

B e r i c h t
zu einer Vorstudie über Temperaturmessungen an Kerzenflammen

| | |
|------------------------------------|---|
| Aktenzeichen | Vorstudie |
| Ausfertigung | 1. Ausfertigung von 2 Ausfertigungen |
| Auftraggeber | Sasol Wax GmbH Worthdamm 13 – 27 20457 Hamburg |
| Auftrag vom | 22.05.2003 |
| Zeichen | MM |
| Eingegangen am | 02.06.2003 |
| Prüf-/ Versuchsmaterial | Je eine Stearin-, Paraffin- und Bienenwachskerze, gekennzeichnet mit den Nummern 1, 2 und 3 |
| Eingegangen am | 02.06.2003 |
| Prüfdatum | 17.09.2003 bis 19.09.2003 |

1. Ziel der Untersuchungen

Um die Wärmeumgebung von brennenden Kerzenflammen zu charakterisieren, sollten in einer Vorstudie Temperaturen in Kerzenflammen und in festgelegten Abständen zu Kerzenflammen mit Hilfe von NiCr/NiAl-Thermoelementen gemessen werden. Zusätzlich sollte mit Hilfe einer Wärmebildkamera die Wärmeumgebung bildlich erfasst werden.

Dieser Bericht besteht aus Blatt 1 bis 14.

Prüfberichte dürfen nur in vollem Wortlaut und ohne Zusätze veröffentlicht werden. Für veränderte Wiedergabe und Auszüge ist vorher die widerrufliche schriftliche Einwilligung der BAM einzuholen. Der Inhalt des Prüfberichtes bezieht sich ausschließlich auf die untersuchten Gegenstände.

2. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Die drei Kerzen wurden nummeriert und vorn am Glasgefäß wie folgt gekennzeichnet:

Stearin: Nummer 1
Paraffin: Nummer 2
Bienenwachs: Nummer 3



Abb. 1: Verwendete Prüferkerzen nach 2 Stunden Einbrennzeit

2.1. Temperaturmessung mit Thermoelement in der Flamme

Die Temperaturen wurden direkt in der Kerzenflamme und zusätzlich in der Umgebung der Kerzenflamme gemessen.

Für die Messung direkt in der Flamme ist ein 0,5 mm starkes NiCr/NiAl-Mantelthermoelement (DIN EN 60584-1, Typ K, Klasse 2) mit einem Digitalthermometer (Fa. Ahlborn, Typ Therm2280-3, Auflösung 0,1 K) verwendet worden. Die Messung erfolgte nach zwei Stunden Einbrennzeit nacheinander an insgesamt 11 Messstellen für jeweils wenige Sekunden. Das Thermoelement wurde dabei manuell positioniert. Die genauen Positionen sind der Abb. 1 zu entnehmen.

Legende

T1: in der Brennschüssel am Docht
T2: in der Brennschüssel in der Mitte
T3: in der Brennschüssel am Rand
T4: an der Spitze der gelben Zone
T5: 1 cm über der Spitze der gelben Zone
T6: 1 cm neben dem Rand
T7: in der Mitte der gelben Zone
T8: in der Mitte der dunklen Zone
T9: in der blauen Zone
T10: direkt am Docht
T11: am Rand der gelben Zone

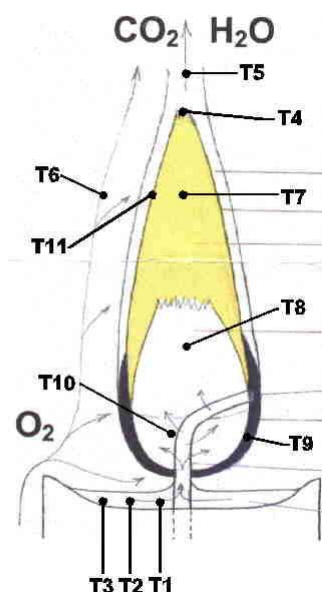


Abb. 2: Messstellen für die Temperaturmessung in der Flamme

2.2. Temperaturmessung mit Thermoelementen in der Umgebung der Flamme

Die Messungen in der Umgebung der Flamme sind nach dem Entzünden der Kerzen über einen Zeitraum von zwei Stunden durchgeführt worden. Dabei waren 8 Thermoelemente in Stativen so angeordnet, dass im Abstand von 1 cm, 5 cm, 10 cm und 20 cm waagrecht neben der Flamme und senkrecht über der Flamme gemessen werden konnte. Diese Messungen wurden mit 1,5 mm starken NiCr/NiAl-Mantelthermoelemente durchgeführt. Die Thermospannungen sind mit einer hochverstärkenden Messwerterfassungskarte (Fa. Keithley Instruments, Typ DAS 1401) gemessen und mit einer speziellen Software in Temperaturen umgerechnet worden. Die Abtastrate betrug 10 s pro Messpunkt. Der Messbereich wurde mit 500 °C gewählt. Abb. 3 zeigt den Versuchsaufbau in einem Laborabzug.



Legende:

- T1: 1 cm senkrecht über der Flammenspitze
- T2: 5 cm senkrecht über der Flammenspitze
- T3: 10 cm senkrecht über der Flammenspitze
- T4: 20 cm senkrecht über der Flammenspitze
- T5: 1 cm waagrecht neben der Flamme (Flammenrand)
- T6: 5 cm waagrecht neben der Flamme (Flammenrand)
- T7: 10 cm waagrecht neben der Flamme (Flammenrand)
- T8: 20 cm waagrecht neben der Flamme (Flammenrand)

Abb. 3: Versuchsaufbau zur Erfassung der Umgebungstemperaturen

2.3. Messung mit der Wärmebildkamera

Die Messungen sind nach einer Einbrennzeit von 2 Stunden an allen 3 Kerzentypen durchgeführt worden. Für die Durchführung der Messungen wurde eine Wärmebildkamera des Typs „ThermaCAM SC1000“, Fa. Inframetrics (jetzt FLIR Systems GmbH) mit der folgenden Ausstattung und Spezifikation eingesetzt:

- Focal-Plane-Array (FPA) Detektor bestehend aus 256 x 256 Detektorelementen (PtSi-Schottky-Dioden) in CMOS-Bauweise mit Stirling-Mikrokühler
- Spektralbereich 3,4 bis 5 μm
- 12-Bit Dynamikumfang pro Messpunkt
- 32° Objektiv
- Bildrate 50 Hz (PAL) Vollbild
- Temperaturauflösung mindestens 0,07 K bei 30°C
- Absolute Messgenauigkeit $\pm 2\%$ oder 2 K
- 4 Temperaturmessbereiche (1 = -10°C bis 50°C, 2 = 20°C bis 150°C, 3 = 140°C bis 320°C, 4 = 250°C bis 450°C)
- Räumliche Auflösung (IFOV): 1,2 mrad
- Sichtfeld: 17° x 16°

Der Abstand der Kamera zur Kerze betrug ca. 2 m.

3. Ergebnisse

3.1. Temperaturmessung mit Thermoelementen in der Flamme

In der Tabelle 1 sind die mit dem 0,5-mm-Thermoelement gemessenen Temperaturen aufgelistet. Zusätzlich ist der über die Brennzeit der Kerzen ermittelte Brennstoffverbrauch angegeben.

Tab. 1: Versuchsparameter und Temperaturen mit 0,5-mm-Mantelthermoelement gemessen

| Parameter | Stearin | Paraffin | Bienenwachs |
|----------------------|-----------|-----------|-------------|
| Start | 8:35 UHR | 8:35 UHR | 8:35 UHR |
| Ende | 11:40 UHR | 11:40 UHR | 11:40 UHR |
| Brenndauer in h | 3,08 | 3,08 | 3,08 |
| Masse (vorher) in g | 218,52 | 207,47 | 230,87 |
| Masse (nachher) in g | 203,93 | 189,99 | 218,23 |
| Verbrauch in g | 14,59 | 17,48 | 12,64 |
| | | | |
| Temperaturen | | | |
| T1 | 60,0 | 60,0 | 79,0 |
| T2 | 61,5 | 60,0 | 73,0 |
| T3 | 56,5 | 58,0 | 62,0 |
| T4 | 981,0 | 820,0 | 930,0 |
| T5 | 600,0 | 620,0 | 600,0 |
| T6 | 38,0 | 60,0 | 47,0 |
| T7 | 960,0 | 930,0 | 930,0 |
| T8 | 760,0 | 810,0 | 780,0 |
| T9 | 600,0 | 720,0 | 600,0 |
| T10 | 750,0 | 810,0 | 740,0 |
| T11 | 920,0 | 980,0 | 940,0 |
| | | | |
| Raumtemperatur in °C | 25 | 25 | 25 |

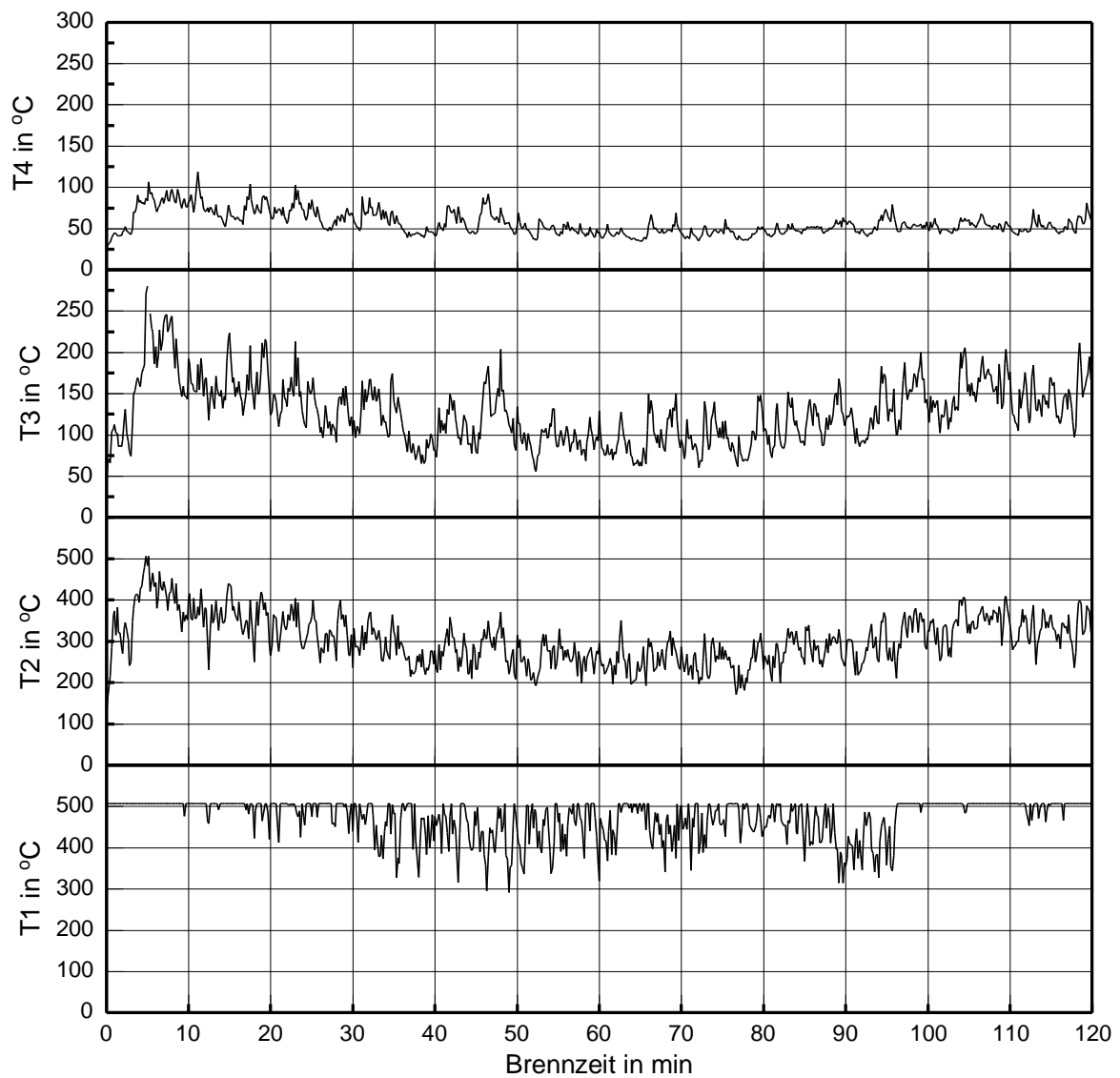
3.2. Temperaturmessung mit Thermoelementen in der Umgebung der Flamme

Tab. 2: Versuchsparameter für die Temperaturmessung mit 1,5-mm-Mantelthermoelementen

| Parameter | Stearin | Paraffin | Bienenwachs |
|----------------------|-----------|-----------|-------------|
| Dateiname | Stea01 | Para01 | Biewa01 |
| Start | 9:00 UHR | 11:15 UHR | 13:30 UHR |
| Ende | 11:00 UHR | 13:15 UHR | 15:30 UHR |
| Brenndauer in h | 2 | 2 | 2 |
| Masse (vorher) in g | 203,93 | 189,99 | 218,23 |
| Masse (nachher) in g | 193,48 | 176,2 | 209,37 |
| Verbrauch in g | 10,45 | 13,79 | 8,86 |
| Raumtemperatur in °C | 23,5 | 25,0 | 25,5 |

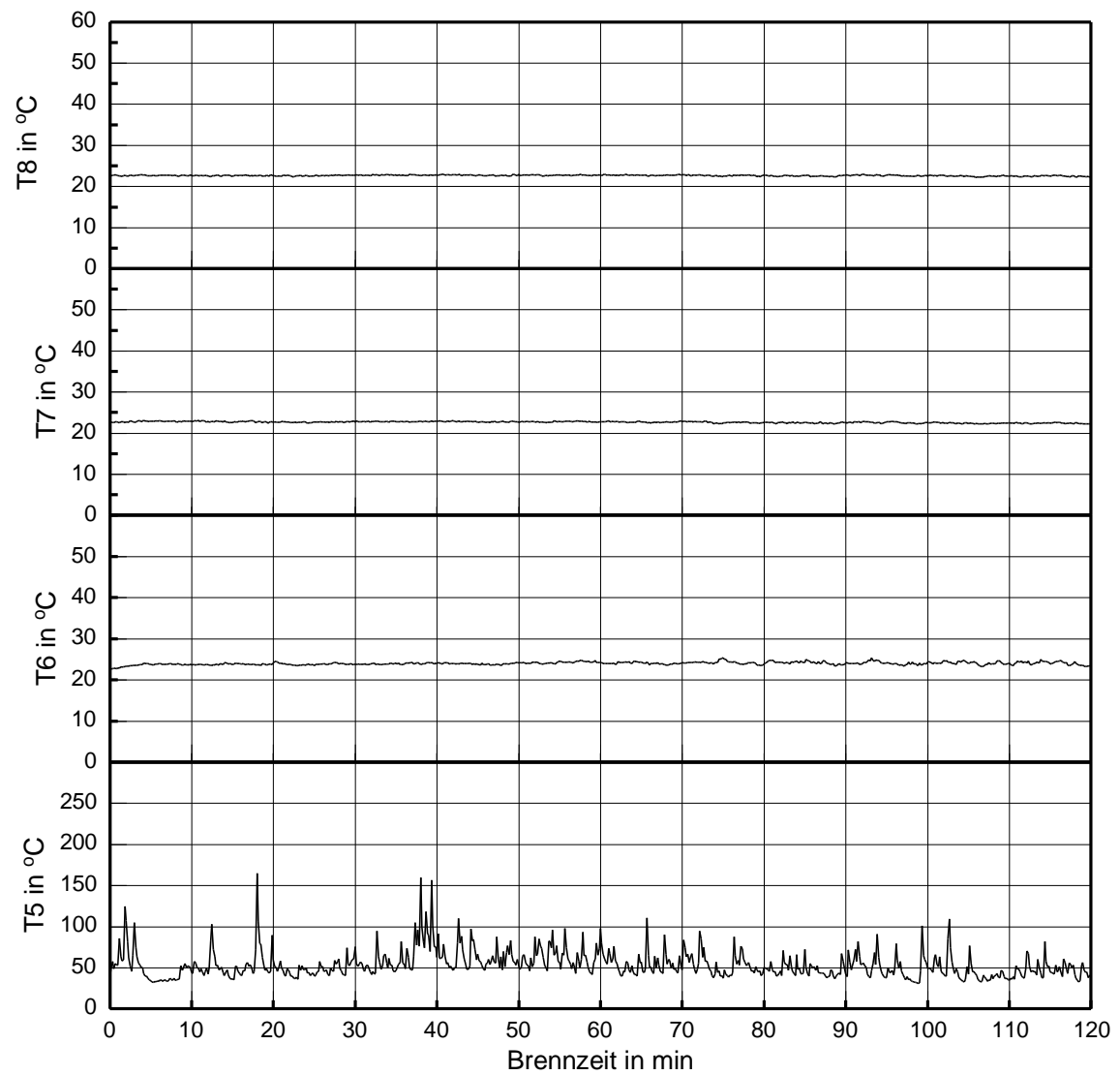


Abb. 4: Brennende Stearinkerze mit Thermoelementen während der Messung



SAS_STEA1

Abb. 5: Temperaturen senkrecht über einer Stearinkerzenflamme in Abständen von 1 cm, 5 cm, 10 cm und 20 cm zur Flammenspitze

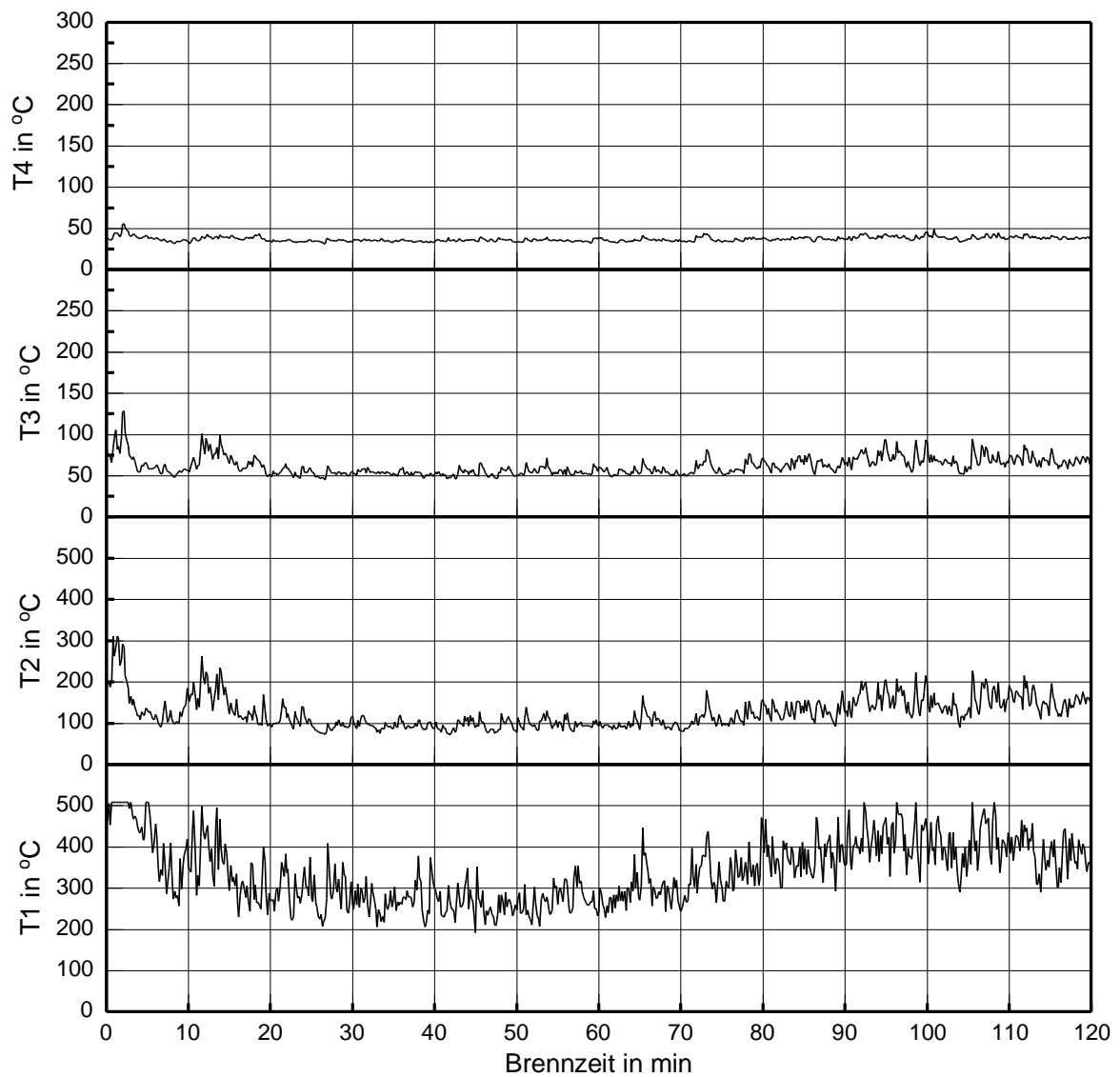


SAS_STEA2

Abb. 6: Temperaturen waagrecht neben einer Stearinkerzenflamme in Abständen von 1 cm, 5 cm, 10 cm und 20 cm zur Flammenspitze

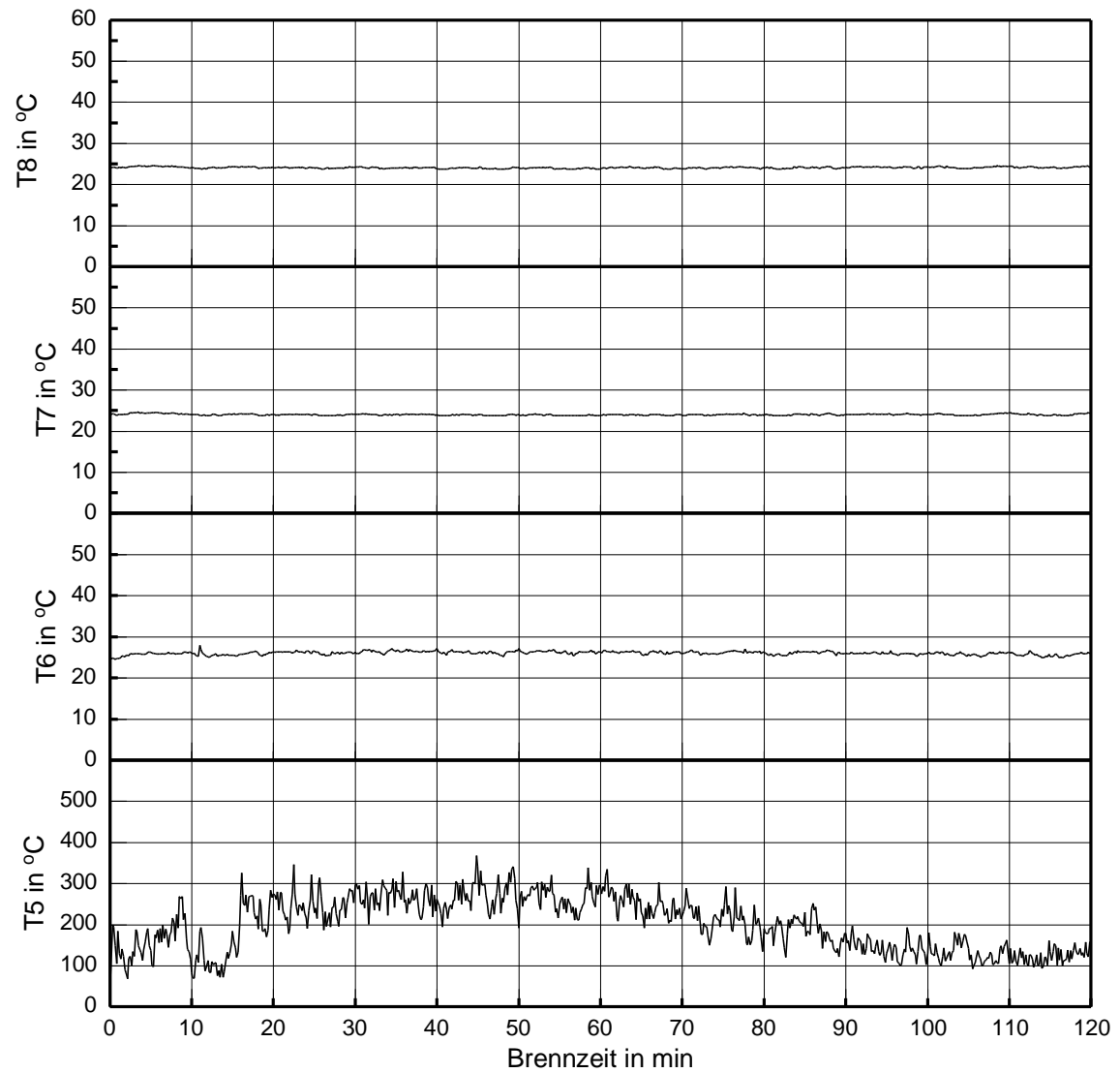


Abb. 7: Brennende Paraffinkerze mit Thermoelementen während der Messung



SAS_PARA1

Abb. 8: Temperaturen senkrecht über einer Paraffinkerzenflamme in Abständen von 1 cm, 5 cm, 10 cm und 20 cm zur Flammenspitze

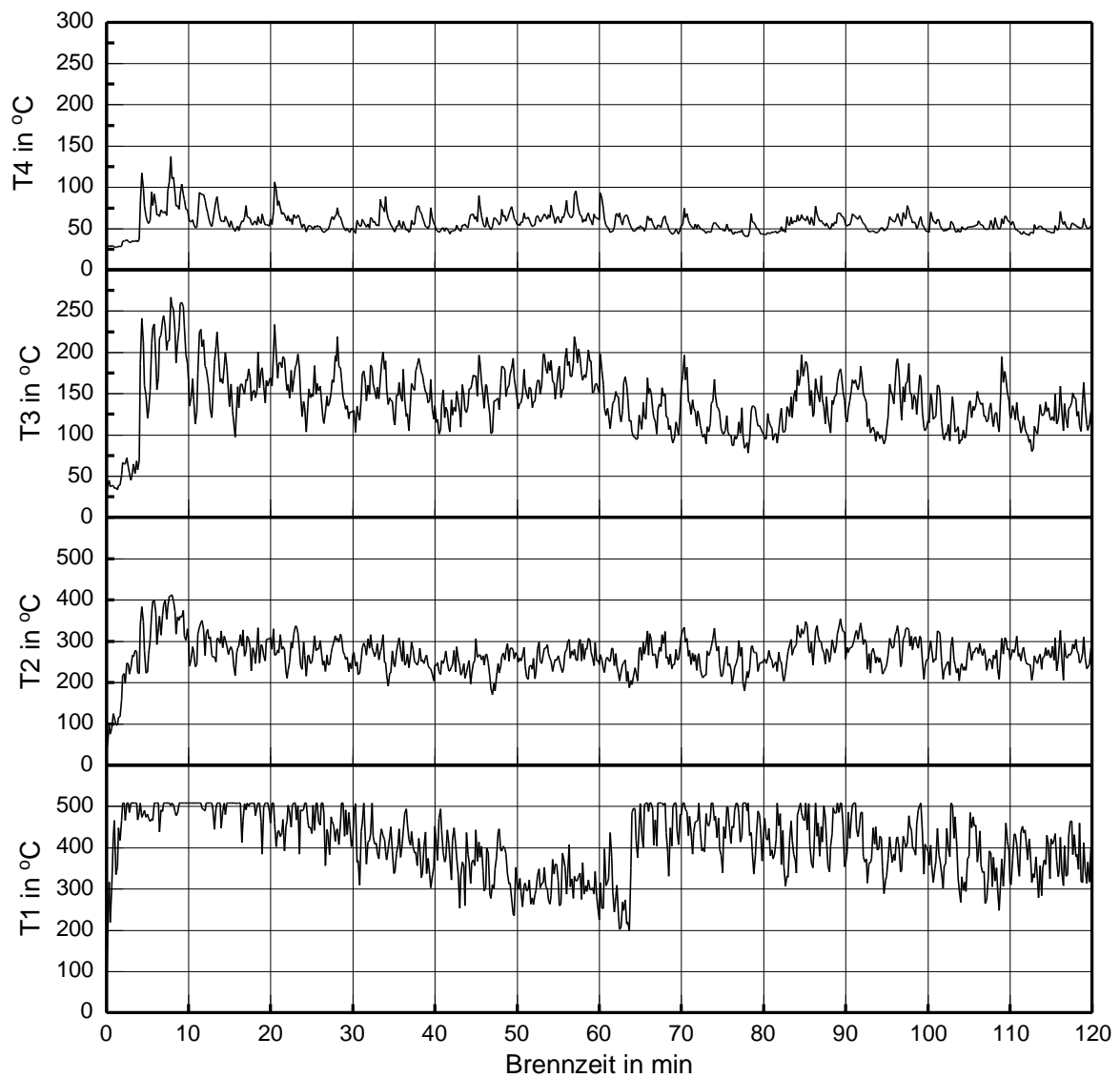


SAS_PARA2

Abb. 9: Temperaturen waagrecht neben einer Paraffinkerzenflamme in Abständen von 1 cm, 5 cm, 10 cm und 20 cm zur Flammenspitze

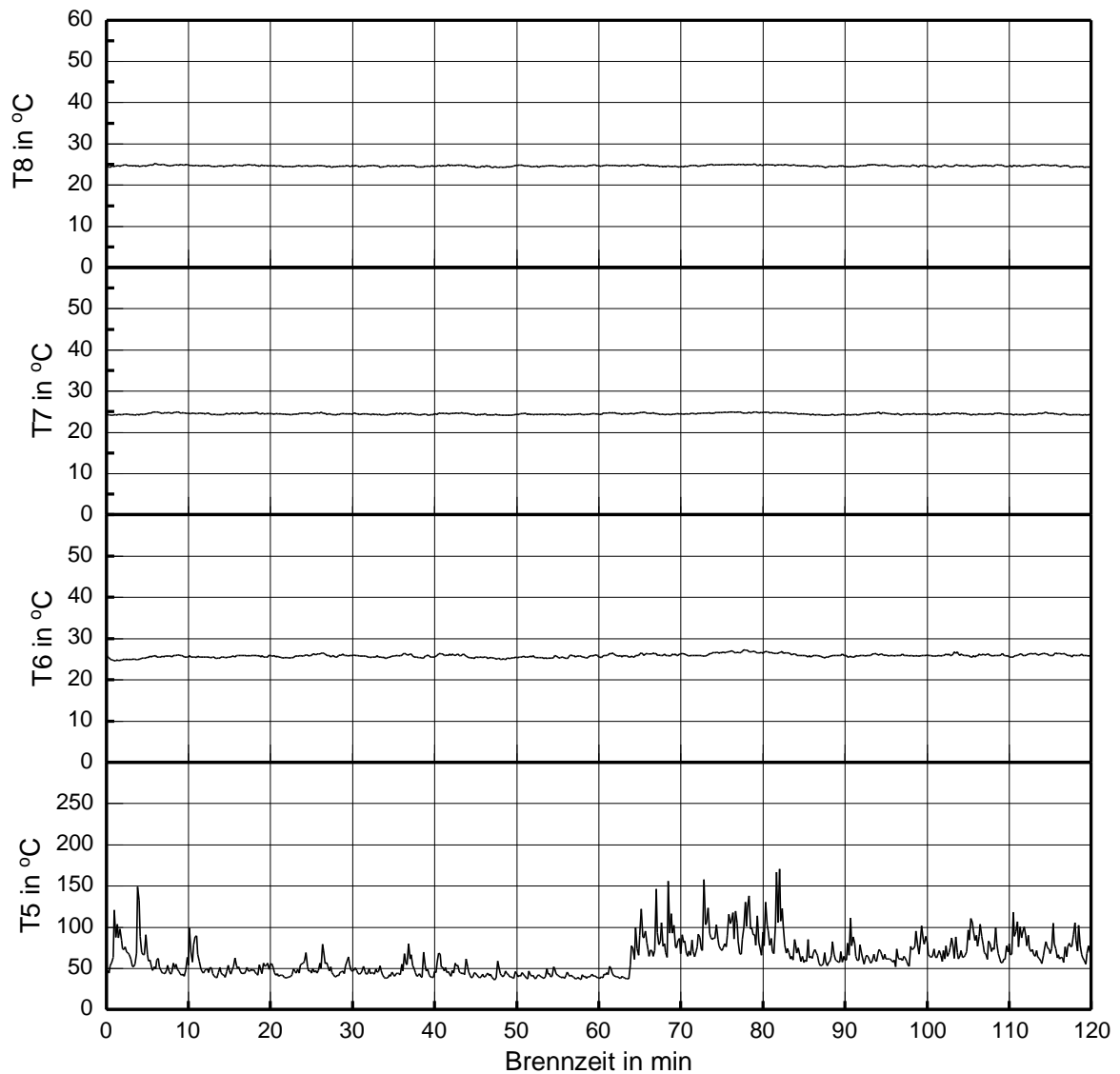


Abb. 10: Brennende Bienenwachskerze mit Thermoelementen während der Messung



SAS_BIEWA1

Abb. 11: Temperaturen senkrecht über einer Bienenwachskerzenflamme in Abständen von 1 cm, 5 cm, 10 cm und 20 cm zur Flammenspitze



SAS_BIEWA2

Abb. 12: Temperaturen waagrecht neben einer Bienenwachskerzenflamme in Abständen von 1 cm, 5 cm, 10 cm und 20 cm zur Flammenspitze

3.3. Ergebnisse mit der Wärmebildkamera

Die Messungen wurden jeweils für wenige Sekunden mit 4 Temperaturbereichen durchgeführt. Da durch die Kamera nur Infrarotemissionen gemessen werden, können durch Materialien mit hohen Emissionskoeffizienten gegenüber Luft (z.B. Rußteilchen der Kerzenflamme) Verfälschungen auftreten. Die Paraffin- und Bienenwachskerzen rußten deutlich stärker als die Stearinkerze.

Die Thermogramme sind im Original ca. (600 x 600) mm groß.

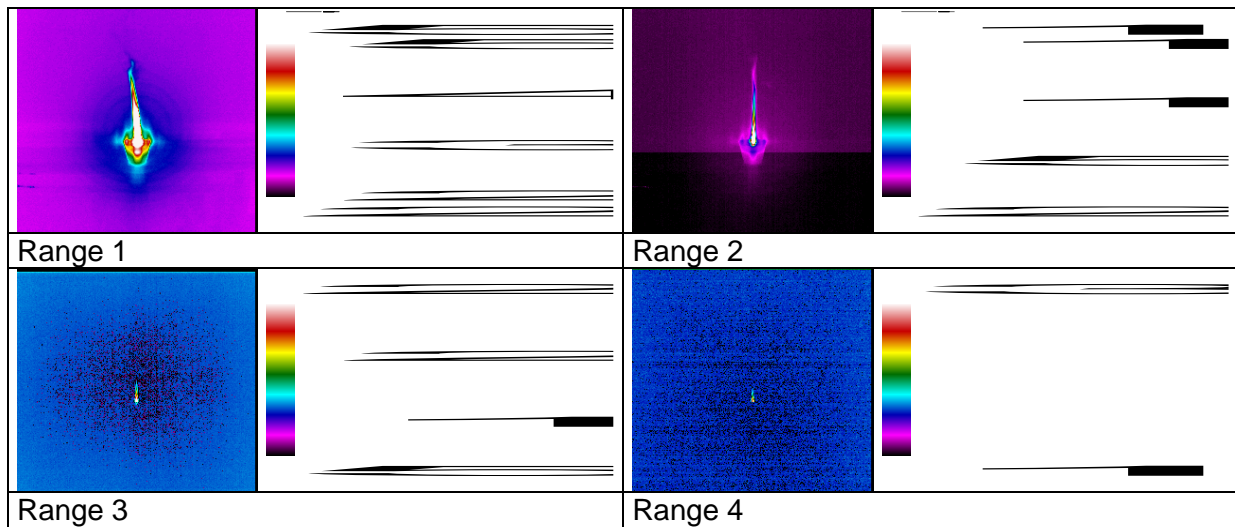


Abb. 13: Wärmebildaufnahmen der Stearinkerze, Nr. 1

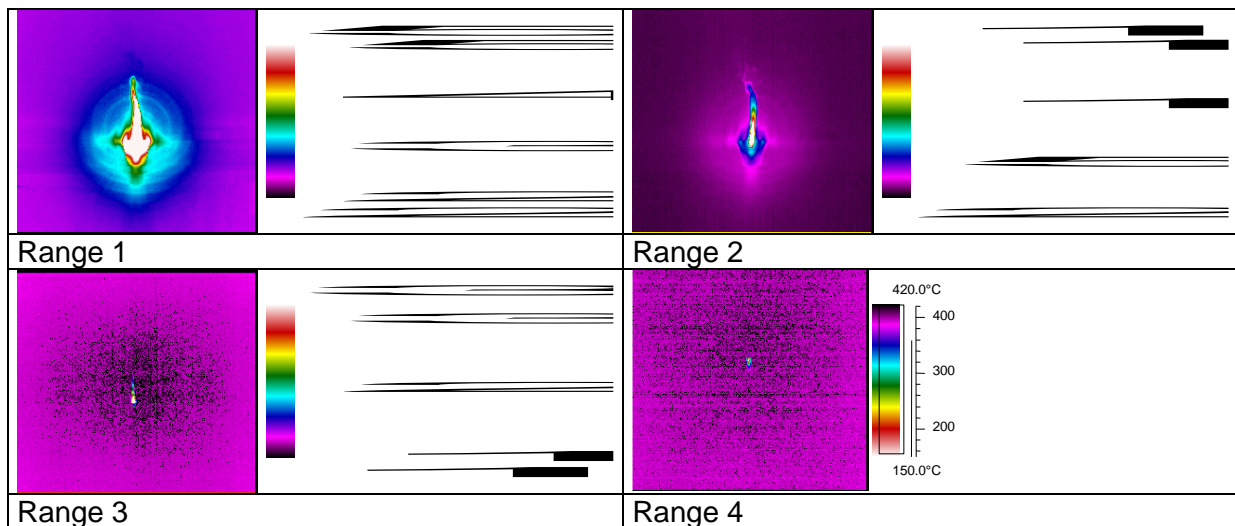


Abb. 14: Wärmebildaufnahmen der Paraffinkerze, Nr. 2

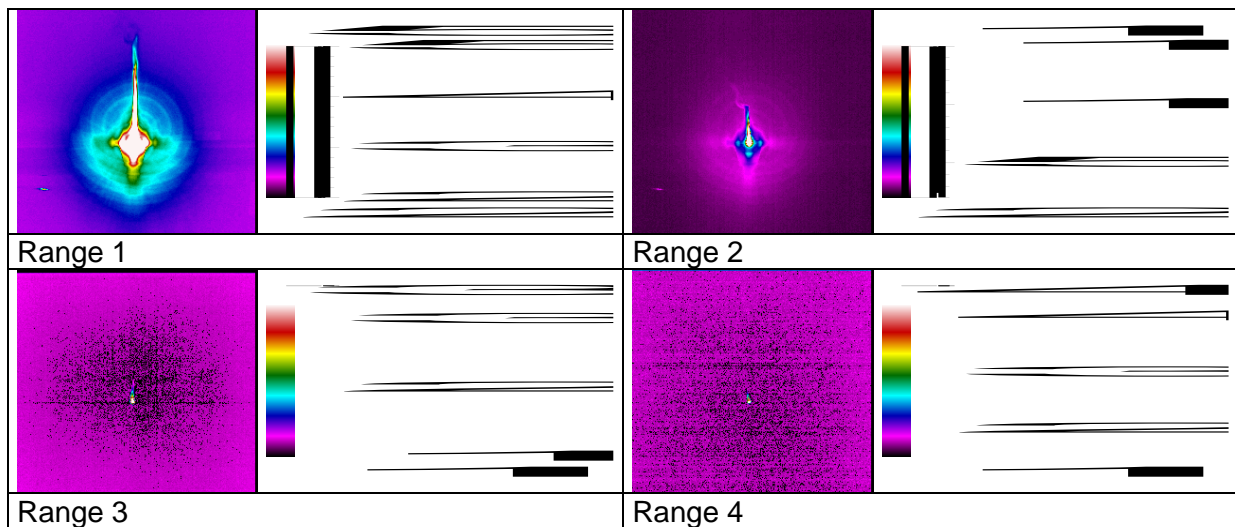


Abb. 15: Wärmebildaufnahmen der Bienenwachskerze, Nr. 3.

4. Bewertung der Ergebnisse

Die direkte Temperaturmessung mit Mantelthermoelementen an den Kerzenflammen liefert gegenüber Wärmebildaufnahmen zuverlässigere Ergebnisse. Die Dicke der Mantelthermoelemente (0,5 mm und 1,5 mm) wurden so gewählt, dass unter den jeweiligen Messbedingungen nur vergleichsweise geringe Verfälschungen der Messwerte durch Wärmeableitung bzw. thermische Trägheit zu erwarten sind. Die „wahren“ Temperaturen, insbesondere die Temperaturen direkt in der Kerzenflamme sind jedoch noch etwas höher zu erwarten. Hier können aufgrund der sehr großen Temperaturgradienten im Flammenrandbereich auch beim Einsatz dünner Thermolemente Messfehler auftreten.

Bei den Messungen nach Abschnitt 2.2 traten durch die ungleichmäßige Strömung der heißen Verbrennungsgase Temperaturschwankungen auf.

Für Aufnahmen mit der Wärmebildkamera sind möglichst gleich emittierende Materialien (ähnliche Emissionskoeffizienten) erforderlich. Nur dann lassen sich den gemessenen Strahlungen Temperaturwerte sicher zuordnen. Dies ist bei Kerzenflammen (erhitzte Gase wie Luft, CO₂ und feste Russteilchen) nicht der Fall. Trotzdem liefern die Wärmebildaufnahmen eine Aussage zur räumlichen Gestalt des Temperaturfeldes um die brennende Kerze.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt interpretieren:

- Der zeitbezogene Brennstoffverbrauch war bei der Paraffinkerze am höchsten, gefolgt von Stearin und Bienenwachs. Dies entsprach der durchschnittlichen Flammengröße der Kerzen.
- Die Temperaturen in der Brennschüssel sind weitgehend homogen und materialspezifisch. Lediglich beim Bienenwachs wurde eine größere örtliche Temperaturabhängigkeit in der Brennschüssel gemessen.
- Die höchsten Temperaturen sind bei allen Kerzen an der Spitze der gelben Flammenzone, in der Mitte der gelben Zone und am Rand der gelben Zone gemessen worden.

