



## Das Wasserstoff- Leitprojekt H<sub>2</sub>Giga

Wasserelektrolyse für Grünen  
Wasserstoff im Gigawatt-Maßstab

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



© Bundesregierung / Guido Bergmann

# Liebe Leserinnen und Leser,

viele von Ihnen kennen die Potenziale von Wasserstoff aus der täglichen Arbeit. Regenerativ erzeugt, kann er drei wichtige Ziele verbinden: Energiesicherheit, Klimaneutralität und Wettbewerbsfähigkeit. Das macht Wasserstoff zur Jahrhundertchance und zu einem unserer Schwerpunktthemen im Bundesforschungsministerium.

Es geht uns um den raschen Hochlauf. In Zukunft sollen ausreichend große Mengen Wasserstoff für zahlreiche Anwendungsbereiche verfügbar sein, etwa die Chemie- und Stahlindustrie. Dafür braucht der Wirtschaftsstandort Deutschland jetzt visionäre Ansätze wie das Leitprojekt H<sub>2</sub>Giga.

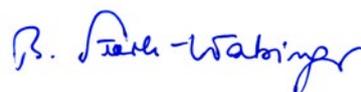
Über 120 Partner arbeiten dort gemeinsam daran, großskalige Elektrolyseure serienreif zu machen. Sehr erfolgreich: Erste große Elektrolyseure wurden bereits eingeweiht und Musterfabriken entstehen.

Das Netzwerk der H<sub>2</sub>Giga-Partner wächst mit. Etablierte Elektrolyseur-Hersteller, Zuliefer-Betriebe, Universitäten und wissenschaftliche Institute arbeiten Hand in Hand. Gemeinsam setzen sie Ergebnisse aus der Forschung direkt in die Praxis um. So entstehen Lösungen, die schon bald industriell zum Einsatz kommen können. Unser Ziel ist klar: Wir wollen Deutschland zur Wasserstoffrepublik

machen. Durch Innovation. Die Nationale Wasserstoffstrategie definiert den Rahmen dafür und schafft allen Beteiligten Planungssicherheit.

Deutschland hat bereits eine starke Forschungs- und Industrielandschaft, auch im Bereich Wasserstoff. Aber der internationale Wettbewerb fordert besonderen Einsatz. Wir wollen Leitmarkt für Wasserstofftechnologien werden und sie zum Exportschlager „Made in Germany“ machen. Das Bundesforschungsministerium sehe ich dabei als Wegbereiter, auch Tempomacher. Wir investieren allein in unsere drei Wasserstoff-Leitprojekte über 700 Millionen Euro. Damit soll Grüner Wasserstoff seine Potenziale für Energiewende und Klimaschutz voll entfalten können.

Machen Sie sich auf den folgenden Seiten gern selbst ein Bild davon. Für die anstehenden Aufgaben wünsche ich dem Leitprojekt weiterhin viel Erfolg!



**Bettina Stark-Watzinger**  
Mitglied des Deutschen Bundestages  
Bundesministerin für Bildung und Forschung

## **Vorwort**

**1 H<sub>2</sub>Giga: Wasserelektrolyse für Grünen Wasserstoff im Gigawatt-Maßstab**

**2 Technologieplattform Elektrolyse: TPE**

**3 Scale-up Projekte**

3.1 SEGIWA

3.2 DERIEL

3.3 SineWave

3.4 IntegrH2ate

3.5 PEP.IN

3.6 HTEL-Stacks – Ready for Gigawatt

3.7 HTEL-Module – Ready for Gigawatt

3.8 AEL4GW

3.9 INSTALL AWE

3.10 NCA Lab

**4 Next Generation Scale-up Projekte**

4.1 StaR – Stack Revolution

4.2 StacIE

4.3 HY-Core

4.4 IRIDIOS

4.5 AEM-Direkt

**5 Innovationspool Projekte**

5.1 PrometH<sub>2</sub>eus

5.2 Fluorfreie Membran-Elektroden-Einheit

5.3 IREKA

5.4 HyThroughGen

5.5 AlFaKat

5.6 Degrad-El3

5.7 ReNaRe

5.8 FRHY

5.9 FertiRob

5.10 HyPLANT100

5.11 SYSTOGEN100

5.12 eModule

5.13 HyLeiT

5.14 FluCoM

**H<sub>2</sub>Giga Partner**

# 1 H<sub>2</sub>Giga

## Wasserelektrolyse für Grünen Wasserstoff im Gigawatt-Maßstab

### Wasserstoff für die Energiewende

Auf der weltweiten Suche nach nachhaltigen und umweltfreundlichen Energiequellen nimmt Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen – Grüner Wasserstoff – eine Schlüsselrolle für das Bewältigen der Herausforderungen des Klimawandels ein. Wasserstoff ist vielseitig einsetzbar und mehr als nur ein Energieträger: mit ihm kann erneuerbare Energie nicht nur gespeichert werden, sondern Wasserstoff kann auch direkt als Kraft- und Brennstoff verwendet werden. Über sogenannte Power-to-X-Technologien ermöglicht Wasserstoff Zugang zu synthetischen Kraftstoffen, welche die derzeitigen fossilen Kraftstoffe ersetzen können. Wasserstoff ist zudem ein wichtiges Reduktionsmittel und Reaktionspartner in der chemischen Industrie und in der Stahlherstellung, wo er im Hochofen zur Reduktion von Eisenerz den Koks ersetzen kann. In der Brennstoffzelle oder in einem Wasserstoffkraftwerk kann er Strom erzeugen oder zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Grüner Wasserstoff stellt somit eine Brücke zwischen den erneuerbaren Energien und den energieintensiven Sektoren dar, die durch direkte Elektrifizierung nur schwer oder gar nicht zu dekarbonisieren sind.

Die im Jahr 2023 aktualisierte Nationale Wasserstoffstrategie sieht vor, dass in Deutschland bis 2030 rund 10 Gigawatt Wasserstoff-Erzeugungskapazität installiert werden sollen. Dieses ambitionierte Ziel bedeutet, dass die aktuell verfügbaren Elektrolysekapazitäten für die Erzeugung von Grünem Wasserstoff um fast zwei Größenordnungen, also Faktor 100, erhöht werden müssen. Das Leitprojekt H<sub>2</sub>Giga schafft die Grundlage für diesen massiven Hochlauf der Herstellung Grünen Wasserstoffs, indem es Technologien für die Serienfertigung und Hochskalierung von Elektrolyseuren entwickelt. Etwa 120 Partner, darunter Elektrolyseur-Hersteller, Anlagenbauer, Engineering-Firmen, Edelmetallhersteller, Start-ups sowie Forschungsinstitute und Universitäten forschen und entwickeln an modernen Fertigungstechnologien, neuen Materialien und verbesserten Komponenten. An H<sub>2</sub>Giga sind die führenden deutschen Elektrolyseur-Hersteller beteiligt: Siemens Energy, Linde/ITM,

MAN-ES/H-TEC, thyssenkrupp nucera und Sunfire. Sie arbeiten in ihren Projekten jeweils gemeinsam mit ihren Forschungspartnern an der Hochskalierung der Elektrolysetechnologien.

H<sub>2</sub>Giga ist technologieoffen. Das bedeutet, dass alle Technologien der Wasserelektrolyse in den Projekten vertreten sind: die alkalische Elektrolyse, die PEM-Elektrolyse (PEM: Protonenaustauschmembran) und die Hochtemperatur-Elektrolyse, aber auch eine Technologie der nächsten Generation, die AEM-Elektrolyse (AEM: Anionenaustauschmembran). Die alkalische Elektrolyse ist eine etablierte Technologie mit hoher technologischer Reife und langer Lebensdauer, entsprechende Anlagen sind bereits auf größerer Skala verfügbar. Ein Vorteil ist der geringe Edelmetalleinsatz, ein Nachteil ist die geringere Flexibilität für den Teillastbetrieb. Hier bietet die PEM-Elektrolyse mit hoher Effizienz und guten Start-Stopp-Eigenschaften Vorteile. Nachteilig bei der PEM-Elektrolyse ist dafür der hohe Bedarf an Edelmetallen als Katalysatoren, insbesondere der Einsatz von Iridium. Die dritte Technologie, die Hochtemperatur-Elektrolyse, kann sehr hohe Wirkungsgrade erreichen, indem sie in Kopplung mit Industrieprozessen Prozesswärme oder Abwärme nutzt. Sie ist noch weniger etabliert und durch die notwendigen Temperaturzyklen nicht für einen dynamischen Start-Stopp-Betrieb geeignet. Die AEM-Elektrolyse schließlich ist vom Technologiereifegrad noch in einem frühen Stadium. Sie vereint die spezifischen Vorteile der alkalischen und der PEM-Elektrolyse, indem u.a. auf Edelmetalle verzichtet werden kann.

Die Wahl der Elektrolyseur-Technologie hängt von den spezifischen Anforderungen der Anwendung, den verfügbaren Ressourcen und den ökonomischen Rahmenbedingungen ab. Somit stellt H<sub>2</sub>Giga die gesamte Bandbreite an technologischen Möglichkeiten bereit, die für das Erreichen einer Wasserstoffproduktion im Gigawatt-Maßstab erforderlich ist.

## Projektziele

Um den Wasserstoffhochlauf entsprechend der Ziele der Nationalen Wasserstoffstrategie zu ermöglichen, braucht es eine ausreichende Menge effizienter, langlebiger und skalierbarer Elektrolyseure.

Zwar sind bereits heute große Elektrolyseure auf dem Markt, die effizient und über lange Zeiträume arbeiten, allerdings erfolgt ihre Herstellung immer noch zumindest teilweise in Handarbeit. Das ist zeitaufwändig, kostenintensiv und fehleranfällig. Hier setzt H<sub>2</sub>Giga an: Die Partner erforschen und entwickeln in H<sub>2</sub>Giga Technologien zur Industrialisierung und Hochskalierung der Wasserelektrolyse – eine Voraussetzung, um Grünen Wasserstoff im Gigawatt-Maßstab herstellen zu können.

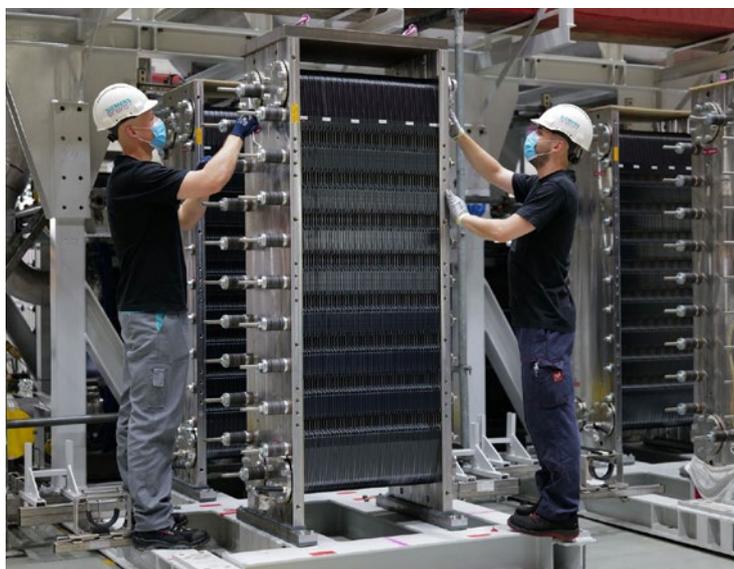
### Thematische Schwerpunkte in H<sub>2</sub>Giga sind die folgenden:

- › Fertigungstechnologien
- › Automatisierung und Robotik
- › System- und Prozessintegration
- › Re-Design für Produktion, Wartung, Rezyklierbarkeit
- › Unterstützung der Entwicklung mit digitalen Anlagen- und Produktzwillingen
- › Neue Materialien (z.B. Membranen oder Katalysatoren)
- › Testverfahren, Qualitätskontrolle, Lebensdauer-Analysen
- › Aufbau einer Referenzfabrik
- › Recycling-Konzepte
- › Normen, Standards und Genehmigungsverfahren für Elektrolyseure
- › Weiterbildung zum Thema Elektrolyse / Wasserstofftechnologien

# 120+

Partner engagieren sich  
im Wasserstoff-Leitprojekt  
H<sub>2</sub>Giga für eine grünere  
Zukunft

Foto ©: Siemens Energy AG, thyssenkrupp AG, H-TEC Systems GmbH, ITM Power Linde GmbH, Sunfire GmbH (v.l.o.n.r.u.)

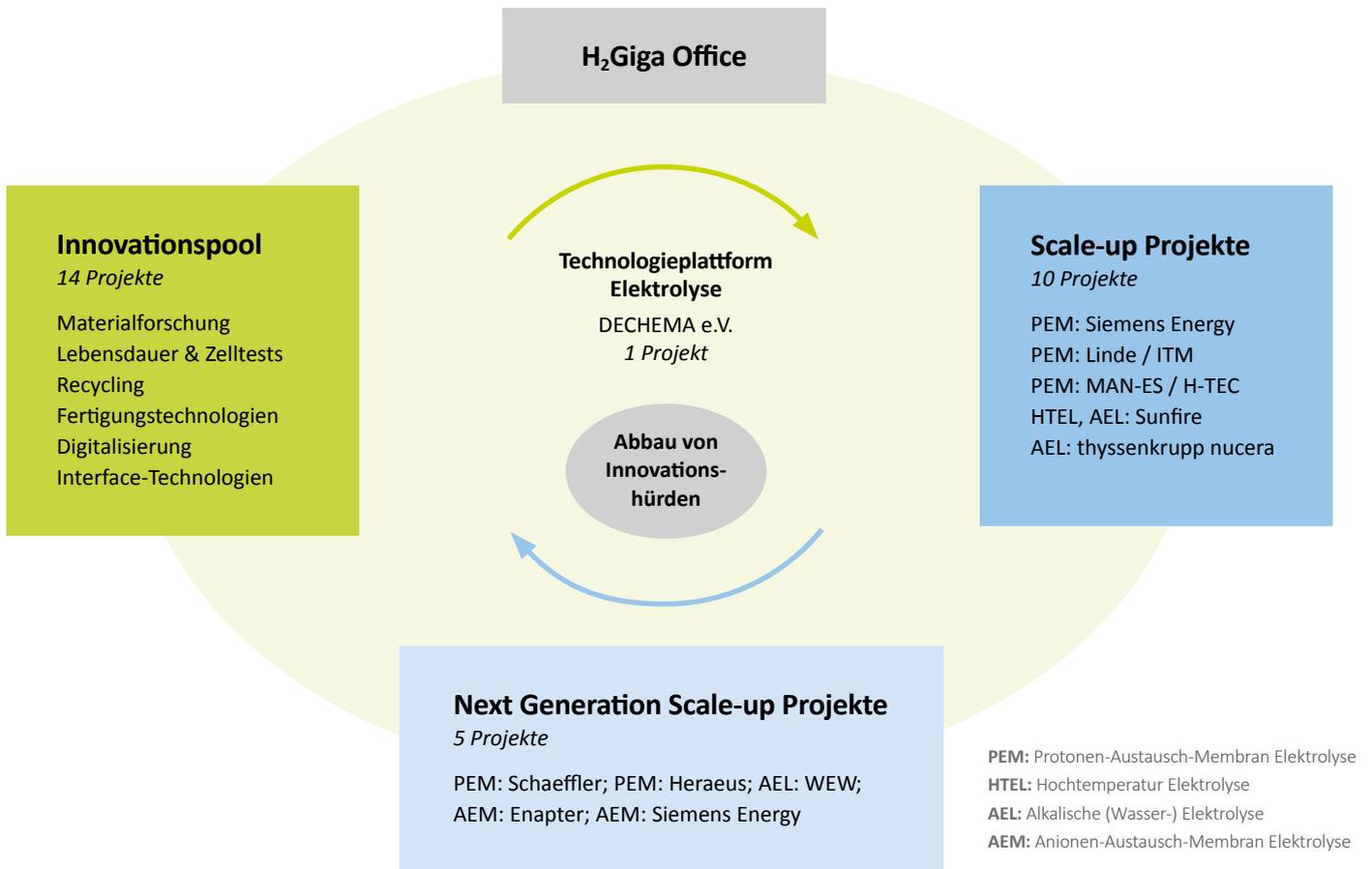




## Projektstruktur

Über 120 Partner, darunter Elektrolyseur-Hersteller, Anlagenbauer, Engineering-Firmen, Edelmetallhersteller, Start-ups sowie Forschungsinstitute und Universitäten forschen und entwickeln in 30 jeweils eigenständigen Projekten an modernen Fertigungstechnologien, neuen Materialien und verbesserten Komponenten. Die Projekte sind in drei Gruppen aufgeteilt: die **Scale-up-Projekte**, die **Next Generation Scale-up-Projekte** und die **Innovationspool-Projekte**.

In den **Scale-up-Projekten** erforschen Elektrolyseur-Hersteller und Projektpartner Technologien für die Hochskalierung und die Serienfertigung für etablierte Elektrolyse-Verfahren. Große Baugruppen der Elektrolyseure sollen mit hohem Automatisierungsgrad produziert werden können, so dass der Durchsatz und damit die Produktionskapazität massiv erhöht werden. Die zehn Projekte



sind jeweils eigenständig und decken als Elektrolysetechnologien die PEM, die alkalische und die Hochtemperatur-Elektrolyse ab. Alle gemeinsam haben das Ziel, dass sie in den Gigawatt-Maßstab hochskaliert werden sollen.

In den **Next Generation Scale-up-Projekten** werden Elektrolyse-Technologien mit besonders hohem Innovationsgrad weiterentwickelt und hochskaliert. Ebenfalls im Fokus sind hier innovative Weiterentwicklungen von Kernkomponenten wie dem Stack oder der Membran-Elektroden-Einheit. Diese Ergebnisse sollen den Grundstein für Elektrolysetechnologien von morgen und übermorgen legen.

In den wissenschaftsnahen **Innovationspool-Projekten** werden übergreifende Forschungsthemen rund um die Elektrolyse bearbeitet.

Die jeweils eigenständigen Projekte sind in sechs Themenbereiche geclustert, die von der Materialentwicklung bis zur Peripherie des kompletten Elektrolyseurs reichen.

Über die **Technologieplattform Elektrolyse** stehen Wissenschaft und Industrie im steten Austausch miteinander, so dass die Partner Wissenslücken schließen und bei Forschungsthemen die spätere Anwendbarkeit von Anfang an mitdenken können. Auch übergreifende nicht-technische Themen, z.B. Weiterbildungsmaßnahmen oder die Vereinfachung von Genehmigungsverfahren, werden hier bearbeitet.





**2 H<sub>2</sub>Giga**  
**Technologieplattform**  
**Elektrolyse**

## 2 Technologieplattform Elektrolyse: TPE

### Austausch zwischen Wissenschaft und Industrie

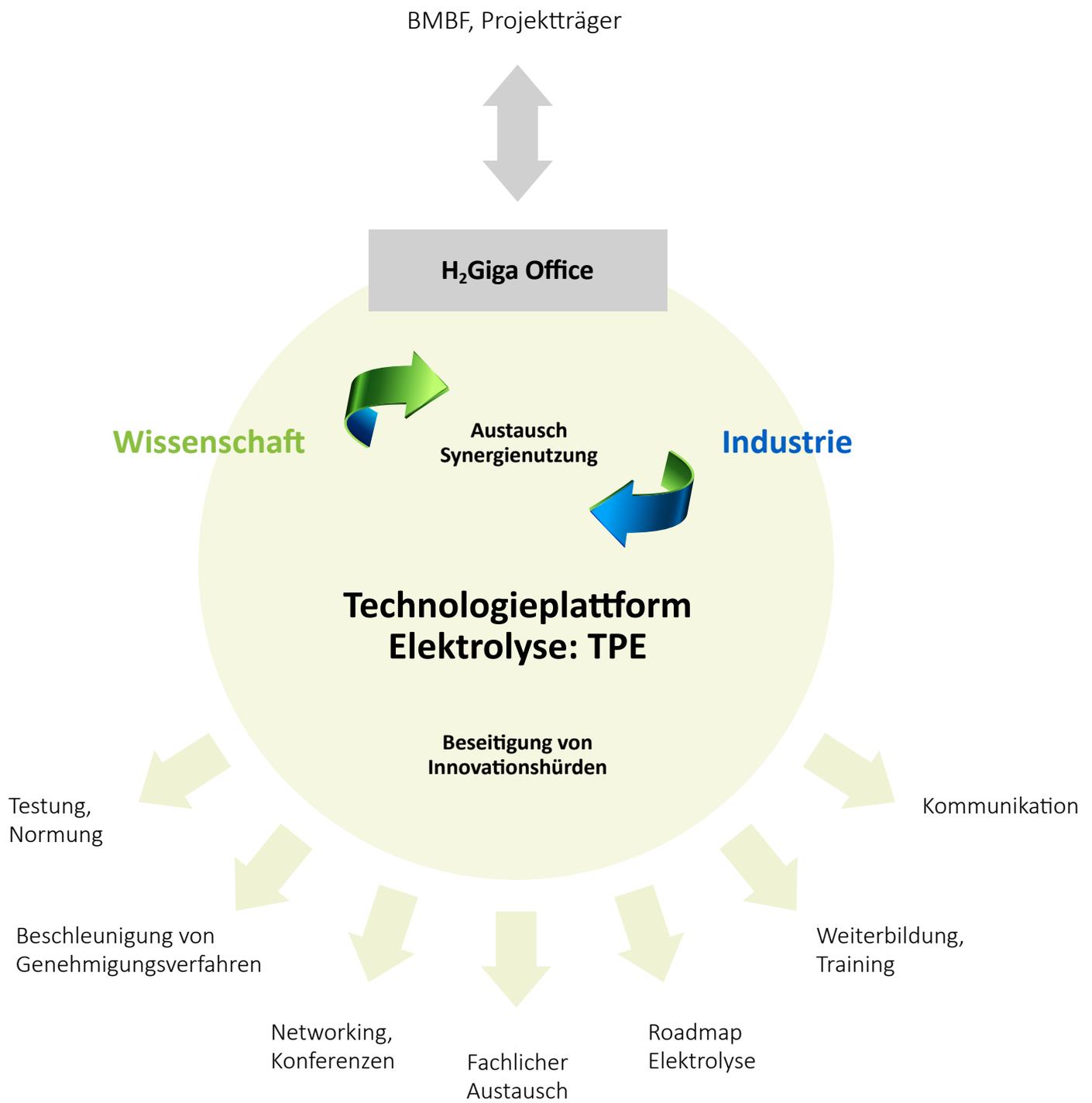
Die Technologieplattform Elektrolyse (TPE) stellt die zentrale Anlauf- und Kontaktstelle für alle Akteure aus den H<sub>2</sub>Giga-Projekten, aber auch für Anfragen aus dem Außenraum dar. Sie wird von der DECHEMA koordiniert und betreut. TPE bietet eine Plattform zum Informationsaustausch für die aktuell 30 eigenständigen Projekte und die Schnittstelle zum Projektträger und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Über verschiedene Austauschformate werden der kontinuierliche Informationsfluss und Abgleich zwischen Forschung und Industrie unterstützt und gefördert, so dass Synergien optimal genutzt werden. Des Weiteren übernimmt TPE die Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit auf Leitprojektebene und organisiert Messeauftritte sowie jährlich stattfindende Statuskonferenzen zu H<sub>2</sub>Giga, die zu wichtigen Treffpunkten der Wasserstoffcommunity werden.

Inhaltlich bearbeiten die Partner von TPE übergreifende, nicht-technische Themen mit dem Ziel, Innovationshürden abzubauen. Themengebiete dabei sind die Testung und Normung von

Elektrolyseuren sowie das Beschleunigen von Genehmigungsverfahren. Letztere werden praxisorientiert und in Interaktion mit den Genehmigungsbehörden analysiert, hemmende Faktoren identifiziert und Lösungen dafür erarbeitet. Ein weiterer Arbeitsbereich von TPE ist die berufliche Weiterbildung zu den Themen Wasserstoffherzeugung und Elektrolyse. Hierzu entwickelt TPE im Austausch mit H<sub>2</sub>Giga-Partnern berufliche Weiterbildungskurse und setzt diese erfolgreich um.

Ein Highlight des Projekts TPE ist die Erstellung der Roadmap Elektrolyse, die übergreifend den Stand des Scale-ups für die verschiedenen Elektrolysetechnologien zusammenfasst, offene technische Fragen und Forschungsbedarfe listet und Pfade zur Umsetzung in den Gigawatt-Maßstab vorschlägt.

Koordinator: **DECHEMA e.V.**





The background features several abstract geometric shapes in shades of green and yellow. There is a vertical bar at the top, a horizontal bar on the left, a large curved shape in the lower-left, and another horizontal bar on the right. A thin horizontal bar is also visible at the bottom right.

# **3 H<sub>2</sub>Giga**

## **Scale-up Projekte**

## 3.1 SEGIWA

### Serielle Produktion von PEM-Elektrolyseuren für den Gigawatt-Maßstab

Im Projekt SEGIWA schaffen die Partner die Grundlagen für eine automatisierte Serienfertigung von PEM-Elektrolyseuren und damit für einen Aufbau von Fertigungskapazitäten im Gigawatt-Bereich. Von den Grundmaterialien, z.B. Katalysatoren, über die Membran-Elektroden-Einheit (MEA) und den Stack bis hin zu kompletten Elektrolysemodulen arbeiten die Partner an Technologien, mit denen Fertigung und Montage vollständig automatisiert werden. Während der Forschungsphase müssen viele Entscheidungen getroffen werden, angefangen bei der grundlegenden Auslegung, Dimensionierung von Zellgröße und Anzahl der Zellen pro Stack, Lieferantenauswahl, Betriebsweise sowie die Konzeptionierung der gesamten Anlage. Alle diese Informationen gehen in die Realisierung der Fertigungslinie für den Gigawatt-Bereich ein. Unterstützt wird die Entwicklung durch Untersuchungen an digitalen Zwillingen, insbesondere einem digitalen

Flottenzwilling, der die Analyse zahlreicher im Betrieb befindlicher Anlagen ermöglicht. Daraus werden mit lernenden Systemen Konzepte für ein detailliertes Monitoring und einen vorausschauenden Wartungsprozess in Echtzeit entworfen. Insgesamt sollen im Projekt SEGIWA die Grundlagen geschaffen werden, die Silyzer® 300 Technologieplattform mit einer aus Einzelmodulen von je 0,75 MW bestehenden Anlage mit einer Gesamtleistung von 17,5 MW und einer Wasserstoffproduktion von 340 kg/h (4000 Nm<sup>3</sup>/h) von der manuellen Montage in eine automatisierte Serienproduktion bei höchstem Qualitätsstandard zu überführen.

Koordinator: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**



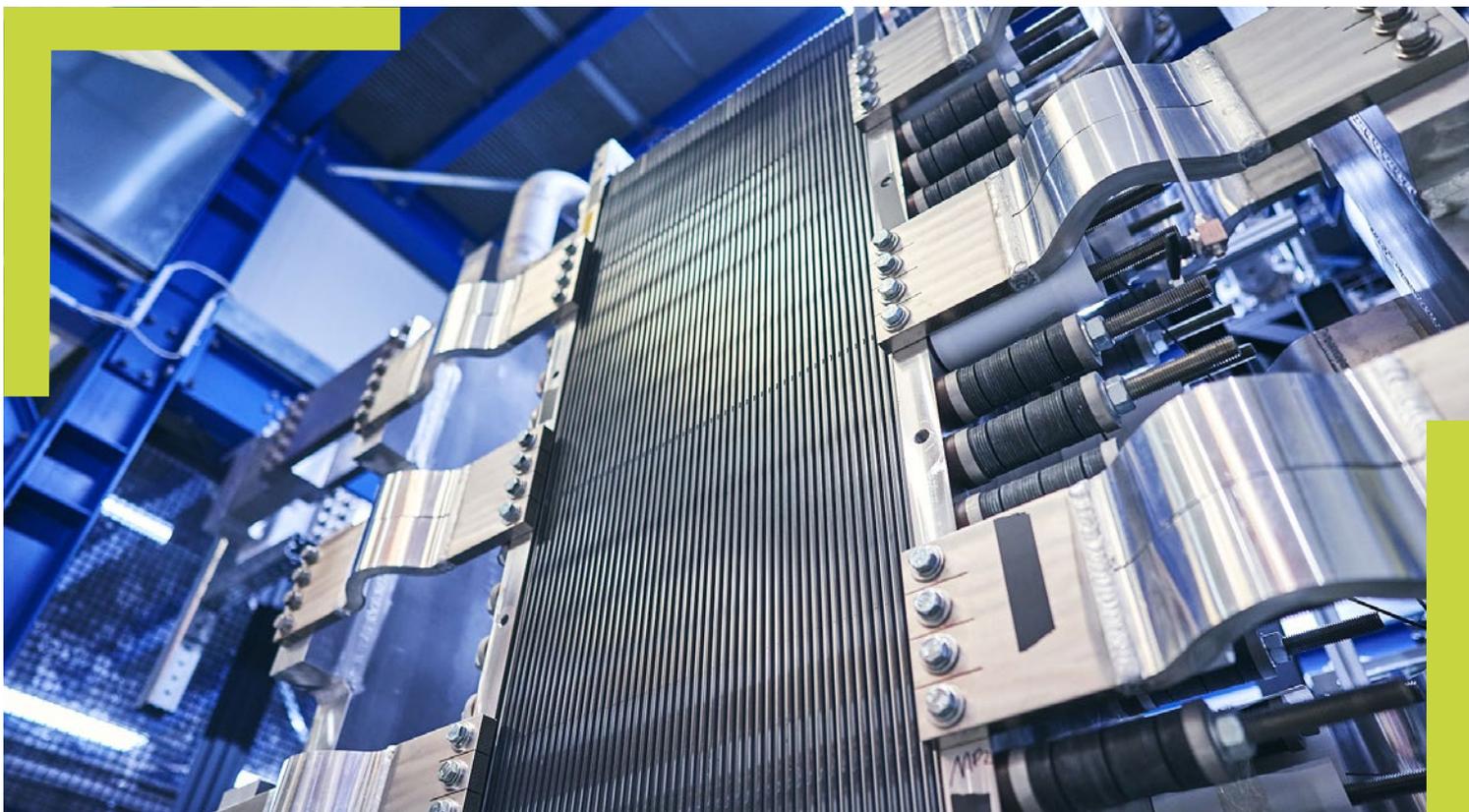
## 3.2 DERIEL

### De-Risking für PEM-Elektrolyseure

De-Risking, also Risikominimierung, bedeutet, dass die Betriebssicherheit von Elektrolyseuren erhöht wird. Die Betriebssicherheit ist umso wichtiger, je größer die Systeme sind und je mehr man sich von der Entwicklung in die Anwendung bewegt. Dafür arbeiten im Projekt DERIEL Partner aus Wissenschaft und Industrie zusammen und schaffen ein grundlegendes Verständnis über Degradations- und Versagensmechanismen in PEM-Elektrolyseuren. Die Untersuchungen decken den Bereich von kleinen Labor-Einzelzellen bis hin zu anwendungsnahen Teststationen im Megawatt-Bereich ab. Aus diesen Ergebnissen entwickeln die Partner Maßnahmen, um Degradation zu verhindern oder zu minimieren. Solche Maßnahmen sind typischerweise Auswahl und Festlegung geeigneter Betriebsfenster

sowie definierte Protokolle für besonderer Betriebsbedingungen, wie Start/Stop, Lastwechsel oder Emergency Shutdown. Zu Analyse der Alterungsmechanismen setzen die Partner, neben der elektrochemischen Charakterisierung, aufwändige Analytik ein, wie zum Beispiel Computertomografie, Elektronenmikroskopie, NMR- und RAMAN-Spektroskopie, mit denen Material vor und nach dem Einsatz im Elektrolyseur verglichen werden. Mit dem Wissen um die Vorgänge im Elektrolyseur, z.B. Partikelwachstum des Katalysators oder Veränderung der Elektrodenstruktur, kann das Gesamtsystem nach dem Pareto-Prinzip optimiert werden.

Koordinator: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**



## 3.3 SineWave

### Innovative sektorgekoppelte Elektrolysesysteme

Schwerpunkt des Projekts SineWave ist die Optimierung der gesamten Elektrolyseanlage, vor allem aber der Peripheriekomponenten. Für die Anlage soll eine Technologiebasis erforscht werden, die unabhängig von der Leistungsklasse auf verschiedene Elektrolyseure anwendbar ist. Maßgeschneiderte Anlagenkomponenten, zum Beispiel für die Trennung von Sauerstoff und Wasser, werden entwickelt. Für die Materialentwicklung werden Prüfstände aufgebaut und die Leistung sowie das Degradationsverhalten in Short-Stacks untersucht. Das Gesamtsystem wird auch auf seine Eignung zur Serienfertigung hin optimiert und innovative Technologien eingesetzt, wie zum Beispiel Additive Fertigung. Ein wichtiger Bestandteil von SineWave ist darüber hinaus auch die Prozessintegration des Elektrolyseurs, z.B. in Anlagen zur Herstellung von Methanol oder Ammoniak oder die Kombination mit konventionellen Anlagen zur Dampfreformierung von Methan. SineWave

bereitet die Schnittstellen dafür. Digitale Lösungen für den sicheren Betrieb des Elektrolyseurs sowie eine intelligente Steuerung des Gesamtsystems werden entwickelt. So werden die Gesamtkosten für das System und auch die laufenden Kosten im Betrieb (OPEX) reduziert.

Das Vorhaben beinhaltet folgende Arbeitspakete:

AP 1: Digitale Lösungen

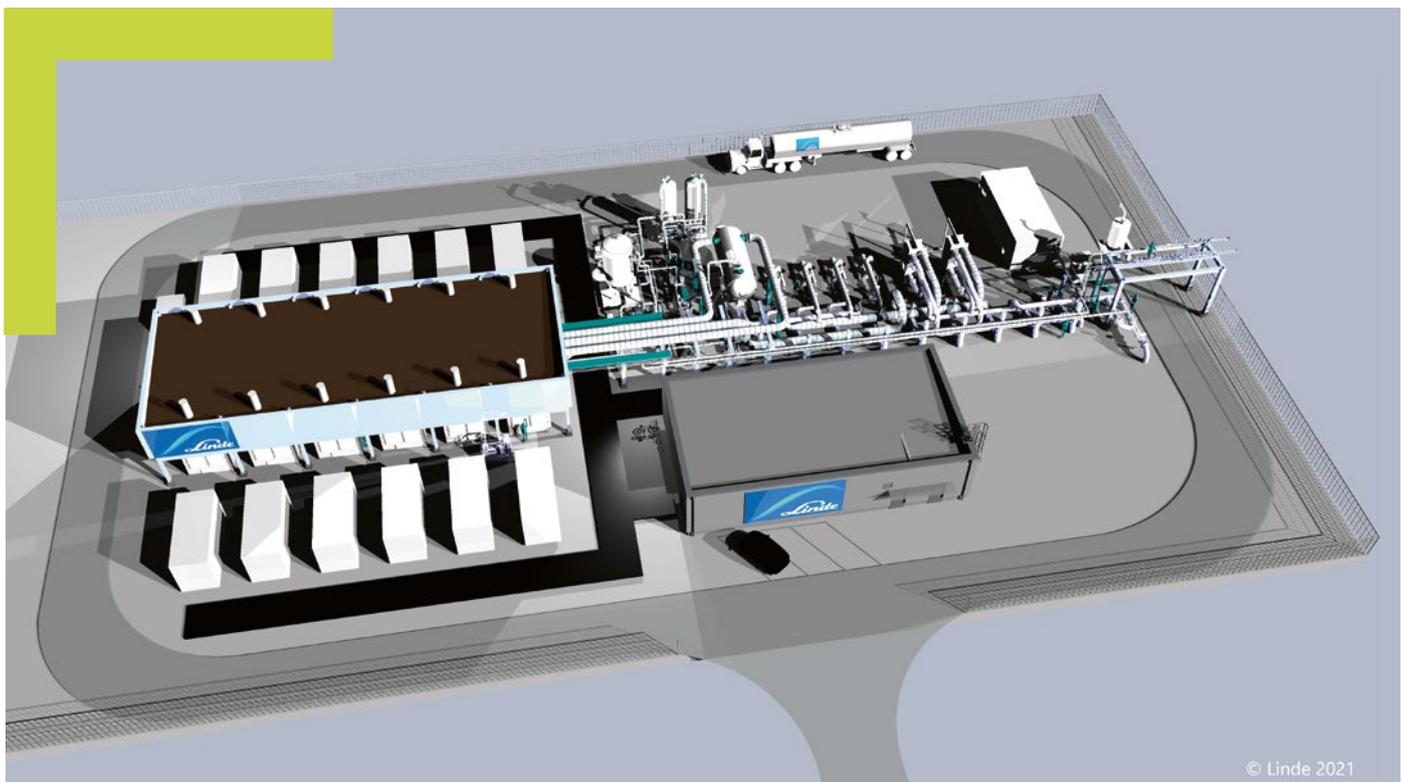
AP 2: Smarte Materialien und Apparate

AP 3: Wasser/Sauerstoff-Trennung

AP 4: Performancemessungen und Prozessintegration

AP 5: Training, Aus- und Weiterbildung

Koordinator: **Linde GmbH**



© Linde 2021

3D Plot Plan 24MW Elektrolyse Anlage © Linde GmbH

## 3.4 IntegrH2ate

### Elektrolyseure mit Mehrwert betreiben

Die großtechnische Umsetzung von Elektrolyseanlagen liegt zurzeit weit hinter den Erwartungen zurück. Ein Hauptgrund für zögerliche Investitionsentscheidungen ist die schlechte Wirtschaftlichkeit von Elektrolyseanlagen. Deshalb besteht der dringende Bedarf an einer Optimierung des OPEX/CAPEX von Groß-Elektrolyse-Anlagen, um damit deren Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Zur weiteren Verbesserung der Wirtschaftlichkeit sollen Konzepte der effektiven Nutzung der Nebenprodukte Sauerstoff und Wärme entwickelt und erforscht werden. Um das Nebenprodukt Sauerstoff nutzen zu können, müssen im Rahmen von IntegrH2ate neuartige Prozesse zur Sauerstoff-Aufreinigung und Verdichtung analysiert und deren Eignung für potentielle Abnehmer konzeptioniert und simuliert werden. Die Abwärme des Elektrolyseurs wird im Rahmen des Projektes innerhalb einer skalierten Demonstrationsanlage mit einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden,

so dass diese besser als Wärme am Produktionsort (z.B. in Chemie-parks oder in Raffinerien) genutzt werden kann. Des Weiteren sollen im Rahmen von IntegrH2ate Konzepte zur Konditionierung der Wasser- und Abwasserströme von Elektrolyseanlagen erforscht werden.

Das Vorhaben beinhaltet folgende Arbeitspakete:

- AP 1: Erforschung von Groß-Elektrolyse-Anlagen bis zu 1GW
- AP 2: Aufreinigung und effektive Nutzung des Elektrolyse-  
produktes Sauerstoff
- AP 3: Auskopplung und effektive Nutzung des  
Nebenproduktes Wärme
- AP 4: Wasserkonditionierung

Koordinator: **Linde GmbH**







## 3.5 PEP.IN

### Industrialisierung der PEM-Elektrolyse-Produktion

Das Ziel von PEP.IN ist, Elektrolyseure in großen Stückzahlen wettbewerbsfähig herzustellen. Dafür entwickeln die Partner Produktionstechnologien und -verfahren, die in dieser Form bislang noch nicht am Markt existieren. Als Entwicklungsansatz für die Automatisierung und Hochskalierung der Elektrolyse dienen Erkenntnisse aus dem Bereich Brennstoffzelle für den Automobilsektor, und so haben Automobilhersteller und -zulieferer auch eine wichtige Funktion in diesem Projekt. Die Weiterentwicklungen und Kostenreduktionen im Rahmen von PEP.IN erstrecken sich über alle Wertschöpfungsstufen in der Herstellung eines Elektrolyseurs. Es entstehen Serienproduktionsverfahren für den Einsatz in einer Giga-Factory, und auch das Stack-Design wird auf seine Eignung für die automatisierte Produktion hin angepasst (*Design for Production*). Parallel dazu wird an einem ‚Stack of the Future‘ geforscht, der als Basis für spätere Elektrolyseur-Generationen dienen soll. Aber auch die aktuelle Stack-Generation wird durch spezifisch entwickelte Greifer und Assembling-Robotik vollautomatisch und reproduzierbar zusammengesetzt werden. Verschiedene Verfahren zur Ausgestaltung von Montagelinien werden aus akademischer und industrieller Sicht beleuchtet. In die Herstellungsprozesse werden zudem intelligente Überwachungsmöglichkeiten für den Betrieb der Elektrolyseure integriert, so dass die Anlagen über ihre gesamte Lebensdauer hinweg optimal eingesetzt werden. Auch die spätere Wartung wird hier bereits mitgedacht: intelligente Systeme für *predictive maintenance* tragen zu langer Lebensdauer und effizientem Einsatz von Wartungsaufwand bei. Nicht zuletzt entwickeln die Partner Logistikkonzepte für eine qualifizierte und massenfertigungstaugliche Lieferkette. Durch die Arbeiten in PEP.IN soll mittelfristig eine Produktion von einem Gigawatt Elektrolysekapazität pro Jahr ermöglicht werden.

Koordinator: **MAN Energy Solutions SE**

## 3.6 HTEL-Stacks – Ready for Gigawatt

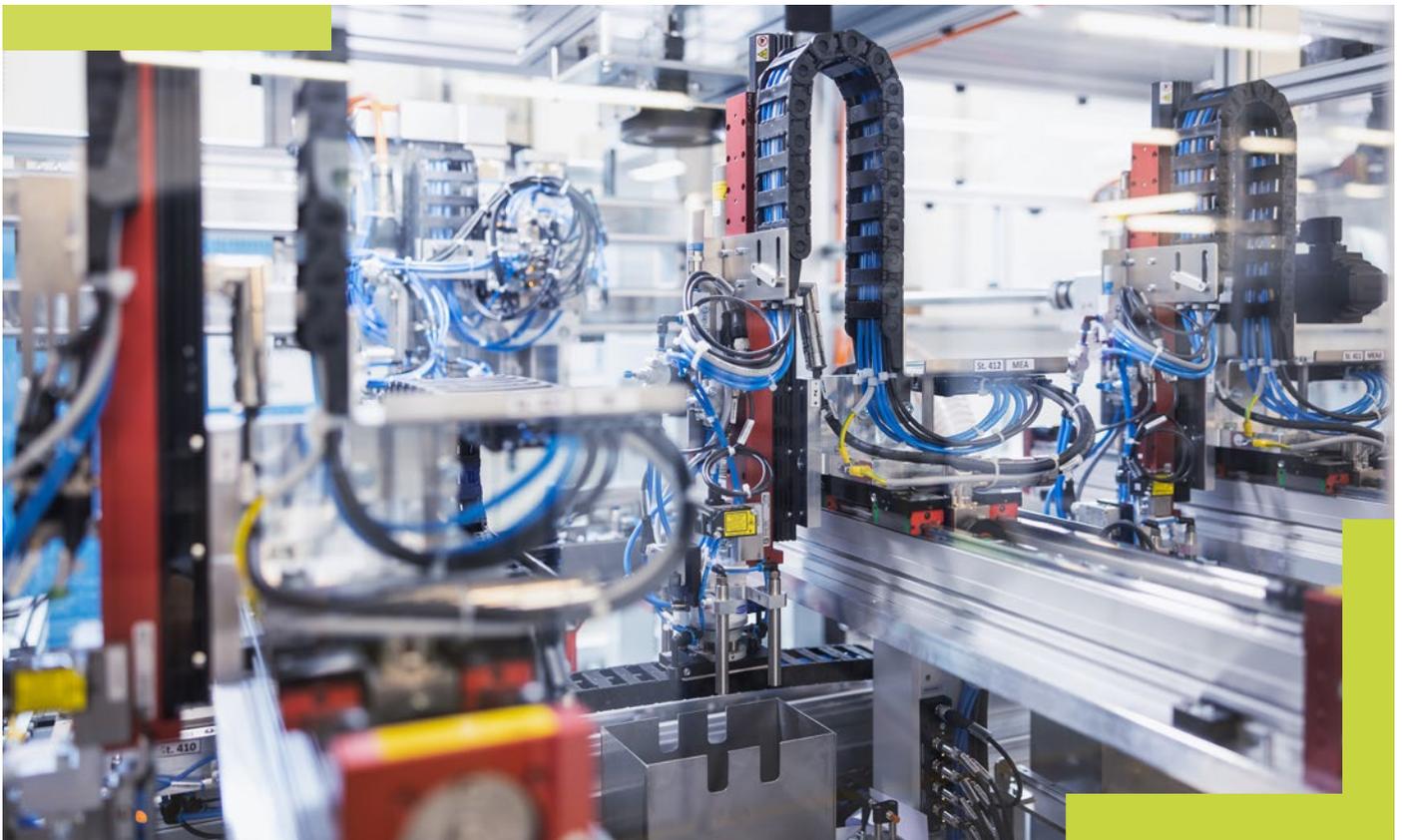
### Stacks für die Hochtemperatur-Elektrolyse im Gigawatt-Bereich

Der Hochtemperatur-Elektrolyseur ist die bevorzugte Elektrolyse-lösung für industrielle Anwendungen, in denen Wasserdampf zur Verfügung steht. Durch die Nutzung industrieller Abwärme erzielt der HTEL-Elektrolyseur eine deutlich höhere Umwandlungseffizienz im Vergleich zu anderen Technologien. Dadurch kann bei gleichem Strombedarf wesentlich mehr Wasserstoff produziert werden. Kernelement zur Produktion von Grünem Wasserstoff mithilfe des Elektrolyseurs ist die HTEL-Zelle, wobei hier zahlreiche Zellen zu einem Stack aufgestapelt werden.

Dieses Projekt setzt den Schwerpunkt darauf, die Stacktechnologie in den Gigawatt-Maßstab zu bringen. Dafür legen die Partner den Fokus auf weitere Entwicklungsschritte hinsichtlich Lebensdauer,

Materialkosten, Effizienz, Fertigungstechnologien sowie Produktions-hochskalierung. Durch Innovationen in der Zelle und im Stack, werden unter anderem Leistung und Langzeitstabilität verbessert sowie ihre Eignung für eine zukünftige automatisierte Fertigung hin optimiert (design for automation). Mit der Entwicklung von Anlagentechniken, wie beispielsweise eines Stack-Stapelautomaten sowie der Konzeptionierung eines Logistiknetzwerkes werden so die Grundlagen für die zukünftige industrielle Serienfertigung der HTEL-Stacks in den Gigawatt-Maßstab geschaffen.

Koordinator: **Sunfire GmbH**



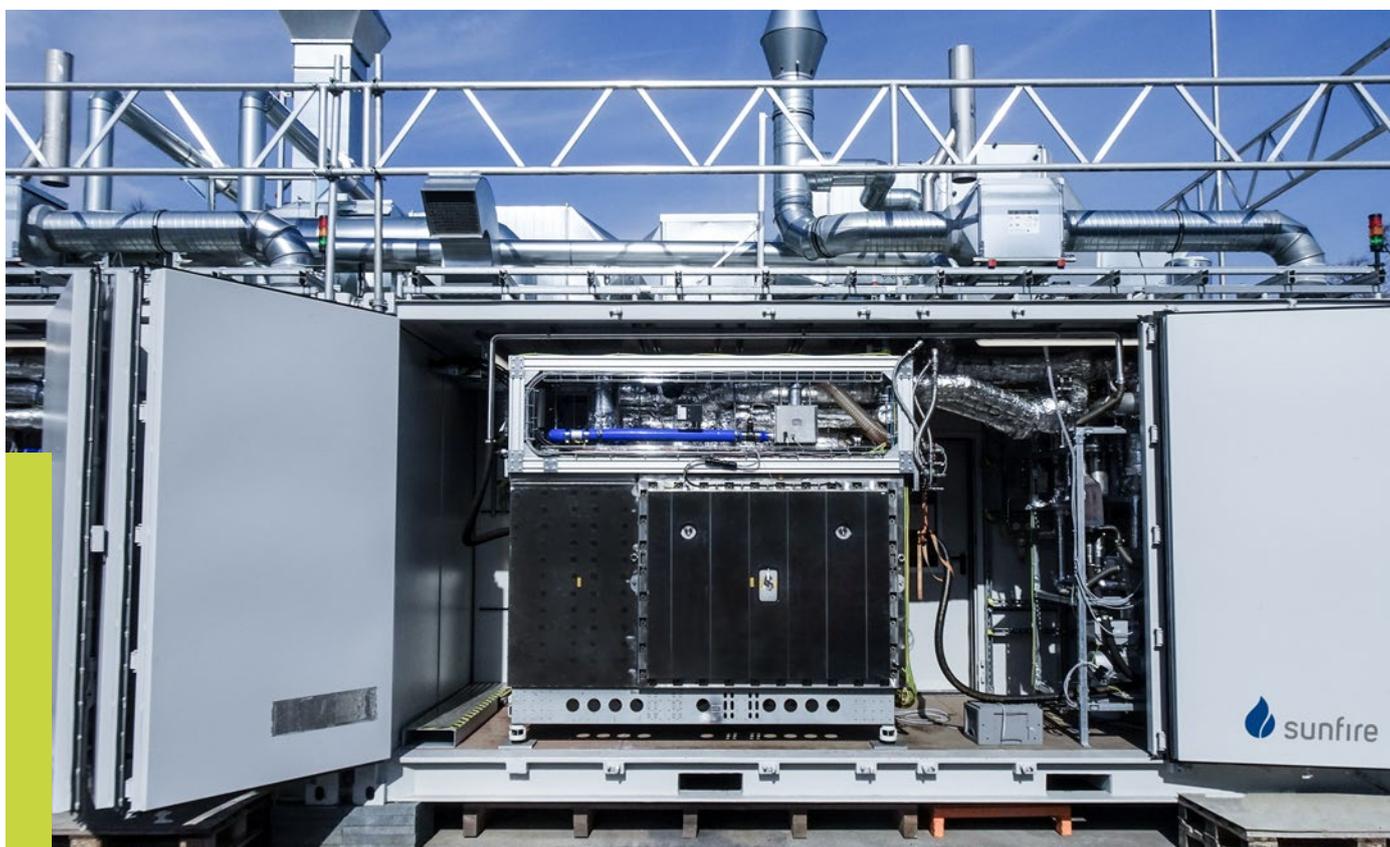
## 3.7 HTEL-Module – Ready for Gigawatt

### Hochtemperatur-Elektrolyseure im industriellen Maßstab

Ein Elektrolyseur besteht aus dem Stack, seinem Kernstück, und der umgebenden Peripherie. Unter HTEL-Module versteht man die Verschaltung von HTEL-Stacks aus HTEL-Zellen mit den Komponenten zur Führung von Edukt- und Produktströmen, inkl. thermoenergetischem Management und elektrischem Leistungsmanagement. Module können durch Multiplikation zu skalierbaren Elektrolyseanlagen zusammengeschaltet werden. Um den stark wachsenden Markt für Wasserelektrolyseure wirtschaftlich bedienen zu können, entwickeln die Partner neue Generationen von HTEL-Modulen, welche in großen Stückzahlen produzierbar sind und deren Herstellkosten gegenüber dem heutigen Stand erheblich günstiger sind. Um dies zu erreichen, wird die Technologie auf seine Skalierbarkeit hin optimiert, so dass erhebliche Kosteneinsparungen durch Skaleneffekte

erreicht werden (*design to cost Ansatz*). Die in diesem Projekt gemeinsam bearbeiteten Forschungs- und Entwicklungsthemen zur Realisierung eines großskaligen HTEL-Moduls der neuen Generation, sowie die zugehörigen Produktionsprozesse sowie Betriebsstrategien werden dazu beitragen, den stark wachsenden Markt für die Wasserelektrolyseure wirtschaftlich bedienen zu können. Insbesondere in den Anwendungen, in denen Wasserdampf zur Verfügung steht, bietet sich hier die Möglichkeit zu einer besonders effizienten Herstellung von Wasserstoff.

Koordinator: **Sunfire GmbH**



## 3.8 AEL4GW

### Alkalische Elektrolyse für den Gigawatt-Maßstab

Die Druck-Alkali-Elektrolyse (AEL oder AWE) ist eine besonders ausgereifte und robuste Technologie. Dennoch gibt es für die Weiterentwicklung eines alkalischen Elektrolysemoduls bis in den industriellen Maßstab noch zahlreiche technologische Fragestellungen. Insbesondere müssen für die industrielle Serienfertigung Funktionsbausteine des Elektrolyseurs im Sinne der Modularität überdacht und für den Gigawatt-Maßstab taugliche Produktionsprozesse entwickelt werden. Das Projekt AEL4GW stellt sich der Herausforderung, eine neue Generation Druck-Alkali-Elektrolyseure für 30 bar(g) Betriebsdruck zu entwickeln, die gegenüber dem Stand der Technik sowohl effizienter arbeiten als auch eine großskalige und kosteneffiziente Produktion zulassen. Beispiele für technische Innovationen in diesem Projekt sind leistungsfähige und skalierbare Beschichtungstechniken für Elektroden, automatisierte Prozesse zur Herstellung und Fügung von Dichtungen sowie Modellierung elektrochemischer Prozesse in den Zellen.

Im ersten Projektbaustein passt das Konsortium die existierende Technologie – das sind Zelle, Stack und System – an die aktuellen Anforderungen an und entwickelt eine neue Generation von Druck-Alkali-Elektrolyseuren. Auf dieser Basis wird die Skalierung vollzogen, inklusive der Entwicklung von zugehörigen Fertigungs- und Logistikprozessen. Die neuen Konfigurationen werden validiert und die Prozessentwicklung und Fabrikplanung bis in den Gigawatt-Bereich durchgeführt. Im zweiten Projektbaustein werden Multi-Megawatt-Elektrolyseanlagen durch Verschaltung von Elektrolyseuren zu über 100-Megawatt-Anlagen detailliert ausgearbeitet und geplant. Es entstehen unter Berücksichtigung von Standortfaktoren Konzepte für große Anlagen zur Erzeugung von Grünem Wasserstoff auf Grundlage einer ausgereiften Technologie. Als Ergebnis entsteht ein zentraler Baustein für den Wasserstoffhochlauf und für die Dekarbonisierung wichtiger Industriezweige.

Koordinator: **Sunfire GmbH**



## 3.9 INSTALL AWE

### Industrialisierung der alkalischen Wasserelektrolyse

Im Verbundvorhaben INSTALL AWE wird die Industrialisierung der alkalischen Wasserelektrolyse (AWE oder AEL) auf verschiedenen Ebenen vorangetrieben. Die Partner forschen an einer komplett neuen Stack- und Zellenentwicklung, der nächsten Technologie-Generation der alkalischen Elektrolyse. Dieses neue Zelldesign ist speziell auf seine Produzierbarkeit hin optimiert. Es werden Technologien für ein vollautomatisiertes Assembling von Stack und Elektrolysemodul entwickelt und durch den Einsatz von Robotik werden sowohl die

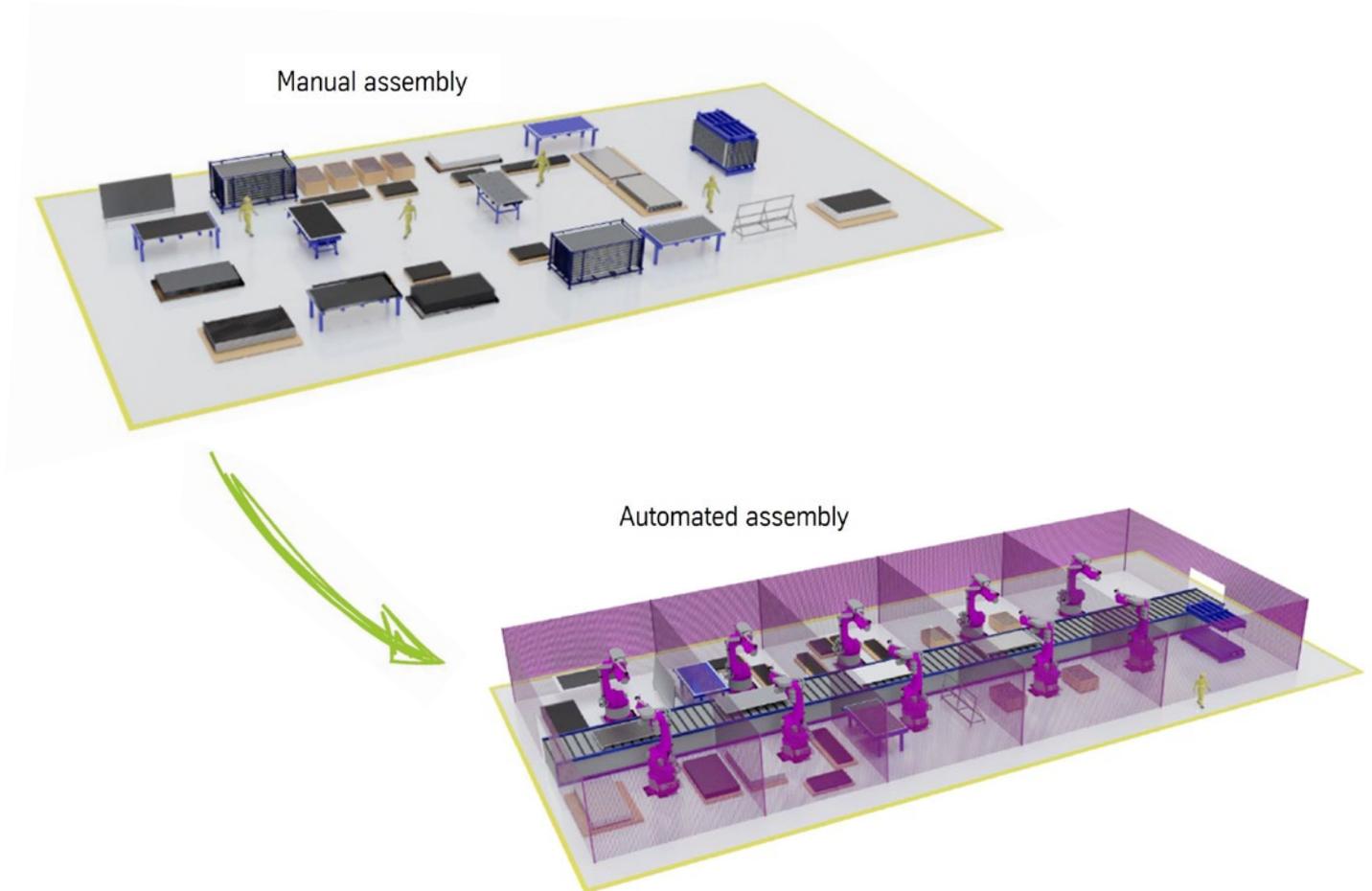
Fertigung als auch die derzeit noch manuelle Montage optimiert. Zusätzlich verbessern die Partner die Lieferkette, damit diese die Anforderungen einer industriellen Serienfertigung erfüllt. Das Ziel des Projekts ist es, die Kapazität der Elektrolysefertigung massiv zu erhöhen und gleichzeitig die Kosten der Herstellung zu senken.

Koordinator: **thyssenkrupp nucera AG & Co. KGaA**



## 3.10 NCALab

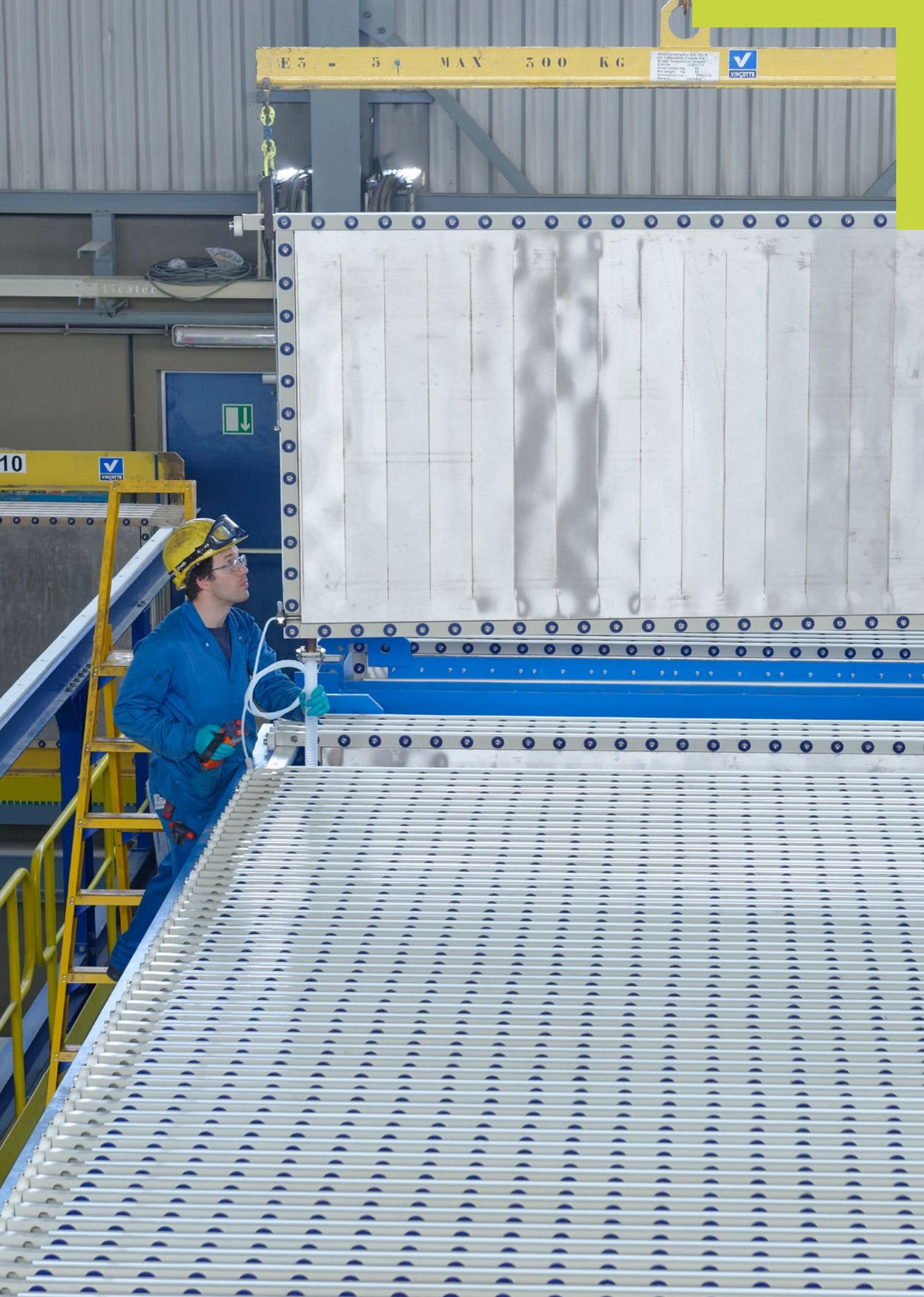
### *Nucera assembly lab* für alkalische Elektrolyseure



Während das Projekt INSTALL-AWE die Serienfertigungs-Technologien für den mittel- und langfristigen Hochlauf der Elektrolyse entwickelt, arbeitet NCALab an Maßnahmen für die kurzfristige Umsetzung. Auf der kurzen Zeitskala von zwei bis drei Jahren sollen Prozesse durch punktuell eingesetzte industriefähige Automatisierungslösungen so verbessert werden, dass bereits laufende Elektrolyseprojekte davon profitieren können. Auch dort, wo aktuell die Zellmontage noch rein manuell erfolgt, werden einzelne Verbesserungen und semi-Automatisierungen für mehr Durchsatz, bessere Reproduzierbarkeit und

geringere Kosten sorgen. Die Ergebnisse tragen in Ergänzung zum Projekt INSTALL-AWE dazu bei, die künftige Großserienmontage der AWE-Zellen zu konkretisieren sowie Informationen über den erreichbaren Automatisierungsgrad und die erreichbaren Produktionskennzahlen zu gewinnen.

Koordinator: **thyssenkrupp nucera AG & Co. KGaA**





The background features several abstract geometric shapes in shades of green and yellow. There is a vertical bar at the top center, an L-shaped bar on the left side, a curved bar in the lower-left quadrant, and another L-shaped bar on the right side. A thin horizontal bar is visible at the bottom right.

# **4 H<sub>2</sub>Giga**

## **Next Generation Scale-up Projekte**

Foto des 150 kW Testfeldes mit eingebauten WEW-Stack am Forschungszentrum Energiespeichertechnologien in Goslar. © die drehen (diedrehen.de)





## 4.1 StaR – Stack Revolution

### Innovatives Stackdesign für die alkalische Elektrolyse

Die alkalische Wasserelektrolyse (AEL oder AWE) ist die am längsten etablierte Elektrolyseart. Ihre Vorteile sind eine hohe technische Reife und eine lange Lebensdauer. Dennoch stellt diese Technologie besondere Anforderungen an die serienmäßige Produktion des Stacks. Fragile Materialien müssen bei großen Zellflächen mit hoher Präzision miteinander verbunden werden. Gerade vor dem Hintergrund, dass zukünftig enorme Mengen an Wasserstoff benötigt werden und diese zu vertretbaren Preisen erzeugt werden müssen, wird dieser Faktor besonders wichtig. Hier setzt das Projekt StaR an:

Über die Entwicklung eines revolutionären Stack-Designs, die Verwendung kostengünstiger Materialien und hochautomatisierter Fertigungsverfahren sollen die Investitionskosten für das Herzstück der zukünftigen Wasserelektrolyseanlagen – den Stack – drastisch reduziert werden. Um die im Rahmen des Verbundprojekts StaR entwickelten und produzierten Short-Stacks experimentell zu untersuchen, wurde ein Testfeld an der TU Clausthal in Goslar aufgebaut. In diesem eigens entwickelten Testfeld können Short-Stacks im Maßstab 1:1 eingebaut und bei Drücken bis zu 1,4 bar(a), Temperaturen bis zu 90 °C und einer maximalen Last von 150 kW untersucht werden. Dabei werden die Stacks unter anwendungsnahen Bedingungen getestet, welche auch alltägliche Störfaktoren und dynamischen Betrieb einbeziehen. Die bisherigen Arbeiten haben gezeigt, dass das neue Stackdesign niedrige Herstellkosten mit wettbewerbsfähigem Wirkungsgrad und betrieblicher Flexibilität erfolgreich verbindet.

Koordinator: **WEW GmbH**

# 4.2 StacIE

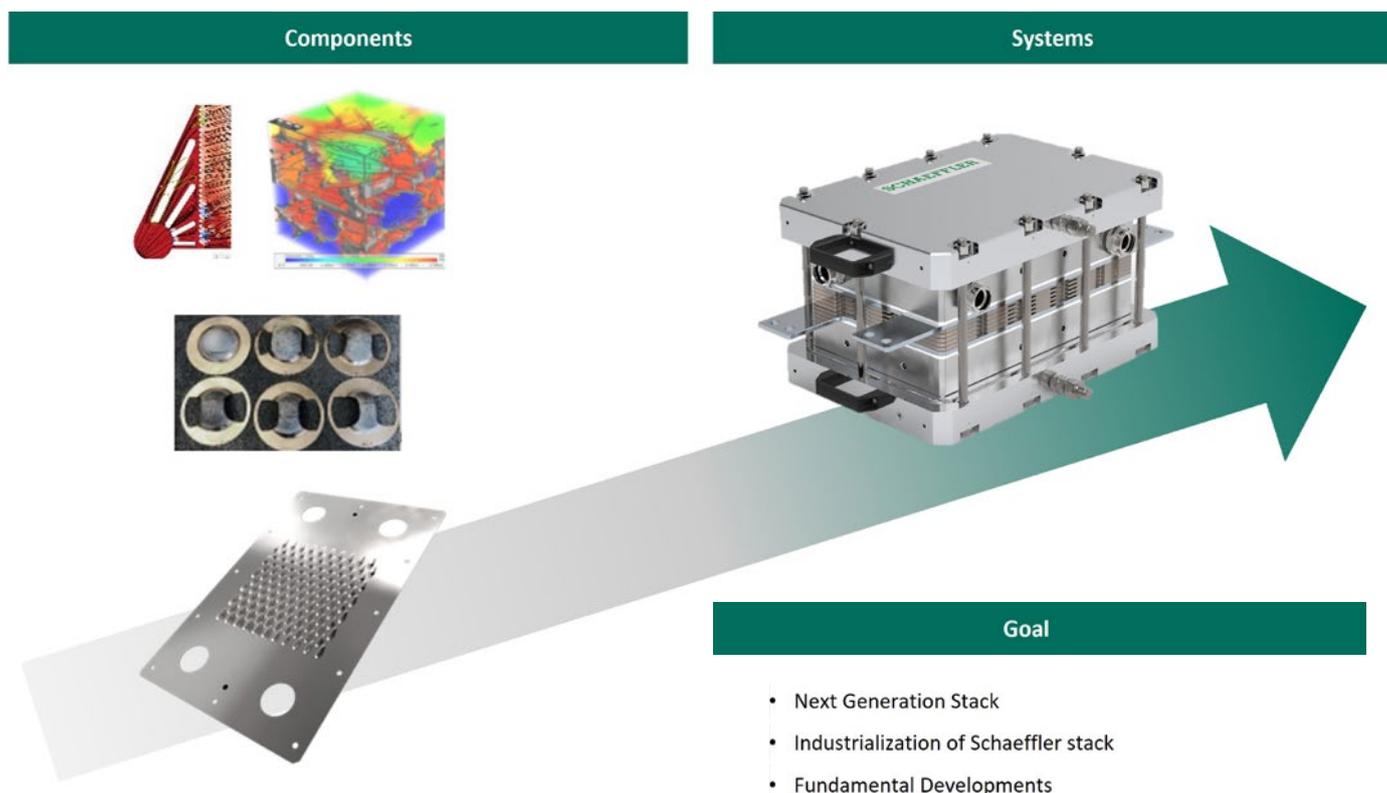
## Scale-up für den Stack der PEM-Elektrolyse

Im Projekt ‚Stack Scale-up – Industrialisierung der PEM-Elektrolyse‘, kurz StacIE, werden Technologien entwickelt, um für PEM-Stacks die Massenfertigung in den Gigawatt-Bereich p.a. vorzubereiten. Der Stack (deutsch: Stapel) ist die Kernkomponente eines Elektrolyseurs und besteht aus mehreren aufeinandergestapelten Elektrolysezellen, deren ‚Herz‘ eine Catalyst Coated Membrane (CCM) ist, welche aus der Membran und Katalysatorschichten besteht. An deren Oberfläche laufen die elektrochemischen Reaktionen ab. Zusammen mit den Bipolarplatten (BPP) und den porösen Transportschichten (PTL) bildet sie die elektrochemische Zelle. StacIE optimiert das Zusammenspiel der oben genannten Komponenten, die naturgemäß miteinander in starker Wechselwirkung stehen. Es werden ideale Kombinationen entwickelt, die nicht nur kostengünstig und effizient, sondern vor allem auch geeignet für die industrielle Massenfertigung sind. Für diese Massenfertigung werden in StacIE auch neue Verfahren entwickelt. Dies wird mit Hilfe des Aufbaus und der Montage mehrerer Demonstratoren in Testumgebung vorangetrieben – als Vorbereitung auf die Großserienproduktion.

Ein zentraler Untersuchungsgegenstand ist, in der Elektrolysezelle Funktionalitäten der porösen Transportschicht auf die Bipolarplatte zu übertragen, um das System kompakter und weniger komplex zu gestalten. Durch abgestimmte Material-, Beschichtungs- und Substratkombinationen wird die Elektrolysezelle nicht nur im industriellen Maßstab produzierbar, sondern auch robuster und langlebiger, was dauerhaft zu einer Senkung der Kosten führt. Durch die Bereitstellung massentauglicher Stack-Technologie und durch Standardisierung auf Ebene des Stacks und der Stack-Komponenten werden wesentliche Beiträge zur Industrialisierung der PEM-Elektrolyse geleistet. Die Identifikation optimaler Komponenteneigenschaften ist die Voraussetzung dafür, die Verfügbarkeit in den Lieferketten für die erwarteten Großserienbedarfe vorzubereiten.

Koordinator: **Schaeffler Technologies AG & Co. KG**

© Schaeffler Technologies AG & Co. KG



## 4.3 HY-Core

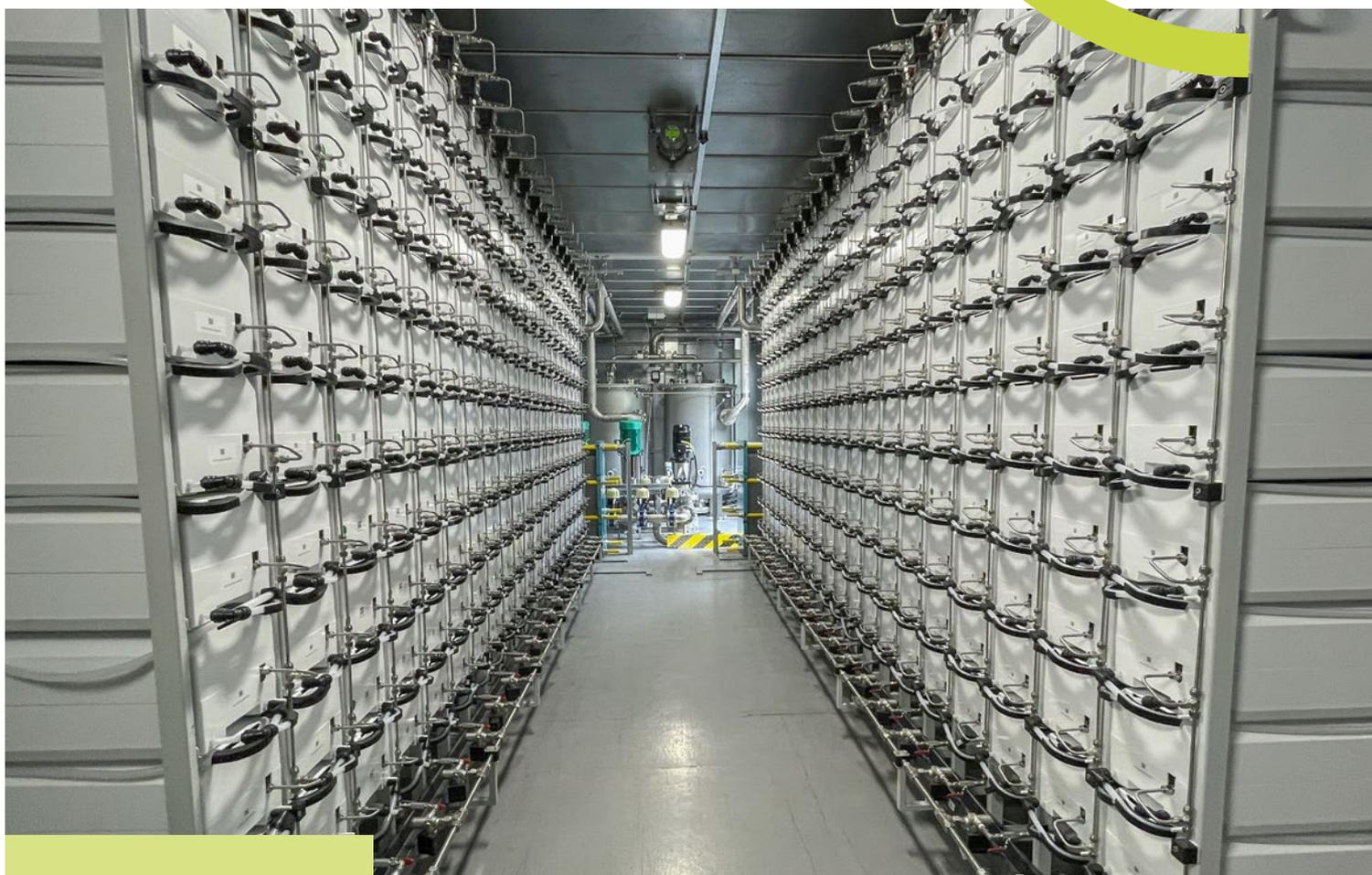
### Scale-up der AEM-Elektrolyse

Die AEM-Elektrolyse (AEM: Anionen-Austausch-Membran) ist die jüngste der verschiedenen Elektrolysetechnologien. Sie hat das Ziel, die Vorteile der PEM-Elektrolyse mit denen der alkalischen Elektrolyse zu kombinieren. Erstere profitiert von den Vorteilen einer Polymermembran, letztere von der Möglichkeit, auf die teuren Edelmetalle als Katalysator zu verzichten. HY-Core bringt die AEM-Technologie vom bisherigen Labormaßstab in den Megawatt-Maßstab. Das Gesamtsystem wird auf Resilienz und Betriebsfestigkeit hin optimiert. Ein modularer Aufbau im Sinne eines Numbering-ups vieler kleiner Stacks, die je nach Bedarf zugeschaltet werden können, ermöglicht einen besonders flexiblen Betrieb des Megawatt-Elektrolyseurs. So kann sich das System an Schwankungen im Stromangebot oder Wasserstoffbedarf anpassen.

Mit der AEM-Elektrolyse soll so eine großskalige, ressourcenschonende und kosteneffiziente Erzeugung von Wasserstoff direkt an der erneuerbaren Stromquelle realisiert werden.

Koordinator: **Enapter AG**

© Enapter AG



## 4.4 IRIDIOS

### Das Edelmetall Iridium in der PEM-Elektrolyse effizienter nutzen

Iridium ist ein wichtiger Bestandteil der Katalysatorschicht in PEM-Elektrolyseuren. Rechnet man die geplanten Mengen an Grünem Wasserstoff hoch und nimmt an, dass ein erheblicher Teil davon mit der PEM-Technologie produziert werden wird, kommt man auf Zahlen, die in die Größenordnung des heutigen Weltmarkts reichen. Selbstverständlich soll und wird das Iridium aus Elektrolyseuren nach dem Einsatz recycelt und erneut verwendet werden. Dennoch: während der Hochlaufphase der PEM Elektrolyse kann nur sparsamer bzw. effizienterer Einsatz dieses raren Metalls als Hebel Wirkung zeigen, um die angestrebten Gigawatt-Kapazitäten zu realisieren. Daher ist es von großer Bedeutung, Iridium sparsam zu verwenden und besonders effizient einzusetzen.

Das Projekt IRIDIOS greift auf erfolgreiche Arbeiten aus einem vorhergehenden Forschungsprojekt zurück, in dem die Partner Membran-Elektroden-Einheiten (MEAs) mit geringem Iridium-

Gehalt entwickelt haben. Innerhalb von H<sub>2</sub>Giga untersuchen die Partner auf drei verschiedenen Skalen unter anwendungsrelevanten Bedingungen die Wirkungsweise und das Stabilitätsverhalten dieser Iridium-armen MEAs. Das Projekt ist in den drei Säulen der Komponentenskalierung, Stack-Testung und Identifikation von Betriebs-effekten mit begleitenden Laboruntersuchungen aktiv und wird in allen drei Bereichen den Übergang vom Labor bzw. Pilot-Maßstab in den industriellen „Megawatt-Bereich“ vollziehen. Um schlussendlich den Gigawatt-Ausbau Richtung 2030 vorzubereiten, werden Katalysator- und MEA-Herstellung vorangetrieben sowie die gesamte Prozesskette im Hinblick sowohl auf die ökologischen als auch ökonomischen Auswirkungen hin untersucht.

Koordinator: **Heraeus Deutschland GmbH & Co. KG**



## 4.5 AEM-Direkt

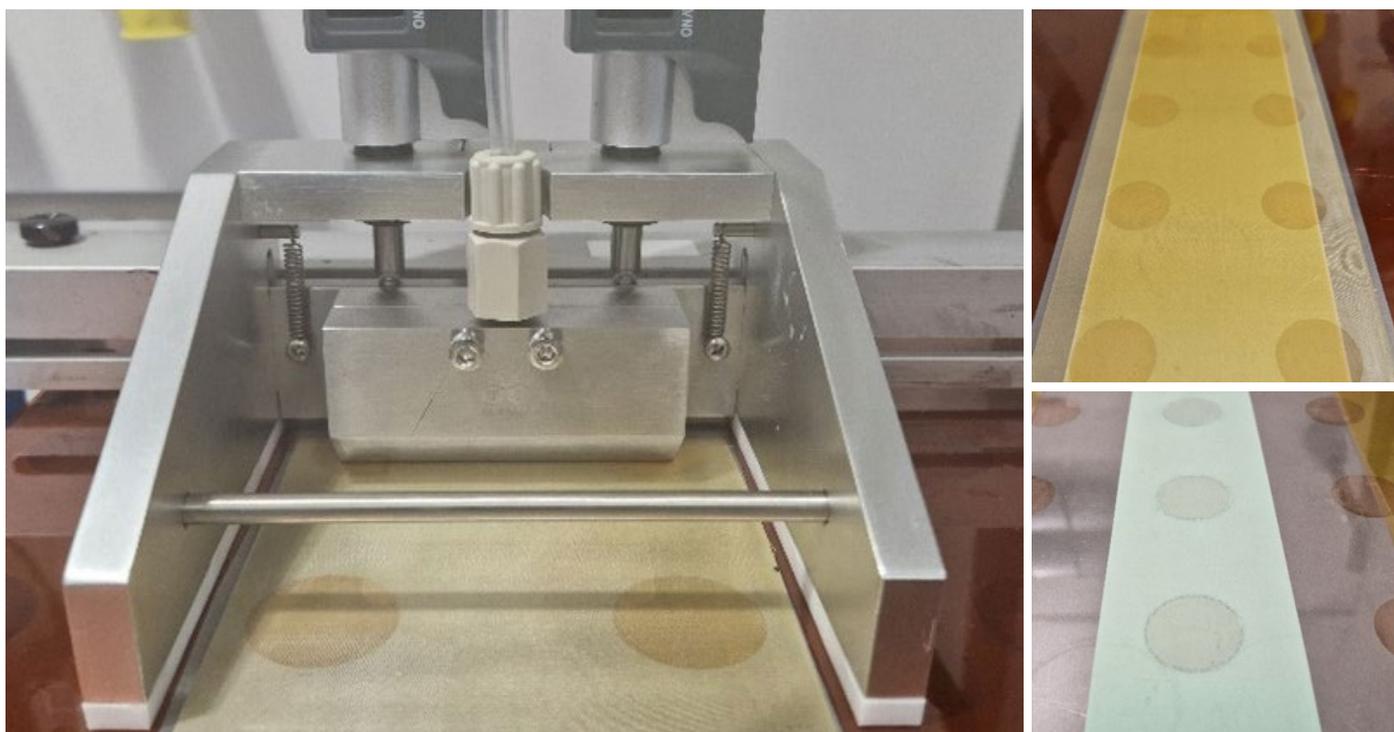
### Direktbeschichtung von AEM-Membranen für großskalige Elektrolyseure

Dieses Projekt widmet sich der Materialentwicklung für die hochinnovative AEM-Elektrolyse (AEM: anionenleitende Membran). Im Fokus von AEM-Direkt steht die Beschichtung der Membran mit Katalysatoren. Die Partner untersuchen und entwickeln kostengünstige und hochvolumentaugliche Direktbeschichtungsverfahren für die Abscheidung von Elektrokatalysatoren auf beschichteten Membranen und Stromkollektoren. Verschiedene Verfahren werden verglichen, insbesondere Gasphasenprozesse mit Beschichtungsmethoden aus einer Flüssigphase. Beispiele für Gasphasenprozesse sind Sputtern, Lichtbogenverdampfen und thermische Sprühbeschichtung. Beispiele für Flüssigphasenmethoden sind Beschichtungen mit partikelbasierten Pasten mittels Rakeln oder Schlitzdüse, aber auch elektrochemische oder solvothermische Abscheidung. Das

Projekt soll zunächst wichtige Forschungsfragen zu diesen Technologien beantworten, um in der Folge weitere Aktivitäten für größere Zellflächen zu starten, zunächst im kleinen Pilotmaßstab und schließlich in industrieller Skalierung mit etwa 5000 cm<sup>2</sup> aktiver Zellfläche. Idealerweise soll die AEM-Technologie die bisherigen Elektrolyseverfahren sinnvoll ergänzen und die Vorteile der PEM-Technologie mit denen der alkalischen Elektrolyse kombinieren.

Koordinator: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**

Schlitzdüsen-Versuchsanlage zur Direktbeschichtung von AEM-Membranmuster für 25-cm<sup>2</sup> Zellen in den Round Robin-Experimenten von AEM-Direkt. Die beiden rechten Bilder zeigen zwei Anodenkatalysatoren: Nickel-Eisen-Hydroxid mit Doppelschichtstruktur (braun) und Nickelhydroxid (grün). Die Kreise bilden Ansaugvorrichtungen ab.  
© Siemens Energy Global GmbH & Co. KG







# 5 H<sub>2</sub>Giga

Innovationspool Projekte



# 5.1 PrometH<sub>2</sub>eus

## Anwendungsorientierte Anodenentwicklung für die alkalische Elektrolyse



Die Sauerstoffentwicklungsreaktion an der Anode, die zusammen mit der Kathode und dem Separator die Kernelemente einer Elektrolysezelle sind, hat einen wesentlichen Einfluss auf die Leistung der alkalischen Wasserelektrolyse. Daher steht die Anode im Mittelpunkt der Forschung von PrometH<sub>2</sub>eus. Ziel ist, Wege aufzuzeigen, wie die Entwicklung neuer Anodenmaterialien von Beginn an gestaltet werden muss, um eine spätere, effiziente und langzeitstabile industrielle Anwendung zu gewährleisten. Das Projekt schlägt damit eine Brücke von der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung bis hin zur Anwendung. Die Materialsynthese wird dabei von modernsten operando Analytik- und Simulationsmethoden begleitet, welche permanent hinsichtlich ihres Einsatzes unter technisch-relevanten Bedingungen optimiert werden. Für aussichtsreiche Materialien werden dann die Hochskalierungsverfahren weiterentwickelt. Deren Testung erfolgt zunächst im Labormaßstab mit Elektroden-größen von 100 cm<sup>2</sup> mit besonderem Fokus auf technisch-relevante Messbedingungen. Anschließend werden aus den technisch vielversprechendsten Kandidaten Prototyp-Elektroden gefertigt und in industriellen Testständen validiert.

© Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion

Insgesamt 26 Partner aus Industrie und Wissenschaft vereinen in diesem Projekt ihre Expertise in Syntheseverfahren und Analytikmethoden. Das im Projekt generierte Wissen wird zudem in einem Leitfaden für anwendungsorientierte Elektrodenentwicklung der wissenschaftlichen Gemeinschaft für die zukünftige Forschung zur Verfügung gestellt.

Koordinator: **RWTH Aachen – Lehrstuhl für Elektrochemische Reaktionstechnik**

## 5.2 Fluorfreie Membran-Elektroden-Einheit

Forschung für Elektrolysezellen der nächsten Generation ohne fluorhaltige Materialien



Die Membran-Elektroden-Einheit, kurz MEA, ist das Herz der Elektrolysezelle. Bei der PEM-Elektrolyse werden üblicherweise als Membran Polymere auf Basis von Perfluorsulfonsäuren (PFSA) verwendet. Man kann sich dieses Material als PTFE (Polytetrafluorethylen, Handelsname z.B. Teflon®) mit angehängten Säuregruppen vorstellen. Letztere sorgen für die protonische Leitfähigkeit, während das PTFE-Rückgrat mechanische Stabilität und Integrität gewährleistet. Diese Materialien sind – typisch für perfluorierte Stoffe – chemisch außerordentlich stabil und halten den aggressiven Bedingungen in der Elektrolysezelle stand. Sie haben aber auch Nachteile: die aufwändige Fluorchemie macht ihre Herstellung teuer. Auch Entsorgung oder Recycling der Membran selbst bzw. der angrenzenden Katalysatorschichten wird durch die Gegenwart fluorierter Materialien schwieriger. Wünschenswert wäre daher ein protonenleitendes Membranmaterial, das nicht fluoriert ist, aber dennoch hohe Leistung und Langzeitstabilität bietet. Das Projekt ‚Fluorfreie-MEA‘ erforscht und entwickelt solche Membranmaterialien. Neueste Membranen, die auf fluorfreien Polymeren basieren, haben bereits vielversprechende Ergebnisse gezeigt. Sie verfügen über eine wesentlich geringere Gasdurchlässigkeit als PFSA-Membranen und gewährleisten eine sehr hohe Spannungseffizienz. Im Projekt ‚Fluorfreie-MEA‘ werden von den Partnern aus Industrie und Wissenschaft leistungsfähige fluorfreie MEAs mittels skalierbarer Technologien entwickelt. Damit wird ein Beitrag für effiziente und kostengünstige Wasserelektrolyseure der nächsten Generation geleistet.

Koordinator: **Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V. – Institut für Mikroanalysesysteme**

## 5.3 IREKA

### Weniger Iridium bei gleicher Leistung in der PEM-Elektrolyse

PEM-Elektrolyseure nutzen Iridium als Katalysator auf der Anode, üblicherweise in Form von Iridiumoxid ( $\text{IrO}_2$ ). Das seltene und teure Edelmetall gilt bisher in dieser Anwendung häufig als alternativlos, weil es den stark sauren und oxidierenden Bedingungen in der Katalysatorschicht über lange Zeiträume standhält. Vor dem Hintergrund des geplanten massiven Hochlaufs der Wasserstofftechnologien kann man heute schon abschätzen, dass allein der Bedarf für die PEM-Elektrolyse einen nicht unerheblichen Anteil des gesamten Weltmarkts von Iridium ausmachen wird. Auch wenn wir heute davon ausgehen, dass der größte Teil des Iridiums nach Nutzung im Elektrolyseur wiedergewonnen wird, lässt eine derart hohe Nachfrage entsprechende Preiserhöhungen erwarten.

Um in der PEM-Elektrolyse mit weniger Iridium bei gleicher Leistung und Stabilität auszukommen, erforscht und entwickelt das Projekt

IREKA neue Katalysatormaterialien. Ziel ist die Reduzierung des Iridium-Gehalts auf der PEM-Anode unter Beibehaltung der katalytischen Aktivität. Die erfolgt z.B. durch den Einsatz geträgerter Iridium-Katalysatoren, bei denen die katalytisch aktiven Zentren besonders homogen verteilt sind. So kann mit weniger Iridium-Beladung eine große, katalytisch aktive Oberfläche erzeugt werden. Weitere Ansätze sind die Beimischung eines weiteren Metalls (z.B. durch Legierungsbildung) sowie die gezielte Verbesserung der Morphologie. Auch alternative Syntheserouten sowie die Erhöhung der Korrosionsstabilität durch Dotierung des Trägermaterials werden erforscht. Die Partner von IREKA arbeiten neben der Materialentwicklung auch an Herstellungsverfahren von neuen katalytisch aktiven Beschichtungen.

Koordinator: **Leibniz-Institut für Katalyse e.V.**

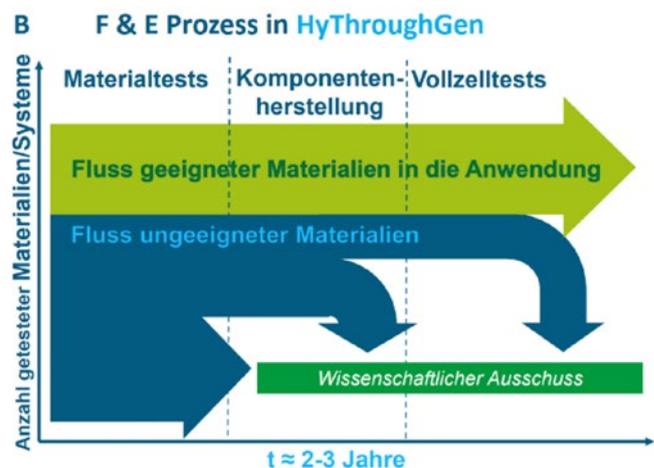


## 5.4 HyThroughGen

### Beschleunigte Entwicklungszyklen für die PEM-Elektrolyse durch Einsatz von Hochdurchsatz-Verfahren

Neue Materialien für die Elektrolyse haben typischerweise Entwicklungszyklen von bis zu 10 Jahren. Das soll in Zukunft schneller gehen. Das Projekt HyThroughGen erforscht und entwickelt dazu Hochdurchsatzverfahren für die Bewertung neuer Materialien und wichtiger Zellkomponenten in der PEM-Elektrolyse. Geforscht wird an Membran- und Elektrodenmaterialien, bzw. der Membran-Elektroden-Einheit, dem Kernstück der Elektrolysezelle. In Hochdurchsatzverfahren erstellen die Partner Materialbibliotheken und Komponentenbibliotheken und charakterisieren die Materialien bezüglich der Leistung und der Langzeitstabilität. Experiment, Auswertung und Simulation werden so kombiniert, dass vielversprechende Konfigurationen besonders schnell identifiziert und validiert werden können. Ziel von HyThroughGen ist, neue, verbesserte Materialien und Komponenten innerhalb von 2 bis 3 Jahren anstelle der üblichen 10 Jahre für die Eignung in der Wasserelektrolyse zu bewerten.

Koordinator: **Forschungszentrum Jülich GmbH - Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien**

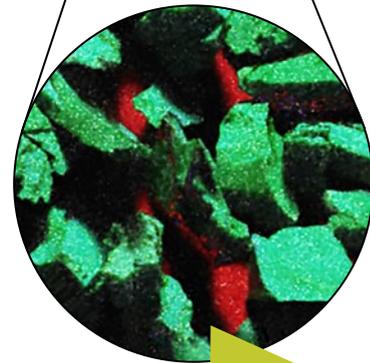
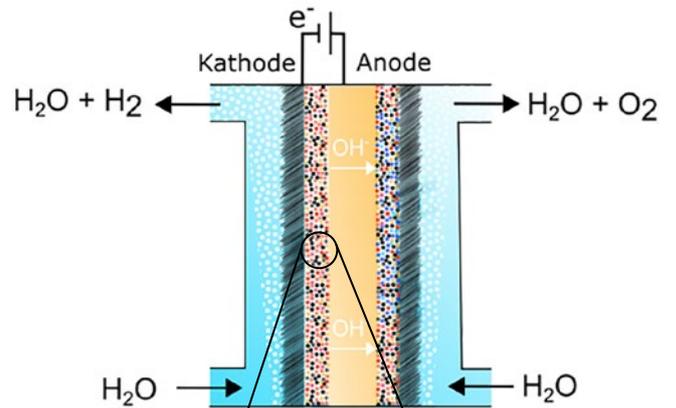


# 5.5 AlFaKat

## Neuartige Katalysatoren für AEM-Elektrolyse

In diesem Projekt werden elektrochemische Katalysatoren für die AEM-Elektrolyse weiterentwickelt. Neben der Materialentwicklung steht hier ganz besonders die Erforschung von Herstellverfahren für eine großskalige, kontinuierliche Katalysatorproduktion im Vordergrund. Als Verfahren wurde die PVD-Pulverbeschichtung (Physical Vapour Deposition) ausgewählt. Mit ihr werden Core-Shell-Katalysatoren hergestellt, bei denen die Aktivkomponente als Katalysator auf einem Trägersubstrat aufgebracht wird. Die Katalysatoren werden zu Elektroden und schließlich zu Membran-Elektroden-Einheiten verarbeitet und unter anwendungsnahen Bedingungen in Einzelzellen getestet. Die einfach skalierbare PVD-Technologie in Kombination mit dem Einsatz unedler Übergangsmetalle als aktive Komponente soll die kostengünstige und großtechnische Katalysatorproduktion für AEM-Elektrolyseure ermöglichen.

Koordinator: ZBT – Zentrum für Brennstoffzellen-Technik GmbH



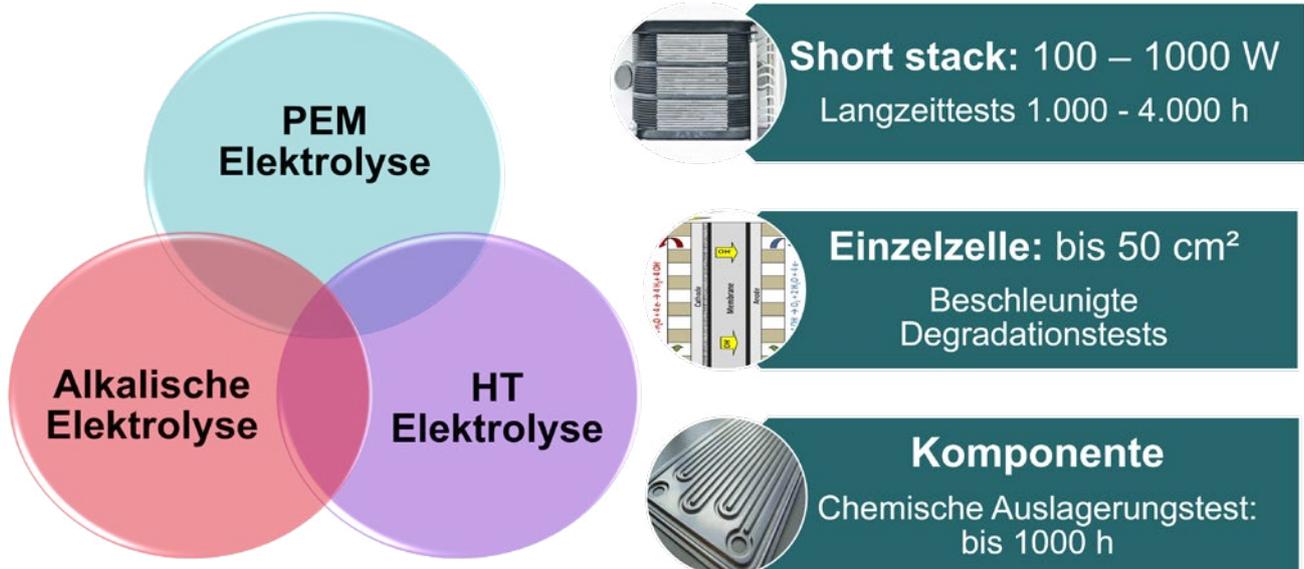
## 5.6 Degrad-El3

### Degradationsmechanismen und Lebensdauer vorhersage der verschiedenen Elektrolysetechnologien

Elektrolysezellen sollen nicht nur effizient Wasserstoff produzieren, sondern sie müssen auch langzeitstabil sein, und zwar über mehrere Jahre. Um sicherzustellen, dass ein neu entwickeltes Material so lange durchhält, kann man es unter realen Bedingungen entsprechend lange testen. Doch das kostet sehr viel Zeit und verlängert Entwicklungszyklen. Alternativ oder ergänzend zu einem Echtzeit-Test kann man die Degradationsmechanismen des Materials analysieren und mit einem Verständnis der zugrundeliegenden Prozesse Voraussagen zur erwarteten Lebensdauer bestimmter Materialien machen. Das Projekt Degrad-El3 untersucht für drei der Elektrolysetechnologien, nämlich die PEM-, die alkalische und die Hochtemperaturolektrolyse, ebensolche Zusammenhänge. Materialien und Komponenten werden in Einzelzellen oder

Short-Stacks experimentell untersucht, inklusive post-Test-Analysen, welche Auskunft über die verschiedenen Degradationsmechanismen geben. In beschleunigten Alterungstests werden besonders aggressive Bedingungen eingestellt, um einzelne Degradationsmechanismen im Zeitraffer ablaufen zu lassen. Diese Arbeiten werden durch den Einsatz von künstlichen neuronalen Netzen, sowie Quantencomputing- und hybriden Machine-Learning-Methoden unterstützt. Das Ziel des Projekts ist, die Langzeitstabilität für die untersuchten Materialien auch ohne jahrelange Echtzeit-Tests einzuschätzen oder idealerweise vorauszusagen, damit neue Materialien schneller entwickelt werden können.

Koordinator: **DECHEMA – Forschungsinstitut**



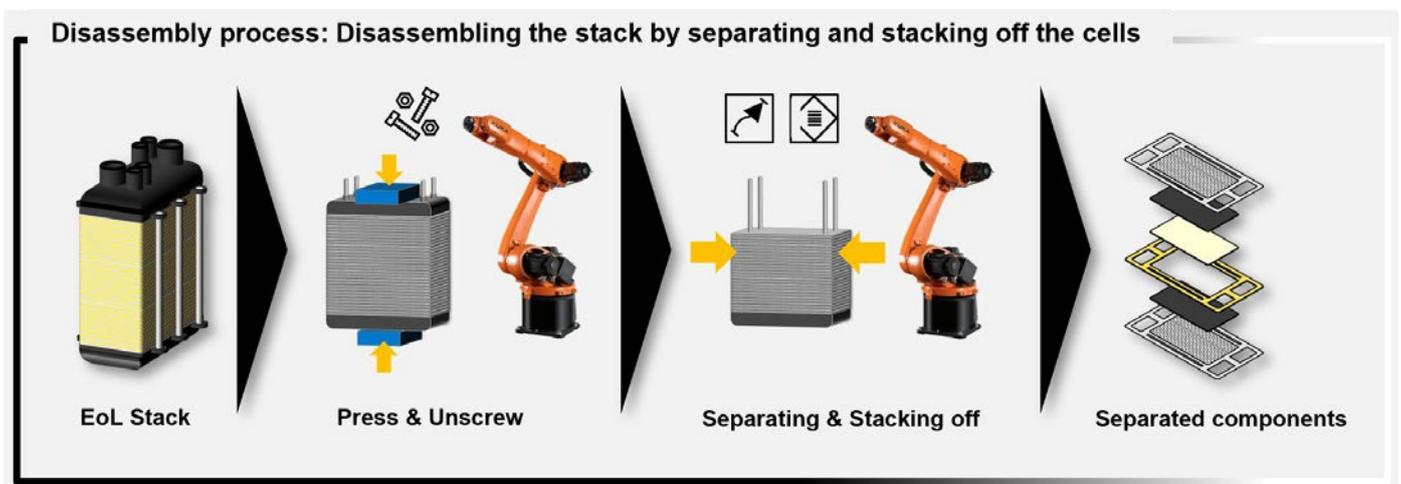
# 5.7 ReNaRe

## Recycling – Nachhaltige Ressourcennutzung

Kein Elektrolyseur hält für immer, und was nach seiner Nutzung passiert, daran forscht das Projekt ReNaRe. Die Partner entwickeln für das Recycling von PEM-, und Hochtemperatur-Elektrolyseuren Technologien, mit denen die Stacks auseinandergebaut und die Komponenten bzw. Materialien voneinander getrennt werden können. Es werden technologische Ansätze aus den Bereichen Funktionsmaterialien, automatisierte Demontage, mechanisches und sensorgestütztes Recycling sowie Metallurgie zusammengebracht. Partner aus Forschung und Industrie schließen gemeinsam die Klammer zwischen Ende der Nutzungsphase und (neuer) Materialsynthese, um die wertvollen und kritischen Rohstoffe im Nutzungskreislauf zu halten. Es soll für alle o.g. Elektrolysetechnologien ein geeignetes Prozessschema erarbeitet werden, das prinzipiell ein Recycling im technischen Maßstab ermöglicht. Dieses Schema soll auch eine ausreichende Anpassungsfähigkeit besitzen, um auf

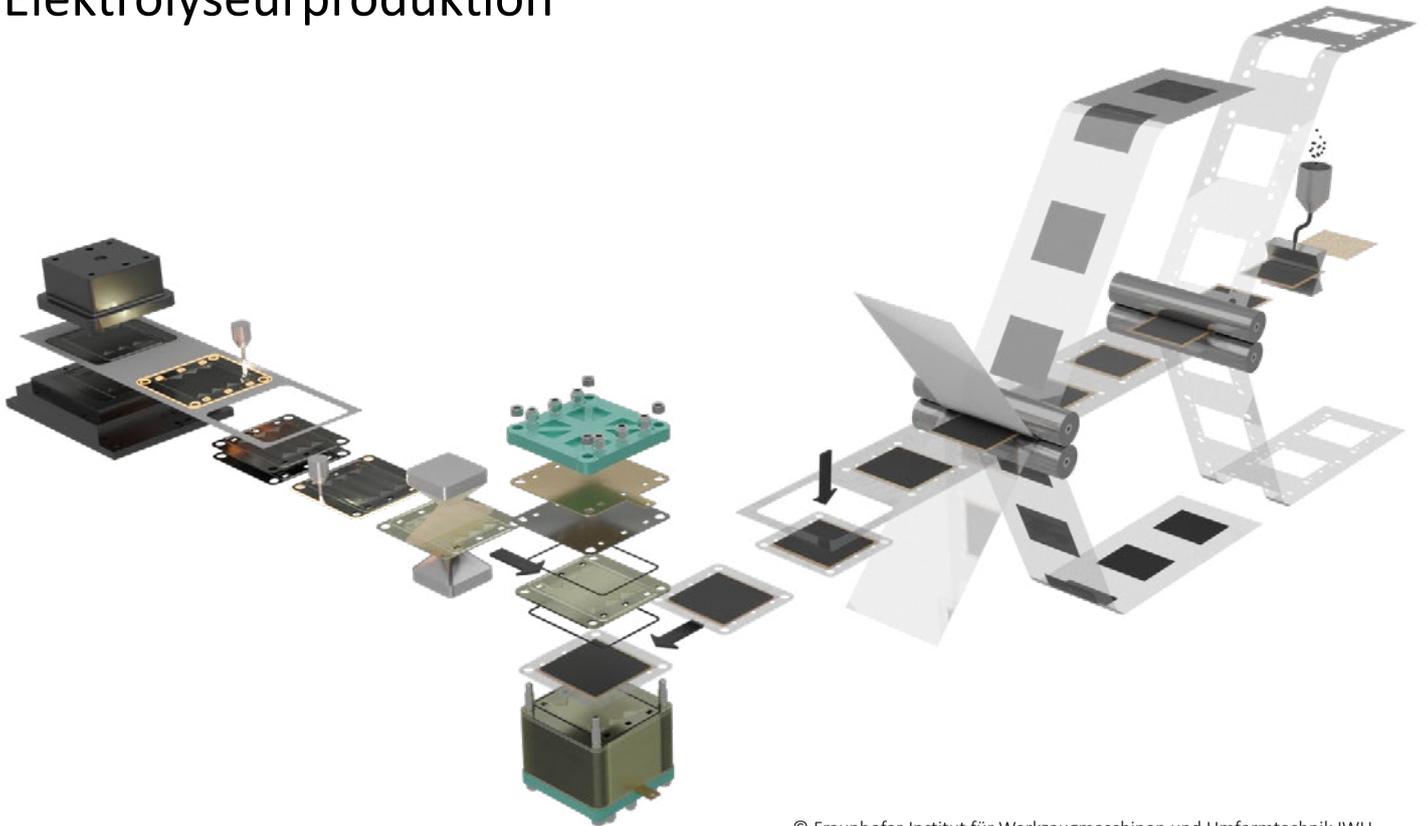
aktuelle und zukünftige technologische Entwicklungen reagieren zu können. Um den Nutzen des Recyclings für Nachhaltigkeit und Kosteneffizienz quantitativ zu erfassen, werden Technologiebewertungen in Form von Lebenszyklusanalysen und techno-ökonomischen Analysen durchgeführt.

Koordinator: **Technische Universität Bergakademie Freiberg – Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik**



## 5.8 FRHY

### Referenzfabrik für hochratenfähige Elektrolyseurproduktion



© Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Die Referenzfabrik konzipiert Lösungen für eine großserientaugliche Fertigung von PEM-Elektrolyseuren. Dafür werden neuartige Produktions- und Prüfmodule entwickelt und parallel dazu die entsprechenden digitalen Abbilder geschaffen, die dann in einer zentralen virtuellen Architektur verknüpft werden. Das Ergebnis ist ein Technologiebaukasten, in dem man einzelne Verfahren hinsichtlich Fertigungsqualität, Skalierbarkeit und Kosten direkt miteinander vergleichen kann. Mit diesem Baukasten lassen sich aus den einzelnen Prozessschritten Produktvarianten, bis hin zur gesamten Wertschöpfungskette, zusammenstellen und vergleichbar machen. Damit ist es möglich, Strategien zu Parallelisierung, Automatisierung und Fertigungstiefe einander gegenüberzustellen und Entscheidungsgrundlagen zu schaffen. Nicht nur Investitionskosten, sondern auch Return-on-Investment-Aussagen in Abhängigkeit der geplanten Produktionsmenge können so validiert dargestellt werden.

Der Baukasten ermöglicht die fertigungstechnische Auslegung einzelner Zellkomponenten, z.B. der mit Katalysator beschichteten Membran und der Bipolarplatte. In einem innovativen Zell- bzw. Stack-Design wurden diese Komponenten zusammengeführt. Damit wurde ein Referenzstack geschaffen, der das Zusammenspiel der neuen Entwicklungen repräsentiert. Seine Komponenten können durch hochratenfähige Verfahren hergestellt werden. Das beinhaltet Rolle-zu-Rolle Verfahren zur Membranbeschichtung (Inkjet) und strukturierte Bipolarplatten durch Walzen. Das Projekt liefert damit einen wichtigen Beitrag dazu, kostenoptimierte, kontinuierliche Produktionsprozesse skalierbar zu ermöglichen, sowie technische und wirtschaftliche Produkteigenschaften signifikant zu verbessern.

Koordinator: **Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU)**

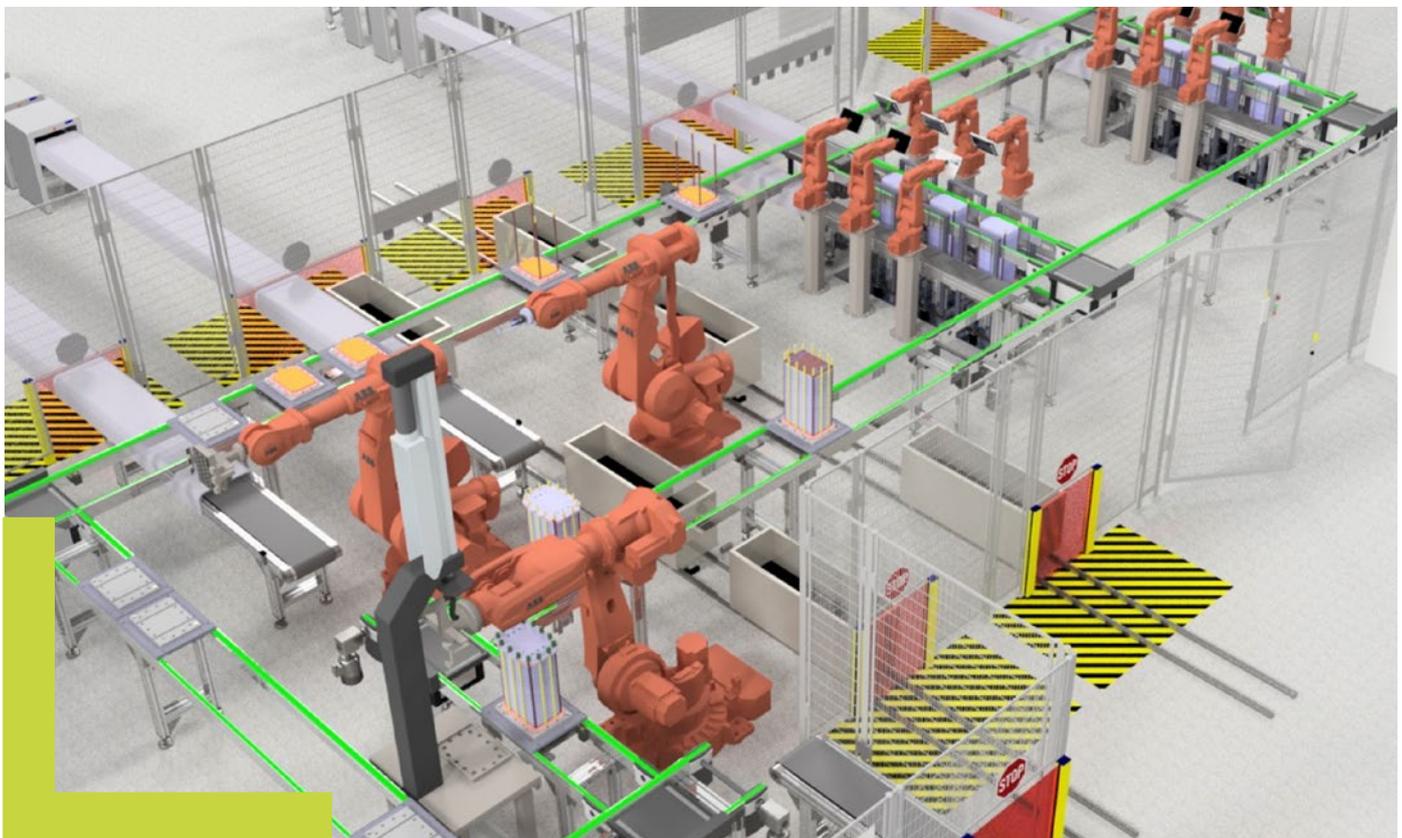
# 5.9 FertiRob

## Fertigung und Robotik

Für die Serienfertigung von Elektrolyseuren erfordert es Technologien, die einen (teil-) automatisierten Zusammenbau der zu produzierenden Einheiten ermöglichen. Das Projekt FertiRob entwickelt Lösungen dafür. Dabei werden nicht nur die physische Komponente, z. B. der Aufbau verschiedener Demonstrator-Anlagen für unterschiedliche Teilprozesse, sondern auch die digitalen Aspekte einer Produktionsanlage betrachtet. Durch einen modulbasierten Ansatz wird mithilfe eines Konfigurators die Anlagenplanung unterstützt und sowohl ein digitaler Produkt- als auch ein Anlagenzwilling erstellt. Diese können im Betrieb mit realen Daten angereichert werden und somit die Qualitätssicherung sowie die Nachverfolgung unterstützen. Der Einsatz digitaler Zwillinge ermöglicht eine material- und kostensparende

Möglichkeit, besonders schnell Ergebnisse zu erzielen. Auf diese Weise kann eine komplette Architektur für eine skalierbare Anlage erstellt und virtuell getestet werden, bevor der kostenintensive Aufbau der Hardware beginnt. Die in FertiRob entwickelten Technologien sollen dazu beitragen, die Produktionsmenge wichtiger Baugruppen durch Automatisierung zu erhöhen.

Koordinator: **Ruhr-Universität Bochum – Fakultät für Maschinenbau – Lehrstuhl für Produktionssysteme**



Skalierbare Anlage zur Produktion von Wasserstoffelektrolyse-Stacks © Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS), Bochum

## 5.10 HyPLANT100

### Effizienzsteigerung in der Planung und Produktion von großskaligen Elektrolyseanlagen

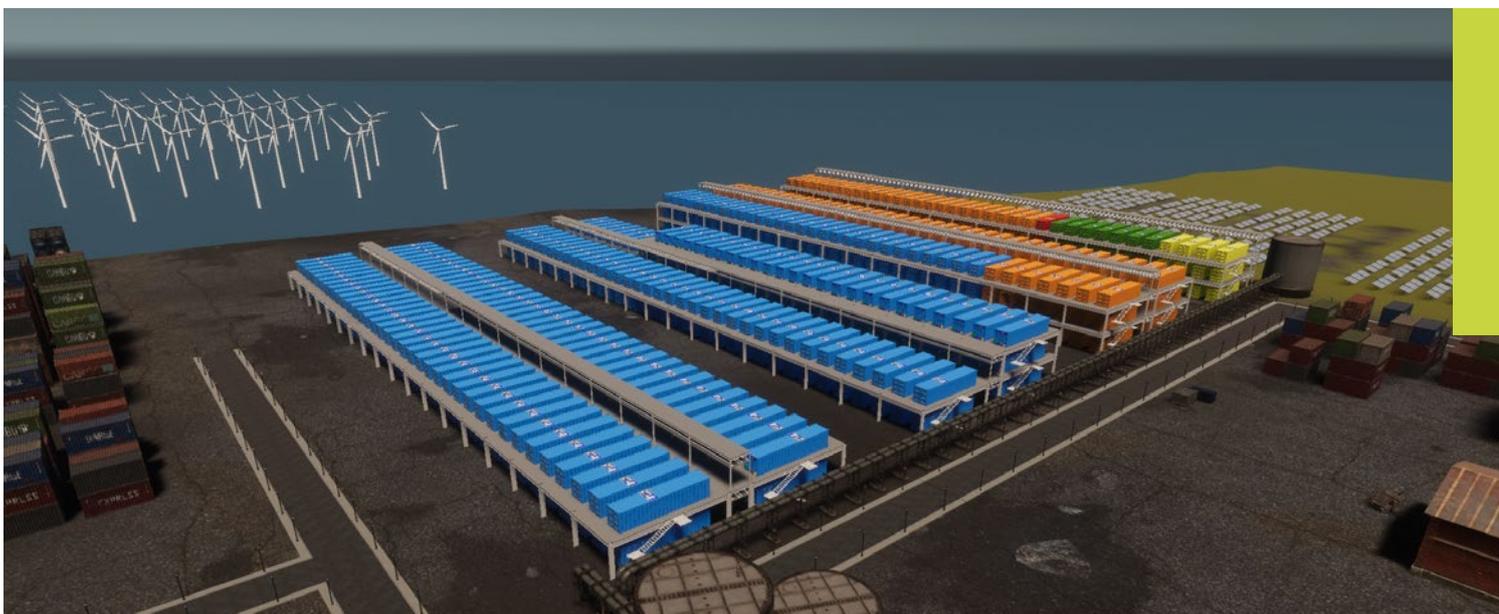
Das Projekt HyPLANT100 erforscht und entwickelt optimierte sowie automatisierte Abläufe zum Aufbau großer Elektrolyseanlagen. HyPLANT100 schließt damit im H<sub>2</sub>Giga-Leitprojekt die Lücke von der Entwicklung und Produktion von Elektrolyse-Grundeinheiten – den kleinsten Bausteinen – hin zum betriebsbereiten großskaligen Elektrolyseur-Gesamtsystem am Aufstellort. Die betrachteten Elektrolyse-Grundeinheiten werden zunächst in einer (teil-) automatisierten Vorproduktion zu modularen Baugruppen, sogenannten Skids, montiert. Hierbei wird insbesondere erforscht, bei welchen Prozessen Robotik, auch im Kontext einer Mensch-Maschine-Kollaboration (MRK), eingesetzt werden kann. Ein weiteres Ziel ist die Digitalisierung und intelligente Unterstützung der Montageprozesse sowohl in der Vormontage der Skids als auch bei der Installation auf dem Baufeld durch Sensorik, Steuerung und mobile Robotik. So sollen zum Beispiel der Montagefortschritt und die Qualitätsinformationen automatisiert dokumentiert werden.

Anschließend werden diese Skids auf dem Baufeld zu einem Gesamtsystem kombiniert. Dabei soll die Systemkonfiguration, wie z. B. Gesamtleistung oder Randbedingungen für Installation und Betrieb,

durch Modularisierung variabel gestaltet werden. So können die Anforderungen des Standorts bedarfsgerecht erfüllt werden. Augenmerk wird hier auf eine möglichst geringe Flächenversiegelung und somit platzoptimierte Aufbaustruktur gelegt.

Über die beiden großen Bereiche erstrecken sich die beiden Querschnittsthemen Standardisierung und Qualifizierung. Im Bereich der Standardisierung werden Standardisierungsempfehlungen für Komponenten, Prozesse und Schnittstellen herausgearbeitet, um sowohl eine Aufwands- und Kostenreduktion zu schaffen, als auch eine Hersteller- und Technologieoffenheit zu erzielen. Schlussendlich sollen im zweiten Querschnittsthema, der Qualifizierung, Schulungsinhalte für Fachkräfte identifiziert werden und diese, durch geeignete Schulungsformate, auf die Herausforderungen der Wasserstoffbranche vorbereiten.

Koordinator: **Entwicklungsagentur Region Heide AÖR**



## 5.11 SYSTOGEN100

### Vollständige Orchestrierung für eine effiziente Infrastruktur für Grünen Wasserstoff

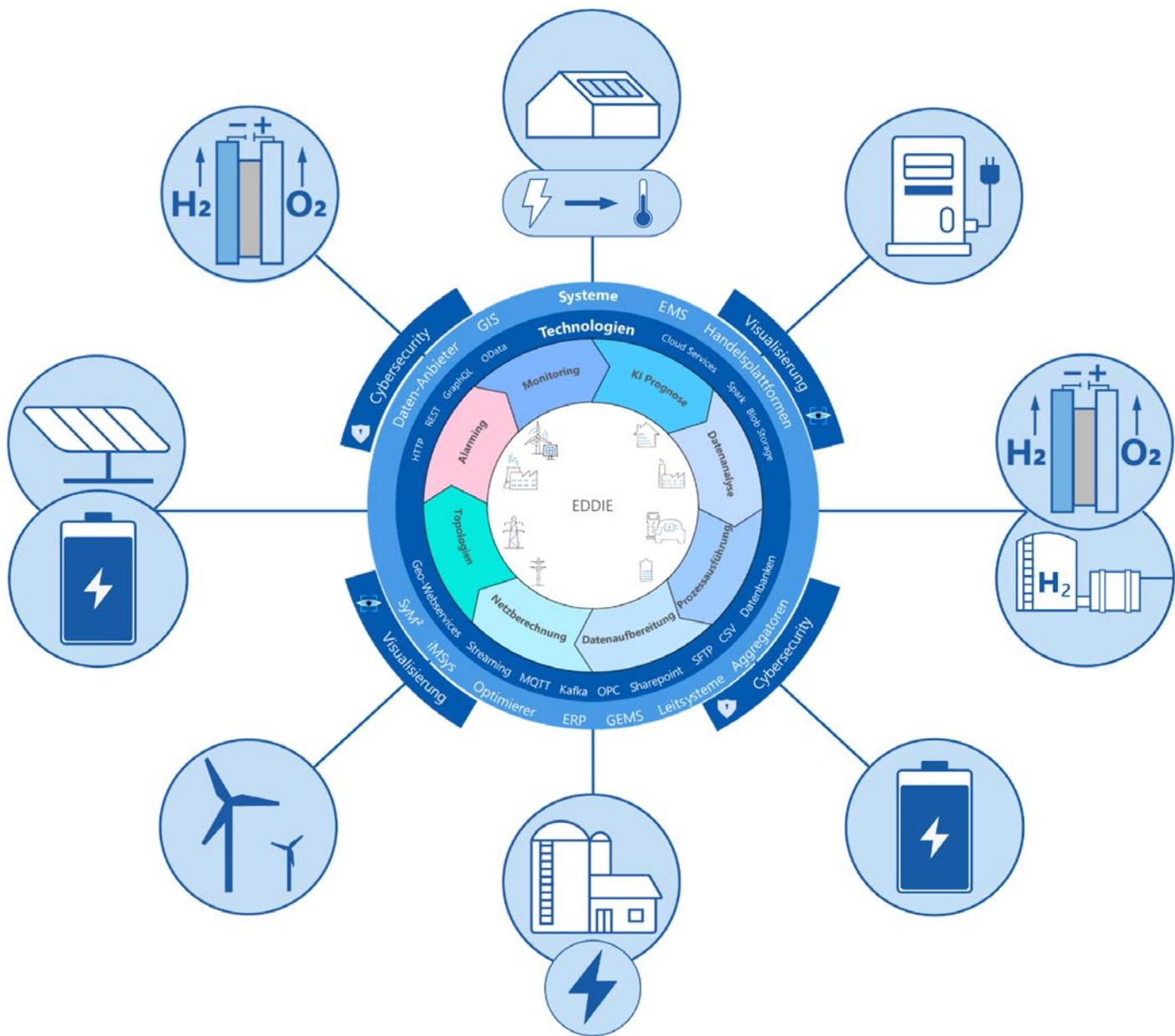
Nicht nur die Menge an elektrischer Energie, sondern auch, wann und wo diese verfügbar ist oder benötigt wird, spielt im nachhaltigen Energiesystem der Zukunft eine große Rolle. Intelligente, massenfähige Lösungen für die schwankenden Einspeisungen aus grünem Strom sind erforderlich und müssen mit der zeitgerechten Deckung der Nachfrage nach wasserstoffbasierten Energieprodukten in Einklang gebracht werden. Mit dem Ziel, die Orchestrierung von Energiesystemen mit Elektrolyseuren zu realisieren, setzt SYSTOGEN100 an dieser Stelle an.

Dafür wird im Zuge des Vorhabens eine Softwareplattform entwickelt, mit der die Steuerung von großskaligen Elektrolyseuren und weiteren Komponenten moderner Energiesysteme sowie deren optimierter Betrieb und Auslegung möglich ist. Besondere Berücksichtigung finden dabei netzrelevante Wechselwirkungen. In die Optimierung gehen auch veränderliche Parameter, wie zum Beispiel aktuelle Wetterdaten und Strompreise, ein. Unter Berücksichtigung von veränderlichen Parametern, wie aktuelle Wetter- und Verbrauchsdaten, sowie Last-/Einspeise- und Strompreisprognosen, optimiert die Softwareplattform für die nächsten Stunden den Betrieb der Elektrolyseanlage im Hinblick auf ökonomische sowie betriebsrelevante Kenngrößen.

Zudem entwickelt SYSTOGEN100 ein Kapitalmarkttool, mit dem eine dynamische Risikomodellierung für langfristige Investitionsentscheidungen durchgeführt werden kann. Dies adressiert einen wichtigen Schritt auf dem Weg in die Wasserstoffwirtschaft, da es Transparenz schafft und private Kapitalgeber bei ihren Investitionsentscheidungen unterstützt.

Ergänzend dazu erarbeitet SYSTOGEN100 Handlungsempfehlungen im rechtlichen Kontext für die Transformation des Energiesystems, damit technisch und betriebswirtschaftlich optimierte Systemlösungen nicht am Rechtsrahmen scheitern.

Koordinator: **Entwicklungsagentur Region Heide AöR**



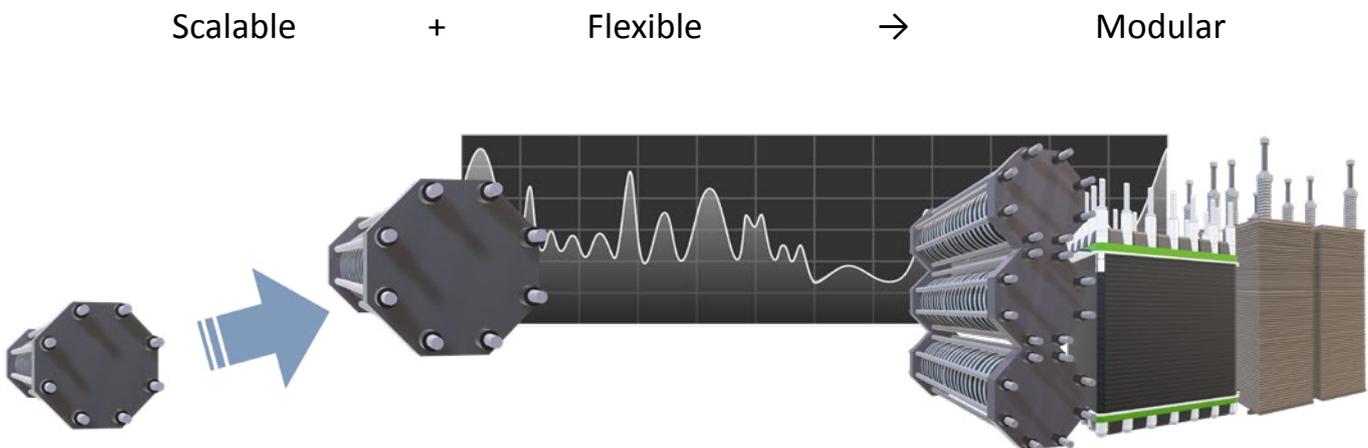
# 5.12 eModule

## Modulare Konzepte für den Betrieb und die Automatisierung großer Elektrolyseanlagen

Eine Elektrolyseanlage steht immer in Wechselwirkung mit ihrer Einsatzumgebung. Anlagen, die Wasserstoff in unmittelbarer Nähe zu Verbrauchern dezentral und flexibel erzeugen, müssen auf zeitlich und örtlich dynamische Anforderungen reagieren zu können. Hierfür erforscht und entwickelt das Projekt eModule Konzepte, wie der modulare und skalierbare Betrieb von Elektrolyseuren durch eine entsprechende Automatisierung unterstützt werden kann. Es entstehen neue Prozessführungskonzepte zur Optimierung, Skalierung und Integration der Elektrolyseure in eine Plant. Es werden digitale Zwillinge solcher Anlagen entwickelt und diese mit wissens- und datenbasierten KI-Methoden hinsichtlich ihrer Effizienz optimiert. Diese Arbeiten sind eng vernetzt mit der Modellierung und Simulation des Verhaltens einer Anlage mit einer Leistungsaufnahme >100MW als Referenzanlage. Abgebildet wird dabei das Verhalten der gesamten Wertschöpfungskette. Ziel von eModule ist die

Entwicklung eines hersteller- und prozessunabhängigen und weitgehend technologieunabhängigen Beschreibungsstandards für Wasserelektrolyseure. Mögliche Schwachstellen einer industriell skalierten Anlage sollen bereits im Vorfeld erkennbar werden, um Anlagen ohne unnötige Testschleifen in das Energienetz integrieren zu können und damit den Grünen Wasserstoff energetisch optimiert herzustellen.

Koordinator: **Technische Universität Dresden – Institut für Automatisierungstechnik**



## 5.13 HyLeiT

### Kostenoptimierte Systemtechnik und Netzintegration von Systemen für die Erzeugung von Wasserstoff



© Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE)

Nicht nur im Elektrolyseur selbst, sondern auch in angrenzenden Komponenten gibt es Potenziale für eine signifikante Steigerung der Effizienz. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Anbindung der Elektrolyseanlage an das Stromnetz sowie die Wandlung der elektrischen Energie zwischen Stromnetz und Elektrolysestacks. HyLeiT beschäftigt sich mit der elektrischen Systemtechnik von Elektrolyseanlagen, schwerpunktmäßig mit der Stromrichtertechnik als Bindeglied zwischen Netz und Elektrolyseur. Ziele sind eine erhebliche Kostenminderung in der Leistungselektronik, eine verbesserte Gleichstrom-Qualität am Elektrolyseur, welche wiederum die Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Stacks günstig beeinflusst, und die Berücksichtigung von Netzdienlichkeitsoptionen im Betrieb. Die Partner erforschen und entwickeln dafür eine angepasste und optimierte Stromrichtertechnik unter Verwendung von anwendungsspezifisch optimierten Leistungshalbleitern. Die angestrebten Kostenreduktionsziele – bei gleichzeitiger Erschließung einer umfassenden Netzdienlichkeit und höchster Zuverlässigkeit – werden maßgeblich erreicht durch die Nutzung der Erfahrungen

und Lösungen aus der Großseriengerätefertigung aus der PV-Industrie und einer signifikanten Erhöhung der Leistungsdichte durch die Nutzung aktueller Leistungshalbleiter und Topologien. In einem weiteren Ansatz werden für Elektrolysegleichrichter neue Schaltungstopologien mit SiC-Halbleitern verwendet, um die genannten Ziele zu erreichen. Um die Stromrichter im Systemkontext testen und optimieren zu können, werden echtzeitfähige Simulationsmodelle des Stromnetzes sowie der Elektrolyse-Stacks erstellt. Diese Modelle fließen anschließend in eine „Power Hardware in the Loop“-Plattform ein, um die Stromrichterkonzepte unter verschiedenen Netzbedingungen und Stack-Konfigurationen zu testen. Im Fokus stehen dabei die Wechselwirkungen des Stromrichters sowohl mit den Elektrolyse-Stacks als auch mit dem Stromnetz. Dabei sind Szenarien für den Betrieb der Anlagen in Netzen mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien von großer Bedeutung. Zur Erhöhung der Effizienz und Zuverlässigkeit wird darüber hinaus die elektrische Verbindungstechnik in Elektrolysegleichrichtern optimiert. Dabei stehen insbesondere die thermische Auslegung sowie Untersuchungen zum Kontakt- und Langzeitverhalten im Vordergrund. Begleitet werden die Entwicklungen mit der Untersuchung neuartiger Schutzkonzepte für die elektrische Systemtechnik. Hierzu müssen Fehler zuverlässig erkannt und selbstständig geklärt werden, wodurch die Robustheit des Systems steigt.

Koordinator: **Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE)**

# 5.14 FluCoM – Fluid Condition Monitoring

## Aufreinigung und Monitoring des Prozesswassers im Elektrolyseur

Elektrolyseure spalten Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff auf. Dieses Wasser wird zunächst von außen in die Anlage eingebracht, dann aber im Kreis geführt, bis es verbraucht ist. Dabei kommt dieses Wasser, das Prozesswasser, in Kontakt mit den Komponenten des Elektrolyseurs, wie z.B. der Elektrolysezelle, Rohren oder Pumpen. Dies kann zur Verunreinigung des Prozesswassers führen und die Funktion des Elektrolyseurs beeinträchtigen. Die bekanntesten Verunreinigungen, die erfahrungsgemäß zum Störfaktor werden, sind Metallionen. Über die Leitfähigkeit des Prozesswassers kann ihre Konzentration kontinuierlich überwacht werden. Aber auch Silizium und Kieselgel-Säuren können ins Prozesswasser gelangen und sich negativ auswirken. Für diese Substanzen sind alternative Überwachungsmethoden erforderlich, die auch in diesem Projekt entwickelt werden. FluCoM untersucht die Auswirkung verschiedener Wasserqualitäten auf die Effektivität der Aufreinigungssysteme und entwickelt ein störstoffspezifisches Monitoring zur Überwachung des Prozesswasser-Eingangsstroms. Ein wichtiges Projektziel liegt in der Aufklärung bzw. Auffindung von Störstoffen und der Definition von Mindestqualitäten, die für einen sicheren Betrieb des Elektrolyseurs erforderlich sind, damit dieser zuverlässig und mit langer Lebensdauer Wasserstoff herstellen kann.

Koordinator: **TEC4FUELS GmbH**



© TEC4FUELS GmbH



# H<sub>2</sub>Giga

## Projektpartner

ABB AG  
Advanced Training Technologies GmbH  
Alantum Europe GmbH  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Institut für Mikrosystemtechnik  
AUDI Aktiengesellschaft  
AUTOMATION W + R GmbH  
Autoproc GmbH & Co. KG  
BIAS - Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH  
Boll Automation GmbH  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel – Institut für Anorganische Chemie  
DBI - Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg  
DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH  
De Nora Deutschland GmbH  
DECHEMA Forschungsinstitut  
DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Technische Thermodynamik  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Vernetzte Energiesysteme  
ElFER Europäisches Institut für Energieforschung EDF-KIT EWIV  
EKS InTec GmbH  
Enapter AG  
Entwicklungsagentur Region Heide AöR  
Fachhochschule Westküste – Hochschule für Wirtschaft und Technik  
Fest GmbH  
FFT Produktionssysteme GmbH & Co. KG  
FH Münster – Fachbereich Energie, Gebäude, Umwelt  
Fichtner IT Consulting GmbH  
Forschungsinstitut für Rationalisierung e. V.  
Forschungszentrum Jülich GmbH – Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (IEK 11)  
Forschungszentrum Jülich GmbH – Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK)  
Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie (IEG)  
Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme (ENAS)  
Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE)  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF)  
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM)  
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)  
Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen (IMWS)  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie (IPT)  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE)  
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT)  
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU  
Frenzelit Werke GmbH  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg – Department Chemie und Pharmazie  
FUMATECH BWT GmbH  
H-TEC SYSTEMS GmbH  
HAFF-Dichtungen GmbH  
Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V.  
Helmholtz-Zentrum Dresden – Rossendorf e. V. – Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie  
Helmholtz-Zentrum Dresden – Rossendorf e. V.  
Helmut-Schmidt-Universität – Universität der Bundeswehr Hamburg – Institut für Automatisierungstechnik  
Heraeus Deutschland GmbH & Co. KG  
Hexis GmbH  
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg – Fachbereich Elektrotechnik, Maschinenbau und Technikjournalismus (EMT)  
Hochschule Rhein-Waal – Fakultät Kommunikation und Umwelt  
Hoedtko GmbH & Co. KG  
Hoeller Electrolyzer GmbH  
HORIBA FuelCon GmbH  
HYPION GmbH  
IBG Automation GmbH  
IBG Technology Hansestadt Lübeck GmbH  
imk Industrial Intelligence GmbH  
Infineon Technologies AG F OP RD FO  
inpro Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH  
ISRA VISION AG  
ITM Linde Electrolysis GmbH  
ITM Power GmbH  
J.Schmalz GmbH  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Institut für angewandte Materialien – Elektrochemische Technologien (IAM-ET)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – wbk Institut für Produktionstechnik	Semodia GmbH
KCS Europe GmbH	Siemens Energy Global GmbH & Co. KG
keep it green gmbh	SMA Solar Technology AG
KERAFOL Keramische Folien GmbH & Co. KG	SunFire GmbH
Kontron AIS GmbH	Tachycon GmbH
Leibniz Universität Hannover – Institut für Elektrische Energiesysteme	TC-Hydraulik GmbH
Leibniz-Institut für Katalyse e. V.	TEC4FUELS GmbH
let's dev GmbH & Co. KG	Technische Universität Bergakademie Freiberg – Institut für Mechanik und Fluidodynamik
Linde Aktiengesellschaft - Engineering	Technische Universität Bergakademie Freiberg – Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik
Linde GmbH	Technische Universität Berlin – Institut für Chemie
Main-Automation GmbH	Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig – Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik
MAN Energy Solutions SE	Technische Universität Clausthal – Forschungszentrum Energiespeichertechnologien (EST)
Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion	Technische Universität Darmstadt – Ernst-Berl-Institut für Technische und Makromolekulare Chemie
Max-Planck-Institut für chemische Physik fester Stoffe	Technische Universität Dresden
Max-Planck-Institut für Eisenforschung	Technische Universität Hamburg – Institut für Flugzeug-Produktionstechnik
Max-Planck-Institut für Kohlenforschung	Technische Universität Ilmenau – Institut für Werkstofftechnik
meteolytix GmbH	Technische Universität München – Campus Straubing für Biotechnologie und Nachhaltigkeit
OFFIS e.V.	Technische Universität München – Fakultät für Maschinenwesen
Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e.V.	thyssenkrupp nucera AG & Co. KGaA
Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg – Fakultät Maschinenbau	TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen – Aachener Verfahrenstechnik	Umicore AG & Co. KG
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen – Institut für Oberflächentechnik (IOT)	Universität Bayreuth
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen – Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik	Universität Duisburg-Essen – Verfahrenstechnik elektrochemischer Funktionsmaterialien
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen – Institut für Technische und Makromolekulare Chemie	VAF Gesellschaft für Verkettungsanlagen, Automationseinrichtungen und Fördertechnik mbH
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen – Lehrstuhl für Elektrochemische Reaktionstechnik	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA)
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen – Lehrstuhl für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling und Institut für Metallhüttenwesen und Elektrometallurgie	WEW GmbH
RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. – Abteilung Produktionsautomatisierung	XENON Automatisierungstechnik GmbH
Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter Haftung BMC/INS	Zentrum für Brennstoffzellen-Technik GmbH
Ruhr-Universität Bochum – Lehrstuhl für Analytische Chemie und Zentrum für Elektrochemie	
Ruhr-Universität Bochum – Lehrstuhl für Produktionssysteme	
Schaeffler Technologies AG & Co. KG	



## Impressum

### **Kontakt in das Leitprojekt:**

Dr. Isabel Kundler

DECHEMA e.V.

H2Giga@dechema.de

Weitere Informationen:

<https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/leitprojekte/h2giga>

Herausgeber:

DECHEMA e.V. | H<sub>2</sub>Giga Office

Theodor-Heuss-Allee 25

60486 Frankfurt am Main