

1 Einleitung

Als Aerosole werden Stoffsysteme bezeichnet, die aus festen und/oder flüssigen Partikeln, fein verteilt in einem Gas bestehen. In vielen industriellen Prozessen, in der Pharmazie, in der medizinischen Industrie und in der Halbleiterherstellung [48, 58, 59, 60, 78] haben Aerosole stark an Bedeutung gewonnen. Zur Herstellung staubempfindlicher Produkte werden immer höhere Anforderungen an die Reinheit der Produktionsumgebung gestellt.

Bei der Produktion von Halbleitern können deponierte Partikel auf den Oberflächen u.a. Kurzschlüsse erzeugen und die integrierten Schaltungen funktionsunfähig werden [52]. Der Ausschuß von Halbleitern ist so mit der Qualität der Reinheit der Umgebungsluft stark verknüpft.

Für eine einwandfreie Herstellung von Produkten ist es erforderlich, die Räume auf vorhandene Kontamination durch Partikel, die eine potentielle Gefährdung der Produkte darstellen, zu überwachen. Sie wird durch Messung der gasgetragenen Partikel in der Produktionsumgebung überwacht und die daraus ermittelte Partikelanzahlkonzentration C_n der Reinheitsklasse [11, 33, 73] der Luft zugeordnet.

Zur Messung der gasgetragenen Partikel werden in der Regel optische Partikelzähler eingesetzt [73, 77]. Sie ermöglichen die Messung der Partikelanzahlkonzentration in Abhängigkeit von der Partikelgröße in Verbindung mit einer Volumenstrommessung.

Die Zählung und Klassierung der Partikel werden jedoch durch Störungen beeinträchtigt. Sie verbreitern die gemessene Partikelgrößenverteilung f_j und verursachen unter bestimmten Bedingungen Zählimpulse, die die Messung verfälschen. [16, 40]. Bei hohen Partikelanzahlkonzentrationen sind diese Fehlzählungen, statistisch gesehen, zu vernachlässigen. Die Fehler machen sich dann stark bemerkbar, wenn Aerosole mit niedrigen Konzentrationen untersucht werden müssen, z.B. bei der Überwachung von Reinräumen.

So verfälscht ein herkömmlicher Partikelzähler mit einer Fehlzählrate von $70 / \text{m}^3$ (Herstellerangabe [54]) schon bei der Überwachung eines Raumes der Reinheitsklasse 2 (VDI 2083 Blatt1, max. Konzentration $450 \text{ Partikel}/\text{m}^3$ bei $D_p > 0,5 \mu\text{m}$) das Meßergebnis sehr stark. Bei Messungen in Reinheitsklassen kleiner als 2 ist der Fehler so groß, daß eindeutige Aussagen über die Partikelanzahlkonzentration nicht mehr gemacht werden können.

Optische Partikelzähler müssen u.a. Aerosole untersuchen, deren thermodynamische Zustände des Trägergases von den Normalbedingungen stark abweichen [30]. Der thermodynamische Zustand z.B. von Prozeßgasen zur Herstellung von Halbleitern weicht stark vom Normalzustand ab [5, 12, 30].

Eine Veränderung des thermodynamischen Zustandes des Aerosols beeinflusst die Strahlleistung der Lichtstreuung der Moleküle im Meßvolumen des Partikelzählers, was sich negativ auf die Messung von Partikeln auswirkt [40]. Bei einer Erhöhung der Lichtstreuung durch Moleküle wird unter anderem der Meßbereich verkleinert, die Klassiergenauigkeit herabgesetzt und die Fehlzählrate erhöht [4].

Zur Verringerung der Störeinflüsse auf die Messung von Partikeln können die Auswirkungen der Störungen im Partikelzähler minimiert werden. Hierzu bieten sich drei prinzipielle Möglichkeiten an:

1. Quelle der Störungen unterdrücken (Ursachenbekämpfung)
2. Erhöhung der Nutzsignalenergie (z.B. höhere Lichtleistung, größere Empfindlichkeit des Photodetektors)
3. Reduzierung der Störungen mit einem nachgeschalteten Filter.

Um die obigen Möglichkeiten umzusetzen, ist es erforderlich, das Störverhalten und die Signalbildung zu analysieren, sowie die einzelnen Störquellen zu quantifizieren.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, den Meßbereich für Partikelgrößen optischer Partikelzähler nach unten hin zu erweitern. Die Erweiterung des Meßbereichs beinhaltet

eine höhere Klassiergenauigkeit, eine höhere Zählsicherheit und die Detektion von Partikeln kleinerer Größen bei zumindest gleichbleibender Zählsicherheit. Diese Ziele können mit der Erhöhung des Signal-Rauschabstandes erreicht werden. Hierzu können die dominanten Störquellen im Partikelzähler minimiert werden und ein digitales Filter kann den Signal-Rauschabstand erhöhen. Mit einem größeren Signal-Rauschabstand werden die Störeinflüsse auf die Zählung und Klassierung von Partikeln vermindert.

Zur Reduzierung der dominanten Störungen an den Quellen und für die Auslegung von Filtern muß das Störverhalten von optischen Partikelzählern quantitativ charakterisiert werden.

Hierzu wird eine Methode entwickelt, mit der jede Störquelle quantitativ für einen beliebigen Partikelzähler bestimmt werden kann. Mit der quantitativen Angabe der einzelnen Störgrößen ist es möglich, die dominanten Störgrößen zu erkennen und zu reduzieren.

Die Störquellensignale, die sich aus Anteilen zusammensetzen, die durch Molekülstreuungs- und Oberflächenstreuungsprozesse bzw. durch elektrische Rauschprozesse entstehen, werden untersucht und beschrieben.

Die prozentualen Anteile der einzelnen Störquellen am Gesamtrauschen werden für verschiedene Lichtquellen, Photodetektoren und thermodynamische Zustände des Aerosols angegeben.

In der Vergangenheit ist der Signal-Rauschabstand mit einer höheren Lichtleistung [41] und rauschärmeren Bauelementen (Ursachenbekämpfung) erreicht worden. Eine nachfolgende Reduzierung der Störungen mittels einer Verbesserung der Signalverarbeitung wurde jedoch vernachlässigt. Moderne Signalverarbeitungsmethoden sind in der Lage, den Signal-Rauschabstand erheblich zu vergrößern [43, 65]. Hierzu sind Informationen zum Signalgemisch erforderlich, wie z.B. die Signalform des detektierten Partikelstreulichtes und das Leistungsdichtespektrum des Rauschens. Die Informationen über das Rauschverhalten und der Signale sind aus der quantitativen Charakterisierung des

Signalgemisches ermittelt worden und werden zur Auslegung der digitalen Signalverarbeitungsmethoden verwendet.

Um herauszufinden, welche Methode den Einfluß der Störungen auf die Zählung und Klassierung am stärksten reduziert, werden unterschiedliche Signalverarbeitungsmethoden miteinander theoretisch und experimentell verglichen.

Die erreichte Erweiterung des Meßbereichs durch Reduzierung der dominanten Störgrößen und durch die angewendeten Signalverarbeitungsmethoden werden für verschiedene Partikelzähler angegeben.

Der Meßbereich und die Qualitätsmerkmale des Partikelzählers werden durch die Zählrate, Klassiergenauigkeit, das Auflösungsvermögen und die untere Nachweisgrenze bzgl. der Partikelgröße quantitativ charakterisiert.