

Bochum, 03.12.2025

Verbundvorhaben H2Giga_QT4.2_FertiRob: Fertigung und Robotik; Teilvorhaben: Erstellung, Parametrisierung und Konfiguration von automatisierten Produktionsanlagen durch Kombination von Produktionsmodulen

Sachbericht zum Verwendungsnachweis - Teil I: Kurzbericht

Stand:	03.12.2025
Einreichungsdatum TIB (Teil I+II):	03.12.2025
Partnerin/Partner:	Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Produktionssysteme
Autorinnen/Autoren:	M. Brisse, R. Egel, A. Hypki, B. Kuhlenkötter, E. Milloch, J. Prior, S. Sahan Verbundvorhaben H2Giga_QT4.2_FertiRob: Fertigung und Robotik;
Fördertitel:	Teilvorhaben: Erstellung, Parametrisierung und Konfiguration von automatisierten Produktionsanlagen durch Kombination von Produktionsmodulen
Laufzeit:	01.04.2021 bis 30.09.2025
Förderkennzeichen:	03HY113A
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

Vorwort des Verbundkoordinators

Das H₂Giga-Projekt FertiRob verfolgte zwei zentrale Ziele: Zum einen die signifikante Steigerung der Produktionskapazitäten von Wasserstoffelektrolyseuren, zum anderen die Reduktion des Planungsaufwands für entsprechende Produktionsanlagen. Zur erfolgreichen Umsetzung dieser ambitionierten Zielsetzung arbeiteten insgesamt 16 Partner, 13 aus der Industrie und drei aus der akademischen Forschung, eng zusammen.

Zu Projektbeginn wurde eine umfassende Zielarchitektur entwickelt, die den gesamten Prozess abdeckt: von der Anforderungsdefinition für Elektrolyseure bis hin zur realen Bauteilfertigung. Im Zentrum dieser Architektur standen der Digitale Produkt- sowie Anlagenzwilling. Beide sollen zukünftig alle erforderlichen Informationen für Planung, Inbetriebnahme und Betrieb bereitstellen und so eine durchgängige, digital gestützte Produktionskette ermöglichen.

Die im Projekt erzielten Ergebnisse lassen sich entlang der beiden Hauptziele einordnen. Einerseits wurden physische Demonstratoren realisiert, die exemplarisch einzelne Prozesse der Elektrolyseurfertigung (wie etwa Gesamtmontage oder Qualitätssicherung) automatisieren. Andererseits entstanden digitale Demonstratoren, deren Fokus auf der vereinfachten und standardisierten Erstellung der Digitalen Zwillinge lag. Diese digitalen Lösungen bilden die Grundlage für eine effizientere Planung, Simulation und Steuerung komplexer Produktionsprozesse.

Aufgrund der hohen Komplexität von Elektrolyseuren war es notwendig, zahlreiche innovative Lösungsansätze zu entwickeln und prototypisch umzusetzen. Viele dieser Innovationen lassen sich auf andere Anwendungsfelder der Produktionstechnik übertragen und entfalten damit über die Elektrolyseurfertigung hinaus Wirkung. So konnte FertiRob wertvolle Impulse für die Weiterentwicklung moderner Produktionstechnologien setzen.

Insgesamt leistete das Projekt FertiRob einen bedeutenden Beitrag zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie. Eines der Ziele dieser Strategie ist es, Deutschland als Vorreiter im Bereich der Wasserstofftechnologien zu etablieren. FertiRob unterstützt diese Zielsetzung auf mehreren Ebenen, u. a. durch die gezielte Erhöhung der Produktionskapazitäten von Elektrolyseuren, die als Schlüsseltechnologie für eine klimaneutrale Energieversorgung gelten. Die entwickelten Automatisierungslösungen und digitalen Werkzeuge ermöglichen es, Elektrolyseure künftig in größerer Stückzahl, mit kürzeren Durchlaufzeiten und bei reduziertem Ressourceneinsatz herzustellen. Zum anderen trägt FertiRob wesentlich zur Qualitätssteigerung in der Produktion bei. Durch den Einsatz robotergestützter Fertigungsschritte und digitaler Prüfprozesse werden manuelle Fehlerquellen minimiert und eine höhere Reproduzierbarkeit erreicht.

In der Gesamtschau stellt FertiRob damit nicht nur einen technologischen Innovationsschub für die Produktion von Wasserstofftechnologien dar, sondern schafft auch die Voraussetzungen für eine nachhaltige und skalierbare industrielle Umsetzung. Die Ergebnisse des Projekts bieten Potenziale für die Übertragung auf weitere Anwendungsfelder und liefern zugleich einen wertvollen Beitrag zur Zukunftsfähigkeit des Produktionsstandorts Deutschland im Kontext der Energiewende.

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

Das Teilvorhaben verfolgte das Ziel, eine Methodik zur modularen Planung von Produktionsanlagen für Elektrolyseure und Elektrolyse-Stacks zu entwickeln. Grundlage bildete die Nutzung durchgängiger und herstellerunabhängiger Datenformate, wie z. B. AutomationML. Um den heterogenen Lösungsraum der unterschiedlichen Technologien (HTEL, AEL, PEM) einzugrenzen, wurden zunächst standardisierte Produkttemplates erstellt, die Informationen zu Komponenten und deren Verknüpfungen enthalten und als Basis für den Produktassistenten sowie den digitalen Produktzwilling dienten. Darauf aufbauend wurden Produktionsmodultemplates entwickelt, welche die Prozessmodule abstrahiert beschreiben und Funktionen, Parameter und Schnittstellen abbilden. Diese ermöglichen eine automatische Anlagenkonfiguration auf Grundlage des digitalen Produktzwillings. Ergänzend wurde ein Regelwerk erstellt, das zulässige Modulkombinationen sowie deren Parametrierung definiert und damit die softwaregestützte Konfiguration unterstützt. Ein weiterer Schwerpunkt lag in der Entwicklung von Produktionsmodulen zur flexiblen, automatisierten Verkabelung von Elektrolyseurschaltsschränken, die skalierbar und an unterschiedliche Produktgrößen anpassbar sind.

PEM-Elektrolyseure stellen den aktuellen Stand der Technik dar und weisen in Funktion, Komponenten und Fertigungsprozessen große Ähnlichkeiten zu PEM-Brennstoffzellen auf. Während die industrielle Fertigung von Brennstoffzellenstacks intensiv erforscht wird, ist deren Übertragbarkeit auf Elektrolyse-Stacks aufgrund der kompakteren Bauweise nur für kleine Systeme möglich. Große Elektrolyse-Stacks werden daher derzeit überwiegend manuell montiert, was automatisierte Lösungen zur möglichen Kostenreduktion erforderlich macht. Für die Serienproduktion ist zudem die Integration von Stack- und Peripheriekomponenten zwingend zu berücksichtigen. Bislang existieren keine Verfahren zur automatischen Montage größerer Elektrolyseure, insbesondere Herausforderungen wie das Handhaben biegeschlaffer Bauteile oder die automatisierte Verkabelung sind noch ungelöst und Gegenstand aktueller Forschung.

Ein großes Hindernis bei der Planung von automatisierten Produktionsanlagen ist der hohe manuelle Aufwand. Für die Skalierung der Elektrolyseurproduktion ist es daher wichtig, die Planung und Erstellung der Produktionsanlagen zu automatisieren und damit drastisch zu beschleunigen. Eine Technologie, die dafür genutzt werden kann, ist der Digitale Zwilling.

Die konsequente Nutzung des Digitalen Zwillings entlang der Wertschöpfungskette kann Entwicklungen und Geschäftsprozesse beschleunigen. Allerdings wird der Digitale Zwilling häufig nur teilweise und nicht konsequent entlang der gesamten Wertschöpfungskette genutzt. Im Rahmen des Projektes soll sowohl ein digitaler Produkt- als auch Anlagenzwilling aufgebaut werden. Für die Abbildung und Überprüfung des Ergebnisses einer automatischen Anlagenplanung ist die Simulation von automatisierten Produktionsanlagen notwendig.

Über den Stand der Technik hinausgehend muss in diesem Vorhaben die effiziente Simulation formlabiler Teile im Kontext einer Automatisierungsanlage erarbeitet und verifiziert werden, um die Anforderungen an eine vollständige Simulation für die Anlagenplanung sicherzustellen. Um die Zeit von der Anlagenplanung bis zur realen Umsetzung weiter zu verkürzen, kann die virtuelle Inbetriebnahme genutzt werden. Die virtuelle Inbetriebnahme repräsentiert eine Industriedisziplin, die darauf abzielt, die Entwicklungs-,

Installations- und Testphase neuer Produktionssysteme zu verbessern, zu überprüfen und zu beschleunigen. Dabei werden beispielsweise Roboterzellen oder Produktionslinien virtuell realisiert und detaillierte Überprüfungen der SPS-Programme, Roboterprogramme sowie Produktionskonzepte ermöglicht und es können Taktzeiτοptimierungen, Überprüfungen der Hardwarepläne, usw. durchgeführt werden. Auch wenn eine virtuelle Inbetriebnahme den Gesamtaufwand bis zum Produktionsstart reduziert, ist ihr Durchführungsaufwand weiterhin hoch. Zudem fehlen Methoden, um die Erstellung des zugrundeliegenden Simulationsmodells zu automatisieren, das anschließend schrittweise mit der realen Anlage zusammengeführt wird.

2. Ablauf des Vorhabens

Das Forschungsprojekt FertiRob wurde im zweiten Quartal 2021 initiiert. Nach einem virtuellen Kick-off mit dem Konsortium folgte im September desselben Jahres ein erstes Präsenztreffen. Im ersten Projektjahr konzentrierte sich der Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS) auf die organisatorische und inhaltliche Koordination innerhalb der Verbundplattform H2Giga. Schwerpunkte waren insbesondere die Abstimmung mit Projektpartnern, die Identifikation eines geeigneten Partners aus der Elektrolyseurherstellung sowie die Planung und Vorbereitung der bevorstehenden Arbeitspakete.

Darüber hinaus begann der LPS mit der Konzeption und Modellierung von Komponenten für einen digitalen Produktzwilling und bereitete erste Ansätze für einen digitalen Anlagenzwilling der Gesamtproduktion vor. Parallel dazu bereitete das Konsortium die Durchführung einer umfassenden Marktanalyse zu Elektrolysesystemen vor, die 2022 abgeschlossen wurde. Auf deren Basis wurden ein marktübliches Elektrolysesystem und ein geeigneter Elektrolyse-Stack beschafft, die für die Entwicklung eines Referenzelektrolyseurs sowie eines Referenzstacks vorgesehen waren.

Im Jahr 2023 erfolgte der Aufbau der Forschungsdemonstratoren – von der Konzeption über die Beschaffung bis hin zur Realisierung. Hierzu zählten unter anderem der Stacking-Demonstrator, der 2024 auf der Hannover Messe vorgestellt wurde, sowie ein Verkabelungsdemonstrator. Die Realisierung des Gesamtmontage-Demonstrators sowie des Intralogistik- und Transportmoduls erstreckte sich über die Jahre 2024 und 2025. In dieser Phase standen insbesondere Anwendungstests, detaillierte Analysen sowie iterative Verbesserungen aller Demonstratoren im Vordergrund.

3. Wesentliche Ergebnisse

Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse Stichpunktartig aufgelistet, wobei die detaillierten Inhalte dem „Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil 2“ entnommen werden können:

- Marktanalyse und Stand der Forschung Elektrolysesysteme inklusive Beschaffung von Elektrolyseur und Stacks
- Engineering Referenzstack
- Design for Automation + Erstellung eines Referenzelektrolyseurs
- Konzeptuelle Ausarbeitung der flexiblen Produktion
- Digitale Produkt- und Anlagenzwillinge

- Gesamtmontage-Demonstrator
- Verkabelungsdemonstrator
- Stacking-Demonstrator
- Transportdemonstrator
- Digitale Lösungen (z. B. Algorithmus zur Layoutplanung)

4. Zusammenarbeit mit anderen (Forschungs-)Einrichtungen

SCHNITTSTELLEN

Von	An	Inhalt	Termin	Verantwortlich	Kommentar
QT 4.2	TP 3, NG 3, NG 2	Technische Lösungskonzepte für einzelne Prozessschritte	Q4/2022	LPS	Kontaktaufnahme von LPS-Seite zu MAN (PEP.IN), Enapter (HY-CORE) und Schaeffler (StacIE) hat stattgefunden.
QT 4.2	QT 5.1	Roboterprogrammableitung und Datenspezifikation zur Konfiguration der Roboter- und MRK-Programme	Q2/2022	LPS	Kontakt und Austausch besteht, auch weil der LPS in beiden Projekten involviert ist.
QT 4.2	NG 1	Austausch der Konzepte für das Datenmodell des Digitalen Produktzwillings und der genutzten Referenzarchitektur	Q2/2022	QT 4.2	Kontaktaufnahme von LPS-Seite zu WEW hat stattgefunden.
QT 4.2	NG 2	Technische Lösungskonzepte für einzelne Prozessschritte	2. Jahr	LPS	Kontaktaufnahme von LPS-Seite zu Schaeffler hat stattgefunden.
QT 4.2	NG 2	Prototyp des Konfigurationsmechanismus zur automatischen Konfiguration eines Produktionssystems	2. Jahr	LPS	Kontaktaufnahme von LPS-Seite zu Schaeffler hat stattgefunden.
QT 4.2	TP 3	Technische Lösungskonzepte für einzelne Prozessschritte	2. Jahr	QT 4.2	Kontaktaufnahme zu MAN, initiiert durch das KIT wbk, hat stattgefunden.

SYNERGIEN

Verbünde	Synergien	Nutzung / Umsetzung	Zeitraum	Verantwortlich	Kommentar
NG 2, QT 4.2	Wirtschaftlich skalierbare Fertigung	Austausch zu Standardisierung, modulare Gestaltung	1. - 4. Jahr	LPS / Schaeffler	Kontaktaufnahme von LPS-Seite zu Schaeffler hat stattgefunden.
NG 2, QT 4.2	Digitaler Zwilling	Austausch Datenstruktur	2. – 3. Jahr	LPS / Schaeffler	Kontaktaufnahme von LPS-Seite zu Schaeffler hat stattgefunden.
NG 3, QT 4.2	Wirtschaftlich skalierbare Fertigung	Austausch zu Standardisierung, modulare Gestaltung	2021 - 2022	LPS / Enapter	Kontaktaufnahme von LPS-Seite zu Enapter hat stattgefunden.
TP 1a, QT 4.2	Automatisierung	Umsetzung in Folgegenerationen	Leistung / integrierbar (?)	LPS / SE	Kontaktaufnahme von LPS-Seite zu Siemens Energy hat stattgefunden.
TP 3, QT 4.2	Wirtschaftlich skalierbare Fertigung	Austausch zu Standardisierung, modulare Gestaltung;	1. - 2. Jahr	TP 3 / QT 4.2	Kontaktaufnahme zu MAN, initiiert durch

		Übertragung zur Brennstoffzellenproduktion			das KIT wbk, hat stattgefunden.
--	--	--	--	--	---------------------------------

Weitere Onlinetreffen der Arbeitsgruppen (AGs), Treffen mit Projektpartnern und interne Präsenztreffen etc.

<i>Datum</i>	<i>Inhalt</i>
2021-04-27	Kick-Off
2021-09-17	AG 1 1. Treffen
2021-09-20	Präsenztreffen Nr.1 in Bochum
2021-09-27	AG 3
2021-10-05	Transfermeeting
2021-10-13	AG 5
2021-10-15	Kennenlernen ZBT Duisburg
2021-12-07	Workshop ABB
2022-02-03	WEW und StaR
2022-06-xx	Ideenwettbewerb
2022-08-17	Präsenztreffen bei Schmalz
2022-09-07	H2Giga Statuskonferenz
2022-10-19	Präsenztreffen am Elektrolyseur
2022-12-01	Präsenztreffen bei ABB in Friedberg
2023-03-28	Transfermeeting QT4.2
2023-04-25	Präsenztreffen bei let's dev in Karlsruhe
2023-04-28	Kurzes Netzwerken H2UB
2023-07-06	Wirtschaftsförderung Südwestfalen
2023-08-08	Deep Dive - How automation in stack production can ramp up the electrolyzer economy
2023-08-21	Wirtschaftsförderung Südwestfalen
2023-08-29	Brockhaus x LPS
2023-08-30	IHK Mittleres Ruhrgebiet
2023-09-06	Topsoe x LPS
2023-09-15	AL.NRW x LPS
2023-09-20	Statuskonferenz H2GIGA
2023-09-27	ISRA Besuch
2023-10-18	Cummings x LPS
2023-11-15	Präsenztreffen bei IBG in Neuenrade
2023-12-14	efs TechHub
2023-12-19	Cummins Nachfolgeaustausch
2024-01-23	Webinar Automatisierte Schaltschrankverdrahtung
2024-02-29	Transfermeeting QT4.2
2024-03-20_21	Präsenztreffen bei EKS in Weingarten
2024-06-04	HyPlant100 Projekttreffen
2024-09-17_18	Statuskonferenz H2Giga
2024-09-25	Präsenztreffen bei FFT in Fulda
2024-12-18	PxC Steuerkreis
2025-03-17	Abschlusstreffen im Forschungsbau ZESS
2025-03-25	Transfermeeting QT4.2