Keimalarm in Flugzeugtanks

Automatischer Schnelltest sichert Kraftstoffqualität und minimiert Wartungsaufwand

Das Wachstum von Mikroorganismen und andere Partikel in Flugzeugtreibstoffen sind kein Randphänomen, sondern ein permanentes Risiko. Vorfälle in der Luftfahrt in der Vergangenheit zeigen, dass regelmäßige Tankinspektionen und zuverlässige Schnelltests unerlässlich sind. Hier werden zunehmend vollautomatische qPCR-Messsysteme zum Einsatz kommen, die sich derzeit in der Entwicklung befinden. Der Einsatz neuer Nachweismethoden wird in Zukunft die Flugsicherheit erhöhen, die Handhabung vereinfachen und die Kosten senken.

Keywords

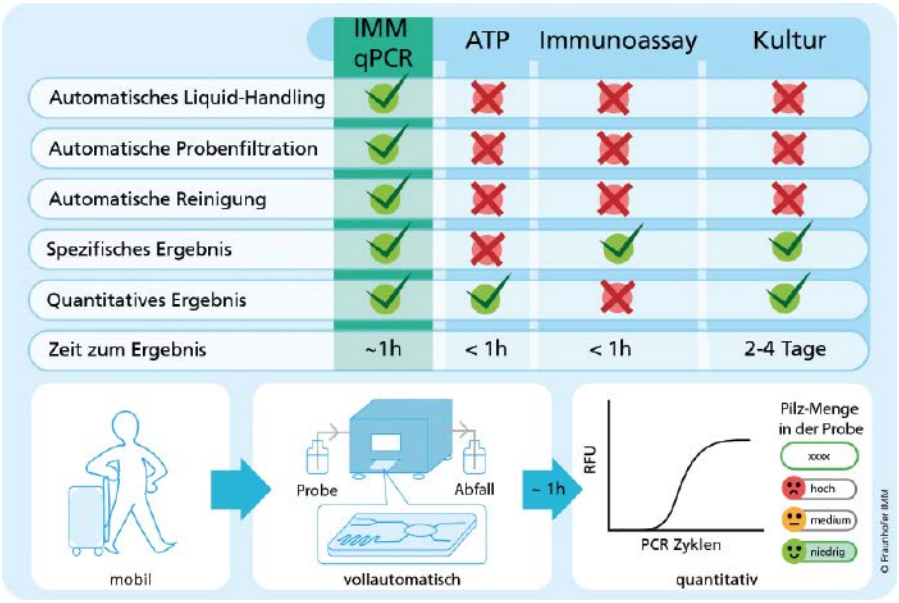
- *Flugzeugtreibstoff*
- *Mikrobiologische Kontamination*
- *qPCR-Messsysteme*

Spektakuläre Ereignisse verdeutlichen den dringenden Handlungsbedarf: Im Jahr 2010 musste der Cathay Pacific-Flug CX780 notlanden, nachdem beide Triebwerke ausgefallen waren, weil verunreinigtes Kerosin die Kraftstoffregelventile blockierte. Im Juni 2012 stürzte ein Flugzeug der Dana Airlines aufgrund eines doppelten Triebwerksausfalls in Nigeria ab. Der Sicherheitsbericht zu diesem Flugunfall listet Gefahren durch mikrobiologische Verunreinigungen auf, insbesondere in Regionen, in denen die Temperaturen in den Kraftstofftanks unter tropischen Bedingungen häufig auf 25 °C ansteigen. Zu diesen Gefahren zählen Korrosion der Kraftstofftanks, ungenaue Kraftstoffanzeigen sowie Verstopfungen der Kraftstofffilter und -leitungen in den Kraftstofftanks.

Die mikrobiologische Verunreinigung von Kraftstoffen ist ein unvermeidbares Problem, das häufige Wartungsmaßnahmen erfordert. In den Kraftstofftanks von Flugzeugen befindet sich sowohl während des Fluges als auch am Boden immer Wasser, insbesondere in tropischen Gebieten mit hohen Umgebungstemperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit. Die Nährstoffe für das mikrobielle Wachstum stammen aus dem Kraftstoff selbst, der als Kohlenstoffquelle dient. Dadurch entsteht an der Grenzfläche zwischen Wasser und Kraftstoff ein optimales Umfeld für das Wachstum von Mikroorganismen. Die Verunreinigung selbst kann in Form von ruhenden Mikroben, so genannten Sporen, über die Luft in den Kraftstofftank gelangen, wo sie unter optimalen Wachstumsbedingungen aktiviert werden. Eine weitere mögliche Ursache für Verunreinigungen ist die Betankung mit bereits verunreinigtem Kraftstoff. Dies macht deutlich, dass Kraftstoffverunreinigungen an jeder Stelle der Kraftstoffversorgungskette auftreten können.

Pilze und Bakterien verursachen Korrosionsschäden

Metalloxidierende Pilze und Bakterien produzieren in der Regel aggressive Verbindungen, die Korrosionsschäden verursachen. Zu diesen Metaboliten gehören organische oder anorganische Säuren wie Schwefelsäure, die die Metallsubstanz angreifen und schwere Korrosionsschäden verursachen. Im schlimmsten Fall muss geschultes Personal mit persönlicher Schutzausrüstung ausgerüstet werden, um die Innenwände des entleerten Kraftstofftanks manuell zu reinigen. Auch Tankfilter sind sehr anfällig für mikrobielle Verunreinigungen. Sporen und Myzel sammeln sich auf den Filtern an und verursachen Verstopfungen. Solche Probleme führen unter anderem zu längeren Ausfallzeiten



Vergleich verschiedener analytischer Techniken zur Untersuchung von Proben: IMM qPCR, ATP-Test, Immunoassay und Kulturmethoden. Die Abbildung zeigt Unterschiede in der automatisierten Liquid-Handling, der automatisierten Probenfiltration, der automatisierten Reinigung, der Spezifität, der quantitativen Ergebnisdarstellung und der benötigten Zeit bis zum Ergebnis für jede Technik. Das Gerät des IMM ist ein mobiles Gerät, das die Probe vollautomatisch analysiert und in weniger als einer Stunde ein quantitatives Ergebnis liefert.

der Flugzeuge für Wartungsarbeiten, was Zeit und Geld kostet.

Ein weiterer Faktor, der ein Betriebsrisiko darstellt, sind die Ausfallzeiten selbst. Flugzeuge mit geringer Auslastung, wie VIP-Flugzeuge und Geschäftsflugzeuge, haben in der Regel eine geringe jährliche Flugstundenzahl. Dies führt zu einem geringen Treibstoffdurchsatz und bietet optimale Bedingungen für das Wachstum und die Vermehrung von Mikroorganismen. Selbst häufig genutzte Flugzeuge wie Verkehrsflugzeuge sind trotz ihrer höheren jährlichen Flugstunden nicht von hohen Betriebsrisiken ausgenommen. Dies liegt an der einfachen Tatsache, dass die oben genannten Risikofaktoren ausnahmslos alle Flugzeuge betreffen. Während der Coronapandemie bspw. stiegen diese Betriebsrisiken aufgrund der damals geltenden Reisebeschränkungen deutlich an. Hier wurde die Notwendigkeit von Tests und Überwachung besonders deutlich.

Prüfung auf mikrobielle Kontamination

Mikrobiologische Tests helfen dabei, den Grad der mikrobiellen Kontamination, das Potenzial für mikrobiell bedingte Betriebsprobleme und die Erfolgsquote der durchgeführten antimikrobiellen Maßnahmen zu bestimmen. Empfohlen wird die Verwendung von Testkits, die mindestens ein semiquantitatives Ergebnis liefern.

Neben den üblichen Labortestverfahren sind verschiedene kommerzielle Testkits für den Einsatz vor Ort erhältlich. Es gibt vier Testverfahren, die eine semiquantitative Bewertung der Kontamination ermöglichen. Die erste Methode basiert auf der Kultivierung von Mikroorganismen, wobei die Gesamtzahl der lebensfähigen koloniebildenden Einheiten nach zwei bis fünf Tagen vom Laborpersonal ausgezählt werden kann. Die zweite Methode besteht in der Untersuchung auf Adenosintriphosphat (ATP), einer biochemischen Verbindung, die von allen lebenden Organismen gebildet wird. Eine weitere Testmethode basiert auf einem Immunoassay zur Untersuchung der Probe. Dabei werden bestimmte Reagenzien auf bestimmte Biomarker getestet, die für die mit der Kontamination verbundenen Mikroorganismen spezifisch sind. Die vierte Testmethode basiert auf der molekularen Bestimmung des mikrobiellen Erbguts, der Genaktivierung, der Proteine oder der Stoffwechselaktivität. Die qPCR ist eine der typischen molekularen Analysetechniken, die für ihre Spezifität und ihre quantitativen Ergebnisse bekannt ist.

Die IATA begleitet derzeit ein Programm zur Entwicklung neuer Empfehlungen für Testmethoden. Der Grund dafür ist die aus den Erfahrungen der Fluggesellschaften resultierende Notwendigkeit, Technologien, die bereits in kommerziellen Testkits verwendet werden, sowie neue Testverfahren einer Neubewertung zu unterziehen.

Point-of-Use-qPCR zur Reduzierung des Wartungsaufwands

Wie oben beschrieben, unterscheiden sich die Techniken zur Prüfung der Kraftstoffverunreinigung hinsichtlich des Preises, der Notwendigkeit manueller Prozessschritte, der Zeit, die bis zum Vorliegen der Ergebnisse benötigt wird, und des Bedarfs an geschultem Personal und Prüfeinrichtungen. Die Anwendung von qPCR-Tests ist ein relativ neuer Ansatz für die Überwachung von Kraftstoffverunreinigung, da es sich in der Regel um ein recht teures Laborverfahren handelt. Jüngste Fortschritte bei der Automatisierung der qPCR durch das Fraunhofer Fraunhofer IMM haben jedoch den Weg für den Einsatz dieser Technik vor Ort geebnet, so dass Probentransport und geschultes Personal nicht mehr erforderlich sind. Darüber hinaus ist die Testgenauigkeit in Bezug auf die Unterscheidung zwischen lebenden und toten Zielorganismen ein weiterer entscheidender Parameter. Mit unserer verbesserte PCR-Technologie können falsch positive Ergebnisse effizient vermieden und somit Zeit und Wartungskosten eingespart werden.

Das Fraunhofer IMM hat einen Prototyp entwickelt, der miniaturisierte qPCR-Technologie mit automatisiertem Liquid-Handling-, Probenfiltration- und Reinigungstechniken kombiniert. Das System konzentriert die Zielmikroorganismen und entfernt gleichzeitig den Kraftstoff, der bekanntermaßen die qPCR hemmt. Auf diese Weise liefert das System innerhalb einer Stunde qPCR-Ergebnisse zur Bestimmung der mikrobiellen Kontamination von Kraftstoffen auf kostengünstige, mobile und vollautomatische Weise und kann dazu beitragen, sowohl den Zeit- als auch den Kostenaufwand für die Wartung von Kraftstofftanks und -lagern zu reduzieren.

Systemübertragbarkeit

Das oben beschriebene Point-of-Use-System kann als Ganzes oder in einzelnen Modulen verwendet werden. Diese Technologie kann auch für den Nachweis von Mikroorganismen in Wasser und Lebensmitteln eingesetzt werden und hat ein erhebliches Potenzial für den Einsatz in Bioreaktoren und in der Bioprozessindustrie. Darüber hinaus kann sie in der chemischen Industrie, insbesondere zur Qualitätskontrolle von Lack- und Beschichtungsprodukten, eingesetzt werden. In Kooperationen können maßgeschneiderte Lösungen für spezifische mikrofluidische und biologische Fragestellungen angeboten werden.

Dr. Sisi Li,
Gruppenleiterin Bioanalytik für industrielle Medien, Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM

Wiley Online Library

Fraunhofer Institute for Microengineering and Microsystems IMM, Mainz
sisi.li@imm.fraunhofer.de · www.imm.fraunhofer.de

© Fraunhofer IMM