

Schlussbericht HypoWave+ Teilbericht: Fraunhofer IGB

- Zuwendungsempfänger:** Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
- FKZ:** 02WV1562C
- Vorhabenbezeichnung:** Wiederverwendung - Verbundprojekt HypoWaveplus: Implementierung eines hydroponischen Systems als nachhaltige Innovation zur ressourceneffizienten landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung, Teilprojekt 3
- Laufzeit des Vorhabens:** 01.02.2021 – 30.04.2025
- Projektleitung:** Dr. Marius Mohr
- Projektbearbeitung:** Marc Beckett, Stephan Scherle, Dr. Lukas Kriem

Stuttgart, 27.10.2025

Dr. Marius Mohr

Inhaltsverzeichnis

1	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	3
2	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	3
3	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.....	4
4	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderer Stelle	4
5	Weitere geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	5

1 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Wie im Verwendungsnachweis dargestellt, konnte das Projekt in Rahmen des Gesamtbudgets ohne besondere Abweichungen durchgeführt werden. Ein Großteil der finanziellen Ressourcen wurden für das Personal eingesetzt. Für Details siehe den zahlenmäßigen Nachweis des Fraunhofer IGB.

2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Fraunhofer IGB hat sich in HypoWave+ federführend mit der Digitalisierung und dem Monitoring der technischen Anlagen beschäftigt. Einerseits war dies notwendig, um den automatisierten Betrieb der unterschiedlichen Anlagen (Wasseraufbereitung, Bewässerung) zu gewährleisten und die für die Auswertung der einzelnen Verfahren notwendigen Daten zu generieren. Die Vernetzung der wasserwirtschaftlichen und pflanzenbaulichen Systemelemente war auf Grund der proprietären Steuerungslogiken der Einzelkomponenten eine Herausforderung und konnte durch das IGB realisiert werden. Darüber hinaus wurde mit dem Partner Aquatune/ Xylem auch untersucht, inwiefern hier Künstliche Intelligenz (künstliche neuronale Netze) zu einer Optimierung des Betriebs eingesetzt werden kann. Bei der Datenerfassung und Automatisierung wurde in enger Abstimmung mit den Partnern ISE Bauern, TU Braunschweig, Huber und Universität Hohenheim das umgesetzt, was für den Betrieb und die Auswertung der Betriebsdaten erforderlich war. Die Arbeiten zur Integration von Elementen der Künstlichen Intelligenz sind wichtig, um die Möglichkeiten dieser sich schnell entwickelnden Technologie für die Anforderungen der Wasserwiederverwendung nutzbar zu machen. Damit kann einerseits die Effizienz der eingesetzten Mittel erhöht werden, andererseits die Risiken der Kreislaufschließung reduziert werden. Damit wird eine Grundlage zur Verbreitung der Wasserwiederverwendung in Deutschland und für die Exportfähigkeit von in Deutschland entwickelten Lösungen gelegt.

Im Rahmen des Integrierten Qualitätsmanagements hat sich das Fraunhofer IGB insbesondere mit dem Risikomanagement auseinandergesetzt. So wurde für die Realisierung der Wasserwiederverwendung in Weißenberge in enger Abstimmung mit den involvierten Partnern ein Risikomanagementplan (RMP) ausgearbeitet, welcher Grundlage für die erfolgreiche Beantragung bei der unteren Wasserbehörde Gifhorn darstellte. Hierdurch wurde einerseits die beispielhafte Realisierung der Wasserwiederverwendung in Weißenberge erst möglich, andererseits wurde hier gemeinsam mit dem ISOE ein integriertes Qualitätsmanagementkonzept erarbeitet, welches publiziert wurde und damit anderen Anwendungen in Zukunft zur Verfügung steht. Die Ergebnisse der Risikoanalyse und die Entwicklung des RMP wurden ebenfalls in einem wissenschaftlichen Journal publiziert. Es zeigte sich, dass die Risiken für Mensch und Umwelt durch die Wasserwiederverwendung in Weißenberge mit der vorhandenen Verfahrenskette insgesamt als gering einzustufen sind. Dies bestätigen auch die Wasser- und Produktanalysen. Chemische und mikrobielle Risiken konnten durch die Wasserbehandlung und multiplen Barrieren erfolgreich adressiert werden.

Bezüglich phytopathogener Mikroorganismen wurden am Fraunhofer IGB beispielhafte Untersuchungen durchgeführt, die es in Zukunft erlauben, entsprechende Risiken für die Wasserwiederverwendung in hydroponischen Systemen besser einzuordnen und zu minimieren. Während humanpathogene Mikroorganismen im Kontext der Wasserwiederverwendung im Fokus stehen, sind Informationen zum Eintrag pflanzenpathogener Mikroorganismen, die vor allem finanzielle

Einbußen für den Landwirt verursachen können, sehr eingeschränkt verfügbar. Mit unseren Untersuchungen konnten wir zeigen, dass unter den Bedingungen von Hypowave+ nur ein sehr geringes Risiko für einen Schaden durch pflanzenpathogene Mikroorganismen aus aufbereitetem Wasser besteht. Da die innerhalb des Projekts angewendeten Untersuchungen sehr kostenintensiv sind, wurden weitere Methoden entwickelt, um den Nachweis bestimmter pflanzenpathogener Mikroorganismen zu vereinfachen und besser zugänglich zu machen. Dies soll zukünftig eine bessere Datengrundlage liefern, da die Messbarkeit vereinfacht worden ist.

3 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Verwertbarkeit der Ergebnisse wird aus Perspektive des Fraunhofer IGB als sehr hoch eingeschätzt. Es konnten bei den IWA Water Reuse Konferenzen sowohl 2023 als auch 2025 Vorträge platziert werden, mit denen die Ergebnisse des Vorhabens mit der internationalen wissenschaftlichen Community geteilt wurden. Eine Reihe weiterer Vorträge in Deutschland sowie Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften ergänzten die wissenschaftliche Verwertung und sorgte für eine hohe Sichtbarkeit des Vorhabens sowie des Fraunhofer IGB im Zusammenhang mit dem Thema Wasserwiederverwendung.

Auch in die Gremienarbeit konnten die Ergebnisse von HypoWave+ eingebracht werden. Dr. Marius Mohr war Mitglied der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.4 „Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche und urbane Zwecke in Deutschland“, aus der die Merkblätter M1200 1-3 hervorgingen. Dr. Lukas Kriem ist in der DWA-Arbeitsgruppe GB 5.10 „Umwelthygiene“ aktiv. Marc Beckett und Stephan Scherle waren zudem im WAVE II-Querschnittsthema zu Digitalisierung aktiv.

Die Erfahrungen und Erkenntnisse aus den Arbeiten rund um das Datenmanagement konnten bereits in andere Forschungsprojekte einfließen, in denen ebenfalls Daten aus Pilotanlagen aufgenommen werden mussten. Die Beratung bei der Umsetzung von Projekten zur Wasserwiederverwendung ist in das Portfolio, welches das Fraunhofer IGB im Rahmen seiner wissenschaftlichen Dienstleistungen anbietet, aufgenommen worden. Aktuell wird mit den Fraunhofer-Instituten UMSICHT und IME analysiert, wie sich die Kompetenzen in dem Themenfeld Wasser- und Nährstoffrückgewinnung im Pflanzenbau noch besser verwerten lassen.

Mit Aquatune/Xylem konnte ein Konzept zur Nutzung Künstlicher Intelligenz in der landwirtschaftlichen Wasserwiederverwendung erarbeitet werden. Eine Realisierung dieses Konzepts war aus Gründen geringer Datenverfügbarkeit im Rahmen von HypoWave+ nicht möglich, im öffentlichen Schlussbericht des Vorhabens werden die Erkenntnisse jedoch dokumentiert, so dass in Zukunft darauf aufgebaut werden kann.

4 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderer Stelle

Die wohl wichtigste Entwicklung während der Projektlaufzeit war die EU-Verordnung 2020/741, die am 26. Juni 2020 in Kraft getreten ist und seit dem 26. Juni 2023 in allen EU-Mitgliedsstaaten gilt. Parallel laufen Aktivitäten, eine entsprechende Änderung im deutschen Recht umzusetzen.

In diesem Zuge wurde im Jahr 2022 der Endbericht der LAWA-Ad hoc AG/KG Water Reuse an die 163. LAWA- Vollversammlung veröffentlicht, in dem eine deutlich strengere Umsetzung der EU-Verordnung gefordert wird. U.a. wird hier die Möglichkeit erwähnt, dass pathogene Viren durch die Wurzel in die Frucht gelangen, so dass für hydroponische Anbauformen deutlich strengere Vorgaben gemacht werden sollten, als dies in der EU-Verordnung der Fall ist. Eine kritische Auseinandersetzung mit diesem Bericht hat sowohl im Rahmen von HypoWave+ als auch in der DWA-Arbeitsgruppe „Wasserwiederverwendung für landwirtschaftliche und urbane Zwecke in Deutschland“ stattgefunden. Gerade im Zusammenhang mit dem Risikomanagement hat dies große Relevanz für die Anwendung in HypoWave+. Auch die Stellungnahmen zur Wasserwiederverwendung des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) wurden kritisch analysiert. Die Empfehlung des BfR, die Wasserwiederverwendung in hydroponischen Kulturen einzuschränken, basiert auf einer unzureichenden Studiengrundlage, die größtenteils unrealistische Bedingungen abbildet.

Weitere relevante Erkenntnisse kamen aus den parallel geförderten Vorhaben Nutzwasser, FlexTreat und PU₂R. Gerade im Rahmen des WavE-II-Querschnittsthemas „Technologien und Verfahren“ gab es hier intensiven Austausch zwischen den Projekten. Insbesondere zum Thema der Validierung der Verfahren konnte in HypoWave+ auf Erfahrungen aus den anderen Projekten zurückgegriffen werden.

5 Weitere geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Kriem, L. S., King, N., Niemann, S., Vainshtein, Y., & Sonntag, M. (2025). Molecular identification of human and plant pathogens in municipal domestic wastewater for hydroponic system applications.