

FlexDNA

Advanced materials for sustainable flexible electronics for On-Chip PCR

Programm / Ausschreibung	DST 24/26, DST 24/26, Schlüsseltechnologien im produktionsnahen Umfeld, 2025	Status	laufend
Projektstart	01.09.2026	Projektende	31.08.2029
Zeitraum	2026 - 2029	Projektlaufzeit	36 Monate
Keywords	flexible electronics, printed electronics, diagnostics, PCR-diagnostics, Biosensing		

Projektbeschreibung

Der Nachweis von RNA-Transkripten von Fusionsgen-Biomarkern mittels PCR ist der Goldstandard für die Diagnose, Risikoklassifizierung und molekulare Überwachung bei akuter lymphoblastischer Leukämie (ALL) und chronischer myeloischer Leukämie (CML). Damit lassen sich Behandlungsziele definieren, die Therapie anpassen und Rückfälle frühzeitig erkennen. Herkömmliche PCR-Verfahren sind jedoch ressourcenintensiv und verursachen einen erheblichen Verbrauch an Material, was die Testfrequenz und den Zugang in der Routineversorgung begrenzt.

FlexDNA begegnet diesen Herausforderungen durch die Entwicklung eines thermokonvektionsgesteuerten flexiblen PCR-Chips, welcher die elektrochemische (EC) Detektion mit fortschrittlichen, nachhaltigen Materialien und energiesparende Elektronik für eine kostengünstige Leukämiediagnostik kombiniert (Start TRL2, Ende TRL4). Dabei unterstützen Multiphysik-Simulationen die PCR-Chip Entwicklung, dessen Mikrofluidik-Kammer, Sensorchip- und Heizungslayout auf die Bedürfnisse der Anwendergruppen zugeschnitten sind.

Zur Implementierung der EC-Komponenten werden neuartige Materialien in den flexiblen Chip integriert, auf dem i) Kohlenstoff-Arbeits Elektroden (AE) für die PCR-Überwachung und ii) poröse Metall-AE für die spezifische PCR-Produktdetektion auf der Vorderseite und Heizschichten mit mindestens zwei verschiedenen Temperaturzonen (55°C/95°C) auf der Rückseite angeordnet sind. Als Substrate werden recycelbares Polyethylenterephthalat (PET) und Polyethylennaphthalat (PEN) untersucht, um Polyimid mit hoher Umweltbelastung zu vermeiden.

Die Materialstudie umfasst: i) Cu und Cu-Legierungen oder Graphen/Graphit-Verbundwerkstoffe für Leiterbahnen und Gegenelektroden (CE); ii) Kupferlegierungen/Phosphatsalze oder kohlenstoffbasierte Referenzelektroden (RE); iii) siebgedruckte Kohlenstoff-Nanomaterialien verfeinert Kohlenstoff AEs, um Wechselwirkungen mit der DNA zu untersuchen; iv) Cu- oder Au-Legierungen für poröse AE werden durch selektives Entlegieren untersucht, um große Oberflächen zu erhalten.

Alle Materialien sind als Siebdruckbare oder dispensierbare Tinten formuliert und werden hinsichtlich ihres Schichtwiderstands, ihrer mechanischen Robustheit sowie ihrer chemischen und thermischen Beständigkeit zwischen 55°C und 95°C in PCR-Reaktionsgemischen getestet.

Zur Detektion von drei BCR::ABL1-Fusionsgen-RNA-Transkripten wird ein chipkompatibler Multiplex-PCR-Assay entwickelt. Durch die Einbindung von redox-markierten Nukleotiden („Elektrotiden“) während der Amplifikation entstehen markierte

DNA-Produkte, die entweder unspezifisch auf Kohlenstoff-Nanomaterial-basierten AEs durch reversible DNA-Adsorption zur PCR-Überwachung oder spezifisch auf porösen metallbasierten AEs durch Capture-Probe-Hybridisierung zum Nachweis von PCR-Produkten detektiert werden können. Die analytische Leistung wird zunächst mit RNA aus Leukämie-Zelllinien optimiert und anschließend anhand von Patientenproben im Vergleich zur etablierten qPCR validiert.

Durch die Kombination von ökologisch konzipierten elektronischen Komponenten mit neuartigen Materialien zielt die FlexDNA-Plattform auf eine miniaturisierte, abfallarme und dezentrale Lösung für die molekulare Leukämieüberwachung ab. Diese Technologie könnte häufigere PCR-gestützte Therapieentscheidungen, eine frühzeitigere Erkennung molekularer Rückfälle und einen breiteren Zugang zu Präzisionsbehandlungen außerhalb spezialisierter Referenzlabors ermöglichen.

Abstract

The detection of RNA transcripts of fusion gene biomarkers using PCR is the gold standard for diagnosis, risk classification, and molecular monitoring in acute lymphoblastic leukemia (ALL) and chronic myeloid leukemia (CML). This allows treatment goals to be defined, therapy to be adjusted, and relapses to be detected at an early stage. However, conventional PCR methods are resource-intensive and consume a considerable amount of material, which limits the frequency of testing and access in routine care.

FlexDNA is addressing these challenges by developing a thermoconvection-controlled flexible PCR chip that combines electrochemical (EC) detection with advanced, sustainable materials and energy-saving electronics for cost-effective leukaemia diagnostics (start TRL2, end TRL4). Multiphysics simulations support the development of the PCR chip, whose microfluidic chamber, sensor chip, and heating layout are tailored to the needs of user groups.

To implement the EC components, novel materials are integrated into the flexible chip, on which i) carbon working electrodes (WE) for PCR monitoring and ii) porous metal WEs for specific PCR product detection are arranged on the front side and heating layers with at least two different temperature zones (55°C/95°C) on the back side. Recyclable polyethylene terephthalate (PET) and polyethylene naphthalate (PEN) are being investigated as substrates to avoid polyimide, which has a high environmental impact.

The material study includes: i) Cu and Cu alloys or graphene/graphite composites for conductor tracks and counter electrodes (CE); ii) copper alloys/phosphate salts or carbon-based reference electrodes (RE); iii) screen-printed carbon nanomaterials refined carbon WEs to investigate interactions with DNA; iv) Cu or Au alloys for porous WEs are investigated by selective dealloying to obtain large surface areas.

All materials are formulated as screen-printable or dispensable inks and are tested for their sheet resistance, mechanical robustness, and chemical and thermal resistance between 55°C and 95°C in PCR reaction mixtures.

For the detection of three BCR::ABL1 fusion gene RNA transcripts chip compatible multiplex PCR assay will be established. The incorporation of redox-labelled nucleotides ("electrotides") during amplification results in labelled DNA products that can be detected either non-specifically on carbon nanomaterial-based WEs by reversible DNA adsorption for PCR monitoring or specifically on porous metal-based WEs by capture probe hybridization for the detection of PCR products. Analytical performance will first be optimized with RNA from leukaemia cell lines and then validated using patient samples in comparison to established qPCR.

By combining ecologically designed electronic components with novel materials, the FlexDNA platform aims to provide a miniaturized, low-waste, and decentralized solution for molecular leukaemia monitoring. This technology could enable more frequent PCR-based therapy decisions, earlier detection of molecular relapses, and broader access to precision treatments outside of specialized reference laboratories.

Projektkoordinator

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Projektpartner

- Masarykuv onkologicky ustav
- bionic surface technologies GmbH
- Attophotonics Biosciences GmbH