

Hamburg, 13.03.2026

**Verbundvorhaben: H2Giga\_QT5.1\_HyPLANT100: Entwicklung optimierter  
und automatisierter Abläufe und Standards für den Aufbau großskaliger  
Wasserelektrolyseure;  
Teilvorhaben: Digitale Ablaufsteuerung zur Qualitätssicherung bei  
der skalierenden Montage von Großelektrolyseuren**

**Sachbericht zum Verwendungsnachweis - Teil I: Kurzbericht**

---

Stand:	13.03.2026
Einreichungsdatum TIB (Teil I+II):	31.03.2026
Partnerin/Partner:	Technische Universität Hamburg – Institut für Flugzeug-Produktionstechnik
Autorinnen/Autoren:	C. Masuhr, L. Büsch
Fördertitel:	Verbundvorhaben H2Giga_QT5.1_HyPLANT100: Entwicklung optimierter und automatisierter Abläufe und Standards für den Aufbau großskaliger Wasserelektrolyseure
Laufzeit:	01.04.2021 bis 31.12.2025
Förderkennzeichen:	03HY114F
Disclaimer:	Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

---

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt



Finanziert von der  
Europäischen Union  
NextGenerationEU

## Teil I – Kurzbericht

### 1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Das übergeordnete Ziel des Teilvorhabens am Institut für Flugzeug-Produktionstechnik (IFPT) war die Entwicklung einer digitalen Ablaufsteuerung zur Montage und Qualitätssicherung bei der skalierenden Produktion von Großelektrolyseuren. Zum Zeitpunkt der Antragstellung erfolgte die Fertigung und Montage von Elektrolyseuren überwiegend im Manufakturbetrieb, wodurch produktionstechnische Erfahrungen für diesen speziellen Anwendungsbereich jenseits der Kleinserie weitestgehend fehlten. Insbesondere für das ungeordnete Produktionsumfeld der Vormontage, welches sich organisatorisch durch das Prinzip der Baustellenmontage ohne ortsfeste Fertigungsinfrastruktur auszeichnet, fehlten durchgängig digitalisierte Konzepte. Gleichzeitig stellen die spezifischen, wasserstoffführenden Komponenten des Elektrolyseurs höchste Anforderungen an die Montagequalität, die Prozesssicherheit und das begleitende Qualitätsmanagement. Für dieses anspruchsvolle Umfeld mangelte es an Lösungen für eine (teil-)automatisierte Handhabung, für komplexe Prüfvorgänge sowie für die kollaborative Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine. Die Aufgabenstellung umfasste daher die Erforschung und softwareseitige Implementierung einer Plattform, welche Informationen aus Planungs- und Operationsdomänen bündelt, in digitalen Begleitmodellen abbildet und Montageanweisungen situationsbedingt erzeugt. Ein zentraler Fokus lag dabei auf der operativen Qualitätssicherung (wie der automatisierten und manuellen Leckageprüfung) und der lückenlosen, revisionssicheren Dokumentation auf Basis fortschrittlicher Sensorinformationen.

### 2. Ablauf des Vorhabens

In den Phasen von AP 1 und 2 erfolgte die informationstechnische Fundierung, bei der AutomationML (AML) als zentrales Datenformat für selbstkonfigurierende Montagesysteme spezifiziert wurde. Darauf aufbauend wurde die Architektur für die digitale Montageorchestrierung sowie eine KI-basierte Fortschrittsüberwachung entwickelt (AP 3). Parallel wurden Parameter für eine innovative Sensorintegration evaluiert und spezifische Prüfprozesse für die Qualitätssicherung (z. B. AR-gestützte Leckageprüfung und Kontrolle von Doppelklemmringverschraubungen) konzipiert (AP 4, 6 und 8). In der abschließenden Projektphase (AP 7) wurden diese Hardware- und Softwarekomponenten am IFPT auf einem physischen Funktionsmuster, bestehend aus einem manuellen Montage-Versuchsstand, einem Leckage-Prüfstand und einer mobilen Roboterplattform, integriert und praxisnah validiert. Begleitend fanden kontinuierlich Arbeiten zur Standardisierung (AP 9) und Verbreitung der Forschungsergebnisse (AP 11) statt.

### 3. Wesentliche Ergebnisse

Die wesentlichen und vollumfänglich erreichten Ergebnisse des Teilvorhabens gliedern sich in folgende technologische Schwerpunkte:

- Zur digitalen Ablaufsteuerung wurde eine Cloud-Web-Applikation entwickelt, die eine dynamische Echtzeit-Werkerführung realisiert und Produktionsplanung sowie Montageplatz über eine bidirektionale Datenpipeline synchronisiert.
- Für die KI-gestützte Fortschrittsüberwachung und zur automatisierten Erkennung von Montagezuständen wurde der "HARDAT"-Datensatz für menschliche Montageaktivitäten generiert und erfolgreich in eine echtzeitfähige Pipeline zur Montageorchestrierung überführt.
- Durch experimentelle und simulative Untersuchungen wurden belastbare Prüfstrategien für die manuelle und vollautomatische Leckagedetektion (z. B. mittels H<sub>2</sub>-Sniffer und BOS-Technik) abgeleitet. Die zugehörigen Algorithmen zur Leckagelokalisierung wurden in eine AR-Werker-Applikation sowie in Robotersteuerungen implementiert und praktisch validiert.
- Zur Montageabsicherung fehleranfälliger und weggesteuerter Verbindungen wurden Datenanalysemethoden untersucht und mit neuen optischen Trackingverfahren industriellen validiert. Basierend auf dieser echtzeitfähigen Anomalieerkennung durch Datenfusion erfolgte die konzeptionelle Ausarbeitung eines AR-Assistenzsystems zur werkergerechten Prozessabsicherung und Dokumentation.
- Als Basis für einen digitalen Zwilling wurde durch die Erweiterung eines AutomationML-Modells und die Nutzung von OPC UA/MQTT-Schnittstellen die semantische Grundlage geschaffen, um sämtliche Qualitäts- und Prozessdaten automatisiert und revisionssicher in einer Cloud-Datenbank zu bündeln.
- Der erfolgreiche funktionale Nachweis am finalen Demonstrator erfolgte über ein spezifisch konzipiertes mobiles Robotersystem (MiR-Plattform mit UR10e-Cobot und Liftachse) sowie an entsprechend instrumentierten manuellen Arbeitsplätzen.

#### 4. Zusammenarbeit mit anderen (Forschungs-)Einrichtungen

Das Projekt zeichnete sich durch eine arbeitsteilige und hocheffiziente Kooperation im HyPLANT100-Verbund aus. In intensiver Zusammenarbeit mit der FEST wurden automatisierbare Abläufe identifiziert und IST-Zustände mit Fokus auf die industrielle Vormontage modelliert. Ergänzend steuerte die Hoeller Electrolyzer hierfür kontinuierlich essenzielle Bauteilspezifikationen und prozesstechnische Anforderungen bei. Für die nutzerzentrierte und didaktisch fundierte Ausgestaltung der digitalen Werkerführung sowie der AR-Assistenzsysteme wurde gezielt die Fachexpertise des Partners ATT eingebunden. Die abschließende praktische Validierung der digital orchestrierten Prozesse am Gesamtdemonstrator in Hamburg wurde maßgeblich durch die IBG Automation unterstützt und unter direkter, operativer Einbindung von Fachpersonal der TC Hydraulik erfolgreich durchgeführt. Flankierend vernetzte sich das IFPT auf Ebene der Standardisierung aktiv in Netzwerken (wie PROSTEP und EEHH) und publizierte die Erkenntnisse gemeinsam mit dem Gesamtverbund unter anderem im internationalen Fachjournal „Hydrogen“, um sie für weitere Skalierungsvorhaben der Branche nutzbar zu machen.