

Bewilligungsempfänger



Abschlussbericht zum Förderprojekt:

Entwicklung einer strömungsunabhängigen elektrochemischen Handmessung für die Desinfektionsmittelanalyse

Art des Berichtes:

Abschlussbericht zum Vorhaben mit dem Aktenzeichen 38375/01-32, gefördert durch die
Deutsche Bundesstiftung Umwelt

gefördert durch




Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Verfasser: Dr. Fabian Kruse

Meerbusch, den (13.02.2026)

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	38375/01-32	Referat		Fördersumme	124.800 €
Antragstitel		Entwicklung einer strömungsunabhängigen elektrochemischen Handmessung für die Desinfektionsmittelanalyse			
Stichworte					
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
24 Monate	06.11.2023	05.11.2025			
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger Kuntze Instruments GmbH				Tel	
				Fax	
				Projektleitung Dr. Fabian Kruse	
				Bearbeiter Dr. Verena Kuntze	
Kooperationspartner					
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Ziel des Entwicklungsprojekts war die Realisierung eines Handmessgeräts zur Bestimmung des Chlorgehalts. Mit einem solchen Gerät fallen bei der Messung weder Abfall noch belastetes Abwasser an. Zusätzlich wird die Messung schneller, einfacher in der Handhabung und durch weniger qualifiziertes Personal durchführbar. Pro Messung sollten 0,13 g DPD eingespart und 70 mg Verpackungsmüll und 10 ml Abwasser vermieden werden. Durch die Verringerung möglicher Fehlerquellen im Arbeitsablauf geht dieser Umweltvorteil mit verlässlicheren Messergebnissen einhergehen.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<p>Für die Messung der in der Mikroelektrode auftretenden geringen Stromstärken wurde eine nanoampere-sensitive Elektronik entwickelt, sodass hochsensitive Messungen durchgeführt werden können. Für die Kontaktierung des Messchips wurden zweistufige Federkontakte entwickelt, die a) einen guten Kontakt zum Chip herstellen, b) den Chip nicht beschädigen und c) hinreichende mechanische Stabilität bieten. Diese Eigenschaften ermöglichen die Kontaktierung der Chips über diese Federstäbchen von Federkontakten der Platine. Der Chip inklusive der Kontakte wird anschließend mit einem hochviskosen Silikonkleber bestrichen und mit dem Chipträger verklebt. Im Anschluss wurden vier Gehäuseiterationen entwickelt, bei denen der Aufbau des Messgeräts zunehmend verkleinert werden konnte. Die letzte im Projekt entwickelte Iteration ist nun für die Integration in ein Handmessgerät geeignet.</p> <p>Parallel dazu wurde die Datenausgabe untersucht. Zunächst war geplant, ein portables Handgerät zu entwickeln, an dem die Messwerte angezeigt werden können. Mit der fortschreitenden Digitalisierung der Dosiersysteme und zur Verbesserung der Kompatibilität mit den Kuntze-online-Geräten wurde entschieden, die Messwerte über eine Smartphone-App auszugeben.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Die Machbarkeit des MEAS-Handsensors konnte bewiesen werden. Das technische Prinzip ist funktional und ein marktnaher Sensoraufbau ist bereits realisiert.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Fähigkeiten des MEAS-Handsensors wurden im Projektzeitraum ausgewählten Kunden in direkten Gesprächen vorgestellt. Nach erfolgter Weiterentwicklung zur Marktreife wird das Handmessgerät den potenziellen Kunden in breiterer Ansprache sowie auf Kongressen und Messen präsentiert.

Fazit

Die Entwicklungsziele (portables Handgerät zur Konzentrationsmessung chlorbasierter Desinfektionsmittel in flüssigen Medien) wurden vollständig erreicht und die entwickelte Technologie eröffnet sogar über das ursprüngliche Anwendungsgebiet hinaus vielversprechende Anwendungspotenziale, die die Umwelt durch Müllvermeidung und die Reduktion von Abwasserbelastung spürbar entlasten.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt	2
1. Zusammenfassung	6
2. Einleitung.....	7
3. Entwicklungsarbeiten und erreichte Ergebnisse.....	10
4. Fazit	18

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Abbildung 1: Fotografie des zweiteiligen Probenträgers	11
Abbildung 2: Fotografien der ersten und dritten Gehäuseiteration offen und in Sensoraufnahme	12
Abbildung 3: Darstellung der vierten Iteration des Sensors	13
Abbildung 4: Fotografie des Funktionsmodells des Handgeräts	13
Abbildung 5: User Interface der App.....	14
Abbildung 6: Fotografie des kleinen Sensors, eingebaut in die Messvorrichtung (links) Größenvergleich der verschiedenen Sensorstadien (rechts)	15
Abbildung 7: Einzelteile von links: pH-Halbzelle, Mini-Redox-Sensor und Mini-Redox-Sensor mit zweiter Bezugselektrode.....	16
Abbildung 8: aufschraubbarer Becher für den Handsensor	18

1. Zusammenfassung

Gegenstand des Projekts war die Entwicklung eines Handmessgeräts zur Bestimmung des Chlorgehalts in flüssigen Medien. Die Desinfektion von Flüssigkeiten ist in vielen Anwendungsbereichen notwendig. Ein großer Anwendungsbereich sind Schwimmbäder, aber auch in Trinkwassernetzen (z. B. in Krankenhäusern) und Kraftwerkskühlkreisläufen muss die mikrobielle Verunreinigung des Wassers verhindert werden. Zur Desinfektion werden meist chlorhaltige Mittel verwendet, die das Abwasser belasten.

Die Präzision der Dosierung hängt von der Häufigkeit der durchgeführten Handmessungen ab. Diese sind aufwändig, teuer und mit der Entstehung von Müll oder chemikalienbelastetem Abwasser verbunden. Mit einem batteriebetriebenen Handgerät fallen bei der Messung weder Abfall noch belastetes Abwasser an. Zusätzlich wird die Messung schneller, einfacher in der Handhabung und durch weniger qualifiziertes Personal durchführbar. Pro Messung können 0,13 g DPD eingespart und 70 mg Verpackungsmüll und 10 ml Abwasser vermieden werden.

Für die Messung der in der Mikroelektrode auftretenden geringen Stromstärken wurde eine nanoampere-sensitive Elektronik entwickelt, sodass hochsensitive Messungen durchgeführt werden können. Für die Kontaktierung des Messchips wurden zweistufige Federkontakte entwickelt, die a) einen guten Kontakt zum Chip herstellen, b) den Chip nicht beschädigen und c) hinreichende mechanische Stabilität bieten. Diese Eigenschaften ermöglichen die Kontaktierung der Chips über diese Federstäbchen von Federkontakten der Platine. Der Chip inklusive der Kontakte wird anschließend mit einem hochviskosen Silikonkleber bestrichen und mit dem Chipträger verklebt.

Im Anschluss wurden vier Gehäuseiterationen entwickelt, bei denen der Aufbau des Messgeräts zunehmend verkleinert werden konnte. Die letzte im Projekt entwickelte Iteration ist nun für die Integration in ein Handmessgerät geeignet.

Parallel dazu wurde die Datenausgabe untersucht. Zunächst war geplant, ein portables Handgerät zu entwickeln, an dem die Messwerte angezeigt werden können. Mit der fortschreitenden Digitalisierung der Dosiersysteme und zur Verbesserung der Kompatibilität mit den Kuntze-online-Geräten wurde entschieden, die Messwerte über eine Smartphone-App auszugeben.

Letztlich konnte der innovative Lösungsansatz des Projekts vollumfänglich bestätigt werden. Das neuartige Messgerät steht kurz vor der Markteinführung, wodurch die anvisierten positiven Effekte auf die Umwelt mit großer Wahrscheinlichkeit realisiert werden.

2. Einleitung

Ausgangssituation

Die Desinfektion von Flüssigkeiten ist in vielen Anwendungsbereichen notwendig. Ein großer Anwendungsbereich sind Schwimmbäder, aber auch in Trinkwassernetzen (z. B. in Krankenhäusern) und Kraftwerkskühlkreisläufen muss die mikrobielle Verunreinigung des Wassers verhindert werden. Zur Desinfektion werden meist chlorhaltige Mittel verwendet, die das Abwasser belasten. Aus diesem Grund sollte die Dosierung möglichst präzise erfolgen, um Überdosierungen „zur Sicherheit“ zu vermeiden. Dies lässt sich nur durch ein engmaschiges Netz aus Messungen sicherstellen, um genau charakterisieren zu können, an welcher Stelle im System zu welchem Zeitpunkt wie viel Desinfektionsmittel ankommt.

Häufig wird auf eine Kombination von fest installierten online Messungen und stichprobenartigen Handmessungen zurückgegriffen. Hierbei dient die online-Messung zur Bestimmung des Desinfektionsmittelgehalts an einigen neuralgischen Punkten im System. Anhand dieser Werte erfolgt die Dosierung. Die Handmessungen werden genutzt, um die Verteilung des Desinfektionsmittels im Gesamtsystem zu untersuchen. Die dabei ermittelte Verteilung bei einem gegebenen online-Wert wird in den Regelkreis zurückgespielt und dient als Kalibrierungsfaktor.

Umweltrelevanz

Die Präzision der Dosierung hängt von der Häufigkeit der durchgeführten Handmessungen ab. Diese sind aufwändig, teuer und mit der Entstehung von Müll oder chemikalienbelastetem Abwasser verbunden. Es gibt demnach bei der Desinfektion von Wasser nur die Möglichkeit mehr Chlor als nötig in den Wasserkreislauf zu geben oder große Mengen an Abfall und chemikalienbelastetem Wasser zu produzieren. Der Endnutzer hat lediglich die Wahl welche Umweltbelastung erfolgen soll, eine Verringerung der Umweltbelastung kann nur durch Verstoß gegen Hygienerichtlinien erreicht werden.

Durch die Entwicklung eines wiederverwendbaren Handmessgeräts kann die Anzahl der Messungen von der Müllentstehung entkoppelt werden, wodurch eine präzise und möglichst sparsame Dosierung chlorhaltiger Desinfektionsmittel bei geringer Abfallproduktion ermöglicht wird. Durch die Substitution von DPD Tabletten mit dem neuentwickelten Handsensor können in Deutschland jährlich 1,89 t Verpackungsmüll, 3,52 t DPD-Tabletten und 259.292 l Abwasser eingespart werden.

Stand der Technik

Die Analyse von Desinfektionsmitteln in Wasser kann online kontinuierlich (oder quasikontinuierlich) oder stichprobenartig durch Handmessungen erfolgen. Dabei werden

photometrische oder amperometrische Methoden genutzt, die nachfolgend näher erläutert werden.

a) Photometrische Messmethoden

Bei stichprobenartigen Handmessungen finden vor allem photometrische Methoden Anwendung. Dabei wird dem Wasser eine Chemikalie zugegeben. Der zu detektierende Stoff reagiert mit dieser Chemikalie unter Bildung eines Farbstoffs. Die Entstehung dieses Farbstoffes kann photometrisch gemessen werden, wobei der Anstieg der Absorption proportional zum Anstieg der Farbstoffkonzentration ist (Lambert-Beer'sches Gesetz). Nach der Messung gelangt der gebildete Farbstoff als chemische Verunreinigung ins Abwasser.

b) Amperometrische Messmethoden

Amperometrische Messungen arbeiten mit Sensoren, die aus der zu messenden Konzentration ein elektrisches Signal generieren. Dazu wird eine chemische Reaktion des zu messenden Stoffes an der Elektrodenoberfläche erzwungen. Der dadurch entstehende Stromfluss lässt bei gleichbleibendem Mediumsdurchfluss auf die Konzentration schließen. Gleichbleibenden Durchfluss sicherzustellen, ist jedoch in realen Messumgebungen häufig aufwändig.

Zielsetzung

Ziel des Entwicklungsprojekts war die Realisierung eines Handmessgeräts zur Bestimmung des Chlorgehalts. Mit einem solchen Gerät fallen bei der Messung weder Abfall noch belastetes Abwasser an. Zusätzlich wird die Messung schneller, einfacher in der Handhabung und durch weniger qualifiziertes Personal durchführbar. Pro Messung sollten 0,13 g DPD eingespart und 70 mg Verpackungsmüll und 10 ml Abwasser vermieden werden. Durch die Verringerung möglicher Fehlerquellen im Arbeitsablauf geht dieser Umweltvorteil mit verlässlicheren Messergebnissen einhergehen.

Aufgabenstellung

- Entwicklung einer batteriebetriebenen Reinigungstechnologie

Bei Kontakt mit dem Analyten lagert sich Schmutz auf der Elektrode ab. Durch die Veränderung der Oberfläche verringert sich bei gleicher Chlorkonzentration die gemessene Stromstärke. Aus diesem Grund muss der Sensor regelmäßig von Verschmutzungen befreit werden. Für das entwickelte MEAS-Konzept hat Kuntze Instruments die Automatische Sondenreinigung (ASR) patentiert. Hierbei wird ein Strom angelegt, der das umgebende Wasser elektrolytisch spaltet. Der dabei freigesetzte Wasserstoff und Sauerstoff reagiert an der Elektrode als Reaktions- bzw. Oxidationsmittel mit den abgelagerten organischen und anorganischen Verschmutzungen, wodurch sich diese von der Oberfläche der Messelektrode

ablösen. Die Menge an Sauerstoff und Wasserstoff, die pro Zeiteinheit gebildet wird, ist abhängig von der Stromstärke.

Beim bestehenden Verfahren liegt der Fokus darauf, auch bei starken Verschmutzungen eine schnelle Reinigungswirkung zu erzielen, weshalb es stromgeführt ist, was einen hohen Energiebedarf nach sich zieht. Bei stationären online-Messgeräten ist die Stromversorgung unproblematisch, da diese an das Stromnetz angeschlossen sind.

Das im vorliegenden Projekt zu entwickelnde Handmessgerät soll zur besseren Nutzbarkeit batterie- oder akkubetrieben sein. Hierfür wird der Leistungsbedarf der Reinigungsfunktion dadurch reduziert, dass diese nicht stromgeführt (d. h. gleiche Stromstärke bei jedem Reinigungsvorgang), sondern spannungsgeführt realisiert wird. Eine spannungsgeführte Reinigung führt jeden Reinigungsvorgang mit gleicher Spannung durch. Dies führt dazu, dass die Stromstärke bei starker Verschmutzung geringer ist. Dies verlangsamt die Reinigung von stark verschmutzten Sensoren zwar, senkt jedoch den Stromverbrauch des Prozesses, da elektrische Energie proportional zu Stromstärke und Spannung ist.

- Stabile und korrosionsbeständige Kontaktierung des Messchips

In einem miniaturisierten Handmessgerät sinken die erzeugten Messströme. Bei kleineren Strömen wirken sich Kontaktstörungen stärker aus. Zusätzlich muss der Chip in Kontakt mit verschmutztem Brauchwasser kommen, die Kontaktierung muss jedoch vor dem korrodierenden Einfluss des Analysewassers geschützt werden. Zur Erhöhung von Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit muss zudem sichergestellt werden, dass defekte Messchips einfach getauscht werden können. Diese Probleme sollen durch innovative Kontaktfedern gelöst werden. Zum Schutz sollen diese mit Gussmasse überdeckt werden, die gleichzeitig nicht die Kontaktpunkte des Chips überdecken darf. Hierfür ist geplant ein Verfahren zu entwickeln, bei dem der Klemmkontakt vor dem Guss mit einer Schutzmaske besprüht wird.

- Integration von pH-Messung

Die Messung von freiem Chlor ist problematisch, da dieses in wässriger Lösung hypochlorige Säure bildet. Das amperometrische Messverfahren ist pH-sensitiv, weshalb die Säurebildung zu einer Verzerrung der gemessenen Chlorkonzentration führt. Durch Integration eines pH-Sensors in das Handmessgerät soll diese Verzerrung herausgerechnet werden. pH-Sonden sind empfindliche Messgeräte aus Glas. Bei der Integration der pH-Sonde in das Handmessgerät muss folglich darauf geachtet werden, dass die Sonde vor Beschädigung geschützt ist. Diesen Schutz im Rahmen eines kompakten und handmessungstauglichen Aufbaus zu realisieren, erfordert im Rahmen des Projekts die Entwicklung eines neuartigen Geräteaufbaus.

3. Entwicklungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

AP 1: Versuche zur spannungsgeführte Potenzialumkehr

Im Rahmen des Arbeitspakets wurde ein Computerprogramm entwickelt, das die Reinigungsfunktion der Nodes des Sensors ansteuern kann. Durch die Realisierung einer simplen Oberfläche können die Reinigungseinstellungen (z. B. Taktzahl, Dauer und Höhe der Spannung) schnell angepasst werden.

Die experimentelle Entwicklung der Reinigungsautomatik wurde zunächst zurückgestellt. Grund hierfür war, dass es vermutlich zeit- und kosteneffizienter ist, zunächst eine funktionierende Hardware ohne Reinigung zu entwickeln, die dann im zweiten Schritt zur automatischen Reinigung befähigt wird.

AP 2: Entwicklung einer nanoampere-sensitiven Elektronik

Die Entwicklung ist abgeschlossen. Basierend auf der Node-Hardware wurde eine eigene Hardware entwickelt, die selbst einzelne nA stabil aufnehmen kann. Für eine bessere Auflösung wurde auch die Software angepasst, die jetzt pA ausgibt. Damit kann mit vernünftiger Auflösung und Genauigkeit gemessen werden. Die neue Hardware bietet noch keine Funktion für eine automatische Reinigung.

AP 3: Entwicklung der Federkontakte

Zur Entwicklung der Federkontakte wurden zahlreiche experimentelle Ansätze entwickelt, die auf kommerziell verfügbaren Lösungen basierten. Diese brachten jedoch nicht den gewünschten Erfolg. Aus diesem Grund wurde unser Sensor-Stecker-Hersteller mit der Entwicklung zweistufiger Federstäbchen beauftragt, die a) einen guten Kontakt zum Chip herstellen, b) den Chip nicht beschädigen und c) hinreichende mechanische Stabilität bieten. Diese Eigenschaften ermöglichen die Kontaktierung der Chips über diese Federstäbchen von Federkontakten der Platine. Die Kontaktplatine wurde als separate Platine in Form eines Rings konstruiert und in das Gehäuse integriert. Auf diese Weise können bis zu vier Chips parallel angeschlossen werden, um ein größeres Signal zu erreichen. Durch die Vergrößerung des Signals (mittels paralleler Signalaufnahme an vier Chips) verbessert sich die Messung sehr kleiner Konzentrationen.

AP 4: Konstruktion der Gussabdeckung

Die Chipträger wurden zweiteilig entwickelt. Der Chip wird zunächst mit dem Federstäbchen versehen, dann werden alle Metallbereiche – Kontaktpad und Federstäbchen - sowie die Oberseite des Chips mit Kleber eingestrichen, auf den unteren Chipträger platziert und dann der Deckel aufgeschnappt. Am Ende wird zusätzlich noch die obere Öffnung, wo das

Federstäbchen austritt, verklebt. Als Kleber findet ein eher hochviskoser Silikonkleber Anwendung, der nicht zwischen Kontakt und Chip-Pad läuft und nach dem Aushärten eine gewisse Elastizität bewahrt. Ein weiterer (ungeplanter) Vorteil: Dieser Kleber kann meist wieder entfernt werden, so dass Komponenten zum Teil noch einmal verwendet werden konnten.



Abbildung 1: Fotografie des zweiteiligen Probenträgers

AP 5: Entwurf des Gehäuses

Es wurden mehrere Iterationen für das Gehäuse erarbeitet. Die erste, die auf den zweiteiligen Chipträgern basiert, wurde besonders groß ausgeführt, um Entnahme und ggf. Austausch aller Einzelteile zu ermöglichen. Es wurden zwei separate Glassensoren eingebaut, eine für Bezugs- und Gegenelektrode der MEAS, die andere als Standard-pH-Sensor. Bei den großen Abmessungen gab es allerdings einen deutlichen Quereinfluss der Leitfähigkeit.

Die zweite Iteration war immer noch recht groß, bestand jedoch nur noch aus einem Glas-Sensor, der pH und B+G in einem Sensor vereint.

Die dritte Iteration war bereits deutlich kleiner und nur noch für die kurzen Chips geeignet. Damit konnten dann auch Versuche zum Signalgewinn bei Kombination von zwei oder vier Chips durchgeführt werden sowie Permutationen, um sicherzustellen, dass die verschiedenen Chips vergleichbare Signale geben.

Das aktuelle Gehäuse kann einfach in ein Becken getaucht werden. Da es dabei aber vorkam, dass die Chips nicht vollständig eintauchten, wurde eine Sensoraufnahme konstruiert, die eine

definierte Eintauchhöhe sicherstellt. Das hatte zusätzlich den Vorteil, dass es mithilfe einfacher Schlauchanschlüsse auch im Durchfluss betrieben werden kann, was Messungen an Wasserhähnen oder Probestellen extrem vereinfacht. Das hat sich bei den Handmessungen auch deshalb als praktisch erwiesen, weil man so beide Hände frei hat und auch z. B. den Temperaturangleich abwarten kann.

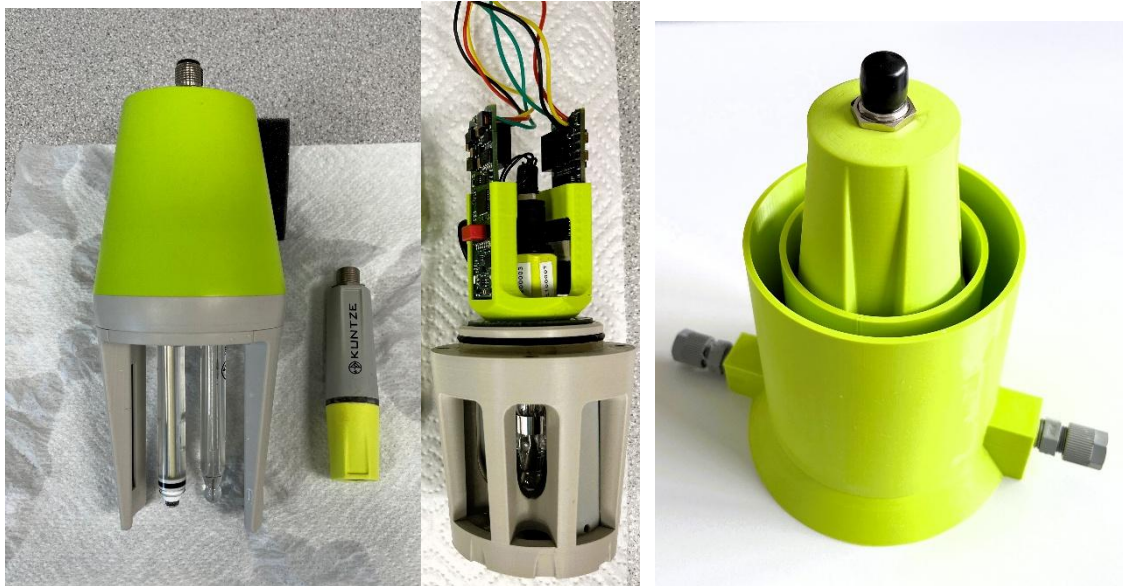


Abbildung 2: Fotografien der ersten und dritten Gehäuseiteration offen und in Sensoraufnahme

Der vierte Prototyp wurde so weit finalisiert, dass er nun gebaut werden kann. Das Design ähnelt einem Stift, den man einfach ins Wasser taucht. Im oberen Teil – dem Griff – befindet sich die Elektronik, im unteren Teil neben zwei kurzgeschlossenen Chips vier Elektroden – pH, Redox und zwei Bezugs Elektroden. Damit lassen sich die MEAS-Messung und eine separate pH-Messung realisieren, die dann zur Kompensation des pH-Einflusses genutzt werden kann. Das entspricht dem, wie es ursprünglich geplant war. Die Elektroden sind dabei so klein wie möglich gestaltet: pH und Redox sind lediglich auf ein kurzes 5mm Glasrohr aufgebracht. Das sind Baugruppen unserer Glassensoren, hier aber als Einzelteile. Die beiden Bezugs Elektroden sind auf die Patronen reduziert, die nur mit der Spitze aus dem Gehäuse ragen, damit sie keiner mechanischen Belastung ausgesetzt sind. Mit diesen kleinsten Bauteilen lässt sich für den Prototyp ein Durchmesser von 25 mm realisieren, wie er im Markt bereits bei dem Membran-Sensoren bekannt ist, so dass der Sensor in viele handelsübliche Armaturen eingebaut werden kann. Das bedingt allerdings, dass der Sensor vergossen wird; die Bestandteile wären dann nicht mehr austauschbar.



Abbildung 3: Darstellung der vierten Iteration des Sensors

AP 6 Aufbau eines Probegeräts

Es wurde ein batteriebetriebenes Handgerät konzipiert, das mit den Nodes kommunizieren kann. Dabei handelt es sich jedoch noch um ein reines Funktionsmodell. Die Oberfläche ist noch nicht benutzerfreundlich ausgestaltet und es enthält noch kein Grafikdisplay. Die Entwicklung wurde im späteren Verlauf des Projekts weitergeführt.



Abbildung 4: Fotografie des Funktionsmodells des Handgeräts

Das Handgerät hat sich im weiteren Projektverlauf als zu begrenzt herausgestellt. Um alle für ein modernes Gerät gewünschten Funktionen zu bieten, müsste die Hardware erheblich aufgeweitet werden. Als Anbieter von online-Messtechnik wollten wir ja nicht primär eine Handmessung entwickeln, mit der man manuell die Konzentration in einer Wasserprobe

messen kann. Uns geht es darum, mit einer Handmessung online-Messungen zu überwachen und zu kalibrieren. Daher reicht es nicht, dass das Handgerät Daten aus einem Sensor ausliest, sondern diese Daten müssen (möglichst automatisch) der online-Messung zugeordnet werden, für die die Handmessung gemacht wurde.

Die wichtigen Funktionen „Anbindung an die Cloud“, „grafische Darstellung“, „Uhr mit automatischer weltweiter Zeit-Einstellung“ und „Barcode-Lesen“ wären im Handgerät extrem aufwändig zu realisieren, sind dagegen alle bereits in jedem Mobiltelefon vorhanden. Daher wurde auf eine Lösung gewechselt, die das Handy als zentrale Hardware-Komponente nutzt. Dabei konnten wir auf einige bereits vorhandene Arbeiten zurückgreifen: So haben wir bereits eine App, die sich mit unserem cloud connect verbindet, die Zugriffsrechte der Benutzer verwaltet, dem Benutzer seine online-Geräte anzeigt und es erlaubt, aus dieser Liste das zu überwachende bzw. zu kalibrierende online-Gerät auszuwählen. Die App ordnet dann die Handmessung diesem Gerät zu und speichert das Ergebnis in die Datenbank, so dass es zusammen mit der online-Messung in der cloud dargestellt werden kann.

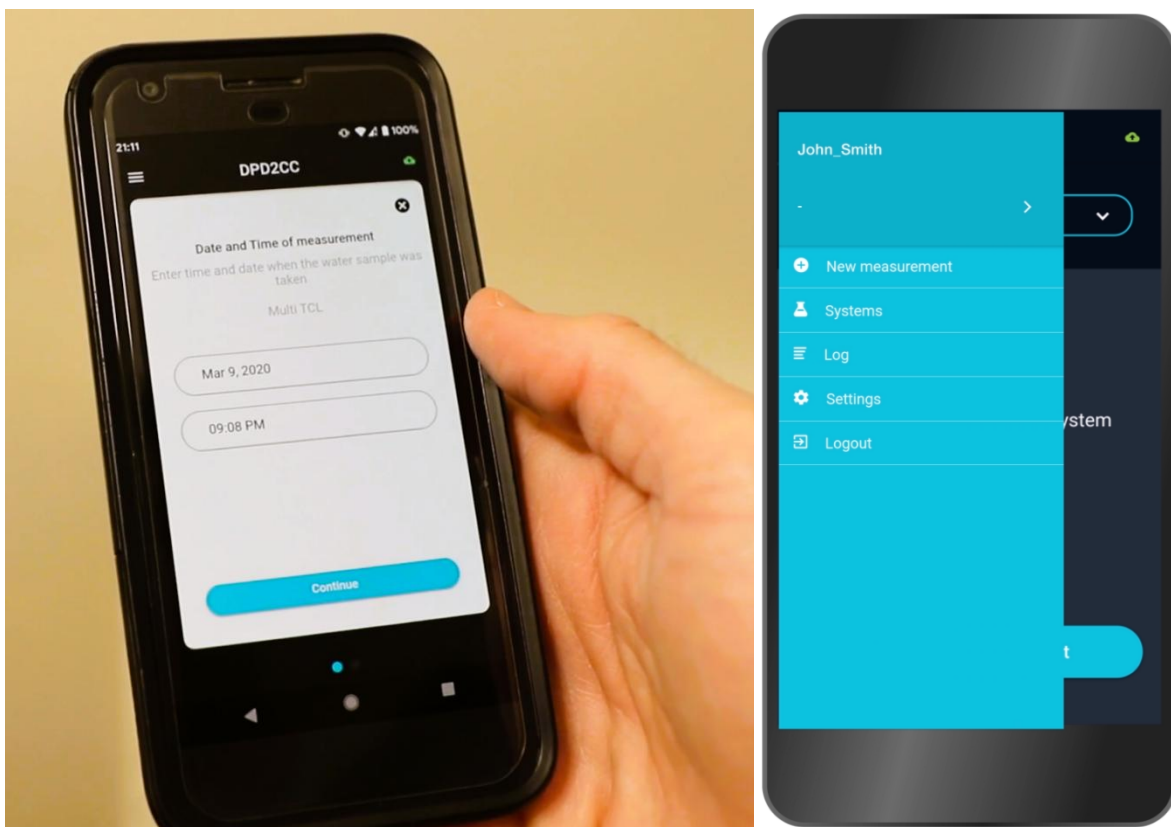


Abbildung 5: User Interface der App

Da wir in 2025 eine ganz neue Geräteplattform gelauncht haben, von der die MEAS-Platine ja einen wichtigen Teil darstellte, musste die App ohnehin überarbeitet werden. Hier kam für dieses Projekt allerdings erschwerend dazu, dass die Gerätefunktionen der online-Geräte im Laufe des Jahres erheblich erweitert wurden und jedes Gerät heute mehrere DIS-Messungen

erlaubt, so dass eine Zuordnung nicht nur zu einem Gerät, sondern innerhalb des Gerätes noch zu einer bestimmten Messung notwendig wurde. Letzteres war ein größeres Problem als man denken mag, da eine Zuordnung zu einem Sensor nicht ausreicht. Sensoren haben nur eine begrenzte Lebensdauer und müssen daher regelmäßig ausgetauscht werden. Die Zuordnung zur Messung darf dadurch nicht verloren gehen. Da wir aber ähnliche Probleme auch bei der Zuordnung von Ausgabe-Elementen innerhalb der Geräte kennen, konnten wir auch hier bereits auf vorhandene Lösungsansätze zurückgreifen.

An dieser App wird zurzeit noch gearbeitet, da die neue Geräte-Plattform viel Zeit in Anspruch nimmt.

AP 7: Integration der pH-Sonde

Eine pH-Messung wurde seit Bestehen der zweiteiligen Chipträger im Gesamtaufbau mit integriert. Hier wurde insbesondere geprüft, ob die separate pH-Kalibrierung vermieden werden kann, indem das Altern des pH-Sensors im Rahmen der Signalverarbeitung mathematisch berücksichtigt wird. Inzwischen ist der Sensor eine Sonderanfertigung eigens für die MEAS – er ist sehr viel kleiner als die Standardsensoren und enthält vier einzelne Elektroden: pH, zweimal Bezug und Redox, letztere als Gegenelektrode für die MEAS.



Abbildung 6: Fotografie des kleinen Sensors, eingebaut in die Messvorrichtung (links) Größenvergleich der verschiedenen Sensorstadien (rechts)

Im weiteren Projektverlauf wurde die Sonde weiter verkleinert. Bisher hatten alle Sensoren Steckköpfe und Gewinde, so dass sie ausgeschraubt und getauscht werden konnten. Diese Sensoren hatten immer einen Glasaußendurchmesser von 12 mm. Dafür ist im aktuellen Prototyp kein Platz mehr, weshalb jetzt nur die funktionellen Bauteile vorhanden sind, also zum Beispiel die Kugel aus dem speziellen pH-sensitiven Glas an einem 5 mm Glasröhrchen, in dem sich der Puffer und die Silberableitung befinden. Die Bezugs elektrode befindet sich in einem eigenen Röhrchen, ebenfalls in 5 mm.

Die Redoxmessung ist in das Röhrchen der Bezugs elektrode integriert. Da noch nicht abschließend geklärt ist, ob wir mit einer Bezugs elektrode auskommen oder für die pH-Messung eine zweite brauchen, wurde ein Mini-Redox-Sensor mit zweiter Bezugs elektrode gebaut; dieser passt aber nun nicht mehr in ein 5er Rohr, hier muss ein 8mm Rohr genommen werden.

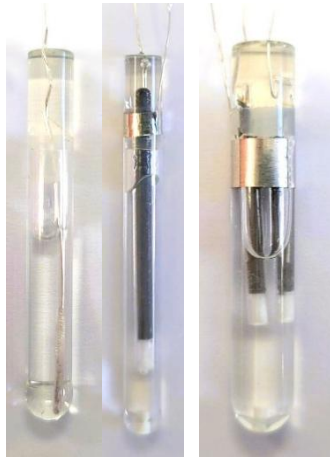


Abbildung 7: Einzelteile von links: pH-Halbzelle, Mini-Redox-Sensor und Mini-Redox-Sensor mit zweiter Bezugs elektrode

AP 8: Versuche zur Konzentrationsmessung

Versuche zur Messung wurden zu jeder Zeit und mit jedem Aufbau durchgeführt, meist mit einem Computer.

Inzwischen steht fest, dass der Aufbau reproduzierbar ist, d.h. dass jeder aufgebaute Sensor zuverlässig misst.

Messungen wurden durchgeführt bis 5 mg/l, wobei die Signale so klein sind, dass auch deutlich größere Konzentrationen vermutlich gut messbar sein werden.

Geprüft wurde, dass alle Chips vergleichbare Signale geben, dass die Signalstärke zweier Chips etwa das Doppelte von einem Chip beträgt und die von vier eben das Vierfache, so dass auch sehr kleine Konzentrationen gemessen werden können.

Geprüft wurde, dass Handhaben das Signal nicht verändert - wenn man den Sensor bewegt, ohne ihn aus dem Wasser zu nehmen, oder herausnimmt und wieder eintaucht, stellt sich stets das gleiche Signal ein.

Geprüft wurde, dass nach jedem Einschalten das gleiche Signal gemessen wird. Nach Ausschalten der Elektronik dauert es ca. 3 Minuten, bis sich das Signal vollständig stabilisiert; bereits nach 45 Sekunden ist es aber wieder im Toleranzbereich.

Die längste ununterbrochene Messdauer bisher beträgt nunmehr fast ein Jahr. Damit steht fest, dass das Design sowohl der Chips als auch der Kontaktierung industrietauglich ist und keine Abnutzung oder Beschädigung allein durch normalen Betrieb auftreten.

Die Verschmutzungsversuche und die Versuche zur Ansprechzeit stehen zum Projektende noch aus.

4. Fazit

Im Zuge des Projekts konnte erfolgreich ein verlässlicher und praxistauglicher Handsensor entwickelt werden. Dieser befindet sich aktuell in der marktvorbereitenden Entwicklungsphase. Dabei sind viele Resultate aus den bisherigen Tests in das Design mit eingeflossen. So wurde zum Beispiel ein per Bajonett aufschraubbarer Becher mit Nase entwickelt, der eine vernünftige Probenahme bzw. Messung an Wasserhähnen erlaubt. Diese Konstruktion stellt sicher, dass die beiden Chips des Sensors immer vollständig ins Wasser eintauchen und damit die Messung immer mit allen 66.000 Mikroelektroden erfolgt. Ebenfalls wird dadurch sichergestellt, dass die Wasserprobe stets frisch und repräsentativ ist – Desinfektionsmittel sind oft leicht flüchtig, daher nimmt der Gehalt in einer offenen Probe schnell ab. Der Becher erlaubt auch eine sehr einfache Messung in allen offenen Tanks oder Becken. Schlussendlich kann er außerdem zum Prüfen oder Kalibrieren, zum Reinigen und zum Aufbewahren verwendet werden.



Abbildung 8: aufschraubbarer Becher für den Handsensor

Und natürlich lässt sich das aktuelle Design in handelsübliche Armaturen für online-Sensoren einbauen (Membransensoren, 25 mm-Design). Das ist wichtig für die Akzeptanz im Markt – Kunden wollen sich immer zunächst von der Leistung eines neuen Sensors überzeugen, ohne viel Arbeit zu investieren, und das geht am besten, wenn sie auf bereits vorhandene Verrohrung zurückgreifen können. Und eine der Stärken der neuen Technologie ist, dass der Sensor sowohl für Handmessungen als auch für online-Messungen geeignet ist, da er nicht

nur bei konstantem Durchfluss und nicht nur bei stehendem Wasser, sondern eben bei jedem Durchfluss die gleichen Werte anzeigt.

Diese letztere Einbaumöglichkeit bildet denn auch die Grundlage für die erhoffte automatische Kalibriermöglichkeit für die online-Messungen – die Idee ist, die „online“-Installation als generelle Aufbewahrung zu gestalten – warum sollte man ein Messgerät, wenn man es nicht braucht, in einen Schrank legen, wenn man es genauso gut griffbereit neben die Messgeräte hängen kann, für deren Überprüfung und Kalibrierung man es verwendet. Dann braucht es nur noch eine Ansteuerung eines Ventils, um das Handgerät mit einer repräsentativen Wasserprobe zu versorgen, um die Prüfung und falls notwendig die Kalibrierung der online-Messung völlig automatisch laufen zu lassen. Solange das Handgerät batteriebetrieben ist, muss es dazu eingeschaltet werden; auch das kann über einen digitalen Ausgang des online-Geräts erfolgen. Diese Kombination ist aber bisher nur eine Idee.

Somit bleibt festzustellen, dass die Entwicklungsziele (portables Handgerät zur Konzentrationsmessung chlorbasierter Desinfektionsmittel in flüssigen Medien) vollständig erreicht wurden und die entwickelte Technologie sogar über das ursprüngliche Anwendungsgebiet hinaus vielversprechende Anwendungspotenziale eröffnet, die die Umwelt durch Müllvermeidung und die Reduktion von Abwasserbelastung spürbar entlasten.