



DATipilot Modul 1 Innovationsprints

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Kurzbericht und Eingehende Darstellung öffentlich

AquaAware – Das intelligente Wassermessgerät für alle und ein
Wegweiser für Trinkwasserqualität

Akronym: AquaAware

	Institution	Name Projektleitung	Förderkennzeichen
AquaAware Teilprojekt A (Koordination)	Hochschule der Medien	Helmut Wittenzellner	03DPS1088A
AquaAware Teilprojekt B	Krapp, Mavlutova, Thiess & Zink GbR	Katja Thiess	03DPS1088B

LAUFZEIT: 01.11.2024 – 31.10.2025

Stuttgart, den 27.04.2026

Autorenschaft: Hannah Zink, Katja Thiess, Meriem Mavlutova, Kilian Krapp*

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhalt

- 1 Kurzbericht
 - 1.1 Ausgangslage des Vorhabens
 - 1.1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung
 - 1.1.2. Ursprüngliche wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele
 - 1.1.3. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde
 - 1.2 Ablauf des Vorhabens
 - 1.3 Ergebnisse des Vorhabens
 - 1.3.1. Wesentliche Ergebnisse
 - 1.3.2. Zusammenarbeit mit anderen Stellen
- 2 Eingehende Darstellung
 - 2.1 Durchgeführter Arbeitsplan
 - 2.2 Erreichte Meilensteine
 - 2.3 Erreichte Ergebnisse
 - 2.3.1 Erreichung der Gesamtziele
 - 2.3.2 Erreichung der wissenschaftlichen und/oder technischen Arbeitsziele
 - 2.4 Verwertung
 - 2.4.1 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses
 - 2.4.2 Fortschritt Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens
 - 2.4.3 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse
 - 2.4.4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

1. Kurzbericht

1.1 Ausgangslage des Vorhabens

1.1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

<p>Gesamtziel des Innovationssprints</p>	<p>Die Messung der Wasserqualität soll mittels unserer bereits im Labor an der Universität Stuttgart aufgebauten Messmethoden erfolgen. Diese werden so skaliert, dass ein benutzerfreundliches Produkt entsteht. Es werden im Messgerät sowohl Elektroden für die Leitfähigkeitsmessungen verwendet, als auch für ORP-Wert- und pH-Wert-Messungen sowie Sonden zur Bestimmung anderer spezifischer Verunreinigungs-konzentrationen. Zusätzlich soll eine Dichtebestimmung implementiert werden und mit polychromatischen und monochromatischen elektromagnetischen Wellen die Zusammensetzung analysiert werden.</p> <p>Unser Hauptaugenmerk bei der Förderung liegt darauf, ein Konzept zu entwickeln, dieses auf Konzepttauglichkeit zu testen und in Zusammenarbeit mit Kunden und Experten iterativ zu verbessern. Die Herausforderung besteht darin, verschiedene Technologien mit künstlicher Intelligenz zu integrieren, während gleichzeitig darauf geachtet wird, dass das Gerät benutzerfreundlich bleibt.</p> <p>Benutzerfreundlichkeit bedeutet, dass das Gerät intuitiv zu bedienen ist, sowohl in der App als auch in der Hardware. Dies soll mittels Evaluation des Konzepts (min. 5 Personen) validiert werden. Zusätzlich soll das Gerät ergonomisch in der Hand liegen und eine Länge von 20cm nicht überschreiten.</p>
<p>Beitrag des Teilprojekts A</p>	<p>Das Teilprojekt A steuert die Entwicklung der App sowie die Konzeptentwicklung der KI bei. Für das Projekt bietet die Hochschule der Medien im Bereich der Informatik sowie der künstlichen Intelligenz Expertise. Sie ist somit verantwortlich für die Implementierung der App und der Datenauswertung im Projekt AquaAware, ebenso für die Projektleitung und übernimmt diesbezügliche administrative Aufgaben.</p>
<p>Beitrag des Teilprojekts B</p>	<p>Das Team von Teilprojekt B übernimmt die Arbeiten im Labor, die Theorie und den experimentellen sowie physikalisch und chemisch forschungsrelevanten Teil des Projekts.</p>

1.1.2. Ursprüngliche wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele

<p>Geplante konkrete Arbeitsziele: Teilprojekt A</p>
<p>Fertigstellung des klickbaren High Fidelity Halbdemonstratoren der mobilen App</p>
<p>Implementierung der 3 Frontendseiten (Landingpage, Startseite und Ergebnisseite) der App</p>
<p>Implementierung der API zur Speicherung der Messungen in der App</p>
<p>Entwurf der Modellarchitektur der KI</p>
<p>Geplante konkrete Arbeitsziele: Teilprojekt B</p>
<p>Validierung Messmethoden - Mit Bestätigung von zwei Expert:innen zur Konzepttauglichkeit</p>

Datenerhebung 300 Datensätze mit den validierten Messmethoden
Konzepterstellung des Produkts (CAD Modell fertig, Produkt kann anhand des CAD Modells gefertigt werden)
Eigenfinanzierter Halbdemonstrator wurde in Einsatzgebiet erprobt (10 Gespräche mit Kunden und Behörden vor Ort)

1.1.3. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Stand der Wissenschaft und Technik

Aktuell existiert ein breites Spektrum an Verfahren zur Wasseranalyse. Hochauflösende Labormethoden wie Ionenchromatographie oder moderne Spektroskopie ermöglichen eine sehr präzise Bestimmung chemischer und biologischer Verunreinigungen. Diese Verfahren sind jedoch an Laborinfrastruktur gebunden, erfordern geschultes Fachpersonal und sind für Endnutzer:innen im Alltag nicht erreichbar. Daneben gibt es mobile Testlösungen, etwa Pooltester oder einfache Multimeter, die jedoch nur einzelne Basisparameter wie pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit oder Redoxpotenzial erfassen. Für spezifische Fragestellungen, etwa einzelne Schwermetalle oder bestimmte mikrobiologische Verunreinigungen, kommen Einweg-Teststreifen oder Schnelltests zum Einsatz. Diese Systeme sind oft auf konkrete Anwendungsfälle beschränkt und nicht wiederverwendbar.

Zwischen hochpräziser Laboranalytik und einfachen Schnelltests besteht somit eine Lücke: Es fehlt ein mobiles System, das eine breitere Wasserqualitätsbewertung ermöglicht, ohne den Aufwand und die Kosten von Laboranalysen. Genau hier setzt AquaAware an. Unser Ansatz kombiniert verschiedene physikalisch-chemische Messgrößen in einem kompakten, mobilen Gerät und nutzt KI-Modelle, um nicht nur Grenzwerte, sondern auch Zusammenhänge zwischen Parametern auszuwerten. Ziel ist ein System, das vom Formfaktor her mit gängigen mobilen Testern vergleichbar ist, aber eine deutlich höhere Aussagekraft bietet. Die grundlegenden Zielgrößen (Messdauer, Anzahl der Parameter, Preisrahmen) werden im Projektverlauf experimentell überprüft und gegebenenfalls angepasst. Zum Start der Förderung befanden sich die Messmethoden in einem technologischen Reifegrad von TRL 3: grundlegende Wirkprinzipien waren im Labor nachgewiesen, eine robuste Anwendung im Feld jedoch noch nicht gegeben. Im Projekt soll ein Halbdemonstrator entwickelt werden, der in realen Umgebungen einsetzbar ist und konzeptionell einem TRL 6 entspricht.

Bisherige Arbeiten der Antragstellenden

Das Team von AquaAware hatte zuvor bereits experimentell im Labor als auch konzeptionell an Messverfahren zur Bestimmung der Wasserqualität gearbeitet. Im Labor wurden verschiedene physikalische und chemische Messansätze aufgebaut, getestet und in ersten Versuchsreihen systematisch miteinander verglichen. Verschiedene im Handel erhältliche Geräte wurden zusätzlich analysiert, um ihre Stärken und Schwächen besser zu verstehen.

Das Team vereint Kompetenzen aus Physik, Chemie, Maschinenbau, Informatik und Softwareentwicklung. Physik und Chemie liefern das Fundament für das Verständnis der Messprinzipien und der chemischen Zusammenhänge. Durch ein abgeschlossenes Maschinenbaustudium sowie Industrieerfahrung ist Know-how in der Technologieentwicklung vorhanden. Für App- und KI-Entwicklung stehen Software-Engineering-Erfahrung und Kenntnisse aus Vorlesungen und Projekten im Bereich Künstliche Intelligenz zur Verfügung.

Ergänzt wird dies durch Gründungs- und Transfererfahrung: Das Team hat u. a. an Programmen wie AI Xpress, Awake, ASAP BW und EXIST Women teilgenommen und dort Wissen zu Geschäftsmodellen,

Schutzrechten und methodischem Vorgehen aufgebaut. Die Hochschule der Medien Stuttgart unterstützt das Vorhaben zudem auf der betriebswirtschaftlichen Seite, insbesondere durch Expertise in Innovationsmanagement, Entrepreneurship und Transferprojekten. Dadurch ist sowohl die technische als auch die unternehmerische Anschlussfähigkeit des Projekts gesichert.

1.2 Ablauf des Vorhabens

Im Rahmen des Projekts AquaAware haben beide Verbundpartner gemeinsam an einem System zur Erfassung der Wasserqualität gearbeitet.

Zu Beginn wurden verschiedene physikalische und chemische Messmethoden evaluiert und experimentell getestet. Ziel war es, geeignete Methoden zu identifizieren und sie einerseits durch Expertengespräche und weitere Messungen in Form von Konzentrationsreihen zu validieren.

Auf dieser Grundlage wurde ein technisches Konzept entwickelt, in dem die verschiedenen Messmethoden in einem möglichst kompakten Design vereint wurden. Zeitgleich wurde ein Halbdemonstrator entwickelt, um das Konzept (und das digitale Design) möglichst realitätsnah in seiner Funktion zu erzielen. Der Halbdemonstrator wurde später für Tests in realen Umgebungen eingesetzt.

Zeitgleich entwickelte die Hochschule der Medien die mobile App als zentrales Nutzerinterface. Die App wurde schrittweise mit dem Halbdemonstrator verknüpft, sodass Messungen aus der App heraus gestartet, Messdaten empfangen, gespeichert und benutzerfreundlich dargestellt werden konnten. Um eine nachvollziehbare und reproduzierbare Auswertung zu ermöglichen, wurde eine gemeinsame Datenbankstruktur aufgebaut. Dies erforderte eine enge Abstimmung der Verbundpartner, insbesondere hinsichtlich Datenformaten, Messlogik und Interpretation der Ergebnisse.

Nach der Konzept- und Designphase folgte die technische Umsetzung mit Fokus auf Stabilität, Nutzerführung und Fehlerbehandlung. Dabei zeigte sich, dass einige ursprünglich geplante automatisierte Abläufe im ersten Stadium unpraktisch waren. Als alternativer Weg wurde u. a. ein Kalibrierungsmodus eingeführt, der flexible Einzelmessungen und Wiederholungen erlaubte.

Die im Projekt aufgezeichneten Messdaten bildeten die Grundlage für die Entwicklung erster KI-Modelle zur automatisierten Bewertung der Wasserqualität. Zusätzlich wurden die entwickelten KI-Modelle sowie der Halbdemonstrator systematisch mit klassischen statistischen Verfahren (insbesondere ANOVA) und Referenzmodellen verglichen, um die Aussagekraft der datengetriebenen Ansätze einzuordnen.

Die im Projekt aufgezeichneten Messdaten bildeten die Grundlage für die Entwicklung des KI-Konzeptes zur automatisierten Bewertung der Wasserqualität. Hierzu fanden regelmäßige Abstimmungen zwischen den Verbundpartnern statt.

Insgesamt verlief das Projekt iterativ mit mehreren Anpassungen des ursprünglichen Plans. Vergebliche Ansätze und technische Grenzen führten zu alternativen Lösungen, die besser zur Zielsetzung und zum Halbdemonstratorenstatus des Vorhabens passten.

Die entwickelten Messmethoden wurden sowohl an definierten Laborproben (Referenzsysteme mit bekannten Substanz-Konzentrationen) als auch an realen Wasserproben validiert. Die Ergebnisse wurden mit etablierten Labormessverfahren (z. B. ICP-OES) verglichen, um die Aussagekraft des Systems zu bewerten.

1.3 Ergebnisse des Vorhabens

1.3.1. Wesentliche Ergebnisse

Erkenntnisse zu Messmethoden und Gerätetechnik

- Wir konnten nachweisen, dass mehrere physikalisch-chemische Messgrößen (z. B. Leitfähigkeit, pH, ORP) in Kombination ein deutlich umfassenderes Bild der Wasserqualität liefern als einzelne Parameter.
- Die Laborexperimente haben gezeigt, dass einige Parameter sehr zuverlässige Indikatoren für bestimmte Stoffgruppen sind, während andere kaum relevante Informationen liefern. Die Relevanz ist stoffspezifisch, nicht allgemein gültig.
- Die BLE-Datenübertragung funktionierte grundsätzlich, zeigte aber bei größeren Datenpaketen Instabilitäten. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit robusterer Übertragungsmechanismen oder eines Wechsels zu klassischen Bluetooth.
- Die Validierung erfolgte sowohl an Referenzlösungen mit definierten Konzentrationen als auch an realen Wasserproben.

Erkenntnisse zur Datenverarbeitung und KI

- Durch explorative Datenanalysen (EDA) wurde sichtbar, dass viele Beziehungen zwischen Parametern nichtlinear sind. Dies bestätigt, dass klassische Grenzwertlogik nicht ausreicht.
- Feature-Engineering, verbessert die Modelleleistung spürbar.
- Die Vorhersage exakter Stoffkonzentrationen ist derzeit nur unter kontrollierten Laborbedingungen zuverlässig möglich, insbesondere für Stoffe und Konzentrationsbereiche, die im Training bereits enthalten waren.
- Modelle, die auf eigenen, lokal gemessenen Daten trainiert wurden, liefern bessere Ergebnisse als Modelle, die aus öffentlichen Daten der LUBW abgeleitet wurden. Transfer Learning ist daher nur eingeschränkt sinnvoll.

Erkenntnisse zur App- und UX-Entwicklung

- Der High-Fidelity-Halbdemonstrator erwies sich als hilfreiche Grundlage, um Nutzerwege, Sprachverständlichkeiten und Wissensvermittlung zu optimieren.
- Der „Kalibrierungsmodus“ entstand erst während der Entwicklung, nachdem klar wurde, dass einzelne Messungen wiederholt, verglichen und manuell bewertet werden müssen, bevor sie gespeichert werden.
- Der BLE-Pairing-Prozess war für technisch affine Personen gut verständlich, weniger technikaffine Nutzer:innen benötigen jedoch eine geführte Anleitung.
- Eine Barrierefreiheitsanalyse ergab u. a. Verbesserungsbedarf bei Kontrasten, Icons und strukturierten Navigationsbereichen.

Konzept und CAD Modell Entwicklung

- Ein CAD Modell wurde erstellt mit allen validierten Messmethoden.
- Der Halbdemonstrator wurde anhand des CAD Modells gefertigt und in Einsatzgebieten erprobt sowie in Expertengesprächen evaluiert.

Erkenntnisse zur Integration von App und Halbdemonstrator

- Messdaten konnten erfolgreich an die App übertragen, verarbeitet und gespeichert werden.
- Die Fragmentierung der BLE-Pakete führte anfangs zu Parsing-Fehlern, die über eine eigene Reassembly-Logik behoben wurden.

- Zukünftige Versionen sollten zusätzlich Timeouts, automatische Wiederverbindungen und klarere Fehlermeldungen enthalten.

1.3.2. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Mit wissenschaftlichen Mitarbeitenden der Hochschule der Medien fand eine enge Zusammenarbeit bei der Datenanalyse, Bewertung der Messverfahren und Entwicklung der KI-Modelle statt. Zusätzlich unterstützte ein Professor der Hochschule der Medien die Konzeption der Modellarchitektur durch fachliche Beratung zu ML-Methoden.

Zusätzlich wurde bei Partner B mit Expert:innen aus Industrie und Universität in der Konstruktion und Sensortechnik zusammengearbeitet. Diese halfen bei der Validierung der Messmethoden und des Konzepts.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Durchgeführter Arbeitsplan

		abgeschlossen		
		nicht abgeschlossen		
		nicht durchgeführt		
Arbeitspaket	Partner			
1.1 Optimierung der Messmethoden	Krapp, Mavlutova, Thiess & Zink GbR	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.1 Erstellung Konzept	Krapp, Mavlutova, Thiess & Zink GbR	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.2 Validierung Konzept	Krapp, Mavlutova, Thiess & Zink GbR	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.1 Strategie und Konzeptentwicklung	Hochschule der Medien	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.2 Design und UX Entwicklung	Hochschule der Medien	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.3 Entwicklungsphase	Hochschule der Medien	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.1 Datenerhebung	Krapp, Mavlutova, Thiess & Zink GbR	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.2 Datenverarbeitung	Krapp, Mavlutova, Thiess & Zink GbR	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.3 Verständnis und Konzeptentwicklung der KI	Hochschule der Medien	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.1 Integration Software und Halbdemonstrator	Hochschule der Medien	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Arbeitspaket 1.1 Optimierung der Messmethoden

Zu Beginn der Laufzeit dieses Arbeitspakets war die Beurteilung der möglichen Messmethoden anhand verschiedener Kriterien wie Messparameter, Messaufwand, Kosten, Genauigkeit und anderer das Ziel.

Jede Messmethode wurde auf die Relevanz der gemessenen Parameter, die verwendete Sensorik, die Dauer der Messung, die Genauigkeit, bereits bestehende Anwendungen, Vorteile, Limitierungen, Kosten, Skalierbarkeit, und Potential für die Zukunft eingeschätzt.

Von der Liste an daraus resultierenden Messmethoden wurden Machbarkeitsstudien im Labor durchgeführt. In diesem Prozess wurden auch mögliche, aber nicht effiziente Messmethoden in Bezug auf Nutzerfreundlichkeit und Kostenfaktor aussortiert. Die Verwendung einzelner Messmethoden wie Ultraschallwellen als Dichtemessung oder Reflexionsspektroskopie wurden aussortiert oder durch andere ersetzt. Stattdessen wurde zur Dichtemessung ein Kamerasystem entwickelt. Auch das Messen des Brechungsindex, der Polarisation und die Verwendung ionenselektiver Methoden wurden für unser Projekt als nicht wirtschaftlich und skalierbar eingestuft.

Die Methoden, mit denen die ersten Messungen durchgeführt wurden, sind in Teil III aufgelistet. Diese wurden durchgeführt, um die Messmethoden in der Anwendung besser analysieren zu können. Es wurden Pläne zur Skalierung der einzelnen Methoden erstellt und die Genauigkeiten und Grenzwerte für

unterschiedliche Substanzen bestimmt. Hier wurden unterschiedliche Stoffgruppen, wie anorganische Salze oder organische Substanzen und Pharmazeutika untersucht.

Des Weiteren wurden Literaturanalysen durchgeführt, um festzustellen, welche Parameter welchen Einfluss auf die Wassergüte haben. In Verbindung mit Trinkwasserverordnungen verschiedener Länder wurde festgelegt, mit welchen Chemikalien die ersten Testmessungen durchgeführt werden sollten.

Hier wurde die engere Zusammenarbeit mit dem Projektpartner wichtig, um bestimmte Parameter, wie den Geruch, direkt über die App bei Benutzer:innen abzufragen und die richtigen Parameter in die Software einzubetten.

Zu diesen Themen wurden Expertengespräche geführt, zum Beispiel mit Professoren der Universität Stuttgart. Um besser zu verstehen, welche Methoden in der Wasseranalytik an Forschungsinstituten bereits verwendet wird, fanden Besuche beim Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik in Stuttgart und beim Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft (ISWA) der Universität Stuttgart statt.

Des Weiteren wurde im Zuge einer Reise nach Berlin der Hauptsitz von Oxfam Deutschland besucht. Hier konnte mit denjenigen Menschen geredet werden, die Projekte im Zusammenhang mit Wassergüte und Wasseraufbereitung in Krisengebieten durchführen. Dies war wichtig, um aus erster Hand erfahren zu können, wie bereits Geräte und Maßnahmen zur Wasseranalyse in Entwicklungsländern eingesetzt werden und wie sie vor Ort von den Menschen angenommen werden. Außerdem konnte unser Konzept direkt an eine unserer Zielgruppen angepasst werden, indem Impulse und Verbesserungsvorschläge aus entsprechender Perspektive eingearbeitet werden konnten. Danach wurde das Forum für soziale Innovation und gemeinnützige Unternehmen (SIGU) im Kongresszentrum Berlin besucht. Dort haben andere Unternehmer:innen ihre sozialen Projekte und damit einhergehende Hürden und Erfolge vorgestellt. Außerdem konnten wichtige Kontakte, unter anderem auch aus der Wasserindustrie und verwandten Gebieten, geknüpft werden.

Die Ziele für dieses AP wurden wie geplant erreicht.

Arbeitspaket 2.1 Erstellung Konzept

Die Zielstellung dieses Arbeitspaketes war es, ein detailliertes Konzept sowie ein CAD Modell zu erstellen.

Aus Messungen und Untersuchungen im Labormaßstab wurde beschlossen, welche Methoden in kleinerem Maßstab umgesetzt werden können. Es wurden Pläne für Sensoren zur Messung von pH-Wert und Temperatur sowie Leitfähigkeit und weitere angefertigt. Darunter sind auch verschiedene elektronische Schaltpläne erstellt worden, die andere Messungen in ihrer Datenaufnahme ergänzen sollten. Die Konstruktion des CAD Modells dauerte mehrere Wochen, in denen es um den schrittweisen Zusammenschluss der Technik ging. Dabei mussten immer wieder neue Lösungen für neue technische Herausforderungen gefunden werden. Jeder Arbeitsschritt wurde getestet und evaluiert, um dann die nächsten Schritte festzulegen. Hier wurden unterschiedliche Konzepte in Betracht gezogen, zum Beispiel das Layout der Probenkammer. Die Konstruktionen einer Durchflusszelle und einer statischen Probenzelle wurden auf ihren Nutzen sowie Vor- und Nachteile analysiert. Am Ende wurde die Entscheidung getroffen, beide Zellen simultan zu verwenden, um die Vorteile beider Layouts je nach Messmethode ausnutzen zu können. Für jede Messmethode wurden theoretische Betrachtungen zur Messgenauigkeit angestellt, dies beinhaltet je nach Methode eine Berechnung des physikalisch Möglichen oder Recherche der Genauigkeiten bereits etablierter Sonden.

Das CAD Modell wurde so ausgelegt, dass die Anordnung der Messtechnik so platzsparend wie möglich ist und für die einzelnen Methoden die kleinste Ausführung gewählt wurde, mit der trotzdem die Genauigkeit ausreichend hoch bleibt. Um das zu erreichen, wurden das Modell und die verwendete Messtechnik in jedem Entwicklungsschritt separat betrachtet und iterativ optimiert. Danach wurden die Einzelteile zu einem Gesamtkonzept zusammengefasst und in der räumlichen Anordnung so ausgelegt, dass der Platz möglichst effizient genutzt wird.

Für die Zukunft nach dieser Förderung sind weitere Schritte in der Entwicklung und Optimierung geplant.

Arbeitspaket 2.2 Validierung Konzept

Basierend auf dem erstellten CAD Modell und Schaltplänen wurden die Materialien und Sonden eigenfinanziert beschafft und zu einem Halbdemonstrator zusammengebaut. Um das Konzept zu validieren wurden die Messungen mit dem Halbdemonstrator, mit separaten Sonden im Labor, sowie Referenzmessungen mit Laborgeräten von ISWA wie Ionenchromatographie und ICP-OES (inductively coupled plasma - optical emission spectroscopy) verglichen.

Zur Bewertung der Messgenauigkeit wurde eine Gage R&R Analyse nach der ARM-Methode durchgeführt (Analyse wiederholter Messungen verschiedener Proben). Die Berechnung erfasste drei Teile: Wiederholbarkeit, Vergleichbarkeit und Gesamtstreuung des Messsystems.

Die parallel vom Verbundpartner konzipierte App konnte mit dem Gerät verbunden werden. Damit konnten Messungen sowohl in kontrollierter Umgebung im Labor als auch bei der durchgeführten Validierungsreise in Uganda getestet werden. Zur Validierung wurden betroffene Personen und Industrien vor Ort befragt.

In Uganda wurden Messungen in Kooperation mit lokalen Behörden, nationalen Akteuren und NGO durchgeführt. Getestet wurden sowohl der Halbdemonstrator als auch die parallel entwickelte App. Die Rückmeldung vor Ort umfasste eine positive Bewertung der Grundfunktionalität des Systems und des Potenzials für mobile Echtzeit- Messungen vor Ort.

Die Validierung orientierte sich an den TRL-Stufen:

TRL 5 – Validierung in relevanter Umgebung:

Das System wurde im Labor und in simulierten Einsatzumgebungen betrieben. Messungen wurden mit Laborreferenzen verglichen.

TRL 6 – Halbdemonstrator in Einsatzumgebung:

Der eigenfinanzierte Halbdemonstrator wurde in Uganda unter realen klimatischen, organisatorischen und infrastrukturellen Bedingungen eingesetzt. Dabei wurde sowohl die mechanische Funktion als auch die integrative Arbeit mit der App getestet.

Das CAD-Modell des Halbdemonstrators wurde iterativ auf Basis der funktionalen Anforderungen und der vorgesehenen Sensorintegration erstellt. Dabei flossen sowohl konstruktive Vorgaben aus dem Expertenaustausch als auch Rückmeldungen aus ersten Testaufbauten ein, um eine fertigungsgerechte und robuste Gehäusestruktur zu gewährleisten.

Arbeitspaket 3.1 Strategie und Konzeptentwicklung

Zu Beginn wurde eine Nutzer- und Zielgruppenanalyse durchgeführt, um Anforderungen aus NGO-Perspektive sowie aus dem privaten Nutzungskontext zu erfassen. Es wurden insgesamt sechs Interviews mit Vertreter:innen von NGOs sowie internationalen Studierenden geführt. Dabei ließen sich zwei Hauptsegmente definieren:

1. NGOs und Feldarbeiter:innen in Regionen mit unsicherer Wasserqualität.
2. Privatnutzer:innen und Reisende mit gesundheitlichem oder ökologischem Interesse.

Wesentliche Erkenntnisse betrafen die Anforderungen an einfache Abläufe, Offline-Funktionalität, klare Ergebnis Visualisierung und lokalisierte Inhalte. NGOs äußerten zudem Bedarf an Datensynchronisation bei Netzverfügbarkeit sowie Mehrsprachigkeit und Bildungsinhalten. Auf Basis der Interviews wurde eine priorisierte Feature-Liste erstellt. Must-Haves sind die Durchführung von Messungen inkl. BLE-Verbindung und Schritt-für-Schritt-Anleitung, eine Offline-Nutzung und Synchronisation, Mehrsprachigkeit sowie einen Bildungsbereich und Tutorials. Nice-to-Haves beinhalten unter anderem lokale

Warnhinweise (Push-Nachrichten), Nachrichten/Artikel sowie Community- und Sharing-Funktionen. Die Liste dient seitdem als Referenzrahmen für Design und Entwicklung.

Plattformen, auf denen die App vertrieben werden soll, sind der Apple App Store und Google Play Store. Eine Veröffentlichung auf weiteren Stores wurde aus Effizienzgründen zurückgestellt. Aufgrund begrenzter Ressourcen wurde ein Cross-Plattform-Ansatz gewählt. React Native erwies sich als sinnvollste Option. Als Entwicklungsumgebung wird Expo + EAS Build verwendet.

Zur Strukturierung der App wurden eine Sitemap und mehrere User-Flow-Diagramme erstellt. Die Hauptbereiche umfassen: Dashboard, Testdurchführung, Kartenansicht, Wissensbereich sowie Profil/Einstellungen. Ziel war eine klare, flache Navigationsstruktur, insbesondere für Einsätze in Regionen mit eingeschränkten technischen Bedingungen.

Es wurde ein erstes konzeptionelles Datenmodell erstellt und ein NoSQL-Ansatz (Firebase Firestore) erprobt. Dabei zeigte sich, dass die App viele logisch verknüpfte Entitäten verarbeitete, wodurch ein dokument basiertes Modell zu Redundanzen geführt hätte. Daraufhin erfolgte der Wechsel zu einem relationalen Modell. Ein ERD wurde erstellt und dient seitdem als Grundlage für die Implementierung in Supabase.

Arbeitspaket 3.2 Design und UX Entwicklung

Auf Basis der Nutzerinterviews und der in AP 3.1 definierten Informationsarchitektur wurden Low-Fidelity-Wireframes für die App erstellt. Es entstanden erste Entwürfe für fünf zentrale Bereiche:

- Testbereich: Ablauf von Kalibrierung, Teststart und Ergebnisanzeige inkl. Ampelsystem.
- History: Übersicht aller bisherigen Testergebnisse.
- Learn: Bildungsbereich
- Map: Kartenansicht mit Qualitätsmarkern anderer Nutzer.
- Settings: Sprache, Profil

Einige frühe Entwürfe erwiesen sich als unstrukturiert und wurden komplett überarbeitet (v. a. Learn- und Testkonfigurationsseiten). Die UI-Komponenten (Buttons, Listen, Karten, Navigationsleisten) wurden im Rahmen des High-Fidelity-Halbdemonstrators indirekt mitentwickelt. Ein separates responsives Design-Konzept war nicht notwendig, da das Framework automatisch skaliert. Dennoch wurde auf ausreichende Abstände, klare Hierarchien und flexible Layouts geachtet. Der klickbare High-Fidelity-Halbdemonstrator wurde vollständig in Figma umgesetzt. Dabei wurde ein konsistentes Designsystem verwendet (Farben, Typografie, Komponenten). Mehrere Farbpaletten wurden erprobt, bevor eine finale Auswahl getroffen wurde. Zwischen Low- und High-Fidelity gab es größere Änderungen, da einige anfängliche Layouts nicht funktional oder nicht verständlich waren.

Für den klickbaren Prototyp wurden drei strukturierte Benutzertests durchgeführt. Testaufgaben umfassten u. a. einen Test starten, vergangene Ergebnisse anzeigen, Parameter im Learn-Bereich finden und die Wasserqualität vor Ort ansehen. Folgende Beobachtungen wurden gemacht:

- Verwirrung über Startpunkt/Homepage
- Filter im Map-Bereich schlecht erkennbar
- Ampelsystem teilweise missverstanden (Farben zu schwach)
- Learn-Bereich wurde intuitiv selten genutzt
- Terminologie teilweise unklar („Fix my Water“ vs. „Improve my Water“)

Ergebnis: Ableitung konkreter Verbesserungen (z. B. höhere Farbkontraste, klare Icons, besser sichtbare Navigation). Zudem führte ein Gespräch mit der Agentur für Barrierefreiheit zu weiteren Empfehlungen wie beispielsweise einem höheren Kontrast von Farben und Icons, zu deutlicheren Linien, Rahmen und Abständen oder größeren Schriftgrößen in Footer und Buttons.

Arbeitspaket 3.3 Entwicklungsphase

Zu Beginn wurde die Entwicklungsumgebung mit Expo, TypeScript und Expo Router eingerichtet. Supabase wurde als Backend angebunden, inklusive Authentifizierung und API-Konfiguration. Der EAS Development Client ermöglichte das Testen nativer Module.

Die Data Layer empfängt Messdaten über BLE, setzt fragmentierte JSON-Pakete wieder zusammen und speichert sie temporär. Nach Abschluss eines Tests werden Daten strukturiert in Supabase abgelegt. Aktuell basiert die Bewertung auf einfachen, vordefinierten Grenzwerten, da die KI-Modelle noch nicht in die App integriert sind. Diese regelbasierte Logik dient als pragmatische Zwischenlösung, um bereits Handlungsempfehlungen („Fix My Water“) ableiten zu können. Zukünftig ist vorgesehen, die KI-Modelle in die Processing Layer zu integrieren, sodass zusätzlich vorhergesagte Stoffkonzentrationen in die Handlungsempfehlungen einfließen. Typisierung und Validierung erfolgen über Zod-Schemas. Umgesetzt wurden:

- Geräte-Scan und Verbindung
- Start- und Ergebnisansicht (Ampelsystem)
- Map-Integration (Anzeigen der Messungen in einer Karte)
- Learn-Bereich (Informationen über die gemessenen Parameter, Artikel, Lösungsvorschläge)

Das State Management basiert auf mehreren spezialisierten Providern plus React Query. Während der Entwicklung zeigte sich zudem, dass ein rein automatisierter Messablauf für die Kalibrierung des Halbdemonstrators unpraktisch war. Daher wurde der Kalibrierungsmodus erst nachträglich eingeführt. Dieser ermöglicht es, jede Messung einzeln zu starten, zu wiederholen und Messergebnisse flexibel aneinander zu hängen oder zu ersetzen, bevor sie endgültig gespeichert werden. So konnten wir Messrauschen, Ausreißer oder fehlerhafte Einzelmessungen direkt in der App sichtbar machen und erst nach manueller Prüfung in die Datenbank übernehmen.

Die App fungiert als BLE-Central, verbindet sich mit dem Raspberry-Pi-Gerät, sendet Messbefehle, empfängt JSON-Fragmente und speichert diese im Session-Kontext. Eine eigene Reassembly-Logik löste anfängliche Parsing-Probleme. Für die Zukunft ist geplant, die Übertragung robuster zu gestalten. Zudem prüfen wir, ob ein Wechsel von BLE auf klassisches Bluetooth sinnvoll wäre, um größere Datenpakete zuverlässiger übertragen zu können.

Im Backend wurden pgTAP-Tests für die Datenbanklogik implementiert und im Frontend wurde Jest + React Testing Library für State- und Logiktests verwendet.

AP 4.1 – Datenerhebung

Basierend auf dem Einfluss unterschiedlicher Chemikalien auf Wassergüteparameter, Kosten und Verfügbarkeit wurden verschiedene Proben angefertigt und gemessen. Dies waren Messreihen aus verschiedenen Konzentrationen und Kombinationen von beispielsweise NH_4Cl , Harnstoff, Huminsäure, Essigsäure, Ibuprofen. Diese Proben wurden so ausgesucht, dass es immer einen großen Einfluss auf mindestens eine Messmethode gab, zum Beispiel NaCl auf die Leitfähigkeit oder Essigsäure auf den pH. Die Konzentrationen wurden anhand der in der Anlagen 2, 3 und 5 der Trinkwasserverordnung festgesetzten Grenzwerte entschieden. Zusätzlich wurden Proben aus unterschiedlichen Trink- und Oberflächenwasserquellen entnommen und ebenfalls mit den gleichen Messmethoden gemessen, um sich mit dem realen Messsystem vertraut zu machen. Die Zusammensetzung dieser unbekanntenen Proben wurde mit unterschiedlichen Laborgeräten gemessen: die Konzentration kationischer Metallionen mittels inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP OES), die Konzentration von Anionen mittels Ionenchromatographie (IC) und der Kohlenstoffgehalt als total carbon und total organic carbon Werte. Alle Messdaten wurden in einer Datenbank gespeichert, was bis zum aktuellen Zeitpunkt zu insgesamt über 1000 Einträgen geführt hat. Diese wurden zum Training der KI dem Projektpartner B zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden Wasserqualitätsdaten zu den gemessenen Parametern von anderen Instituten einbezogen.

AP 4.2 – Datenverarbeitung

Zu Beginn wurden explorative Analysen der verfügbaren Messdaten durchgeführt. Ziel war es, ein Verständnis der Rohdaten zu entwickeln und Zusammenhänge, Verteilungen und Auffälligkeiten zu identifizieren. Hierzu wurden u. a. folgende Schritte durchgeführt:

- Berechnung grundlegender Statistiken und Messwertverteilungen
- Histogramme und Boxplots zur Identifikation von Ausreißern
- Korrelationen zwischen Messparametern
- Analyse der Variabilität einzelner Sensoren und Parameter

Die Analysen wurden in mehreren Jupyter-Notebooks dokumentiert.

Darüber hinaus wurde eng mit Projektpartner B zusammengearbeitet, um chemische Hintergründe, Zusammenhänge und Messlogiken zu klären. Die gemeinsame Interpretation war zentral, um die späteren Features wissenschaftlich korrekt abzuleiten. Basierend auf der EDA wurden neue Features erstellt. Die Reinigung fehlender Werte und die Transformation der Daten erfolgt in unserer ML-Pipeline automatisiert. Dazu gehören z.B. die Entfernung unvollständiger Messzeilen und Normalisierung numerischer Features.

Ein wichtiges Ergebnis war, dass die Relevanz von Parametern nicht allgemeingültig pro Messsystem, sondern substanzspezifisch ist. NaCl ist erwartungsgemäß fast ausschließlich über Leitfähigkeit ableitbar. Daraus folgt, dass es keine universelle Feature-Relevanz gibt, sondern jede Substanz zu einer eigenen Kombination wichtiger und unwichtiger Parameter führt. Zur Bestimmung der Relevanz wurden eingesetzt: Permutation Importance, Impurity Importance, AutoGluon Feature Importance sowie die ANOVA Methode. Alle Methoden zeigten weitgehend konsistente Ergebnisse. Wir analysierten lineare und nichtlineare Zusammenhänge zwischen Messgrößen. Zum Beispiel zeigen pH und ORP, wie in der Literatur dokumentiert, eine inverse Abhängigkeit. Um nichtlineare Interaktionen abzubilden, ist der Einsatz von ML-Modellen sinnvoll.

Für die Konzeption der KI wurden neben den eigens hergestellten Laborproben zwei weitere Datensätze mit unterschiedlichen Zielen und Eigenschaften herangezogen und untersucht:

Dataset A – Laborversuche:

Der selbst erhobener Datensatz mit definierter Konzentration verschiedener Substanzen. Er soll dem Vergleich verschiedener ML-Modelle unter idealisierten Bedingungen dienen.

Dataset B – LUBW-Daten (Baden-Württemberg)

Ca. 6000 Wasserproben aus verschiedenen Gewässern seit dem Jahr 2005 aus Baden-Württemberg. Motivation ist der Übergang von kontrollierten Labor- hin zu realen Bedingungen. Hier zeigt sich eine deutlich unterschiedliche Verteilungen (z. B. Leitfähigkeit: höhere Werte, größere Streuung) zu den Labordaten und liefert damit eine zentrale Motivation für Transfer Learning. Da die Daten in einem abweichenden Format vorlagen, wurden sie zunächst in eine geeignete Struktur pivotiert und anschließend nicht benötigte Spalten entfernt.

Dataset C – ICP-OES Schwermetalle (Region Stuttgart)

Eigene Wasserproben aus der Region Stuttgart, charakterisiert per ICP-OES. Ziel ist auch hier die unabhängige Validierung der Modellvorhersagen mit einem besonderen Fokus auf der Vorhersage von Schwermetallen.

Für den Labordatensatz wurden auf Basis der Trinkwasserverordnung sowie toxikologischer Referenzwerte geeignete Grenzwerte definiert. Diese Grenzwerte dienten dazu, die Daten in drei Qualitätsklassen (rot, gelb, grün) zu überführen. Ziel ist die Vorbereitung einer späteren Klassifikation.

AP 4.3 – Verständnis und Konzeptentwicklung der KI

Im ersten Schritt wurden die Anwendungsziele der KI definiert. Dabei wurden zwei übergeordnete Learnsettings identifiziert

1. Multidimensionale Regression:

Vorhersage eines Konzentrationsvektors mehrerer Substanzen auf Grundlage der physikalischen Messparameter des Geräts.

2. Multidimensionale Klassifikation:

Direkte Einordnung der Wasserprobe in Qualitätsklassen (grün, gelb, rot). Die Labels wurden unter Berücksichtigung behördlicher Richtlinien und toxikologischer Daten erzeugt werden.

Für beide Szenarien wurden Erfolgskriterien und Evaluationsmetriken festgelegt, darunter: train/test/validation RMSE bzw. MSE, Residual-Plots sowie Predicted-vs-True-Plots. Diese Metriken dienen als Grundlage zur Bewertung.

Zur Einordnung des eigenen Ansatzes wurde eine Analyse bestehender ML-Methoden für Wasserqualitätsvorhersage durchgeführt. Die wichtigsten Erkenntnisse waren, dass viele Forschungsarbeiten Deep Learning nutzen, während andere auf klassische ML-Verfahren wie Random Forests setzen. Die direkte Übertragbarkeit auf AquaAware ist jedoch begrenzt, da die in der Literatur verfügbaren Features oft andere Messgeräte oder teurere Labortechnik voraussetzen. Das Modell muss auf die Sensorik des Halbdemonstrators zugeschnitten werden. Zudem wurden technische Anforderungen abgeleitet:

- Die Modelle müssen auf mobilen Geräten oder in einer Cloud-Infrastruktur performant ausführbar sein.
- Das Modell muss mit heterogenen Datensätzen zurechtkommen (Laborproben, öffentliche Daten, reale Felddaten).
- Eine spätere Integration in automatisierte MLOps-Pipelines muss möglich sein.

Die Datenvorverarbeitung umfasste mehrere automatisierte Schritte. Zunächst wurden die Zielgrößen aus unstrukturierten Stringrepräsentationen extrahiert und in ein strukturiertes Format überführt. Anschließend wurden die Daten von einem Long-Format in ein Wide-Format transformiert, sodass für jede Substanz eine eigene Zielvariable vorliegt. Auf Feature-Seite erfolgte eine Standardisierung der Eingabedaten mittels StandardScaler (sklearn). Für die Modellbewertung wurden die Daten in Trainings(80%)- und Testmengen (20%) aufgeteilt und zusätzlich eine 5-fache Crossvalidation verwendet.

Basierend auf den Anforderungen wurden erste einfache Modelle entwickelt. Dieser Schritt war ergänzend notwendig für ein umfassendes Verständnis und die Konzeptentwicklung der KI. Datensatz A zeigt, dass Regressions-Modelle (RandomForest (sklearn), LinearRegression (sklearn), AutoML(Autogluon)) durchgehend besser performen als die Dummy-Baselines, was darauf hinweist, dass die verwendeten Features informativ sind. Für einige Substanzen sind Verbesserungen jedoch nur gering. Mögliche Ursachen könnten Sensorrauschen oder fehlende ergänzende Features sein. Die Train-Sets zeigen teils lineare Struktur und die Test-Sets sind deutlich schwächer. Ein Hinweis auf begrenzte

Generalisierung.

Datensatz B zeigt, dass RandomForest die Vorhersagen für viele Substanzen ebenfalls gegenüber Dummy-Modellen deutlich verbessert. Wichtigster Prädiktor in vielen Fällen ist die Leitfähigkeit. Modelle funktionieren bei niedrigen Konzentrationen gut, brechen jedoch bei hohen Werten oft ein. Es ergibt sich also ein Bedarf nach mehr Daten und ggf. spezialisierten Modellen. Datensatz C: Die AutoML-Modelle (AutoGluon) basieren auf einer automatisierten Auswahl und Kombination mehrerer Modelltypen und erzielen insgesamt gute Vorhersagen für Elemente wie Mo, Na, Ni und Pb. Es zeigen sich jedoch systematische Fehler bei sehr niedrigen Konzentrationen (False Positives). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Modelle auf globale Fehlermaße (RMSE) optimiert werden und geringe Konzentrationen aufgrund von Datenungleichgewichten und Messrauschen schwer zuverlässig zu modellieren sind.

Für die Zukunft wäre es relevant, die Korrelationen zwischen den Zielvariablen zu beachten.

Lösungsperspektive wäre ein Modell mit gemeinsamem Outputspace. Zudem ist eine gezielte Datenerweiterung vorgesehen, insbesondere durch zusätzliche Messpunkte in unterschiedlichen Regionen. Auch ist die Verbesserung der Vorhersage Genauigkeit der ersten Regressionsmodelle sowie die Implementierung eines Klassifikationsmodellansatzes geplant.

In Beratungen mit Experten und wissenschaftlichen Mitarbeitenden des Instituts für Applied AI wurden zentrale Themen diskutiert.

AP 5.1 – Integration Software und Halbdemonstrator

Zur Integration wurde der Halbdemonstrator als BLE-Peripheral mit der App verbunden. Anschließend wurden vollständige Messabläufe getestet, indem reale Testmessungen über das Gerät ausgelöst und an die App übertragen wurden. Die App empfing alle Fragmente, setzte sie wieder zusammen und zeigte sie im Interface korrekt an.

Im Rahmen der Integration wurden mehrere Fehlerszenarien simuliert, um die Robustheit der App zu prüfen. Dazu gehörten unter anderem:

- Unterbrechen der Verbindung während eines laufenden Messzyklus
- Ausschalten des Halbdemonstrators während einer Übertragung
- Empfangen unvollständiger JSON-Fragmente
- Starten eines Messbefehls ohne aktive Verbindung

Die App reagierte in den meisten Fällen korrekt mit Fehlermeldungen oder automatischen Abbruch. Dennoch zeigten sich einige instabile Zustände, etwa hängende BLE-Sessions oder verzögertes Neuverbinden, die sich nicht eindeutig reproduzieren ließen. Diese Probleme decken sich mit den zuvor beobachteten Fragmentierungs- und Pairing-Problemen in AP 3.3. Langfristig sollte die Fehlerbehandlung weiter ausgebaut werden (z. B. automatisches Reconnect, Timeouts, Retry-Mechanismen). Zudem wird geprüft, ob ein Wechsel von BLE zu klassischem Bluetooth sinnvoll wäre, da BLE bei großen Datenpaketen zu Übertragungsfehlern führt. Während der Integration wurde ein Testbericht erstellt, in dem alle reproduzierbaren Fehler dokumentiert wurden. Auf dieser Basis konnten mehrere Bugs behoben werden, insbesondere in der BLE-Reassembly-Logik.

Ein Usability-Test wurde mit einer Nutzerin durchgeführt. Sie konnte den Messablauf, die Verbindung zum Gerät und die Interpretation der Ergebnisse nachvollziehen. Allerdings wurde deutlich, dass technisch weniger erfahrene Nutzer:innen, zusätzliche Unterstützung benötigen: klare Anleitungen zum Pairing-Prozess, vereinfachte Fehlermeldungen und stabilere Verbindungslogik. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse ist geplant, zukünftige Tests mit diverseren Nutzergruppen durchzuführen.

2.2 Erreichte Meilensteine

Meilensteine Gesamtprojekt

Beschreibung: messbare Zielparameter, Steuerungsfunktion	Nr.	geplanter Monat	realer Monat	Erläuterung (planabweichend/nicht erreicht)
5 Kundenbefragungen zum Konzept	1	6	5	Verschiedene Gruppen mögliche Kundengruppen wurden befragt, wie NGO's, Fachleute aus der Wasserindustrie, von Wasserwerken, ebenso auch einfache Personengruppen.
Erste Verbindung des Halbdemonstrators mit der App und Datenübertragung der Messdaten	2	9	9	Der Halbdemonstrator wurde erfolgreich mit der App verbunden. Aufgenommene Messdaten können in der App ausgelesen werden.

Meilensteine Teilprojekt A

Beschreibung: messbare Zielparameter, Steuerungsfunktion	Nr.	geplanter Monat	realer Monat	Erläuterung (planabweichend/nicht erreicht)
Fertigstellung des High Fidelity Prototyp der mobilen App	1	3	3	Der High Fidelity Prototyp der mobilen App wurde erfolgreich erstellt.
Implementierung des Frontends (Landingpage, Startseite und Ergebnisseite)	2	6	6	Die 3 Seiten wurden erfolgreich implementiert.

Meilensteine Teilprojekt B

Beschreibung: messbare Zielparameter, Steuerungsfunktion	Nr.	geplanter Monat	realer Monat	Erläuterung (planabweichend/nicht erreicht)
fertiges CAD Konzept (alle validierten Messmethoden integriert mit Funktionsteilen, keine Kollisionen, Gehäuse 3D-druckbar)	1	9	11	Das Gehäuse für alle elektrischen und sensorischen Komponenten ist in Form eines CAD-Modells druckbar. Kleinere Anpassungen wurden zur Verbesserung auch nach geplantem Monat hinzugefügt.
Datenerhebung mit 100 Datensätzen der validierten Messmethoden	2	9	6	Das Ziel wurde erreicht, es wurden aufgrund der Notwendigkeit einer soliden Datenbasis für die KI weitere Dateneinträge benötigt. Das Vorhaben konnte rund drei Monate früher als ursprünglich geplant abgeschlossen werden,

				da die Durchführung der Messungen priorisiert wurde.
--	--	--	--	--

2.3 Erreichte Ergebnisse

2.3.1 Erreichung der Gesamtziele

<p>Gesamtziel des Innovationssprints</p>	<p>Die Messung der Wasserqualität soll mittels unserer bereits im Labor an der Universität Stuttgart aufgebauten Messmethoden erfolgen. Diese werden so skaliert, dass ein benutzerfreundliches Produkt entsteht. Es werden im Messgerät sowohl Elektroden für die Leitfähigkeitsmessungen verwendet, als auch für ORP-Wert- und pH-Wert-Messungen sowie Sonden zur Bestimmung anderer spezifischer Verunreinigungskonzentrationen. Zusätzlich soll eine Dichtebestimmung implementiert werden und mit polychromatischen und monochromatischen elektromagnetischen Wellen die Zusammensetzung analysiert werden.</p> <p>Unser Hauptaugenmerk bei der Förderung liegt darauf, ein Konzept zu entwickeln, dieses auf Konzepttauglichkeit zu testen und in Zusammenarbeit mit Kunden und Experten iterativ zu verbessern. Die Herausforderung besteht darin, verschiedene Technologien mit künstlicher Intelligenz zu integrieren, während gleichzeitig darauf geachtet wird, dass das Gerät benutzerfreundlich bleibt.</p> <p>Benutzerfreundlichkeit bedeutet, dass das Gerät intuitiv zu bedienen ist, sowohl in der App als auch in der Hardware. Dies soll mittels Evaluation des Konzepts (min. 5 Personen) validiert werden. Zusätzlich soll das Gerät ergonomisch in der Hand liegen und eine Länge von 20cm nicht überschreiten.</p>	<p>Es wurde ein Produkt entwickelt und mit Experten validiert.</p> <p>Das konzeptionelle und experimentelle Vorgehen zur Dichtebestimmung wurde erarbeitet. Die Etablierung der Software für die Methode wurde aufgrund der Priorisierung anderer Methoden verzögert. Dies ist für die Zukunft vorgesehen.</p> <p>Der Halbdemonstrator wurde als eine Box (circa 20x30cm) konstruiert. Die Befragung der NGO ergab zu dem Design jedoch eine positive Rückmeldung.</p> <p>An der intuitiven Bedienbarkeit des Geräts müssen Verbesserungen vorgenommen werden. Dies ergab ein Expertengespräch am Ende der Laufzeit.</p>
<p>Beitrag des Teilprojekts A</p>	<p>Das Teilprojekt A steuert die Entwicklung der App sowie die Konzeptentwicklung der KI bei. Für das Projekt bietet die Hochschule der Medien im Bereich der Informatik sowie der künstlichen Intelligenz Expertise. Sie ist somit</p>	<p>Alle ursprünglich definierten Ziele des Teilprojekts wurden erreicht. Für die App wurde die Landingpage sowie die Karte und alle messrelevanten Seiten implementiert sowie an den</p>

	verantwortlich für die Implementierung der App und der Datenauswertung im Projekt AquaAware, ebenso für die Projektleitung und übernimmt diesbezügliche administrative Aufgaben.	Halbdemonstrator angebunden. Darüber hinaus konnte die vorgesehene Datenanalyse im geplanten Umfang erfüllt werden.
Beitrag des Teilprojekts B	Das Team von Teilprojekt B übernimmt die Arbeiten im Labor, die Theorie und den experimentellen sowie physikalisch und chemisch forschungsrelevanten Teil des Projekts.	Das Team von Teilprojekt B übernahm erfolgreich die Laborarbeiten sowie die theoretischen, experimentellen und physikalisch-chemischen forschungsrelevanten Aufgaben des Projekts.

2.3.2 Erreichung der wissenschaftlichen und/oder technischen Arbeitsziele

Geplante konkrete Arbeitsziele: Gesamtprojekt	Erfüllung
Fertigstellung eines klickbaren Halbdemonstrators	Erreicht
Erstellung der Mobilien App	Erreicht
API-Einbindung von Dateien in die App	Erreicht
Geplante konkrete Arbeitsziel: Teilprojekt A	Erfüllung
Fertigstellung des klickbaren High-Fidelity-Halbdemonstrators der mobilen App	Erreicht. Der vollständige High-Fidelity-Halbdemonstrator wurde in Figma umgesetzt, inklusive aller Hauptnavigationsbereiche, Interaktionen und Nutzerflows.
Implementierung der drei Frontend Seiten (Landingpage, Startseite, Ergebnisseite)	Erreicht. Alle drei Kernseiten wurden funktional in React Native implementiert und bilden den kompletten Messablauf ab (Geräteverbindung - Teststart - Ergebnisanzeige).
Implementierung der API zur Speicherung der Messungen in der App	Erreicht. Die API-Anbindung an Supabase wurde vollständig implementiert, einschließlich Speicherung der Messergebnisse, Parameterwerte und Rohdaten.
Entwurf der Modellarchitektur der KI	Erreicht. Die Modellarchitektur wurde definiert, dokumentiert und in mehreren Notebooks prototypisch umgesetzt.
Geplante konkrete Arbeitsziele: Teilprojekt B	Erfüllung
Validierung Messmethoden - Mit Bestätigung von zwei Expert:innen zur Konzepttauglichkeit	Konzept bestätigt von Wasserqualitätsexperten aus Akademie und Industrie.
Datenerhebung 300 Datensätze mit den validierten Messmethoden	Es wurden über 1000 Messeinträge in die Datenbank erreicht.
Konzepterstellung des Produkts (CAD Modell fertig, Produkt kann anhand des CAD Modells gefertigt werden)	Im 11. Projektmonat wurde das CAD Modell fertiggestellt.

Eigenfinanzierter Halbdemonstrator wurde in Einsatzgebiet erprobt (10 Gespräche mit Kunden und Behörden vor Ort)	Im 10. Projektmonat wurde der Halbdemonstrator in Uganda an verschiedenen Wasserquellen und -aufbereitungsanlagen getestet.
--	---

Zusätzliche oder neue Arbeitsergebnisse, die im Projektverlauf entstanden sind:

Einführung eines Kalibrierungsmodus, der während der Entwicklung als notwendig erkannt wurde
Durchführung einer Barrierefreiheitsanalyse der Agentur für Barrierefreiheit und daraus abgeleiteten UX-Optimierungen.

2.4 Verwertung

2.4.1 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses

2024–2025: [ERREICHT]

- Entwicklung und Erprobung eines funktionsfähigen Hardware- und Software-Halbdemonstrators
- Gewinn neuer methodischer Erkenntnisse zur mobilen Wasserqualitätsanalyse und datengetriebenen Bewertung
- Präsentation und Diskussion der Projektergebnisse im Rahmen des Forums für soziale Innovation und gemeinnützige Unternehmen (SIGU Forum) in Berlin zur Einordnung der Ergebnisse im Kontext gesellschaftlicher und sozialer Innovation sowie zur Vernetzung mit weiteren Akteuren aus Forschung, Praxis und Transfer
- Zusammenarbeit mit dem Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) der Universität Stuttgart, einschließlich der Nutzung der dortigen Laborinfrastruktur zur Durchführung und Absicherung von Messungen
- Fachvortrag zu den Projektergebnissen zur Dissemination im wissenschaftlichen Umfeld am Fraunhofer Institut

2025–2026: [LAUFEND]

- Aufbereitung der Ergebnisse für Präsentationen, Berichte sowie interne und externe Wissensweitergabe
- Bewerbung auf weitere Förderungen für die Markteinführung

ab 2026: [AUSBLICK]

- wirtschaftliche Verwertung ausschließlich außerhalb der HdM
- Nutzung der Ergebnisse für weitere nicht-wirtschaftliche Forschungsprojekte (z. B. DATI-Folgeprojekte)
- Einbindung in Lehr- und Forschungsformate der HdM
- Prüfung von Schutzrechtsstrategien ausschließlich außerhalb des nicht-wirtschaftlichen Bereichs der HdM

2.4.2 Fortschritt Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens

Während des Förderzeitraums haben sich sowohl wissenschaftlich als auch gesetzlich keine signifikanten Änderungen ergeben, die direkten Einfluss auf die Durchführung und Verwertung unseres Projekts haben. Der EU AI Akt wurde vor Förderzeitraum beschlossen und eine neue Trinkwasserverordnung ist nach Ende in Kraft getreten.

2.4.3 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

- Präsentation des Projekts im Rahmen des Tags der Wissenschaft zur öffentlichen Vermittlung der Forschungsergebnisse
- Vorstellung des Vorhabens im Rahmen der Media Night als Beispiel für anwendungsnahe, interdisziplinäre Forschung
- Gespräch mit Bundestagsabgeordneten über Chancen und Herausforderungen des DATIPilot Projekts

- Vortrag und Posterpräsentation über Stand und Entwicklungsperspektiven zu AquaAware auf International Scientific Events 2025 und Gespräche mit WissenschaftlerInnen zu Methoden und Konzeptionen, Burgas, Bulgarien
- Begleitende Veröffentlichung ausgewählter Projektinhalte über berufliche Netzwerke (z. B. LinkedIn) zur Sichtbarkeit des Projekts im wissenschaftlich-praktischen Umfeld

Im Rahmen des Vorhabens wurden bislang keine Erfindungen gemacht und keine Schutzrechtsanmeldungen eingereicht oder in Anspruch genommen. Entsprechend bestehen derzeit keine erteilten Schutzrechte, keine standortbezogenen Verwertungen (z. B. Lizenzen) sowie keine weiteren konkreten Verwertungsmöglichkeiten in Bezug auf Schutzrechte. Während des Förderzeitraums wurde das Vorhaben auf Events wie dem SIGU Forum und bei potentiellen zukünftigen Projektpartner*innen wie Oxfam und der National Water and Sewerage Corporation Uganda gepitcht.

2.4.4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Wie bereits in Kapitel 6 „Notwendigkeit der Zuwendung“ der Vorhabenbeschreibung dargestellt, war das Projekt AquaAware nicht durch die Grundfinanzierung der Hochschule der Medien Stuttgart in Forschung und Lehre abgedeckt und konnte daher ohne Förderung nicht umgesetzt werden. Insbesondere bestanden technische Risiken hinsichtlich der erfolgreichen Entwicklung des Messgeräts und der App, da ein Nichterfolg die geplanten Datenanalysen und die darauf aufbauende KI-Entwicklung unmöglich gemacht hätte.

Darüber hinaus war die Zuwendung erforderlich, um die wissenschaftlich-technischen Risiken des Vorhabens sowie die begrenzten finanziellen und infrastrukturellen Ressourcen des beteiligten Start-ups auszugleichen und die Durchführung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in der vorgesehenen Qualität und Tiefe zu ermöglichen.