

**Thomas Schröder**

# Bilddatengestützte Erkennung von Deflagrationen

**Doktorarbeit / Dissertation**

# BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei [www.GRIN.com](http://www.GRIN.com) hochladen  
und kostenlos publizieren



### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

### **Impressum:**

Copyright © 2016 GRIN Verlag  
ISBN: 9783668366350

### **Dieses Buch bei GRIN:**

<https://www.grin.com/document/349760>

**Thomas Schröder**

# **Bilddatengestützte Erkennung von Deflagrationen**

## **GRIN - Your knowledge has value**

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite [www.grin.com](http://www.grin.com) ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

### **Besuchen Sie uns im Internet:**

<http://www.grin.com/>

<http://www.facebook.com/grincom>

[http://www.twitter.com/grin\\_com](http://www.twitter.com/grin_com)

# **Bilddatengestützte Erkennung von Deflagrationen**

Der Fakultät für Maschinenbau  
der Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg  
zur Erlangung des akademischen Grades  
eines Doktor-Ingenieurs genehmigte

DISSERTATION

von

**Thomas Schröder**

aus Wismar

**Hamburg 2016**

Tag der mündlichen Prüfung: 8. Dezember 2016

Hauptreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. K. Krüger  
Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg  
Fakultät für Maschinenbau  
Professur für Prozessdatenverarbeitung und Systemanalyse

Korreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Hendrik Rothe  
Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg  
Fakultät für Maschinenbau  
Professur für Mess- und Informationstechnik

# Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Prozessdatenverarbeitung und Systemanalyse an der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg.

Mein besonderer Dank gilt dabei Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Krüger für seine intensive, fördernde aber auch fordernde Betreuung. Insbesondere sein persönliches Engagement, das überhaupt zum Start dieser Arbeit führte, als auch seine herzliche und hilfsbereite Art haben sehr zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Hendrik Rothe danke ich recht herzlich für die Übernahme des Zweitgutachtens und das Interesse an meiner Arbeit. Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Markus Bause als Prüfungsvorsitzenden danke ich für den reibungslosen Ablauf des Promotionsverfahrens.

Außerdem geht ein großer Dank an Sebastian Cepelak, Magnus Bunk, Sascha Einig, Björn Heitbrink, Helge Krystian, David Twardzik, Michael Helmig, Jan-Hendrik Schmedewitz, Jost Cors, Pascal Dluhosch und Hendrik Vogeler, die ich im Rahmen ihrer Studien-, Bachelor- oder Masterarbeiten betreuen durfte und die auf diese Weise einen großen Beitrag für diese Arbeit lieferten.

Bei meinen Kollegen möchte ich mich für die gemeinsame Zeit am Institut und die vielen „lächelmuskelintensiven“ Kaffeerunden bedanken. Mein Dank gilt insbesondere Dr.-Ing. Vico Haverkamp und Dr.-Ing. Dustin Büttner für die sehr kurzweilige Zeit als Bürokollegen, die immer auch ein offenes Ohr für fachliche Probleme hatten. Auch geht ein großer Dank an die Kollegen in Werkstatt und Labor, Reinhard Schulz, Hendrik Schönig, Wolfgang Schmidt und Wolfgang Kletz, ohne die die beiden Versuchsstände und die zahlreichen experimentellen Ergebnisse niemals möglich gewesen wären.

Als Projektpartner danke ich Herrn Dr. Winfried Schuhn, Herrn Dr. Frank Sabath und ganz besonders Herrn Felix Kümmerlen vom Wehrwissenschaftlichen Institut Munster für die großartige Zusammenarbeit und stetige Unterstützung.

Ich möchte mich zudem bei all meinen Freunden und meiner Familie bedanken, die mich, auf verschiedenste Weisen, während der gesamten Zeit der Dissertation unglaublich unterstützt haben. Besonders meiner Frau Mandy, ohne ihre Unterstützung wäre diese Arbeit so nicht möglich gewesen. Sie stand mir die gesamte Zeit mit sehr viel Geduld und Verständnis zur Seite und motivierte mich mit den richtigen Worten zur richtigen Zeit.

Hamburg, im Dezember 2016



„Alles, was schiefgehen kann, wird auch schiefgehen.“

Edward A. Murphy

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen zur Deflagrationsdetektion</b>	<b>4</b>
2.1	<b>Begriffsklärung: Feuer und Deflagration</b>	<b>4</b>
2.2	<b>Aktuelle Methoden zur Detektion von Verbrennungsvorgängen</b>	<b>7</b>
2.2.1	Deflagrationsdetektion mittels optischer Detektoren	10
2.2.2	Digitale Bildverarbeitung zur Erfassung von Feuern	17
2.3	<b>Gefährdungsszenarien</b>	<b>23</b>
2.3.1	Militärische Bedrohungsszenarien	23
2.3.2	Zivile Anwendungsgebiete am Beispiel der Munitionsproduktion	26
2.4	<b>Konzept zur Deflagrationsdetektion</b>	<b>28</b>
2.4.1	Allgemeine Anforderungen	29
2.4.2	Definition und Einordnung des Detektionskonzeptes	31
<b>3</b>	<b>Versuchsaufbauten</b>	<b>34</b>
3.1	<b>Versuchsstand zur Simulation von Gasstrahlung</b>	<b>34</b>
3.1.1	Einrichtungen zur Nachbildung von Gasstrahlung	34
3.1.2	Analytische Beschreibung der Strahlungsquellen	36
3.2	<b>Kleinskalige Propangas-Deflagrationen</b>	<b>40</b>
3.2.1	Bestimmung der physikalischen Randbedingungen	40
3.2.2	Aufbau und Wirkungsweise des Versuchsstandes	46
3.2.3	Charakterisierung der erzeugten Deflagrationen	49
3.3	<b>Nachbildung von realitätsnahen Szenarien</b>	<b>53</b>
3.3.1	Einrichtung zur Erzeugung von JP-8-basierten Deflagrationen	53
3.3.2	Simulation von Angriffen mit BKM	55
3.3.3	Simulation von Feuern definierter Größe	56
<b>4</b>	<b>Bildverarbeitungsbasierte Detektion</b>	<b>57</b>
4.1	<b>Auswahl eines Detektionssystems</b>	<b>57</b>
4.1.1	Untersuchung von aktuellen Detektions- und Sensorsystemen	57
4.1.2	Potential eines hochdynamischen Kamerasystems	62
4.1.3	Modifikation des Detektionskonzeptes	65
4.2	<b>Strukturierung des Detektionsablaufes</b>	<b>66</b>
4.3	<b>Identifizierung deflagrations- und feuerähnlicher Bildpunkte</b>	<b>68</b>
4.3.1	Chromatische Merkmale	68
4.3.2	Erfassung der Intensitätsdynamik	76
4.4	<b>Parametrische Differenzierung von Verbrennungsvorgängen</b>	<b>81</b>
4.4.1	Zweidimensionale Expansionserfassung	82

4.4.2	Niederfrequente Flammenbewegung .....	85
<b>4.5</b>	<b>Fuzzylogikbasierte Klassifizierung der Kennzahlen .....</b>	<b>90</b>
4.5.1	Klassifizierungsmodell zur Identifizierung von Bildpunkten.....	93
4.5.2	Klassifizierungsmodell zur Deflagrationsverifizierung .....	98
4.5.3	Klassifizierungsmodell zur Feuerverifizierung .....	103
<b>4.6</b>	<b>Zusammenfassende Beschreibung des Detektionsalgorithmus .....</b>	<b>108</b>
<b>5</b>	<b>Verifikation des Detektionsalgorithmus .....</b>	<b>112</b>
<b>5.1</b>	<b>Bestimmung der Detektionsparameter .....</b>	<b>112</b>
5.1.1	Grenzfrequenz Hochpassfilter.....	113
5.1.2	Belichtungszeit Kamera .....	113
5.1.3	Intervall Expansionsparameter.....	114
5.1.4	Intervall Gewichtungsfaktor.....	116
5.1.5	Schwellenwerte Wahrscheinlichkeiten .....	117
<b>5.2</b>	<b>Kleinskalige Deflagrationen.....</b>	<b>119</b>
<b>5.3</b>	<b>Realitätsnahe Szenarien .....</b>	<b>123</b>
5.3.1	Deflagrationen auf Basis von JP8 .....	123
5.3.2	Brandkampfmittel Molotowcocktail .....	128
5.3.3	Feuer auf Basis bekannter Brennstoffe .....	131
<b>5.4</b>	<b>Störquellenempfindlichkeit.....</b>	<b>139</b>
5.4.1	Auswahl relevanter Störquellenszenarien .....	139
5.4.2	Charakterisierung der Störquellen.....	144
5.4.3	Optimierungsansätze .....	148
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>152</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>159</b>

---

## Abkürzungsverzeichnis

BKM	Brandkampfmittel
BUA	Brandunterdrückungsanlage
CCD	Charged-coupled Device (Ladungsgekoppeltes Bauelement)
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor (Sich ergänzender Metall-Oxid-Halbleiter)
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FFT	Fast Fourier Transformation
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse)
FPGA	Field Programmable Gate Arrays (Vor Ort programmierbare Logik-Gatter-Anordnung)
GigE	Gigabit Ethernet
GL	Glühlampe
GTK	Gepanzertes Transport-Kraftfahrzeug
HE	High-Explosive (Hochexplosiv)
HSI	Farbraum aus Hue (Farbwert), Saturation (Farbsättigung) und Intensity (Lichtintensität)
HSV	Farbraum aus Hue (Farbwert), Saturation (Farbsättigung) und Value (Hellwert)
IED	Improved Explosive Device (Unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtung)
JP-8	Jet Propellant 8
L*a*b	Farbraum aus Luminanzkomponente, a-Komponente (von Grün bis Rot) und b-Komponente (von Blau bis Rot)
LED	Light-Emitting Diode (Licht-emittierende Diode)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Nationale Aeronautik- und Raumfahrtbehörde)
NATO	North Atlantic Treaty Organization (Organisation des Nordatlantikvertrages)
RGB	Farbraum aus Rot, Grün und Blau
RPZ	Risikoprioritätszahl
SEP	Spatial Expansion Parameter (Räumlicher Expansionsparameter)
STANAG	Standardization Agreement (Standardisierungsübereinkommen)
WIS	Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien und ABC-Schutz
YCbCr	Farbraum aus Luminanz Y, blau-gelbe Chrominanz und rot-grüne Chrominanz

YUV      Farbraum aus Luminanz Y und zwei Chrominanz-Unterkomponenten

## Symbolverzeichnis

### Griechische Formelzeichen

$\Omega$	Raumwinkel
$\alpha$	Verbrennungsluftverhältnis
$\beta$	Abbildungsmaßstab
$\gamma$	Gewichtungsfaktor Hochpassfilter
$\varepsilon$	Emissionsgrad
$\kappa$	Gewichtungsfaktor Frequenzanteile
$\lambda$	Wellenlänge
$\phi_e$	Strahlungsfluss
$\rho$	Dichte
$\tau$	Zeitkonstante
$\tau_A$	Anstiegszeitdauer

### Lateinische Formelzeichen Großbuchstaben

$A, A'$	Fläche, projizierte Fläche
$A_E$	Empfängerfläche
$A_S$	abstrahlende Fläche
$A_{S,Diode}$	aktive Sensorfläche der Diode
$CGO$	Zählvariable
$C_V$	isochore Wärmekapazität
$D$	Durchmesser
$E$	Quotient des Leistungsanteils eines Signals
$E_e$	Bestrahlungsstärke
$FPS$	Anzahl der aufgenommenen Bilder pro Sekunde
$H_u$	unterer Heizwert
$I$	Intensität
$I_{HP}$	hochpassgefilterte Intensität
$I_{SQ}$	Elektrische Stromstärke der Strahlungsquelle
$I_e$	Strahlstärke
$K$	Kennzahl
$M_e$	spezifische Ausstrahlung

$M_{e\lambda}$	spezifische spektrale Ausstrahlung
$Q$	Wärme
$R$	elektrischer Widerstand
$R_S$	spezifische Gaskonstante
$RB$	Kennzahl Rot-Blau-Verhältnis
$S$	Sensitivität der Diode
$SW$	Schwellenwert
$T$	Temperatur
$T_{HP}$	Zeitkonstante Hochpassfilter
$T_P$	Periodendauer
$T_{T_1}$	Zeitkonstante des Verzögerungsglieds erster Ordnung
$U$	innere Energie
$U_{Diode}$	Diodenspannung
$U_R$	Reaktionsspannung
$U_d$	Dunkelspannung
$U_e$	Endwert der Dioden-Ausgangsspannung
$V$	Volumen
$X$	Amplitudenwert
$X_D$	Wahrscheinlichkeit einer Deflagration
$X_F$	Wahrscheinlichkeit eines Feuers
$X_P$	Wahrscheinlichkeit eines deflagrations- und feuerähnlichen Pixels
$Z$	Variable

***Lateinische Formelzeichen Kleinbuchstaben***

$a$	Variable
$b$	Variable
$b_{BW}$	Brennweite
$c$	Variable
$c_V^m$	mittlere spezifische isochore Wärmekapazität
$c_0$	Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
$d$	Variable
$e$	Exponentialfunktion
$f$	Frequenz
$f_w$	Wirbelablösefrequenz

---

---

$f_s$	Abtastfrequenz
$f_g$	Grenzfrequenz
$g$	Variable
$h$	Plancksche Wirkungsquantum
$i, j$	Zählvariable
$k$	Boltzmann-Konstante
$l, l'$	Pixellänge, projizierte Pixellänge
$l_{\min}$	Mindestluftbedarf
$m$	Masse
$n$	Zählvariable
$o_{\text{horiz}}$	horizontale Ausdehnung eines Verbrennungsvorganges in Pixeln
$p$	Druck
$p_0$	Normaldruck
$q$	Anzahl an identifizierten Bildpunkten
$r$	Radius
$s$	Variable
$t$	Zeit
$u$	Variable
$v$	Zählvariable
$v_{\text{horiz}}$	horizontale Ausbreitungsgeschwindigkeit
$w$	Zählvariable
$w_R, w_G, w_B$	Gewichtungsfaktoren zur Umrechnung der RGB-Werte in den Intensitätswert
$x, y$	Koordinaten
$z$	Zählvariable

**Indizes**

Br	Brennstoff
Defl	Deflagration
Gemisch	Brennstoff-Luft-Gemisch
L	Luft
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
H <sub>2</sub> O	Wasser
N <sub>2</sub>	Stickstoff



O <sub>2</sub>	Sauerstoff
Pix	Pixel
SW	Schwellenwert
ad	adibat
erf	erforderlich
ges	gesamt
max	maximaler Wert einer Größe
min	minimaler Wert einer Größe
ref	Referenzwert
st	statisch
über	überschüssig

# 1 Einleitung

„...Soldatinnen und Soldaten im Einsatz haben Anspruch auf den bestmöglichen Schutz. Überlebensfähigkeit und Schutz von Personal und Infrastruktur sind unabdingbare Grundvoraussetzungen für die Auftragserfüllung und Ausdruck der Fürsorgeverpflichtung des Staates gegenüber den Angehörigen der Bundeswehr...“ [Weißbuch 06]

Mit der Neuausrichtung des Aufgabengebietes der Bundeswehr infolge der veränderten politischen Lage in der Welt seit Ende des Kalten Krieges haben sich auch die Anforderungen an das Gesamtschutzkonzept für militärische Fahrzeuge stark gewandelt. Die Landesverteidigung im Bündnisrahmen gegen mögliche, aber unwahrscheinliche Bedrohungen stellt nicht mehr die alleinige Hauptaufgabe der Bundeswehr dar. Immer mehr in den Fokus kommen die Einsätze zur Verhütung internationaler Konflikte und die Krisenbewältigung sowie der Kampf gegen den internationalen Terrorismus. Damit ändert sich auch das Bedrohungsszenario ausgehend von symmetrischen Angriffen regulärer Armeen hin zu asymmetrischen Angriffen irregulärer Kräfte. Dennoch ist und bleibt der Schutz der Soldatinnen und Soldaten die oberste Priorität und muss an die sich ändernden Gegebenheiten angepasst und wann immer möglich verbessert werden.

Für die Einsätze innerhalb internationaler Bündnissysteme eignen sich besonders leichte Radfahrzeuge, die sowohl taktisch, operativ als auch strategisch mobil sind. Dementsprechend muss sich auch das Gesamtschutzkonzept dieser Fahrzeuge stark an den möglichen Gefahren während der Operationen orientieren. Hierbei treten die direkten Schutzmaßnahmen, die primär die Überlebensfähigkeit der Besatzung zum Ziel haben, in den Fokus der weiteren Betrachtung.

Ein integraler Bestandteil dieser direkten Schutzmaßnahmen in militärischen Fahrzeugen ist die Brandunterdrückungsanlage (BUA). Dieses Löschesystem dient zur Reduzierung von Sekundärschäden infolge eines explosionsähnlichen Verbrennungsvorganges (Deflagration) im Kampfraum des Fahrzeuges. Dabei sollen die Deflagrationen bereits in ihren Anfangsstadien erfasst und gelöscht werden, um ernsthafte Verletzungen der Besatzung zu vermeiden. Typische Löscheziten liegen für diese Anwendungsumgebung im Bereich von 150 – 250 ms. Ein entscheidender Faktor des Löschvorganges ist die schnelle und fehlerfreie Detektion. Aktuelle optische Detektionssysteme basieren immer noch auf dem klassischen Angriffsprofil und werden den heutigen Bedrohungsszenarien nur noch bedingt gerecht. Zudem liefern diese Systeme nur das Detektionssignal und keine zusätzlichen Informationen über das erfasste Ereignis, was wiederum einen Spielraum für Fehlalarme durch Störquellen zulässt. Dabei könnte sich mit zusätzlichen Informationen das nachfolgende Löschesystem effizienter betreiben lassen. Ebenso könnte die Substitution heutiger Halon-Löschmittel durch neuartige, lokal wirkende Löschesysteme auf Basis von Wasserdampf durch die Bereitstellung weiterer Informationen beschleunigt werden.

Auch bei zivilen Infrastrukturen gewinnt der Schutz vor Beschädigungen durch verschiedene Verbrennungsvorgänge eine immer größere Bedeutung. Insbesondere für die informationstechnische Versorgung unserer Gesellschaft kann bereits der Verlust eines Internet-Knotens zu einer Drosselung oder sogar Ausfall des internationalen Datenverkehrs führen. Auch der

Ausfall eines neuralgischen Punktes der Energieversorgung hätte einen lokalen, vielleicht sogar einen regionalen, Systemzusammenbruch zur Folge [Pamlin 15]. Dementsprechend sichern sich die Betreiber solcher hochsensibler Infrastrukturen auch gegen die Beschädigung und Zerstörung durch Verbrennungsvorgänge jeglicher Art durch den Einsatz verschiedener Löscheinrichtungen ab. Aber auch innerhalb der Prozessindustrie genießt die schnelle Detektion und rechtzeitige Unterdrückung sich schnell ausbreitender Verbrennungsvorgänge oberste Priorität, um die möglichen Schäden am Prozess und besonders an Personen zu vermeiden oder wenigstens auf einen minimalen Grad zu beschränken.

Für den Schutz der zivilen Infrastrukturen vor Deflagrationen ist die Bandbreite an verwendeten Detektoren und Sensoren deutlich größer als im bereits vorgestellten militärischen Anwendungsgebiet. Jedoch beschränken sich auch die zivil genutzten Systeme zur Erfassung von Deflagrationen überwiegend auf die Bereitstellung eines Detektionssignales und lassen zusätzliche Informationen über den Verbrennungsvorgang außen vor. Zudem sind die Detektoren speziell auf die vor Ort herrschenden Gegebenheiten angepasst und für einen universellen Einsatz in verschiedenen Infrastrukturen nicht verwendbar.

Einzig die bereits seit längerer Zeit etablierten bildverarbeitungsbasierten Detektionssysteme für den Schutz von zivilen Infrastrukturen (z. B. Tunnel, Industriemühlen und Raffinerien) und Wäldern vor Feuer liefern neben der eigentlichen Detektion auch Informationen über die Örtlichkeit und das Ausmaß des Verbrennungsvorganges. Aufgrund der hohen Dichte an Überwachungskameras im öffentlichen Raum und in industriellen Produktionsstätten sind bereits zahlreiche potentielle Sensorsysteme für die bilddatengestützte Detektion von Verbrennungsvorgängen großflächig vorhanden. Außerdem sind für aktuelle Kamerasysteme keine großen Investitionen notwendig, was wiederum den Nachteil bei der Beschaffung gegenüber den bisherigen optischen Detektoren kompensiert. Allerdings sind die bekannten bildverarbeitungs-basierten Detektionssysteme nicht in der Lage, hochdynamische Deflagrationen in einer für eine erfolgreiche Unterdrückung akzeptablen Zeitspanne zu erfassen.

Demzufolge ist die Entwicklung eines neuen technologischen Konzeptes zur Detektion von Deflagrationen notwendig, was Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist. Dazu muss in einem ersten Schritt der bisher in der Fachliteratur vielseitig interpretierbar definierte Verbrennungsvorgang Deflagration exakt erläutert und von den weiteren Verbrennungsvorgängen Explosion und Feuer verständlich abgegrenzt werden. Als Anwendungsumgebung wird primär ein militärisches Gefährdungsszenario als Einsatzzweck für das Detektionssystem angesehen. Jedoch werden im weiteren Verlauf der Arbeit auch zivile Anwendungsgebiete aufgezeigt. Die vorgestellten zivilen und militärischen Szenarien dienen zur detaillierten Bestimmung der Anforderungen an die Methode.

Die entwickelte Detektionsmethode soll dabei vorrangig die Leistungsfähigkeit aktueller Detektionssysteme hinsichtlich der Detektionszeit erreichen und analog zur bilddatengestützten Feuerdetektion weitere Informationen über die Deflagration liefern. Dies kann einerseits durch die Verknüpfung von aktueller Detektionstechnik mit bekannten bilddatengestützten Methoden zur Feuerdetektion erfolgen. Andererseits ist bei ausschließlicher Verwendung eines für die Deflagrationsdetektion geeigneten Kamerasystems die Entwicklung einer speziell auf die Merkmale einer Deflagration ausgelegten bildverarbeitungs-basierten Methode notwendig.