

# Nanosensoren in der Lebensmittelindustrie

Kleine Helfer in der Qualitätssicherung mit großer Wirkung  
für Food Safety und gegen Food Fraud

# Nanosensoren in der Lebensmittelindustrie

## Kleine Helfer in der Qualitätssicherung mit großer Wirkung für Food Safety und gegen Food Fraud

### Autoren:

- Enno Schatz, CTO, NanoStruct GmbH, Würzburg, enno.schatz@nanostruct.eu; www.nanostruct.eu
- Bianca Schneider-Häder, Helen Goll, DLG e.V., Fachzentrum Landwirtschaft & Lebensmittel, Frankfurt am Main

### Kontakt:

DLG-Ausschuss Lebensmittelqualität und Sensorik,  
Dr. Désirée Schneider (Vorsitzende), Bianca Schneider-Häder (Projektleiterin),  
sensorik@dlg.org

### Hinweis:

Im vorliegenden Expertenwissen wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit bei Personenbezeichnungen und personenbezogenen Hauptwörtern häufig das generische Maskulin verwendet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung aber grundsätzlich für alle Geschlechter. Die verkürzte Sprachform hat daher nur redaktionelle Gründe und beinhaltet keine Wertung.

Titelbild: © Iija – stock.adobe.com

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung.

Herausgeber:

DLG e.V.  
Fachzentrum Landwirtschaft und Lebensmittel  
Eschborner Landstraße 122 · 60489 Frankfurt am Main

1. Auflage, Stand 5/2026

© 2026

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung.  
Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder – auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung – nur nach vorheriger Genehmigung durch DLG e.V., Marketing, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main.

### 1. Einleitung und Hintergrund

In einem Umfeld sich stetig ändernder, international vernetzter Wertschöpfungsketten, zunehmendem Personalmangel und permanentem Zeitdruck stehen Fachkräfte in der Qualitätssicherung und im Qualitätsmanagement vor großen Herausforderungen. Verschärft wird diese Situation dadurch, dass Täuschungen bei Inhaltsstoffen und Lebensmittelqualitäten zunehmen<sup>1</sup> und hochgefährliche Keime wie Listerien vermehrt auftreten, wie jüngste Rückrufstatistiken zeigen<sup>2</sup>. In der Unterstützung dieser Fachkräfte gewinnen analytische Schnellmethoden und „intelligente“ Sensoren, vor allem auch Nanosensoren, zur nachhaltigen Prozesseffizienz in der Analytik und Qualitätssicherung zunehmend an Bedeutung. Durch die internationale Forschung werden die dahinterstehenden Technologien immer spezifischer und sensitiver sowie kosteneffizienter und einfacher zu handhaben<sup>3</sup>. Die dadurch teils vor Ort erfassten Ergebnisse bieten Unterstützung bei der betriebsspezifischen Entscheidungsfindung hinsichtlich Lebensmittelsicherheit und Produktqualität. Unter anderem lassen sich so Schadstoffe, Kontaminanten und pathogene Bakterien wie Listerien und Salmonellen frühzeitig detektieren, die Produktfrische und -qualität in Echtzeit überwachen oder aber auch Fälschungen und Food Fraud Fälle aufdecken. Die schnelle, frühzeitige und eindeutige Identifikation von Qualitätsmängeln ermöglicht ein zeitnahes Eingreifen und gezieltes Handeln, so dass sich Gesundheitsgefahren und Lebensmittelverluste sowie Imageschäden und finanzielle Einbußen verhindern und Risiken minimieren lassen.

Im nachfolgenden DLG-Expertenwissen soll ein erster Überblick über Nanosensoren in der Lebensmittelbranche gegeben werden, um so Fach- und Führungskräften einen Einblick in die sich bietenden innovativen Möglichkeiten dieser sensorischen Instrumente zu geben.





## 2. Definition und Arten von Nanosensoren

Ein Sensor ist ein technisches Gerät zur direkten Messung einer Testsubstanz bzw. eines Analyten in einer Probe. Idealerweise reagiert ein Sensor kontinuierlich und reversibel und beschädigt die Probe nicht. Als Nanosensor bezeichnet man eine Klasse von Sensorgeräten oder -systemen, die im Nanometermaßstab arbeiten. Hierbei wird mindestens eine Nanostruktur (1–100 nm bzw.  $10^9$ – $10^7$  m) eingesetzt und mindestens eine Interaktion im Nanomaßstab (molekulare oder atomare Ebene) als Grundlage für die Signalaufnahme und -verarbeitung bzw. Erkennung eines bekannten Analyten oder seiner Konzentration genutzt. Nanosensoren ermöglichen eine hochsensitive und hochauflösende Detektion, Quantifizierung und Überwachung chemischer, physikalischer oder biologischer Parameter sowie deren Veränderungen. Sie erhöhen die Genauigkeit, die Empfindlichkeit sowie die Schnelligkeit der Analyse-Systeme im Vergleich zur traditionellen Analytik deutlich, was sie für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen prädestiniert.

Es gibt eine Vielzahl von Nanosensoren, die sich in Art, Aufbau, Detektionsmechanismus und Anwendungsbereich unterscheiden. Eine Aufteilung in Anwendungsbereiche lässt sich z. B. grob gliedern in:

- **Physikalische Nanosensoren**, welche physikalische Größen und Materialeigenschaften, wie Temperatur, Magnetfeld, Druck, Feuchte, Kraft, Masse oder Licht messen.
- **Chemische Nanosensoren**, welche chemische Stoffe und Konzentrationsveränderungen z. B. pH-Wert oder Konzentrationsveränderungen bestimmter Moleküle oder volatiler Komponenten messen. So kann beispielsweise ein nanoskaliger Gassensor den Kohlenstoffmonoxidgehalt der Luft erfassen.
- **Biologische Nanosensoren bzw. Bionanosensoren**, welche mittels biologischer Komponenten spezifische biologische Verbindungen bzw. Strukturen, wie DNA-Sequenzen, Zellstrukturen, Proteine, Enzyme, Viren oder auch Ausscheidungen von Bakterien erkennen. Einsatz finden diese u. a. in der Medizin, indem Antikörper zur Identifizierung von Krankheitserregern genutzt werden oder im Blutglukose-Sensor, der über eine enzymatische Reaktion den Blutglukosespiegel bestimmt.

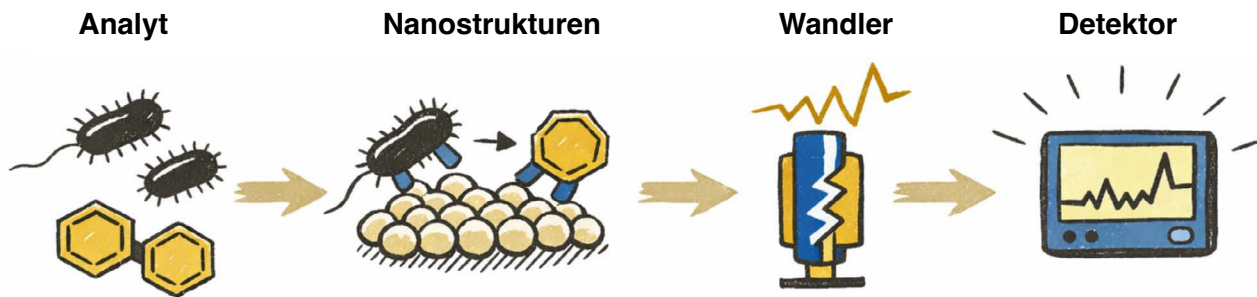
Oft bestehen Nanosensoren aus Kombinationen dieser Ansätze, so dass z. B. biologische Strukturen wie Antikörper genutzt werden, um elektrische Signale zu erzeugen oder pH-Wert-Änderungen zu unterschiedlichen Lichtsignalen führen. Bei der Herstellung der Nanosensoren unterscheidet man die beiden Ansätze „Top-Down“ und „Bottom-Up“. Beim „Top-Down“-Verfahren werden deterministische Strukturen mittels Nanostrukturtechniken auf Oberflächen oder Schichten übertragen. Beispiele hierfür sind Elektronenstrahl- oder Photolithographie (Einsatz von Licht zur Erzeugung winziger Strukturen auf Oberflächen), kombiniert mit Ätzverfahren, Nanoprägedrucklithographie oder Laserabscheidung. Beim „Bottom-Up“-Verfahren werden selbstorganisierte Strukturbildungen ausgenutzt, wie Kristallwachstum, Sol-Gel-Prozesse oder die Bildung von Nanostrukturen durch Molekularstrahlepitaxie, einem hochpräzisen Dünnschicht-Verfahren, bei dem Atome bzw. Moleküle im Hochvakuum gezielt auf eine kristalline Substrat-Oberfläche aufgebracht werden, um so lagenweise kristalline Nanoschichten mit definierter Struktur zu erzeugen.

## 3. Genereller Aufbau und Funktionsweise

Ein Nanosensor ist prinzipiell ein technisches Gerät, das Daten bzw. Informationen über Eigenschaften oder das Verhalten von Substanzen vom Nanoskalenniveau in der Probe aufnehmen und auf ein Makroskalenniveau im Analysenergebnis übertragen kann.

In den verschiedenen Sensoren verbaute Nanomaterialien reagieren spezifisch und sehr empfindlich auf chemische, physikalische oder biologische Reize aus der Umwelt bzw. mit bestimmten Analyten in der Probe. Die Interaktion des Sensors mit den Analyten erzeugt Signale, welche durch Wandler in Messwerte transformiert und von einem Detektor aufgenommen, ausgewertet und als interpretationsfähige Information ausgegeben werden.

Die Funktionsprinzipien von Nanosensoren basieren auf einem oder einer Kombination mehrerer Phänomene, beispielsweise optischen, elektrochemischen oder enzymatischen Interaktionen.



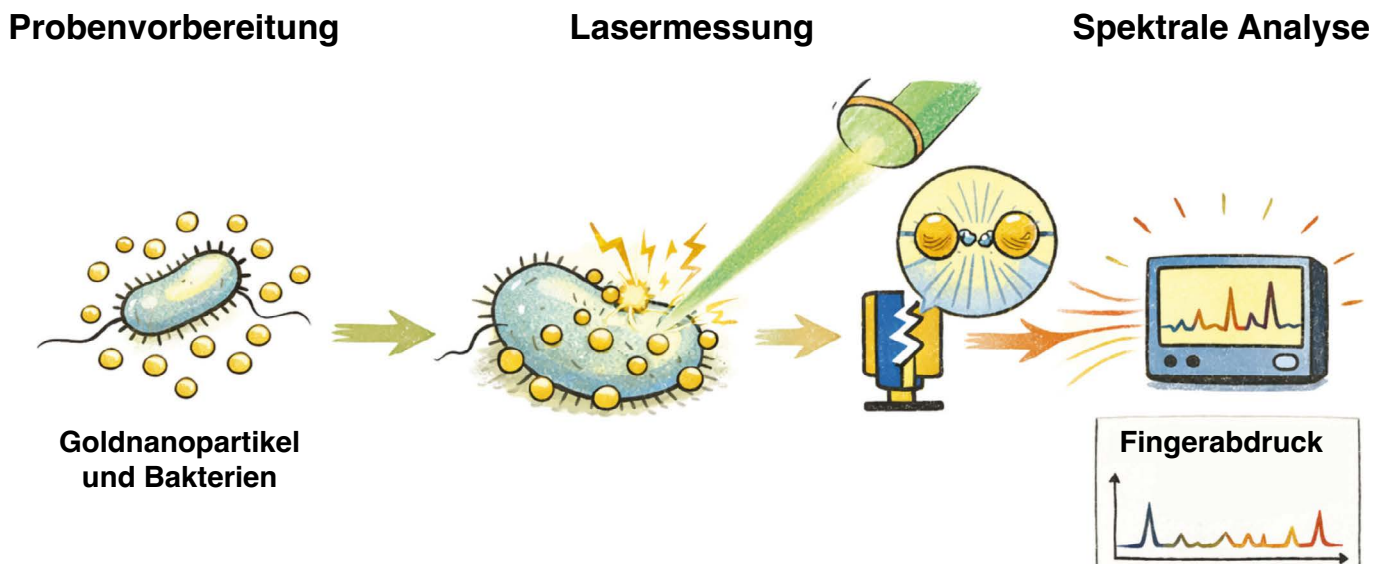
**Abbildung 1:** Schematischer Aufbau eines Nanosensors

Der prinzipielle Aufbau lässt sich auf ein einfaches Schema zurückführen, welches in Abbildung 1 dargestellt ist. Zu den Komponenten von Nanosensoren gehören der zu identifizierende Analyt, ein Sensor auf der Nanometerskala zur Interaktion mit diesem oder zu dessen selektiver Bindung und Erfassung, ein Wandler, welcher die Reaktion bzw. Eigenschaftsänderung erkennt und in die zu detektierenden Signale umwandelt, und ein Detektor, welcher diese Signale aufnimmt, darstellt und digitalisiert. Folglich interagieren Nanostrukturen mit dem Ziel-Analyten. Diese Interaktion wird durch einen Wandler in ein Signal umgewandelt, welches im Folgenden durch einen Detektor gemessen werden kann. Diese Ergebnisse können dann online übermittelt, ggf. auch mittels künstlicher Intelligenz analysiert und den Entscheidungsträgern direkt zugänglich gemacht werden.

Im Folgenden werden basierend auf dieser allgemeinen Darstellung zum Aufbau von Nanosensoren zwei konkrete Sensortypen unterschiedlicher Messprinzipien beschrieben:

## Optische Nanosensoren

Das Messprinzip optischer Nanosensoren beruht auf der optischen Detektion von Fluoreszenz, Absorptions- oder Streuprozessen. In der Regel kommen dabei funktionalisierte Nanopartikel als Sensormaterial zum Einsatz. Ein Ansatz zur optischen Detektion von Bakterien mit Nanopartikeln ist in Abbildung 2 dargestellt. Nanostrukturen, beispielsweise metallische Nanopartikel, interagieren mit spezifischen Analyten oder binden selektiv an biomolekulare Bestandteile von Bakterien.



**Abbildung 2:** Schematischer Aufbau eines optischen Nanosensors

Zur Einordnung: Bakterien haben typischerweise eine Größe von etwa 1–5  $\mu\text{m}$  und sind damit etwa 10 bis 1000 mal größer als metallische Nanopartikel, die meist Durchmesser im Bereich von wenigen bis einigen zehn Nanometern aufweisen. Trifft Licht auf metallische Nanopartikel (typischerweise Gold oder Silber), werden die freien Leitungselektronen zu kollektiven Schwingungen angeregt, den sogenannten lokalisierten Oberflächenplasmonen. An scharfen Kanten, Spitzen oder in engen Spalten zwischen benachbarten Nanopartikeln (Abstände im Nanometerbereich) entstehen dabei extrem starke lokale elektromagnetische Felder. Diese Bereiche sehr hoher Feldverstärkung werden als „Hotspots“ bezeichnet. Befinden sich Moleküle – beispielsweise Bestandteile der bakteriellen Zellwand – in unmittelbarer Nähe dieser Hotspots, wird ihr Raman-Streusignal stark verstärkt, teilweise um mehrere Größenordnungen. Die bildhafte Formulierung, dass sich „das Licht sammelt“, beschreibt vereinfacht die starke lokale Erhöhung der elektromagnetischen Feldintensität in diesen Bereichen. Die verstärkten Raman-Signale werden anschließend mit optischen Detektoren oder Spektrometern erfasst und ausgewertet. Der beschriebene Effekt wird als **oberflächenverstärkte Raman-Streuung** bezeichnet (Surface Enhanced Raman Spectroscopy, **SERS**).

In einem Probenvorbereitungsschritt werden die Bakterien mit Nanopartikeln gemischt, welche z. B. aus Metall oder Polymeren bestehen können. Die Nanopartikel interagieren oder binden mit den Bakterien, was über einfache Ladungseffekte oder spezifische Bindungsmechanismen, wie Antikörper, geschehen kann. Im Folgenden wird die Probe mit Licht (meistens einem Laser) bestrahlt.

Das Licht konzentriert sich im unmittelbaren Umfeld der Nanopartikel. Diese als Hotspots bezeichneten Bereiche erstrecken sich auch auf die Bakterien, wodurch eine Verstärkung ihres optischen Signals erreicht wird. Auf diese Weise können intrinsische Signale wie beispielsweise das Raman-Signal der Bakterien – gewissermaßen ihr spezifischer biochemischer „Fingerabdruck“ – detektiert werden. Dies ermöglicht eine Identifizierung der Sub-Spezies (Typisierung) oder sogar die Detektion von Resistenz-Genen innerhalb eines Typs. Es kann sich aber auch das Signal der Nanostrukturen durch die erfolgten Bindungen spezifischer Bindungspartner, z. B. Antikörper, ändern. Diese Änderung wird dann detektiert. Als Detektor dient hier meistens eine Kamera, oft erweitert mit einem Spektrometer. Die Messung mittels Licht erlaubt ein schnelles Auslesen der Signale, auch über eine Distanz hinweg oder durch transparente Medien, wie eine Verpackung, hindurch.

### Elektrochemische Nanosensoren

Das zweite Beispiel ist die Detektion von Analyten mittels elektrochemischer Signale. Das Messprinzip elektrochemischer Nanosensoren beruht dabei auf der Erfassung von Änderungen elektrischer Größen wie Strom, Potenzial bzw. Spannung oder Widerstand. Als Sensormaterial kommen dabei in der Regel nanoskalige Strukturen, wie Nanokohlenstoffröhren (CNTs), Nanodrähte oder nanopartikelbasierte Elektroden, zum Einsatz.

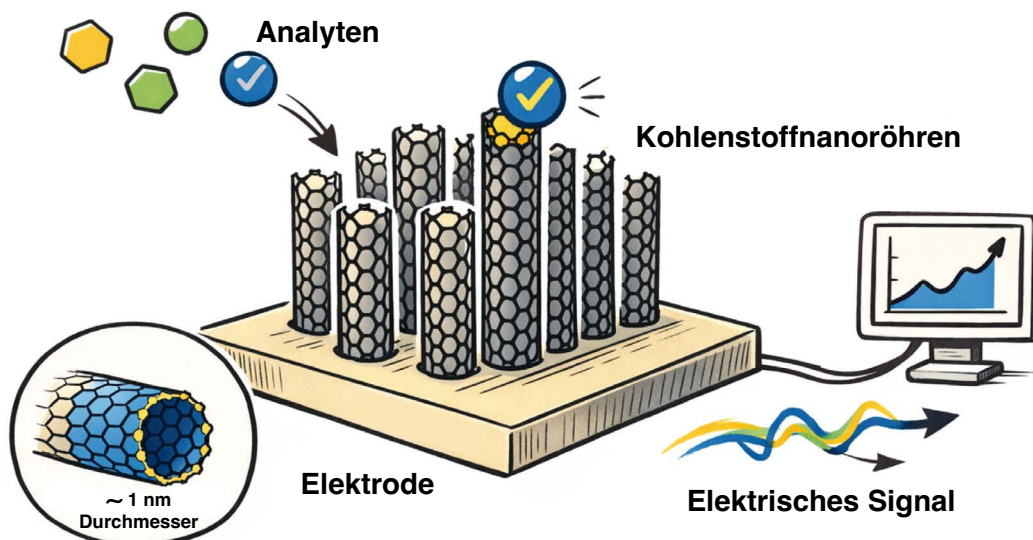


Abbildung 3: Schematischer Aufbau eines elektrochemischen Nanosensors

So können beispielsweise Kohlenstoffnanoröhren mit einem Durchmesser von einem oder wenigen Nanometern als Sensoren fungieren. Diese auch als Carbon Nanotube (CNT) bezeichneten Strukturen können gezielt so konstruiert werden, dass sie spezifisch mit einem Analyten interagieren. Die Bindung des Analyten führt zu einer Änderung des Leitwiderstandes der Kohlenstoffnanoröhren, die anschließend über die Elektrode als Änderung eines elektrischen Signals detektiert werden kann (vgl. Abbildung 3).

Anwendung finden diese CNT-basierten Sensoren beispielsweise in der Umweltanalytik zur Luftqualitätsmessung oder in der industriellen Emissionsüberwachung, wobei u.a. gasförmige Analyten wie  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ , VOCs (z. B. Benzol, Toluol) detektiert werden können<sup>7</sup> oder aber auch in der Trinkwasserüberwachung, beispielsweise zur Detektion von Schwermetallen, wie  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ , Nitrit, Nitrat und organischen Schadstoffen, wie Naphthalin. Biologisch funktionalisierte CNT-Sensoren erfassen Analyten wie Glucose, verschiedene Antikörper, DNA/RNA oder Enzyme<sup>8</sup>.

### 4. Aktuelle Entwicklungen der Forschung und Anwendungsbeispiele

Allein für das Jahr 2025 verzeichnet Google Scholar für die Kombination der Stichworte „food security“ und „nanosensor“ etwa 6.530 Einträge. Dies zeigt das große Interesse im Forschungsbereich neuartige Lösungen für die Lebensmittelindustrie zu bieten. Trotz der intensiven Forschung und den zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten sind erst wenige Lösungen mit Nanotechnologie auf dem Markt. Im Folgenden sind Forschungsbeispiele für konkrete Anwendungen genannt, sowie Lösungen, die bereits in eine Kommerzialisierung übergegangen sind.

#### a) Forschungsbeispiele

Als Beispiele aus der Forschung werden nachfolgend die Detektion von Schadstoffen in Lebensmitteln wie Mykotoxine und Pestizide, eine Echtzeitüberwachung im Qualitätsmonitoring sowie eine Qualitätskontrolle dargestellt.

Mykotoxine als Kontaminanten und Pestizide als Rückstände können erhebliche Risiken für die Konsumentengesundheit darstellen und sind im Hinblick auf Höchstmengen gesetzlich geregelt. Die Analytik zur Überwachung der Grenzwerte muss in der Lage sein (je nach Substanz), Kontaminationen/Rückstände im Bereich von ppb oder in Einzelfällen darunter zu quantifizieren. Mittels einer Kombination aus Kohlenstoffphosphor-Nanopartikeln und Aptameren kann z. B. das Ochratoxin A linear in einem Konzentrationsbereich 0.1 fg/mL bis 10.0 ng/mL (10 ng/g entspricht 10 ppb) bestimmt werden<sup>4</sup>. Das Signal ist hierbei eine Leitwertänderung, es erfolgt also eine elektronische Messung.

Nanosensoren können auch direkt in eine Verpackung eingebaut werden, was eine Echtzeitüberwachung von der Abpackung bis hin zum Verkauf ermöglicht. Die ausgasenden Metabolite pathogener Bakterien können mittels einer Oberfläche von Goldnanosternen detektiert werden<sup>5</sup>. Das Signal kann optisch, also durch die ungeöffnete Verpackung hindurch, ausgelesen werden. Mit *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* und *Pseudomonas aeruginosa* beimpftes Schweinefleisch konnte so detektiert werden.

In der Qualitätskontrolle von Olivenöl lässt sich beispielsweise mittels einer Kombination von oberflächenverstärkter Raman-Spektroskopie und komplexer Datenanalyse schnell und vor Ort die Qualität und Zusammensetzung von Olivenöl feststellen<sup>6</sup>. Hierbei wird eine sehr geringe Menge Probe mit Goldnanopartikeln vermischt und mit einem Laser bestrahlt. Aus dem mittels eines





Spektrometers aufgenommenen komplexen Streusignal können einzelne Komponenten extrahiert, und so unterschiedliche Zusammensetzungen direkt ermittelt werden.

Ein wichtiger Punkt, der Einzug in die aktuelle Forschung gefunden hat, ist die Auswertung der Sensorergebnisse mittels künstlicher Intelligenz. Gerade bei großen Datenmengen vermag künstliche Intelligenz verborgene Muster zu erkennen, und so die Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisauswertung zu steigern oder diese sogar erst zu ermöglichen. Besonders eine Kombination der Daten von mehreren Arten von Nanosensoren kann bei einer Auswertung mit künstlicher Intelligenz wertvolle neue Ergebnisse liefern, da die Komplexität der Resultate sehr hoch ist, was eine „händische“ Auswertung erschwert; die Aussagekraft der Analyse mittels künstlicher Intelligenz aber durch die größere und vielfältigere Datenmenge erhöht.

## **b. Spezifische Anwendungsbeispiele in der Lebensmittelqualitätssicherung: Lebensmittelsicherheit und Qualitätskontrolle**

Trotz der vielversprechenden Möglichkeiten von Nanosensoren für die Lebensmittelbranche existieren erst wenige kommerzielle Anwendungen. Dies liegt auch an den oft hohen Hürden von der Forschung zur Industrieanwendung, auf die im Kapitel 5 noch eingegangen wird.

Als erstes Beispiel sei die Anwendung von Nanopartikeln zur schnellen optischen Detektion von Bakterien genannt. Hier bietet die NanoStruct GmbH eine Komplettlösung, welche *L. monocytogenes* direkt aus der Erstanreicherung nach etwa 8 Stunden identifiziert. Die aus Nanopartikeln bestehenden Sensoren von NanoStruct können bei Lebensmitteltests direkt in die unbehandelte Wachstumslösung eingetaucht und danach ins Messgerät eingeführt werden. Technisch anspruchsvolle Arbeiten wie bei einer PCR (z. B. DNA Extraktion) sowie hohe Anforderungen an Reinheit und eine Laborumgebung entfallen. Dies bietet sowohl in der Zeit – taggleiche Ergebnisse sind möglich – als auch hinsichtlich der benötigten Umgebung Vorteile für die Analytik in Lebensmittellaboren. Die Entwicklung läuft zurzeit, diese Lösung auch direkt bei Lebensmittelherstellern platzieren und industriekompatible Wege der Qualitätssicherung anbieten zu können.

Zur Detektion von Mykotoxinen bietet beispielsweise die SAFIA Technologies GmbH eine Lösung auf Basis von optischen Nanosensoren. Die Toxine binden sich hier über eine Antigen-Antikörper-Bindung kompetitiv an optisch markierte Nano- bzw. Mikropartikel. Hierdurch entsteht eine weitere Bindung an einen zweiten optischen Marker. Infolge dessen wird eine Signalkorrelation beider Marker in einem Durchflusszytometer bzw. FACS-Gerät (Fluorescence Activated Cell Sorting) gemessen, welche das Vorhandensein der Zielmoleküle anzeigt. Im Zeitfenster von 30 – 90 Minuten kann so das Vorhandensein der neun gängigsten Mykotoxine innerhalb der rechtlichen Nachweisgrenzen ermittelt werden. Dies ist für nahezu alle Arten von Matrices, von festen Nahrungsmitteln, wie Getreide bis hin zu Getränken, wie Bier, möglich.

## **5. Potenziale und Herausforderungen von Nanosensoren**

### **a) Potenziale**

Nanosensoren bieten die Möglichkeit, in kleinster, kompakter Bauweise hochspezifische, schnelle und zuverlässige Messergebnisse zu erzeugen, wodurch erforderliche Maßnahmen in der Qualitätssicherung zeitnah ergriffen werden können. Hierbei können sie die Sensitivität großer, laborgebundener Messsysteme erreichen oder diese aufgrund der Verwendung nanoskaliger Sensorelemente sogar übertreffen und somit bereits sehr niedrige Stoffkonzentrationen nachweisen. Zudem ist die Anwendung einfach, so dass hierfür oftmals kein speziell ausgebildetes Personal benötigt wird. Ihre Einsatzmöglichkeiten in der Qualitätssicherung bei Lebensmitteln und in der Umweltanalyse sind daher äußerst vielfältig.

Die Messungen können vor Ort, teils sogar Inline und kontinuierlich, durchgeführt werden. Durch Anschluss an eine Cloud können Informationen nahezu in Echtzeit ausgewertet und direkt für die Entscheidungsfindungen genutzt werden. Das Sammeln und Zusammenführen großer Mengen an Daten ermöglicht in Zusammenarbeit mit künstlicher Intelligenz auch anormale Muster, sei es eine Verunreinigung oder eine Qualitätsabweichung, schneller, oder überhaupt erst zu erkennen.



## b. Herausforderungen

Gegenüber dem enormen Potenzial, das Nanosensoren für die Lebensmittelindustrie bieten, stehen die Herausforderungen für eine erfolgreiche Implementation. Diese bestehen neben den hohen Herausforderungen auf technischer Seite auch auf der ökonomischen und regulatorischen Seite. Auf technischer Seite stehen die grundlegenden Anforderungen an den Test. Er muss eine hohe Sensitivität und Selektivität bieten, und das mit einer Stabilität und Wiederholbarkeit, die einen industriellen Einsatz erst ermöglicht. Dies muss, als Übergang zur ökonomischen Sinnhaftigkeit, mit einer kostengünstigen, skalierbaren Produktion verbunden sein. Eine Implementation wird nur erfolgen, wenn kostenseitig ein klarer Vorteil für die Hersteller ersichtlich ist.

Zuletzt, und damit Hersteller überhaupt in der Lage sind die Tests zu verwenden, müssen die regulatorischen Rahmenbedingungen geklärt und abgesichert sein. So muss beispielsweise gewährleistet werden, dass durch Nanopartikel keine Gefährdung für die Verbraucher oder im Prozess eingebundenen Personen besteht. Dies ist besonders relevant bei Nanosensoren, die Inline in der Wertschöpfungskette oder in der Verpackung integriert sind. Hier könnten freiwerdende Nanopartikel durch Verzehr oder Atmung aufgenommen werden. Es kommt als Problematik hinzu, dass die Toxizität von Nanopartikeln oft unzureichend bis gar nicht erforscht ist. Wie hoch und schnell diese Anforderungen zu bewältigen sind, hängt stark vom konkreten Anwendungsfall ab. Es kann jedoch eine nicht zu unterschätzende Hürde für neue Anwendungen sein, die vor einer Kommerzialisierung erst überwunden werden muss. Darüber hinaus sind im Anwendungsfall „Pathogene“ Qualitätssicherungsprotokolle notwendig, die sicherstellen, dass Ergebnisse nicht „falsch negativ“ ausgegeben werden. Eine Funktionsprüfung mit aktiven Keimen kann/sollte nur in geeigneter Laborumgebung erfolgen. (Auch hier laufen Entwicklungen noch.

## 6. Anbieter (Auswahl)

In der nachfolgenden Tabelle 1 wird eine Auswahl von Anbietern mit Fokus auf Lebensmittelsicherheit dargestellt, die die Nanosensorik mit unterschiedlichen technologischen Ansätzen einsetzen.

NanoStruct GmbH entwickelt optische Nanosensoren auf Basis speziell strukturierter Goldoberflächen. Diese verstärken optische Signale so stark, dass selbst sehr geringe Mengen bakterieller Komponenten oder Schadstoffe zuverlässig detektiert werden können. Das Messsystem, dargestellt in Abbildung 4, kann automatisiert ganze Mikrotiterplatten,

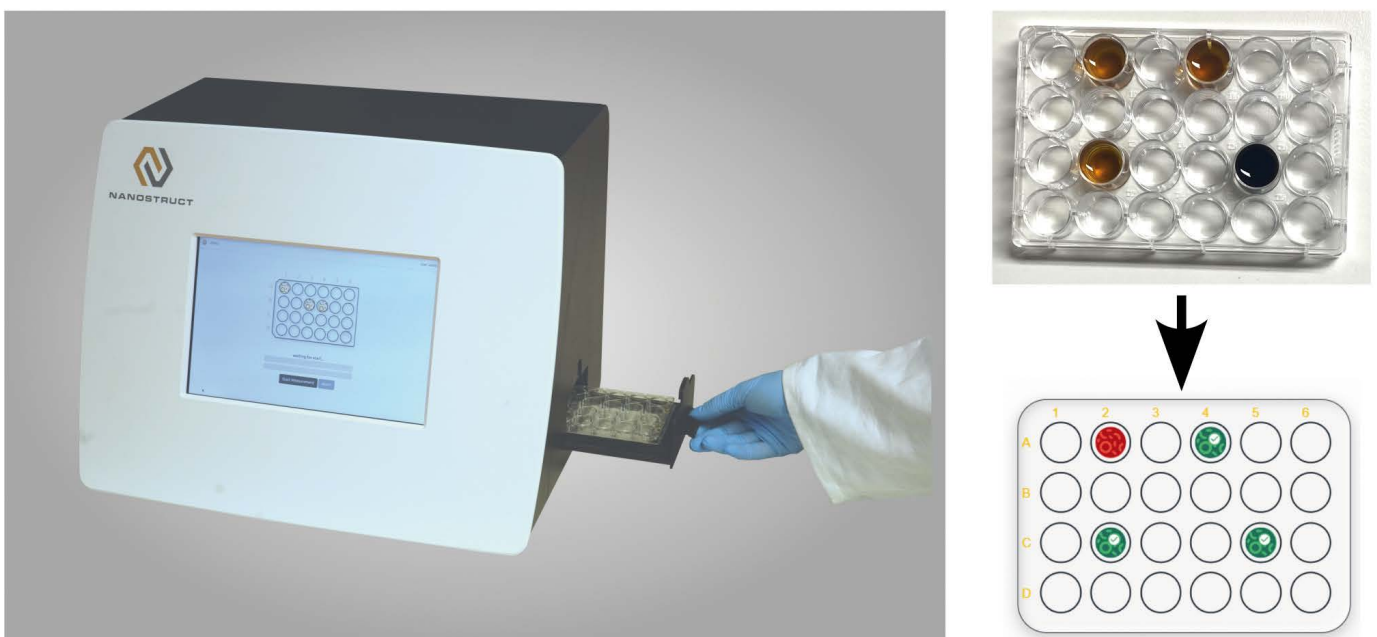


Abbildung 4: Messsystem von NanoStruct

z. B. mit 24 oder 96 Wells, in einem Durchgang von wenigen Minuten messen. Positive oder negative Befunde werden direkt graphisch dargestellt.

SAFIA Technologies GmbH verfolgt ebenfalls einen optischen Nanobiosensor-Ansatz, kombiniert mit biologischen Erkennungsmechanismen. Mit Antikörpern beschichtete Mikro- und Nanopartikel binden über spezifische Antigen-Antikörper-Reaktionen gezielt bestimmte Analyten an ihrer Oberfläche. Diese Bindungsereignisse werden über Fluoreszenzsignale detektiert und insbesondere zur Analyse von Mykotoxinen in der Lebensmittelanalytik eingesetzt.

Die FluiDect-Technologie unterscheidet sich deutlich von den zuvor beschriebenen Ansätzen, da hier industrielle optische Biosensoren für die kontinuierliche Echtzeit und Inline-Überwachung flüssiger Prozesse entwickelt werden. Als Sensorelemente fungieren frei bewegliche, funktionalisierte Mikropartikel ( $\mu$ Beads), die in der Probe suspendiert sind und Mikroorganismen oder Proteine mit hoher Sensitivität auf molekularer- beziehungsweise nanoskaliger Ebene binden. Diese Wechselwirkungen werden optisch und kontaktlos über photonische Resonanzeffekte direkt in der Produktionsanlage detektiert. Einsatz findet diese hochsensitive, „nanoenabled“ Biosensorik unter anderem in der Lebensmittelproduktion, der Fermentation und der Wasserüberwachung.

Oxford Nanopore Technologies nutzt hingegen elektrochemische Nanosensorik, bei der Nanoporen als Sensorelemente dienen. Einzelne DNA- oder RNA-Moleküle werden durch Poren im Nanometerbereich geleitet, wobei Änderungen im Ionenstrom gemessen werden, aus denen die genetische Information abgeleitet wird. Diese Technologie findet Anwendung in der Genanalyse und Diagnostik sowie im Lebensmittelbereich bei der Identifikation von Mikroorganismen, insbesondere Krankheitserregern, der Analyse mikrobieller Gemeinschaften in Fermentationsprozessen sowie beim Nachweis von Verderb und Prozesskontaminationen, unter anderem auch zur Authentizitäts- und Allergenprüfung.

Während optische Nanobiosensoren den schnellen Nachweis biologischer Analyten über lichtbasierte Effekte ermöglichen, nutzt Oxford Nanopore eine Sequenzierungstechnologie der dritten Generation, bei der genetische Informationen elektrochemisch aus Ionenstromänderungen einzelner DNA- oder RNA-Moleküle in Nanoporen gewonnen werden.

Unternehmen	Technologie	Anwendungsbereiche	Website
NanoStruct GmbH	SERS, Raman-Spektroskopie	Lebensmittelsicherheit	<a href="http://www.nanostruct.eu">www.nanostruct.eu</a>
SAFIA Technologies GmbH	Fluoreszenzmarkierung	Lebensmittelsicherheit	<a href="http://www.safia.tech">www.safia.tech</a>
FluiDect GmbH	Fluoreszenz, optische / photonische Resonanzmessung	Wasser, Lebensmittelsicherheit	<a href="http://www.fluidect.com">www.fluidect.com</a>
Oxford Nanopore Technologies	Third Generation Nanopore Sequencing, Ionenstrommessung	Wasser, Lebensmittelsicherheit	<a href="http://www.nanoporetech.com">www.nanoporetech.com</a>

**Tabelle 1:** Auswahl von Anbietern von Nanosensoren bzw. nano-/mikrobio-analytischen Messmethoden

## 7. Fazit und Ausblick

Kostengünstige, einfach zu bedienende und in den Informationsfluss eingebundene Nanosensoren bieten das Potenzial, die Überwachung kritischer Parameter entlang der ganzen Wertschöpfungskette an allen relevanten Stationen zu überwachen. Dies kann auf dem Feld oder im Stall beginnen und bis hin zum Verkauf, z. B. als Scannen zusammen mit dem Barcode an der Kasse, fortgeführt werden.

Durch moderne Dateninfrastrukturen und den Einsatz künstlicher Intelligenz lassen sich Sensordaten zentral auswerten und übergreifende Muster erkennen, was einen deutlich höheren Informationsgewinn ermöglicht als einzelne isolierte Messungen.

Bio- und Nanosensoren zählen zu den „Advanced Sensor Technologies“ und gelten als Schlüsseltechnologien für ein zukunftsfähiges Monitoring der Lebensmittelsicherheit, der Umwelt sowie der Gesundheitsdiagnostik. Ihre hohe Sensitivität und Spezifität bei kurzen Analysezeiten eröffnen insbesondere bei der Früherkennung lebensmittelbedingter Risiken neue Möglichkeiten, die mit konventionellen Methoden nur eingeschränkt erreichbar sind.

Demgegenüber stehen weiterhin Herausforderungen wie hohe Produktionskosten, begrenzte industrielle Skalierbarkeit sowie die Empfindlichkeit nanoskaliger Materialien gegenüber Umwelt und Prozessbedingungen. Aktuelle Forschungsansätze fokussieren daher kosteneffiziente Materialien, additive Fertigungsverfahren sowie robuste Beschichtungs- und Verpackungskonzepte. Ergänzend sind angepasste regulatorische Rahmenbedingungen erforderlich, um den Transfer innovativer Sensortechnologien in marktreife Anwendungen zu ermöglichen. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschung, Industrie und Regulierung wird dabei als entscheidend angesehen.

## 8. Literatur

1. Elliott, Chris (2025), Operation OPSON: the world's annual stress-test for food crime is sending a louder alarm than ever, *New Food Magazine*, Oct. 2025
1. *New Food Magazine*, [www.newfoodmagazine.com/article/256645/operation-opson-the-worlds-annual-stress-test-for-food-crime-is-sending-a-louder-alarm-than-ever](http://www.newfoodmagazine.com/article/256645/operation-opson-the-worlds-annual-stress-test-for-food-crime-is-sending-a-louder-alarm-than-ever) (Zugriff: 15.04.2026)
2. Yumda.com (2026), Deutschland: Listerien sind häufige Ursache für Lebensmittel-Rückrufe; Vor allem Obst, Gemüse, Fleisch und Süßwaren betroffen, <https://www.yumda.com/de/news/1188102/deutschland-listerien-sind-haeufige-ursache-fuer-lebensmittel-rueckrufe.html> (Stand: 17.02.2026)
3. Awlqadr, Farhang Hameed (2025) "Emerging trends in nano-sensors: A new frontier in food safety and quality assurance", *Helyon*, <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2824%2917212-X> (Zugriff: 14.04.2026)
4. Li, K. et al. (2021), Ultrasensitive and label-free electrochemical aptasensor based on carbon dots-black phosphorus nanohybrid for the detection of Ochratoxins A. *Microchemical Journal* 168, 106378, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106378>
5. Guo, J. et al. (2020), A Filter Supported Surface-Enhanced Raman Scattering "Nose" for Point-of-Care Monitoring of Gaseous Metabolites of Bacteria. *Anal. Chem.* 92, 5055–5063, <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b05400>
6. Camerlingo, C., Portaccio, M., Delfino, I. & Lepore (2019), M. Surface-Enhanced Raman Spectroscopy for Monitoring Extravirgin Olive Oil Bioactive Components. *Journal of Chemistry* 2019, 9537419, <https://doi.org/10.1155/2019/9537419>
7. Luo & Swager (2023), Chemiresistive sensing with functionalized carbon nanotubes, *Nature Reviews Methods Primers*, <https://www.nature.com/articles/s43586-023-00255-6>
8. Deng Y, Liu L, Li J, Gao L. (2022), Sensors Based on the Carbon Nanotube Field-Effect Transistors for Chemical and Biological Analyses. *Biosensors* 12(10):776. <https://doi.org/10.3390/bios12100776>

# DLG-Expertenwissen. Wissen für die Praxis.

## Lebensmitteltechnologie

- DLG-Expertenwissen 7/2022  
**Roboter in der Lebensmittelindustrie**
- DLG-Expertenwissen 4/2022  
**Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen**
- DLG-Expertenwissen 2/2022  
**Extrusion**
- DLG-Expertenwissen 5/2020  
**Weltweite Reduktionsstrategien im Vergleich – Großbritannien, Australien und die USA**
- DLG-Expertenwissen 5/2019  
**Predictive Maintenance**

## Lebensmittelsensorik

- DLG-Expertenwissen 1/2025  
**Sensory Claims im Kontext aktueller DIN- und ISO-Normen: Was bedeutet das für die Anwendung?**
- DLG-Expertenwissen 12/2024  
**Multitalent Textur – Mehrdimensionaler Qualitätsparameter bei Lebensmitteln und wichtiges sensorisches Qualitätsmerkmal für Verbraucher**
- DLG-Expertenwissen 5/2024  
**Sorting – Sensorische Schnellmethode zur Ähnlichkeitsmessung**
- DLG-Expertenwissen 1/2024  
**Lebensmittel-Neophobie**
- DLG-Expertenwissen 6/2020  
**Die sensorische Schnellmethode CATA (Check all that apply)**

## Food Chain

- DLG-Expertenwissen 2/2023  
**Vertical Farming: Mögliche Unterschiede von Rohstoffen aus Indoor- und Outdoor-Anbau**
- DLG-Expertenwissen 3/2021  
**Spirulina als Lebensmittel**
- DLG-Expertenwissen 2/2021  
**Data Analytics**
- DLG-Expertenwissen 1/2020  
**Onlinehandel mit Lebensmitteln und Getränken – Erfolgsfaktoren für mehr Qualität & Sicherheit**
- DLG-Expertenwissen 6/2019  
**Blockchain in der Food Supply Chain**

Download unter [dlg.org/mediacenter](https://dlg.org/mediacenter)



DLG e.V.  
Fachzentrum Landwirtschaft und Lebensmittel  
Eschborner Landstraße 122 · 60489 Frankfurt am Main  
Tel. +49 69 24788-311 · Fax +49 69 24788-8311  
[fachzentrumlm@DLG.org](mailto:fachzentrumlm@DLG.org) · [dlg.org](https://dlg.org)