PERFORMANCE

Optical sensors for detection of small organic molecules

Programm / Ausschreibung	KLWPT 24/26, Internationale FTI-Initiativen, Advanced Materials, M-ERA.NET Call 2024	**Status**	laufend
Projektstart	01.09.2025	**Projektende**	31.08.2028
Zeitraum	2025 - 2028	**Projektlaufzeit**	36 Monate
Keywords	supramolecular chemistry, nanoparticles, optical sensors, multifunctional coatings, molecular interactions, point-of-care devices, chemical sensors		

Projektbeschreibung

Prävention durch schnelles Screening zur Frühdiagnose von Krankheiten durch den Nachweis von Biomarkern in Spurenmengen ist ein äußerst wirksamer und nachhaltiger Ansatz zur Bekämpfung von Krankheiten, der letztlich Leben retten kann. Aldehyde, die als Nebenprodukte des Zellstoffwechsels und bei oxidativem Stress entstehen, dienen als Biomarker für viele Krankheiten und spielen aufgrund ihres Potenzials, Gewebeschäden und Entzündungen anzuzeigen, eine zentrale Rolle bei der Gesundheitsüberwachung. Heptanal, Octanal und Nonanal werden bei Menschen, die mit dem Parasiten Plasmodium spp. infiziert sind, in höheren Mengen gebildet und stehen im Zusammenhang mit Malaria sowie Lungenkrebs. Andere Aldehyde wie Acetaldehyd, Malondialdehyd, Formaldehyd, 4-Hydroxynonenal, Glyoxal und Methylglyoxal werden mit Lebererkrankungen, oxidativem Stress, Krebs, neurodegenerativen Erkrankungen und Diabetes in Verbindung gebracht. PERFORMANCE zielt darauf ab, die hohe Selektivität von molekularen Ad-hoc-Rezeptoren mit der herausragenden Empfindlichkeit von metallischen Nanopartikeln zu kombinieren, um hybride plasmonische Sensoren herzustellen, die gleichzeitig mehrere Aldehyde in Flüssig- und Gasphase erkennen und identifizieren können.
Um den Nutzen dieser Sensoren zu erweitern, sind zwei Nachweisverfahren geplant: elektrochemische Analyse und SERS. Elektrochemische Sensorik wird für das schnelle Screening von Aldehyden eingesetzt werden, um ihr Vorhandensein, ihre Konzentration und ihren Gesamtgehalt zu bestimmen.
SERS ermöglicht es, einzelne oder simultan mehrere Aldehyde zu identifizieren und zu quantifizieren, und bietet eine eindeutige Detektion und Charakterisierung, wobei auf maschinelles Lernen zur Erhöhung der Detektionsgenauigkeit zurückgegriffen wird. Die Verwendung organischer Liganden als Aldehydrezeptoren bietet praktische Vorteile, da sie im Vergleich zu Biomolekülen (z. B. Antikörpern) stabiler und kostengünstiger sind. Außerdem lässt sich durch die einfache Feinabstimmung ihrer molekularen Strukturen die größte Selektivität gegenüber Aldehyden erreichen. Insgesamt zielt PERFORMANCE darauf ab, Grundlagenwissen für die Entwicklung einer Sensortechnologie zu schaffen, die als nicht-invasives Instrument für die Gesundheitsüberwachung in diagnostischen Tests am Point-of-Care (PoC) eingesetzt werden könnte und sich durch eine Empfindlichkeit bis in den nanomolaren Konzentrationsbereich, eine hohe Selektivität für Aldehyde, eine Ansprechzeit < 1 min, Stabilität unter Testbedingungen, Multiplex-Performance und eine lange Haltbarkeit auszeichnet, die über den aktuellen Stand der Technik hinausgeht. Dieses bahnbrechende Projekt, an dem fünf führende europäische

Institutionen beteiligt sind, wird die Entwicklung von Wissenschaft und Technologie weltweit unterstützen und vorantreiben, insbesondere auf dem interdisziplinären Gebiet der PoC-Tests. Chemische Sensorik in Verbindung mit Dimensionierung im Mikro- bis Nanobereich, ultraniedrigem Stromverbrauch und Skalierbarkeit wird den Nachweis spezifischer Biomarker ermöglichen, die für die Gesundheitsüberwachung und Frühdiagnostik von größter Bedeutung sind. Dies wird zweifellos zur Verbesserung der Lebensqualität der Menschen beitragen und Lösungen für einige wichtige biomedizinische Fragen wie Frühdiagnostik und kontinuierliche Überwachung von Krankheiten bieten. Es wird darauf abgezielt, ein Gesamtkonzept von TRL1 zu Beginn des Projekts bis TRL4 am Ende des Projekts zu erstellen.

Abstract

Prevention via rapid screening to enable early diagnosis of diseases through the detection of trace amounts of biomarkers represents a robust and sustainable approach to prevent and thus combat a vast number of illnesses, ultimately sparing lives. Aldehydes, as byproducts of cellular metabolism and oxidative stress, serve as biomarkers for various diseases and are crucial for health monitoring by indicating tissue damage and inflammation. For instance, heptanal, octanal, and nonanal are known to be simultaneously produced at higher levels in human subjects when infected with Plasmodium spp parasite, ultimately causing lung cancer or even malaria. Furthermore, other aldehydes such as acetaldehyde, malondialdehyde, formaldehyde, 4-hydroxynonenal, glyoxal, and methylglyoxal are known for being implicated in liver diseases, oxidative stress-related conditions, cancers, neurodegenerative diseases, and diabetes complications. Improving sensitivity and analyte selectivity in chemical sensing of biomarkers are significant challenges for academic research and healthcare industrial development. PERFORMANCE aims to combine the high selectivity of ad hoc molecular receptors with the ultrasensitivity of metal nanoparticles (NPs) to fabricate hybrid plasmonic sensors capable of detecting and identifying simultaneously multiple aldehydes in both liquid and gas phases. These sensors will rely on three-dimensional networks (3DNs) of metal NPs bridged or functionalized by ad hoc molecular receptors.
Two detection methods are proposed to expand the utility of these sensors: electrochemical analysis and surface-enhanced Raman scattering (SERS) spectroscopy. Electrochemical sensing will screen aldehydes rapidly, determining their presence, concentration, and overall levels. SERS will be employed to precisely identify and quantify individual or multiple aldehydes simultaneously, offering unequivocal detection and characterization. Machine learning techniques will be used to enhance SERS detection accuracy. The peculiar nature of the hybrid plasmonic sensors allows the aldehydes to undergo reversible adsorption/desorption by the receptor, yielding a change in the optical and electrochemical properties of the 3DNs. Using organic ligands as aldehyde receptors provides practical advantages due to reduced costs compared to biomolecules such as antibodies. Besides, the straightforward fine-tuning of their structures will allow for achieving the highest selectivity towards given aldehydes. Ultimately, PERFORMANCE aims to provide the fundamental knowledge to develop a sensing technology that, targeting a non-invasive tool for health monitoring, could be implemented in point-of-care (PoC) diagnostic tests featuring sensitivity at the nanomolar concentration (10−9 mol/L), high selectivity for aldehydes, response time < 1 min, stability under test conditions, multiplex performance and long shelf life beyond the state of the art. Co-hosted by five leading European institutions, this project will support and advance the development of science and technology worldwide, especially in the interdisciplinary area of PoC testing. Chemical sensing at micro/nanoscale dimensions with ultralow power consumption will enable the detection of crucial biomarkers for health monitoring and early diagnostics, enhancing quality of life and addressing key biomedical challenges. The project aims to provide an overall concept from TRL 1 at the beginning to TRL 4 at the end of the project.

Projektkoordinator

- Universität Wien Institut für Organische Chemie

Projektpartner

- Eibensteiner Friedrich Dr.