



Thorsten Schultze (Autor)  
**Untersuchungen zur Minderung von durch Störaerosole  
bedingten Fehlalarmen bei optischen Rauchmeldern**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/181>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Einleitung

Das Ausmaß der Schäden, die durch einen Brand verursacht werden, steht in direktem Zusammenhang mit seiner Dauer, bzw. mit der Zeit zwischen dem Beginn des Brandes und der Löschung. Oft verursacht der Löschvorgang an sich auch weiteren Schaden, jedoch ist dieser ebenfalls mittelbar abhängig vom Ausmaß des Brandes. Um den Schaden zu minimieren ist es demzufolge notwendig, den Brand möglichst früh zu erkennen. Automatische Systeme, die einen Brand in seiner frühen Phase erkennen, sind bereits für viele Einsatzgebiete erhältlich.

Im Betrieb einer Brandmeldeanlage zeigt sich jedoch, dass nicht allein die frühzeitige Alarmierung im Falle eines Brandes wichtig ist. In der Zeit, in der kein Brand vorliegt (meist die überwiegende Zeit), sollte das Brandentdeckungssystem auch keinen Alarm melden. Die Unterdrückung von möglichen Fehlalarmen erweist sich als eine noch komplexere Aufgabe als die tatsächliche Branderkennung, zumal die strenge Vorgabe besteht, dass alle Brände entdeckt werden müssen.

Fehlalarme sind kostenintensiv. Die dadurch bedingten Betriebsunterbrechungen verursachen finanzielle Schäden im fünfstelligen Euro-Bereich. Ein Fehlalarm während eines Fluges kann sogar eine Notlandung der Maschine am nächstliegenden Flughafen zur Folge haben. Zudem belasten sie die Rettungskräfte. Eine nicht seltene, aber verhängnisvolle Reaktion auf häufige Fehlalarme kann daher letztendlich die Abschaltung ganzer Anlagenabschnitte sein.

Die Ursachen von Fehlalarmen sind unterschiedlich. Oft ist es keine Fehlfunktion, die zu einem falschen Alarm führt, sondern eine brandähnliche Situation, die der Melder von einem Brand nicht zu unterscheiden weiß. Bei Rauchmeldern treten solche Situationen auf, wenn die Luft mit Störaerosolen wie Wasserdampf oder Staub belastet ist.

Um die Störanfälligkeit von Rauchmeldern für Störaerosole zu reduzieren, wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt und von namhaften Herstellern teilweise schon implemen-

tiert. Diese Arbeit präsentiert zwei Studien zur Reduktion von Fehlalarmen bei optischen Rauchmeldern, die auf der Optimierung und Nutzung einer verbesserten Optik basieren.

Im ersten Verfahren fungiert ein Bildsensor (Video-Kamera) als Streulichtsensor. Mit der erhöhten örtlichen Auflösung wird eine Charakterisierung von Aerosolen angestrebt, die zu Unterscheidungskriterien zwischen Brand- und Nichtbrandaerosolen führt. Das zweite Verfahren benutzt ebenfalls einen Bildsensor, wertet aber zusätzlich die polarimetrischen Eigenschaften des Streulichts aus. Im Fokus dieser zweiten Studie liegt die Depolarisation des Lichts aufgrund von Mehrfachstreuung an den Aerosolpartikeln.

Die Arbeit ist in 7 Kapiteln gegliedert. Eingeleitet wird die Thematik durch einen Überblick über die heutigen Methoden zur Reduktion von Fehlalarmen durch Störaerosole. Daran anschließend folgen Grundlagen zur Streuung von Licht, die als Basis für die Auswertung und Interpretation der Messdaten dienen. Teil 3 präsentiert den Messaufbau mit allen relevanten technischen Daten. In Kapitel 4 werden die durchgeführten Versuche beschrieben. Das erste Verfahren wird in Kapitel 5 beschrieben. Daran anknüpfend wird in Kapitel 6 das polarimetrische Verfahren vorgestellt. Inhalt beider Teile ist u.a. die Auswertung der Verfahren in verschiedenen Szenarien und die Entwicklung von entsprechenden Algorithmen zur Fehlalarmunterdrückung. Kapitel 7 fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf noch offen stehende Möglichkeiten der Anwendung der erzielten Erkenntnisse.

# Kapitel 1

## Stand der Technik

Brände durchlaufen oft verschiedene Stadien und entwickeln sich meist zunächst als Schwelbrände, bevor Flammen entstehen. Diese durchaus lang andauernde Phase eines Brandes ist ebenso gefährlich wie ein offener Brand, da eine große Menge an Rauch und giftigen, brennbaren Gasen, wie z.B. CO, freigesetzt wird. Als Beispiel eines schweren Schwelbrandes kann der Brand am Düsseldorfer Flughafen im April 1996 genannt werden. In der Schwelphase eines Brandes ist der Temperaturanstieg gering und der „Hotspot“ oft verborgen, weshalb eine Brandfrüherkennung anhand von Rauch- oder Gasmessungen, sinnvoll ist.

Zur Erkennung von Rauch sind zwei Funktionstypen von Meldern weit verbreitet: Melder die nach dem Ionisationsprinzip arbeiten (I-Melder) und optische Rauchmelder. Aufgrund von gesetzlichen Vorgaben zum Strahlenschutz sind I-Melder (zumindest in Europa) seltener geworden. Optische Rauchmelder, bzw. Systeme, die Rauch auf optischem Weg detektieren, können sehr unterschiedlich aufgebaut sein und finden in ebenso unterschiedlichen Szenarien Anwendung.

Optische Melder, die nach dem Extinktionsprinzip (lineare Melder) arbeiten, benötigen eine lange Messstrecke, typischerweise von einigen Metern Länge. Sie werden dort eingesetzt, wo große Räume überwacht werden müssen, wie z.B. hohe Hallen, Korridore oder Müllbunker.

Die videobasierte Rauchererkennung wird häufig in Tunneln implementiert, da diese schon für die Verkehrsüberwachung mit Kameras ausgestattet sind. Die eigentliche Detektion beruht dabei u.a. auf der Erkennung von Bildbereichen, in denen Kontraste wegen der Bildtrübung verloren gehen. Durch videobasierte Systeme können auch Flammen erkannt

werden und gleichzeitig kann das System eine grobe Lokalisierung des Brandherdes vornehmen. Dazu siehe z.B. [58] und [72].

Weit verbreitet sind jedoch optische Melder, die nach dem Streulichtprinzip funktionieren, in der Form punktförmiger Melder oder linienförmiger Melder, wie z.B. Ansaugsysteme. Einfache Streulichtmelder bestehen aus einer Lichtquelle, die das Streuvolumen beleuchtet, und einem Lichtsensor, der diesen Bereich überwacht. Als Lichtquelle wird üblicherweise eine gepulste Infrarot-Leuchtdiode eingesetzt. Eine Photodiode dient als Empfänger. Diese sind so angeordnet, dass im Normalfall, wenn kein Aerosol vorhanden ist, das gesendete Licht den Lichtsensor nicht erreicht. Tritt ein Aerosol in die Messkammer, wird das gesendete Licht daran gestreut und auch in Richtung des Sensors abgestrahlt. Überschreitet die gemessene Intensität einen Schwellenwert, wird ein Alarm ausgelöst. Auf den Streuprozess wird im Rahmen der optischen Grundlagen (Kapitel 2) näher eingegangen. In diesem Kapitel beschränkt sich die Erläuterung auf die Eigenschaften, Funktionsweise und Vor- bzw. Nachteile der Melder. In Bild 1.1 ist eine Skizze eines einfachen Streulichtmelders zu sehen.

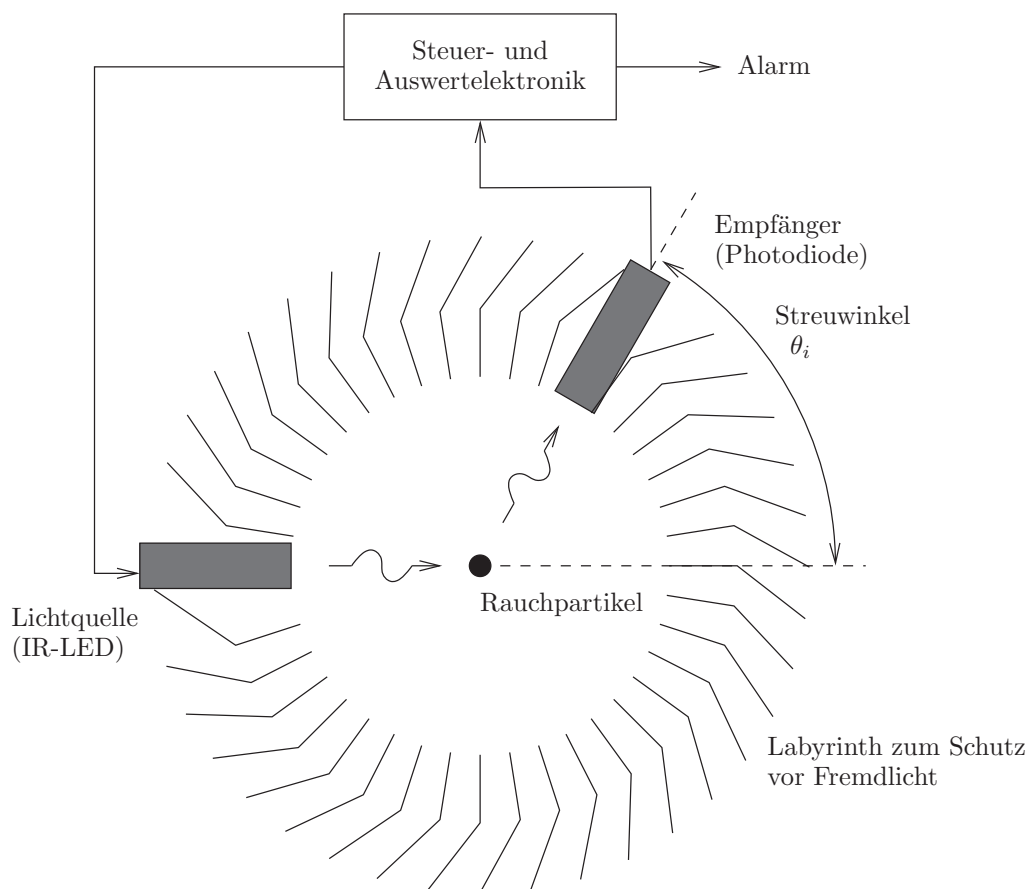


Bild 1.1: Skizze eines optischen Rauchmelders

Streulichtmelder entdecken Rauch von Schwelbränden sehr zuverlässig. Probleme können jedoch bei Rauch von offenen Bränden entstehen, da dieser aus sehr kleinen Partikeln bestehen kann, die wiederum im IR Bereich nur schwach Licht streuen. Daher ist die Empfindlichkeit des Melders für Rauch von offenen Bränden und Rauch von Schwelbränden unterschiedlich. Zudem kann ein Melder, wie in Bild 1.1 dargestellt, nicht zwischen Rauch, Staub und Wasserdampf unterscheiden. Die Bestimmung eines Alarmschwellenwertes ist daher immer ein Kompromiss zwischen der Empfindlichkeit für Rauch von offenen Bränden und der Anfälligkeit für Fehlalarme durch Störaerosole. Dieser Kompromiss wird durch die vorgenannte Minimalvorgabe verschärft, dass kein Brand unentdeckt bleiben darf.

## 1.1 Multisensor-Melder

Um den Einfluss von Störaerosolen zu verringern können einerseits Luftfilter eingesetzt werden, die Staubpartikel nicht in die Messkammer gelangen lassen (z.B. in [5]). Dadurch erhöht sich jedoch der Wartungsaufwand und die Empfindlichkeit des Melders wird bis zu einem gewissen Grade abhängig vom Zustand des Filters. Zudem besteht oft die Notwendigkeit eines zusätzlichen Lüfters, der wiederum auf sein Funktionieren hin überwacht werden muss. Daher sind Luftfilter eher in Rauchansaugsystemen zu finden, bei denen ein einziger Melder ein größeres Gebiet überwacht, wie z.B. einen ganzen Raum.

Andererseits können Melder mit zusätzlichen Sensoren ausgestattet werden, die weitere Informationen über das Szenario liefern und auf diesem Wege die Identifizierung von Störaerosolen erlauben. Eine kostengünstige Erweiterung ist z.B. die Implementierung eines Temperatursensors. Im Falle eines offenen Brandes ist zu erwarten, dass auch die Temperatur ansteigt. Werden die Streulichtdaten mit den Temperaturdaten kombiniert, so kann, bei gleichzeitigem Anstieg beider Größen, ein Alarm früher ausgelöst werden. Ein weiterer Vorteil eines Temperatursensors ist, dass auch Brände, die keinen sichtbaren Rauch produzieren, wie z.B. bei der Verbrennung von Spiritus, erkannt werden. Die Kombination von Streulichterkennung und Temperatúrauswertung ist daher durchaus sinnvoll und wird in vielen Rauchmeldern eingesetzt. Sie verringert jedoch nicht maßgeblich die Wahrscheinlichkeit eines Fehlalarmes durch ein Störaerosol, wie z.B. Staub.

Eine hinsichtlich der Fehlalarmunterdrückung effektive Kombination ist die eines Ionisationsrauchmelders und eines Streulichtmelders, wie von Litton z.B. in [52] und [53] beschrieben. Da Ionisationsrauchmelder besonders empfindlich sind für kleine Partikel im Bereich kleiner als 100 nm [52], [77], sind diese eine gute Ergänzung zu Streulicht-

melden. Aber, abgesehen von der Beeinflussung der Funktion der Ionisationskammern durch Feuchtigkeit, z.B. durch Wasserdampf, ist die notwendige, radioaktive Ionenquelle von Nachteil. Die Melder sind dadurch anzeigepflichtig und falls nach einem Brand ein I-Melder nicht aufgefunden wird, gilt der Brandschutt als Sondermüll [71]. Diese Problematik wird durch die Entwicklung „grüner“ Ionisationsrauchmelder umgangen, welche die Luft nicht durch radioaktive Präparate, sondern anhand von Koronaentladungen ionisieren ([77], [20] und aktuell [19]).

In den letzten Jahren ist die Entwicklung von Gassensoren stark vorangetrieben worden und nahezu jeder namhafte Hersteller bietet Systeme mit dieser Sensorik an. Eine detaillierte Beschreibung der Möglichkeiten mit allen Vor- und Nachteilen von Gassensoren würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Eine gute Übersicht über die aktuelle Entwicklung ist in [90] und [40] zu finden. Nichtsdestotrotz ist es von Interesse, einige Aspekte kurz zu beleuchten.

Eine elegante Kombination von Aerosol- und Gasdetektion ist das von Kelleter in z.B. [38] beschriebene System. Dabei handelt es sich um einen linearen Melder für die Überwachung langer Messtrecken, wie z.B. in großen Hallen oder Müllbunkern. Mit einem Laserstrahl wird einerseits die Dämpfung (optische Extinktion) durch mögliche Schwebstoffe gemessen (wie Nebel, Staub oder Rauch), wodurch die Aerosolkonzentration geschätzt werden kann. Andererseits ist es möglich, durch die Modulation der Wellenlänge des Lasers, Rückschlüsse auf die Konzentration von Brandgasen zu ziehen. Das System vereinbart somit die Extinktionsmessung mit der IR Spektroskopie. Ein Nachteil des Verfahrens ist jedoch, dass lange Messtrecken von mehreren Metern Länge notwendig sind. Für punktförmige Melder oder Linienmelder ist das Verfahren ungeeignet.

Die am weitesten verbreiteten Gassensoren sind jedoch zweifelsfrei Halbleitersensoren (Metalloxid), elektrochemische Zellen und Optoden. Die Sensoren sind klein, benötigen keine lange „Messtrecke“ und sind, bei großen Stückzahlen, günstig in der Produktion. Sie werden zur Fehlalarmreduktion mit optischen Rauch-, oder Temperatursensoren kombiniert (z.B. [2], [18], [40]), oder als eigenständige Sensoren in durch Staub oder Nebel stark beeinträchtigten Bereichen, wie Kohlebergwerken [30], Kohlekraftwerken und Biomassesilos, eingesetzt [37]. Fazit ist, dass in vielen Fällen Gassensoren die Anfälligkeit für Fehlalarme durch Störaerosole verringern können. Dennoch gibt es ungelöste Probleme: Fragen über z.B. Lebensdauer, Energieverbrauch, Selektivität, Selbstüberprüfung (z.B. zur Driftkompensation) und Störanfälligkeit (durch z.B. Ausdünstungen von Lösungsmitteln) sind noch Thema aktueller Diskussionen ([2], [18], [90]).

Verfahren, die auf rein optischen Prinzipien basieren und ebenfalls zur Reduktion von Fehlalarmen durch Störaerosole beitragen, werden seit etwa 10 Jahren verfolgt und sind Thema der nächsten Abschnitte.

## 1.2 Optische Methoden zur Charakterisierung von Aerosolen

Die Streueigenschaften von Aerosolen hängen stark von der chemischen Zusammensetzung, d.h. vom Brechungsindex, der Form und der Größe der Partikel ab (siehe auch Kapitel 2). Umgekehrt stellt sich die Frage, ob anhand der Streueigenschaften der Aerosole Rückschlüsse auf die einzelnen beeinflussenden Faktoren gezogen werden können. In den letzten Jahren wurde nach Kriterien geforscht, die eine Klassifizierung der Aerosole anhand von Streulichtmessungen erlauben.

### 1.2.1 Streulichtmessungen in verschiedenen Winkeln

Die Streueigenschaften von Aerosolen ändern sich mit dem Betrachtungswinkel. Allgemein gilt, dass im Bereich der Vorwärtsstreuung, d.h. bei Streuwinkeln  $\theta_i < 90^\circ$ , die Intensität des gestreuten Lichts größer ist als im Bereich der Rückwärtsstreuung ( $\theta_i > 90^\circ$ ). Eine Ausnahme bilden sehr kleine Partikel. Der Unterschied zwischen Vor- und Rückwärtsstreuung ist zudem abhängig vom Brechungsindex des Aerosols. Diese Eigenschaft wird z.B. im Melder O<sup>2</sup>T der Fa. Caradon-Esser, heute Novar-Esser, ausgewertet und wurde in [42] vorgestellt. Die Technologie wird auch in heutigen Brandmeldeanlagen eingesetzt und erlaubt eine begrenzte Charakterisierung der Aerosole. Die Patentschriften [100] und [104] beschreiben, dass durch das Verhältnis der gestreuten Intensitäten in den Winkeln  $\theta_i = 40^\circ$  und  $\theta_i = 110^\circ$  (in [100] werden die komplementären Winkel  $140^\circ$  und  $70^\circ$  angegeben) ein Hell-Dunkel-Faktor ermittelt werden kann. Dieser ist bei Schwelbränden größer als bei offenen Bränden und erlaubt somit eine Anpassung der Melderempfindlichkeit an das Aerosol. Zudem wird beschrieben, dass auch Staub und Wasserdampf charakteristische Hell-Dunkel-Faktoren aufweisen, die eine gute Unterscheidbarkeit von Rauch und Nichtbrandaerosolen erlauben sollen.

Im Rahmen eines gemeinsamen, nicht veröffentlichten Projekts der Fa. apparatebau gaoting gmbh (AOA) und des Fachgebietes Nachrichtentechnische Systeme an der Universität Duisburg-Essen (NTS) hat sich jedoch gezeigt, dass die Werte des Hell-Dunkel-Faktors für Wasserdampf stark schwanken und auch im Bereich der Schwelbrände, insbesondere TF2, liegen können. Ähnliche Messungen wurden auch in [42] und [104] durchgeführt.



Doch werden weder in der Patentschrift [104] noch in der Veröffentlichung [42] umfassende quantitative Vergleiche zwischen den Hell-Dunkel-Faktoren von Wasserdampf und Rauch gezogen. Das Verhältnis von Vor- zu Rückwärtsstreuung hängt bei Stäuben stark vom Typ des Staubs ab. Die Werte der getesteten Stäube im Rahmen des AOA-NTS-Projekts liegen zwischen den Werten von Rauch offener Brände und Rauch von Schwelbränden. Eine weitergehende Unterscheidung von Staub und Rauch ist somit fraglich.

Zu ähnlichen Ergebnissen führt die Studie [86], bzw. [87] von Weinert et al. Seine Messungen fanden im Gegensatz zu [100] nicht im infraroten Wellenlängenbereich statt, sondern im roten Wellenlängenbereich. Die Ergebnisse zeigen auch, dass Rauch von Schwelbränden einen größeren Intensitätsunterschied zwischen Vor- und Rückwärtsstreuung aufweist, als Rauch von offenen Bränden. In [86] und [87] wird der Hell-Dunkel-Faktor Asymmetrie-Faktor genannt. Die Ergebnisse mit Staub des Typs ISO Fine (in [86]) zeigen allerdings, dass anhand des Asymmetrie-Faktors dieser nicht sicher von einem Schwelbrand unterscheidbar ist.

Dohi et al. greift in [16] das Thema erneut auf und zeigt Untersuchungen mit IR Licht in den Winkeln  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  und  $150^\circ$ . Die Ergebnisse der Versuche mit Testfeuern decken sich mit den Ergebnissen aus den zuvor genannten Studien. Die Möglichkeit der Unterscheidung von Staub und Wasserdampf wird ebenfalls in Betracht gezogen. Dennoch weichen die Ergebnisse für Wasserdampf (siehe Bild 6-b in [16]) von den Ergebnissen aus z.B. [104] ab. Leider sind in [16] keine Angaben zu den Prüfbedingungen (z.B. Staubtyp) während der Nichtbrandversuche, zu finden. Zudem werden für die Intensitätsverhältnisse bei den verschiedenen Streuwinkeln nur die Mittelwerte angegeben. Für eine sichere Aussage über die tatsächliche Unterscheidbarkeit von Nichtbrandaerosolen wären auch die Abweichungen der Verhältniswerte relevant, wie z.B. die Standardabweichung oder ggf. die zeitliche Entwicklung der Werte.

Das Verhältnis zwischen den Intensitäten bei Vor- und Rückwärtsstreuung erlaubt eine Anpassung der Empfindlichkeit des Melders an dunkle Aerosole. Eine Reduktion der Wahrscheinlichkeit eines Fehlalarms ist damit zwar möglich, die sichere Unterscheidung von Störaerosolen, insbesondere die Unterscheidung von Staub und Rauch, ist jedoch nicht immer möglich.