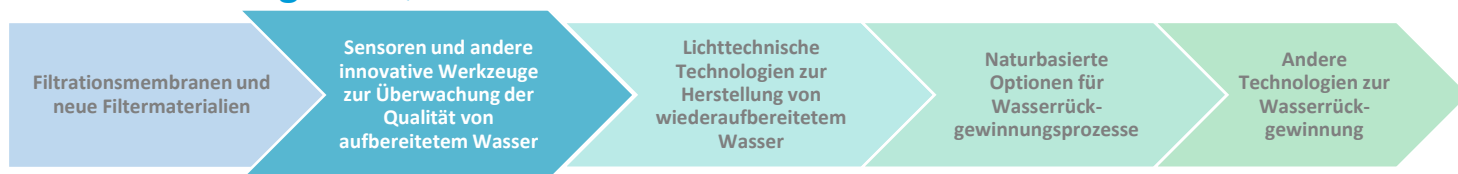




Infopaket 4

Wasserbauunternehmen

Informationsblatt 4.2 – Sensoren und andere innovative Werkzeuge zur Überwachung der Qualität von aufbereitetem Wasser: Fakten und Zahlen



SUWANU EUROPE ist ein H2020- Projekt zur Förderung des effektiven Austauschs von Wissen, Erfahrung und Kompetenzen zwischen Praktikern und relevanten Akteuren im Bereich der Nutzung von aufbereitetem Wasser in der Landwirtschaft. Dieses Informationsblatt ist Teil von insgesamt 5 Informationsblättern im Infopaket 4, das sich an Wasserbauunternehmen richtet und die verschiedenen Innovationen zum Nachweis von Krankheitserregern oder des gelösten organischen Kohlenstoffs beschreibt. Für die Messung von Krankheitserregern wird die Durchflusszytometrie verwendet, für den gelösten organischen Kohlenstoff wird ein UV-LED-Fluoreszenzsensor verwendet. Schließlich wird die aufstrebende Technologie vorgestellt.

Einleitung

1. Durchflusszytometrie

Die Mehrzahl der im Wasser vorkommenden Bakterien ist nicht kultivierbar und bildet keine Kolonien auf den verfügbaren mikrobiologischen Standard-Nährböden. Infolgedessen werden diese Bakterien von kultivierungsbasierten Nachweismethoden nicht erfasst. Unter den kultivierungsunabhängigen Methoden sticht die Durchflusszytometrie aufgrund ihrer Schnelligkeit und der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse mit verschiedenen Wassertypen hervor. Die Bestimmung der Bakterienkonzentrationen kann innerhalb von 15 Minuten durchgeführt werden und ist im Online-Format möglich. Neben der reinen Quantifizierung erlaubt die Technologie die Unterscheidung zwischen intakten (lebenden Bakterien) und membrangeschädigten (toten/geschädigten) Bakterien.

2. UV-LED-Sensor

Eine kontinuierliche Online-Überwachung der löslichen organischen Substanz (DOM) ist für die zukünftige intelligente und kostengünstige Kontrolle bei der Wasseraufbereitung dringend erforderlich. Andererseits ist eine häufige Überwachung auf gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) und toxische Desinfektionsnebenprodukte (DNP) relativ teuer und zeitaufwendig. Infolgedessen betonen viele Behörden die Notwendigkeit einer Surrogatüberwachung von DOC und einer Abschätzung des DNP-Bildungspotenzials. Daher ist es notwendig, eine Art billigen, kleinen, weniger Energie verbrauchenden, aber empfindlichen Sensor zu entwickeln, der Echtzeit-Feedback-Signale für die automatische Optimierung der Betriebsparameter und die Abschätzung der DNP-Bildung während der Wasseraufbereitung liefern kann. Spektrale Messungen einschließlich UV-Absorptions- und Fluoreszenzsignalen, die mit Bilk-DOM verbunden sind, bieten besonders vielversprechende Lösungen für die häufige Online-Überwachung.

3. Aufstrebende Innovation

Trotz aller Bemühungen, Echtzeit-Überwachungssysteme zu entwickeln, fehlt es immer noch an robusten, kontinuierlichen, genauen und überprüfbaren Echtzeit-Geräten, die Potenzial für eine großflächige Implementierung aufweisen. Ihre weit verbreitete Anwendung wurde durch die Tatsache eingeschränkt, dass es nicht möglich ist, genaue und kosteneffektive Wasserqualitätsdaten zuverlässig zu erhalten. Andererseits sind die meisten entwickelten Online-Überwachungssysteme direkte Anpassungen traditioneller, laborgestützter Analysemethoden, die ursprünglich nicht für den Einsatz im Freien konzipiert wurden. Außerdem müssen sie in extremen und variablen Umgebungen funktionieren und trotzdem genaue und reproduzierbare Ergebnisse liefern. Daher erfordern diese Methoden eine häufige Kalibrierung und Wartung und verbrauchen oft große Mengen an chemischen Reagenzien. Darüber hinaus leiden die Analysatoren oft unter Kreuzreaktionen aufgrund von Matrixvariationen zwischen den analysierten Standards und Proben, da die Messbedingungen nicht kontrolliert werden. Es gibt auch erhebliche wirtschaftliche und logistische Kosten, die mit der Wartung von ferngesteuerten Geräten verbunden sind, da es schwierig ist, Probleme wie Sensorverschmutzung zu erfassen.

1. DURCHFLUSSZYTOMETRIE

1.1. Technologie

Die Membranintegrität einer Zelle ist ein anerkanntes Kriterium zur Charakterisierung lebensfähiger (aktiver oder inaktiver) Zellen und zu deren Unterscheidung von geschädigten und membrangeschädigten Zellen. Diese Information ist von großer Bedeutung bei Studien über die Funktion von mikrobiellen Assemblagen in natürlichen Umgebungen, um die mit verschiedenen Methoden gemessenen Massenaktivitäten den sehr aktiven Zellen zuzuordnen, die tatsächlich für die Beobachtungen verantwortlich sind. Das Prinzip dieses Ansatzes besteht darin, gleichzeitig eine permeante (SYBR Green; Molekular-Sonde) und eine impermeante (Propidiumiodid) Sonde zu verwenden und den Energietransfer auszunutzen, der zwischen ihnen stattfindet, wenn beide Sonden Nukleinsäuren färben. Eine vollständige Auslöschung der Fluoreszenz der permeanten Sonde durch die impermeante Sonde weist auf Zellen mit einer geschädigten Membran hin, eine teilweise Auslöschung zeigt Zellen mit einer leicht beschädigten Membran an und ein Fehlen der Auslöschung charakterisiert Zellen mit intakter Membran, die als lebensfähig identifiziert werden.

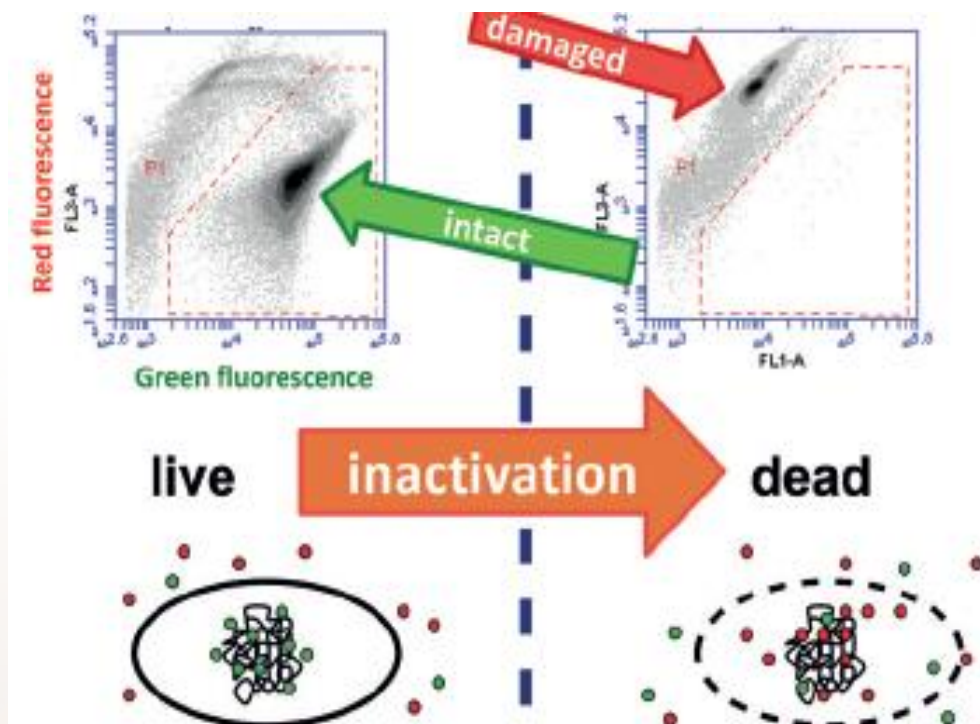


Abbildung 1: Beispielhaftes durchflusszytometrisches Dichtediagramm einer Bakteriensuspension mit lebenden/intakten Membranzellen (im rot-gepunkteten Bereich), bzw. mit toten geschädigten Membranzellen (außerhalb des gepunkteten Bereichs) nach Färbung mit zwei Farbstoffen

1.2. Anwendung in der Wasserrückgewinnung

Wie auch für andere Wasserarten bietet die Durchflusszytometrie eine schnelle und zuverlässige Bestimmung der Bakterienzellzahl im Bereich der Überwachung von Wasseraufbereitungsprozessen. Da der Nachweis nicht auf der Kultivierung der Bakterien basiert, wird die gesamte Bakterienpopulation im Wasser, unabhängig von ihren Wachstumsanforderungen, gemessen. Während herkömmliche Hygiene-Indikatorbakterien wie Coliforme, intestinale Enterokokken oder *Clostridium perfringens* nach der Membranfiltration typischerweise nicht mehr nachweisbar sind und Gesamtkoloniezahlen erst nach 2-3 Tagen zur Verfügung stehen, bietet die Durchflusszytometrie eine solide Datenbasis für die mikrobiologische Beurteilung der Effizienz verschiedener Wasseraufbereitungsschritte. Die Methode ist mit dem 'Hazard analysis and critical control points'-Konzept (HACCP) kompatibel, da die schnelle Erkennung von Veränderungen in der Mikrobiologie eine gute Grundlage für Entscheidungen zur Prozesssteuerung bietet.

2. UV-LED- FLUORESZENZ-SENSOR

2.1. Technologie

Der LED-Sensor, der gleichzeitig die UV280-Absorption, die proteinartige und humusartige Fluoreszenz misst, ist geeignet, Chromophore und Fluorophore mit guter Sensitivität und Genauigkeit zu überwachen. Die Flüssigchromatographie mit organischem Kohlenstoffdetektor in Kombination mit der 2D-Synchron-Korrelationsanalyse zeigte außerdem, wie die DOM-Komponenten mit großem Molekulargewicht in Abhängigkeit von der Abnahme der humusartigen Fluoreszenz in kleine Anteile umgewandelt wurden. Hochleistungs-Größenausschlusschromatographie mit Multi-UV-Absorptions- und Multi-Emissions-Fluoreszenz-Scans werden zur spektralen Charakterisierung der Proben eingesetzt.

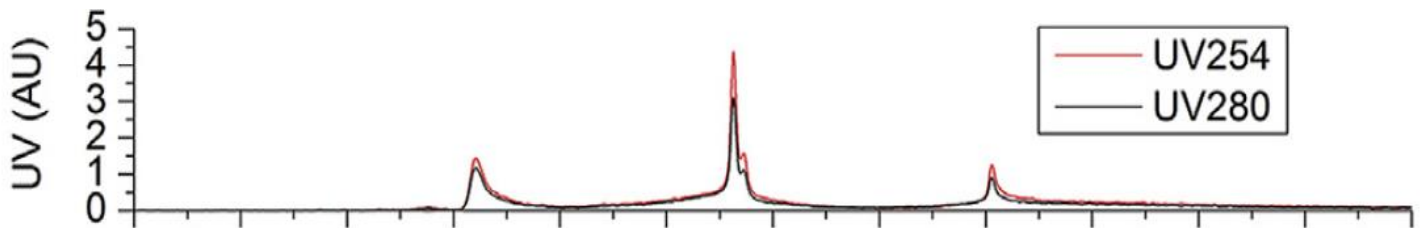


Abbildung 2: Abbildung eines Spektralphotometers mit einem Diagramm, das die bei UV254 und UV280 gemessenen Peaks zeigt

2.2. Anwendung in der Wasserrückgewinnung

Die Chlorung ist die am weitesten verbreitete Desinfektionsmethode bei der Wasseraufbereitung, da sie gegen die meisten Krankheitserreger wirksam ist und eine Restdesinfektionsleistung bietet. Allerdings bilden sich unvermeidlich toxische Desinfektionsnebenprodukte (DNP) aufgrund von Reaktionen zwischen Chlor und natürlicher organischer Materie (NOM), was zu ernsthaften Bedenken hinsichtlich der öffentlichen Gesundheit geführt hat. Viele Studien deuten darauf hin, dass DNPs zytotoxisch und genotoxisch sind und eine chronische Exposition gegenüber DNPs, mit Blasen- und Dickdarmkrebs beim Menschen in Verbindung gebracht wird. Die Möglichkeit, diese Produkte mit dem UV-LED-Fluoreszenzsensor zu erkennen, könnte die Konzentration dieser Produkte am Ende der Behandlung reduzieren.

3. AUFSTREBENDE INNOVATION

3.1. Technologie

Für den speziellen Fall der Erkennung von Krankheitserregern in Wasser gibt es eine vielversprechende Perspektive für photonische Sensoren, die die biologische Erkennung verbessern, indem sie die natürliche Fluoreszenzeigenschaft einiger Bakterien, wie z.B. *Escherichia coli*, nutzen. Der von AIMEN vorgeschlagene Erregersensor zielt darauf ab, die Fluoreszenz natürlicher Bakterien in einer realen Wasserprobe durch in situ Messungen zu erkennen. Eine umfassende Studie mit realen Wasserproben wird den Unterschied zum derzeitigen Stand der Technik auf diesem Gebiet ausmachen. Dieser Sensor liefert keine genaue Quantifizierung von *E. coli*, führt aber eine Überwachung durch, die eine Abschätzung des Vorhandenseins von Pathogenen ermöglichen kann. Dies ist als ein frühes Alarmsystem zu verstehen, das die Notwendigkeit weiterer Laboranalysen zur Bestätigung des Vorhandenseins und der KBE von Krankheitserregern im Wasser implizieren würde. Es ist auch nicht sehr spezifisch, aber es erfordert keine Wasseraufbereitung, keine Reagenzien, Funktionalisierung oder Probenvorbehandlung, wodurch es billiger und wirklich einfach zu handhaben ist.

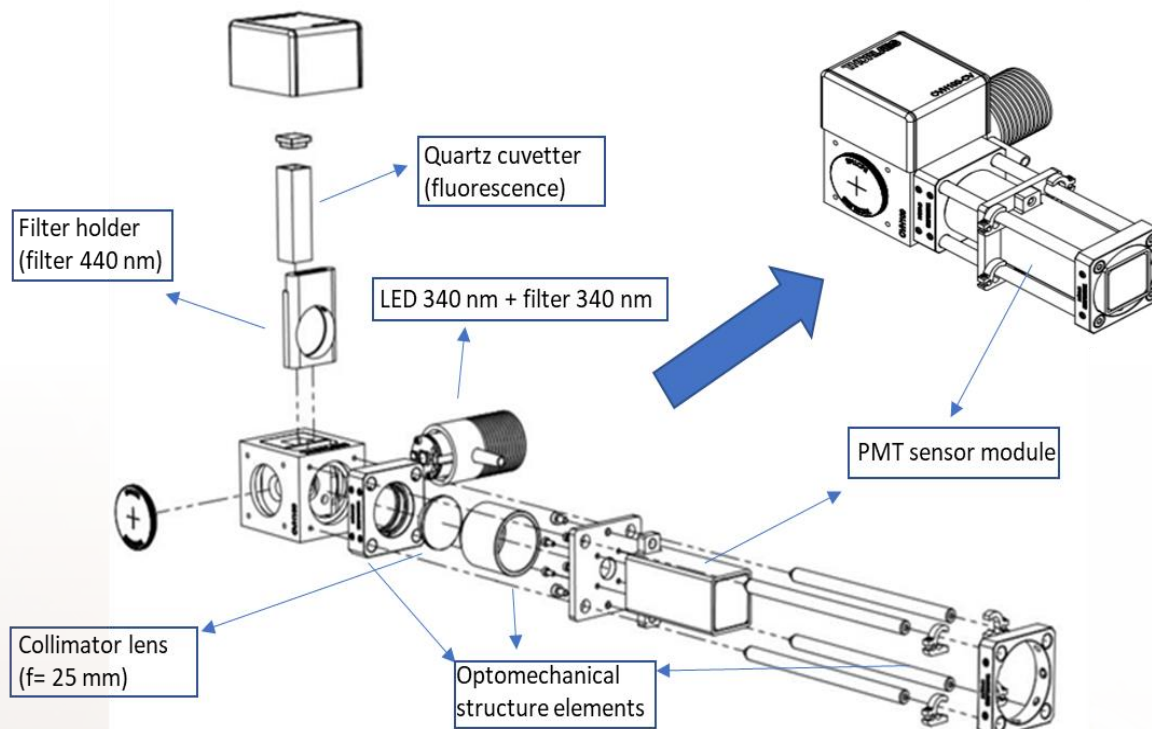


Abbildung 3: PMT-Sensoraufbau, von AIMEN vorgeschlagen, für Fluoreszenzmessungen von *E. Coli*

3.2. Anwendung in der Wasserrückgewinnung

Es wurden einige Sensoren entwickelt, die die natürliche Fluoreszenz dieser Bakterien unter realen Bedingungen direkt messen, ohne Probenbehandlung und unter Verwendung von Wasserzirkulationssystemen, um eine Inline-Wasserüberwachungslösung zu reproduzieren. Es gibt jedoch keine Berichte über den Einsatz dieser Sensoren in realen Anlagen oder die Überwachung von realen Wasserproben aus Wasseraufbereitungsanlagen. Aber mit dem von AIMEN vorgeschlagenen Pathogensensor wäre dieser Sensor eine Inline-Echtzeit-Überwachungsanordnung, die kontinuierlich die Fluoreszenzemission in einem Bypass in der Wasseraufbereitungsanlage misst. Wenn der Sensor richtig funktioniert, wird er einen Durchbruch bei der Überwachung realer Wasserproben, außerhalb von Laborbedingungen ohne Probenaufbereitung, Reagenzienzugabe oder teure Geräte darstellen.

Referenzen

- Dartnell, L. (2013). Fluorescence characterization of clinically-important bacteria. PloS one vol. 8,9.
- Edberg, S. (2000). Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. J. Appl. Microbiol., 88, 106S-116S.
- Hesari, N. (2016). A biosensor platform for rapid detection of E. coli in drinking water. Enzyme and Microbial Technology vol. 83, Pages 22-28.
- Hongying, Z. (2012). Quantum dot enabled detection of Escherichia coli using a cell-phone. The Analyst vol. 137.
- Kilungo, A. (2013). Continuous Real-time Detection of Microbial Contamination in Water using Intrinsic Fluorescence. doi: 10.4172/2155-6210.S12-002. J Biosens Bioelectron S12:002.
- Li, W. T., Jin, J., Li, Q., Wu, C. F., Lu, H., Zhou, Q., & Li, A. M. (2016). Developing LED UV fluorescence sensors for online monitoring DOM and predicting DBPs formation potential during water treatment. Water research, 93, 1-9.
- Simões, J. (2018). Continuous and Real-Time Detection of Drinking-Water Pathogens with a Low-Cost Fluorescent Optofluidic Sensor. Sensors (Basel, Switzerland) vol. 18,7 2210.
- Wildeboer, D. (2010). Rapid detection of Escherichia coli in water using a hand-held fluorescence detector. Water Research vol. 44, Pages 2621-2628.
- Zulkifli, N. (2018). Detection of contaminants in water supply State-of-the-art monitoring technologies and their applications. Sensors and Actuators B 255 (2018), 2657–2689.



KONTAKT:

Koordinator

Rafael Casielles (BIOAZUL SL)
Avenida Manuel Agustin Heredia nº18 1ª4 Málaga (SPAIN)
Mail | info@suwanu-europe.eu Website | www.suwanu-europe.eu

KONTAKT:

Verantwortlich für das Informationsblatt

Andres Acosta (TTZ Bremerhaven)
Am Ludeneich 12 27572 Bremerhaven (GERMANY) | Website |
<https://www.ttz-bremerhaven.de/de/>



THIS PROJECT HAS RECEIVED FUNDING FROM
THE EUROPEAN UNION' HORIZON 2020 RESEARCH
AND INNOVATION PROGRAMME
UNDER GRANT AGREEMENT N. 818088

