

---

# Materialien

---

Nr. 8

Vermeidung von Bunkerbränden  
in Abfallverbrennungsanlagen  
mit Hilfe der  
Infrarot-Thermographie



Landesumweltamt  
Nordrhein-Westfalen

---

---

# Materialien

---

Nr. 8

Vermeidung von Bunkerbränden  
in Abfallverbrennungsanlagen  
mit Hilfe der  
Infrarot-Thermographie

---

Essen 1995

---

**IMPRESSUM:**

Herausgegeben vom  
Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6 • 45133 Essen • Telefon (02 01) 79 95 - 0

ISSN 0947-5206

**Autoren: Dipl.-Ing. Wolfgang von Borries und Dipl.-Ing. Helga Katzer**

Gedruckt auf 100 % Altpapier ohne Chlorbleiche

# Vorwort

Im Aufgabenbereich der Anlagensicherheit werden genehmigungsbedürftige Anlagen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz hinsichtlich ihres Gefahrenpotentials für die Umwelt beurteilt. Neben der Beurteilung der Anlagensicherheit unter Zugrundelegung der Störfall-Verordnung werden zu besonderen Problematiken auch Lösungswege aufgezeigt, mit deren Hilfe die Anlagensicherheit verbessert werden kann. Dabei erfolgt eine Zusammenarbeit zum Beispiel mit Hochschulen, Technischen Überwachungsvereinen, Betreibern, Ingenieurbüros und Herstellern sowie Vertreibern von speziellen Bauteilen.

In dem hier vorliegenden Bericht wird über ein Vorhaben berichtet, bei dem ein Müllbunkerüberwachungssystem entwickelt wurde, mit dem Bunkerbrände verhindert oder in frühem Stadium erkannt werden können und das dadurch zu einer Verbesserung der Anlagensicherheit in Abfallverbrennungs- bzw. Abfallbehandlungsanlagen beiträgt.

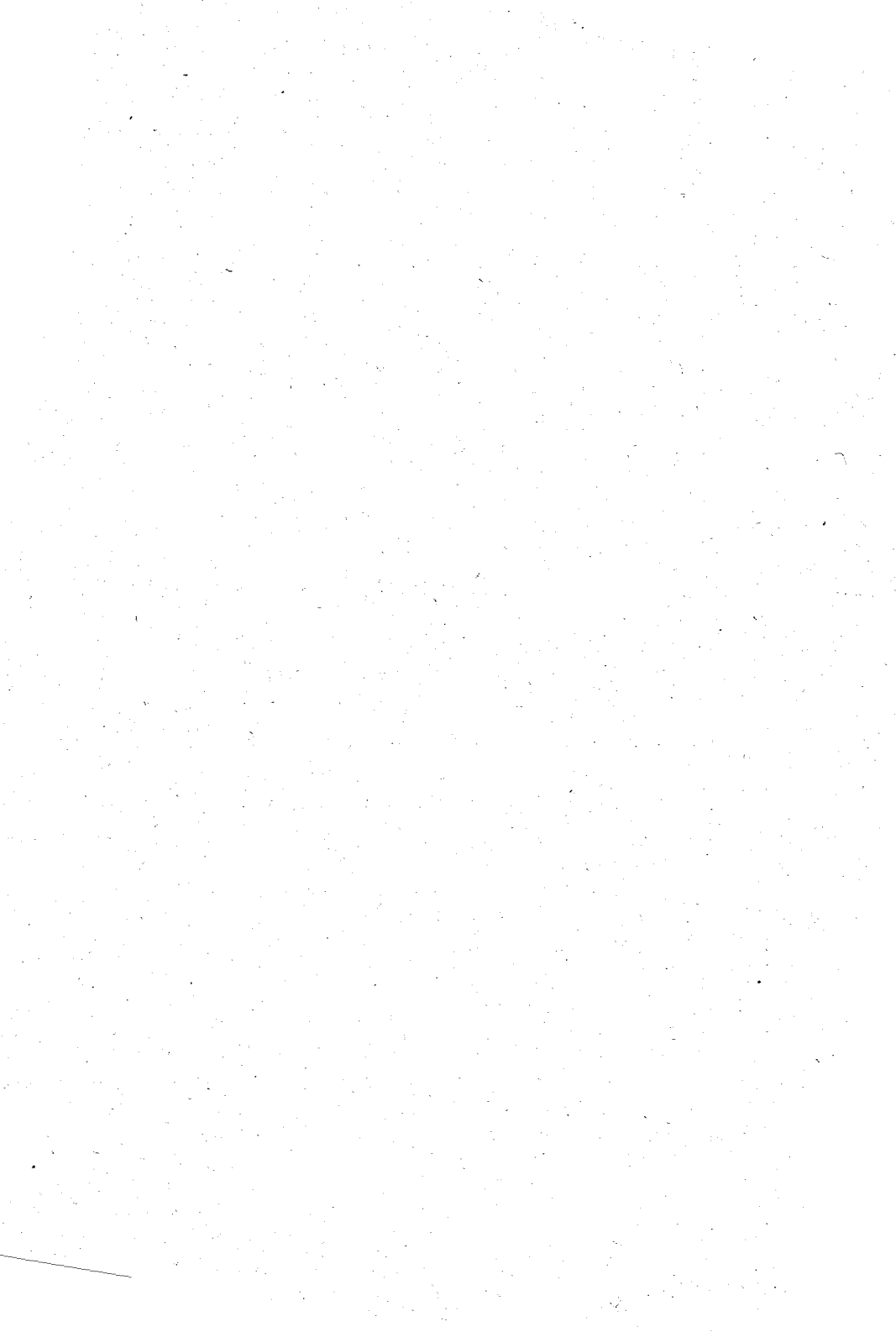
Mein Dank gilt allen, die an dem Forschungsvorhaben mitgewirkt haben, besonders den Betreibern der Müllverbrennungsanlagen in Bielefeld und Oberhausen, die ihre Anlagen und auch ihr Personal zur Verfügung stellten sowie der Firma Höratron GmbH, die das Überwachungssystem entwickelte und der Firma Beratungsgesellschaft dienstleistender Unternehmen mbH (BDL), Gladbeck, die das Forschungsvorhaben in weiten Teilen projektiert und begleitet hat.

Ich hoffe, daß dieser Bericht Anregungen dazu gibt, den Themenbereich zielführend fortzuentwickeln.

Essen, im März 1995



Dr. Ing. Harald Irmer  
Präsident des  
Landesumweltamtes NRW



# Inhaltsverzeichnis

Seite

|  |    |
|--|----|
| <b>Zusammenfassung</b>   | 7  |
| <b>Summary</b>   | 8  |
| <b>1. Einleitung</b>   | 9  |
| <b>2. Grundlagen der Infrarot-Meßtechnik</b>                     | 9  |
| 2.1 Auswahl eines geeigneten IR-Meßbereiches                     | 9  |
| 2.2 Aufbau von Thermographiekameras                              | 12 |
| 2.3 Prinzip der Brandfrüherkennung                               | 12 |
| <b>3. Versuche mit Thermographiesystemen in einem Müllbunker</b> | 15 |
| 3.1 Phase 1 des Forschungsvorhabens                              | 16 |
| 3.1.1 Beschreibung der eingesetzten Thermographiesysteme         | 16 |
| 3.1.2 Versuchsanordnungen  | 17 |
| 3.1.3 Versuchsergebnisse   | 20 |
| 3.2 Phase 2 des Forschungsvorhabens                              | 24 |
| 3.2.1 Versuchsanordnung  | 25 |
| 3.2.2 Versuche mit einer stickstoffgekühlten Kamera              | 27 |
| 3.2.3 Versuche mit einer thermoelektrisch gekühlten Kamera       | 28 |
| 3.2.4 Versuchsergebnisse   | 29 |
| 3.3 Phase 3 des Forschungsvorhabens                              | 30 |
| 3.3.1 Jahrestemperaturprofil                                     | 31 |
| 3.3.2 Tagestemperaturprofil                                      | 32 |
| 3.3.3 Temperaturverlauf im Querschnitt einer Müllwand            | 36 |
| 3.3.4 Weitere Untersuchungsergebnisse                            | 37 |
| <b>4. Anforderungen</b>  | 38 |
| 4.1 Zielsetzung  | 38 |
| 4.2 Grundfunktionen  | 38 |
| 4.3 Kennwerte für den Infrarotsensor                             | 41 |
| 4.4 Aufstellung  | 41 |
| 4.5 Verfügbarkeit  | 42 |
| 4.6 Prüfung durch Sachverständige                                | 42 |

|  |               |
|--|---------------|
| <b>5. Anwendungsbeispiele</b>  | <b>43</b>     |
| 5.1 Das Infrarot-Müllbunkerüberwachungssystem IMUS                         | 43            |
| 5.1.1 Überwachungsfunktion (Automatikmodus)                                | 45            |
| 5.1.2 Weitergehende Funktionen   | 46            |
| 5.1.3 Betriebssicherheit   | 47            |
| 5.2 Weitere Müllbunkerüberwachungssysteme                                  | 48            |
| 5.2.1 Thermographisches System zur Bunkerbrandfrüherkennung für Müllbunker | 48            |
| 5.2.2 Brandüberwachung und Erleichterung der Brandbekämpfung im Müllbunker | 49            |
| 5.2.3 Anmerkungen  | 49            |
| <br><b>6. Ausblick/Weiterentwicklungen/Anwendungsbereiche</b>              | <br><b>49</b> |
| <br><b>Literatur</b>   | <br><b>52</b> |

# **Vermeidung von Bunkerbränden in Abfallverbrennungsanlagen mit Hilfe der Infrarot- Thermographie**

Wolfgang von Borries und Helga Katzer

## **Zusammenfassung**

Aus Gründen des Immissions- und des Arbeitsschutzes ist die Freisetzung von Schadstoffen aus einer unkontrollierten Verbrennung bzw. Verschwelung von Abfällen zu vermeiden. Es ist daher vor allem in den Bunkern von Abfallverbrennungs- und -behandlungsanlagen erforderlich, vorbeugende Maßnahmen zu treffen, um die Entstehung von Bränden weitestgehend zu verhindern bzw. Brände in einem frühen Stadium zu erkennen.

Die Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen (seit April 1994 Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen) hat im Rahmen eines Forschungsvorhabens nach Möglichkeiten gesucht, brandinitiierende Ereignisse (lokale Erwärmungen) in den Bunkern von Abfallverbrennungsanlagen so frühzeitig zu erkennen, daß ein Brand noch verhindert werden kann. Zu diesem Zweck sind übliche Branderkennungssysteme, wie z.B. Rauchmelder, nicht geeignet, da ein Rauchmelder erst nach der Entstehung eines Brandes ansprechen kann. Die derzeit einzige Möglichkeit, entstehende und vorhandene Glimmnester zu detektieren, besteht in einer berührungslosen Temperaturmessung an der Abfallobersfläche; unzulässige Erwärmungen der Abfallschüttung werden damit erkannt.

Es wurde ein auf Infrarottechnik basierendes Überwachungssystem entwickelt, das eine automatisierte Überwachung von Müllbunkern ermöglicht. Des weiteren wurden Informationen über die üblichen Bunkertemperaturen gesammelt, um weiterführende Kenntnisse zur optimalen Festlegung von Temperaturgrenzwerten zu gewinnen.

Dieser Bericht zeigt den Verlauf der Entwicklung mit den dabei gewonnenen Erkenntnissen auf und beinhaltet einen Anforderungskatalog für Überwachungssysteme in Bunkern von Abfallverbrennungsanlagen. Er soll all denjenigen Hilfestellung geben, die sich mit der genannten Thematik befassen müssen. Dies sind Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden, Betreiber, Anlagenplaner, Sachverständige und nicht zuletzt Versicherungen.



## **Summary**

### **The Use of Infrared Thermography to Avoid Bunkerfires in Refuse Incineration Plants**

Due to immission and work safety reasons protective measures must be adopted so that fire in waste bunkers can be avoided, for uncontrolled burning or smoldering releases harmful substances.

The North Rhine-Westphalia State Agency for Air Pollution Control and Noise Abatement (since april 1994 North Rhine-Westphalia State Environment Agency) researched for ways to detect spots of temperature rise in waste bunkers of refuse incineration plants. A computer aided detection system based on infrared technology was developed for automatic monitoring of waste bunkers. Normal bunker temperature data is collected in order to establish the maximum permissible temperatures.

The report presents the results of the research program as well as a catalogue of requirements for monitoring systems and shall provide help to those who must deal with the above mentioned subject.

## **1. Einleitung**

Im Abfall, einem inhomogenen Gemisch der verschiedensten Stoffe, können bedingt durch chemische Vorgänge Glimmnester bzw. Schwelbrände entstehen. Durch die Art der Lagerung, üblicherweise als hohe Aufschüttung (Müllwand) entlang einer Bunkerwand über längere Zeit, wird die Bildung solcher Vorgänge noch unterstützt. Des weiteren ist es möglich, daß Glimmnester bei der Anlieferung des Abfalls schon vorhanden sind und beim Abkippen in den Bunker nicht entdeckt werden. Diese Glimmnester können sich sehr schnell zu einem Brand ausweiten und als Gefahr für die ganze Anlage erweisen, wenn sie plötzlich, z.B. durch Aufreißen mit dem Greifer, mit genügend Sauerstoff in Berührung kommen. Dabei besteht die Gefahr, daß störfallrelevante Stoffe freigesetzt werden, wodurch sich ein Brand zum Störfall mit einer Gefährdung der Allgemeinheit ausweiten kann [1].

Die siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (17.BImSchV) [2] nennt in § 3 emissionsbezogene Anforderungen an die Anlieferung und Zwischenlagerung der Einsatzstoffe. Anlagen für die Verbrennung von festen Einsatzstoffen sind mit einem Bunker auszurüsten. Diese sind zur Früherkennung von Bränden in geeigneter Weise zu überwachen, insbesondere mit Einrichtungen zur automatischen Brandüberwachung (Abs. 1, 2).

## **2. Grundlagen der Infrarot-Meßtechnik**

Jeder Körper, dessen Temperatur oberhalb von Null Kelvin liegt, gibt an seine Umgebung Energie in Form von Strahlung ab. Da die abgegebene Energiemenge bzw. Strahlungsintensität eine Funktion der Körpertemperatur ist, kann durch Messung der Strahlung die Temperatur des Körpers bestimmt werden.

### **2.1 Auswahl eines geeigneten IR-Meßbereiches**

#### **Ausnutzung des Energiemaximums:**

Wenn man die abgegebene Strahlung in Abhängigkeit von ihrer Wellenlänge aufträgt, ergibt sich für eine bestimmte Wellenlänge ein Maximum der Energieabstrahlung, das sich mit kleineren Temperaturen zu größeren Wellenlängen verschiebt. Bei Raumtemperatur liegt dieses Energiemaximum bei einer Wellenlänge von ca. 10  $\mu\text{m}$ . Dadurch ist diese Wellenlänge für Messungen bei Umgebungstemperaturen geeignet.

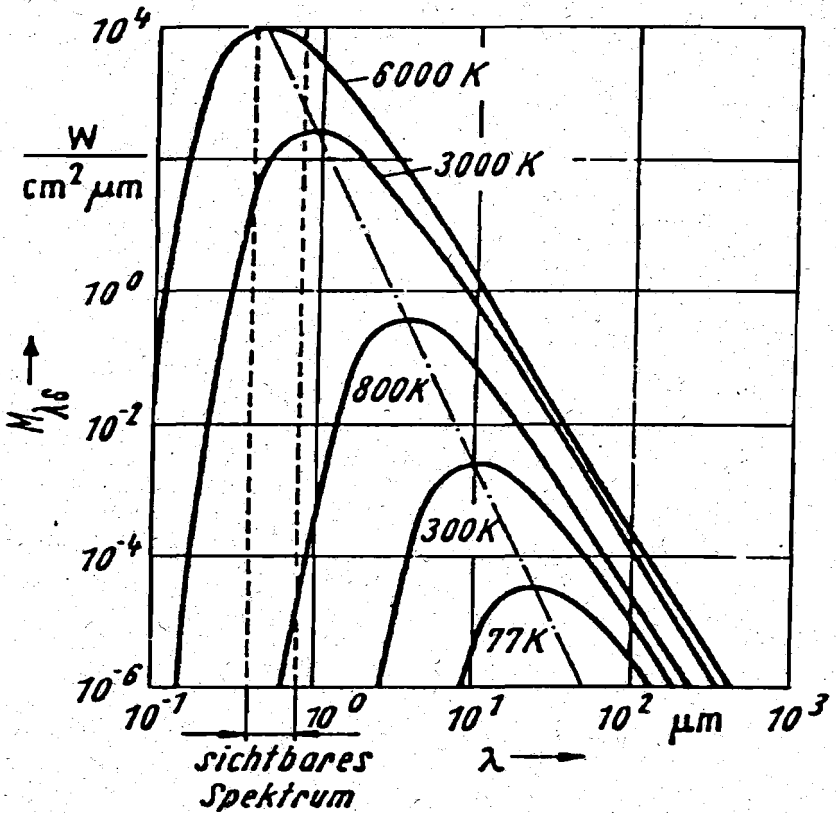


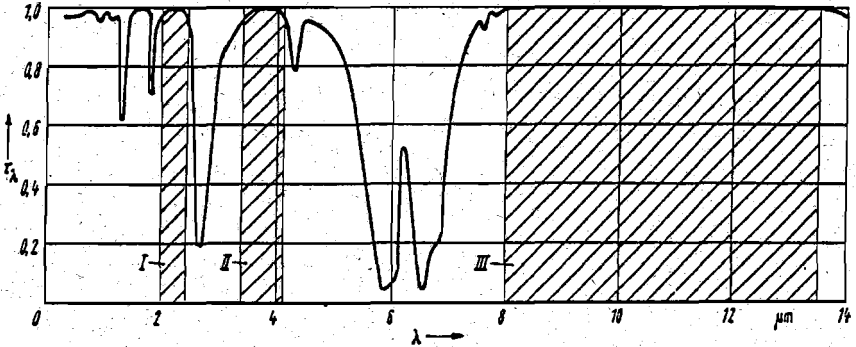
Bild 1: Plancksches Strahlungsgesetz [6]

### Verminderung von Reflexionen:

Gemäß der PLANCK-Funktionen in Bild 1 verschiebt sich die maximale IR-Energie, die ein Körper abstrahlt, zu kurzen Wellenlängen, wenn die Objekttemperatur steigt. Wie Bild 1 zeigt, liegt das Maximum der abgestrahlten Energie bei Umgebungstemperatur (27 °C) bei ca. 10  $\mu\text{m}$ . Das Strahlungsmaximum der Sonne (> 5727 °C) liegt z.B. bei ca. 0,5  $\mu\text{m}$ . Durch Integration der Fläche unter der Kurve kann ein sogenanntes Kontrastverhältnis zwischen Umgebungs- und Sonnenstrahlung bestimmt werden. Dabei ist dieses Kontrastverhältnis um mehr als 1200mal für den kurzwelligen Spektralbereich größer, als für den langwelligen. Das ist die Ursache dafür, daß man "falsche" heiße Stellen mit kurzwelligen Systemen finden kann, wenn man metallische oder keramische Komponenten unter Einfluß von Sonnenlicht oder anderen heißen Strahlern (z.B. Hg-Lampen) thermographiert.

## Einfluß der Atmosphäre:

Ein weiterer Grund für die Auswahl einer für eine Temperaturmessung geeigneten Wellenlänge liegt in der Durchlässigkeit der Luft für thermische Strahlung, die nur in bestimmten, in Bild 2 schraffiert dargestellten, Wellenlängenbereichen hinreichend durchlässig und von der Zusammensetzung der Luft (z.B. Wassergehalt) weitgehend unabhängig (Bereich III) ist.



**Bild 2:** Transmissionsgrad einer 10 m langen Meßstrecke in Luft bei 1013 mbar, 25 °C, 85 % Feuchte [6]

Wenn man den Transmissionsgrad über der Wellenlänge aufträgt (Bild 2), kann man erkennen, daß in dem langwelligen Spektralbereich praktisch kein Einfluß der Atmosphäre festzustellen ist, während im 3- bis 5- $\mu\text{m}$ -Bereich deutliche Absorptionsbanden bei 2,7 und 4,3  $\mu\text{m}$  auftreten. Bildet man eine Gesamttransmission in beiden Wellenlängenbereichen unter Berücksichtigung aller Effekte, so erhält man einen Wert von ca. 99 % für den langwelligen und 83 % für den kurzwelligen Spektralbereich.

Wird die Entfernung oder die Umgebungstemperatur erhöht, sinkt die mittlere Transmission in beiden Bereichen proportional. Bei Erhöhung der Luftfeuchte oder des  $\text{CO}_2$ -Anteils wirkt sich dies im kurzwelligeren Bereich stärker aus, da sich die bereits vorhandenen Absorptionsbanden ausdehnen.

Es ergibt sich ein geeigneter Bereich der Wellenlänge von ca. 8 bis 14  $\mu\text{m}$ , der auch von den im Forschungsvorhaben eingesetzten Infrarotkameras genutzt wird.

## 2.2 Aufbau von Thermographiekameras

Im folgenden werden die wichtigsten Baugruppen einer Infrarotkamera erläutert:

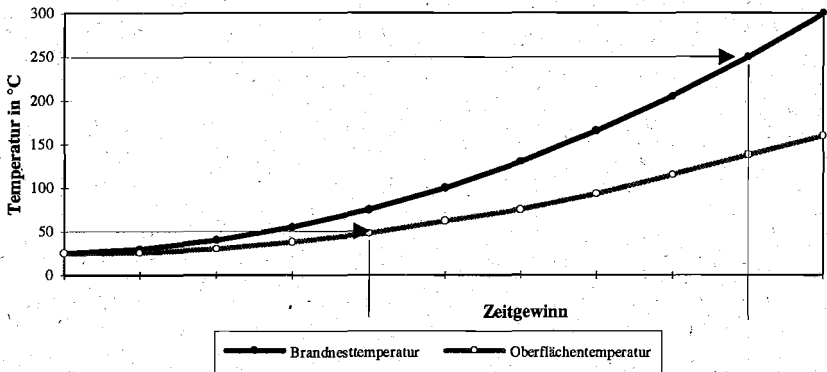
- **Optik**  
Eine Fokulinse dient wie bei herkömmlichen Foto- oder Videogeräten der Scharfeinstellung auf die Meßentfernung. Damit wird die Temperaturmessung unabhängig von der Entfernung zwischen Kamera und zu messendem Objekt.
- **Filter**  
Mit dem verwendeten Filter wird der Wellenlängenbereich gewählt, und somit der Anteil der Strahlung, der gemessen werden soll.
- **Scanner**  
Der Scanner realisiert die mechanische Abtastung des Bildes. Dieses ist notwendig, um mit Hilfe eines Ein-Element-Detektors ein flächiges Bild erstellen zu können.
- **Detektor**  
Am Detektor erfolgt die Umwandlung der auftretenden Strahlungsenergie in elektronische Signale.
- **Kühlung**  
Um störende Einflüsse zu verringern, muß der Detektor möglichst weit unterhalb der Umgebungstemperatur arbeiten. Die Kühlung kann mit verschiedenen Methoden durchgeführt werden:
  - Thermoelektrische Kühlung, max. Kühltemperatur  $-90\text{ °C}$  (Peltierelemente)
  - Joule-Thomson-Kühlung ( $\text{N}_2$ ), max. Kühltemperatur  $-196\text{ °C}$
  - Stirling-Kühlung (Helium), max. Kühltemperatur  $-190\text{ °C}$

## 2.3 Prinzip der Brandfrüherkennung

Der Begriff "Brandfrüherkennung" ist im eigentlichen Sinne nicht präzise, da es primär um die Detektierung einer dem Brand vorausgehenden lokalen Erwärmung in der Abfallschüttung geht. Ein zutreffenderer Begriff wäre "Erwärmungs-Erkennungssystem".

Das wichtigste Ziel ist, die Entstehung eines Brandes zu verhindern. Eine Möglichkeit, Brandentwicklungen im Frühstadium zu erkennen, besteht in der kontinuierlichen Temperaturmessung auf der Abfallschüttung.

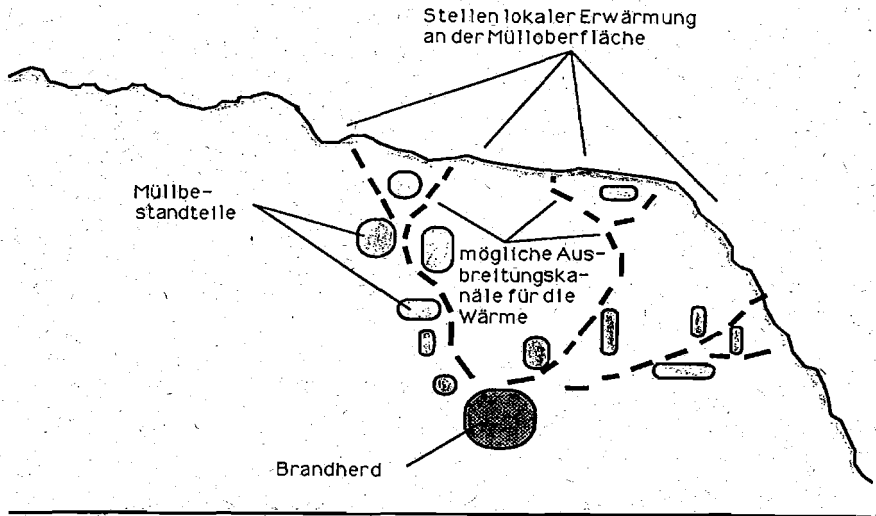
## Beispiel einer Temperaturentwicklung



**Bild 3: Qualitativer Temperaturverlauf über der Zeit bei der Entwicklung eines Glimmnestes**

Wenn der gesamte Bereich des Müllbunkers auf lokal erwärmte Stellen überwacht wird, ist es möglich, schon bei geringen Erwärmungen über die Normaltemperatur, z.B. bei 50 °C, durch Ausheben mit dem Müllgreifer an den entsprechenden Stellen eine Ausweitung der Gefahr zu verhindern. Dabei müssen die Löschmonitore vorsorglich auf die erwärmten Stellen ausgerichtet sein.

Durch den Zeitgewinn, der durch die Lokalisierung von wärmeren Stellen gegenüber der Erkennung von Rauch eines Glimmnestes bzw. Brandes entsteht, und durch rechtzeitiges Eingreifen ist es möglich, Brände zu verhindern.



**Bild 4: Wärmetransport in der Abfallschüttung**

Ein Nachteil bei der Temperaturmessung mit Infrarotgeräten liegt darin, daß die Temperaturen fester Körper bzw. Schüttungen von Festkörpern nur an der Oberfläche gemessen werden können. Bedingt durch den Wärmetransport in der Abfallschüttung können allerdings Rückschlüsse auf darunter liegende Schichten gemacht werden, da das Temperaturbild zeitverzögert und abgeschwächt an deren Oberfläche entsteht.

Die unterschiedliche Zusammensetzung und Schüttdichte des Abfalls hat Einfluß auf die Ausbildung der Wärmetransportkanäle, so daß ein Glimmnest nicht scharf abgebildet wird, sondern als Fläche mit eventuell mehreren Punkten erhöhter Temperatur dargestellt wird.

### 3. Versuche mit Thermographiesystemen in einem Müllbunker

Die Versuche mit Thermographiesystemen wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens durchgeführt. Das Forschungsvorhaben war in drei zeitlich nacheinander folgende Phasen aufgeteilt.

- ① Kipphalle
- ② Müllbunker
- ③ Krankanzel
- ④ Greiferkran
- ⑤ Aufgabeschacht

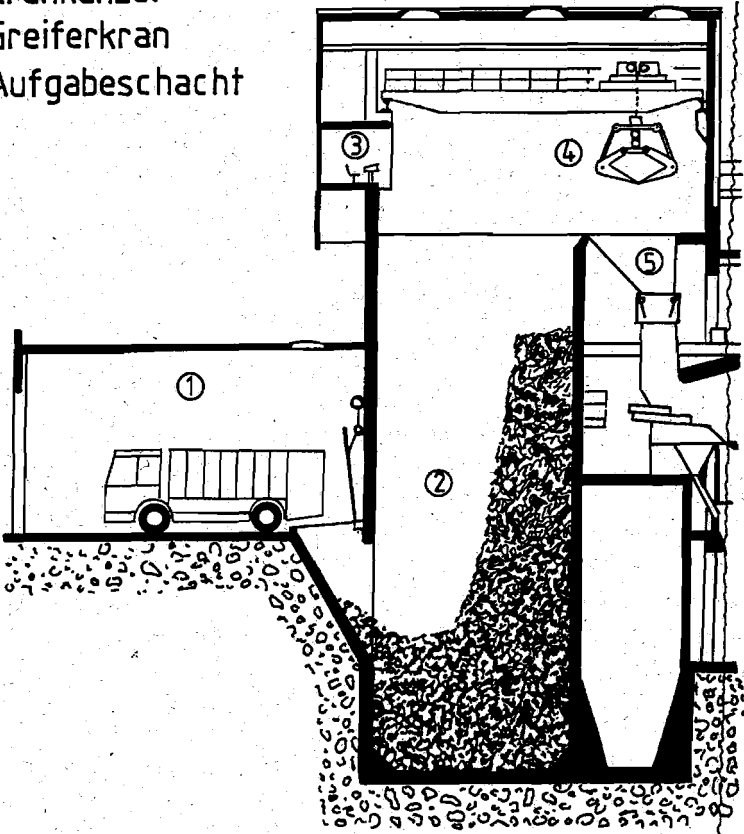


Bild 5: Schema eines Müllbunkers



### 3.1 Phase 1 des Forschungsvorhabens

In der Phase 1 des Forschungsvorhabens (1988) [3] sollte grundsätzlich festgestellt werden, ob die angenommene Theorie des Wärmetransportes zutreffend ist, und somit der Einsatz von IR-Geräten für die gestellte Aufgabe möglich ist. Dazu wurden in der Müllverbrennungsanlage Bielefeld grundlegende Versuche mit zwei verschiedenen Thermographie-Systemen gemacht.

#### 3.1.1 Beschreibung der eingesetzten Thermographie-Systeme

Bei den beiden eingesetzten Thermographie-Systemen handelte es sich um:

- Eine Wärmebildkamera des Typs Video-Therm 91 mit pyroelektrischer Bildaufnahme- und angeschlossener, DV-unterstützter Bildauswertung der Firma Hörotron GmbH, Elmshorn.

Der Einsatzbereich der Kamera lag bei Umgebungstemperaturen von -15 bis +45 Grad Celsius. Eine zusätzliche Kühlung der Kamera war in diesem Temperaturbereich nicht erforderlich. Der Temperaturmeßbereich betrug -30 bis +1100 Grad Celsius bei einer Auflösung von 0,15 Grad Celsius bezogen auf eine Objekt-Temperatur von 25 Grad Celsius.

Die Handhabung war der einer Video-Kamera vergleichbar. Durch einen schwenkbaren elektronischen Sucher konnte die Temperaturverteilung eines Meßobjektes in Form eines Schwarz-Weiß-Bildes betrachtet werden. Die Kamera konnte an einen Arbeitsplatzrechner (z.B. IBM-AT oder kompatibler Rechner) mit zusätzlichem Farbmonitor angeschlossen werden. Hierdurch ist eine Bildauswertung und Speicherung möglich. Desweiteren konnten die Bilder auf einem Video-Recorder gespeichert werden.

Die bislang erprobten Einsatzgebiete lagen in der Überwachung von elektrischen und mechanischen Systemen (z.B. Stromverteiler, Generatoren, Boilern, Öfen, Getrieben etc.), in der Untersuchung von (überwiegend) Isolationsfehlern im Bauwesen, teilweise bereits in der Feuerüberwachung und in der Auffindung von Personen und Geräten in verrauchten bzw. vernebelten Räumen.

- Das System SCANEX der Firma KHD Humbold Wedag AG, Köln.

Das System SCANEX wurde von der Firma KHD Humbold Wedag AG für die Außentemperaturüberwachung von Drehrohröfen entwickelt. Das System besteht aus einem Infrarotdetektor (Scanner) und einer Verarbeitungseinheit (DV-Rechner) mit angeschlossenem Bildschirmgerät und Drucker.

Das Meßprinzip beruht darauf, daß der Infrarot-Meßkopf einen Drehrohrmantel mit einer rotierenden Optik entlang der Ofenlängsachse abtastet (Linescan-Verfahren). Die ausgesandte Wärmestrahlung wird von einem Halbleiterdetektor empfangen und

in ein elektrisches Signal umgewandelt, welches zur Weiterverarbeitung an die Datenauswertungseinheit übertragen wird. Durch die hintereinander geschalteten Linescans kann eine Mantelabwicklung und somit ein Temperaturbild der gesamten Ofenoberfläche erstellt werden.

Das System ist für einen Meßbereich von 100 bis 600 Grad Celsius bei einer absoluten Meßgenauigkeit von wenigstens 5 Grad Celsius und einer thermischen Auflösung von 3 Grad Celsius konzipiert.

Da es sich bei dem hier beschriebenen Versuchsaufbau um ein statisches Meßobjekt handelte, konnte im Rahmen der Versuche noch kein Wärmebild wiedergegeben werden. Als Meßergebnis lag somit das Wärmediagramm eines Linescanners vor. Für die Versuche konnte die untere Meßgrenze auf 50 Grad Celsius gesenkt werden.

Zur Vermeidung von Fehlmessungen durch Verschmutzung des Meßkopfes war dieser mit zwei Referenztemperaturstrahlern ausgerüstet, deren Signale laufend zur automatischen Kalibrierung und Verschmutzungsüberwachung herangezogen wurden.

Neben der Überwachung von Drehrohröfen wurde das System bereits zur Überwachung eines Altreifenlagers eingesetzt.

### **3.1.2 Versuchsanordnungen**

Die beiden Thermographiesysteme konnten in dem Raum für die Feuerlöscheinrichtungen untergebracht werden. Durch das Öffnen der Tür zum Bunker war eine freie Sicht zur direkt unterhalb liegenden Plattform und somit zum weiteren Versuchsaufbau gewährleistet.

Um die Möglichkeiten der Früherkennung von Brandnestern und Bränden in Müllbunkern zu ermitteln, wurden im Zeitraum vom 22.08. bis 02.09.1988 drei Versuchsreihen durchgeführt. Diese lassen sich wie folgt beschreiben:

#### **Schichthöhenversuch**

Außerhalb des Müllbunkers wurde warme Luft erzeugt und diese mittels einer isolierten Rohrleitung auf die Plattform geleitet. Am Ende der Rohrleitung befand sich ein stabiler Luftaustrittskasten mit einer Meßsonde zur Temperaturkontrolle. Dieser Kasten wurde jeweils mit Abfallschichten von einer Stärke von 0,5 m überdeckt. Die maximale Schichthöhe sollte dabei 6 m betragen. Eine weitere Überdeckung wurde dann nicht mehr aufgebracht, wenn durch die oberhalb des Abfallhaufens angebrachten Thermographiesysteme kein Wärmeaustritt mehr erkennbar war (Bild 6). Im Rahmen dieser Versuchsreihe wurde die Luft auf Temperaturen zwischen 50 und 70 °C am

Austritt erwärmt. Eine Erhöhung dieser Temperatur war aus sicherheitstechnischen Gründen nicht möglich. Die Luftgeschwindigkeit in der Rohrleitung betrug im Mittel 3,5 m/s, was einer Geschwindigkeit von 0,11 m/s an dem Luftaustrittskasten entspricht.

Schematische Darstellung der Wärmequelle und -verteilung

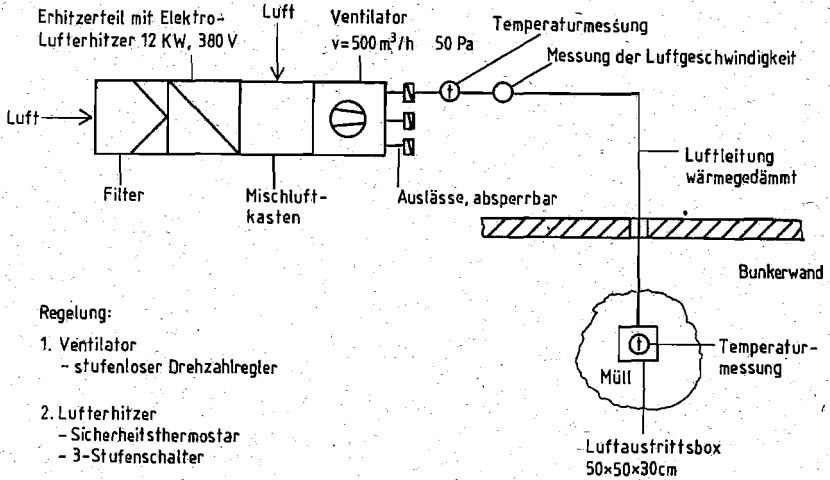
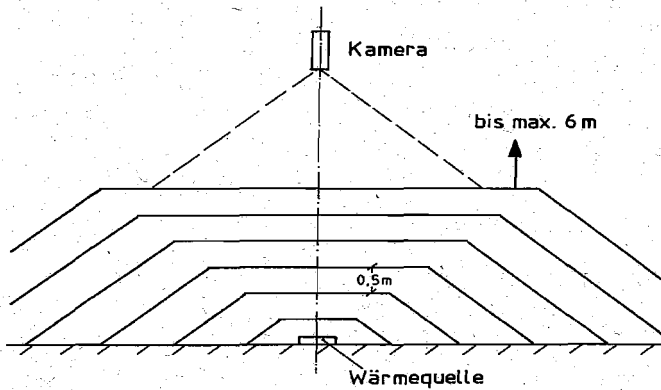


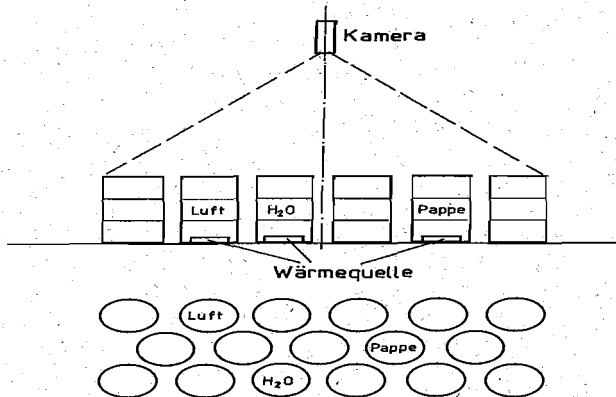
Bild 6: Schema der Versuchsanlage



**Bild 7: Schichthöhenversuch**

### Faßlagerversuch

Zur Simulation eines Faßlagers einer Sondermüllverbrennungsanlage wurden auf der Bunkerplattform mehrere Fässer aus unterschiedlichen Materialien gestellt. Drei dieser Fässer wurden mittels warmer Luft erwärmt. Hierbei war ein Faß unbesetzt, die beiden anderen Fässer waren jeweils mit Papier/Pappe bzw. mit Wasser gefüllt. Um die Erwärmung des mit Wasser gefüllten Fasses zu beschleunigen, wurde nach der Aufnahme einer Nullprobe zusätzlich vorgewärmtes Wasser hinzugegossen. Die Versuchstemperaturen betragen hierbei 50 bis 70 Grad Celsius.



**Bild 8: Faßlager**

## Hochtemperaturversuch

Wie bereits oben ausgeführt, durfte aus sicherheitstechnischen Gründen die Versuchstemperatur 70 Grad Celsius bei einer freien Abfallüberdeckung nicht überschreiten. Um die Auswirkungen einer höheren Temperaturquelle beurteilen zu können, wurden in einer auf der Plattform aufgestellten Metallbox mit den Abmessungen L 1,0 m x B 0,8 m x H 1,0 m zwei elektrisch beheizbare und geregelte Thermoelemente mit einer Leistung von insgesamt 450 W gegeben. Die beiden Thermoelemente wurden auf eine Temperatur von 250 Grad Celsius eingeregelt. Nach der Aufnahme einer Nullprobe wurde die Metallbox mit Abfall gefüllt und das sich entwickelnde Wärmebild von den oberhalb installierten Thermographiesystemen aufgenommen.

## Abfallarten

Um etwaige Schwankungen der Abfallzusammensetzung und die damit verbundenen Einflüsse auf die Wärmeausbreitung ausgleichen zu können, wurden für die Schichthöhenversuche und Hochtemperaturversuche ein Gemisch der Abfallarten

- Hausmüll,
- zerkleinerter Sperrmüll,
- Gewerbeabfall und
- gemahlener Hausmüll mit Klärschlamm

aus den jeweiligen Bunkersektionen genommen. Zu beachten ist hierbei, daß auch Abfälle mit unterschiedlichen Einlagerungszeiten sich in diesem Gemisch befanden. Da für die Schichthöhenversuche eine relativ große Abfallmenge benötigt wurde, waren die Durchmischungen der Abfallarten dementsprechend günstig.

Die jeweilige Grundtemperatur des Abfalls lag bei 18 bis 20 °C. Eine Ausnahme hierbei war das Gemisch aus gemahlenem Hausmüll und Klärschlamm. Die Grundtemperatur betrug ca. 40 Grad Celsius, so daß vor einer Verwendung dieser Abfallart ein Abkühlungszeitraum berücksichtigt werden mußte.

### 3.1.3 Versuchsergebnisse

Ein Einfluß der Abfallart und der Abfallzusammensetzung auf die Versuchsergebnisse konnte nicht nachgewiesen werden.

## Schichthöhenversuch

Ergebnisse Wärmebildkamera:

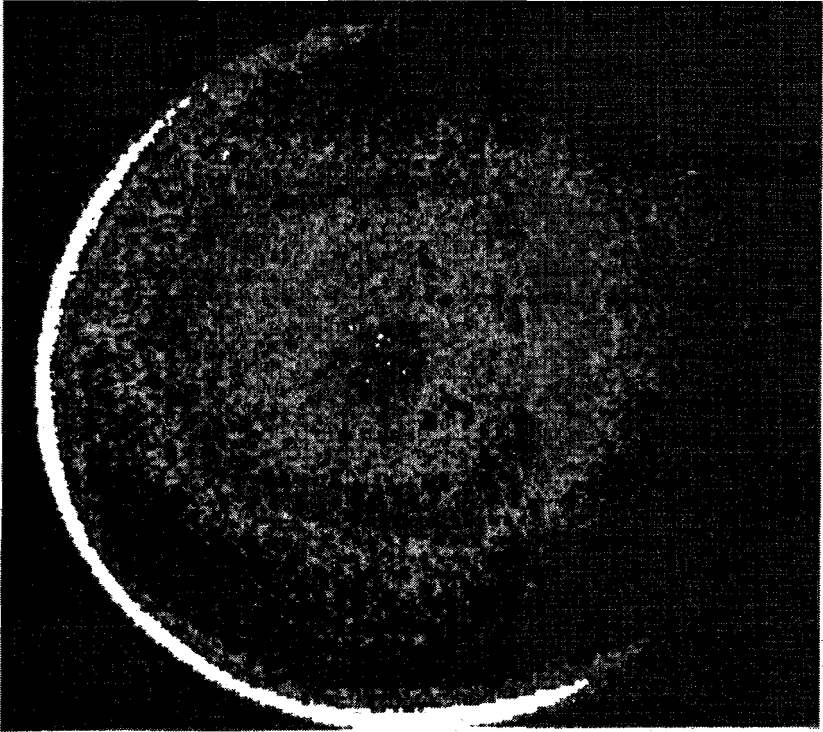
In Tabelle 1 sind die Versuchsergebnisse der Wärmebildkamera beim Schichthöhenversuch dargestellt. Aufgelistet sind jeweils die Abfallart, die Schichthöhe, die Zulufttemperatur und nach welcher Zeit ein Wärmeaustritt erkannt worden ist. Hierbei ist zu

beachten, daß die Entwicklung eines identifizierbaren Wärmefleckes nicht schlagartig, sondern in einem fließenden Prozeß abläuft.

**Tabelle 1: Erkennungszeiten**

| Vers.-Nr. | Abfallart                            | Abfallhöhe | Zulufttemperatur | Erkennungszeit nach             |
|-----------|--------------------------------------|------------|------------------|---------------------------------|
| 1/1.0     | Hausmüll mit hohem Grünabfall-Anteil | 0,75 m     | ca. 40 °C        | 25 min                          |
| 1/1.0     | Hausmüll mit hohem Grünabfall-Anteil | 1,00 m     | ca. 40 °C        | 15 min                          |
| 1/1.5     | Hausmüll mit hohem Grünabfall-Anteil | 1,30 m     | ca. 40 °C        | 15 min                          |
| 1/2.0     | Hausmüll mit hohem Grünabfall-Anteil | 1,90 m     | ca. 40 °C        | 50 min                          |
| 2/1.0     | Hausmüll feucht                      | 1,00 m     | ca. 60 °C        | 25 min                          |
| 2/1.5     | Hausmüll feucht                      | 1,40 m     | ca. 50 °C        | 30 min                          |
| 2/2.0     | Hausmüll feucht                      | 2,00 m     | ca. 55 °C        | 65 min                          |
| 3/1.0     | Hausmüll und Gewerbeabfall           | 0,50 m     | ca. 60 °C        | 20 min                          |
| 3/1.0     | Hausmüll und Gewerbeabfall           | 1,00 m     | ca. 63 °C        | 60 min                          |
| 3/2.0     | Hausmüll und Gewerbeabfall           | 2,00 m     | ca. 65 °C        | 20 min                          |
| 3/2.5     | Hausmüll und Gewerbeabfall           | 2,50 m     | ca. 65 °C        | 20 min                          |
| 3/3.0     | Hausmüll und Gewerbeabfall           | 3,00 m     | ca. 67 °C        | nach 95 min Versuch abgebrochen |

Eine direkte Abhängigkeit der Erkennungszeiten von angegebenen Parametern konnte nicht festgestellt werden. Bei einer maximalen Temperatur der Heißluftquelle von ca. 70 °C im Abfallhaufen konnte eine Erwärmung nach 15 bis 65 Minuten bei einer maximalen Abfallhöhe von 2,5 m festgestellt werden.



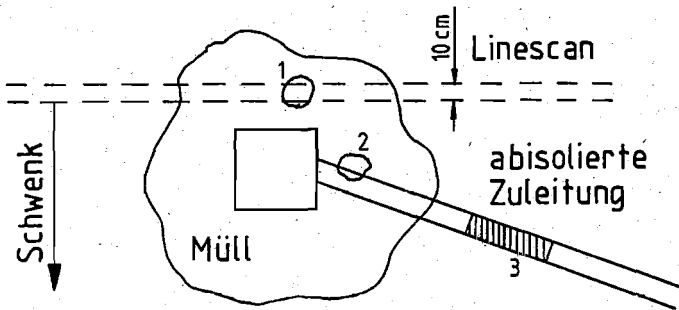
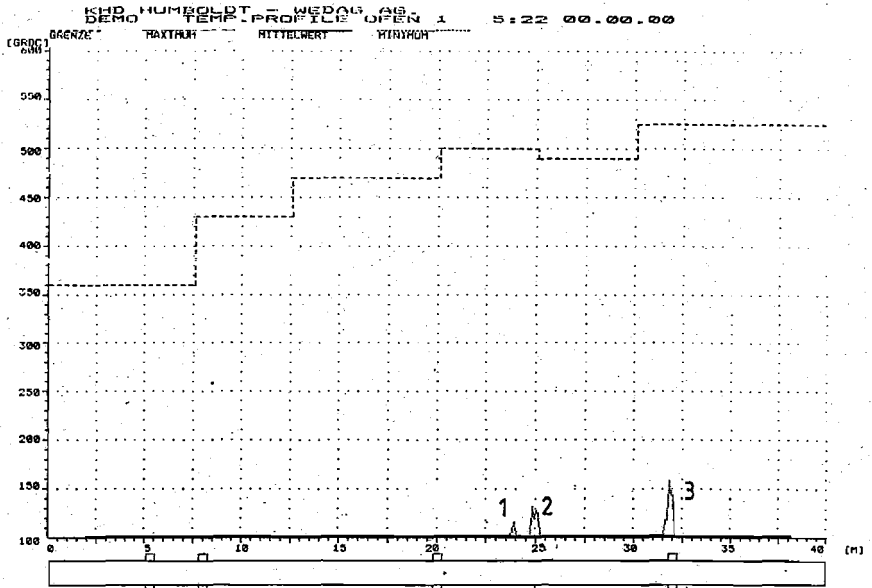
**Bild 9a:** Wärmebild bei einer Abfallüberdeckung von 1 m

Ergebnisse System Scanex:

Mit diesem System konnte nur das Wärmediagramm eines Linescans, der die Abfalloberfläche in einer Breite von ca. 10 cm abtastete, aufgenommen werden.

Daher wurde das System auf die Luftaustrittsbox eingestellt, bevor diese mit Abfall überdeckt wurde. Bei der Durchführung der Versuche zeigte sich jedoch, daß die Warmluftaustritte sich nicht unbedingt über der Luftaustrittsbox befinden mußten.

Eine manuelle Schwenkung des Meßobjektives über die gesamte Abfalloberfläche stellte sich wegen der großen Distanz von 15 m zwischen Meßobjektiv und Versuchsaufbau als problematisch dar und führte nur bei dem Versuch 3/1.0 zum gewünschten Ergebnis. Das aufgenommene Wärmediagramm ist in Bild 9b dargestellt.



**Bild 9b:** Wärmediagramm des Versuchs 3/1.0 bei einer Zulufttemperatur von 70 °C und 1 m Abfallüberdeckung



## **Faßlagerversuch**

Wie für den Schichthöhenversuch, ist auch für das Faßlager warme Luft außerhalb des Müllbunkers erzeugt und mittels dreier Rohrleitungen DN 50 den Fässern zugeleitet worden. Die Zulufttemperatur betrug 70 °C, die mittlere Luftgeschwindigkeit 5 m/s.

Beide Thermographiesysteme waren in der Lage, die Temperaturerhöhung anzuzeigen. Zusätzlich waren auf dem Wärmebild deutlich die Standorte der drei mit unterschiedlichen Medien gefüllten und erwärmten Fässer zu erkennen.

Im Gegensatz zu den Schichthöhenversuchen war das Faß, das durch das Einfüllen von heißem Wasser schlagartig erwärmt wurde, auch auf dem Thermobild sofort zu erkennen. Eine Zeitverzögerung tritt in diesem Falle nicht auf.

## **Hochtemperaturversuch**

Im Wärmebild der Wärmebildkamera war der erwärmte Abfall deutlich zu erkennen. Im Wärmediagramm des Systems SCANEX wurde die Temperaturerhöhung mit einem starken Peak angezeigt.

## **Diskussion der Versuchsergebnisse**

Aufgrund der systemspezifischen Eigenschaften der Wärmebildkamera und des Systems SCANEX ergaben sich Vor- und Nachteile für den praktischen Einsatz.

Durch die nahezu zeitgleiche Aufnahme und Wiedergabe lieferte die Wärmebildkamera ein permanentes Bild, das Veränderungen der Wärmeverteilung der betrachteten Fläche sofort wiedergab. Dieser Vorteil kann insbesondere bei der Überwachung der Müllanlieferung von Bedeutung sein, da hierdurch mitangelieferte heiße Gegenstände sofort erkannt und zur Brandvermeidung direkt in die Müllfeuerung gegeben werden können. Für das System SCANEX sprach aufgrund der im Müllbunker herrschenden Bedingungen dessen robustere Ausführung.

Für den praktischen Einsatz ist somit auch eine Koordinierung der Thermographiesysteme zur Überwachung bestimmter Teilbereiche des Müllbunkers denkbar.

Des Weiteren wurde in den Versuchen festgestellt, daß sowohl die Wärmebildkamera als auch das System SCANEX für die Überwachung eines Faßlagers geeignet sind. Die Erwärmung eines Fasses konnte eindeutig mit beiden Systemen erkannt werden.

## **3.2 Phase 2 des Forschungsvorhabens**

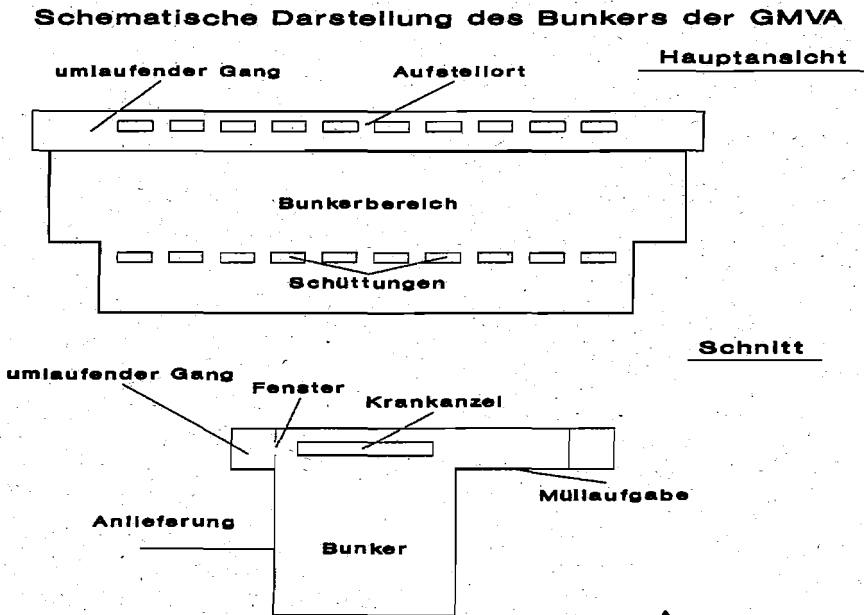
In der Phase 2 des Forschungsvorhabens (1990/1991) sollte ein System so weiterentwickelt werden, daß es in einem in Betrieb befindlichen Müllbunker installiert und als

**automatisches Überwachungssystem** eingesetzt werden kann. Damit sollten dann im Betrieb weitere Daten gesammelt werden, wie z.B. durchschnittliche Abfalltemperaturen als Orientierung, um Alarmpunkte festzulegen.

Für die weiteren Versuche wurde das Thermographiesystem der Firma Hörotron<sup>4</sup> mit Wärmebildkamera eingesetzt. Die Versuche wurden in der Gemeinschafts-Müllverbrennungsanlage (GMVA) Niederrhein in Oberhausen durchgeführt.

### 3.2.1 Versuchsanordnung

In einem Gang, der in Höhe der Krankkabinen um den Müllbunker verläuft, wurden die Geräte in der Mitte einer Längsseite des Bunkers aufgestellt.



**Bild 10:** Aufstellungsort

<sup>4</sup> HÖROTRON GmbH, 25336 Elmshorn

Die Geräte waren in einem transportablen Schaltschrank eingebaut, der vor einem Fenster zum Müllbunker aufgestellt wurde. In dem Schaltschrank waren folgende Geräte montiert:

- Fest installierte IR-Kamera
- Um zwei Achsen drehbares Spiegelsystem für die Abtastung des gesamten Bunkerbereiches
- Auswertungs- und Steuerungsrechner
- Monitor des Rechners

### Erster Versuchsaufbau

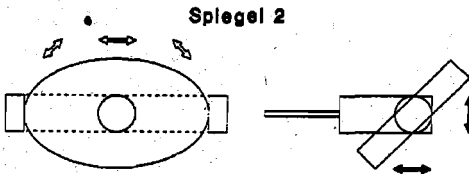
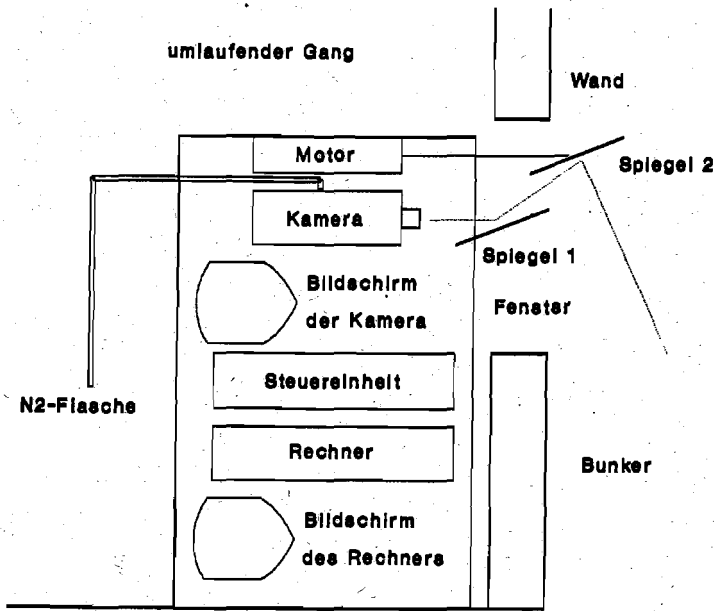


Bild 11: Versuchsaufbau

Bei den Versuchen im Rahmen der Phase I (1988) wurde eine Infrarotkamera des Fabrikats ISI, Videotherm 91 eingesetzt. Es handelte sich hierbei um eine Handkamera mit einem Meßbereich von  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Der Meßbereich kann allerdings nur dann abgedeckt werden, wenn die Blende der Kamera manuell verändert wird. Nach Erwägungen der Firma Hörotron konnte diese Kamera für die Durchführung der Versuche der Phase II nicht eingesetzt werden. Das ergab sich u.a. auch aus den Abmessungen des Bunkers der GMVA. Auch bei Einsatz von Weitwinkelobjektiven ist es nicht möglich, den gesamten Bunkerbereich durch eine Kamera einzusehen. Der Einsatz von mehreren Kameras wurde verworfen, da die Bildverarbeitung - Überlagerung von mehreren Bildern auf einem Monitor - und insbesondere die Meßwertauswertung nach Angaben der Firma Hörotron zu aufwendig sind.

### 3.2.2 Versuche mit einer stickstoffgekühlten Kamera

Bei der ersten Installation im Rahmen der Phase II wurde eine Kamera des Typs Inframetrics Modell 600 eingesetzt. Es handelte sich hierbei um eine Kamera mit einer Stickstoffkühlung. Der flüssige Stickstoff wurde hierbei aus einem Vorratsbehälter über einen Schlauch der Kamera zugeführt. Eine geschlossene Verbindung zwischen der Schlauchzuführung und der Kamera war hierbei nicht möglich, da die Nachfüllung von Stickstoff nur bei einem atmosphärischen Druck (offenes System) erfolgen kann. Dementsprechend entstehen zwangsläufig Stickstoffleckagen, da sich der Stickstoff an der offenen Übergabestelle verflüchtigt. Des weiteren kann die Stickstoffnachfüllung nur dann erfolgen, wenn die Kamera in einer festen, horizontalen Position verbleibt. Der Dauereinsatz von schwenkbaren Kameras, die mittels Stickstoff gekühlt werden, ist somit nicht möglich.

Von der Firma Hörotron wurde daher eine Hilfseinrichtung entwickelt, die aus einem festinstallierten und aus einem horizontal und vertikal schwenkbaren Spiegel bestand. Diese Spiegel wurden vor der Linse der Infrarotkamera angebracht und ein Spiegel durch Schrittmotoren bewegt. Die Steuerung der Spiegelbewegung erfolgte durch eine Automationseinheit, so daß der gesamte Bunkerbereich eingesehen werden konnte.

Im Zeitraum von April 1990 bis September 1990 wurde das Thermographiesystem in der GMVA erprobt und weiterentwickelt. Hierbei wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

- Zur Überwachung des gesamten Bunkerbereiches wurden zwei Spiegel vor die Kamera gesetzt. Hierbei kann ein Spiegel um zwei Achsen gedreht und somit der gesamte Bunkerbereich eingesehen werden.
- Die Bildauflösung der eingesetzten Kamera ist so hoch, daß einzelne Einrichtungen im Bunker, wie z.B. Krangreifer und -seile, Kranführerkanzel, Beleuchtungsanlagen, Leitungen und Abfallteile, erkannt werden.

- Aufgrund der optischen Gesetzmäßigkeiten ergeben sich bei der Aufnahme der Bunkerrandbereiche Bildverzerrungen. Eine Änderung des Meßsystems ist aber für die Versuchsdurchführung nicht erforderlich, da die räumliche Lage des Bildes weiterhin erkennbar ist.
- Die Leckagen an der Stickstoffkühlung waren größer als erwartet und führten in Verbindung mit der Staubschutzverkleidung zu Eisbildungen an der Kameraoptik.

Nachbesserungsarbeiten am Thermographiesystem führten zu dem Ergebnis, daß auf das anfällige Stickstoff-Kühlsystem verzichtet und eine Kamera eines anderen Herstellers, das mit anderer Kühlung arbeitet, eingesetzt werden sollte.

Des weiteren ergaben sich Änderungen im Bereich der Staubschutzmaßnahmen in der Form, daß auf eine Staubschutzhaube verzichtet wurde und das Fenster zum Bunker durch eine Folie verkleidet wurde. Auch wurde für die Versuchsdurchführung auf die Bereitstellung eines Monitors und eines Videorekorders in der Krankanzel verzichtet. Die Aufzeichnung von Thermographiebildern erfolgte im Ereignisfall über Diskettenspeicherung auf manuellen Abruf.

### **3.2.3 Versuche mit einer thermoelektrisch gekühlten Kamera**

Nach der Lieferung eines neuen Kameratyps und der Anpassung des Systems an die Versuchsanforderungen (z.B. Absoluttemperaturmessung, Änderung der Software für das automatische Aufzeichnen des Thermographiebildes beim Überschreiten des Grenzwertes) konnten erste Daten über die normalerweise im Müllbunker vorliegenden Temperaturen aufgenommen werden. Gleichzeitig sollte das System über einen längeren Zeitraum im 24-h-Betrieb getestet werden.

Im Zeitraum von Juni bis Juli 1991 wurde eine erste Versuchsreihe durchgeführt. Hierbei wurde das Thermographiesystem zweimal täglich kontrolliert und die ermittelten Temperaturen des im Bunker lagernden Abfalls in Listenform aufgezeichnet. Das eingesetzte Thermographiesystem unterstützte die folgenden Funktionen.

- Anzeige eines Thermographiebildes in der Form, daß Temperaturunterschiede in unterschiedlichen Graustufungen dargestellt wurden.
- Messung der Temperatur eines Punktes, der mittels eines Fadenkreuzes auf dem Monitor ausgewählt werden konnte.
- Auswahl eines Bildausschnittes und Ermittlung der mittleren, der minimalen und der maximalen Temperatur in einem Bildausschnitt

Die erste Versuchsreihe diente vorrangig dazu, die in einem Bunker vorherrschenden Temperaturen des gelagerten Abfalls und der Umgebungseinrichtungen zu ermitteln. Es wurde dementsprechend noch keine Alarmtemperatur vorgegeben.

Nach anfänglich guter Meßwertdarstellung durch das Thermographiesystem wurde festgestellt, daß die Anzeigefunktion beeinträchtigt und eine Meßwertaufnahme nicht mehr möglich war. Des weiteren hatte sich die Staubschutzvorrichtung am Fenster gelöst, so daß die gesamten Geräte sehr stark verstaubt und teilweise funktionsuntüchtig waren. Die Versuchsreihe zur Aufnahme der Grundtemperaturen mußte daher abgebrochen werden.

Daraufhin wurde der Versuchsaufbau hinsichtlich der vorgefundenen Mängel verbessert, so daß von Juli bis August 1991 eine zweite Versuchsreihe durchgeführt werden konnte. Hierbei wurden die gleichen Meßwerte wie in der ersten Versuchsreihe aufgenommen. Zusätzlich wurde eine Alarmtemperatur von 35°C vorgegeben. Bei Überschreitung dieser Alarmtemperatur sollte automatisch eine Bildlaufzeichnung auf eine Diskette erfolgen. Da in dem o. g. Zeitraum keine Temperaturüberschreitung festgestellt werden konnte, wurde diese Funktion durch Herabsetzen des Grenzwertes überprüft.

Im weiteren Verlauf der Versuche wurde festgestellt, daß nach einer ca. 5tägigen Versuchsdauer die Temperaturanzeigen auf dem Bildschirm derart nachlassen, daß eine Unterscheidung von erwärmten und kalten Bereichen nicht mehr möglich ist. Bei weiteren Versuchen mit dem gleichen Kameratyp wurde dieser Sachverhalt erneut festgestellt. Der eingesetzte Kameratyp wurde daraufhin für ungeeignet gehalten.

Hinzu kam, daß das gesamte Thermographiesystem durch einen vermutlich weit über die Abmessungen des Müllgreifers hinausragenden Gegenstand beschädigt und funktionsuntüchtig wurde.

#### **3.2.4 Versuchsergebnisse**

Die folgenden Aspekte sind als wesentlich festzuhalten:

- Die ermittelte Temperaturen des im Bunker gelagerten Abfalls liegen zwischen 20 °C und 30 °C. Eine Überschreitung der Alarmtemperatur von 35 °C konnte nicht festgestellt werden.
- Das getestete Thermographiesystem konnte in den ersten drei Tagen nach Installation eine funktionstüchtige Überwachung des gesamten Bunkers durchführen und auswertbare Anzeigen liefern, deren Auflösung so hoch waren, daß eine Hinterlegung mit einem Videobild nicht erforderlich ist.
- Nach einer ca. 5tägigen Versuchsdauer ist die Auflösung der Meßwertanzeige der thermoelektrischen Kamera so gering, daß eine Unterscheidung von unterschiedlich erwärmten Stellen und Flächen nicht mehr möglich ist.
- Die Verstaubung - auch im Geräteschrank - führt dazu, daß die Funktionstüchtigkeit der Geräte sehr stark eingeschränkt wird. Dies führt u. a. zu verzerrten Anzeigen auf den Bildschirmen und zu einer Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, daß die thermoelektrisch gekühlte Kamera von der Verfügbarkeit und von der Qualität der Thermobilder schlechter war als das zuvor getestete stickstoffgekühlte Kamerasystem.

Die Erkenntnisse aus der Phase II des Forschungsvorhabens sind mit in die Entwicklung eines Systems eingeschlossen, das in Kapitel 4 beschrieben wird. Dieses System wurde Anfang 1992 in einer Müllverbrennungsanlage in München installiert. Aufgrund dieser Entwicklung konnte im Rahmen des Forschungsvorhabens darauf verzichtet werden, die ursprünglich vorgesehene Erprobung eines festinstallierten Systems über 6 Monate durchzuführen.

### **3.3 Phase 3 des Forschungsvorhabens**

In der Phase 3 des Forschungsvorhabens (1991/1992) wurden über einen längeren Zeitraum grundsätzliche Daten über die normalerweise in einem Müllbunker auftretenden Temperaturen gesammelt. Die Messungen wurden mit einem neuentwickelten IR-System durchgeführt, das erst 1991 verfügbar war. Die Kamera ist mit einem elektrisch angetriebenen Stirling-Kühler ausgerüstet und erreicht damit eine sehr gute Bildqualität bei gleichzeitiger Unabhängigkeit von externen Kühlmedien. Die Kamera ist auch für den Dauerbetrieb ausgelegt, so daß jetzt ein Meßaufnehmer zur Verfügung steht, der den Anforderungen an einen realen Betrieb gewachsen ist. Aus Kostengründen konnte dieses System im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht fest installiert werden, da auch Umbauarbeiten für einen geeigneten Aufstellungsort im Müllbunker notwendig gewesen wären. Daher wurden die weiteren Messungen mit Hilfe eines tragbaren Kamerasystems durchgeführt, das uns an ausgewählten Tagen im Zeitraum von Oktober 1991 bis Juli 1992 zur Verfügung gestellt wurde.

### 3.3.1 Jahrestemperaturprofil

Für die Erstellung eines Jahrestemperaturprofils wurden an verschiedenen Stellen der Müllwand und den Wänden des Bunkers Messungen durchgeführt. Die Messungen an der Kesselseite des Müllbunkers wurden jeweils unterhalb der Müllaufgabetrichter an der Betonwand und in drei Bereichen (oben, mitte, unten) der Müllwand durchgeführt. An der Außenwand des Müllbunkers wurden die Messungen unterhalb der Feuerlöschmonitore durchgeführt. Die Löschmonitore bzw. die Aufgabetrichter dienen dabei zur Orientierung für die Auswahl der Meßorte.

#### Meßprotokoll

Datum 26.11.97 Zeit 8<sup>15</sup> - 10<sup>15</sup>

#### Betriebsdaten:

Kessel in Betrieb : K 1  K 2  K 3  K 4

Staubbelastung : niedrig  mittel  hoch

Außentemperatur : 5°

Besonderheiten : 760 79 82 Kameraplan

#### Meßwerte :

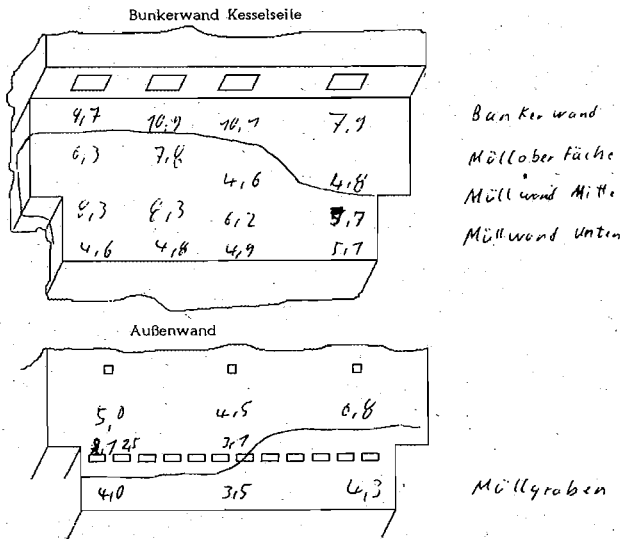
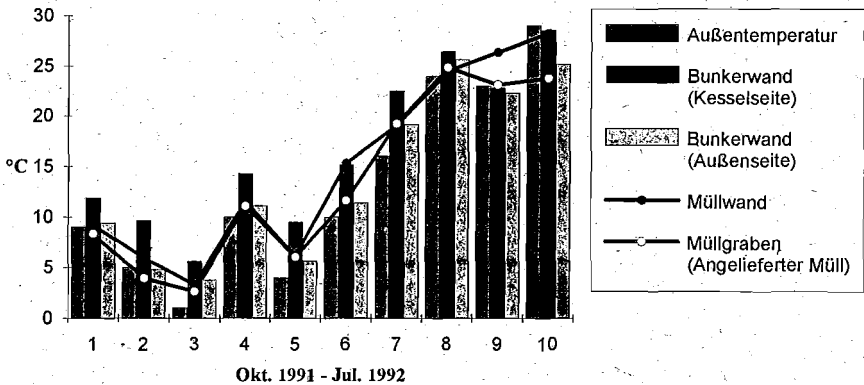


Bild 12: Meßstellen im Müllbunker



## Jahrestemperaturprofil



**Bild 13: Korrelation der Temperaturen im Müllbunker**

Die Mittelwerte der Abfalltemperaturen und der Bunkerwandtemperaturen sind in Bild 13 zusammen mit der jeweiligen Außentemperatur aufgetragen. Die Abfalltemperaturen liegen alle in der Nähe der Außentemperatur bzw. der Bunkerwandtemperatur. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse könnte eine variable außentemperaturabhängige Alarmgrenze für das Überwachungssystem eingeführt werden. Im Gegensatz zu einem festen Wert, der die Maximaltemperaturen eines Jahresablaufes berücksichtigt, wird durch eine variable Alarmgrenze ein größerer Zeitvorteil für eine Brandbekämpfung erwirkt.

Die Meßwerte aller Einzelmessungen der Abfalloberfläche der Müllwand lagen im Bereich von 2 °C bis 33 °C. Eine Ausnahme bildete ein Meßpunkt am 23.07.1992 wo in der Mitte der Müllwand eine Temperatur von 57 °C gemessen wurde. Bei dem angelieferten Abfall lag der Temperaturbereich zwischen 1 °C und 26 °C.

### 3.3.2 Tagestemperaturprofil

Um die Temperaturentwicklung während eines Tages in einem ruhenden Bereich der Müllwand zu beobachten, wurden zwei Langzeitversuche durchgeführt. Dazu wurde die Kamera auf einer Galerie in Höhe der Kranbahn aufgestellt und an einen Videorekorder angeschlossen.

## Langzeitversuch 1, Februar 1992

Bei den Langzeitversuchen wurde über einen Zeitraum von mehreren Stunden gemessen. Die dabei aufgezeichneten Videobänder wurden für je drei Bildausschnitte ausgewertet und deren Temperatur über der Zeit aufgetragen (Bilder 14a bis 14c).

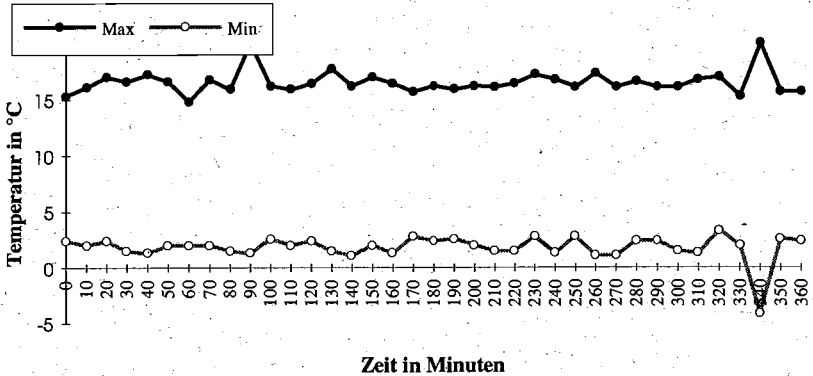


Bild 14a: Temperaturverlauf in einem ruhenden Abschnitt der Müllwand

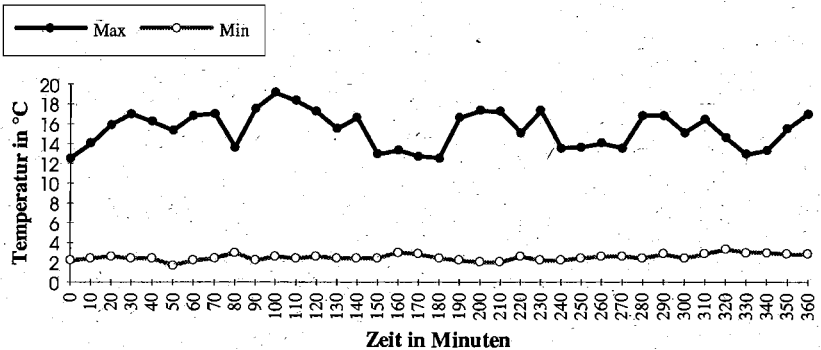
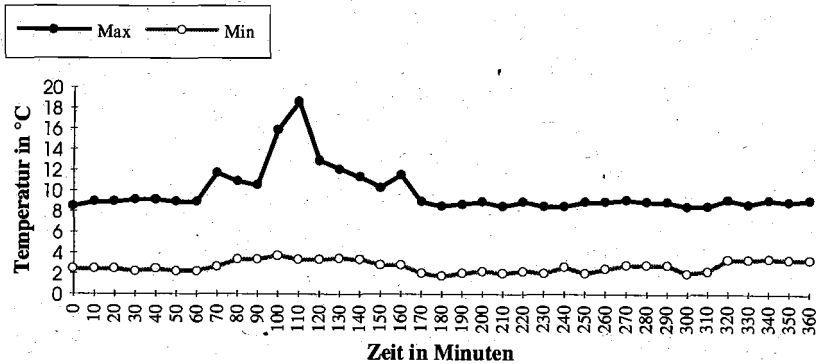


Bild 14b: Temperaturverlauf bei Umsetz- und Anhäufarbeiten



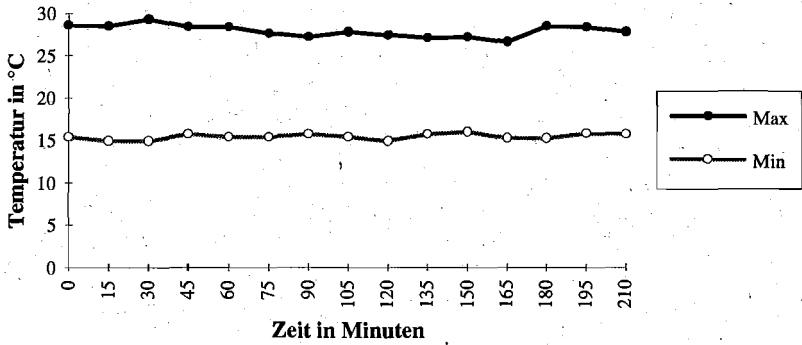
**Bild 14c: Temperaturverlauf im Umfeld eines ausgehobenen Glimmnestes**

Auffällig ist der Bereich starker Temperaturänderungen bei der oberen Kurve in Bild 14c. An dieser Stelle ist am Vortag der Versuche ein Glimmnest ausgehoben worden. Die ausgeprägten Temperaturänderungen entstanden durch die Änderung der Oberfläche bei nochmaligen Nachgraben an dieser Stelle.

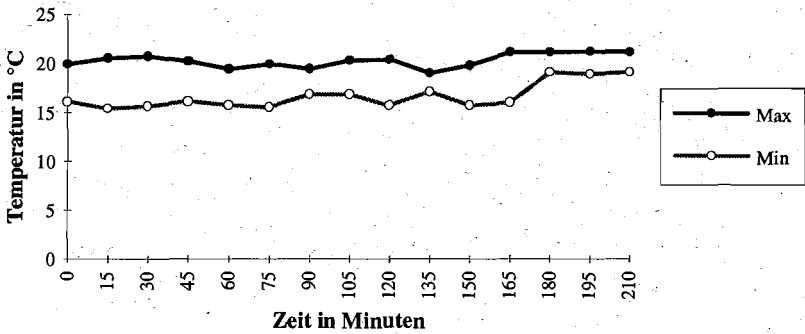
### Langzeitversuch 2, Juni 1992

Der ruhende Bereich der Müllwand ist in Bild 15a (warmer Bereich) und in Bild 15b (kalter Bereich) dargestellt. Über den Beobachtungszeitraum<sup>1</sup> sind keine nennenswerten Temperaturänderungen aufgetreten. Bild 15c zeigt die Darstellung des Temperaturverlaufes im Müllgraben. Die Anlieferung von wärmerem Abfall ist deutlich zu erkennen.

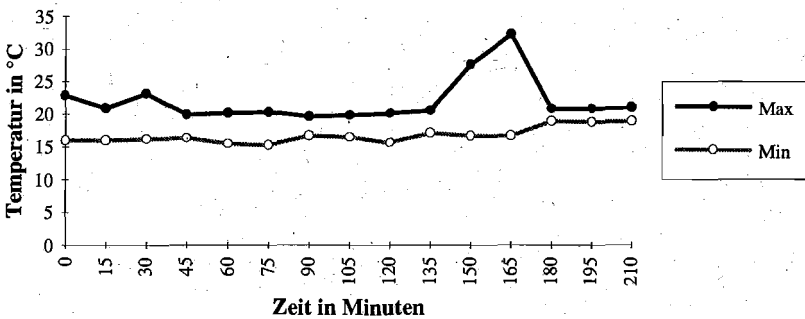
<sup>1</sup> Der Beobachtungszeitraum wurde dadurch verkürzt, daß nach der Mittagsschicht ein Müllgreifer im Sichtbereich der Kamera geparkt wurde.



**Bild 15a: Temperaturverlauf in einem "warmen" Bereich der Müllwand**



**Bild 15b: Temperaturverlauf in einem "kalten" Bereich der Müllwand**



**Bild 15c: Temperaturverlauf des angelieferten Abfalls im Müllgraben**

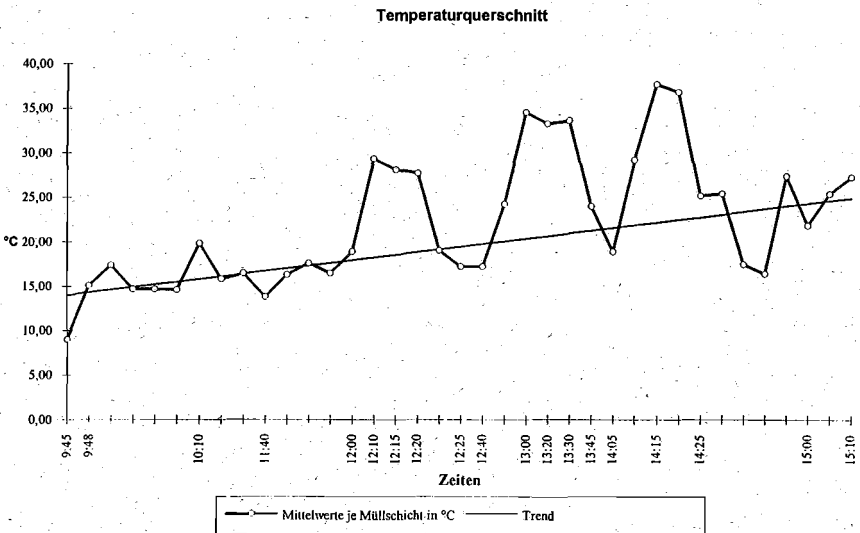
Tageszeitlich bedingte Temperaturschwankungen konnten bei diesen Untersuchungen nicht festgestellt werden. Bei Störungen der Abfalloberfläche ergeben sich Temperaturabweichungen von ca. 10 °C.

### 3.3.3 Temperaturverlauf im Querschnitt einer Müllwand

In einem weiteren Versuch wurde die Temperatur im Querschnitt der Müllwand gemessen. Dazu wurde an einem Wochenende im Februar 1992 die Müllwand an einer Stelle abgetragen.

Auf einer Länge von ca. 10 m entstand in der Müllwand eine parabelförmige Vertiefung mit einer Tiefe von ca. 15 m über den gesamten Querschnitt. Während der Grabarbeiten wurden über diese Länge verteilt mehrere Temperaturmessungen für jede abgetragene Schicht durchgeführt.

Die Mittelwerte der gemessenen Temperaturen sind im Bild 16 aufgetragen. Die dargestellten Punkte sind jeweils die mittleren Temperaturen je abgetragener Abfallschicht. Eine lineare Zuordnung zu der jeweiligen Grabtiefe ist nicht möglich. Bei dem Temperaturquerschnitt sind deutliche Temperaturschichtungen zu sehen, die auf andere Abfallzusammensetzungen und anderes Alter des Abfalls hindeuten. Über dem Querschnitt läßt sich eine Temperatursteigerung mit wachsender Grabtiefe erkennen. Die maximal gemessenen Temperaturen lagen unterhalb von 40 °C bei Außentemperaturen von 7 bis 9 °C.



**Bild 16: Temperaturverlauf im Querschnitt einer Müllwand**

### 3.3.4 Weitere Untersuchungsergebnisse

#### **Staubeinfluß auf die Meßergebnisse:**

Bei den regelmäßigen Messungen zur Aufnahme der Jahrestemperaturprofile ist eine vergleichende Messung der selben Meßstelle mit und ohne Staubbelastung durchgeführt worden. Nach einer Messung im unteren Bereich der Müllwand wurde sehr staubhaltiger Abfall in den Müllgraben abgekippt. Die vergleichende Messung der selben Stelle ergab jetzt eine um etwa 5 °C abweichende Temperaturanzeige an der Thermokamera.

#### **Einfluß von Wasserdampf:**

Bei dem Versuch zur Erstellung des Temperaturquerschnitts in der Müllwand kam es beim Aufgraben älterer Müllschichten zu einer starken Wasserdampfentwicklung im Müllbunker. Der Nebel war so stark, daß der Kranbetrieb eingestellt werden mußte. Trotz dieser Umgebungsbedingungen lieferte die Thermokamera gleichbleibend gute Bild- und Temperaturdaten.

#### **Empfindlichkeit der IR-Kamera:**

Um einen Eindruck zu gewinnen, wie genau die Kamera arbeitet, wurden verschiedene Behälter unterschiedlicher Größe mit heißem Wasser (ca. 75 °C) gefüllt und in den Müllgraben eingebracht. Dieser Teil des Müllgrabens wurde dann aus unterschiedlichen Höhen und Positionen thermographiert.

Bei einer Meßentfernung von ca. 10 m konnten alle Behälter (9 Stück mit Volumen von 0,2 l bis 50 l) erkannt werden. Die kleinen Behälter kühlten sehr schnell ab und waren nach 10 Minuten an der zweiten Meßposition (21 m Meßentfernung) nur noch schwach zu erkennen (weil die Position bekannt war). Ab 2 l Behältervolumen konnten die Behälter eindeutig erkannt werden. Nach 20 Minuten (Meßentfernung 45 m diagonal durch den Bunker) wurden nur noch Behälter ab 5 l Volumen erkannt. Diese Behälter waren auch nach 35 Minuten an der letzten Position (27 m oberhalb der Meßstelle) zu erkennen.

Die Erkennbarkeit ist nicht von der Meßentfernung sondern von der Temperatur und der Größe der warmen Oberfläche abhängig. Das Volumen hat nur indirekten Einfluß (Wärmekapazität).

Jetzt wurde die Meßstelle mit zwei Greifern Abfall überhäuft und nochmals thermographiert. Bei dieser Überdeckung von ca. 1 m waren die Behälter erwartungsgemäß nicht mehr zu erkennen, da die im Wasser gespeicherte Wärme nicht mehr ausreichte, den Abfall bis an die Oberfläche zu erwärmen.

## 4. Anforderungen

Ein auf Infrarottechnik basierendes Brandschutzsystem muß einem Mindestmaß an Anforderungen genügen, um die ihm als sicherheitstechnische Einrichtung zugeordneten Aufgaben in vollem Umfang zu erfüllen. Nach heutigem Stand des Wissens werden die nachfolgenden Anforderungen für erforderlich gehalten, um die Entstehung von Bränden in Abfallbunkern weitestgehend zu verhindern bzw. in einem sehr frühen Stadium zu entdecken. Diese Anforderungen basieren auf den Erkenntnissen des Forschungsvorhabens und wurden zusammengestellt um die Funktion solcher Brandschutzsysteme sicherzustellen.

Im Laufe der Zeit wird sich durch den praktischen Einsatz derartiger Brandschutzsysteme eine mögliche Ausweitung des Anwendungsbereiches und eine Fortschreibung und Konkretisierung hinsichtlich der erforderlichen Anforderungen ergeben. Neue und/oder andere Entwicklungen werden dadurch nicht ausgeschlossen.

### 4.1 Zielsetzung

Automatische Brandschutzsysteme für Abfallbunker müssen die Entstehung von Bränden und Schwelvorgängen auf der Oberfläche und innerhalb der Abfallschüttung erkennen und melden. Darunter ist zu verstehen:

- Erkennen und Lokalisieren warmer Stellen an der Abfalloberfläche als Hinweis auf das Vorhandensein eines Glutnestes oder eines sonstigen Wärmeherdes in der Abfallschüttung und Melden eines möglichst minimalen kritischen Zustandes.
- Lokalisieren eines Brandherdes auf der Abfalloberfläche und Melden dieses Brandes.
- Beobachten des Brandes zur Steuerung der Brandbekämpfung (Kran, Löscheinrichtungen, Feuerwehr), auch bei starker Verqualmung.
- Automatisches Auswerten der gemessenen Temperaturen und Aufzeichnen kritischer Zustände sowie Weiterleiten entsprechender Meldungen.

Unter den vielfältigen Erkennungsmöglichkeiten für Brände hat sich im genannten Aufgabenbereich ein computergestütztes, auf Infrarottechnik basierendes System bisher als das einzige herausgestellt, mit dem die o.g. Ziele zufriedenstellend erreicht werden können.

### 4.2 Grundfunktionen

Für die Anwendung des Überwachungssystems ist in der Regel eine Einteilung des Bunkers in mehrere Überwachungsbereiche erforderlich.

Die Größe der Überwachungsbereiche ist entsprechend den für eine Lokalisierung notwendigen Gegebenheiten in der Anlage und der Auflösung des Infrarotsensors zu wählen.

Durch den eingesetzten Infrarotsensor (z.B. Thermokamera) muß quasi kontinuierlich eine aktuelle Abbildung (Wärmebild) des Abfallbunkers erstellt werden. Die Abbildung muß eine realistische Darstellung der relevanten Bunkerbereiche zeigen. Dazu gehören:

- Profil des gestapelten Abfalls
- Umrisse des Abfallbunkers mit markanten Punkten wie z. B. Abkippstellen und Aufgabetrichter
- Position der Greifer

In der Abbildung (Wärmebild) müssen die Temperaturen der Oberfläche des gelagerten Abfalls dargestellt werden. Die Temperaturen müssen anhand einer Farbskala oder unterschiedlichen Graustufen angezeigt werden.

Auf einem Monitor in den Krankanzeln müssen ständig die aktuellen Wärmebilder aus den Überwachungsbereichen dargestellt werden. Auf einer Anzeigetafel oder einem zweiten Monitor muß gekennzeichnet werden, welchem Überwachungsbereich das jeweilige Wärmebild zugeordnet ist.

Der oder die Kranfahrer müssen ständig über die aktuellen Temperaturen (min., max., mittlere) und Wärmebilder in den einzelnen Überwachungsbereichen informiert sein (z.B. Monitor in den Krankanzeln).

Oberflächenbereiche mit erhöhter Temperatur müssen klar erkennbar und örtlich zugeordnet angezeigt werden.

Bei Überschreiten eines der vorgegebenen Temperatur-Grenzwerte muß ein Alarm ausgelöst werden.

Störungsmeldungen des Systems sowie bei Grenzwertüberschreitung Alarmmeldungen mit den aktuellen Temperaturen in den Überwachungsbereichen müssen an eine ständig besetzte Stelle übertragen werden (z.B. auf Meßwertschreiber, Protokoll-drucker).

Zusätzlich zu der Alarmmeldung muß der Kranfahrer und die ständig besetzte Stelle die Information erhalten, in welchem Überwachungsbereich des Bunkers der Temperatur-Grenzwert überschritten ist.

Alle gemessenen Temperaturen müssen mit vorgegebenen Temperatur-Grenzwerten verglichen werden. Bei Überschreitung der Grenzwerte muß der Kranfahrer eine Alarmmeldung erhalten. Die Alarmmeldung muß optisch und akustisch erfolgen.



Die Ermittlung der aktuellen Temperaturen auf der Abfalloberfläche sowie die Alarmmeldungen müssen nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Pro Überwachungsbereich ist die maximale Temperatur zu ermitteln und mit einem vorgegebenen Grenzwert (z.B. 50 °C)<sup>3</sup> zu vergleichen. Bei Grenzwertüberschreitung erfolgt eine Alarmmeldung.
- Pro Überwachungsbereich ist die Maximaltemperatur aufzuzeichnen. Diese aufgezeichneten Temperaturen sind hinsichtlich eines kontinuierlichen Temperaturanstiegs zu untersuchen (Trendanalyse). Eine Alarmmeldung sollte bei einem Temperaturanstieg von mehr als 20 °C pro Stunde<sup>2</sup> erfolgen.

Die aktuellen Temperaturen der gesamten Abfalloberfläche müssen regelmäßig ermittelt werden. Der Abstand zwischen zwei Überwachungszyklen sollte zwei Minuten nicht überschreiten.

Zur Beobachtung von lokalen Erwärmungen bzw. Bekämpfung von Brandnestern muß der Meßbereich automatisch an die jeweiligen Temperaturen angepaßt werden.

Das System muß über einen Automatikmodus für die kontinuierliche Überwachung des gesamten Bunkers verfügen.

Darüber hinaus muß ein Handsteuermodus vorhanden sein, mit dem Überwachungsbereiche mit erhöhten, über den Grenzwerten liegenden Temperaturen solange beobachtet werden können, bis durch Maßnahmen die Temperaturerhöhungen beseitigt sind.

Die Überwachungszyklen des Automatikmodus müssen unterbrochen werden können für eine Temperaturmessung mit dem Handsteuermodus<sup>3</sup>.

Das Brandschutzsystem muß an die jeweilige Anlage angepaßt sein. Die Einstellung anlagenspezifischer Parameter und die spezielle Konfiguration des Systems müssen nach den örtlichen Erfordernissen erfolgen. Ein Beispiel hierfür wäre eine zeitlich versetzte Alarmierung unterschiedlicher Eingriffsebenen (betrieblich: Kranführer und Warte, extern: Feuerwehr).

Die beschriebenen Funktionen müssen unabhängig von den äußeren Bedingungen verfügbar sein. Insbesondere dürfen sich tages- und jahreszeitliche Temperaturänderungen nicht negativ auf die Funktion des Systems auswirken. Es muß in der Lage sein, derartige Einflüsse selbständig auszugleichen, z.B. durch automatische Anpassung des Temperaturmeßbereiches. Dazu gehört auch die Korrektur wesentlicher Parameter wie zum Beispiel Emissionsgrad und Hintergrundtemperatur.

---

<sup>2</sup> Es handelt sich hier um Richtwerte, die anlagenspezifisch anders gewählt werden können.

<sup>3</sup> Der Handsteuermodus sollte nur in begründeten Fällen wie Temperaturüberschreitung eingesetzt werden. Der Umgang mit dem Handsteuermodus muß geübt sein.

### 4.3 Kennwerte für den Infrarotsensor

Der Infrarotsensor muß die folgenden Kennwerte aufweisen:

- Temperaturmeßbereich von  $-20\text{ °C}$  bis  $1.000\text{ °C}$  für die Erkennung niedriger Abfalltemperaturen bis hin zu hohen Brandtemperaturen
- Bei Temperaturänderungen eines Meßpunktes muß der Temperaturmeßbereich automatisch nachgeführt werden.
- Für eine klare Darstellung der Abfalloberfläche und des Bunkers mit den markanten Orientierungspunkten bei Normaltemperaturen ist eine hohe thermische Auflösung (z.B.  $0,2\text{ K}$  bei  $300\text{ K}$ ) notwendig. Die Struktur der Abfalloberfläche muß auch bei kleinen Temperaturdifferenzen (z.B.  $\Delta T = 5\text{ K}$ ) innerhalb des Bunkers erkennbar sein.
- Toleranz für die absolute Temperaturmessung von  $\pm 5\text{ K}$  für die Einhaltung der Grenzwerte.
- Der Meßbereich des IR-Sensors muß in einem für die Überwachung (Normaltemperaturen) geeigneten Wellenlängenbereich liegen (siehe Kap. 2.1). Als Ergebnis des Forschungsvorhabens kann festgehalten werden, daß der Wellenlängenbereich von  $8$  bis  $12\text{ }\mu\text{m}$  geeignet ist.

### 4.4 Aufstellung

Die einzelnen Komponenten des Überwachungssystems müssen so aufgestellt werden, daß

- der gesamte Bereich des Bunkers, in dem Abfall vorhanden ist, überwacht wird,
- eine Gefährdung der Komponenten durch den Betrieb der Anlage auszuschließen ist,
- Systemkomponenten, die nicht notwendigerweise im Bunker angebracht werden müssen, in einer geschützten Umgebung (z.B. Krankabine) aufgestellt werden sollten.

Die Monitore, die das Wärmebild und den dazugehörigen Überwachungsbereich anzeigen, die Kranbedienung und die Kamerasteuerung müssen so aufgestellt werden, daß eine koordinierte Bedienung der Löscheinrichtungen möglich ist.

Die im Bunker aufgestellten Systemkomponenten müssen vor unzulässigen Temperaturen geschützt werden.

## 4.5 Verfügbarkeit

Das Überwachungssystem ist eine sicherheitstechnische Einrichtung und muß beim Betrieb des Bunkers ständig verfügbar sein. Dafür sind mindestens folgende Maßnahmen notwendig:

- Gesicherte und unterbrechungsfreie Stromversorgung mit Überspannungsschutz und Unterspannungsschutz,
- Staubschutz des/der IR-Sensors/en (Thermokamera),
- Gesicherte Kühlung des IR-Sensors bei Fremdkühlung,
- Temperaturschutz des IR-Sensors.

Ausfälle funktionsrelevanter Systemkomponenten müssen vom Benutzer unmittelbar erkennbar sein oder angezeigt werden. Es ist sicherzustellen, daß die Ausfälle umgehend behoben werden können. Die jährliche Ausfallzeit darf maximal 3 Prozent der jährlichen Betriebszeit des Müllbunkers betragen.

Um eine genaue Temperaturmessung zu gewährleisten, muß mindestens vierteljährlich eine vergleichende Temperaturmessung durchgeführt werden.

Bei Abweichungen, die eine Temperaturdifferenz von 5 K zu der tatsächlichen Temperatur einer definierten Wärmequelle (z.B. ein Kanister mit heißem Wasser) überschreiten, ist der IR-Sensor zu kalibrieren.

## 4.6 Prüfung durch Sachverständige

Das Überwachungssystem ist vor Inbetriebnahme und in regelmäßigen Fristen wiederkehrend (z.B. jährlich nach der Kalibrierung des Meßwertaufnehmers) durch einen Sachverständigen nach § 29a BImSchG auf Funktionsfähigkeit zu prüfen. Die Prüfung umfaßt alle in diesem Kapitel genannten Anforderungen sowie einen praktischen Funktionstest.

Beim Funktionstest muß mit dem Überwachungssystem ein auf der Abfalloberfläche liegender Prüfkörper sicher erkannt und auf einen halben Meter genau zugeordnet werden können. Durch die Detektion des Prüfkörpers muß ein optischer und akustischer Alarm ausgelöst werden. Zur Gestaltung des Prüfkörpers erfolgen weitere Untersuchungen (Kap. 6).

Durch Ansteuern des Prüfkörpers mit einem Greifer müssen die Angaben des Systems, die der Ortung dienen, auf ausreichende Genauigkeit überprüft werden (thermische und geometrische Auflösung).

Mit dem Handsteuerungsmodus muß überprüft werden, ob der gesamte Bereich des Abfallbunkers einschließlich der Abkippstellen und der Aufgabetrichter im Erfassungsbereich des Brandschutzsystems liegen.

## 5. Anwendungsbeispiele

### 5.1 Das Infrarot-Müllbunkerüberwachungssystem<sup>4</sup> IMUS

Zeitparallel zu der Phase 3 des Forschungsvorhabens ist im HKW München-Nord ein Brandfrüherkennungssystem installiert worden. Die Erkenntnisse aus unserem Forschungsvorhaben sind in die Entwicklung dieses Systems eingeflossen. Bild 17 zeigt ein Übersichtsschema des Systems IMUS (Infrarot-Müll-Überwachungs-System).

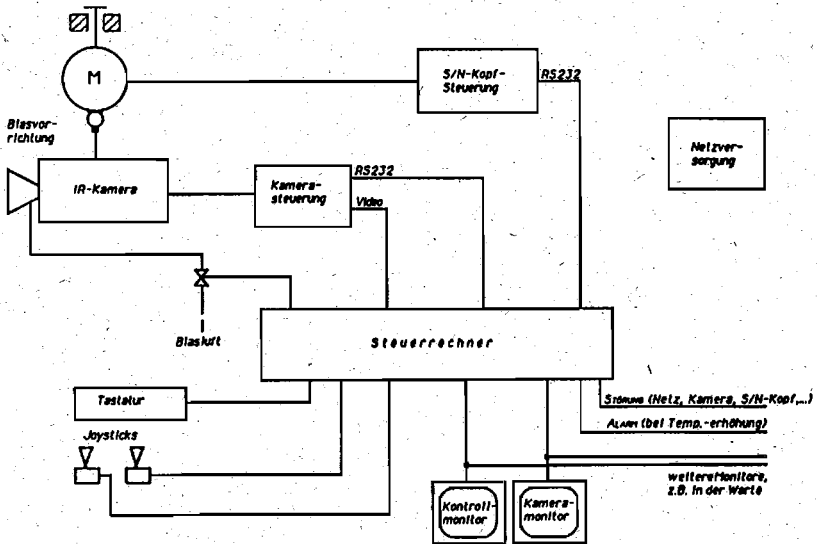


Bild 17: Übersichtsschema System IMUS

Das Infrarot-Müll-Überwachungs-System ist folgendermaßen aufgebaut:

- Herzstück ist die INFRAMETRICS-Thermokamera - Modell 760. Sie ist ein 8- bis 12- $\mu\text{m}$ -System mit einer hohen thermischen und geometrischen Auflösung. Sie hat eine direkte Temperatureauswertung im Bereich  $-20$  bis  $1500$  °C mit einer digitalen Auflösung von 8 bit (256 Graustufen). Die Kamera liefert 25 Bilder/s und hat eine Automatikfunktion zur selbständigen Temperaturverfolgung. Alle Parameter, auch Emissionsgrad und Hintergrundtemperatur, lassen sich über die serielle Schnittstelle von einem externen Rechner einstellen. Außerdem verfügt die Kamera über einen Standard-Videoausgang, über den in der vertikalen Austastlücke auch alle Kameraparameter an eine Bildverarbeitungskarte übergeben werden können.

<sup>4</sup> Auszug aus einer Informationsschrift der Hörotron GmbH, Elmshorn

- Die Kamera ist mit einer Weitwinkeloptik ausgerüstet, um einen möglichst großen Bunkerbereich überwachen zu können.
- Ein eingebauter Flammenunterdrückungsfilter sorgt außerdem im Brandfall dafür, daß eine ständige Beobachtung des Brandherds möglich ist.
- Für die möglichst optimale Ausrichtung der Kamera sowie zur Überwachung größerer Bunkerbereiche ist diese auf einem Schwenk/Neigekopf montiert, der den besonderen Umweltbedingungen im Müllbunker angepaßt ist.
- Das "Gehirn" der Anlage steckt im Steuerrechner, über dessen Software die Kontrolle und Ansteuerung aller Komponenten erfolgt. So erkennt und meldet das System alle Ausfälle von Bauteilen sowie natürliche gefährliche Temperaturerhöhungen; es protokolliert alle Aktionen, so daß ggf. eine spätere exakte Fehlerlokalisierung möglich ist. Der Rechner realisiert über seine Schnittstellen nicht nur die Steuerung der Peripherie sondern auch die Kommunikation zur Außenwelt.
- Zur Montage der unmittelbar im Müllbunker angebrachten Elemente, wie Kamera und Schwenk/Neigekopf, dient die mechanische Schutz- und Befestigungseinrichtung. Sie übernimmt nicht nur die einfache Halterung, sondern beinhaltet auch das Schutzgehäuse nach IP 65 für die Kamera (Schwenkkopf wird von Hause aus in dieser Schutzart ausgeliefert) sowie eine Blausvorrichtung für die Kameraoptik, die die Verstaubung der Frontlinse verhindert. Zur Blausvorrichtung gehört auch eine Überwachungseinrichtung, die einen Ausfall der Blausanlage an den Rechner meldet und damit eine Störungsmeldung auslöst.

Die Mechanik wird nach den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten der Anlage, dem Greifverkehr, dem Betriebsregime sowie der Zugänglichkeit zum System für Montage und Wartung gestaltet und kann entsprechende Kundeninteressen berücksichtigen.

- Weiteres wesentliches Zubehör des Systems sind die Monitore, die das Kamerabild und die Statusinformationen darstellen. Sie befinden sich mindestens einmal in der Krankanzel (empfohlen wird eine parallele Aufstellung auch in der Warte) und geben Aufschluß über den Bunkerbereich, der überwacht wird, die Temperaturen, die dort gemessen werden, sowie sonstige Systemnachrichten.
- Als Schnittstelle zur Leittechnik der MVA stellt das System potentialfreie Relaisausgänge zur Verfügung. Diese übermitteln die Signale "STÖRUNG" und "ALARM".
- Zur Vermeidung von Störungen durch kurzzeitige Spannungsspitzen auf der Netzversorgung des Systems sowie zur Überbrückung von kurzzeitigen Netzausfällen, wie sie häufig bei Probetriebsbetrieben anderer Anlagen in der MVA auftreten können, wird eine unterbrechungsfreie Stromversorgung eingebaut.

- Natürlich sind alle Systembausteine über die entsprechenden Kabel verbunden, die aus Sicherheitsgründen redundant ausgelegt sind.
- Die Anlagenkomponenten (außer Kamera und Schwenk/Neigekopf) sind in geeigneten Industrieschränken (Typ Rittal) untergebracht, wobei sich die genaue Anzahl, Größe, Ausführung usw. nach den Örtlichkeiten oder Kundenwünschen richten.

### 5.1.1 Überwachungsfunktion (Automatikmodus)

Die Kamera auf dem Schwenk/Neigekopf fährt selbsttätig (durch die Übergabe der Positionsparameter vom Steuerrechner) die einzelnen Bunkerbereiche (Zonen) an. Ebenso werden die Kameraparameter eingestellt (z.B. Temperaturmeßbereich von 10 bis 30 °C). Derartige Parameter werden in einem speziellen Lernmodus eingestellt und können anlagenspezifisch verändert werden.

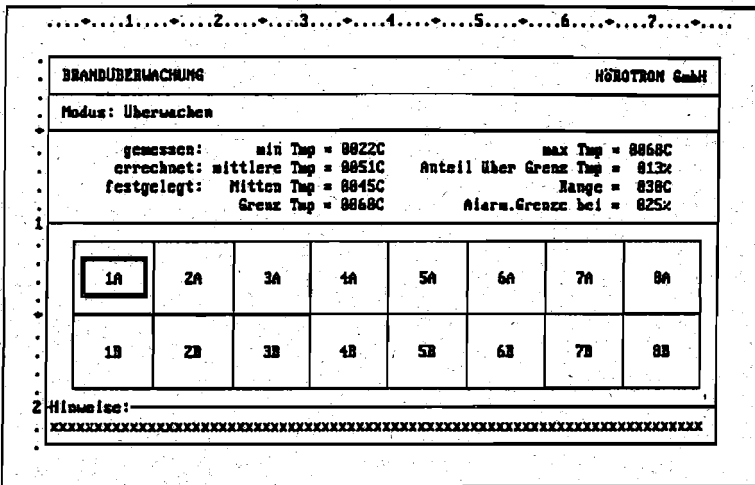
Das Kamerasignal wird über den Videoausgang zum Rechner übertragen und auf dem Monitor in Schwarz/Weiß dargestellt. Gleichzeitig führt der Rechner eine Temperaturauswertung durch, wobei über einen speziellen Algorithmus Signalübertragungsverluste ausgeglichen werden. Die Fläche im Bild, die in die Temperaturauswertung einbezogen wird, ist auf dem Kamerabildschirm farblich gekennzeichnet.



**Bild 18:** Beispiel für ein Wärmebild

Der zweite Monitor erlaubt die räumliche Zuordnung eines Bereiches der Müllbunkerfläche zum aktuellen Kamerabild. Dazu ist der Bunker gedanklich in eine geeignete Anzahl von Zonen eingeteilt (abhängig von der Bunkergröße). Gleichzeitig werden auf dem zweiten Bildschirm auch alle Parameter und Meßwerte angezeigt. Bild 19 zeigt ein Beispiel für diesen Bildschirm, wobei in diesem Fall 16 Zonen definiert sind.

Der beschriebene Prozeß läuft solange kontinuierlich ab, bis diese Routine durch einen Alarm oder eine Störung unterbrochen wird. Zwecks Störungserkennung werden alle Systemkomponenten bei jedem Zonenwechsel durch den Rechner getestet, so daß ein Ausfall sofort erkannt wird.



**Bild 19: Überwachungsbildschirm**

Bei Überschreiten eines Alarmkriteriums werden die betroffenen Stellen der Müllschüttung im Schwarz/Weiß-Bild der Kamera rot gekennzeichnet. Ein akustisches Alarmsignal ertönt in der Kanzel und die Störungsleitung "ALARM" zur Leittechnik wird aktiviert. Auf dem Kontrollmonitor blinkt die Kennzeichnung der Bunkerzone, so daß der Alarmfall auch örtlich zugeordnet werden kann. Die Kamera bleibt stehen und beobachtet die Alarmzone solange, bis die Alarmursache beseitigt wurde, z.B. durch Löschen oder Entfernen des Glutnestes mit dem Greifer.

War der Einsatz erfolgreich, hat er die Temperatur deutlich unter die Alarmgrenze gebracht. Die Überwachung wird fortgeführt, der Ton verstummt und die Rotfärbung verschwindet.

## 5.1.2 Weitergehende Funktionen

### **Handsteuerung:**

Eine Möglichkeit ist die Option der Handsteuerung im Brandfall. Über Bedienelement (Joystick) können dann alle Kameraparameter (Position, Zoom, Temperatur usw.) manuell gesteuert werden. Dadurch ist es beispielsweise möglich, die Kamera auf einen anderen Blickwinkel einzustellen, um mehrere Glutnester gleichzeitig zu überwachen oder um einzelne speziell zu untersuchen.

### **Brandbekämpfung:**

Das System bleibt von im Brandfall entstehendem Rauch weitgehend unbeeinflusst. Auch wird eine Übersteuerung der Kamera bei heißen (Brand-) Quellen vermieden.

Prinzipiell ist es möglich, das System mit Feuerlöscheinrichtungen zu koppeln (automatische Auslösung von Wasserschleimern oder Löschmonitoren). Auch eine Ansteuerung von fernbedienbaren Löschmonitoren ist denkbar.

## 5.1.3 Betriebssicherheit

Durch den zyklischen Test des gesamten Systems werden Ausfälle bei jeder Zoneneinteilung sofort erkannt. Dabei spielt es zunächst keine Rolle, ob die Ursache für diesen Ausfall von der Baugruppe selbst, durch die Leitung, durch Störungen auf der Leitung oder im Rechner oder der Software verursacht wurde. Gleichgültig ob die Kamera, der Schwenk/Neigekopf, die Blasvorrichtung, die Netzversorgung oder eine der Leitungen ausgefallen sind, in jedem Fall wird über die Leitung "STÖRUNG" der Ausfall des Systems gemeldet, denn jedes einzelne Bauteil ist für das Funktionieren des Gesamtsystems erforderlich.

Allerdings besitzt die Kontrollsoftware die Fähigkeit, kurzzeitige Störungen, wie sie z.B. durch zufällige Einstreuungen auf die Leitungen möglich sind, abzufangen. Ebenso sind für gewisse Vorgänge Toleranzen eingearbeitet, z.B. die Positionssteuerung. Dadurch soll erreicht werden, daß tatsächlich nur wesentliche Ausfälle zu Störungen am System führen und das Personal nicht durch Fehlalarme vom System irritiert wird. Notfalls wird ein Reset des gesamten System durchgeführt.

Weiterhin verfügt das System über einen Diagnose-Modus, durch den ständig alle Vorfälle protokolliert werden. Dieser Softwareteil testet auch die tatsächliche Störungsart durch Ablauf von Testroutinen an der Hardware der Peripherie. Auch diese Resultate werden protokolliert. Damit ist es für das Wartungspersonal einfacher, die Ausfallursache anhand des Protokolls zu lokalisieren und eine Reparatur durchzuführen.

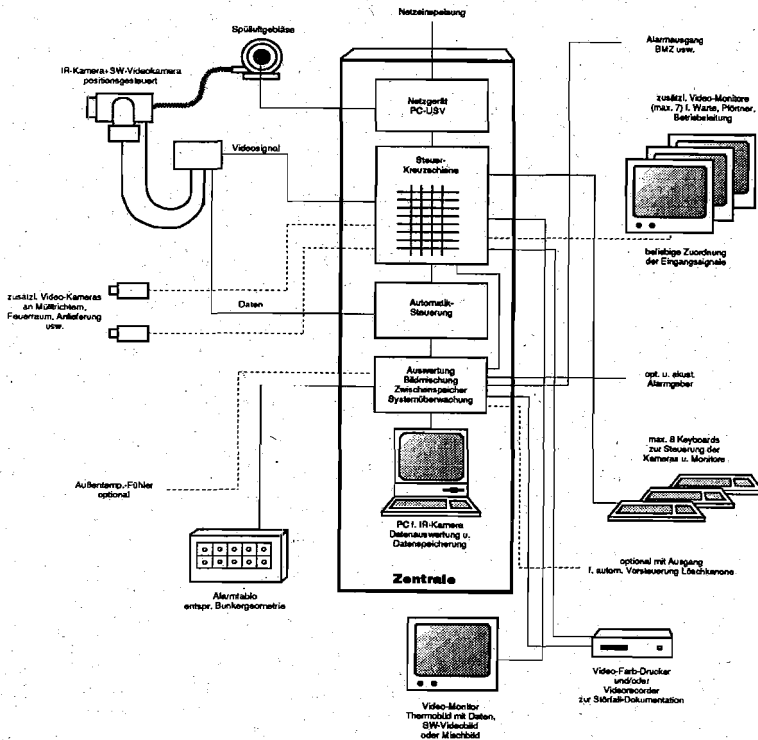


Auch durch Netzausfall kann das System arbeitsunfähig werden. Nach Wiederherstellung der Netzversorgung fährt das System selbständig wieder an und nimmt die Überwachung auf.

## 5.2 Weitere Müllbunkerüberwachungssysteme

### 5.2.1 Thermographisches System zur Bunkerbrandfrüherkennung für Müllbunker<sup>5</sup>

Im Frühjahr 1994 ist in der Müllverbrennungsanlage in Schweinfurt ein anderes Bunkerüberwachungssystem installiert worden. Im Unterschied zu dem vorgenanntem System arbeitet dieses mit IR-Sensoren im Wellenlängenbereich von 2...5  $\mu\text{m}$ , die



**Bild 20: Prinzipieller Aufbau des thermographischen Müllbunkerüberwachungssystems**

<sup>5</sup> IBK Elektronik INGENIEURBÜRO KAISER, 59368 Werne

durch wartungsfreie Peltierelemente gekühlt werden. Nach Aussagen des Herstellers dieser IR-Kamera (AGEMA) ist es mit zusätzlichen Einrichtungen wie spezielle Optik, Referenzstrahlern, und elektronischen Korrekturen auch möglich in dem Wellenlängenbereich von 2 bis 5  $\mu\text{m}$  genügend genaue Messungen für eine Müllbunkerüberwachung durchzuführen.

Neben der IR-Kamera ist noch eine hochauflösende SW-Videokamera integriert. Das Bild der Videokamera kann in das Wärmebild eingemischt werden.

### **5.2.2 Brandüberwachung und Erleichterung der Brandbekämpfung im Müllbunker<sup>6</sup>**

Ein weiteres Konzept wird gebildet durch ein dreidimensionales digitales System, welches Brandherde in Stereoskopischen Wärmebildern detektiert, lokalisiert und die Lage zusammen mit den aktuellen Greiferpositionen auf Computerbildschirm darstellt. Das System arbeitet mit zwei IR-Kameras, die in einem bestimmten Abstand (2 m) voneinander auf den selben Beobachtungsbereich gerichtet sind. Durch den Abgleich der beiden Wärmebilder kann die Position eines Wärmenestes in allen drei Dimensionen errechnet und mit den Koordinaten dargestellt werden. Gleichzeitig werden in dieser Darstellung die aktuellen Positionen der Müllgreifer angezeigt. Die Überwachungsanlage kann mit der Option "Automatische Löschung" ausgestattet werden. In diesem Fall werden die errechneten Koordinaten an eine fernsteuerbare Löscheinrichtung übergeben.

### **5.2.3 Anmerkungen**

Weitere Anbieter von Bunkerüberwachungssystemen sind:

- IRIS GmbH, 21391 Reppenstedt,
- Infra Tec GmbH, 01217 Dresden.

Bei den in Kapitel 5.2 genannten Überwachungssystemen fehlt bisher der praktische Eignungsnachweis z.B. in Form von Forschungsergebnissen oder einer in Betrieb befindlichen Anlage. Es kann deshalb hier keine Aussage gemacht werden, ob mit diesen Systemen die in Kap. 4 aufgeführten Anforderungen erfüllt werden bzw., ob die genannte Zielsetzung in ausreichendem Maße erreicht wird.

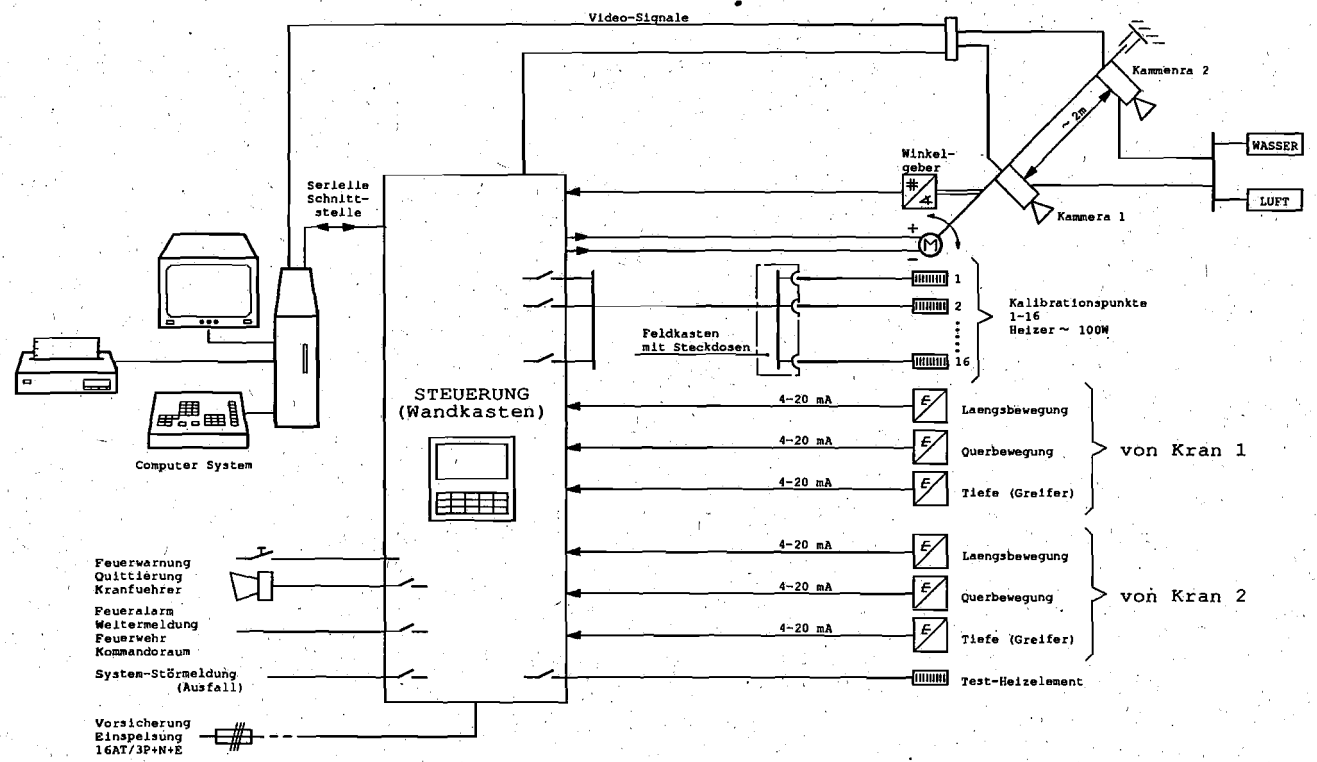
## **6. Ausblick/Weiterentwicklungen/Anwendungsbereiche**

Im April 1995 ist an der Fachhochschule Gelsenkirchen im Labor für Energietechnik, Fachbereich Versorgungs- und Entsorgungstechnik (Prof. Dr.-Ing. R. Braun), eine "Untersuchung der möglichen Funktionserfüllung thermographischer Systeme der

---

<sup>6</sup> von ROLL AG, Umwelttechnik, Zürich

Bild 21: System "Von Roll - KOHRA®"; Kordinatorator für die Brandbekämpfung



Früherkennung von Bränden in Abfallbunkern unter besonderer Berücksichtigung der Absorption in Zwischenmedien, des Einflusses von Fremdstrahlung und der Abfallabhängigkeit des Emissionsgrades" begonnen worden. Ziel dieses innerhalb von sechs Monaten durchzuführenden Projektes ist die Beantwortung der folgenden, die Anwendung der thermographischen Meßtechnik betreffenden Fragen:

1. Welchen Einfluß haben Störungen, die durch die Reflexion möglicher Fremdstrahlung und durch die Absorption realer Zwischenmedien bewirkt werden, bei unterschiedlichen, alternativen Spektralbereichen? Welche Abweichung ist zu tolerieren, wenn anstelle des von 8 bis 15  $\mu\text{m}$  reichenden Wellenlängenbereichs der Bereich von 2 bis 5  $\mu\text{m}$  gewählt wird?
2. Welchen Einfluß hat die Abfallabhängigkeit des Emissionsgrades?
3. Bis zu welcher Fehlergrenze müssen Abweichungen der absoluten Bestimmung der Temperatur toleriert werden, bzw. in welchem Umfang ist eine nicht ausreichend realisierbare absolute Bestimmung der Temperatur durch Trendanalysen zu substituieren?
4. Wie ist ein Prüfkörper zu gestalten und welche Aussagekraft kann mit dessen Hilfe im Rahmen einer sicherheitstechnischen Prüfung eines Brandfrüherkennungssystems erzielt werden?

Die Beantwortung dieser Fragen soll unter Einbeziehung der aus der Literatur verfügbaren Erkenntnisse, vorwiegend mit Hilfe meßtechnischer Untersuchungen erfolgen.

Das in diesem Bericht vorgestellte Müllbunkerüberwachungssystem wurde aufgrund von Brandereignissen in Müllverbrennungsanlagen für die Überwachung von Hausmüll und Sonderabfällen entwickelt.

Derartige Brandschutzsysteme können darüberhinaus auch in anderen verwandten Bereichen Anwendung finden. Anwendungsbereiche sind zum Beispiel:

- Bunker für Abfall aus Haushalt und Gewerbe in Verbrennungs- und sonstigen Abfallbehandlungsanlagen; inklusive Sperrmüllbunker.
- Lager und Zwischenlager für abfallähnliche Wertstoffe, die in zu Abfallbunkern vergleichbarer Art gelagert werden.
- Schüttungen von Schreddermüll.

## Literatur

- [1] 12. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall Verordnung).
- [2] 17. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe).
- [3] Euteneuer, U.:  
Möglichkeiten zur Früherkennung von Müllbunkerbränden - Ergebnisse aus Versuchen mit Thermographiesystemen -  
Aus der Tätigkeit der LIS 1989.
- [4] Katzer, H. und W. von Borries:  
Automatisches Überwachungssystem zur Früherkennung von Bunkerbränden in Abfallverbrennungsanlagen.  
Vortrag auf der VGB-Konferenz "Forschung in der Kraftwerkstechnik 1993".
- [5] Borries, W. von und K. Katzer:  
Frühzeitige Erkennung von Brandentwicklungen im Abfallbunker - Anforderungen an ein automatisches Überwachungssystem -  
Vortrag auf der VGB-Fachtagung "Thermische Abfallverwertung 1993".
- [6] Höratron GmbH  
Diverse Informationsschriften.

**Seit 1. April 1994 sind bisher folgende „Materialien“ des Landesumweltamtes NRW erschienen:**

- |   |   |          |
|---|---|----------|
| 1 | Der Dynamische Daphnientest<br>– Erfahrungen und praktische Hinweise –<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 44 S.                            | 15,00 DM |
| 2 | Umsetzung der TA-Siedlungsabfall bei Deponien<br>2. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 99 S.           | 15,00 DM |
| 3 | Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 153 S.  | 20,00 DM |
| 4 | Einsatz alternativer Baustoffe in Abdichtungssystemen<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 91 S.   | 15,00 DM |
| 5 | Einwicklung im Bereich der Sonderabfallentsorgung<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 39 S.   | 15,00 DM |
| 6 | Ökologische Auswirkungen von Fischteichen auf Fließgewässer<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 208 S.                                      | 25,00 DM |
| 7 | Ökologische Effizienz von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 462 S.                              | 28,00 DM |
| 8 | Vermeidung von Bunkerbränden in Abfallverbrennungsanlagen mit Hilfe<br>der Infrarot-Thermographie<br>Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 53 S. | 15,00 DM |