

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Untersuchungen zur Simulation
ausgewählter Brandkenngößen und deren Wirkung
auf die persönliche Schutzausrüstung
des Feuerwehrangehörigen

93

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V – AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHRANGELEGENHEITEN

**Untersuchungen zur Simulation ausgewählter Brandkenngrößen und
deren Wirkung auf die persönliche Schutzausrüstung des
Feuerwehrangehörigen**

Forschungsbericht Nr. 93

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

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Ulrich Pasch
Dipl.-Phys. Friedrich Wienecke

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt
Heyrothsberge
Juni 1995

BERICHTS-KENNBLETT

1. BERICHTSNUMMER

93

Instituts-Bericht Nr. 335

2. TITEL DES BERICHTES (KURZ)

Simulation ausgewählter Brandkenngrößen

3. AUTOR(EN)

Brandoberrat Dipl.-Ing. Ulrich Pasch
Dipl.-Phys. Friedrich Wienecke

4. DURCHFÜHRENDE INSTITUTION (NAME/ANSCHRIFT)

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

5. FÖRDERNDE INSTITUTION/AUFTRAGGEBER (NAME/ANSCHRIFT)

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

6. ABSCHLUßDATUM

Juni 1995

7. FÖRDER-/ AUFTRAGS-NR.

Forschungsauftrag Nr. 6 (2/93) H

8. SEITENZAHL

69

9. ABBILDUNGEN

13 Bilder

10. TABELLEN/DIAGRAMME

15 Tabellen (Anlage) / 4 (Text)
32 (Anlage)

11. LITERATURANGABEN

8

12. KURZFASSUNG

Dargestellt werden Untersuchungen und Meßergebnisse zu Temperaturen, zur Temperaturverteilung und zu Intensitäten der Wärmestrahlung einer propangasbetriebenen Wärmestrahlerwand, die zu Zwecken der thermischen Belastung von Schutzkleidung der Feuerwehr durch Wärmestrahlung eingesetzt werden soll. Beachtung finden insbesondere Fragen der Reproduzierbarkeit der Parameter der Wärmestrahlerwand. Aussagen zur Eignung der Wärmestrahlerwand als Prüfeinrichtung für den angedachten Verwendungszweck ergänzen die Aussagen.

13. SCHLAGWÖRTER

Brandkenngrößen, Wärmestrahlung,
Temperaturverteilung, Schutzkleidung,
Feuerwehr

14. VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

Juni 1995

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	1
2 Verwendete Meßmittel, Meßwerterfassungs- und auswertesysteme	2
2.1 Präzisions-Meßwerterfassung THERM-500	2
2.2 Thermografiesystem THERMOVISION 470 PRO	3
2.3 Infrarot-Thermometer Cyclops 300 AF	4
2.4 Strahlungsthermometer KT 15 (Pyrometer)	5
2.5 Medtherm Wärmeflußaufnehmer der Serie 64 (Radiometer)	5
3 Versuchsaufbau	6
4 Grundsätzliche Betrachtungen zur Temperaturmessung	6
5 Durchgeführte Untersuchungen	10
5.1 Ermittlung der Temperaturen auf den Strahlerteilflächen der Wärmestrahlerwand	10
5.2 Ermittlung der Temperaturverteilung auf einer Hälfte einer Strahlerteilfläche	11
5.3 Anwendung des Thermografieverfahrens zur Ermittlung der Oberflächentemperaturen an der Wärmestrahlerwand	12
5.4 Ermittlung auftretender Temperaturen im definierten Abstand zur Wärmestrahlerwandoberfläche	14
5.5 Ermittlung der Strahlungsintensitätsverteilung auf der Wärmestrahlerwandoberfläche	15
5.6 Ermittlung der Strahlungsintensität als Funktion des Abstandes und der Anzahl der in Betrieb befindlichen Strahlerreihen	15
5.7 Ermittlung der Wärmestrahlungsintensität als Funktion des Abstandes, der Position des Meßwertaufnehmers und der Leistung	17
6 Schlußfolgerungen aus den Untersuchungen	18
Literaturverzeichnis	21
Verzeichnis der Tabellen	21
Verzeichnis der Bilder	21

Anlagen

<u>Anlage 1</u> Bildteil	22
---------------------------------	----

Anlage 2

- Abb. 1:** Aufheiz- und Abkühlkurven der Temperaturmeßstellen T 1 bis T 8 - 100 % Leistung 24
- Abb. 2:** Aufheiz- und Abkühlkurven der Temperaturmeßstellen T 9 bis T 16 - 100 % Leistung 25

Anlage 3

- Abb. 1:** Temperaturverlauf an 12 Meßstellen an einem Teilstrahler der Strahlerwand bei 100 % Leistung 26
- Abb. 2:** Temperaturverlauf an 12 Meßstellen an einem Teilstrahler der Strahlerwand bei 50 % Leistung 27

Anlage 4

- Abb. 1:** Thermogramm, Histogramm und Linienprofil (temperaturbezogen) der Strahlerwand bei 100 % Leistung 28
- Abb. 2:** Thermografieauswertung der Strahlerwand - 100 % Leistung 29
- Abb. 3:** Thermogramme der Teilstrahler (links) - 100 % Leistung 30
- Abb. 4:** Thermogramme der Teilstrahler (rechts) - 100 % Leistung 31

Anlage 5

- Abb. 1:** Thermogramm, Histogramm und Linienprofil (temperaturbezogen) der Strahlerwand bei 50 % Leistung 32
- Abb. 2:** Thermografieauswertung der Strahlerwand - 50 % Leistung 33
- Abb. 3:** Thermogramme der Teilstrahler (links) - 50 % Leistung 34
- Abb. 4:** Thermogramme der Teilstrahler (rechts) - 50 % Leistung 35

Anlage 6

- Abb. 1:** Temperaturen (mit Strahlungseinfluß) im Abstand von 80 cm von der Strahlerwandoberfläche bei 100 % Leistung 36
- Abb. 1a:** Meßwerte der Temperaturen (mit Strahlungseinfluß) im Abstand von 80 cm von der Strahlerwandoberfläche bei 100 % Leistung 37

Anlage 7

- Abb. 1:** Strahlungsintensitätsverteilung auf der Strahlerwandoberfläche bei 100 % Leistung 38
- Abb. 1a:** Meßwerte zur Strahlungsintensität ($W \cdot \text{cm}^{-2}$) im Zentrum der Strahlerwand in Abhängigkeit von der Anzahl der in Betrieb genommenen Strahlerreihen und dem Abstand zur Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung 39

Anlage 8

- Abb. 1:** Wärmestrahlungsintensität im Zentrum der Strahlerwand in Abhängigkeit von der Anzahl der in Betrieb genommenen Strahlerreihen - 100 % Leistung 40
- Abb. 1a:** Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität ($W \cdot \text{cm}^{-2}$) im Zentrum der Strahlerwand in Abhängigkeit von der Anzahl der in Betrieb genommenen Strahlerreihen und dem Abstand zur Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung 41

Anlage 9

- Abb. 1:** Wärmestrahlungsintensität in ($W \cdot \text{cm}^{-2}$) - 40 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung 42
- Abb. 1a:** Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität ($W \cdot \text{cm}^{-2}$) in einem Abstand von 40 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung 43
- Abb. 2:** Wärmestrahlungsintensität in ($W \cdot \text{cm}^{-2}$) - 60 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung 44
- Abb. 2a:** Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität ($W \cdot \text{cm}^{-2}$) in einem Abstand von 60 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung 45
- Abb. 3:** Wärmestrahlungsintensität in ($W \cdot \text{cm}^{-2}$) - 80 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung 46
- Abb. 3a:** Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität ($W \cdot \text{cm}^{-2}$) in einem Abstand von 80 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung 47

Abb. 4:	Wärmestrahlungsintensität in $(W \cdot cm^{-2})$ - 100 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung	48
Abb. 4a:	Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität $(W \cdot cm^{-2})$ in einem Abstand von 100 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung	49
Abb. 5:	Wärmestrahlungsintensität in $(W \cdot cm^{-2})$ - 120 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung	50
Abb. 5a:	Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität $(W \cdot cm^{-2})$ in einem Abstand von 120 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung	51
Abb. 6:	Wärmestrahlungsintensität $(W \cdot cm^{-2})$ - 140 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung	52
Abb. 6a:	Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität $(W \cdot cm^{-2})$ in einem Abstand von 140 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung	53
Abb. 7:	Wärmestrahlungsintensität in $(W \cdot cm^{-2})$ - 40 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 50 % Leistung	54
Abb. 7a:	Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität $(W \cdot cm^{-2})$ in einem Abstand von 40 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50 % Leistung	55
Abb. 8:	Wärmestrahlungsintensität in $(W \cdot cm^{-2})$ - 60 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 50 % Leistung	56
Abb. 8a:	Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität $(W \cdot cm^{-2})$ in einem Abstand von 60 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50 % Leistung	57
Abb. 9:	Wärmestrahlungsintensität in $(W \cdot cm^{-2})$ - 80 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 50 % Leistung	58

Abb. 9a:	Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität ($W \cdot cm^{-2}$) in einem Abstand von 80 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50 % Leistung	59
Abb. 10:	Wärmestrahlungsintensität in ($W \cdot cm^{-2}$) - 100 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche	60
Abb. 10a:	Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität ($W \cdot cm^{-2}$) in einem Abstand von 100 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50 % Leistung	61
Abb. 11:	Wärmestrahlungsintensität in ($W \cdot cm^{-2}$) - 120 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 50 % Leistung	62
Abb. 11a:	Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität ($W \cdot cm^{-2}$) in einem Abstand von 120 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50 % Leistung	63
Abb. 12:	Wärmestrahlungsintensität in ($W \cdot cm^{-2}$) - 140 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 50 % Leistung	64
Abb. 12a:	Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität ($W \cdot cm^{-2}$) in einem Abstand von 140 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50 % Leistung	65

Anlage 10

Abb. 1:	Meßergebnisse von Temperaturmessungen an 16 Meßstellen eines Teilstrahlers der Wärmestrahlerwand bei 100 % Leistung im Vergleich (gemessen mit Thermoelementen [TE] und den Systemen AGEMA und LAND bei variablen Emissionsfaktoren)	66
Abb. 2:	Meßergebnisse von Temperaturmessungen an 16 Meßstellen eines Teilstrahlers der Wärmestrahlerwand bei 75 % Leistung im Vergleich (gemessen mit Thermoelementen [TE] und den Systemen AGEMA und LAND bei variablen Emissionsfaktoren)	67
Abb. 3:	Meßergebnisse von Temperaturmessungen an 16 Meßstellen eines Teilstrahlers der Wärmestrahlerwand bei 50 % Leistung im Vergleich (gemessen mit Thermoelementen [TE] und den Systemen AGEMA und LAND bei variablen Emissionsfaktoren)	68

Anlage 11

-	Technische Beschreibung der Propangas-Wärmestrahlerwand	69
---	---	----

Untersuchungen zur Simulation ausgewählter Brandkenngrößen und deren Wirkung auf die persönliche Schutzausrüstung des Feuerwehrangehörigen

Autor:

Dipl.-Ing. U. Pasch

1 Einleitung

Der Forschungskomplex „Simulation von Brandkenngrößen“, der mit dem Forschungsbericht Nr. 91 begonnen wurde, erfährt mit dem vorliegenden Forschungsbericht seine Fortsetzung. Ausgehend von der durch rechnerische Ergebnisse und durch Probemessungen gestützten

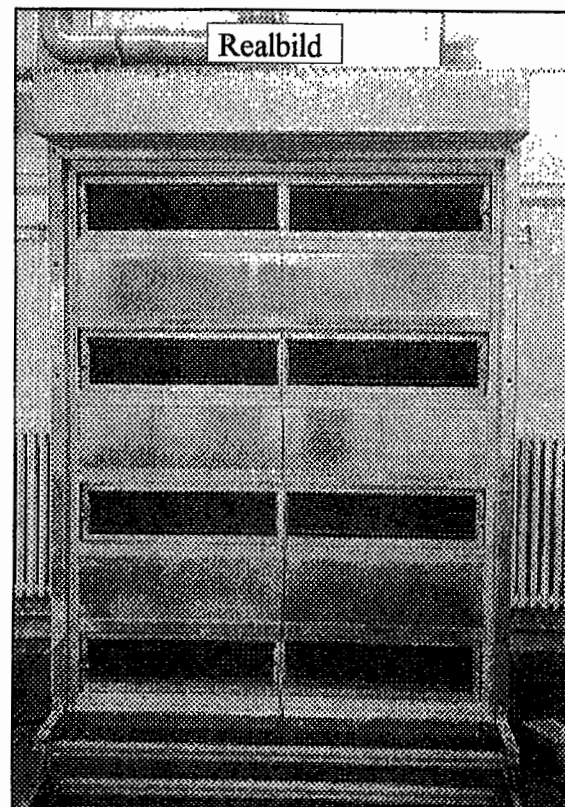
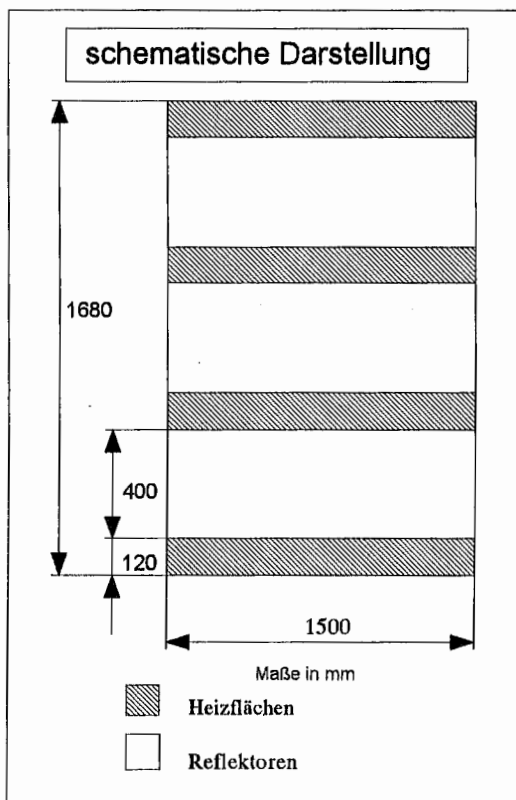


Bild 1: Schematische Darstellung der Wärmestrahlerwand

Bild 2: Realbild der Wärmestrahlerwand

Aussage der prinzipiellen Eignung einer propangasbetriebenen Wärmestrahlerwand [1] (siehe **Bild 1** und **Bild 2** sowie technische Beschreibung in **Anlage 11**) zu Zwecken der Simulation einer dem „Brandfall“ äquivalenten Wärmestrahlung, war es das Anliegen weitergehender Untersuchungen, durch konkretes Ausmessen der Wärmestrahlerwand mittels geeigneter Meßgeräte, diese zunächst vorgenommene globale Aussage, insbesondere in Hinblick auf die Reproduzierbarkeit der Parameter der Wärmestrahlerwand, durch weitergehende

Untersuchungen zu fundamentieren. Der vorliegende Forschungsbericht stellt die dieser Zielstellung dienenden Meßmittel und Meßmethoden dar, weist die ermittelten Meßergebnisse aus und interpretiert diese in Hinblick auf die Verwendbarkeit der Wärmestrahlerwand für deren Anwendung zur thermischen Belastung von Schutzkleidung der Feuerwehr durch Wärmestrahlung. Aussagen hinsichtlich der Eignung der Wärmestrahlerwand als diesbezügliche Prüfeinrichtung ergänzen die Ausführungen.

Die gemäß der in der Aufgabenstellung vorgesehene Berücksichtigung der Parameter „Raumgröße“ und „Lüftungsbedingungen“ finden im vorliegenden Bericht keinen Niederschlag, da aus Gründen der Praktikabilität die Wärmestrahlerwand nicht, wie ursprünglich vorgesehen, in einem geschlossenen Raum aufgestellt wurde, sondern in der Brandhalle des Instituts der Feuerwehr. Bei den durchgeführten Versuchen war im jeweiligen Versuchszeitraum, bedingt durch die Raumgeometrie der Brandhalle, keine wesentliche Erhöhung der Brandhallentemperatur zu verzeichnen, so daß es dadurch zu keiner Beeinflussung der Meßergebnisse kam. Die Berücksichtigung der vorgenannten Parameter bleibt einem noch zu bearbeitenden weiteren Forschungsthema vorbehalten.

Schwerpunkte der vorgenommenen und im vorliegenden Bericht dargelegten Untersuchungen waren die Ermittlung der Temperaturen an der Oberfläche der Wärmestrahlerwand und die Ermittlung der von der Wärmestrahlerwand ausgehenden Wärmestrahlung bei unterschiedlichen Entfernungen von der Wärmestrahlerwandoberfläche unter Variation der Position des jeweiligen Meßwertaufnehmers und der Leistung der Wärmestrahlerwand.

2 Verwendete Meßmittel, Meßwerterfassungs- und -auswertesysteme

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen kamen neben NiCr-Ni Thermoelementen (\emptyset 0,5 mm bzw. 1 mm) für die Temperaturmessung die folgenden Meßgeräte und -systeme zur Anwendung.

2.1 Präzisions-Meßwerterfassung THERM-500 [2]

Dieses Meßsystem genügt hohen Genauigkeitsansprüchen in bezug auf die Meßwerterfassung und Meßwertauswertung. Die Meßwerte werden online erfaßt und grafisch am Bildschirm eines PC dargestellt. Sowohl die grafische Darstellung als auch die Meßwerte selbst können durch Ausgabe auf einem Drucker protokolliert werden.

Die Parameter dieses Meßwerterfassungssystems werden in **Tabelle 1** ausgewiesen.

Tabelle 1: Technische Daten des Meßsystems THERM-500

Typ	Therm 5500-3
Meßkanäle	30
minimaler Meßzyklus	1 Sekunde
Datenspeicher	500k- Byte =100 000 Meßwerte
Betriebsarten	on - line Grafik und Anzeige auf PC off - line Auswertung auf PC
Rechnerschnittstelle	RS - 232
anschließbare Meßwertgeber	NiCr/Ni Thermoelemente 1K Auflösung PT100- in 4-Ltr.-Schaltung 1/10 K Auflösung Wärmeflußplatten Radiometer sonst. Einheits Strom- /Spannungssignale

2.2 Thermografiesystem THERMOVISION 470 PRO [3]

Einsatzgebiete des Thermografiesystems sind die Temperaturmessung an festen Oberflächen, es wird darüber hinaus aber auch für Flammenmessungen aus größeren Abständen eingesetzt. Das Verfahren basiert auf der Messung der Wärmestrahlung, die jeder Körper oberhalb des absoluten Nullpunktes im IR-Bereich der elektromagnetischen Strahlung aussendet.

Die Temperatur wird nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz, hier nach T umgestellt, aus der gemessenen Strahlung durch

$$T = (q / a \cdot \varepsilon \cdot \sigma)^{0,25}$$

mit q - Strahlungsleistung (W)

a - Flächenelement (cm²)

ε - Emissionsgrad (-)

σ - $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ (Stefan-Boltzmann-Konstante)

bestimmt.

Das Thermografiesystem THERMOVISION 470 PRO besteht aus der Wärmebildkamera (bildliche Darstellung in **Anlage 1**, Abbildung 1) mit umfangreichem Zubehör und der Auswertesoftware IRWIN-PRO [4] und WINTAS [5], die auch die Möglichkeit einer Fernbedienung der Wärmebildkamera bietet.

In Tabelle 2 sind die wesentlichsten Merkmale des Thermografiesystems zusammengefaßt.

Tabelle 2: Technische Daten des Thermografiesystems

Temperaturmeßbereich	-20.. 1800°C (mit Hochtemperaturfilter)
Empfindlichkeit	0.1 K bei 30°C
Meßgenauigkeit	2% vom Meßbereich
Wellenlängenbereich	2..5 µm
Detektortyp	MCT-Sprite (HgCdTe)
Filter	Hochtemperaturfilter
Aperturblenden	2
Optiken	40 grad Weitwinkel 12 grad Normaloptik
Bildverfolgung	Farbscanner in Kamera PAL-Videoausgang f. Monitor/Recorder
Bildspeicherung	digital: 3.5"-Diskette in Kamera analog: Recordermitschnitt
PC-Kopplung/Fernsteuerung	serielle Schnittstelle RS 232 / 3.5"-Diskette
Auswerte-Software	IRWIN-PRO unter Windows WINTAS unter Windows mit 3-D- Profildarst.
netzunabhängiger Betrieb	ca. 2 Stunden je Akku
Detektorkühlung	thermoelektrisch
Zubehör	stabiles Stativ, Transportkoffer, 2 Akkus Netzteile, Ladestation, Videowalkman, Videoprinter, Farbmonitor, PC mit Farbdrucker
Gebrauchslage	beliebig

2.3 Infrarot-Thermometer Cyclops 300 AF [6]

Das Infrarot-Thermometer Cyclops 300 AF (bildliche Darstellung siehe **Anlage 1**, Abbildung 2) ist ein Meßgerät mit Autofokus für die berührungslose Temperaturmessung im Bereich von -50 bis 1000 °C. Das Infrarot-Thermometer ist mit einer Spiegelreflex-Optik mit exakter Kennzeichnung des Meßflecks ausgestattet. Eine Flüssigkristallanzeige im Blickfeld des Suchers zeigt den gemessenen Temperaturwert an. Durch den mikroprozessorgesteuerten Betrieb ist ein schnelles Erfassen der Temperaturen sowie die Berechnung von Maximum-, Minimum- oder Durchschnittswert möglich. Darüber hinaus besitzt das Gerät eine serielle

Schnittstelle für den Anschluß an einen Datenprozessor (DP-C2) mit Drucker und Datenspeicher oder an einen PC zur On-line-Erfassung der Meßdaten.

Tabelle 3 weist den Meßfleckdurchmesser der CYCLOPS 300 AF bei verschiedenen Fokussierentfernungen aus.

Tabelle 3: Meßfleckdurchmesser bei verschiedenen Fokussierentfernungen

Abstand (Meter)	100	50	20	10	7	5	2	1
Meßfleck- durchmesser (mm)	576	287	114	57	39	28	11	4,8

2.4 Strahlungsthermometer KT 15 (Pyrometer) [7]

Das Pyrometer ist ein Gerät zur berührungslosen Messung von Temperaturen an Feststoffen sowie in Gasen und Flammen mit einer Meßgenauigkeit von $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Zur Messung der von der Wärmestrahlerwandoberfläche emittierten Wärmestrahlung kam ein Strahlungspyrometer (bildliche Darstellung in **Anlage 1**, Abbildung 3) zum Einsatz, das zur Erfassung der Wärmestrahlung umgerüstet wurde. Die Anzeige erfolgte auf einem speziell kalibrierten Panelmeter in der Einheit $\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$. Außerdem erfolgte über einen Analogausgang am Anzeigegerät eine Kopplung über Datenlogger zum Meßwerterfassungsrechner. Der Emissionsgrad des Pyrometers war in Schritten von 0,01 variabel einstellbar.

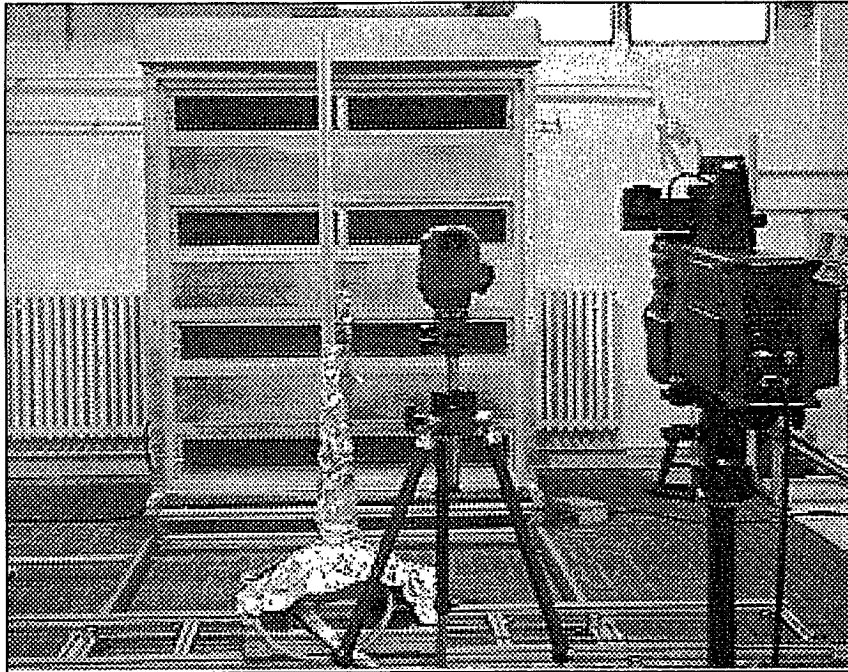
2.5 Medtherm Wärmeflußaufnehmer der Serie 64 (Radiometer) [8]

Das Radiometer (bildliche Darstellung in **Anlage 1**, Abbildung 4) gestattet die Erfassung der Wärmestrahlung aus dem gesamten Halbraum vor dem Sensor.

Der Sensor generiert eine dem auftreffenden Strahlungsfluß lineare Ausgangsspannung bis maximal 10 mV bei $8,5 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$. Zur Stabilisierung des Signalverhaltens ist eine Wasserkühlung des Pyrometers erforderlich.

3 Versuchsaufbau

Der speziell zur Durchführung der Untersuchungen mit den o.g. Meßwertaufnehmern konstruierte und gebaute Versuchsaufbau in Form einer Positioniereinrichtung ist im **Bild 3**



dargestellt. Im Vordergrund erkennbar das Thermografiesystem bzw. die Wärmebildkamera (rechts) und das Infrarot-Thermometer (links). Die Positioniereinrichtung stellt eine Verfahreinrichtung dar, die es gestattet, einen für die jeweilige Meßaufgabe zu verwendenden Meßwertaufnehmer

Bild 3: Positioniereinrichtung vor der Wärmestrahlerwand

(Sensor) relativ zur Strahlerwandoberfläche so zu positionieren, daß alle vorgegebenen Meßkoordinaten abgefahren werden können. Dazu befindet sich auf einem stationär vor der Strahlerwand angebrachten Schienensystem ein auf darauf fahrbarer Schlitten mit motorgetriebenem Linearantrieb, der eine genaue Positionierung des Schlittens und damit des Meßwertaufnehmers im jeweils geforderten Abstand zur Strahlerwandoberfläche gestattet. Auf diesem Schlitten, der selbst wiederum ein Schienensystem darstellt, befindet sich ein weiterer Schlitten, der eine Positionierung des Meßwertaufnehmers horizontal und parallel zur Strahlerwandoberfläche ermöglicht. Eine an diesem Schlitten angebrachte Führungsschiene zur Aufnahme des Meßwertaufnehmers ermöglicht dessen Verschiebung parallel zur Strahlerwandoberfläche in vertikaler Richtung.

4 Grundsätzliche Betrachtungen zur Temperaturmessung

Die Erfassung der Oberflächentemperatur der Strahlerflächen wird einerseits erschwert durch die komplizierte Oberflächenstruktur (Lochmaske) der Brennelemente, andererseits durch die hohen thermischen Belastungen der Thermolemente, sowie der großen Temperaturgradienten und Gasturbulenzen in der Nähe der Strahlerflächen.

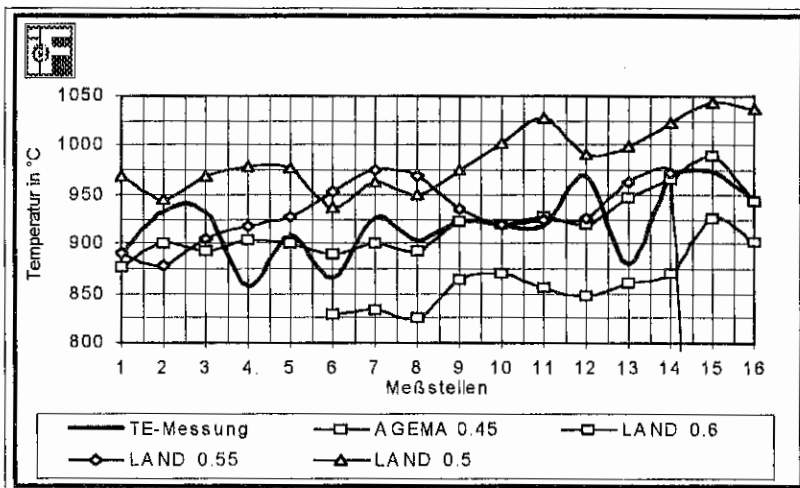
Dieses gilt insbesondere bei hohen Temperaturen. Die herkömmliche Art des punktuellen Messens der Temperatur mit Thermoelementen setzt deren kraft- bzw. formschlüssigen Kontakt mit der zu messenden Oberfläche voraus. Dieses kann einerseits erreicht werden durch Realisierung eines entsprechend definierten Anpreßdruckes, andererseits durch Fixieren des Thermoelementes an der Oberfläche mittels eines geeigneten und thermisch stabilen Klebstoffes. Im Falle des Auftretens sehr hoher Temperaturen, wie sie im Falle der zu realisierenden Meßaufgaben (ca. 1000 °C) auftraten, entfällt die zuletzt genannte Variante des formschlüssigen Kontaktes zur Meßoberfläche von vornherein. Durch den Einfluß der hohen Temperaturen und der in diesem Zusammenhang auftretenden Verformungen durch Wärmespannungen am Thermoelement kann es jedoch auch bei der kraftschlüssigen Variante zum unbeabsichtigtem Kontaktabbruch zur Oberfläche kommen, was dann zwangsläufig zu Verfälschungen der Meßergebnisse führt. Die Ermittlung eines Temperaturfeldes erwärmter Oberflächen mit Thermoelementen ist wegen der Vielzahl der zu installierenden Elemente einerseits sehr aufwendig, andererseits würden die vorgenannten Versagenserscheinungen auch dann auftreten und zu entsprechenden Meßfehlern führen. Deshalb werden und wurden letztlich auch zur Lösung der anliegenden Meßaufgaben Meßverfahren der berührungslosen Temperaturmessung eingesetzt. Die Anwendung dieser Verfahren setzt jedoch grundsätzlich die Kenntnis des Emissionsgrades der auszumessenden Oberfläche bzw. des auszuwertenden Meßfleckes voraus. Die Ermittlung des Emissionsgrades erweist sich insofern als problematisch, als dieser selbst funktionell abhängig ist von der jeweiligen Temperatur der Meßfläche bei gleichen Oberflächeneigenschaften. Ist zudem das Temperaturfeld der Meßfläche als inhomogen anzunehmen, so würden sich allein durch diese Tatsache Meßfehler ergeben, da das Meßgerät oder Meßsystem jeweils auf einen mittleren Emissionsgrad fixiert ist, dem eben nur ein bestimmter Temperaturbezugswert zugeordnet ist. Mit anderen Worten - es würden nur die Bereiche des Temperaturfeldes exakt gemessen werden können, die dem Temperaturbezugswert, der Basis des ermittelten mittleren Emissionswertes ist, entsprechen. Berücksichtigt man dann noch, daß die Ermittlung des Emissionsgrades auf dem gängigen Verfahren des Vergleiches zwischen den mit Thermoelementen gemessenen punktuellen Temperaturen und denen am gleichen Meßpunkt durch das berührungslose Meßverfahren ermittelten Temperaturen beruht und zieht die o.g. Fehlermöglichkeiten der Thermoelementmessung in Betracht, so werden die Probleme einer exakten Temperaturmessung deutlich, was auch die nachfolgenden Ausführungen verdeutlichen werden.

Vor den eigentlich zu führenden Untersuchungen wurden Probemessungen mit unterschiedlichen Meßverfahren (mit Kontakt zur Oberfläche und berührungslos) durchgeführt, um zu überprüfen, inwieweit diese Meßverfahren bei den praktischen Temperaturmessungen zum gleichen Meßergebnis führen.

Diese Untersuchungen wurden in Abhängigkeit von der jeweils eingestellten Leistung der Wärmestrahlerwand durchgeführt. Zur Anwendung kamen die Leistungsstufen 100 %, 75 % und 50 % der Wärmestrahlerwand. Diese Leistungsstufen wurden, wie auch bei allen anderen leistungsabhängig durchgeführten Untersuchungen, mittels der an der Wärmestrahlerwand dafür vorgesehenen Potentiometer eingestellt, die eine stufenlose Regulierung der Leistung im Bereich von 50 % bis 100 % gestatten.

Im **Bild 4** sind als Ergebnis dieser Untersuchungen die Temperaturverläufe an 16 Meßstellen einer Strahlerreihe der Wärmestrahlerwand bei 100% Leistung dargestellt (siehe auch **Anlage 10**, **Abbildung 1**), die mit den im Abschnitt 2 beschriebenen IR-Meßgeräten zur berührungslosen Temperaturmessung ermittelt wurden. Dem gegenübergestellt sind die Ergebnisse der Messung mittels Thermoelementen.

Die Emissionsfaktoren der jeweiligen Geräte zur berührungslosen Temperaturmessung wurden so variiert, daß die angezeigten Temperaturwerte denen der Thermoelementmessung entsprachen. Die dargestellten Kurvenverläufe lassen folgende Aussagen zu:



1. Die Temperaturen, jeweils in der Mitte der Teilstrahler der Strahlerreihe gemessen, unterliegen merklichen Schwankungen, die je nach Meßsystem bis zu 100 K betragen. Ursache dafür sind sowohl die bereits beschriebenen möglichen Meßfehler bei der Thermo-

Bild 4: Meßergebnisse der Vergleichsuntersuchungen

elementmessung als auch die offensichtlich unterschiedliche Aufheizung der Strahlerreihe durch das Brenngas (siehe hierzu auch die in den Anlagen 4 und 5 dargestellten Temperaturprofile).

Weitere Ursachen für die gemessenen unterschiedlichen Temperaturen können damit begründet werden, daß insbesondere aus großer Entfernung die Positionierung des Meßflecks auf der Strahleroberfläche sehr schwierig ist, was dazu führen kann, daß selbst bei kleinen Positionierungsfehlern des Meßgerätes der Meßfleck nicht genau identisch ist mit der beabsichtigten Meßfläche. Des weiteren können auch die unterschiedlichen spektralen Arbeitsbereiche der Detektoren der Meßgeräte (AGEMA: 2...5 μm , LAND: 8...12 μm , HEIMANN: 0,8...20 μm) die Ursache für die voneinander abweichenden Meßergebnisse sein. Außerdem ist in Betracht zu ziehen, daß beispielsweise das Thermografiesystem von AGEMA weitere Parameter, wie z.B. die Umgebungstemperatur, die Atmosphärentemperatur, die Transmission der Übertragungsstrecke u.a. in die Berechnung des Temperaturfeldes einbezieht.

2. Die Variation der Emissionsfaktoren ergab, daß ein effektiver Emissionsfaktor für die Strahlerfläche um 0,5 anzunehmen ist, der je nach Meßort und Meßsystem um $\pm 0,1$ abweichen kann. Die beste Übereinstimmung der Meßwerte, im Vergleich mit den bei der Thermoelementmessung ermittelten, konnte mit dem Thermografiesystem unter Zugrundelegung eines Emissionsgrades von 0,45 erzielt werden.

3. Die Meßergebnisse der vorgenommenen Untersuchungen auf der Basis der Leistungsstufen der Wärmestrahlerwand von 75 % und 50 % (siehe hierzu **Anlage 10**, Abbildungen 2 und 3), weichen wiederum von denen der Leistungsstufe 100 % ab. Eindeutige Erklärungen dazu können im Rahmen dieser Arbeit nicht abgegeben werden. Hierzu bedürfte es gesonderter Untersuchungen.

Insgesamt lassen die Vergleichsuntersuchungen den Schluß zu, daß für eine konkrete Meßaufgabe immer nur dasselbe Meßverfahren der berührungslosen Temperaturmessung angewendet werden sollte. Im konkreten Fall wäre dies das Thermografiesystem (Wärmebildkamera). Dennoch sollte bei Anwendung dieses Systems der zu verwendende Emissionsgrad in bezug auf seine Aktualität gelegentlich überprüft werden, da Alterungs- und Verschleißerscheinungen der Strahler seine Korrektur bedingen könnten.

5 Durchgeführte Untersuchungen

5.1 Ermittlung der Temperaturen auf den Strahlerteilflächen der Wärmestrahlerwand

Die Ermittlung der Temperaturen auf der Oberfläche der Wärmestrahlerwand wurden mit der

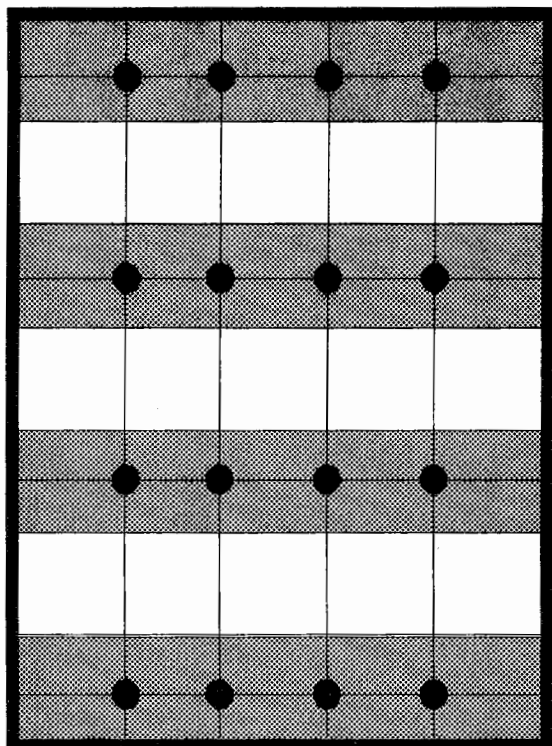


Bild 5: Lage der Thermoelemente

Zielstellung des Vergleiches der an den Teilstrahlern auftretenden Temperaturen durchgeführt. Daraus sollte zunächst global auf die Homogenität oder Inhomogenität des Temperaturfeldes geschlossen werden. Ein weiteres Anliegen war die Ermittlung des Eintritts des Beharrungszustandes, der so definiert wurde, daß innerhalb eines Zeitraumes von einer Minute die gemessenen Temperaturwerte an den einzelnen Meßpunkten der 16 Meßstellen um nicht mehr als 3 K voneinander abweichen. Benötigt wurde die Aussage über den Eintritt des Beharrungszustandes, um zu gewährleisten, daß vor Beginn einer jeden vorzunehmenden Untersuchung die Parameter der Wärme-

strahlerwand konstant waren. Gemessen wurden zunächst mittels Thermoelementen die Temperaturen an den 16 Meßpunkten der Strahlerteilflächen bei 100 % Leistung der Wärmestrahlerwand. Die Lage der Thermoelemente auf der Wärmestrahlerwand wird im **Bild**

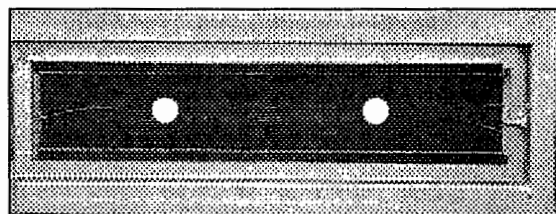


Bild 6: Thermoelemente an Strahlerteilfläche

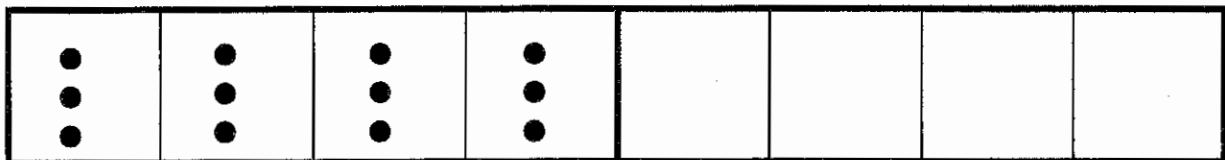
5 dargestellt (● kennzeichnet Thermoelement), die Position der Thermoelemente an einer Strahlerteilfläche zeigt **Bild 6**. Ermittelt wurden so die Aufheiz- und Abkühlkurven an den Temperatur-

meßstellen 1 bis 16 (beginnend an der ersten Strahlerteilfläche oben rechts über den zweiten Teilstrahler oben links bis zum achten Teilstrahler in der vierten Strahlerreihe unten links). Die grafische Darstellung des Aufheiz- und Abkühlverhaltens an diesen Meßstellen ist dargestellt in **Anlage 2**, Abb. 1 (für die Meßstellen T1 bis T8) und in Abb. 2 (für die Meßstellen T9 bis T16).

Der an den Kurvenverläufen zu beobachtende zeitliche Versatz der Aufnahme der Meßwerte ist bedingt durch das bei der Inbetriebnahme der Wärmestrahlerwand aus Sicherheitsgründen zeitlich versetzte „Nacheinanderzünden“ der einzelnen Teilstrahler. Die grafischen Darstellungen weisen darüber hinaus aus, daß die Temperaturen an den Meßpunkten der acht Strahlerteilflächen nach Erreichen ihrer Höchstwerte, die im Bereich zwischen 900 °C und 1000 °C liegen, bis zum gleichzeitigen Abschalten aller Teilstrahler der Wärmestrahlerwand nahezu konstant bleiben. Die Temperaturdifferenzen sind auf die im Abschnitt 4 genannten Ursachen zurückzuführen.

5.2 Ermittlung der Temperaturverteilung auf einer Hälfte einer Strahlerteilfläche

Zur Ermittlung der Temperaturverteilung an einer Hälfte einer Strahlerreihe (Strahlerteilfläche) wurden auf dieser insgesamt 12 Thermoelemente installiert. Zielstellung war hier, zu untersuchen, inwieweit die Temperaturen auf einem relativ kleinen Raum der Oberfläche der Strahlerteilfläche voneinander abweichen. Die Lage der Thermoelemente ist schematisch in **Bild 7** dargestellt.



● Thermoelemente

Strahlerreihe

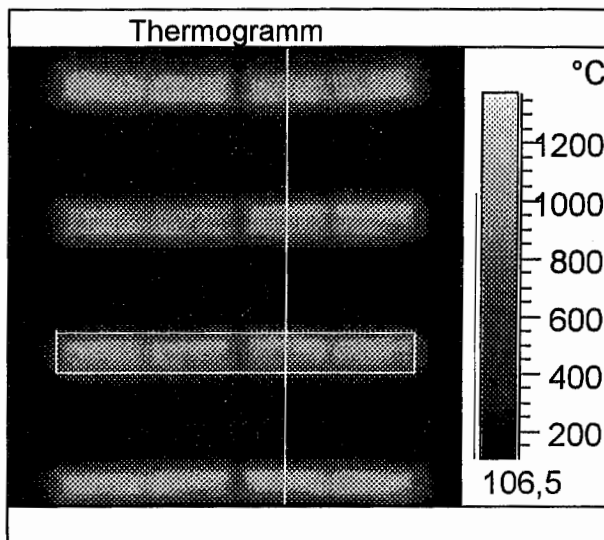
Bild 7: Anordnung von 12 Thermoelementen auf einer Hälfte der Strahlerteilfläche

Diese Untersuchungen wurden sowohl bei einer eingestellten Leistungsstufe der Wärmestrahlerwand von 100 % als auch bei 50 % durchgeführt. In **Anlage 3**, Abbildungen 1 und 2 sind die Meßergebnisse grafisch dargestellt. Bezogen auf 100 % Leistung der Wärmestrahlerwand liegen die gemessenen Temperaturen im Bereich von ca. 960 °C bis 1020 °C. Bei 50 % Leistung der Wärmestrahlerwand werden Temperaturen im Bereich von ca. 800 °C bis 860 °C ausgewiesen. Erkennbar ist bei beiden Leistungsstufen, daß die Meßwerte nach Erreichen des Beharrungszustandes im Mittel konstant bleiben, wobei eben bei beiden Leistungsstufen der Wärmestrahlerwand eine maximale Differenz der Meßwerte von ca. 60 K zu verzeichnen ist. Die Ursache dafür kann nur vermutet werden. Einerseits kann dafür der nicht gleichmäßige Gasdurchsatz durch die perforierten Keramik-Brennerelemente verantwortlich gemacht werden, andererseits kommen möglicherweise auch die schon dargelegten Probleme im Zusammenhang mit dem Einsatz von Thermoelementen zum Tragen.

So wäre es auch durchaus denkbar, daß durch Ablösen eines Thermoelementes von der Strahleroberfläche eben nicht die Strahleroberflächentemperatur, sondern die Gastemperatur des aus den Poren der Keramik-Brennerelemente heraustretenden und verbrennenden Propangases gemessen wird.

5.3 Anwendung des Thermografieverfahrens zur Ermittlung der Oberflächentemperaturen an der Wärmestrahlerwand

Mit Hilfe des unter 2.2 beschriebenen Thermografieverfahrens sollten die bislang nur durch Thermoelemente erfolgten punktuellen Messungen der Temperaturen an den Strahlerteilflächen



dahingehend erweitert werden, daß mit berührungsloser Meßtechnik das Temperaturfeld sowohl der einzelnen Strahlerteilflächen als auch der gesamten Wärmestrahlerwand ermittelt werden sollte. Durch die gezielt durchgeführten Voruntersuchungen zur Ermittlung des Emissionsgrades war die Voraussetzung geschaffen worden, daß die gemessenen Temperaturen als realistisch angesehen werden können. So wurde dann

Bild 8: Thermogramm der Wärmestrahlerwand

auch auf der Basis der unter Abschnitt 4 ausgewerteten Vergleichsmessungen als Ergebnis der Emissionsgrad 0,45 bei der Anwendung des Thermografieverfahrens zugrunde gelegt. Zur Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse mit denen der Thermoelementmessung wurden auch hier die Untersuchungen bei einer Leistung der Wärmestrahlerwand von 100 % und 50 % durchgeführt. Als Beispiel ist im **Bild 8** das Thermogramm der Wärmestrahlerwand bei 100 % Leistung dargestellt. Die Meßergebnisse sind in **Anlage 4** (bezogen auf 100 % Leistung) und in **Anlage 5** (bezogen auf 50 % Leistung) dargestellt. Die jeweilige Abbildung 1 zeigt das Thermogramm der gesamten Wärmestrahlerwand, ein Histogramm (prozentuale Temperaturverteilung über einer im Thermogramm gekennzeichneten Strahlerreihe, der zwei Strahlerteilflächen zugeordnet sind) sowie ein Temperatur-Linienprofil, welches die Temperaturen längs einer senkrecht über die Wärmestrahlerwand gelegten Linie ausweist. Die jeweilige Abbildung 2 stellt dem Thermogramm der Wärmestrahlerwand die Temperaturprofile der einzelnen Strahlerreihen gegenüber, die sich am Ort einer horizontal und mittig der jeweiligen Strahlerreihe gelegten Linie einstellen. Darüber hinaus wird die

Temperaturverteilung über der Wärmestrahlerwandoberfläche dreidimensional dargestellt. In den Abbildungen 3 werden den sich auf der linken Seite der Wärmestrahlerwand gelegenen Strahlerteilflächen deren dreidimensionale Temperaturverteilungen gegenübergestellt. Die Abbildungen 4 zeigen die gleichen Darstellungen, bezogen auf die auf der rechten Seite der Wärmestrahlerwand gelegenen Strahlerteilflächen.

Nachfolgend einige Erläuterungen zu den Darstellungen in den vorgenannten Abbildungen der Anlagen 4 und 5.

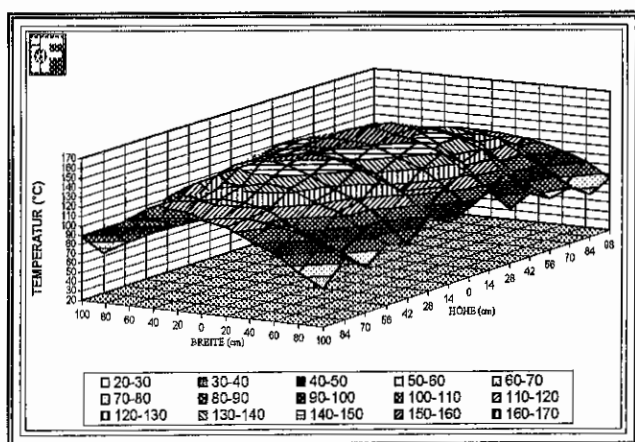
Die in den Abbildungen 1 dargestellten Thermogramme der Wärmestrahlerwand verdeutlichen, daß davon ausgegangen werden kann, daß nicht alle Teilstrahlerflächen die gleiche thermische Charakteristik aufweisen. Auch hier können in Analogie zu den Meßergebnissen der Thermoelementmessung Temperaturen an den Strahlerteilflächen im Bereich von ca. 900 °C bis 1000 °C (bezogen auf 100 % Leistung der Wärmestrahlerwand) bzw. im Bereich von ca. 800 °C bis 900 °C konstatiert werden, was auch durch die den Linienprofilen zugeordneten Temperaturwerte bestätigt wird. Dieses Untersuchungsergebnis unterstreicht die bereits im Abschnitt 4 getroffene Aussage der Vergleichbarkeit der mittels Thermoelementen gemessenen Temperaturwerte mit den Meßergebnissen unter Anwendung des Verfahrens der Thermografie (unter Berücksichtigung der Wahl des entsprechenden Emissionsgrades).

Auch der prozentuale Anteil auf der auf der Wärmestrahlerwandoberfläche auftretenden Temperaturen, dargestellt im jeweils leistungsbezogenen Histogramm, belegt die obige Feststellung des nicht einheitlichen Temperaturregimes auf der Wärmestrahlerwandoberfläche. Die mit entsprechenden prozentualen Anteilen ausgewiesenen geringeren Temperaturwerte resultieren allerdings auch aus dem erfaßten Bereich (Rechteckfläche auf zweiter Strahlerreihe von unten), welcher außer der eigentlich strahlenden Fläche auch noch konstruktive Elemente der Einfassung der Strahlerteilflächen beinhaltet. Diese Elemente erwärmen sich natürlich auch, deren Temperaturen sind aber gegenüber der strahlenden Fläche vergleichsweise geringer. Die Darstellungen in den Abbildungen 2, 3 und 4 stützen die vorgenannten Aussagen in bezug auf die an den Strahlerteilflächen auftretenden Temperaturen. Die dreidimensionalen Darstellungen des Temperaturfeldes auf den Strahlerteilflächen lassen die Abweichungen der Profile untereinander erkennen, die auf die bereits genannten Temperaturdifferenzen zurückzuführen sind. Diese Feststellung trifft insbesondere auf die in Anlage 4 (100 % Leistung) ausgewiesenen Meßergebnisse zu.

5.4 Ermittlung auftretender Temperaturen im definierten Abstand zur Wärmestrahlerwandoberfläche

Im Rahmen dieser Untersuchungen war die Aussage von Interesse, welche Temperaturen in einem festgelegten Abstand von 80 cm zur Wärmestrahlerwandoberfläche sowie an verschiedenen Koordinaten (ausgehend vom in den Diagonalen der Wärmestrahlerwand liegenden Bezugspunkt 0) auftreten.

Zur Lösung dieser Aufgabenstellung wurde auf dem im Abschnitt 3 beschriebenen Positioniersystem ein Thermoelement, versehen mit einem geschwärzten Kupferblech der Größe 1 cm^2 installiert und damit gemäß der vorgegebenen Koordinaten $15 \text{ (vertikal)} \times 11 \text{ (horizontal)} = 165$ Meßpunkte abgefahren. Die Untersuchungen wurden bei voller Leistung (100 %) der Wärmestrahlerwand durchgeführt. Gemessen wurde die am Thermoelement



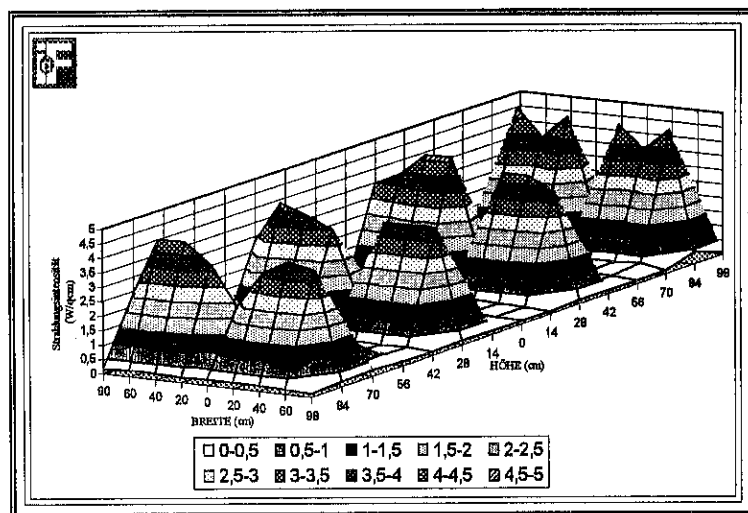
auf tretende Umgebungstemperatur unter Berücksichtigung der auf das Thermoelement auftreffenden Wärmestrahlung. Die Meßergebnisse sind in Anlage 6 als Oberflächendiagramm und als tabellarische Übersicht der Meßwerte dargestellt. Als Vorschau wird im Bild 9 das im vorgegebenen Abstand, relativ zur Wärmestrahlerwandoberfläche sich ergebende

Bild 9: Temperaturfeld in 80 cm Entfernung

Temperaturprofil ausgewiesen. Als maximaler Temperaturwert konnte im Zentrum der Wärmestrahlerwand eine Temperatur von $161 \text{ }^\circ\text{C}$ ermittelt werden. Mit dem gleichen Thermoelement, abgeschirmt gegenüber dem Strahlungseinfluß, wurde die Raumtemperatur gemessen. Zieht man in Betracht, daß die Umgebungstemperatur (Raumtemperatur) am Meßort $23 \text{ }^\circ\text{C}$ betrug, so wird der Einfluß der Wärmestrahlung (am Meßort der Maximaltemperatur wurde eine Wärmestrahlungsintensität bzw. Wärmestromdichte von $0,94 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ gemessen) auf das Meßergebnis deutlich. Deutlich erkennbar ist in Bild 8 deshalb auch das zu den jeweiligen Außenrändern der Wärmestrahlerwand hin abfallende Temperaturprofil, da dort auch der Einfluß der Wärmestrahlung geringer wird.

5.5 Ermittlung der Strahlungsintensitätsverteilung auf der Wärmestrahlerwandoberfläche

Die Strahlungsintensitätsverteilung direkt auf der Oberfläche der Wärmestrahlerwand sollte eine Aussage in bezug auf die von den einzelnen Strahlerteilflächen emittierte Wärmestrahlung



geben, um einerseits diesbezügliche quantitative Unterschiede zwischen den Strahlerteilflächen feststellen zu können und um andererseits, schlußfolgernd daraus, auf die Homogenität der emittierten Strahlung der Strahlerteilflächen schließen zu können. Die Untersuchungen wurden geführt bei 100% Leistung

Bild 10: Emittierende Strahlung der Teilstrahlerflächen

der Wärmestrahlerwand. Im **Bild 10** wird als Vorschau das Oberflächendiagramm, welches die Intensitäten der Wärmestrahlung der strahlenden Teilstrahler der Wärmestrahlerwand ausweist, gezeigt. Deutlich heben sich die Teilstrahlerflächen gegenüber den übrigen konstruktiven Elementen der Wärmestrahlerwand heraus. Die Meßergebnisse werden in **Anlage 7** ausgewiesen. Die tabellarisch aufgeführten Werte in Abbildung 1a weisen einen Maximalwert der emittierten Strahlungsintensität von $4,66 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ aus. Aus der grafischen Darstellung des Oberflächendiagramms läßt sich ableiten, daß die von den einzelnen Strahlerteilflächen emittierte Strahlung Inhomogenitäten aufweist, die ja auch bereits durch die mit dem Thermografiesystem erzielten Meßergebnisse veranschaulicht werden konnten.

5.6 Ermittlung der Strahlungsintensität als Funktion des Abstandes und der Anzahl der in Betrieb befindlichen Strahlerreihen

Anliegen dieser Untersuchungen war, in Erfahrung zu bringen, welche Wärmestrahlungsintensitäten in festgelegten Abständen zur Wärmestrahlerwandoberfläche auftreten, wenn die einzelnen Strahlerreihen, von oben beginnen, nacheinander zugeschaltet werden. Ein weiterer Untersuchungsaspekt war die Prüfung einer weiteren Möglichkeit, über die jeweils separate Zuschaltung der einzelnen Strahlerreihen die Intensität der von der

Wärmestrahlerwand ausgehenden Wärmestrahlung zu regeln. Entsprechend des aus Sicherheitsgründen vorgegebenen Einschaltregimes werden die einzelnen Teilstrahler strahlerreihenweise von oben rechts bis unten links nacheinander automatisch oder manuell gezündet. Bei den Untersuchungen wurde von der Voraussetzung ausgegangen, daß die jeweilige Zuschaltung der nächsten Strahlerreihe erst erfolgen durfte, wenn der Beharrungszustand der bereits in Betrieb genommenen Strahlerreihen eingetreten war. Deshalb

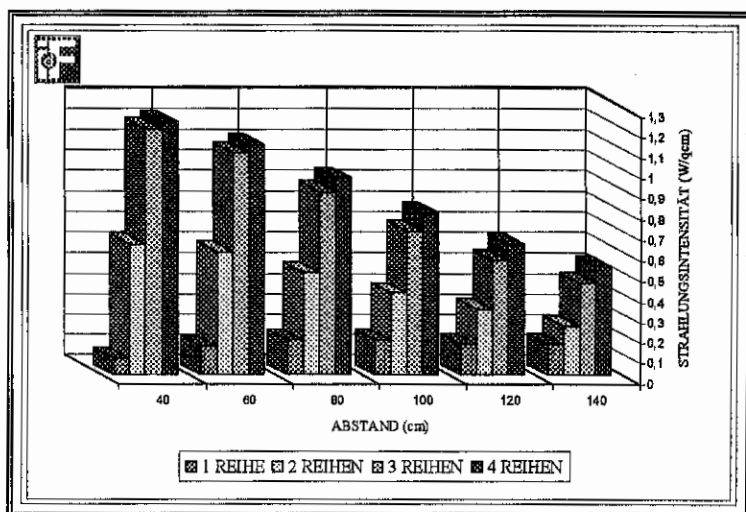


Bild: 11 Intensitäten als Funktion von Abstand und Reihen

erfolgte auch die manuelle Zündung der Strahlerreihen. Die Untersuchungen wurden bei 100 % Leistung der Wärmestrahlerwand durchgeführt. Als zu realisierende Abstände von der Wärmestrahlerwandoberfläche wurden festgelegt: 40 cm, 60 cm, 80 cm, 100 cm, 120 cm und 140 cm. Als Meßgerät wurde ein Radiometer eingesetzt, welches auf dem Positioniersystem derart in Stellung gebracht wurde, daß es sich im jeweils festgelegten Abstand direkt gegenüber dem Zentrum der Wärmestrahlerwand befand. Gemessen wurde mit Hilfe des Radiometers die von der Wärmestrahlerwand ausgesandte und aus dem Halbraum auf den Sensor auftreffende Wärmestrahlung. Im **Bild 11** werden die ermittelten Intensitäten der Wärmestrahlung als Funktion der jeweils zugeschalteten Strahlerreihen und dem Abstand grafisch dargestellt. Die Meßergebnisse sind aus **Anlage 8** ersichtlich. Diese Darstellung ist selbsterklärend und in sich logisch. Hingewiesen werden soll in diesem Zusammenhang lediglich darauf, daß beim geringsten Abstand des Sensors von der Wärmestrahlerwandoberfläche (40 cm) auf Grund der Lage der Strahlerreihe 1 zum Sensor eine vergleichsweise geringere Intensität der Wärmestrahlung auftritt als bei größeren Abständen. Dieses Verhalten ist, wie das Bild verdeutlicht, nach Zuschaltung weiterer Strahlerreihen nicht mehr erkennbar. Eine Regulierung der Intensität der Wärmestrahlung über die jeweils separate Zuschaltung der einzelnen Strahlerreihen ist grundsätzlich möglich, zu favorisieren ist jedoch die Variante des Einstellens der Intensitäten über den Abstand bei voller Leistung der Wärmestrahlerwand.

5.7 Ermittlung der Wärmestrahlungsintensität als Funktion des Abstandes, der Position des Meßwertaufnehmers und der Leistung

Anliegen dieser Untersuchungen war das quantitative Erfassen der in verschiedenen Abständen zur Wärmestrahlerwand sowie an verschiedenen Koordinaten (ausgehend vom in den Diagonalen der Wärmestrahlerwand liegenden Bezugspunkt 0) auftretenden Wärmestrahlung. Ableitend daraus sollte auf die Wärmestrahlungsintensitätsverteilung im jeweiligen Abstand zur Wärmestrahlerwandoberfläche geschlossen werden. Gemessen wurde mit einem Radiometer die von der Wärmestrahlerwand ausgesandte und aus dem Halbraum auf den Sensor auftreffende Wärmestrahlung.

Zur Lösung dieser Aufgabenstellung wurde auf dem im Abschnitt 3 beschriebenen Positioniersystem als Meßwertaufnehmer ein Radiometer installiert und dieses gemäß der vorgegebenen Koordinaten an 15 (vertikal) \times 11 (horizontal) = 165 Meßpunkte verfahren. Die Meßwerte wurden in folgenden Meßebenen, die den jeweiligen Abstand des Radiometers zur Wärmestrahlerwandoberfläche repräsentieren, erfaßt: 40 cm, 60 cm, 80 cm, 100 cm, 120 cm und 140 cm. Somit ergab sich im Rahmen dieser Untersuchungen das Erfordernis der Positionierung des Meßwertaufnehmers an 990 unterschiedlichen Positionen. Die Messungen wurden durchgeführt bei 100% und bei 50% Leistung der Wärmestrahlerwand.

Sämtliche Meßergebnisse werden, geordnet nach der jeweils eingestellten Leistung der Wärmestrahlerwand und innerhalb dieser Ordnung wiederum nach dem Abstand, dargestellt in **Anlage 9**. In den jeweiligen Abbildungen werden die Meßergebnisse grafisch in Form von Oberflächendiagrammen (die untere Abbildung stellt jeweils die Projizierung des oben dargestellten Oberflächendiagramms auf die Ebene dar) dargestellt. Die grafischen Darstellungen werden jeweils ergänzt durch eine tabellarische Übersicht der gemessenen Werte (Einheit in $W \cdot cm^{-2}$) an den Meßkoordinaten. In **Tabelle 4** werden beispielhaft die Meßergebnisse in $W \cdot cm^{-2}$, bezogen auf einen Abstand von 40 cm zur Wärmestrahlerwand, bei 100% Leistung dargestellt. Als Maximalwert wurde hier die höchste mit der Wärmestrahlerwand zu erzielende Intensität der Wärmestrahlung von $1,36 W \cdot cm^{-2}$ ermittelt. Die aus diesen Tabellenwerten resultierenden grafischen Darstellungen in Form der Oberflächendiagramme zeigen als Vorschau die **Bilder 12 und 13**.

Tabelle 4: Meßwerte im Abstand von 40 cm

	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,26	0,49	0,73	0,88	0,93	0,92	0,94	0,9	0,79	0,53	0,28
84	0,33	0,61	0,93	1,11	1,15	1,17	1,18	1,18	0,99	0,65	0,35
70	0,28	0,59	0,93	1,14	1,2	1,22	1,24	1,19	0,99	0,64	0,32
56	0,3	0,59	0,91	1,12	1,2	1,23	1,27	1,23	1,01	0,67	0,35
42	0,35	0,63	0,98	1,19	1,24	1,3	1,31	1,29	1,07	0,72	0,38
28	0,35	0,65	1,01	1,23	1,29	1,34	1,36	1,33	1,1	0,72	0,38
14	0,34	0,64	0,96	1,2	1,27	1,28	1,3	1,29	1,08	0,7	0,36
0	0,33	0,6	0,92	1,11	1,17	1,21	1,24	1,21	1,01	0,67	0,36
14	0,33	0,61	0,93	1,14	1,21	1,23	1,25	1,23	1,02	0,68	0,38
28	0,33	0,62	0,97	1,17	1,24	1,26	1,3	1,26	1,05	0,71	0,38
42	0,32	0,61	0,94	1,13	1,21	1,23	1,23	1,2	1	0,66	0,35
56	0,31	0,59	0,9	1,08	1,14	1,16	1,18	1,14	0,97	0,64	0,34
70	0,32	0,6	0,94	1,14	1,17	1,19	1,2	1,17	0,98	0,64	0,33
84	0,29	0,58	0,9	1,1	1,14	1,16	1,17	1,14	0,95	0,62	0,32
98	0,25	0,5	0,73	0,82	0,88	0,91	0,92	0,92	0,77	0,51	0,25

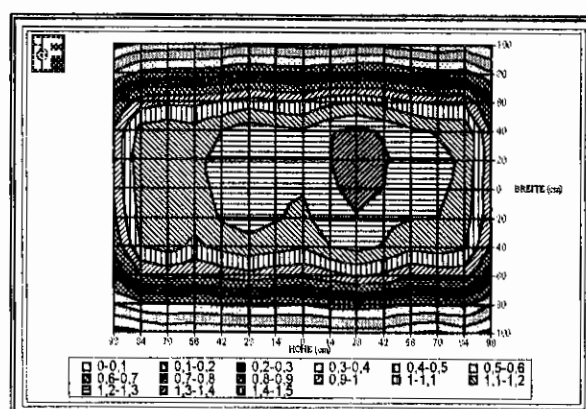
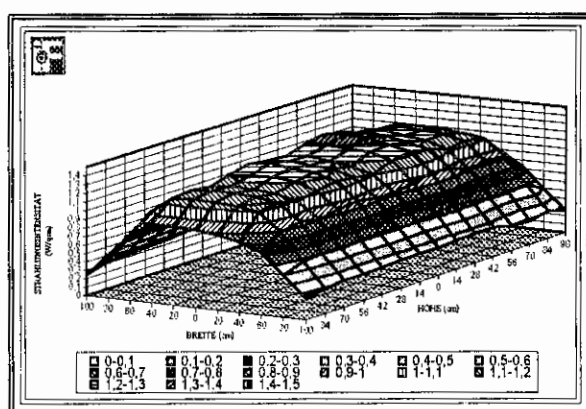


Bild 12: Oberflächendiagramm 40 cm Abstand Bild 13: Projektion von Bild 12

6 Schlußfolgerungen aus den Untersuchungen

Als Ergebnis der im Bericht dargelegten Untersuchungen liegen nunmehr umfangreiche Meßergebnisse vor. Einige Eckwerte sollen an dieser Stelle nochmals zusammenfassend genannt werden.

Festgestellt werden konnte, daß bei 100 % Leistung der Wärmestrahlerwand das Maximum der Oberflächentemperatur der Wärmestrahlerwand bei 1020 °C lag. Ermittelt werden konnte der mittels Radiometer in einem Abstand von 40 cm von der Wärmestrahlerwandoberfläche gemessene Maximalwert der Intensität der Wärmestrahlung von $1,36 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$. Dieser Wert

ist von der Größenordnung her vergleichbar mit den mit gleichem Meßgerät bei realen Bränden gemessenen Intensitäten. Insofern kann auf der Basis dieses Vergleiches von einem diesbezüglichen Äquivalent der thermischen Beanspruchung durch Wärmestrahlung ausgegangen werden, wobei jedoch eingeräumt werden muß, daß im realen Brandfall unter bestimmten Bedingungen höhere thermische Beanspruchungen auftreten können.

Festgestellt werden konnte weiterhin, daß das direkt auf der Oberfläche der Wärmestrahlerwand (Strahlerreihen und Strahlerteilflächen) ermittelte Temperaturfeld Inhomogenitäten aufweist, hier also keine einheitlichen Temperaturen gemessen wurden. Ausdruck dessen sind die auftretenden Temperaturdifferenzen auf den Strahlerflächen von maximal 100 K. Analoge Inhomogenitäten konnten nachgewiesen werden im Rahmen der Ermittlung der von der Oberfläche der Wärmestrahlerwand bzw. den Strahlerelementen emittierten Wärmestrahlung, was auch einleuchtend ist, weil die Wärmestrahlung funktionell abhängig ist von der Temperatur. Die nachgewiesenen Inhomogenitäten haben sich im Ergebnis der weiteren Untersuchungen jedoch als nur typisch für die ausschließliche Betrachtung der strahlenden Oberflächen der Wärmestrahlerwand erwiesen. Die Charakteristik der Inhomogenitäten verliert durch Überlagerungserscheinungen der Wärmestrahlung der Teilstrahlerflächen mit zunehmenden Abstand von der Wärmestrahlerwandoberfläche an Bedeutung. Belegt wird diese Aussage durch die anschaulich in Anlage 9 dargestellten Oberflächendiagramme, die das in Abhängigkeit vom Abstand jeweils vorliegend Intensitätsfeld der Wärmestrahlung als Fläche ausweisen. Diese somit über den Abstand erzielte Homogenität ist ein wichtiges Kriterium für die erforderliche „Gleichmäßigkeit“ der Wärmestrahlung beim Auftreffen auf ein Objekt, wie beispielsweise eines Schutzanzuges, welches einer definierten thermischen Belastung durch Wärmestrahlung ausgesetzt werden soll. Betrachtet man in diesem Zusammenhang beispielsweise die in Anlage 9, Abbildung 1, untenstehende grafische Darstellung, so ist erkennbar, daß gerade im Kernbereich mit den Abmaßen von ca. 80 cm Breite und 170 cm Höhe die Bestrahlung in diesem Bereich am homogensten ist. Gerade die durch diese Abmaße repräsentierte Fläche kann aber gleichgesetzt werden mit der flächigen Ausdehnung des menschlichen Körpers, woraus geschlußfolgert werden kann, daß die untersuchte Wärmestrahlerwand als Prüfeinrichtung beispielsweise für die Prüfung von kompletter Schutzausrüstung des Feuerwehrangehörigen bestens geeignet ist. Nachteilig wirkt sich gegenwärtig noch aus, daß die für einen realen Brand relevante Intensität der Wärmestrahlung in dem noch zu geringen Abstand von 40 cm zur Wärmestrahlerwandoberfläche auftritt.

Dem könnte nur abgeholfen werden durch eine entsprechende Nachrüstung der Wärmestrahlerwand mit weiteren Brennelementen.

Die Gesamtheit der vorgenommenen Untersuchungen hat dazu geführt, daß das exakte Strahlungsfeld der Wärmestrahlerwand definiert werden konnte. Die zeitliche und räumliche Konstanz der Meßwerte wurde durch Mehrfachmessungen über längere Zeiträume nachgewiesen. Somit besteht nunmehr die Möglichkeit, die Schutzkleidung der Feuerwehr einer definierten Wärmestrahlungsbelastung, die jederzeit reproduzierbar ist, auszusetzen. Zu bemerken wäre noch, daß die Reproduzierbarkeit der Parameter der Wärmestrahlerwand von Zeit zu Zeit erneut nachgewiesen werden muß. Unter dem Aspekt der Langzeitnutzung der Wärmestrahlerwand sollte deshalb, bedingt durch Alterungs- und Verschleißerscheinungen der Funktionselemente der Wärmestrahlerwand, die Überprüfung ihrer wichtigsten Parameter wiederholt werden. Als nachweislich am günstigsten hat sich auch die „Regulierung“ der Intensität der Wärmestrahlung über den Abstand zur Strahlungsquelle erwiesen. Ihr sollte der Vorzug gegenüber einer „leistungsabhängigen Regulierung“ der Wärmestrahlerwand gegeben werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Wärmestrahlerwand, Produkt der Firma Weldotherm, Essen
- [2] Therm 500-3, Produkt der Firma Ahlborn Meß- und Regeltechnik, Holzkirchen, 1994
- [3] Thermovision 470 PRO, Produkt der AGEMA Infrared Systems, Danderryd, Schweden
- [4] IRWIN-PRO, Produkt der AGEMA Infrared Systems, Danderryd, Schweden, 1994
- [5] WINTAS, Softwareprodukt der Firma Technische Interaktion, Bochum, 1994
- [6] Cyclops AF, Produkt der Firma Land Infrarot GmbH, Leverkusen
- [7] Strahlungsthermometer KT 15, Produkt der Firma Heimann GmbH, Wiesbaden
- [8] Medtherm Wärmeflußaufnehmer, Produkt der Firma Medtherm Corporation, Huntsville, Alabama

Verzeichnis der Tabellen

- Tabelle 1** Technische Daten des Meßsystems THERM-500
- Tabelle 2** Technische Daten des Thermografiesystems
- Tabelle 3** Meßfleckdurchmesser bei verschiedenen Fokussierentfernungen
- Tabelle 4** Meßwerte im Abstand von 40 cm

Verzeichnis der Bilder

- Bild 1** Schematische Darstellung der Wärmestrahlerwand
- Bild 2** Realbild der Wärmestrahlerwand
- Bild 3** Positioniereinrichtung vor der Wärmestrahlerwand
- Bild 4** Meßergebnisse der Vergleichsuntersuchungen
- Bild 5** Lage der Thermoelemente
- Bild 6** Thermoelemente an Strahlerteilfläche
- Bild 7** Anordnung von 12 Thermoelementen auf einer Hälfte der Strahlerteilfläche
- Bild 8** Thermogramm der Wärmestrahlerwand
- Bild 9** Temperaturfeld in 80 cm Entfernung
- Bild 10** Emittierende Strahlung der Teilstrahlerflächen
- Bild 11** Intensitäten als Funktion von Abstand und Reihen
- Bild 12** Oberflächendiagramm 40 cm Abstand
- Bild 13** Projektion von Bild 12

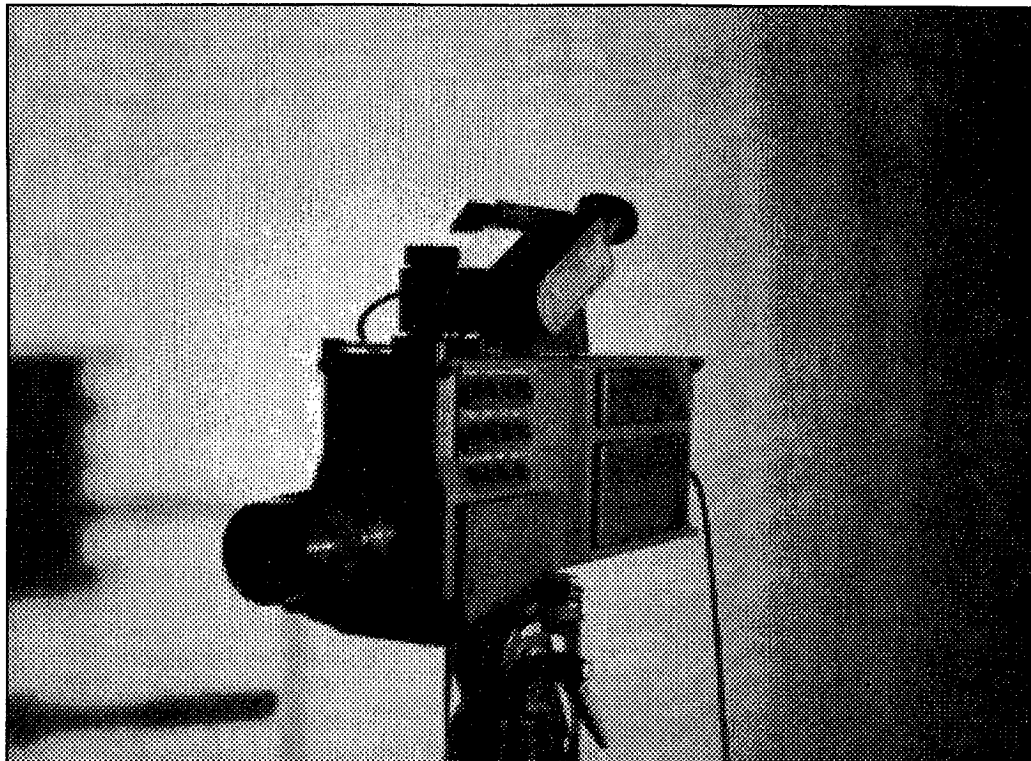


Abb. 1: Thermografiesystem (Wärmebildkamera)

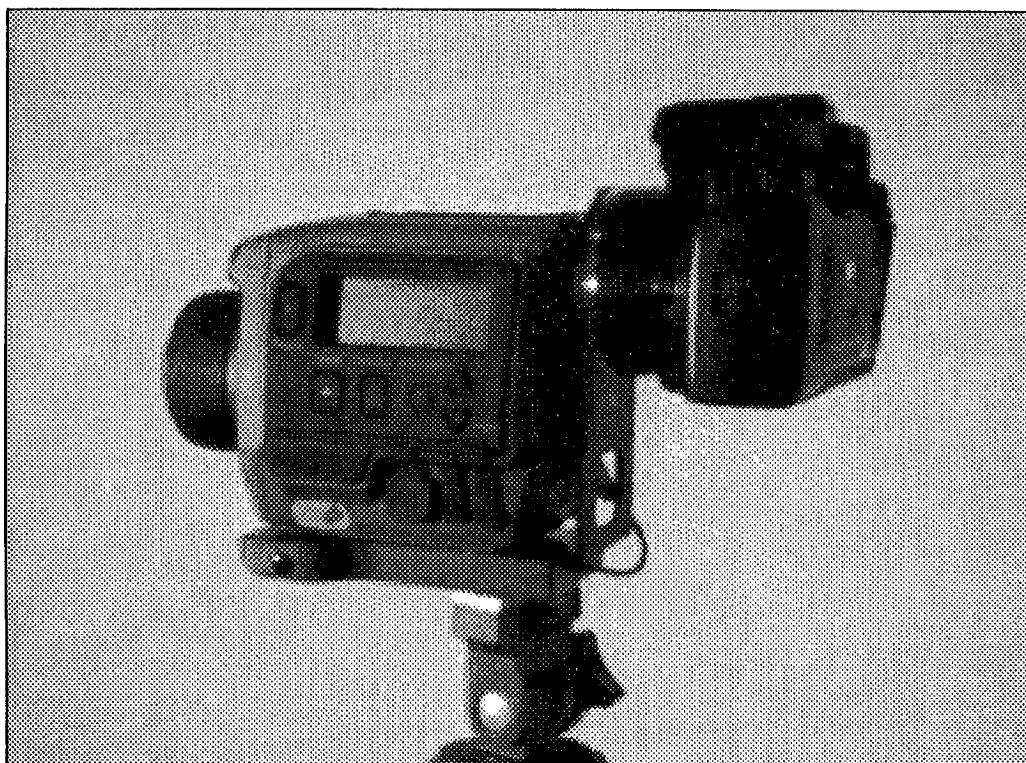


Abb. 2: Infrarot-Thermometer CYCLOPS 300 AF

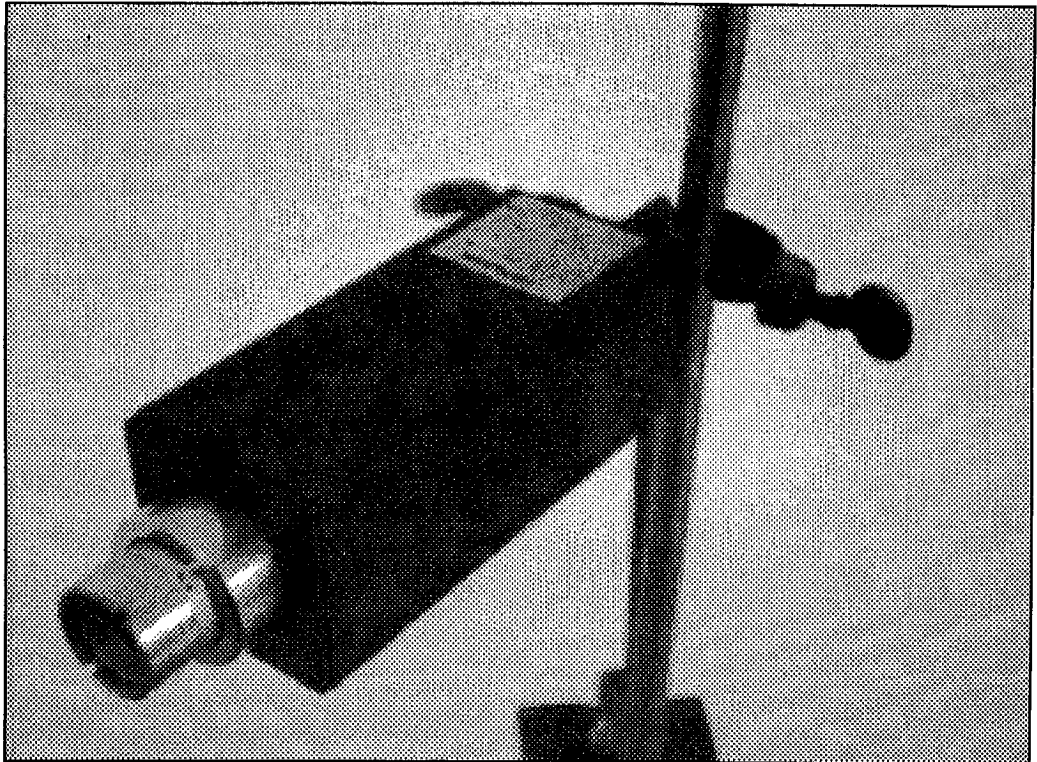


Abb. 3: Strahlungsthermometer KT 15 (Pyrometer)

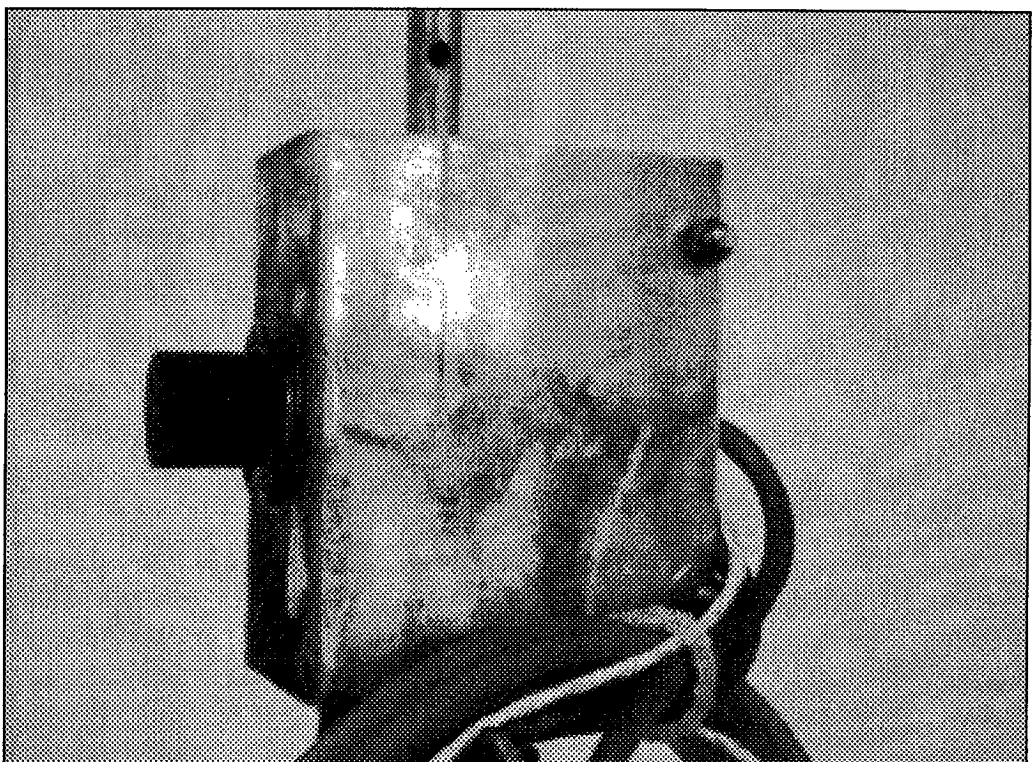


Abb. 4: Wärme-fluß-aufnehmer (Radiometer)

ANLAGE 2

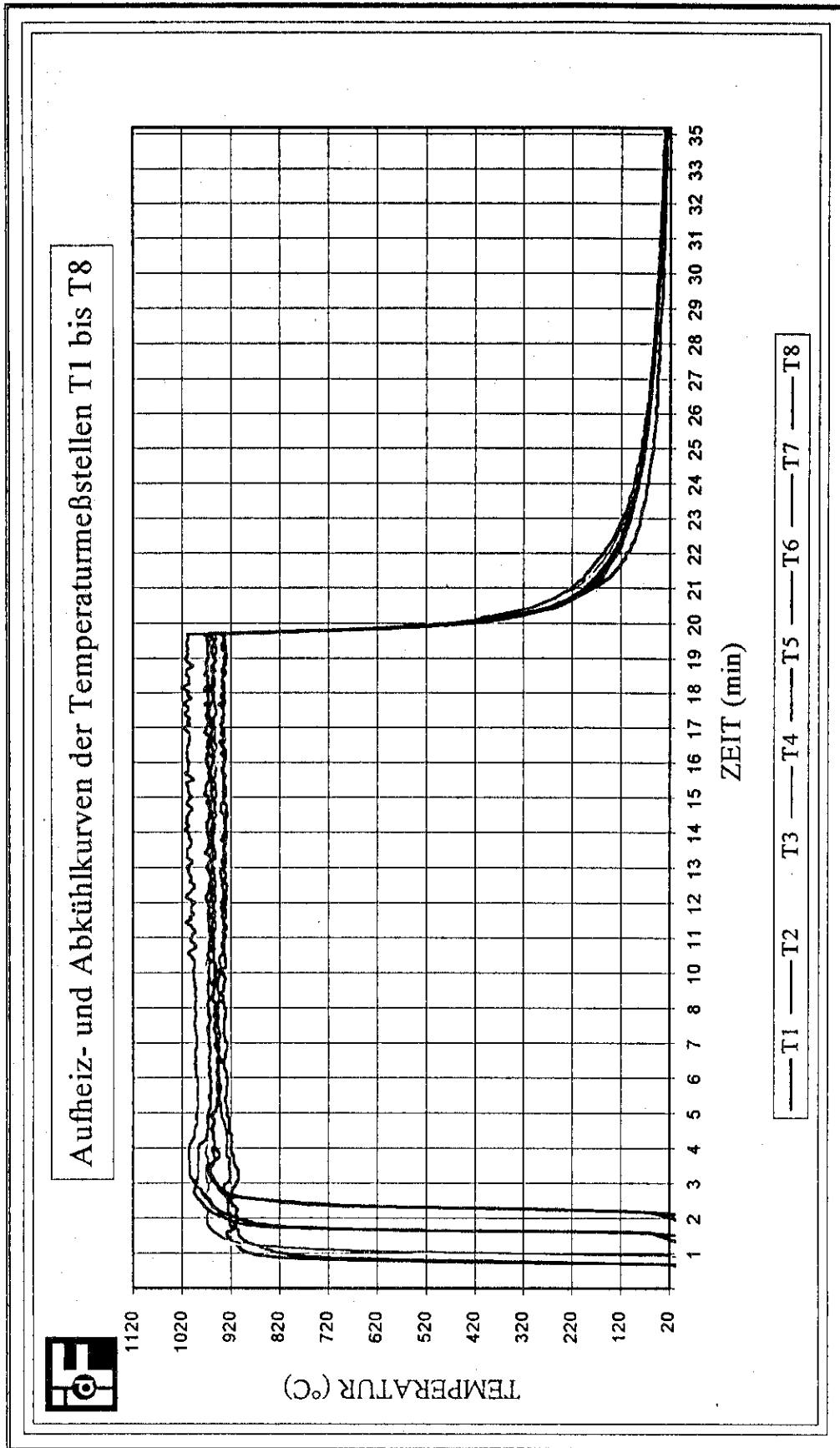


Abb. 1

ANLAGE 2

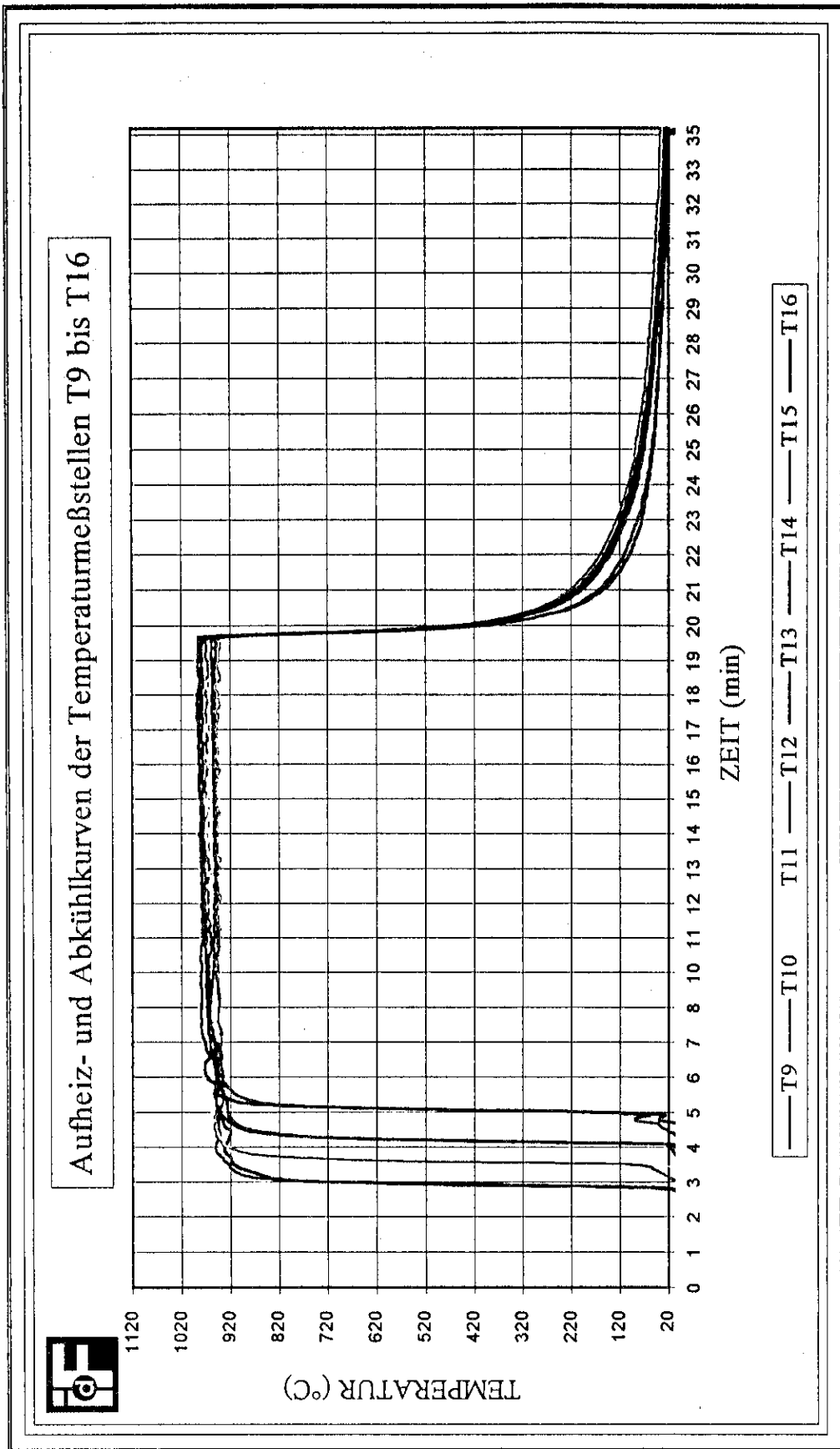


Abb. 2

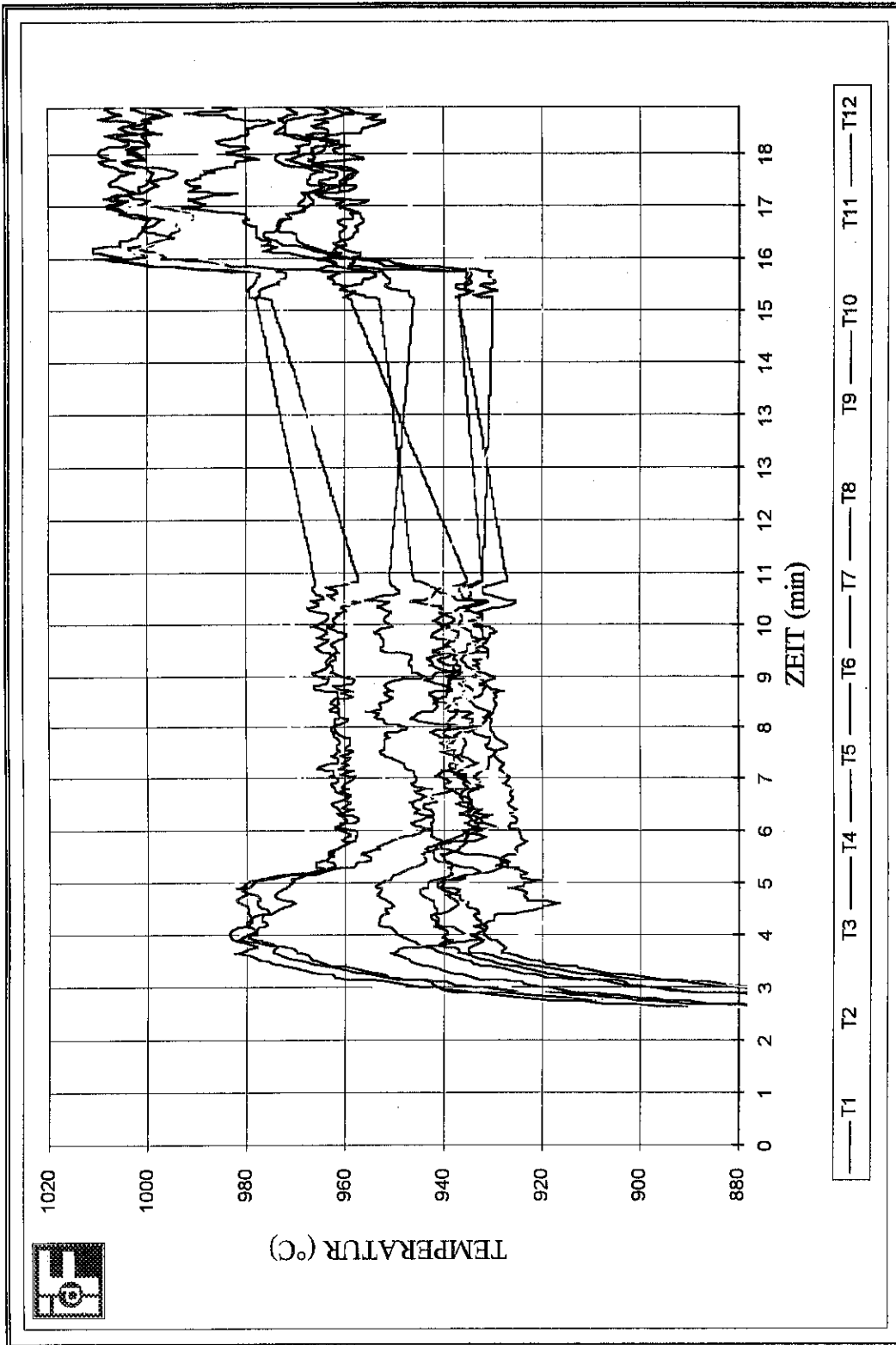


Abb. 1: Temperaturverlauf an 12 Meßstellen an einem Teilstrahler der Strahlerwand bei 100% Leistung

ANLAGE 3

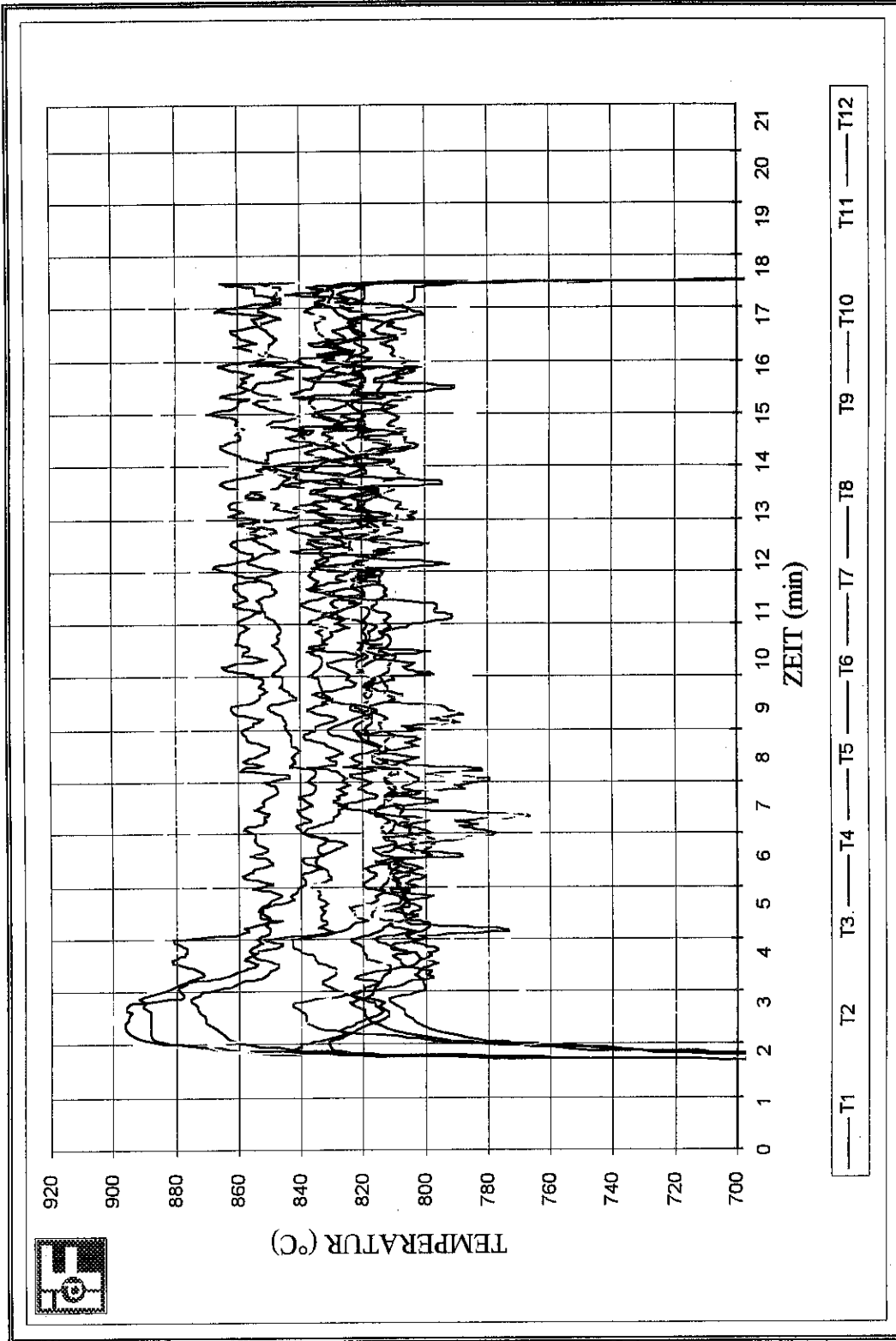
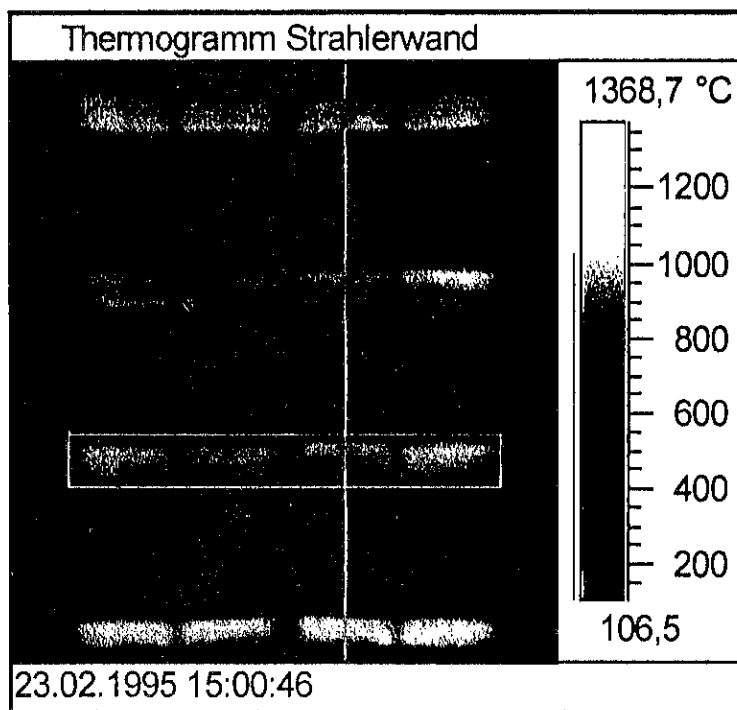
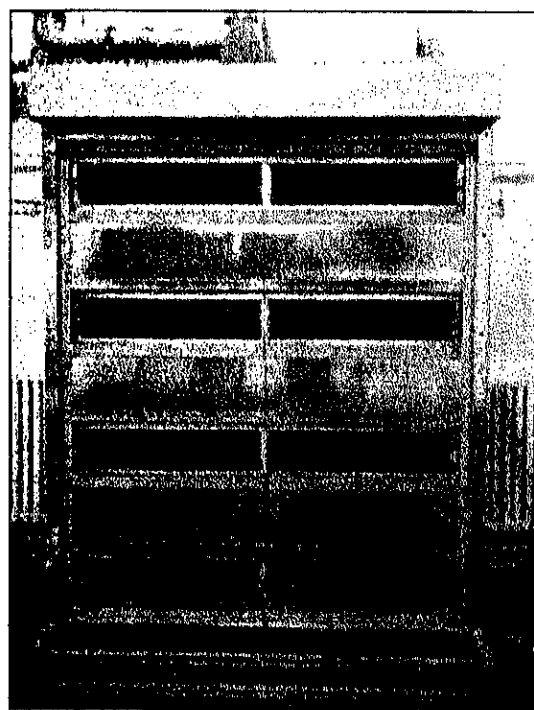


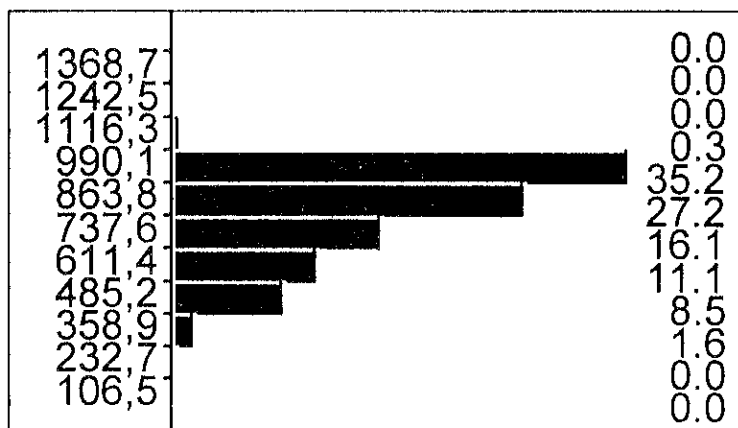
Abb. 2: Temperaturverlauf an 12 Messstellen an einem Teilstrahler der Strahlerwand bei 50% Leistung



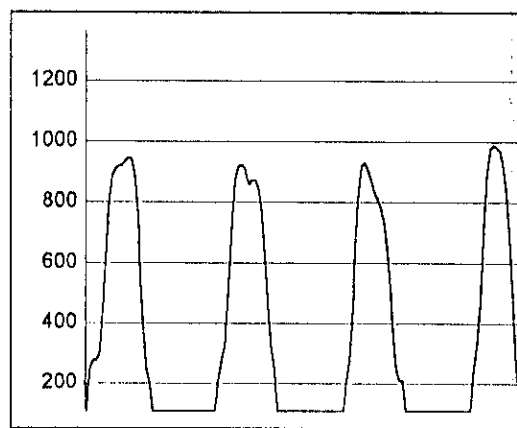
Thermogramm



Realbild



Histogramm



Linienprofil

Abb. 1: Thermogramm, Histogramm und Linienprofil (temperaturbezogen) der Strahlerwand bei 100% Leistung

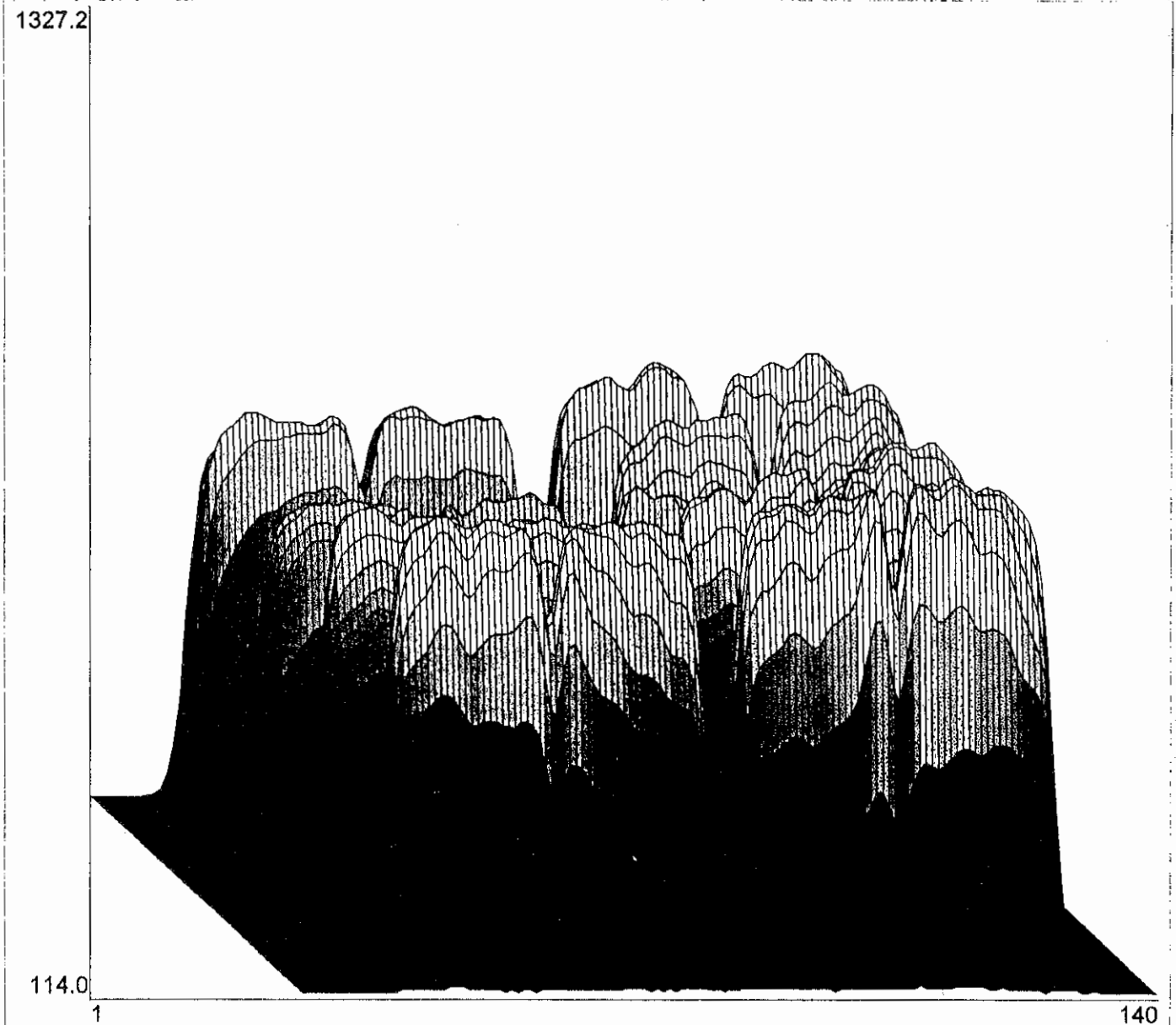
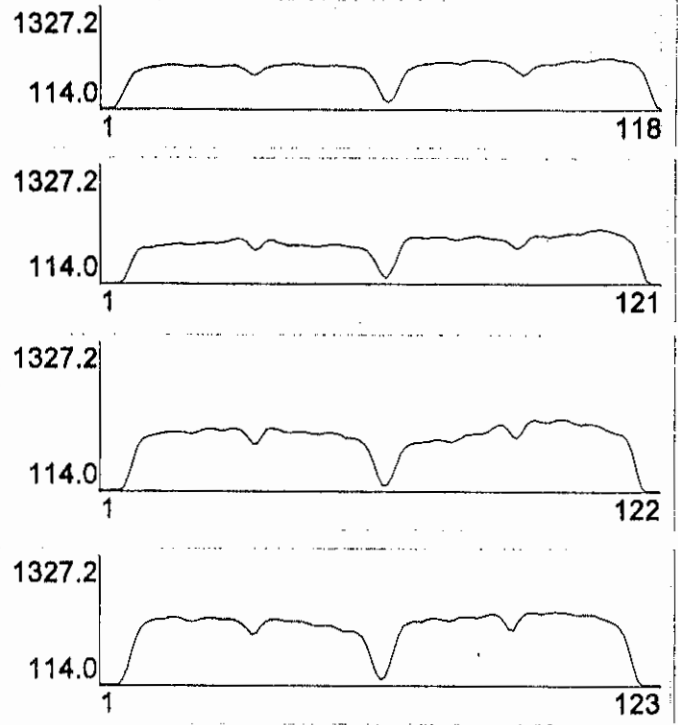
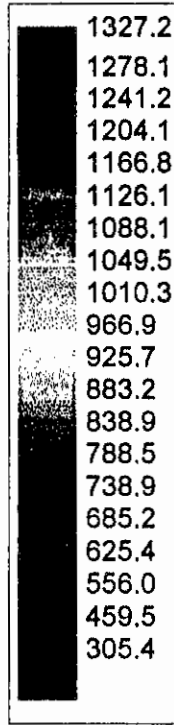
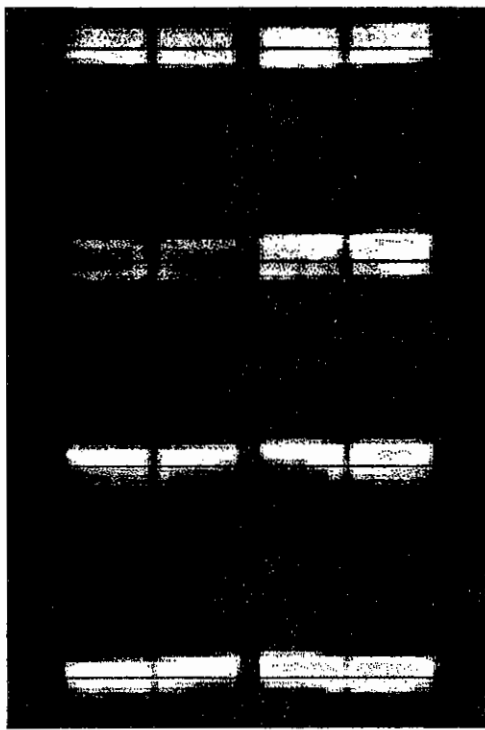


Abb. : 2 Thermografieauswertung der Strahlerwand 100% Leistung

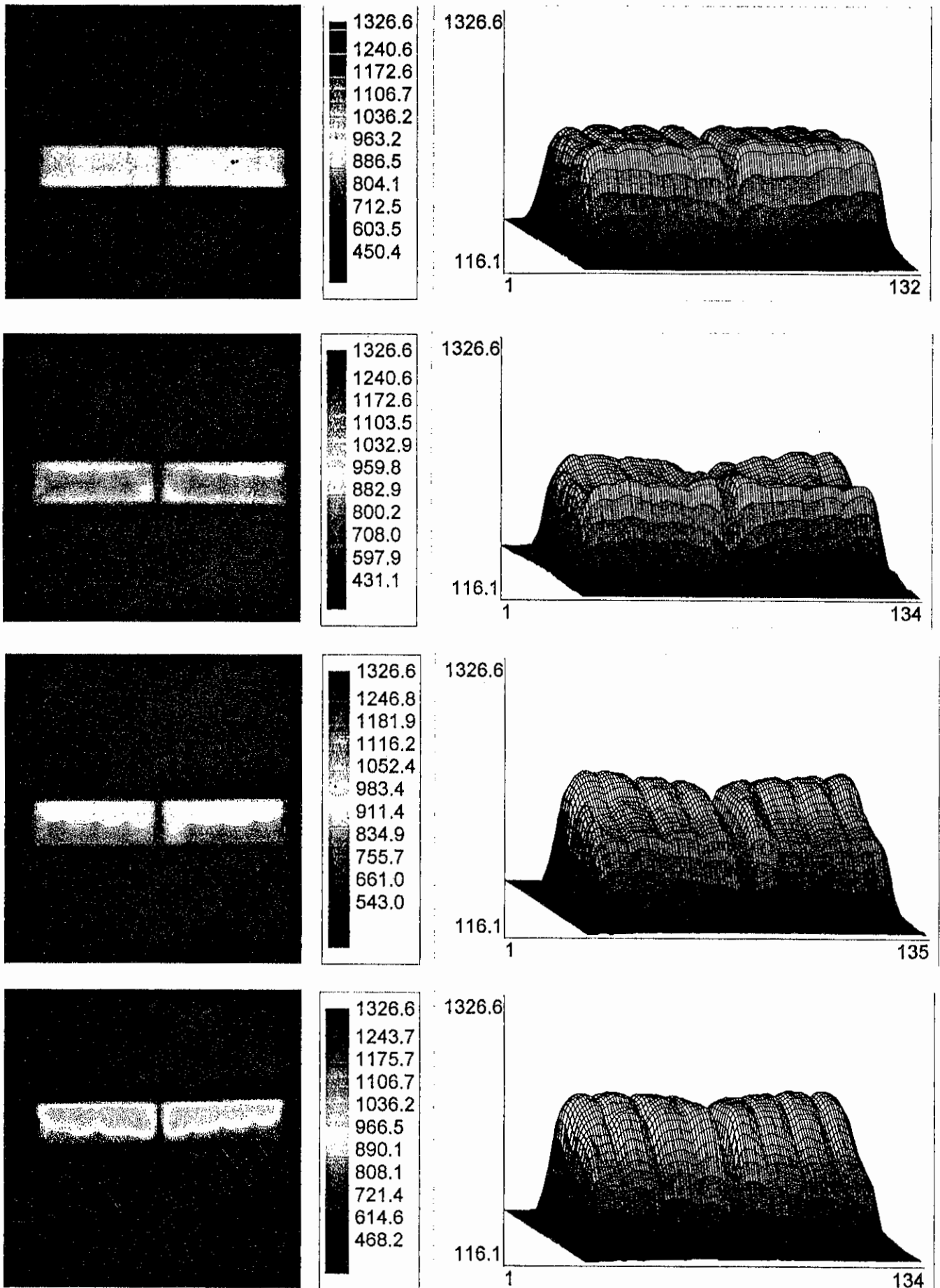


Abb. 3: Thermogramme der Teilstrahler (links) - 100% Leistung

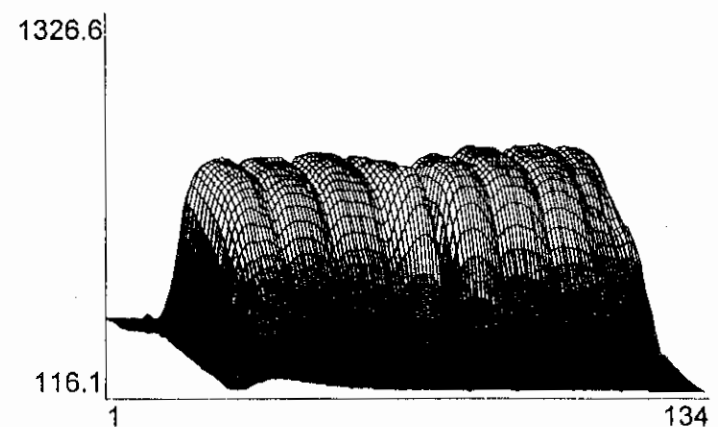
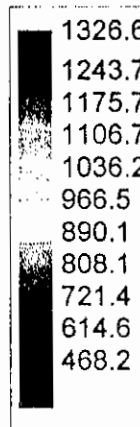
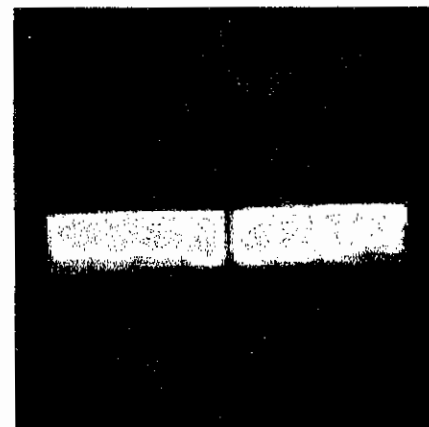
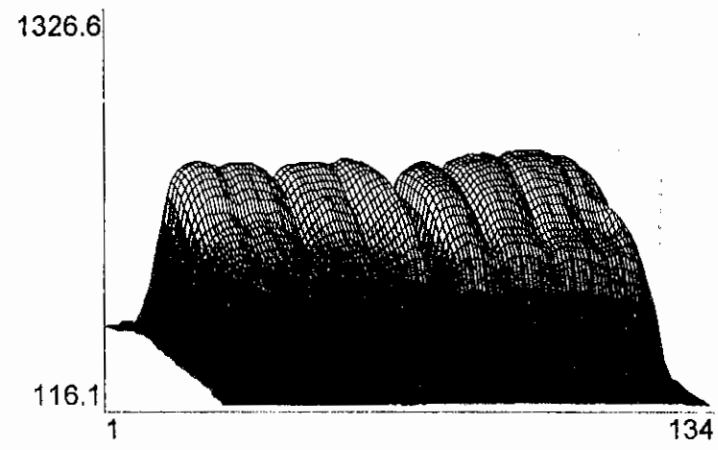
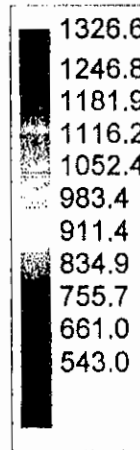
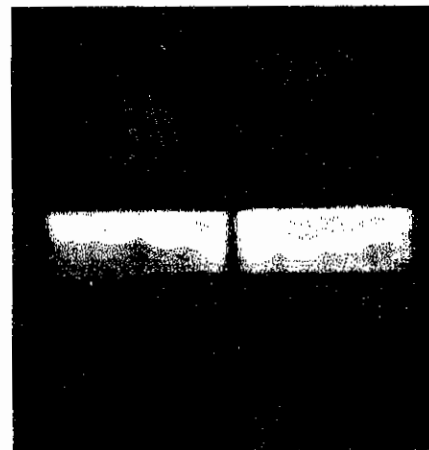
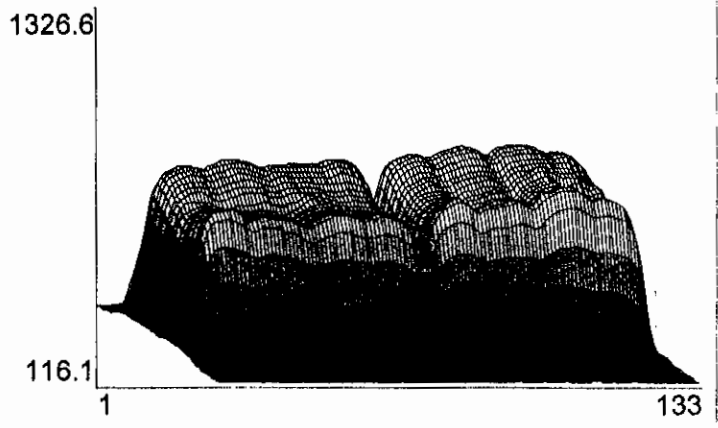
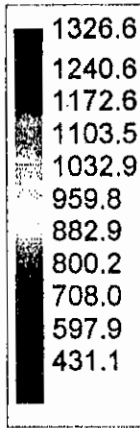
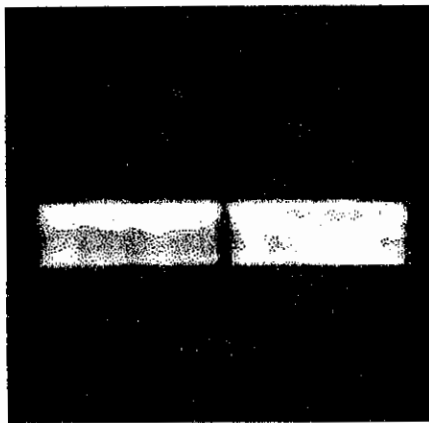
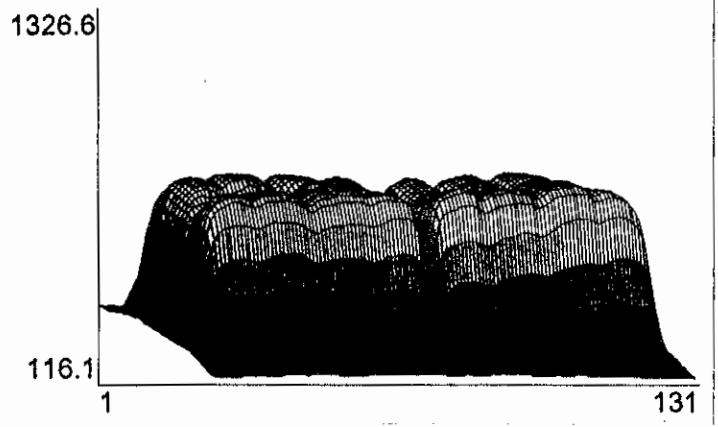
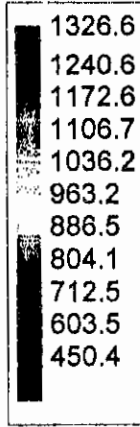
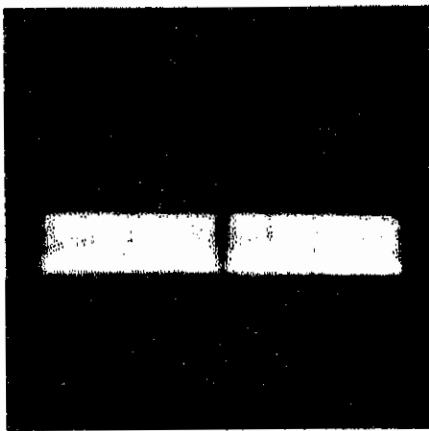
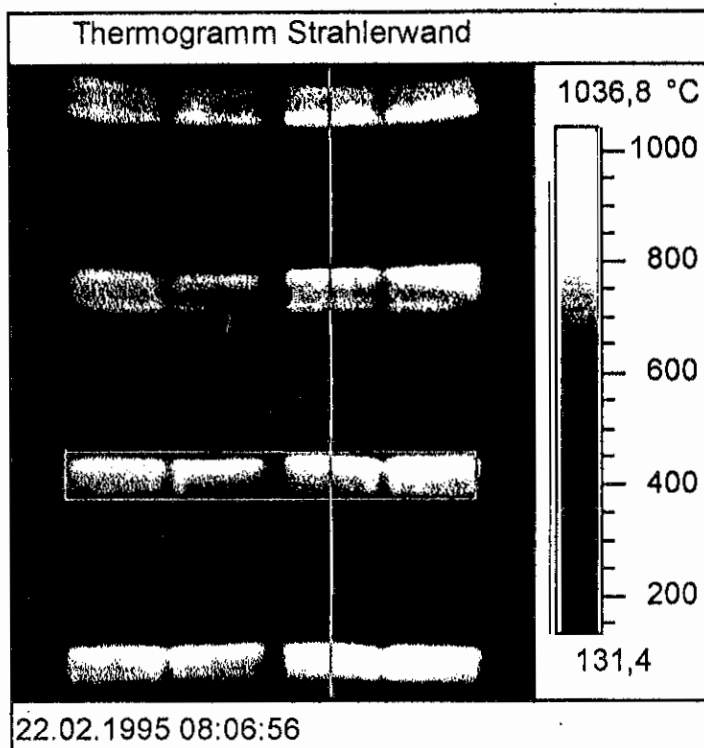
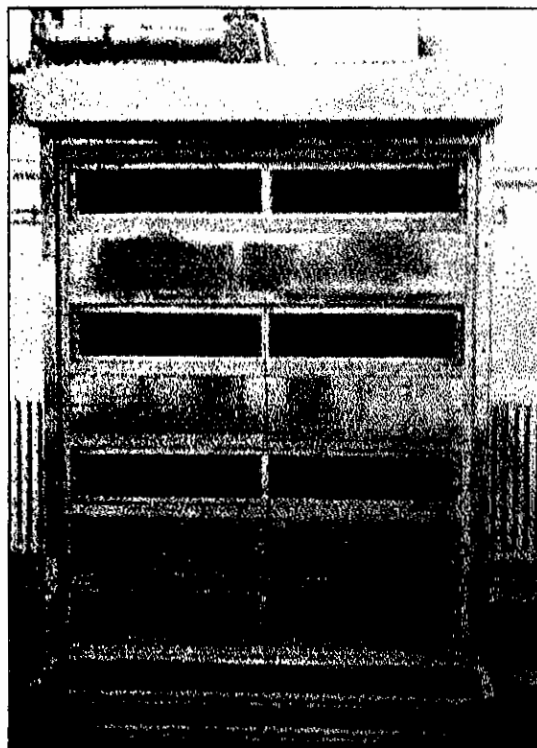


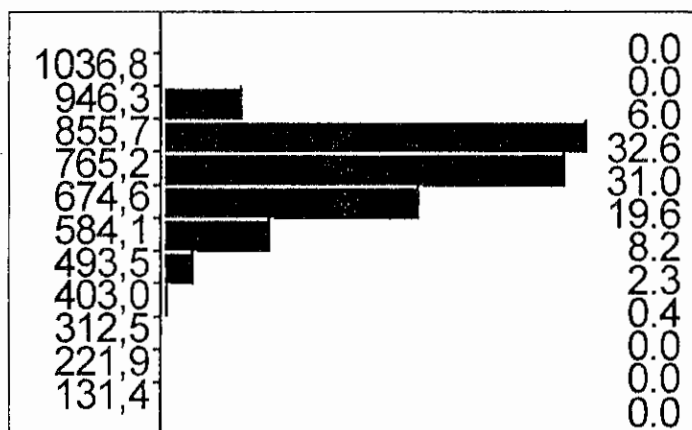
Abb. 4: Thermogramme der Teilstrahler (rechts) - 100% Leistung



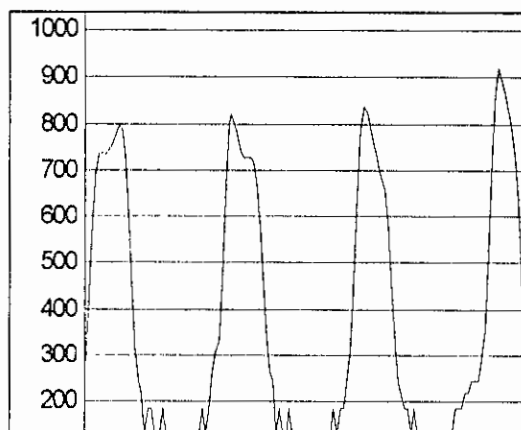
Thermogramm



Realbild



Histogramm



Linienprofil

Abb. 1: Thermogramm, Histogramm und Linienprofil (temperaturbezogen) der Strahlerwand bei 50% Leistung

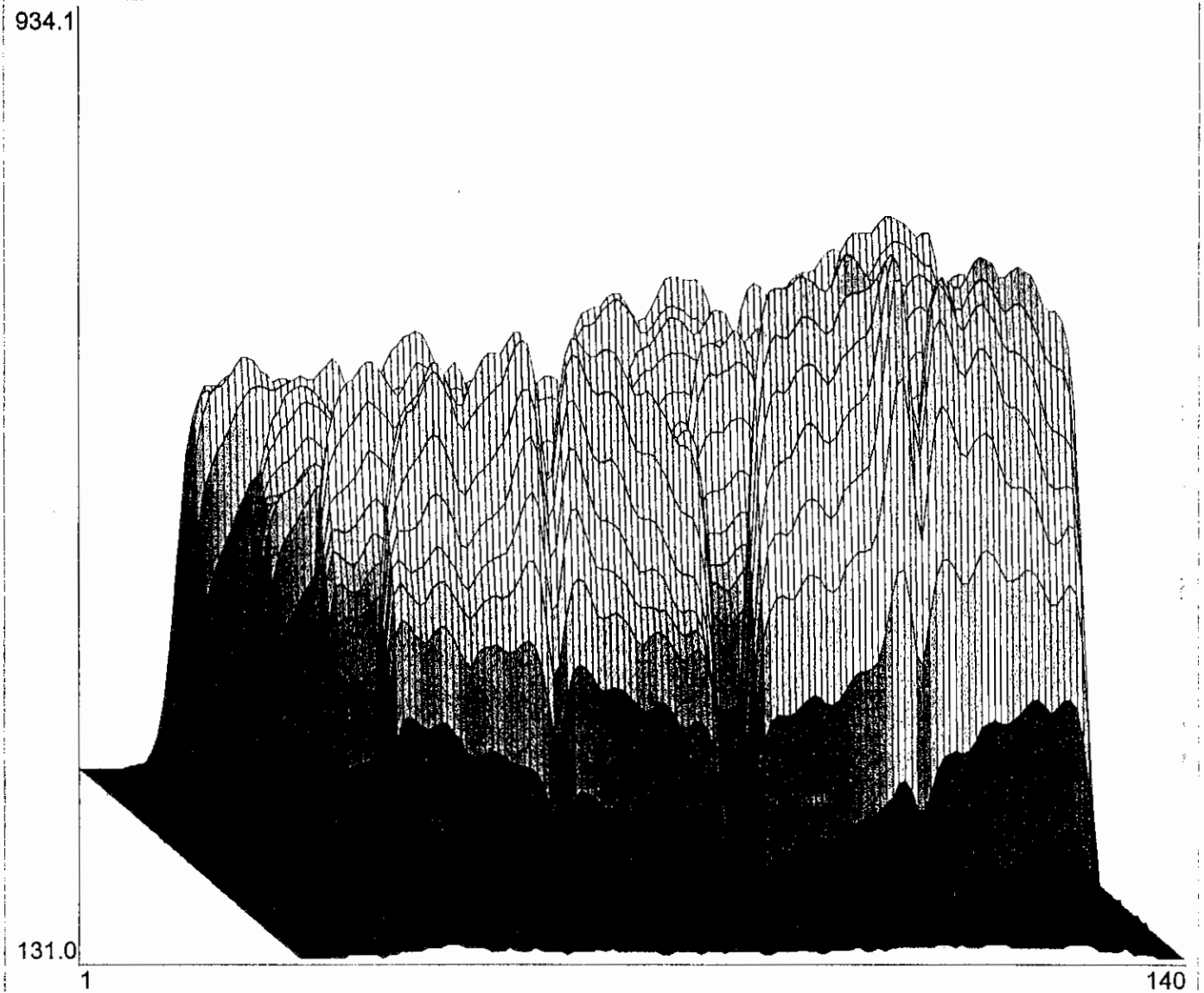
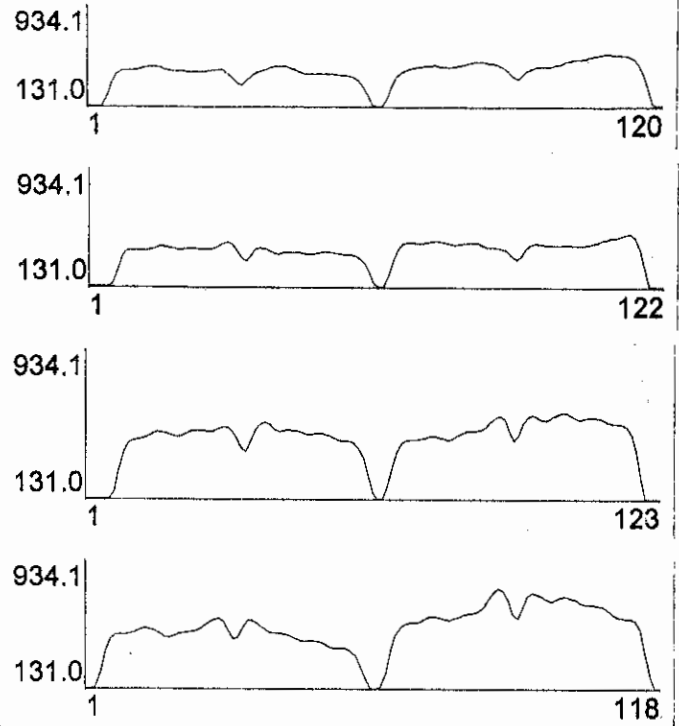
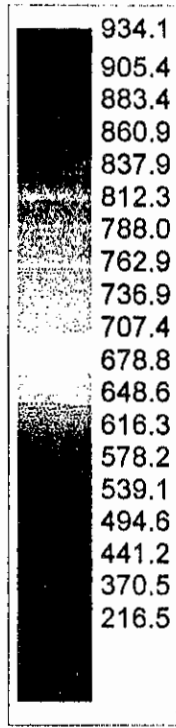
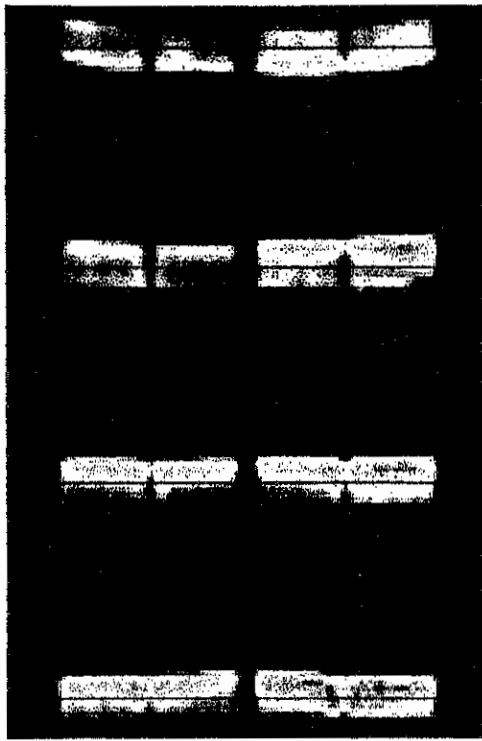


Abb. 2: Thermografieauswertung der Strahlerwand - 50 % Leistung

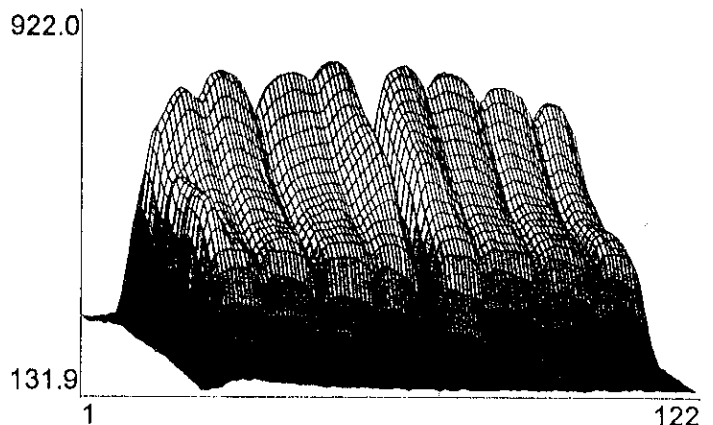
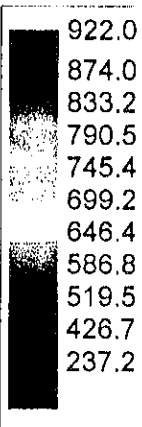
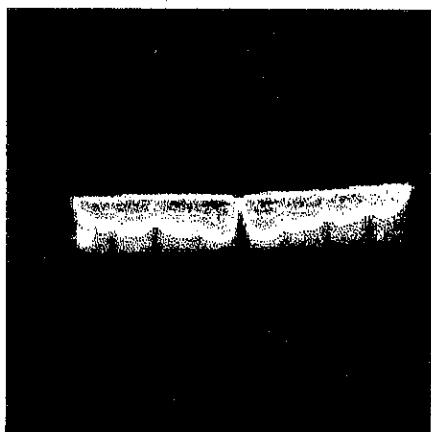
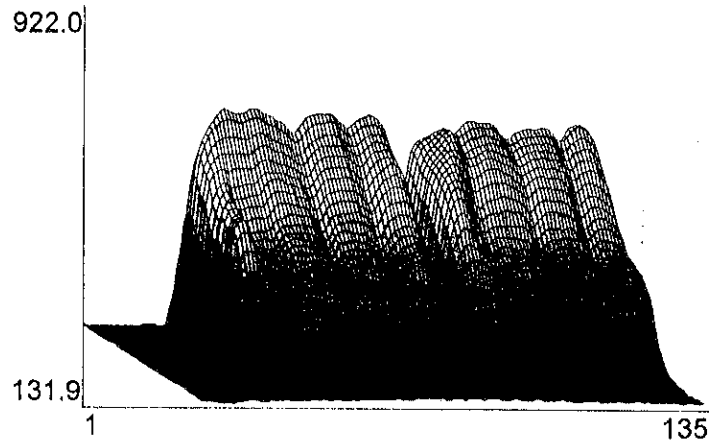
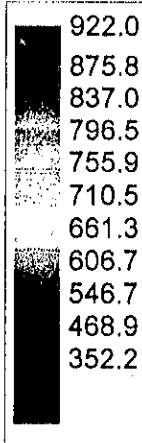
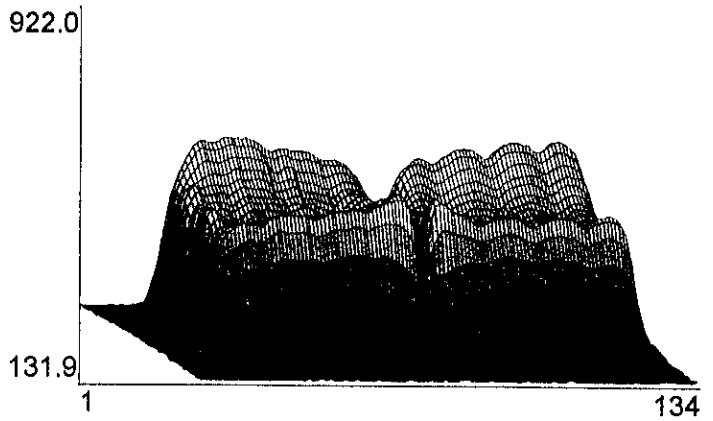
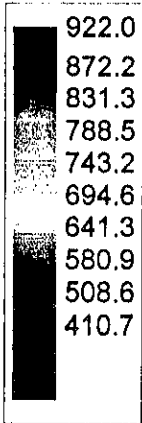
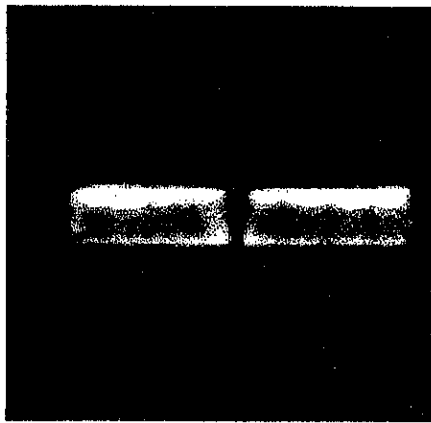
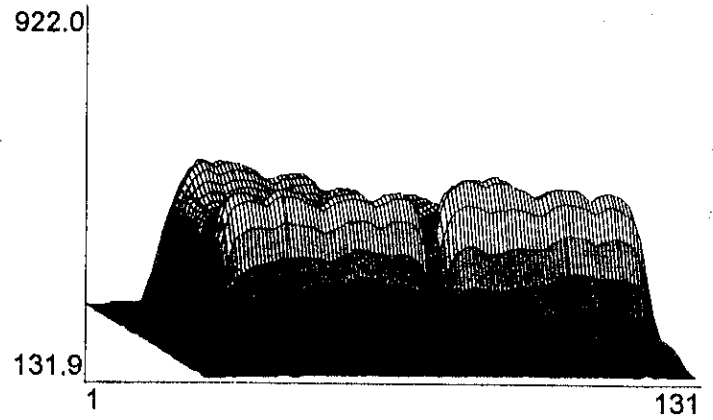
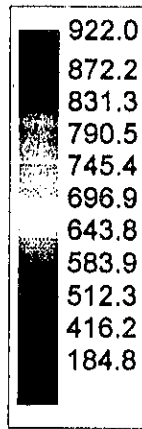
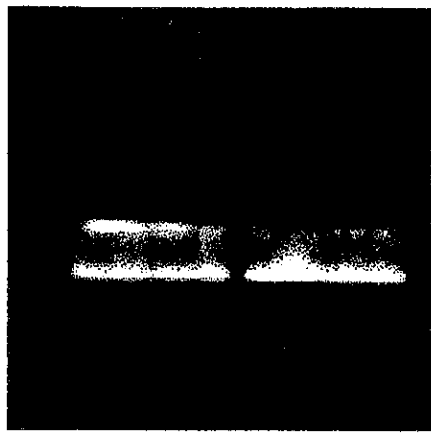


Abb. 3: Thermogramme der Teilstrahler (links) - 50% Leistung

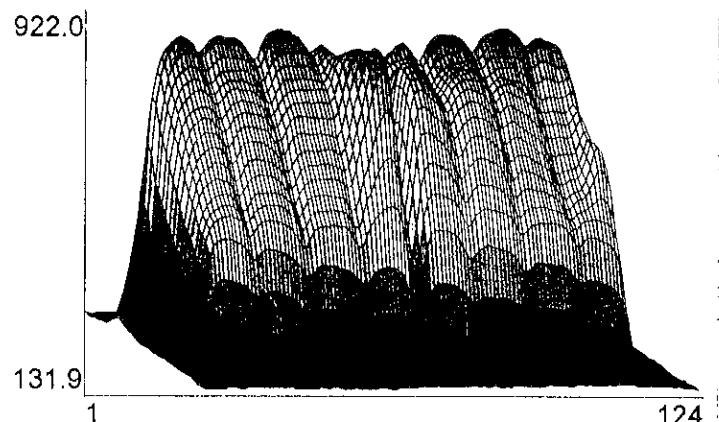
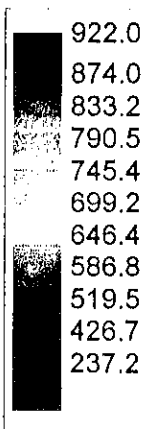
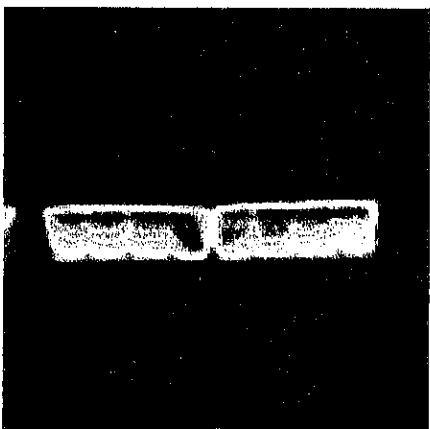
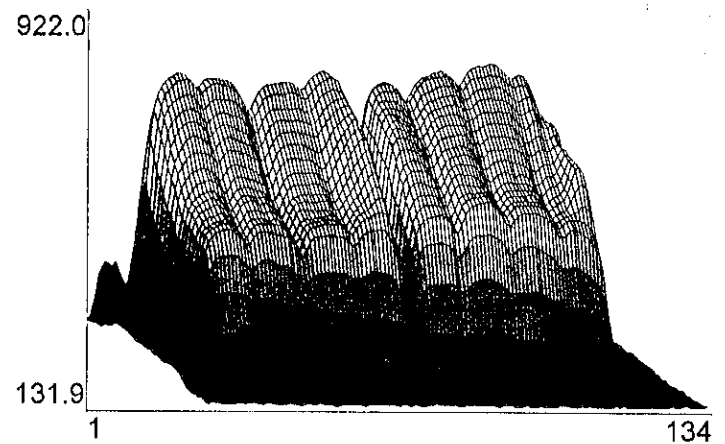
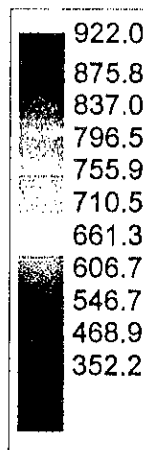
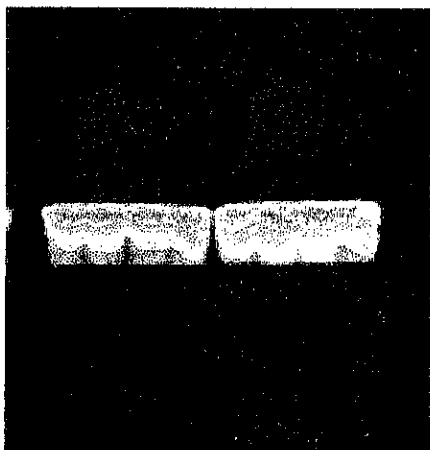
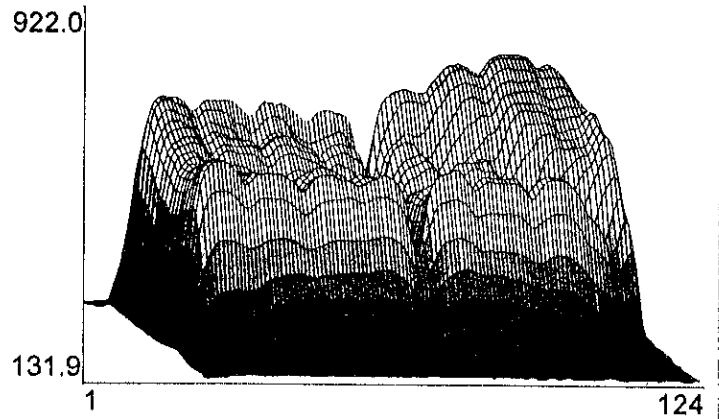
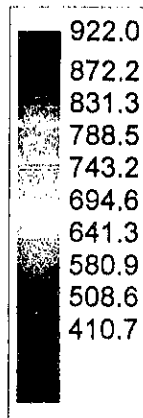
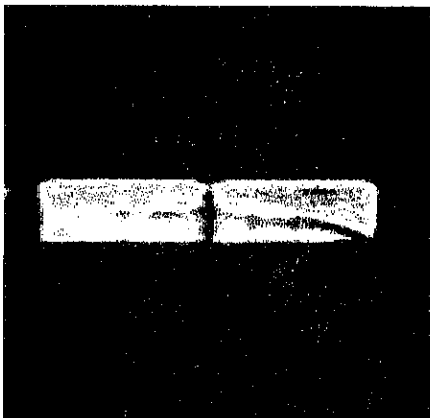
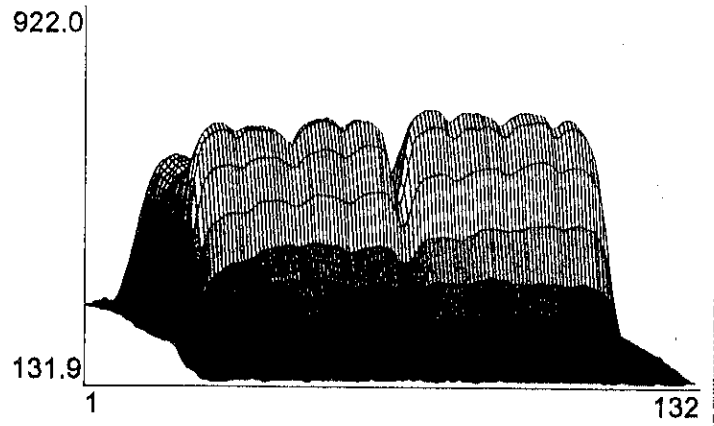
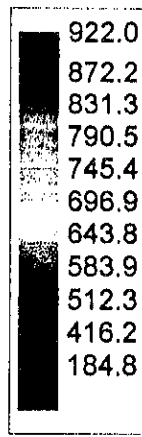
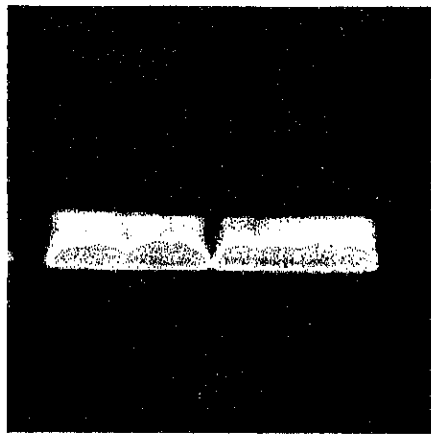


Abb. 4: Thermogramme der Teilstrahler (rechts) - 50% Leistung

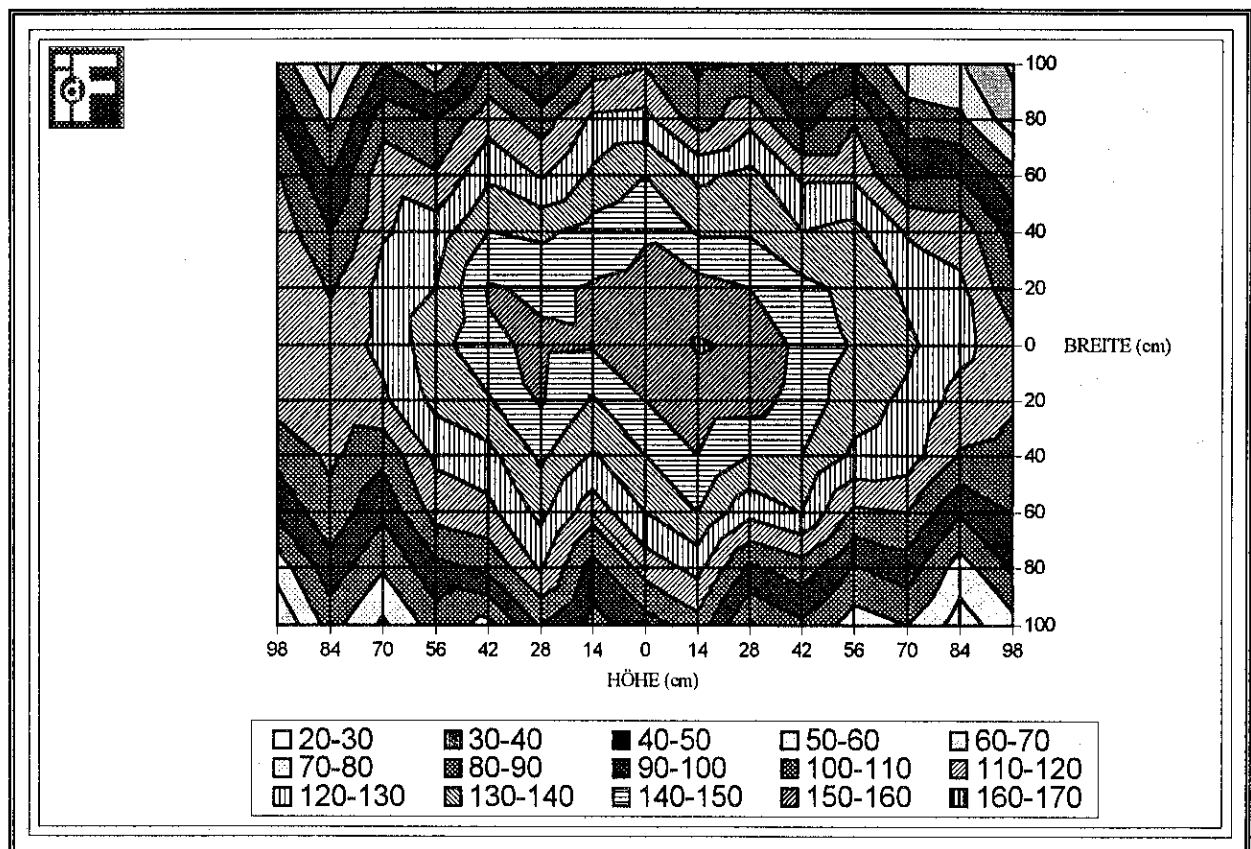
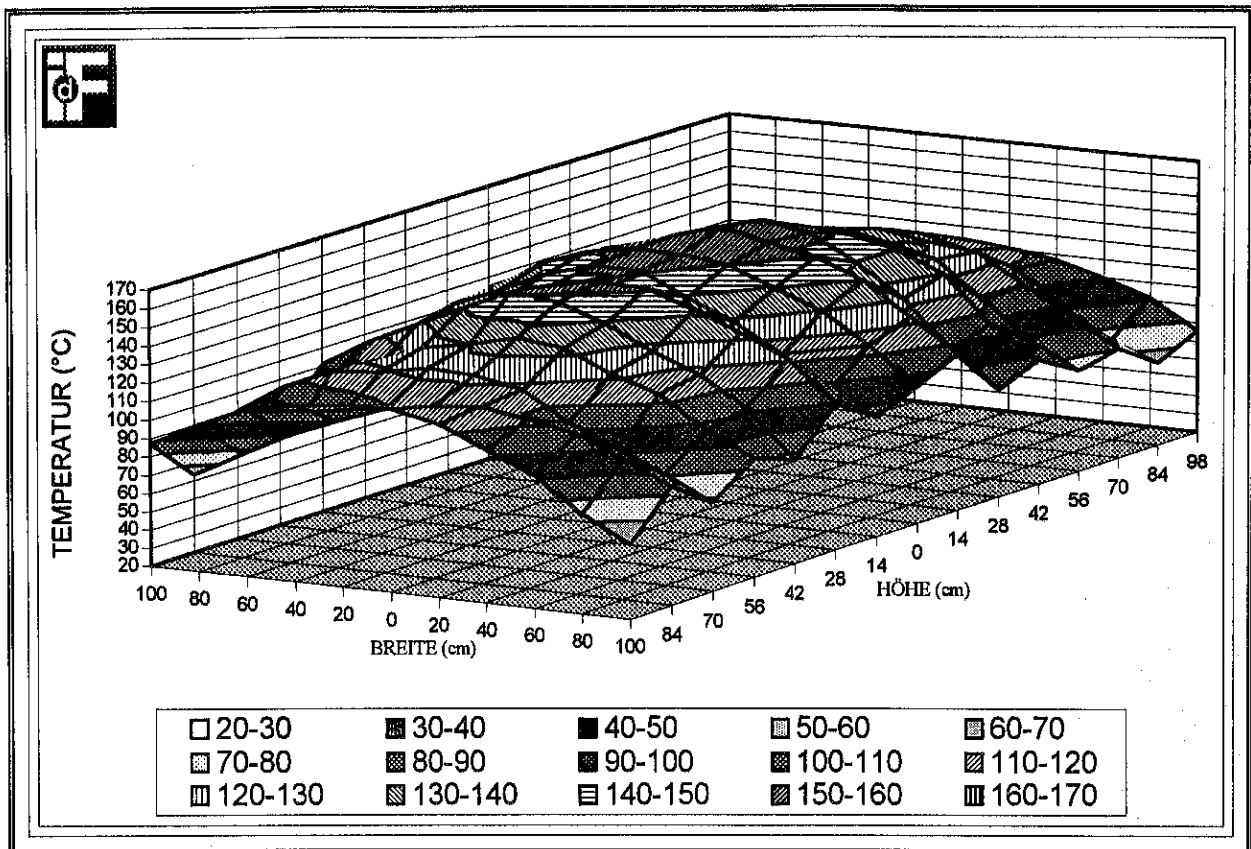


Abb. 1: Temperaturen (mit Strahlungseinfluß) im Abstand von 80 cm von der Strahlerwandoberfläche bei 100% Leistung

ANLAGE 6

Meßwerte der Temperaturen (mit Strahlungseinfluß) in °C im Abstand von 80 cm von der Strahlerwandoberfläche bei 100% Leistung

y - Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	76	91	100	107	111	113	103	96	84	64	58
84	65	75	91	109	116	123	122	116	100	82	71
70	80	95	110	125	128	132	128	119	99	85	72
56	75	89	108	128	134	139	137	133	118	109	90
42	88	105	130	140	146	147	143	130	118	96	84
28	79	98	123	140	154	158	150	139	133	117	100
14	106	123	140	150	155	161	154	139	128	105	98
0	95	114	130	140	150	153	153	149	140	123	109
14	86	96	114	129	139	151	151	144	132	122	105
28	100	121	133	142	151	152	148	138	119	105	84
42	77	102	117	127	139	148	151	140	128	116	101
56	85	97	114	122	133	136	130	125	111	100	75
70	68	81	92	103	118	123	124	119	117	106	90
84	84	96	107	112	116	114	109	100	90	77	63
98	60	74	92	103	114	119	119	116	111	100	87

Abb. 1a

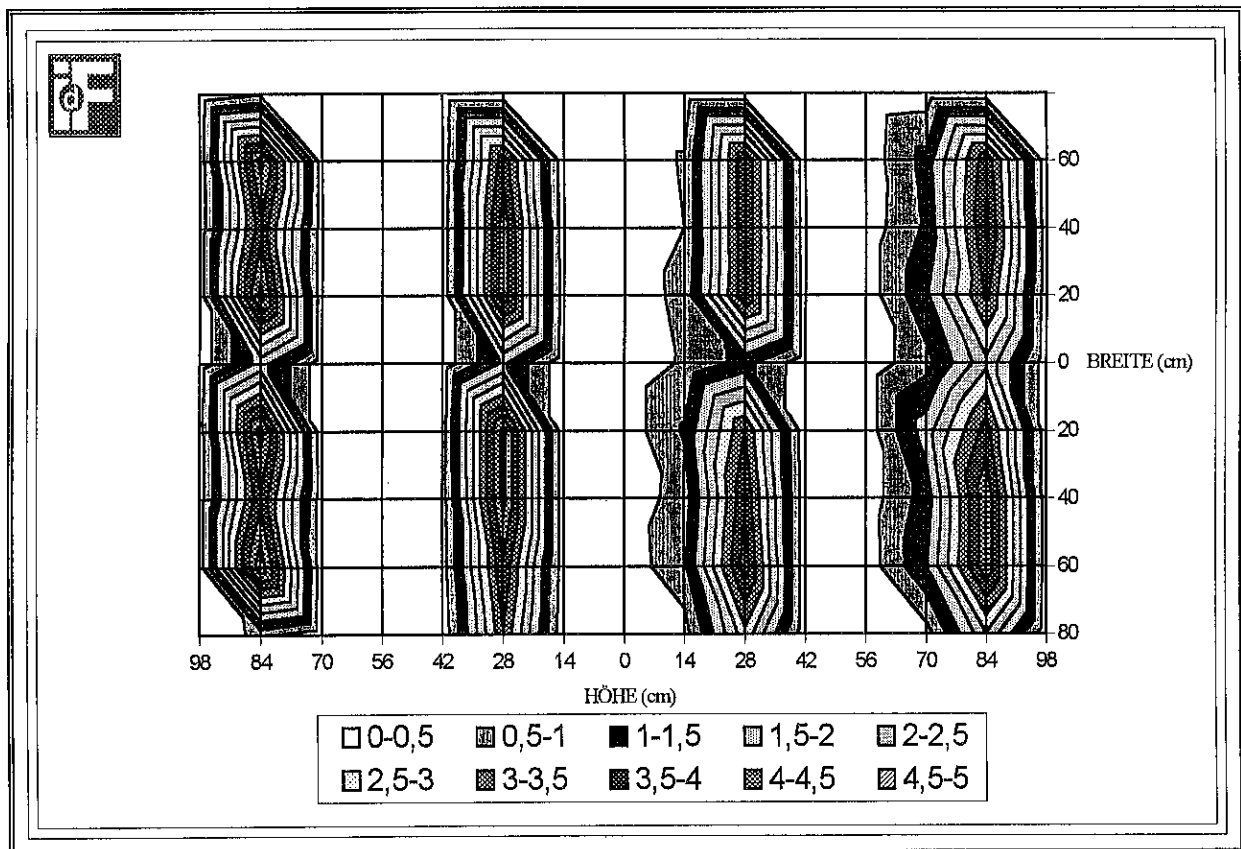
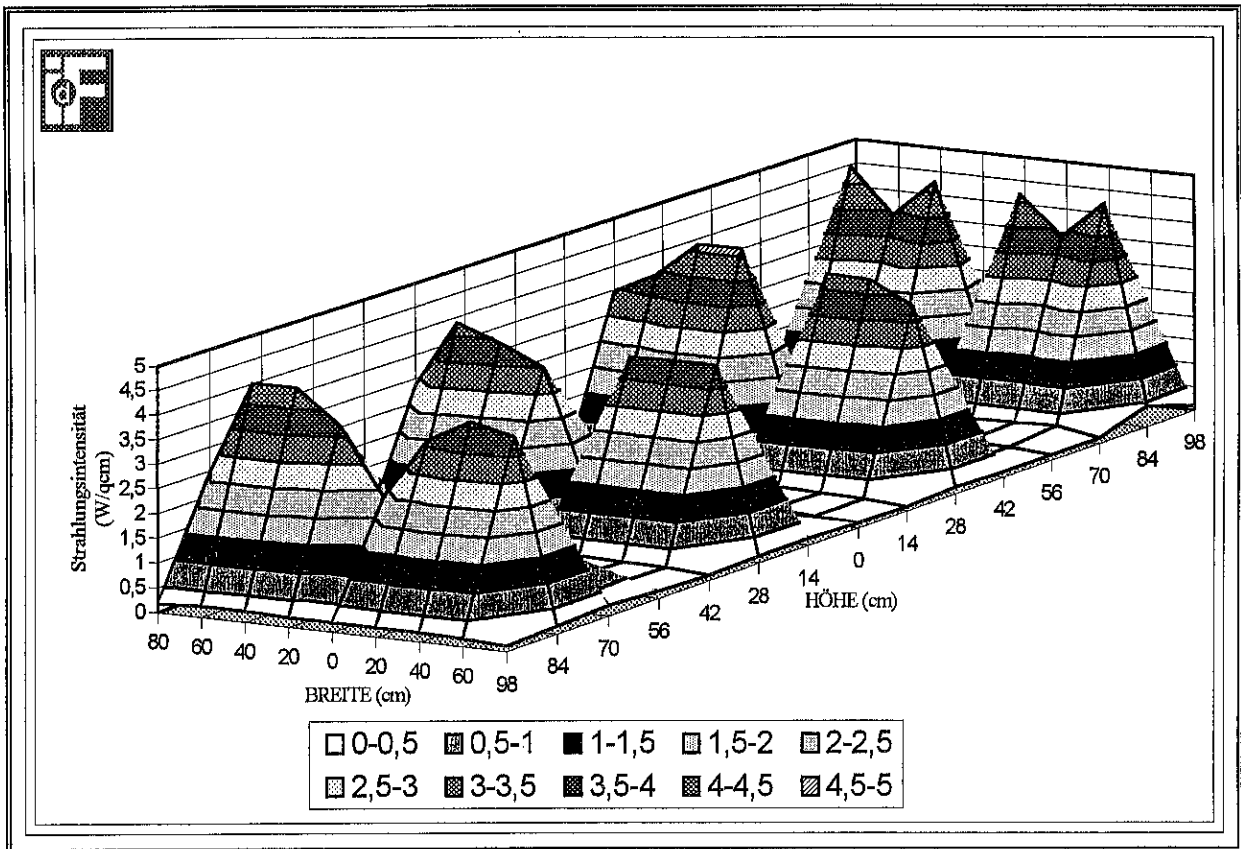


Abb. 1: Strahlungsintensitätsverteilung auf der Strahlerwandoberfläche bei 100% Leistung

Meßwerte zur Strahlungsintensitätsverteilung ($\cdot \text{cm}^{-2}$) auf der Strahlerwandoberfläche bei 100% Leistung

y - Achse (cm)	x-Achse (cm)									
	80	60	40	20	0	20	40	60	80	
98	0,1064	0,1862	0,1862	0,2128	0,2128	0,2394	0,2128	0,2128	0,2128	0,133
84	0,4256	4,655	3,857	4,655	1,7024	4,7082	3,9102	4,8412	0,6118	
70	0,1064	0,266	0,2394	0,2128	0,2128	0,2128	0,2394	0,2128	0,133	
56	0,1064	0,1596	0,1862	0,1596	0,1862	0,1862	0,1862	0,1596	0,133	
42	0,1064	0,1862	0,2128	0,2128	0,2128	0,3192	0,2926	0,2926	0,133	
28	0,133	3,8304	4,2826	4,3092	1,596	4,655	4,655	3,9102	3,458	
14	0,0798	0,133	0,1596	0,1862	0,1596	0,1596	0,1596	0,1596	0,1064	
0	0,1064	0,133	0,1862	0,1596	0,1862	0,1862	0,2128	0,1596	0,133	
14	0,133	0,5586	0,5054	0,665	0,5586	1,064	0,6916	0,9044	0,2394	
28	0,133	3,9634	3,9634	3,9368	1,1704	3,5112	3,9368	4,256	2,8462	
42	0,1064	0,1596	0,1596	0,1862	0,1862	0,1596	0,1862	0,1596	0,1064	
56	0,133	0,1862	0,2128	0,2128	0,2128	0,2128	0,2128	0,1862	0,133	
70	0,2128	1,197	1,0906	1,4364	0,8246	1,7556	1,2236	1,463	0,2926	
84	0,1596	3,8836	4,0964	3,6176	2,3674	3,724	4,389	4,389	2,4472	
98	0,1064	0,1596	0,1862	0,1862	0,1862	0,1862	0,2128	0,2128	0,1596	

Abb. 1a

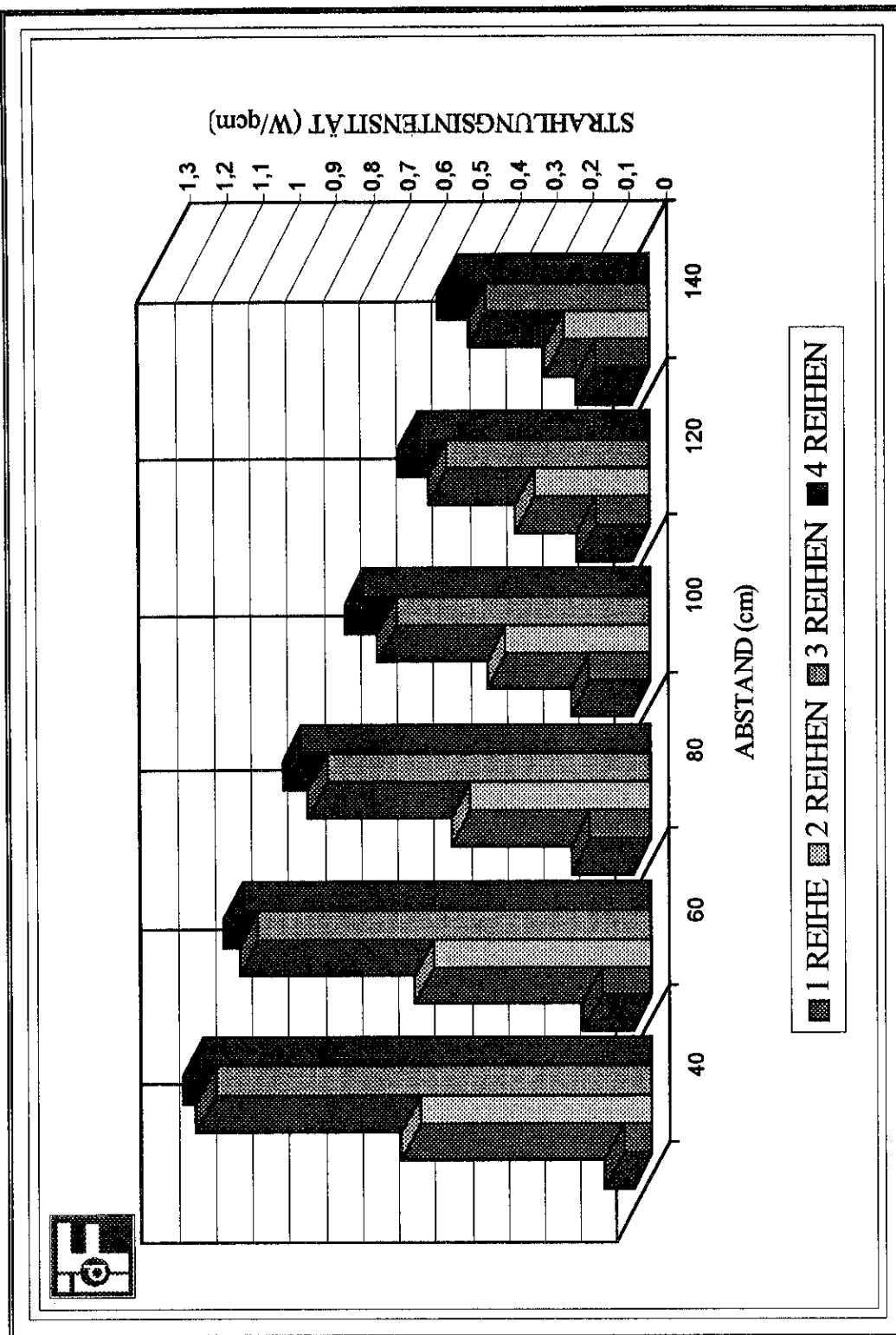


Abb. 1: Wärmestrahlungsintensität im Zentrum der Strahlerwand in Abhängigkeit von der Anzahl der in Betrieb genommenen Strahlerreihen

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität ($W \cdot cm^{-2}$) im Zentrum der Strahlerwand in Abhängigkeit von der Anzahl der in Betrieb genommenen Strahlerreihen und dem Abstand zur Strahlerwandoberfläche

Abstand (cm)	1 REIHE	2 REIHEN	3 REIHEN	4 REIHEN
40	0,08	0,64	1,2	1,23
60	0,14	0,6	1,08	1,12
80	0,17	0,5	0,89	0,96
100	0,17	0,4	0,7	0,79
120	0,15	0,32	0,56	0,64
140	0,15	0,24	0,45	0,53

Abb. 1a

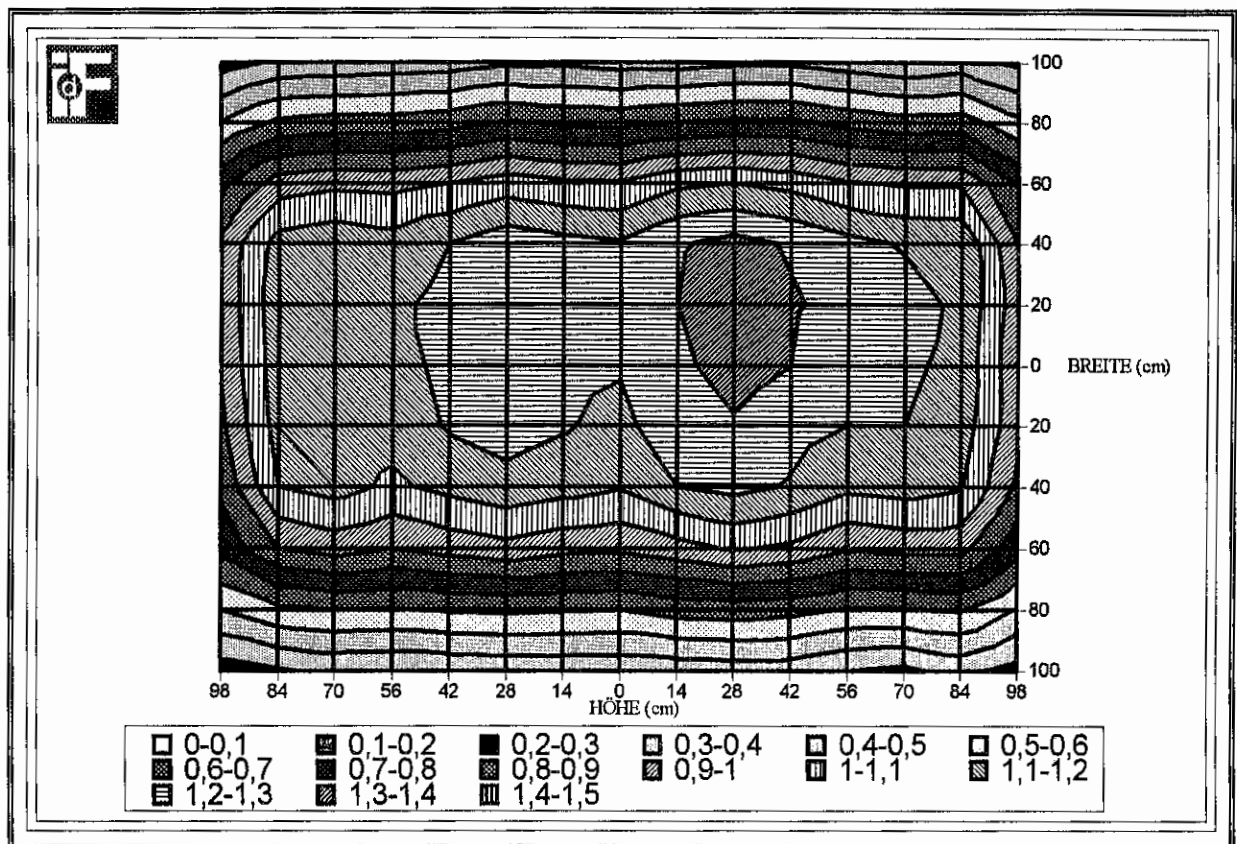
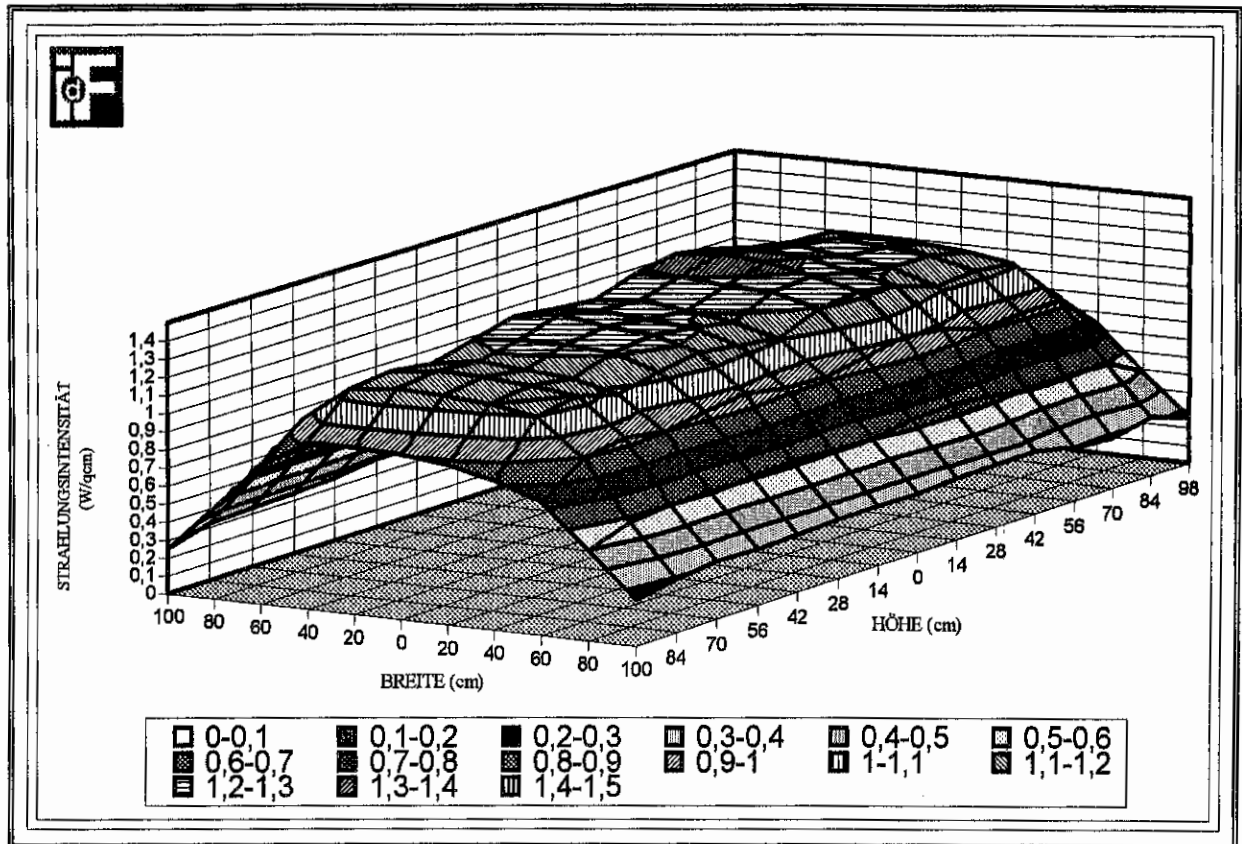


Abb. 1: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 40 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100% Leistung

ANLAGE 9

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 40 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100% Leistung

y - Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,26	0,49	0,73	0,88	0,93	0,92	0,94	0,9	0,79	0,53	0,28
84	0,33	0,61	0,93	1,11	1,15	1,17	1,18	1,18	0,99	0,65	0,35
70	0,28	0,59	0,93	1,14	1,2	1,22	1,24	1,19	0,99	0,64	0,32
56	0,3	0,59	0,91	1,12	1,2	1,23	1,27	1,23	1,01	0,67	0,35
42	0,35	0,63	0,98	1,19	1,24	1,3	1,31	1,29	1,07	0,72	0,38
28	0,35	0,65	1,01	1,23	1,29	1,34	1,36	1,33	1,1	0,72	0,38
14	0,34	0,64	0,96	1,2	1,27	1,28	1,3	1,29	1,08	0,7	0,36
0	0,33	0,6	0,92	1,11	1,17	1,21	1,24	1,21	1,01	0,67	0,36
14	0,33	0,61	0,93	1,14	1,21	1,23	1,25	1,23	1,02	0,68	0,38
28	0,33	0,62	0,97	1,17	1,24	1,26	1,3	1,26	1,05	0,71	0,38
42	0,32	0,61	0,94	1,13	1,21	1,23	1,23	1,2	1	0,66	0,35
56	0,31	0,59	0,9	1,08	1,14	1,16	1,18	1,14	0,97	0,64	0,34
70	0,32	0,6	0,94	1,14	1,17	1,19	1,2	1,17	0,98	0,64	0,33
84	0,29	0,58	0,9	1,1	1,14	1,16	1,17	1,14	0,95	0,62	0,32
98	0,25	0,5	0,73	0,82	0,88	0,91	0,92	0,92	0,77	0,51	0,25

Abb. 1a

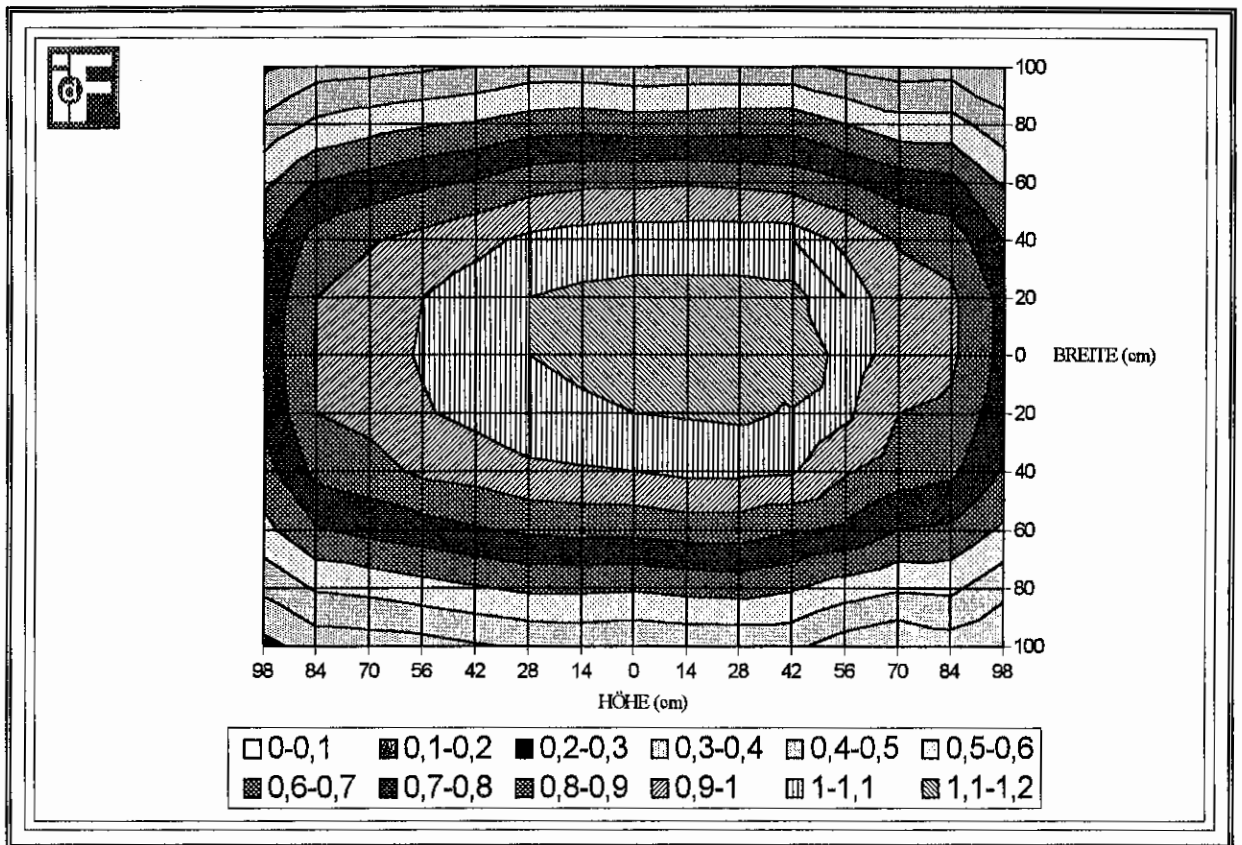
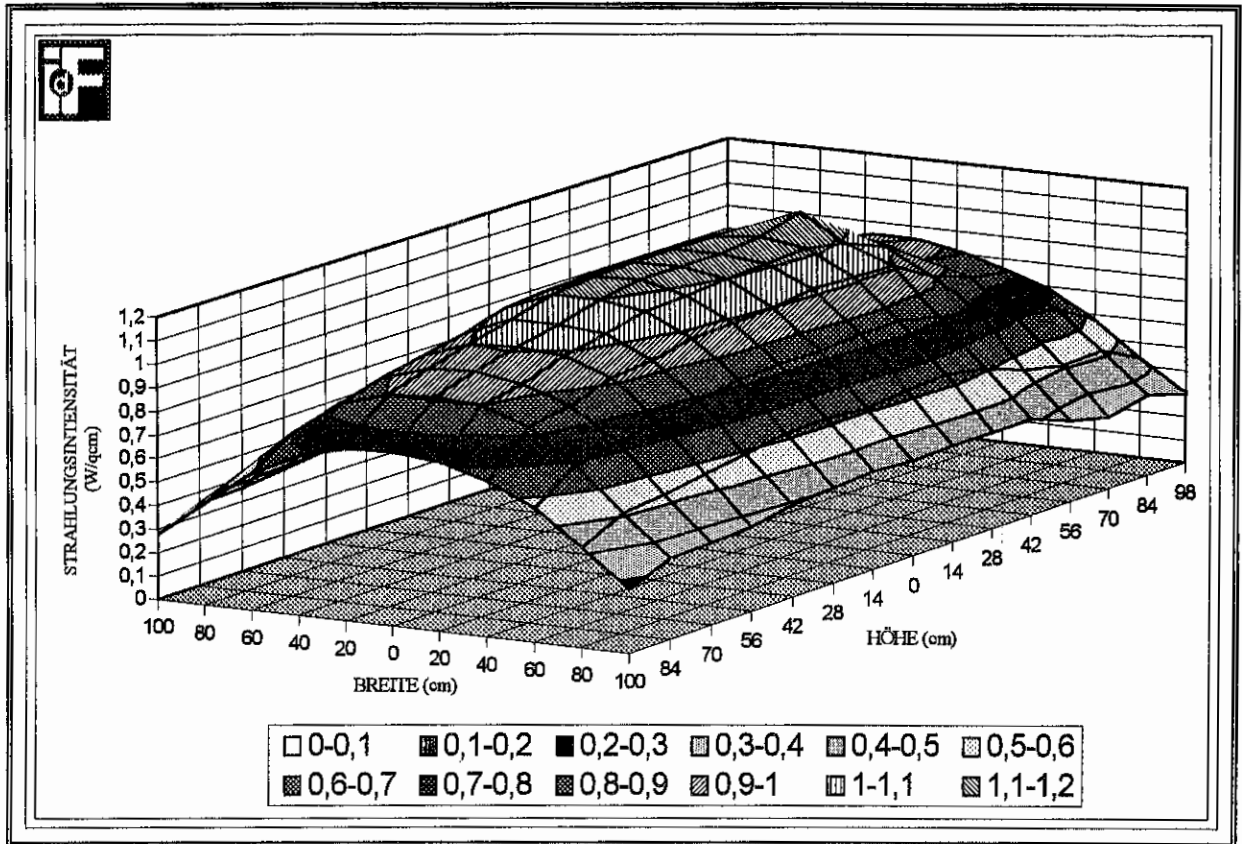


Abb. 2: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 60 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100% Leistung

ANLAGE 9

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 60 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100% Leistung

y-Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,3	0,43	0,58	0,69	0,74	0,77	0,77	0,7	0,59	0,44	0,3
84	0,35	0,52	0,68	0,82	0,88	0,92	0,92	0,85	0,73	0,54	0,36
70	0,31	0,51	0,7	0,85	0,9	0,96	0,95	0,89	0,75	0,54	0,35
56	0,35	0,55	0,78	0,91	1,02	1,05	1,05	0,98	0,81	0,6	0,38
42	0,42	0,61	0,81	1,01	1,09	1,2	1,12	1,05	0,86	0,66	0,43
28	0,42	0,64	0,85	1,02	1,12	1,15	1,13	1,05	0,88	0,66	0,43
14	0,42	0,63	0,85	1,02	1,11	1,13	1,13	1,05	0,89	0,65	0,43
0	0,41	0,61	0,83	1	1,1	1,13	1,13	1,05	0,88	0,65	0,42
14	0,42	0,62	0,83	0,99	1,08	1,13	1,12	1,04	0,88	0,66	0,44
28	0,41	0,62	0,82	0,98	1,07	1,1	1,1	1,02	0,86	0,65	0,44
42	0,39	0,59	0,79	0,94	1,03	1,05	1,05	0,97	0,81	0,61	0,4
56	0,36	0,56	0,76	0,92	0,99	1,01	1	0,93	0,78	0,59	0,38
70	0,35	0,53	0,73	0,86	0,93	0,96	0,95	0,89	0,74	0,56	0,36
84	0,34	0,51	0,69	0,83	0,9	0,91	0,9	0,84	0,7	0,52	0,35
98	0,27	0,42	0,57	0,66	0,72	0,74	0,73	0,68	0,58	0,43	0,28

Abb. 2a

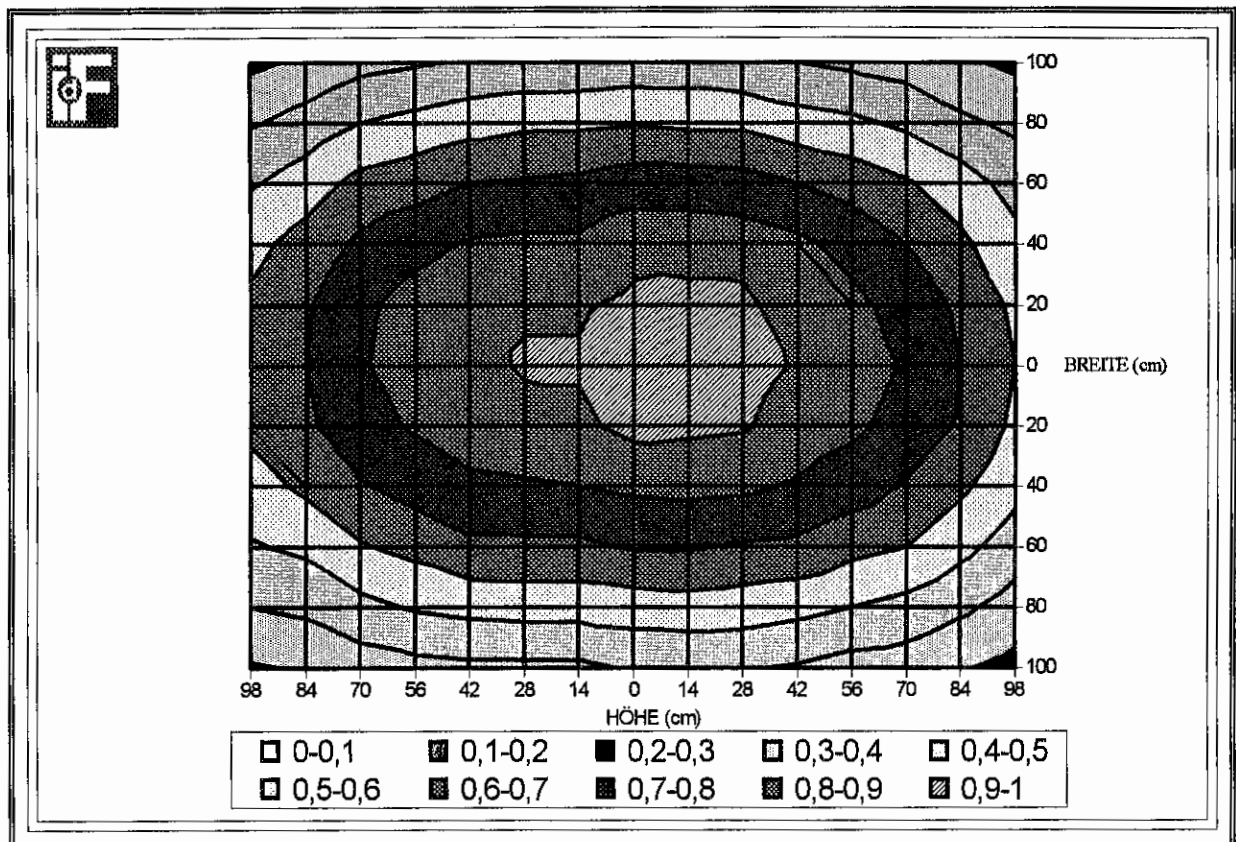
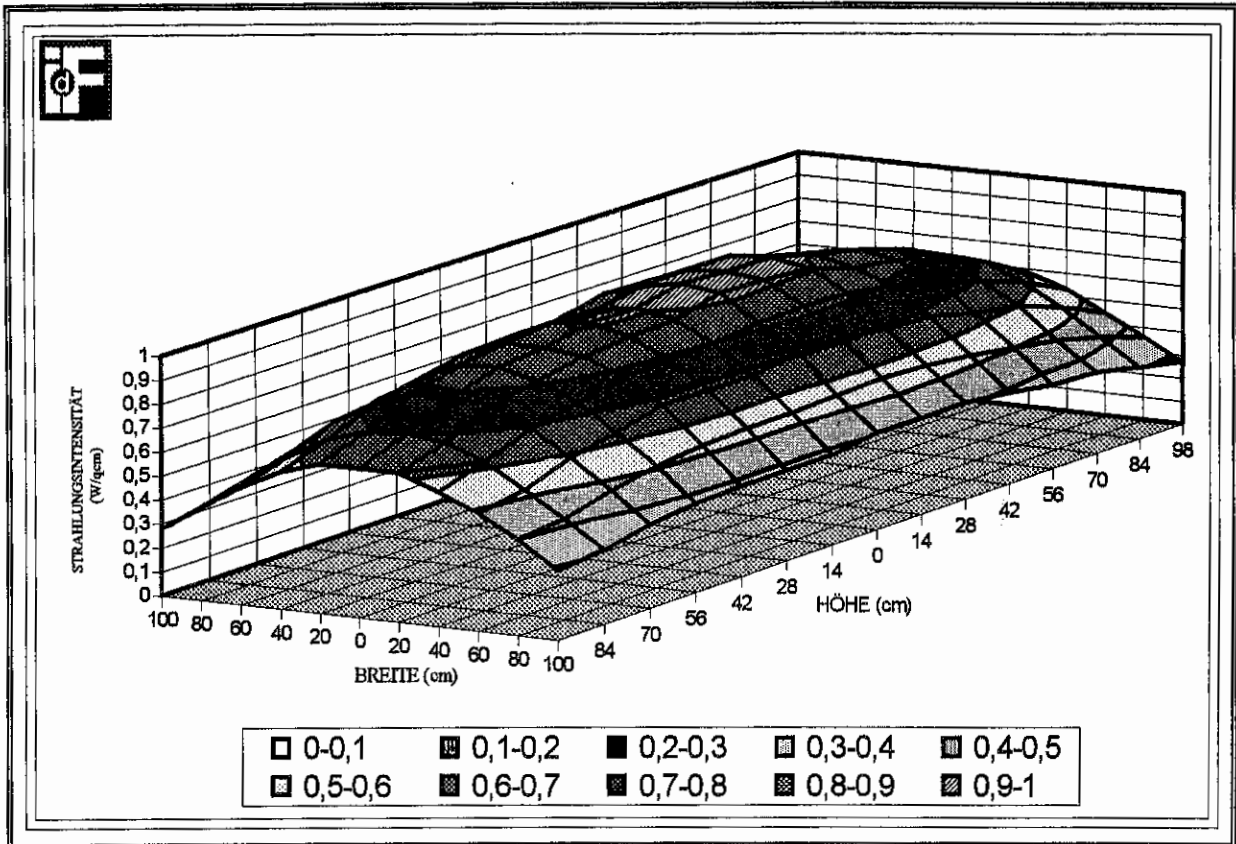


Abb. 3: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 80 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100% Leistung

ANLAGE 9

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 80 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100% Leistung

y-Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,27	0,36	0,45	0,53	0,58	0,6	0,58	0,53	0,46	0,38	0,28
84	0,31	0,42	0,53	0,62	0,69	0,7	0,68	0,62	0,55	0,42	0,32
70	0,35	0,47	0,6	0,69	0,76	0,79	0,77	0,7	0,61	0,48	0,36
56	0,36	0,5	0,63	0,75	0,82	0,85	0,82	0,77	0,66	0,52	0,38
42	0,39	0,53	0,68	0,79	0,85	0,89	0,83	0,82	0,7	0,54	0,4
28	0,41	0,55	0,69	0,82	0,91	0,94	0,93	0,85	0,74	0,58	0,42
14	0,41	0,56	0,71	0,83	0,92	0,94	0,93	0,86	0,75	0,58	0,44
0	0,41	0,55	0,71	0,82	0,93	0,95	0,92	0,87	0,75	0,59	0,44
14	0,38	0,54	0,68	0,8	0,88	0,91	0,89	0,82	0,72	0,58	0,43
28	0,38	0,54	0,68	0,79	0,87	0,91	0,89	0,82	0,71	0,58	0,42
42	0,38	0,53	0,68	0,78	0,85	0,87	0,87	0,81	0,7	0,56	0,41
56	0,37	0,51	0,63	0,74	0,81	0,85	0,84	0,77	0,66	0,53	0,39
70	0,35	0,47	0,59	0,69	0,77	0,79	0,78	0,72	0,63	0,5	0,37
84	0,31	0,42	0,52	0,62	0,68	0,7	0,69	0,64	0,55	0,44	0,32
98	0,29	0,4	0,49	0,56	0,62	0,62	0,62	0,57	0,49	0,39	0,28

Abb. 3a

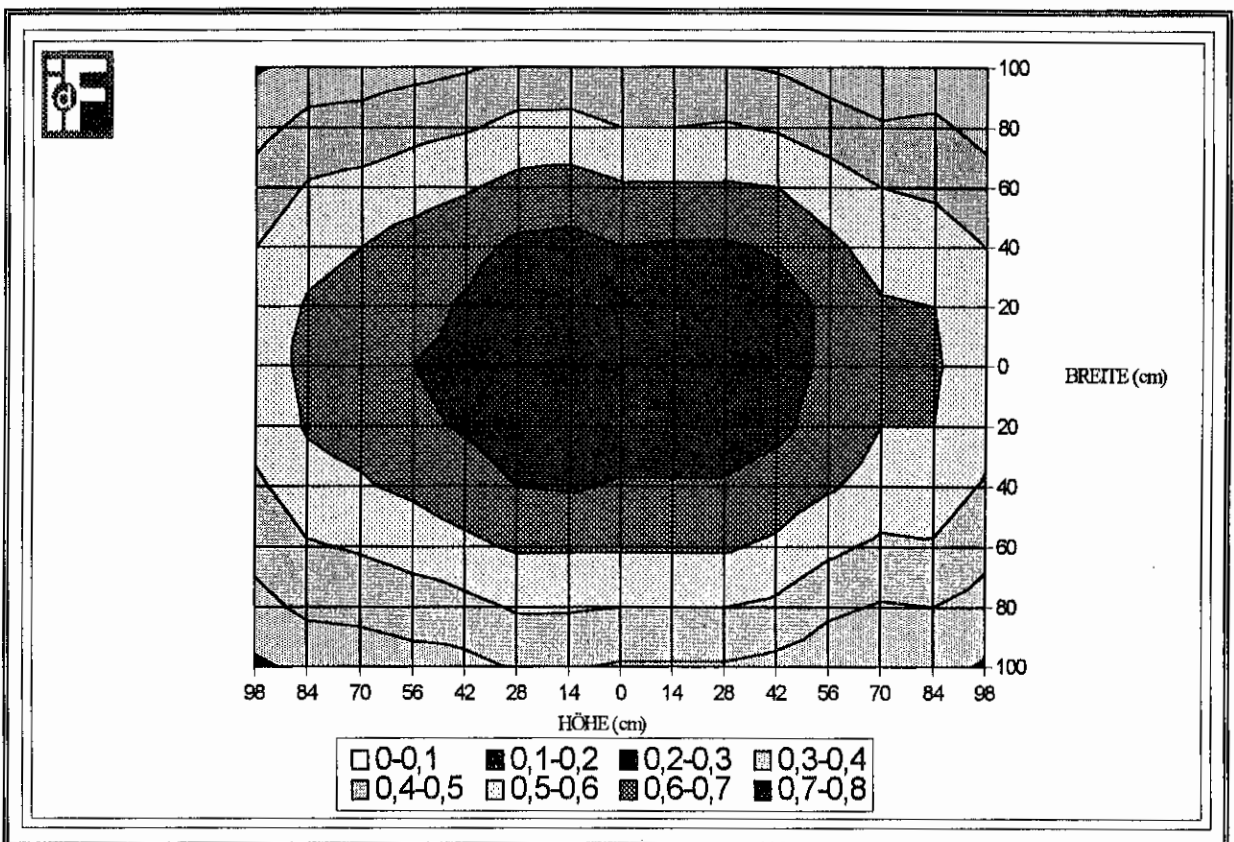
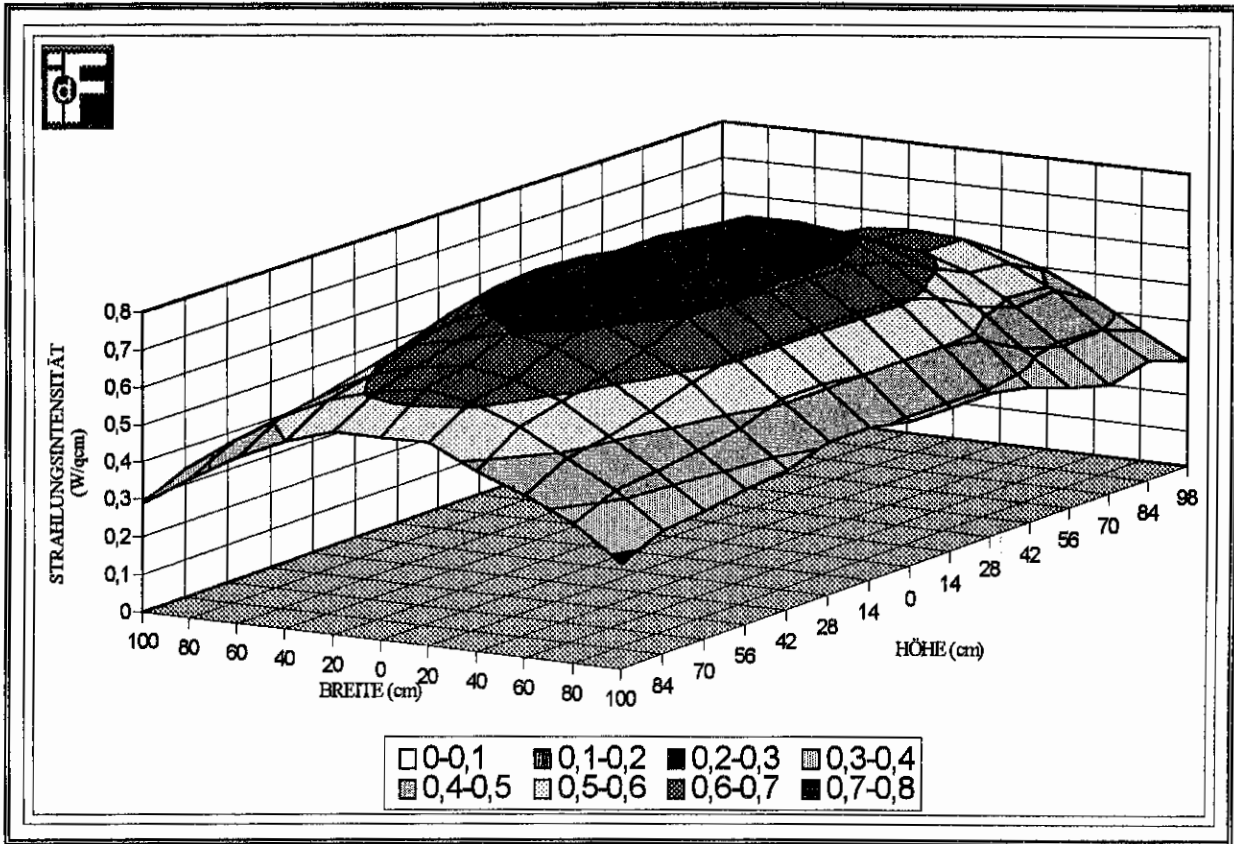


Abb. 4: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 100 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100% Leistung

ANLAGE 9

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 100 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100 % Leistung

y-Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,29	0,36	0,43	0,49	0,53	0,55	0,54	0,5	0,44	0,37	0,31
84	0,33	0,4	0,49	0,55	0,6	0,61	0,6	0,56	0,48	0,42	0,34
70	0,3	0,39	0,48	0,56	0,6	0,62	0,61	0,56	0,5	0,41	0,33
56	0,33	0,42	0,52	0,61	0,66	0,68	0,68	0,62	0,55	0,45	0,35
42	0,37	0,48	0,58	0,66	0,72	0,74	0,74	0,69	0,6	0,49	0,39
28	0,39	0,5	0,61	0,69	0,75	0,77	0,75	0,71	0,61	0,51	0,41
14	0,39	0,5	0,61	0,69	0,76	0,78	0,76	0,71	0,61	0,5	0,4
0	0,39	0,5	0,61	0,69	0,76	0,78	0,76	0,7	0,61	0,5	0,4
14	0,41	0,51	0,61	0,71	0,77	0,79	0,78	0,73	0,64	0,53	0,43
28	0,41	0,51	0,61	0,7	0,75	0,78	0,77	0,72	0,63	0,53	0,42
42	0,37	0,47	0,58	0,65	0,71	0,73	0,71	0,67	0,59	0,49	0,39
56	0,36	0,45	0,54	0,62	0,68	0,7	0,67	0,64	0,56	0,47	0,37
70	0,34	0,43	0,51	0,59	0,63	0,65	0,64	0,6	0,53	0,44	0,35
84	0,33	0,42	0,49	0,56	0,61	0,63	0,61	0,57	0,51	0,43	0,34
98	0,28	0,37	0,43	0,48	0,54	0,54	0,54	0,5	0,44	0,37	0,29

Abb. 4a

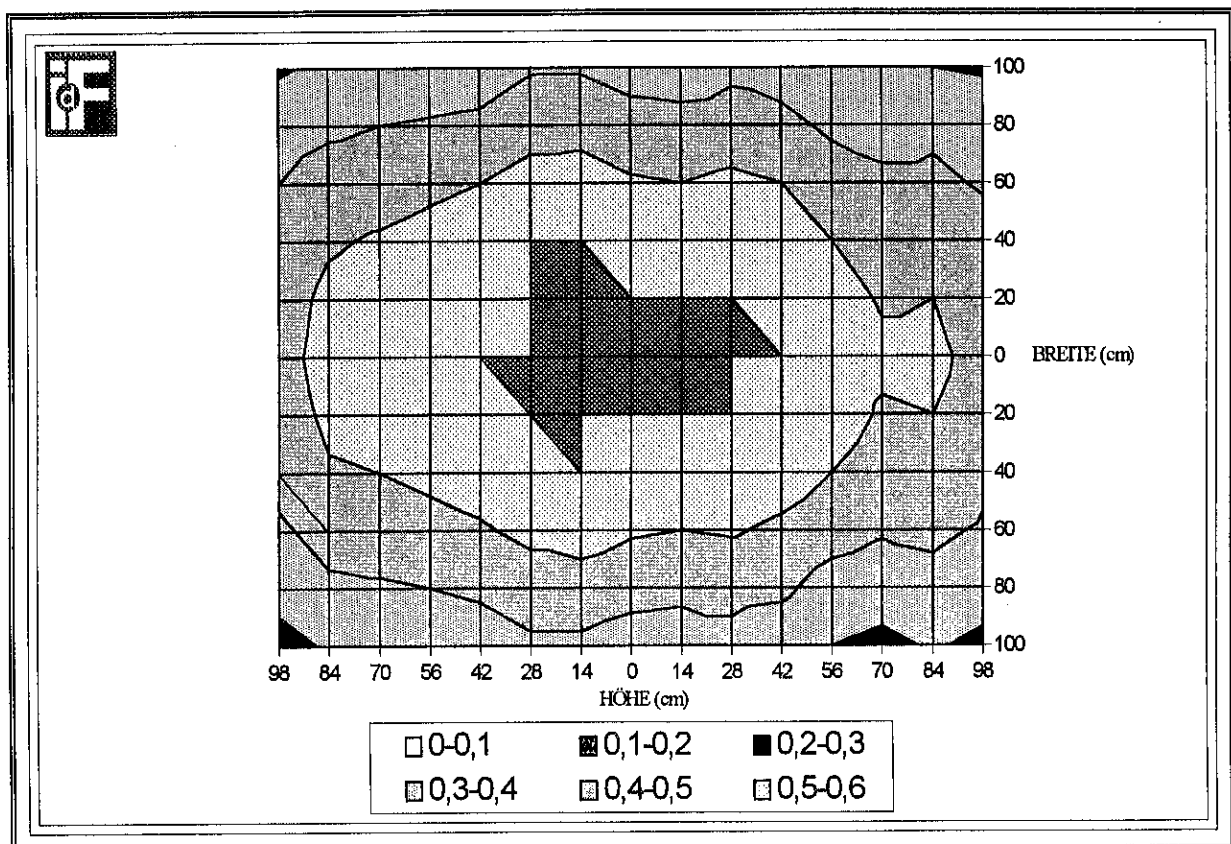
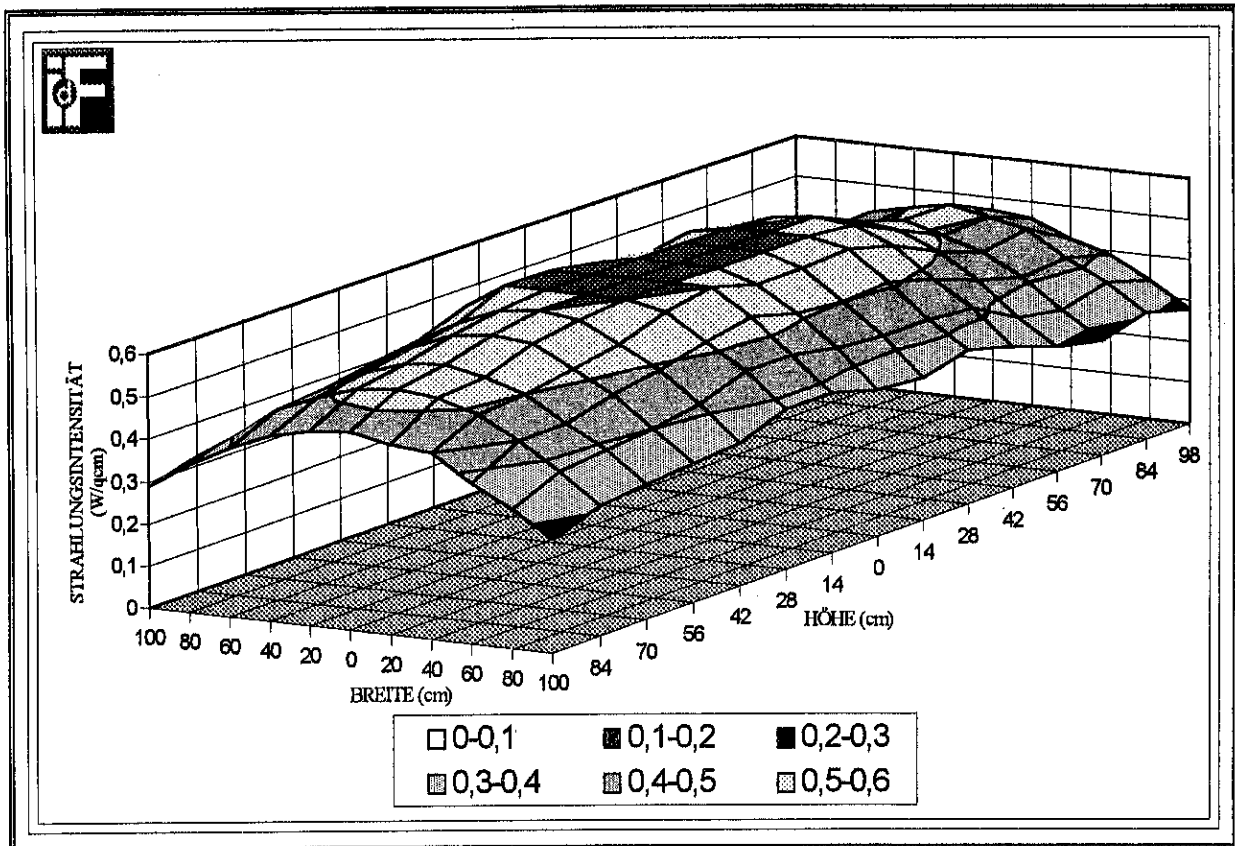


Abb. 5: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 120 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100% Leistung

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 120 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100% Leistung

y-Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,28	0,34	0,39	0,42	0,46	0,47	0,46	0,44	0,39	0,35	0,29
84	0,31	0,37	0,42	0,48	0,5	0,52	0,5	0,48	0,42	0,38	0,3
70	0,28	0,34	0,41	0,46	0,49	0,52	0,49	0,47	0,42	0,36	0,3
56	0,3	0,36	0,44	0,5	0,54	0,55	0,54	0,5	0,45	0,38	0,31
42	0,34	0,42	0,48	0,55	0,59	0,61	0,59	0,56	0,5	0,43	0,35
28	0,37	0,43	0,51	0,58	0,61	0,63	0,61	0,58	0,52	0,44	0,38
14	0,34	0,43	0,5	0,57	0,61	0,63	0,61	0,56	0,5	0,43	0,35
0	0,35	0,44	0,51	0,57	0,62	0,64	0,62	0,58	0,51	0,44	0,36
14	0,38	0,46	0,54	0,6	0,65	0,65	0,65	0,6	0,54	0,47	0,39
28	0,38	0,46	0,52	0,58	0,65	0,64	0,65	0,6	0,54	0,46	0,39
42	0,34	0,42	0,49	0,54	0,59	0,6	0,59	0,55	0,5	0,42	0,35
56	0,33	0,4	0,47	0,52	0,57	0,58	0,57	0,53	0,48	0,41	0,34
70	0,32	0,39	0,44	0,5	0,53	0,55	0,54	0,51	0,46	0,4	0,33
84	0,31	0,38	0,44	0,49	0,52	0,53	0,52	0,49	0,45	0,38	0,32
98	0,27	0,33	0,38	0,44	0,45	0,47	0,46	0,44	0,4	0,35	0,29

Abb. 5a

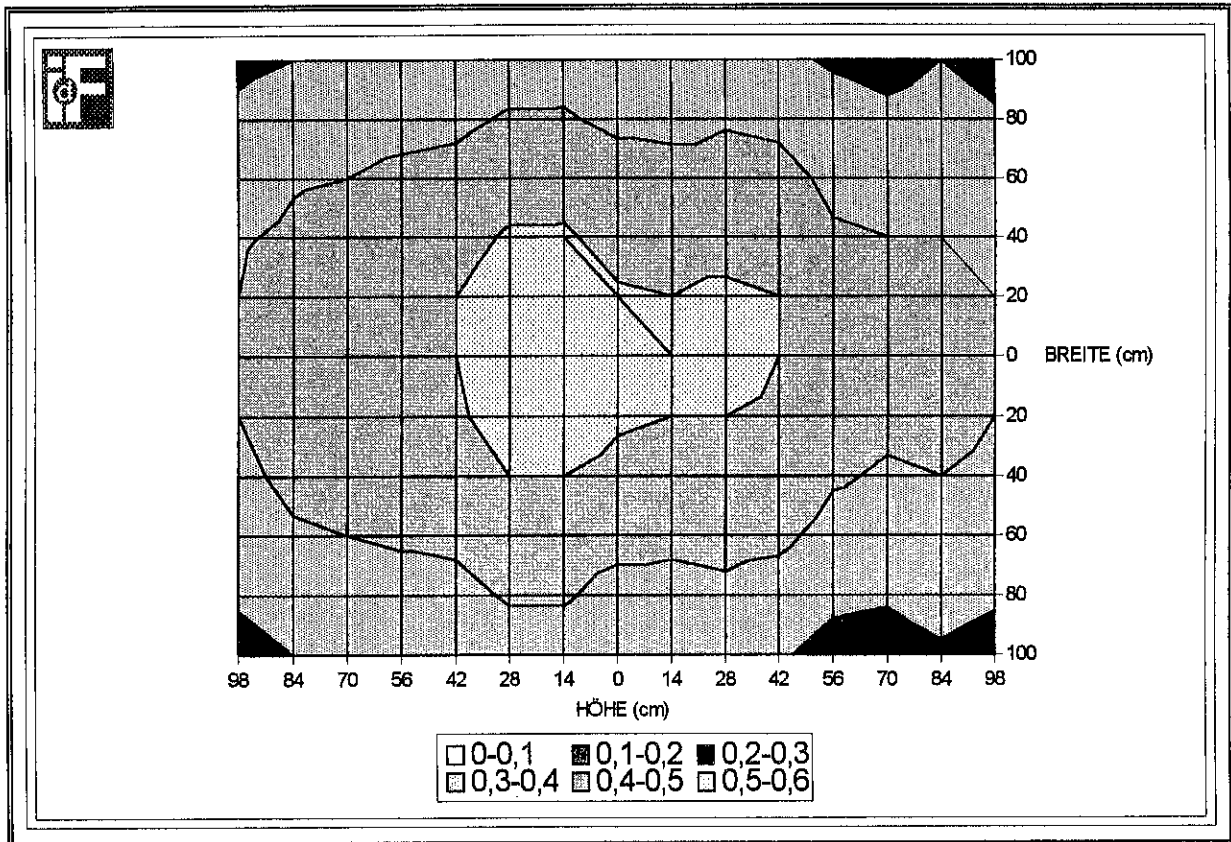
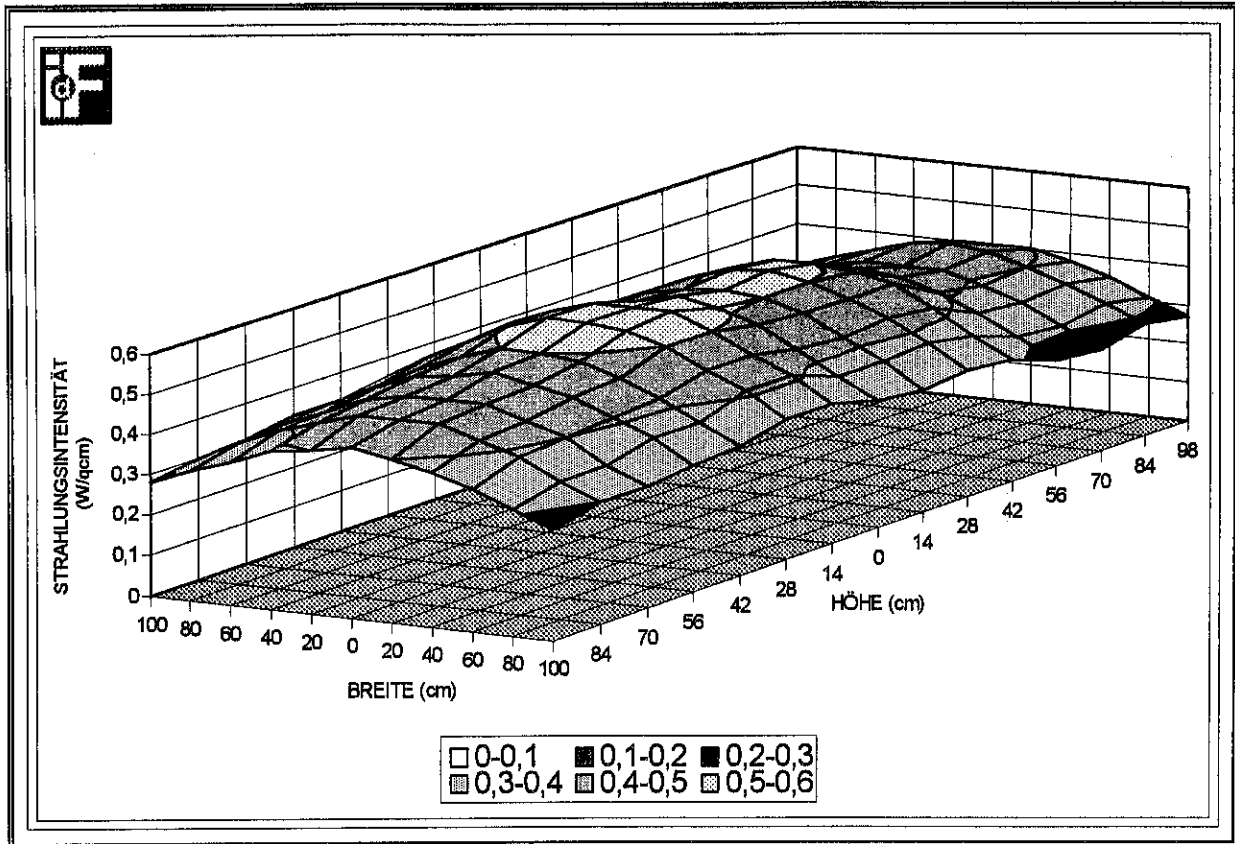


Abb. 6: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 140 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 100% Leistung

ANLAGE 9

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 140 cm von der Strahlerwandoberfläche - 100% Leistung

y-Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,27	0,31	0,35	0,38	0,4	0,4	0,4	0,38	0,35	0,31	0,27
84	0,29	0,33	0,37	0,4	0,43	0,44	0,43	0,4	0,37	0,34	0,3
70	0,26	0,31	0,36	0,39	0,42	0,42	0,42	0,4	0,36	0,32	0,27
56	0,27	0,32	0,37	0,41	0,44	0,45	0,44	0,41	0,38	0,34	0,29
42	0,31	0,36	0,42	0,47	0,49	0,5	0,5	0,47	0,43	0,38	0,32
28	0,32	0,38	0,43	0,47	0,5	0,52	0,51	0,48	0,44	0,39	0,35
14	0,31	0,37	0,42	0,47	0,5	0,51	0,5	0,48	0,44	0,37	0,31
0	0,32	0,37	0,43	0,48	0,51	0,53	0,51	0,47	0,44	0,38	0,33
14	0,35	0,41	0,45	0,5	0,54	0,54	0,54	0,51	0,47	0,41	0,36
28	0,35	0,41	0,45	0,5	0,53	0,54	0,54	0,51	0,46	0,41	0,35
42	0,32	0,37	0,42	0,46	0,49	0,5	0,5	0,47	0,43	0,38	0,33
56	0,31	0,37	0,41	0,45	0,47	0,49	0,47	0,46	0,42	0,37	0,33
70	0,3	0,34	0,4	0,43	0,46	0,46	0,46	0,44	0,4	0,36	0,31
84	0,3	0,34	0,39	0,42	0,45	0,45	0,45	0,42	0,39	0,35	0,3
98	0,27	0,31	0,35	0,38	0,4	0,42	0,4	0,39	0,35	0,32	0,28

Abb. 6a

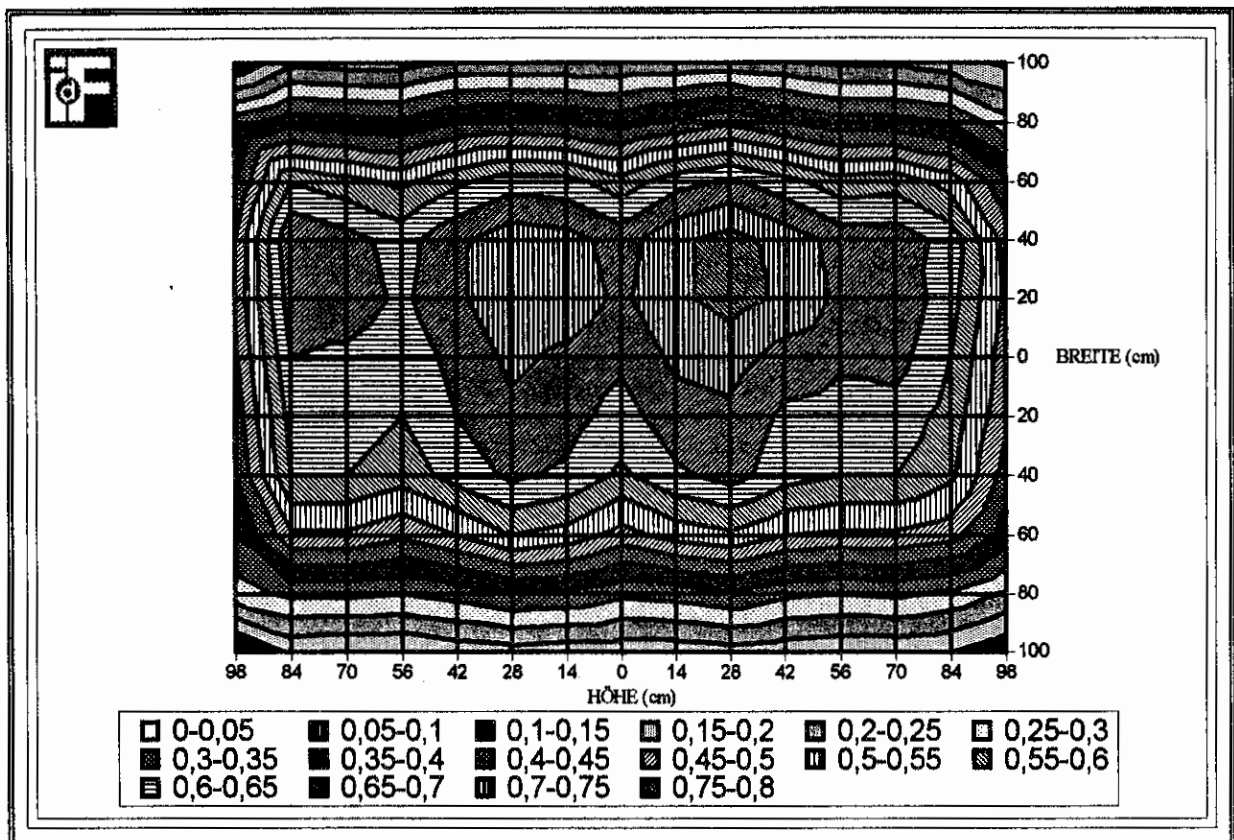
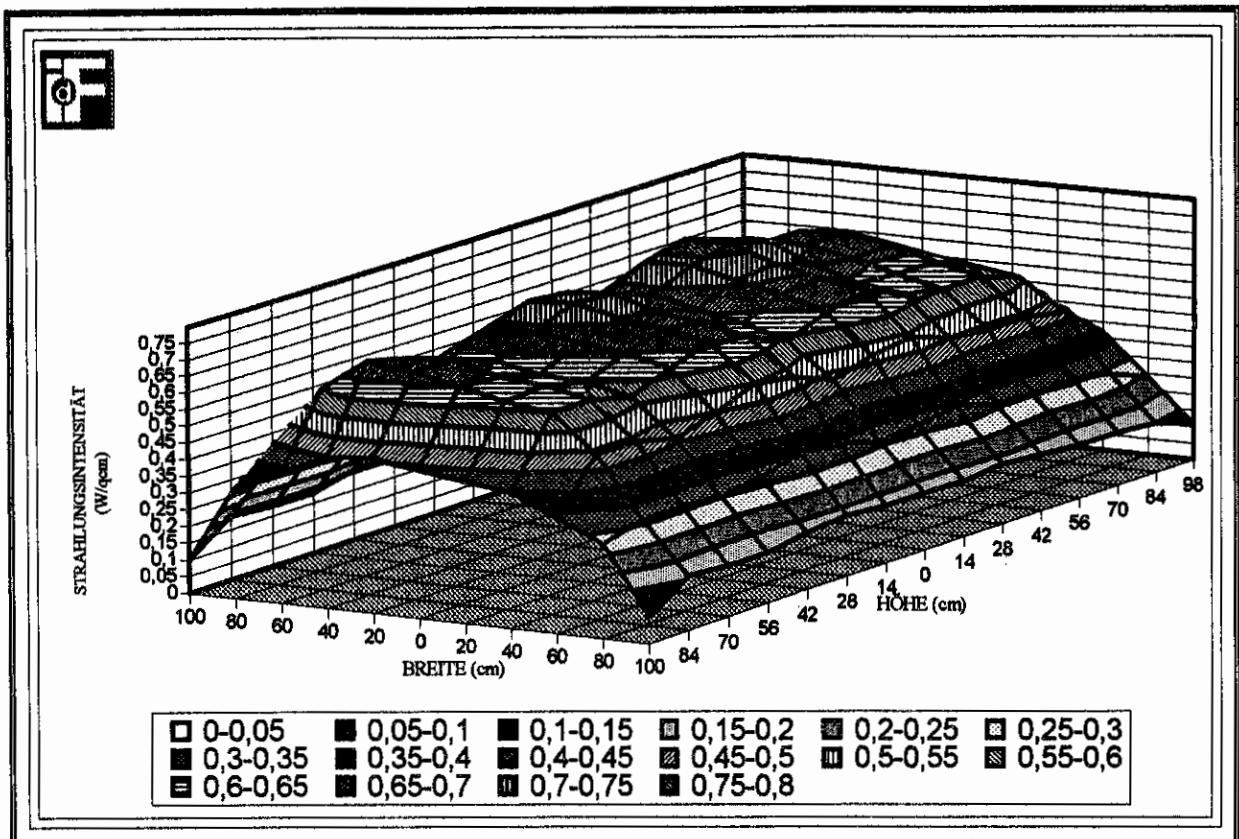


Abb. 7: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 40 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

ANLAGE 9

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 40 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

y - Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,11	0,24	0,37	0,43	0,46	0,47	0,49	0,48	0,41	0,27	0,14
84	0,15	0,29	0,47	0,56	0,58	0,6	0,62	0,63	0,53	0,35	0,17
70	0,16	0,31	0,49	0,6	0,63	0,67	0,69	0,68	0,58	0,37	0,19
56	0,16	0,3	0,49	0,6	0,63	0,66	0,69	0,68	0,57	0,37	0,19
42	0,17	0,31	0,5	0,62	0,64	0,68	0,74	0,73	0,62	0,4	0,21
28	0,18	0,34	0,54	0,67	0,69	0,72	0,77	0,77	0,66	0,44	0,22
14	0,17	0,32	0,52	0,64	0,68	0,71	0,74	0,74	0,63	0,41	0,21
0	0,17	0,31	0,48	0,59	0,63	0,66	0,69	0,68	0,57	0,38	0,21
14	0,17	0,34	0,53	0,64	0,67	0,69	0,73	0,72	0,62	0,4	0,21
28	0,18	0,35	0,55	0,66	0,69	0,71	0,74	0,73	0,63	0,41	0,21
42	0,17	0,32	0,5	0,62	0,65	0,67	0,69	0,69	0,59	0,4	0,21
56	0,15	0,3	0,46	0,57	0,6	0,61	0,64	0,63	0,54	0,36	0,18
70	0,15	0,31	0,49	0,6	0,63	0,64	0,68	0,67	0,57	0,37	0,18
84	0,16	0,31	0,49	0,6	0,62	0,65	0,68	0,7	0,6	0,38	0,19
98	0,08	0,28	0,34	0,4	0,42	0,44	0,46	0,45	0,39	0,33	0,1

Abb. 7a

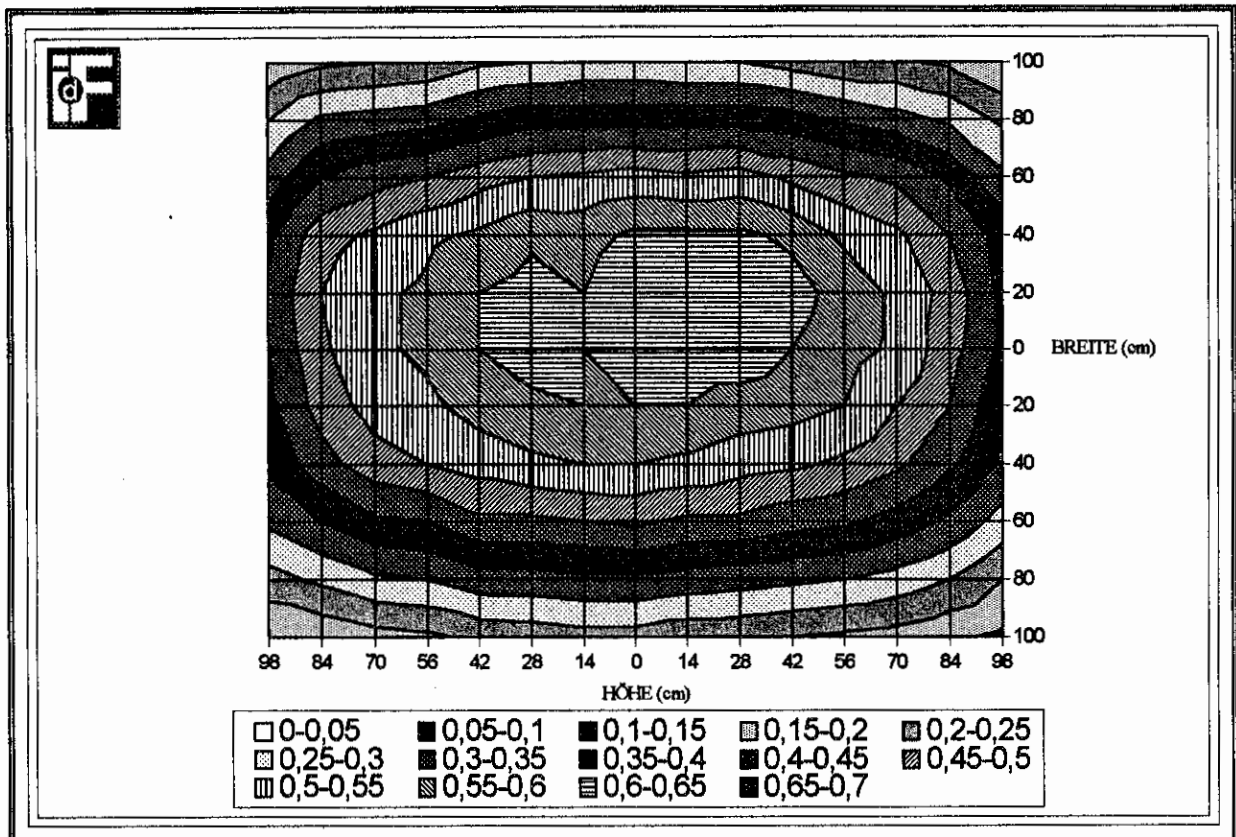
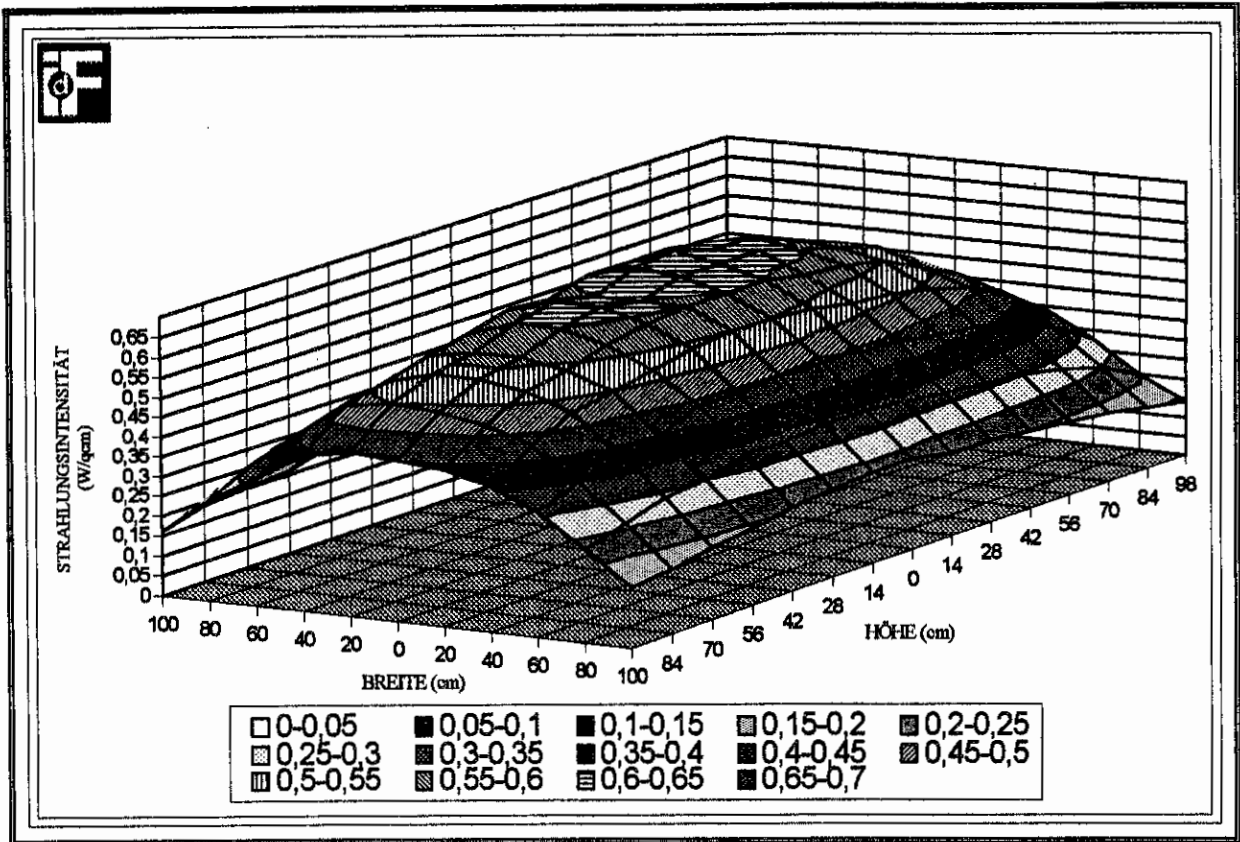


Abb. 8: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 60 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

ANLAGE 9

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 60 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

y - Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,14	0,2	0,28	0,34	0,36	0,39	0,39	0,38	0,31	0,24	0,15
84	0,16	0,25	0,34	0,41	0,45	0,47	0,47	0,45	0,39	0,29	0,19
70	0,18	0,28	0,38	0,46	0,5	0,54	0,54	0,51	0,44	0,32	0,21
56	0,19	0,3	0,41	0,49	0,55	0,57	0,57	0,54	0,46	0,34	0,21
42	0,2	0,31	0,42	0,51	0,57	0,6	0,6	0,59	0,49	0,37	0,23
28	0,21	0,32	0,44	0,52	0,58	0,63	0,63	0,61	0,52	0,38	0,25
14	0,21	0,33	0,44	0,54	0,6	0,63	0,63	0,61	0,51	0,38	0,25
0	0,23	0,34	0,46	0,55	0,6	0,63	0,63	0,61	0,52	0,38	0,26
14	0,23	0,34	0,45	0,55	0,6	0,6	0,6	0,58	0,51	0,38	0,26
28	0,22	0,33	0,44	0,54	0,59	0,62	0,62	0,59	0,5	0,38	0,25
42	0,21	0,33	0,44	0,52	0,57	0,6	0,6	0,56	0,48	0,36	0,24
56	0,19	0,3	0,4	0,5	0,54	0,56	0,56	0,54	0,45	0,33	0,21
70	0,18	0,29	0,39	0,48	0,52	0,54	0,54	0,51	0,43	0,32	0,2
84	0,16	0,26	0,35	0,43	0,47	0,49	0,49	0,48	0,4	0,31	0,19
98	0,15	0,23	0,31	0,36	0,39	0,4	0,4	0,39	0,32	0,25	0,16

Abb. 8a

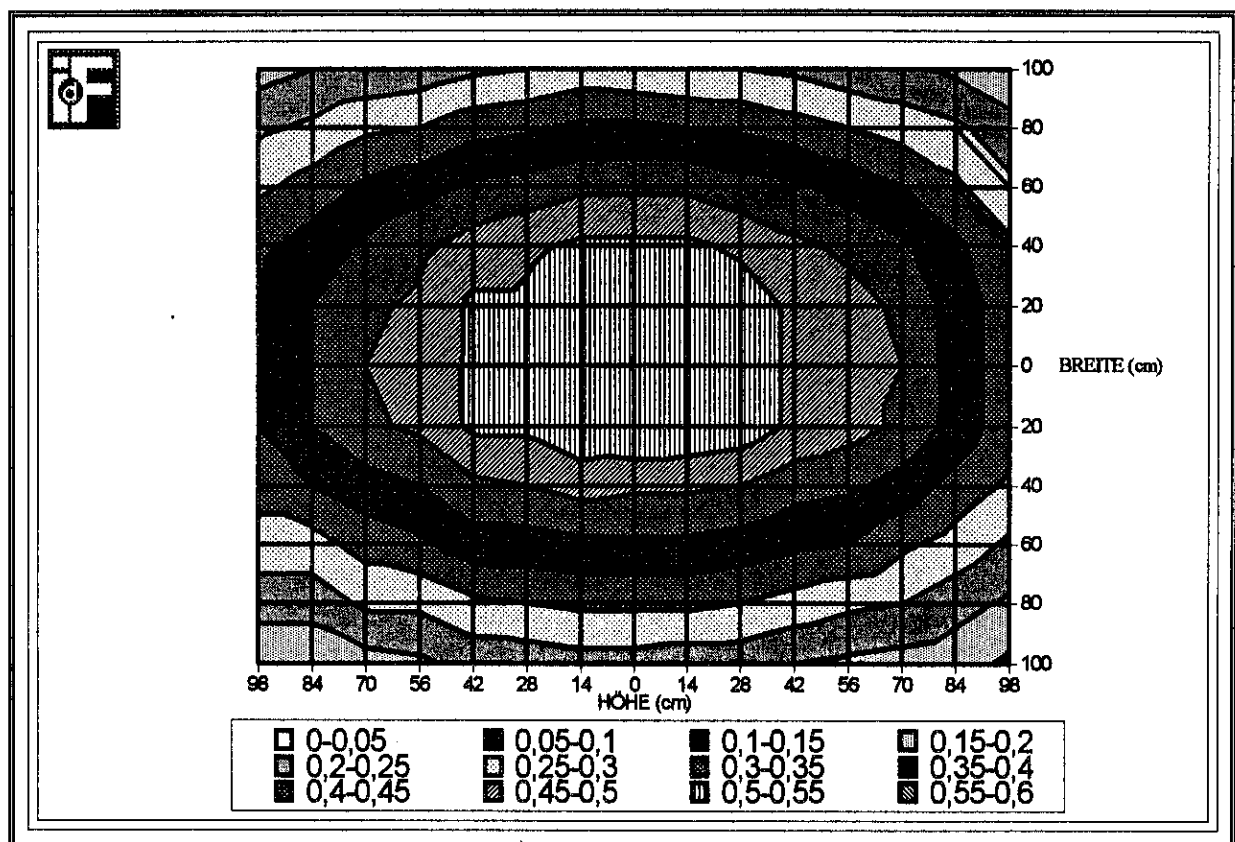
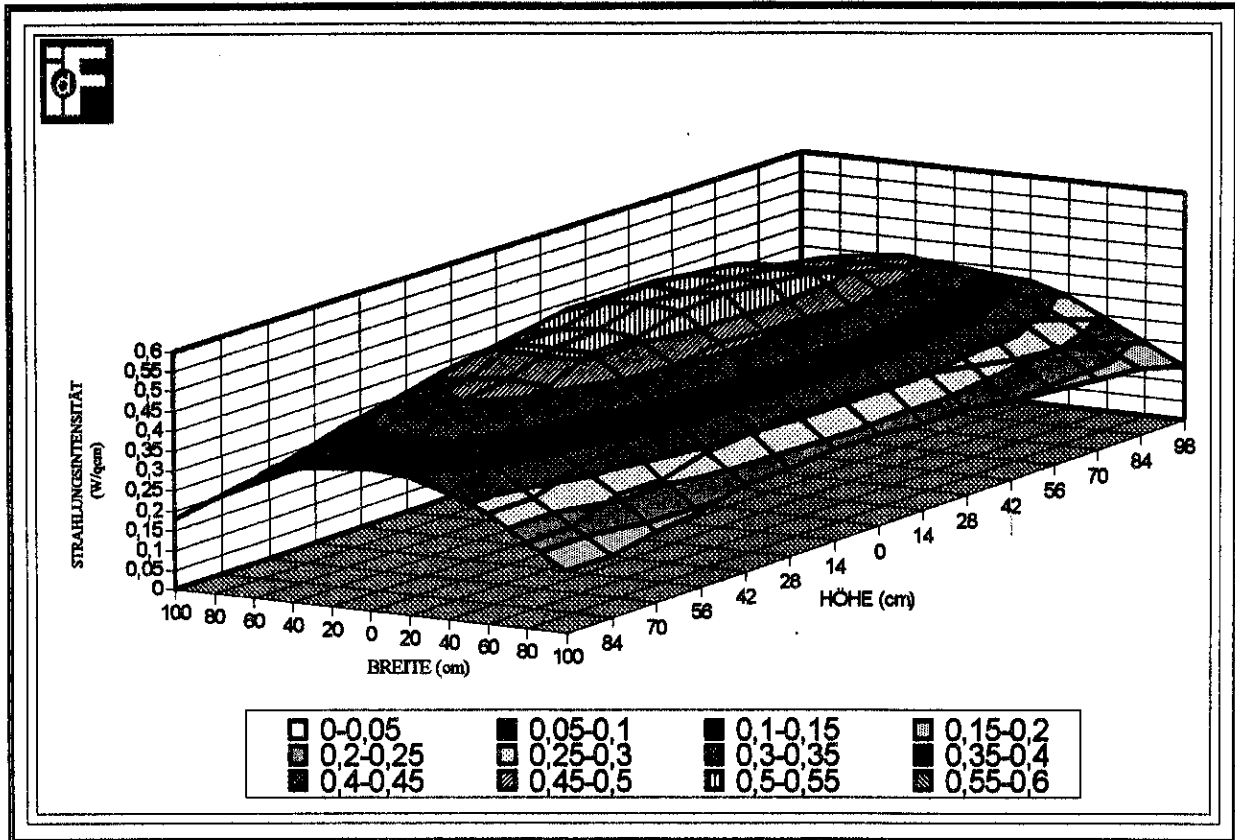


Abb. 9: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 80 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

ANLAGE 9

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 80 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

y - Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,14	0,19	0,24	0,29	0,32	0,32	0,32	0,31	0,26	0,22	0,16
84	0,17	0,22	0,28	0,33	0,38	0,38	0,38	0,36	0,31	0,26	0,19
70	0,18	0,25	0,31	0,38	0,44	0,45	0,44	0,41	0,35	0,28	0,21
56	0,19	0,26	0,35	0,41	0,47	0,47	0,47	0,44	0,38	0,3	0,22
42	0,2	0,28	0,36	0,42	0,49	0,49	0,49	0,46	0,41	0,32	0,24
28	0,22	0,3	0,38	0,45	0,53	0,53	0,53	0,49	0,42	0,34	0,25
14	0,22	0,31	0,39	0,46	0,54	0,54	0,54	0,51	0,44	0,35	0,25
0	0,23	0,31	0,39	0,46	0,55	0,54	0,55	0,51	0,44	0,36	0,26
14	0,23	0,31	0,39	0,47	0,54	0,55	0,54	0,51	0,44	0,36	0,27
28	0,22	0,3	0,38	0,45	0,51	0,52	0,51	0,49	0,42	0,34	0,25
42	0,22	0,29	0,38	0,44	0,51	0,51	0,51	0,47	0,41	0,33	0,24
56	0,19	0,26	0,34	0,4	0,46	0,47	0,46	0,44	0,38	0,3	0,22
70	0,18	0,26	0,32	0,38	0,44	0,45	0,44	0,41	0,36	0,29	0,21
84	0,16	0,22	0,28	0,35	0,4	0,4	0,4	0,37	0,32	0,26	0,2
98	0,16	0,22	0,28	0,32	0,35	0,36	0,35	0,34	0,29	0,24	0,18

Abb. 9a

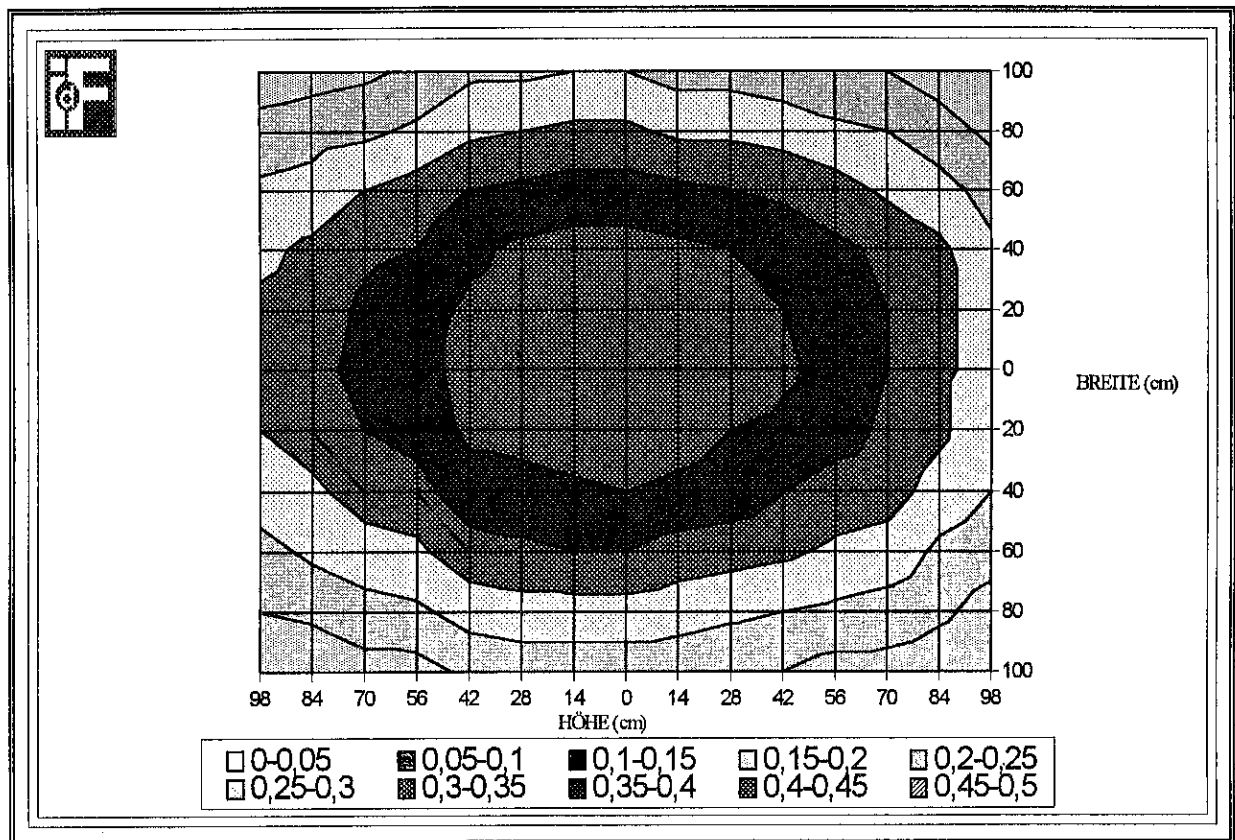
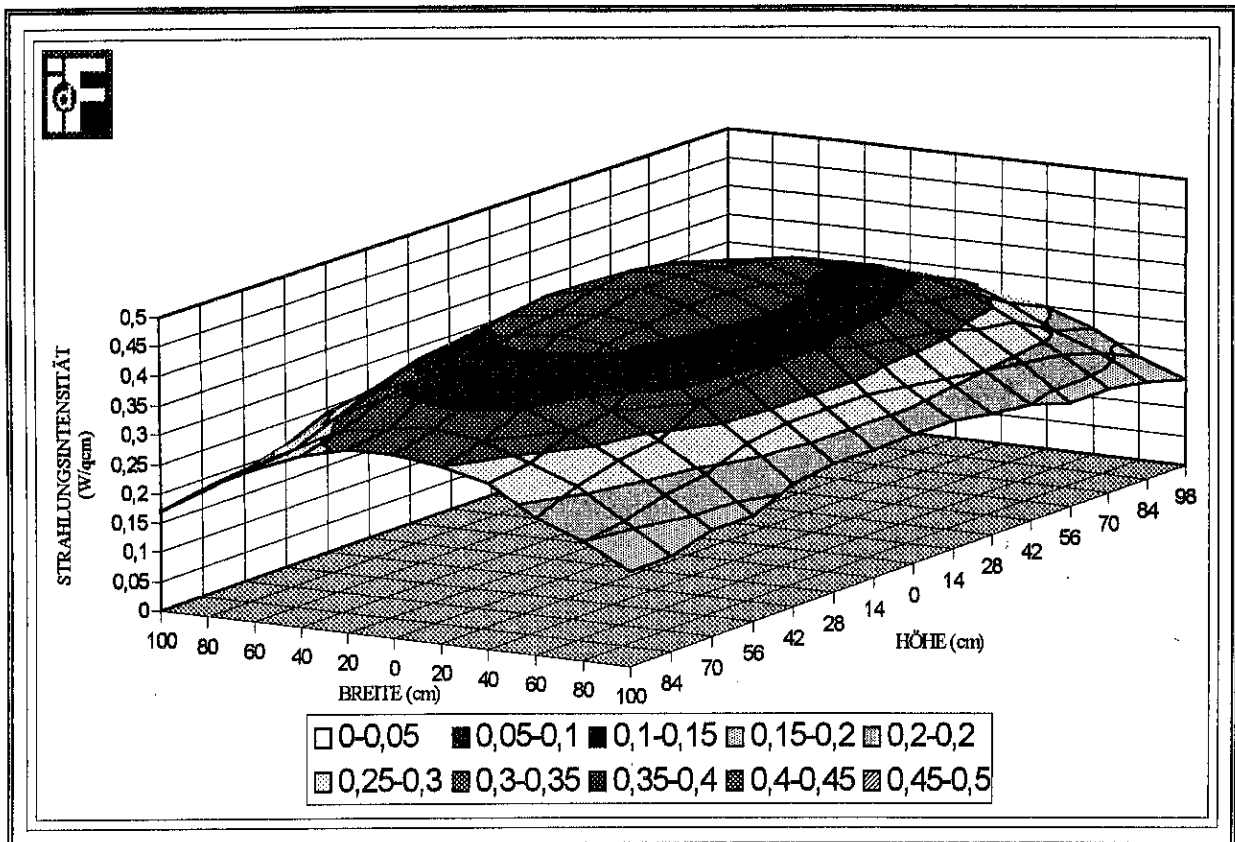


Abb. 10: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 100 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 100 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

y - Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,15	0,18	0,22	0,25	0,26	0,28	0,26	0,26	0,23	0,19	0,16
84	0,17	0,21	0,24	0,28	0,31	0,31	0,31	0,31	0,27	0,22	0,18
70	0,18	0,23	0,28	0,32	0,34	0,35	0,35	0,34	0,29	0,25	0,2
56	0,18	0,24	0,29	0,33	0,37	0,38	0,38	0,36	0,32	0,26	0,21
42	0,2	0,25	0,31	0,35	0,39	0,41	0,4	0,38	0,34	0,28	0,22
28	0,21	0,26	0,32	0,38	0,4	0,43	0,42	0,4	0,35	0,29	0,23
14	0,22	0,27	0,33	0,39	0,42	0,44	0,44	0,41	0,36	0,29	0,23
0	0,22	0,28	0,35	0,4	0,43	0,45	0,45	0,42	0,37	0,31	0,25
14	0,22	0,28	0,35	0,39	0,43	0,45	0,44	0,42	0,37	0,31	0,25
28	0,22	0,28	0,34	0,38	0,42	0,43	0,42	0,41	0,36	0,3	0,24
42	0,21	0,27	0,33	0,38	0,41	0,42	0,41	0,39	0,35	0,29	0,24
56	0,18	0,24	0,29	0,33	0,37	0,38	0,38	0,35	0,32	0,26	0,21
70	0,18	0,23	0,28	0,32	0,35	0,37	0,36	0,34	0,3	0,24	0,19
84	0,16	0,21	0,26	0,29	0,32	0,33	0,32	0,31	0,27	0,23	0,18
98	0,16	0,2	0,23	0,28	0,3	0,31	0,31	0,29	0,26	0,22	0,17

Abb. 10a

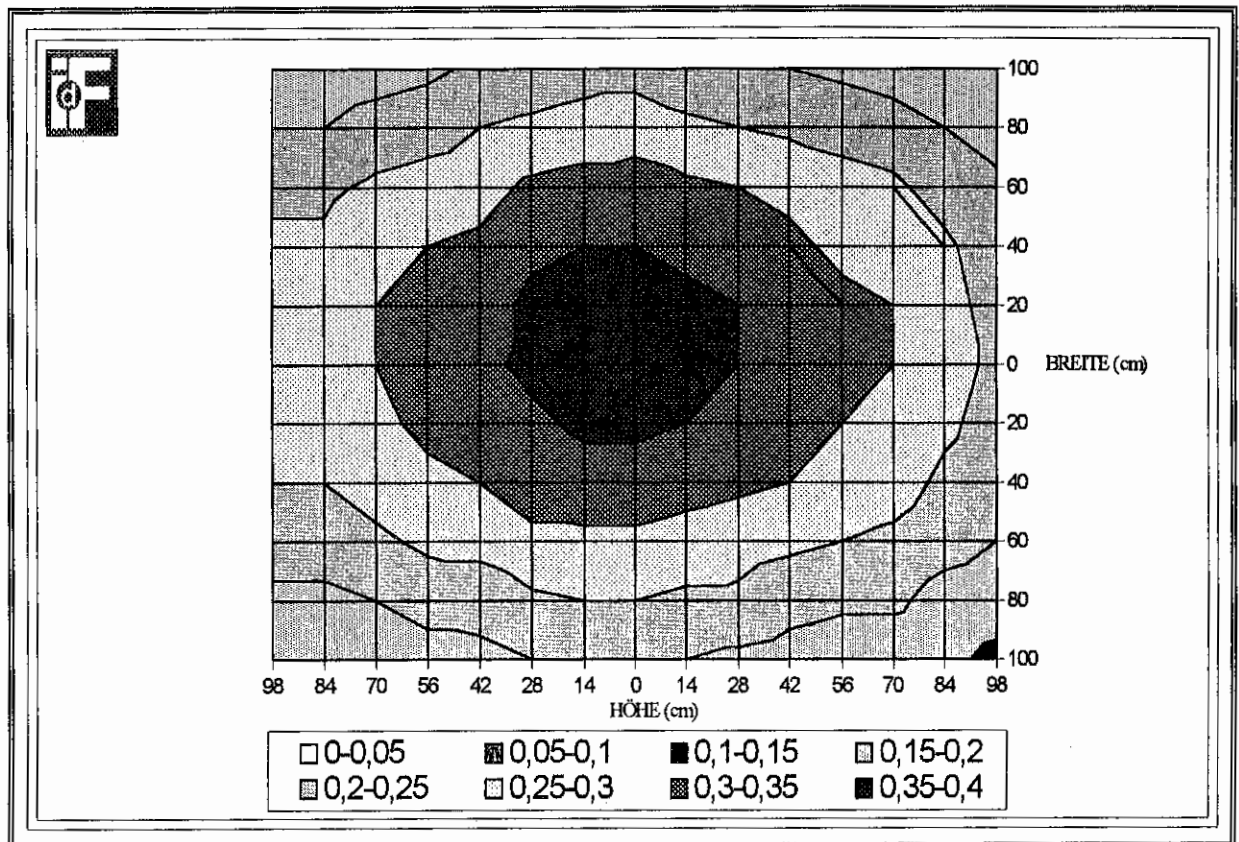
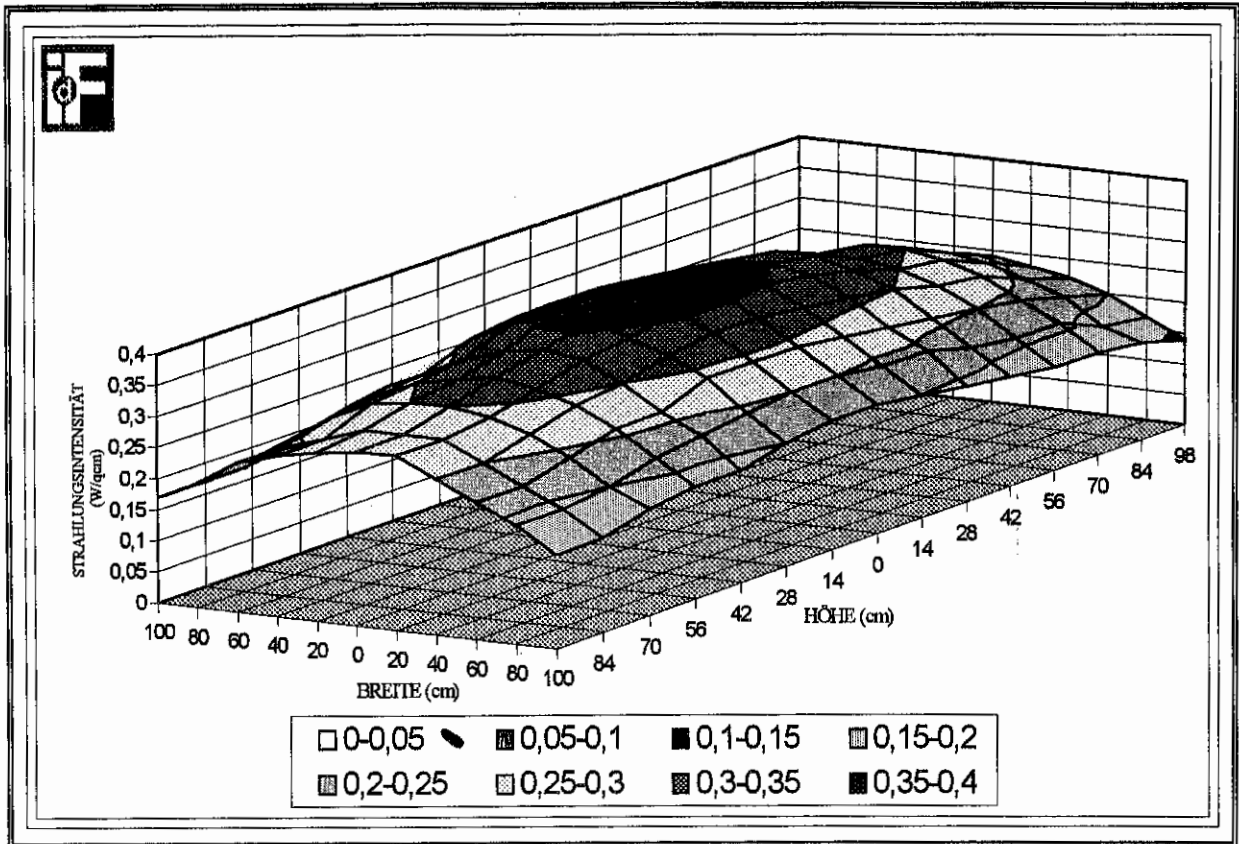


Abb. 11: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 120 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

ANLAGE 9

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 120 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

y - Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,14	0,17	0,2	0,22	0,23	0,24	0,23	0,22	0,21	0,18	0,15
84	0,16	0,18	0,22	0,24	0,26	0,27	0,27	0,26	0,23	0,2	0,17
70	0,17	0,21	0,24	0,27	0,29	0,3	0,3	0,28	0,26	0,22	0,18
56	0,17	0,21	0,25	0,28	0,3	0,31	0,31	0,29	0,27	0,23	0,19
42	0,18	0,22	0,26	0,3	0,32	0,34	0,34	0,31	0,29	0,24	0,2
28	0,19	0,24	0,27	0,31	0,34	0,35	0,35	0,33	0,3	0,25	0,21
14	0,2	0,24	0,28	0,32	0,35	0,36	0,36	0,34	0,31	0,26	0,22
0	0,21	0,25	0,29	0,33	0,36	0,36	0,37	0,35	0,32	0,28	0,23
14	0,21	0,25	0,29	0,33	0,36	0,38	0,37	0,35	0,32	0,27	0,23
28	0,2	0,24	0,29	0,32	0,34	0,36	0,36	0,34	0,31	0,26	0,22
42	0,18	0,23	0,26	0,3	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,21
56	0,18	0,22	0,26	0,29	0,31	0,32	0,31	0,3	0,27	0,23	0,19
70	0,17	0,2	0,24	0,27	0,29	0,3	0,3	0,29	0,26	0,22	0,18
84	0,15	0,19	0,22	0,25	0,28	0,28	0,28	0,26	0,24	0,2	0,17
98	0,15	0,19	0,22	0,25	0,28	0,28	0,27	0,26	0,24	0,2	0,17

Abb. 11a

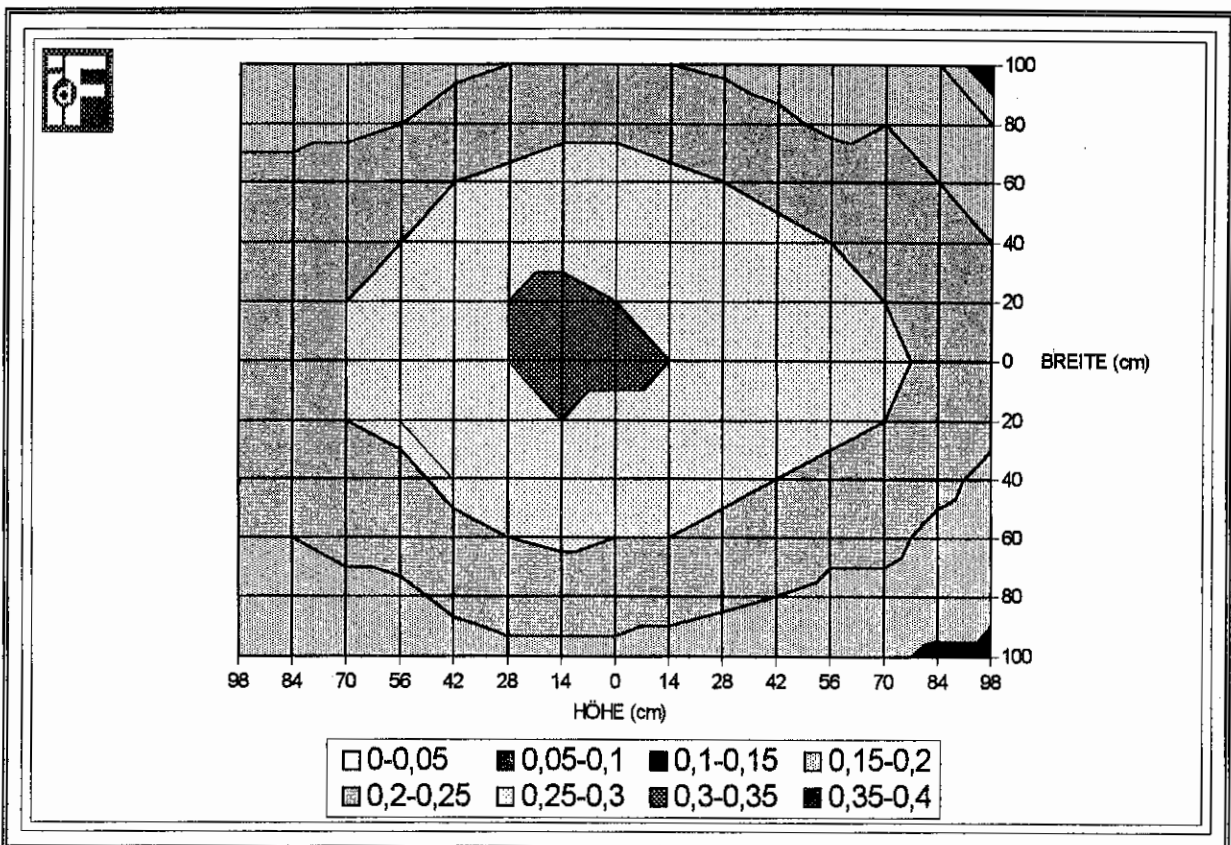
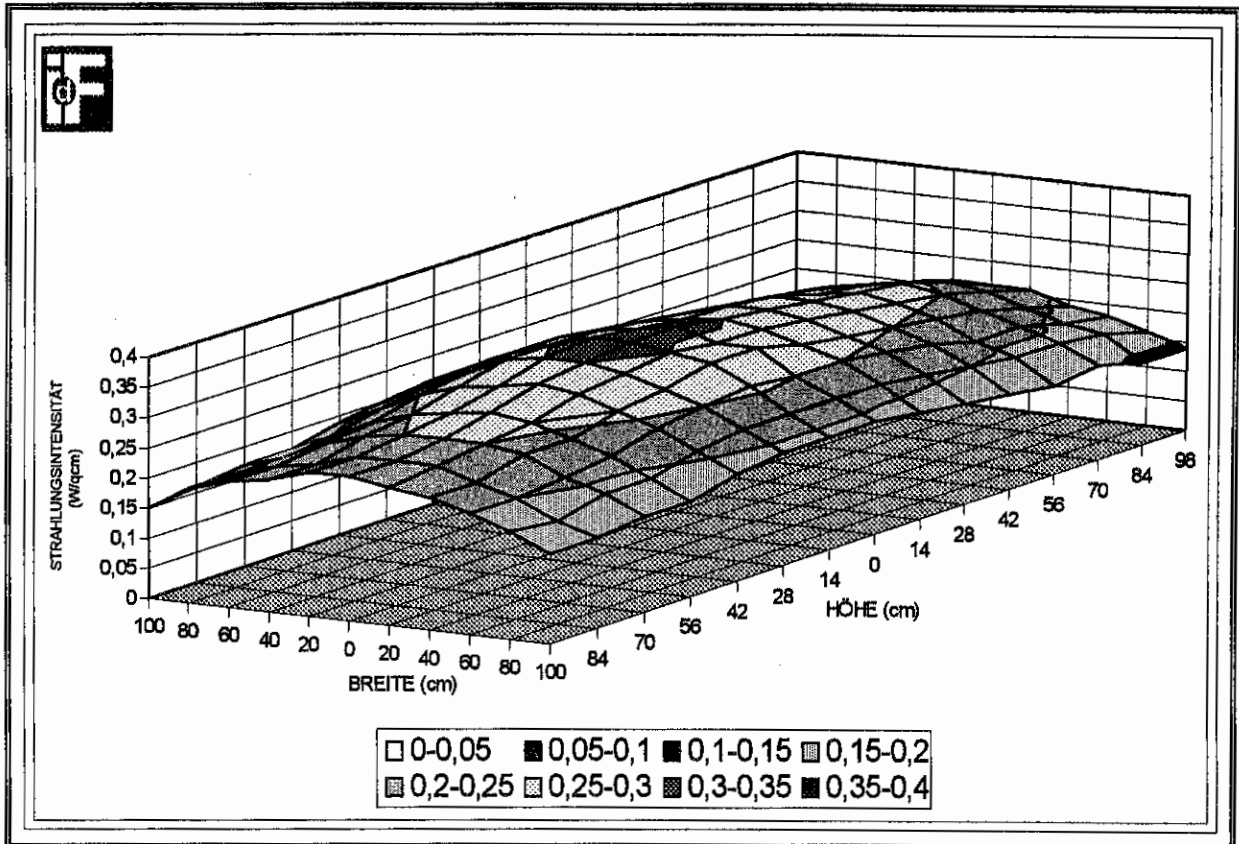


Abb. 12: Wärmestrahlungsintensität in $W \cdot cm^{-2}$ - 140 cm Abstand von Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

ANLAGE 9

Meßwerte der Wärmestrahlungsintensität in einem Abstand von 140 cm von der Strahlerwandoberfläche - 50% Leistung

y - Achse (cm)	x-Achse (cm)										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
98	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21	0,21	0,21	0,2	0,18	0,16	0,14
84	0,14	0,18	0,19	0,21	0,23	0,24	0,23	0,22	0,2	0,18	0,16
70	0,16	0,19	0,21	0,23	0,25	0,26	0,25	0,24	0,22	0,2	0,16
56	0,15	0,19	0,21	0,24	0,26	0,27	0,26	0,25	0,23	0,19	0,17
42	0,16	0,2	0,23	0,25	0,27	0,28	0,28	0,26	0,24	0,21	0,18
28	0,17	0,21	0,24	0,26	0,28	0,29	0,29	0,27	0,25	0,23	0,19
14	0,18	0,22	0,25	0,27	0,29	0,3	0,29	0,28	0,26	0,23	0,2
0	0,19	0,22	0,25	0,29	0,29	0,31	0,3	0,29	0,27	0,24	0,21
14	0,19	0,22	0,26	0,29	0,3	0,31	0,31	0,29	0,27	0,24	0,21
28	0,19	0,22	0,25	0,27	0,29	0,3	0,3	0,29	0,26	0,23	0,2
42	0,18	0,21	0,24	0,26	0,28	0,29	0,28	0,27	0,25	0,22	0,19
56	0,16	0,19	0,22	0,24	0,26	0,27	0,26	0,25	0,23	0,2	0,17
70	0,16	0,19	0,21	0,24	0,25	0,25	0,25	0,24	0,22	0,19	0,17
84	0,15	0,17	0,2	0,22	0,24	0,24	0,24	0,22	0,21	0,19	0,16
98	0,15	0,18	0,2	0,22	0,23	0,24	0,24	0,22	0,21	0,19	0,15

Abb. 12a

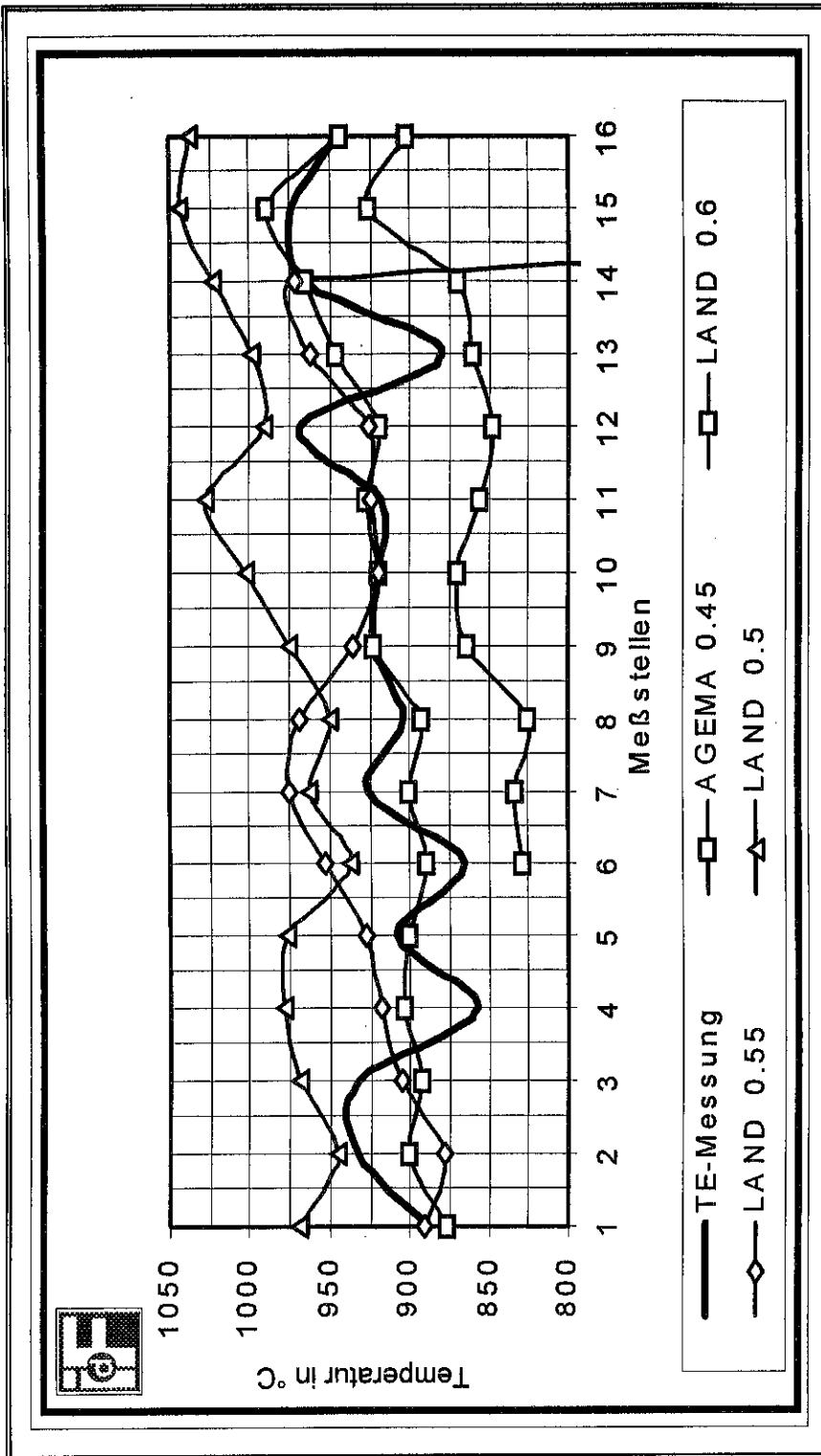


Abb. 1: Meßergebnisse von Temperaturmessungen an 16 Meßstellen eines Teilstrahlers der Wärmestrahlerwand bei 100% Leistung im Vergleich im Vergleich (gemessen mit Thermoclementen [TE] und den Systemen AGEMA und LAND bei variablen Emissionsfaktoren)

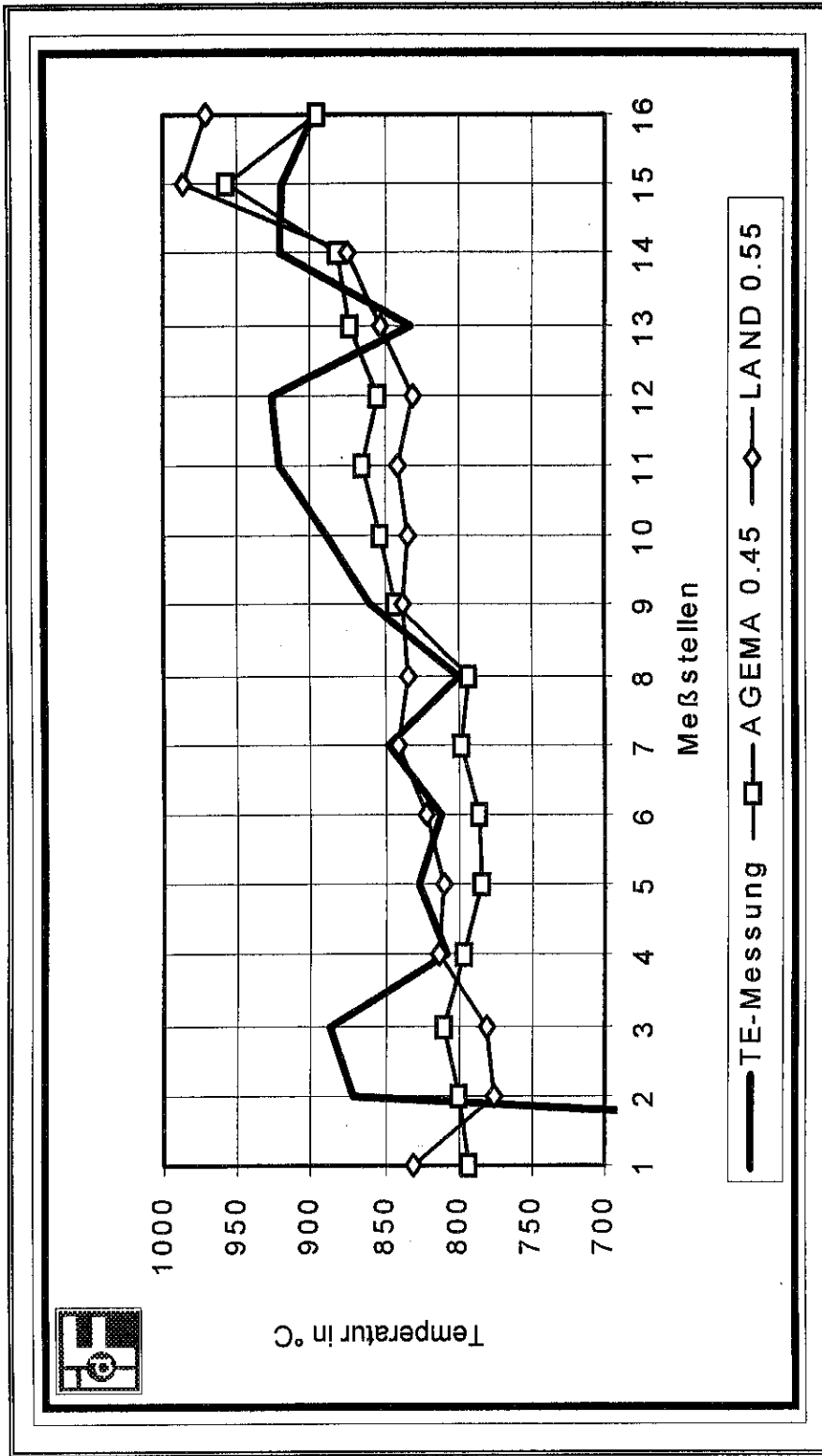


Abb. 2: Meßergebnisse von Temperaturmessungen an 16 Meßstellen eines Teilstrahlers der Wärmestrahlwand bei 75% Leistung im Vergleich im Vergleich (gemessen mit Thermoelementen [TE] und den Systemen AGEMA und LAND bei variablen Emissionsfaktoren)

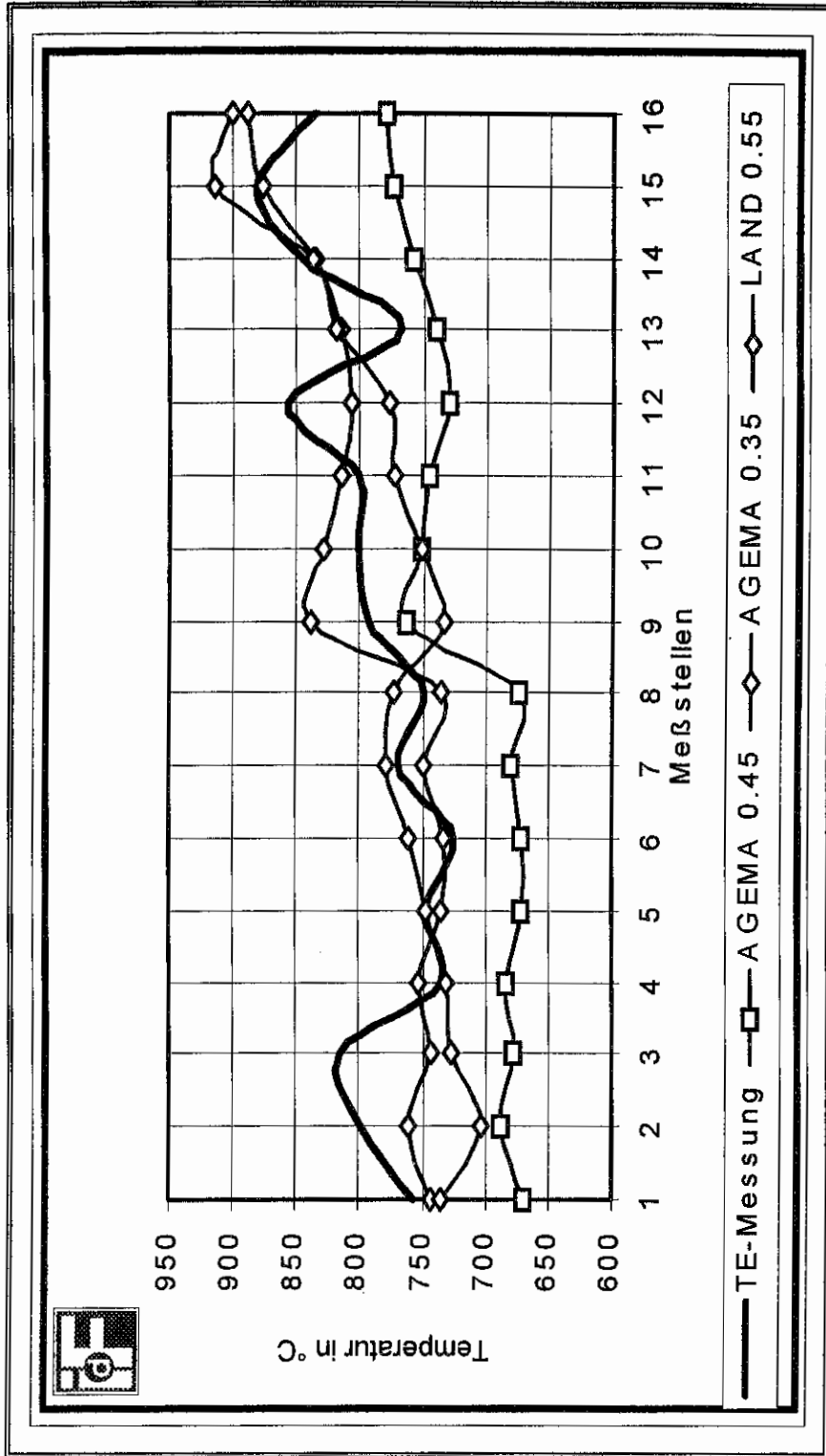


Abb. 3: Meßergebnisse von Temperaturmessungen an 16 Meßstellen eines Teilstrahlers der Wärmestrahlerwand bei 50% Leistung im Vergleich im Vergleich (gemessen mit Thermoelementen [TE] und den Systemen AGEMA und LAND bei variablen Emissionsfaktoren)

Technische Beschreibung der Propangas - Wärmestrahlerwand

Die Strahlerwand ist mit 4 Strahlerpaaren 814 ausgerüstet.

Die Strahler sind paarweise von oben nach unten einschaltbar.

Jedes Strahlerpaar ist von 50 - 100% regelbar.

Eine Brennerluftversorgung mit einem Ventilator ist nicht erforderlich, da es sich um Injektorbrennkammern handelt.

Die Strahlerwand besteht aus einem Profilstahlrahmen aus verwindungssteifen Hohl- und Stahlprofilen.

Höhe: ca. 2.000 mm

Breite: ca. 1.800 mm

Für den sicheren Stand der Strahlerwand sorgt eine Fußkonstruktion von ca. 1.300 mm Länge.

Die Strahler (Typ 814) sind paarweise (nebeneinander) in der Strahlerwand befestigt.

Es sind 4 Strahlerpaare übereinander angeordnet. Sie sind unabhängig voneinander zu- und abschaltbar. Jedes Strahlerpaar ist zwischen 50 und 100% regelbar.

Der Gesamtanschlußwert beträgt:	120.000 kcal/h ca. 140 kW
Gasart:	Propan
Gasverbrauch max. Leistung:	ca. 10,8 kg/h
min. Leistung:	ca. 5,5 kg/h
Gasdruck:	90 - 40 mbar
Elektrischer Anschlußwert:	1,7 kW
Spannung:	220 / 380 V, 50 Hz

Zwischen den Gas-IR-Strahlern befinden sich hitzebeständige Isolierplatten. Diese Platten verhindern eine Wärmerückstrahlung.

Die Gasversorgung einschließlich der Gasregelarmaturen befindet sich komplett verrohrt an der Rückseite der Strahlerwand.

Der Abluftventilator ist auf dem Abgaskasten am oberen Ende der Wand angeordnet. Der Abgasstrom von max. 2.400 m³/h kann über einen Schieber eingestellt werden.

An der Rückseite der Strahlerwand ist der Schaltkasten mit den 4 RK 80 (Strahlerregelung 50 - 100%) angebracht. Die Ansteuerung des Abluftventilators befindet sich ebenfalls in diesem Schaltkasten.