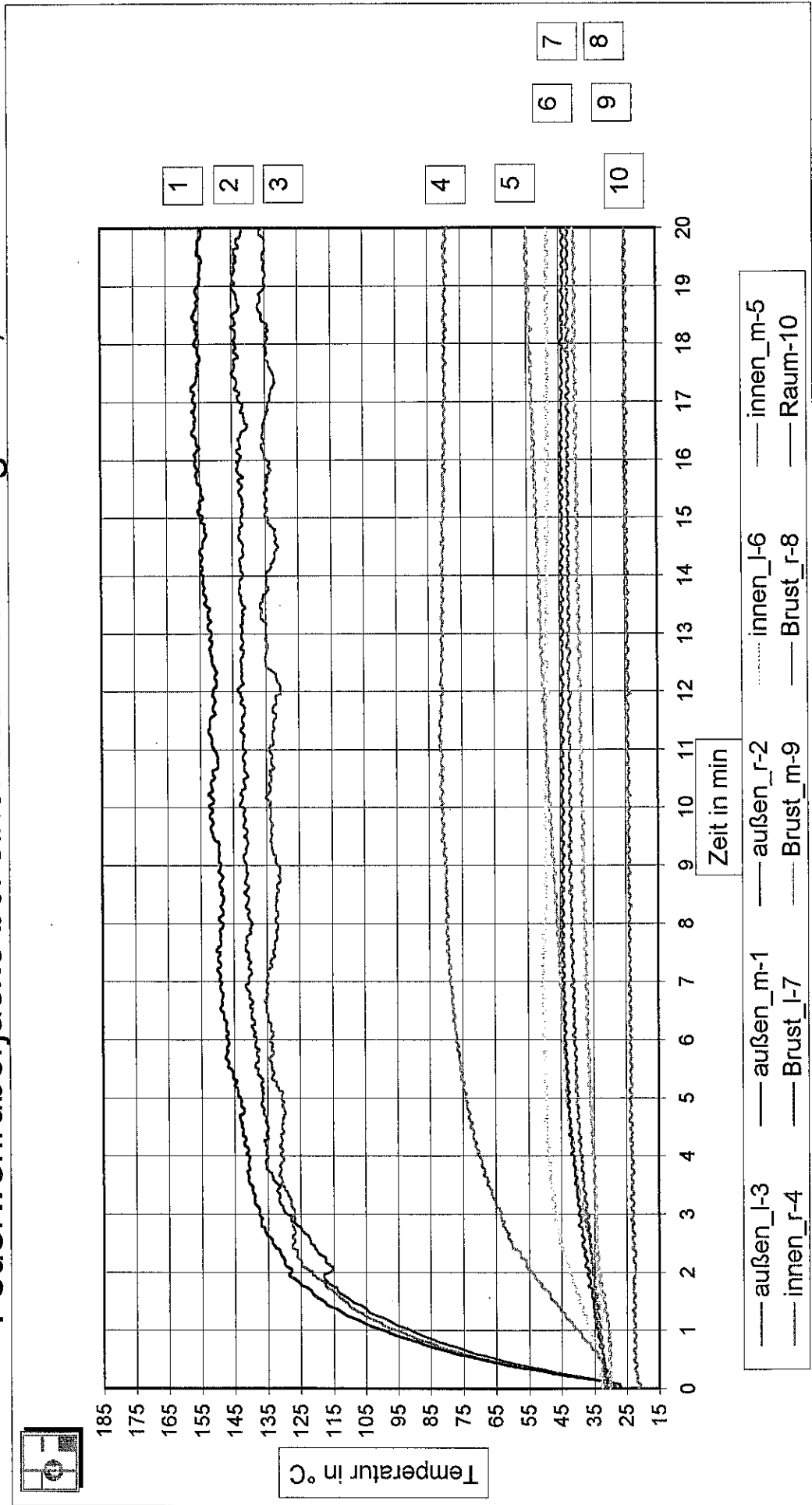
Temperaturen auf der Brust von HARDY II und an der Feuerwehrüberjacke bei einer Wärmestrahlung von $0,3 \text{ W/cm}^2$ - Temperierung siehe Anlage 17



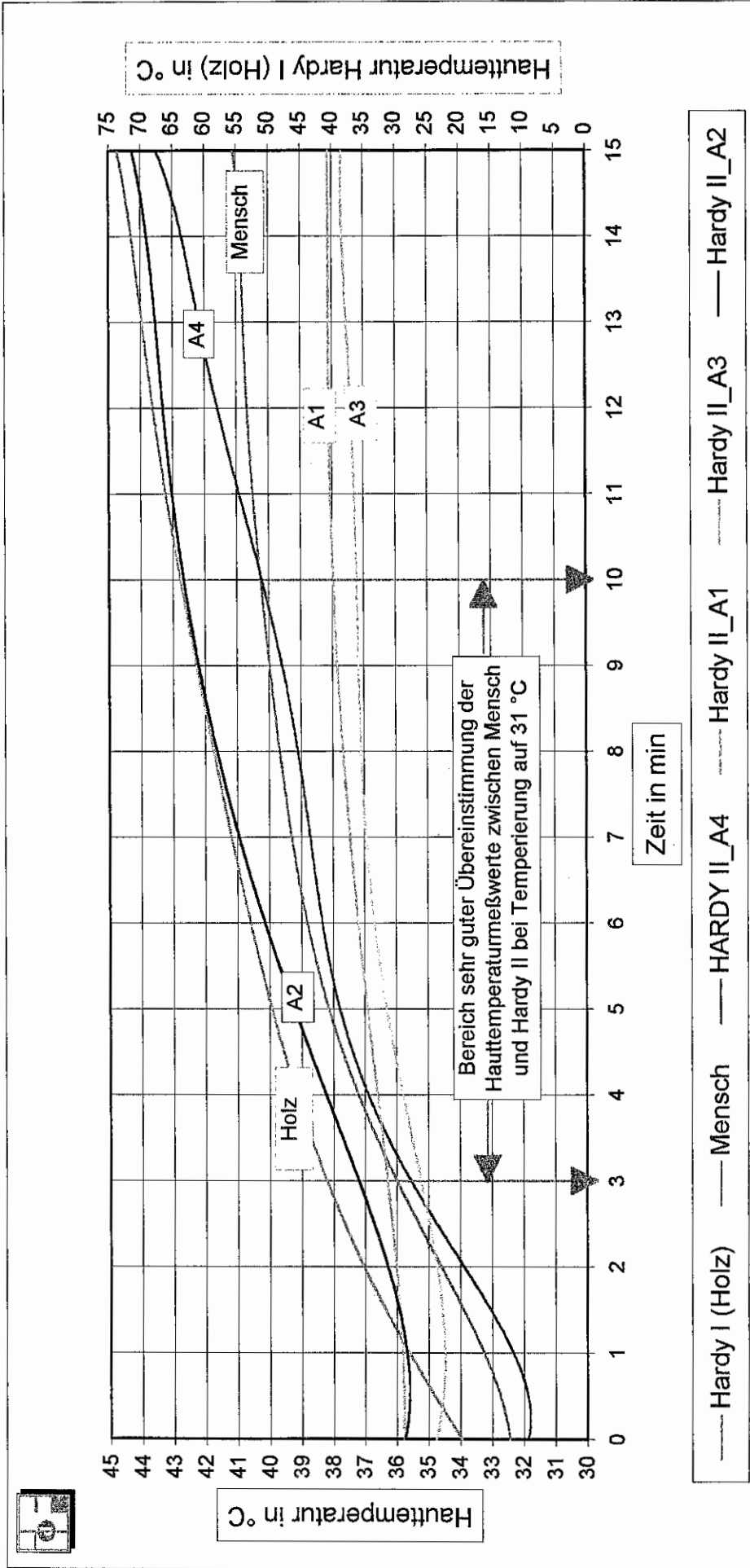
Temperaturen auf der Brust von HARDY II und an der Feuerwehrüberjacke bei einer Wärmestrahlung von 0,3 W/cm² - Temperierung siehe Anlage 18



Temperaturen auf der Brust eines Menschen und an der Feuerwehriiberjace bei einer Wärmestrahlung von 0,3 W/cm²



Vergleich der Hauttemperaturen Mensch - Hardy I - Hardy II



Hardy II_A1: T: 37 °C - W: 0,1 W/cm²
 Hardy II_A2: T: 37 °C - W: 0,3 W/cm²
 Hardy II_A3: T: 37 °C / 5 °C - W: 0,3 W/cm²
 Hardy II_A4: T: 31 °C - W: 0,3 W/cm²
 Hardy I (Holz): W: 0,3 W/cm²
 Mensch: W: 0,3 W/cm²