

Abschlussbericht AEMruhr Teil II – Eingehende Darstellung

Zuwendungsempfänger:

Westfälische Hochschule Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen

Förderkennzeichen:

13FH0162IA

Vorhabenbezeichnung:

Alkalische Membranelektrolyseure mit hydraulischer Verpressung
AEMruhr

1

Laufzeit des Vorhabens:

01.03.2021 - 31.07.2025

Berichtszeitraum:

01.03.2021 - 31.07.2025

Gesamtziel des Vorhabens / Innovativer Kern

Im Projekt AEMruhr sollte ein neuer Lösungsansatz für die Generierung und Speicherung von ‚grünem Wasserstoff‘ entwickelt werden. Abgeleitet aus in den letzten Jahren im ruhrvalley-Verbund entwickelten und patentierten Lösungen für die Hochdruck-Elektrolyse mit Polymer-Elektrolyt-Membran-Systemen sollten hier bekannte Vorteile solcher Systeme auf die alkalischen Membran-Systeme übertragen werden. Diese versprechen Kostenvorteile, die aus der Einsatzmöglichkeit weniger kostenintensiver Materialien resultieren, und eine frühere Wirtschaftlichkeit. Damit entsprach dieses Vorhaben vollumfänglich den Anforderungen, die im Förderprogramm FH-Impuls gestellt wurden, und war zudem ein Beweis für die erfolgreich stattgefundene Vernetzung von Hochschulen und Unternehmen im ruhrvalley.

Darüber hinaus wurde im Projekt AEMruhr der Gedanke einer dezentralen Elektrolyse verfolgt, bei dem das Konzept einer virtuellen (verteilten) Last zur Netzoptimierung vorbereitet werden sollte. Die dezentrale Anordnung von Elektrolyseuren kleiner Leistung bietet den Vorteil, dass Wandlungsverluste (Wärme) der Elektrolyse dezentral einer sinnvollen Nutzung zugeführt werden können. Die Werkzeuge für den Betrieb eines solchen verteilten Systems ebenfalls auf der Basis von im ruhrvalley bereits vorhandenem Knowhow entwickelt werden.

1. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Seitens der Westfälischen Hochschule Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen wurden die Arbeitspakete 0, 1, 2, 3, 4, 5 und 9 bearbeitet. Dies beinhaltete die Projektkoordination, den Aufbau eines AEM-Elektrolyse-Demonstratorstacks, die Planung und Realisierung eines containerisierten Testsystems sowie die Dissemination der erzielten Ergebnisse.

Arbeitspaket 0: Projektkoordination und Controlling

Zu Beginn des Projektvorhabens wurde ein Kick-Off Meeting organisiert und durchgeführt, an dem Vertreter aller beteiligten Partner teilgenommen haben. Aufgrund der zu diesem Zeitpunkt gültigen Corona-Schutzverordnung und der daraus resultierenden Restriktionen bzgl. physischer Treffen wurde das Meeting online abgehalten. Als wesentlicher Punkt wurden die Kontaktdaten aller Teilnehmer ausgetauscht, sowie bilaterale Treffen zur detaillierten Besprechung der innerhalb der jeweiligen Arbeitspakete notwendigen Schritte vereinbart.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



FORSCHUNG AN
FACHHOCHSCHULEN

Bezüglich des Aufbaus von Laborzellen und einer für die experimentelle Charakterisierung geeigneten Labor-Testumgebung fanden im weiteren Projektverlauf mehrere Treffen sowohl online als auch vor Ort an der Westfälischen Hochschule mit der Evonik Operations GmbH statt. Auf Basis einer eingehenden Literaturrecherche wurde dabei eine Materialauswahl erarbeitet, anhand derer mögliche Komponenten für den Aufbau von AEM-Zellen und -Stacks identifiziert wurden. Darüber hinaus wurden Fragestellungen erörtert, deren Klärung im weiteren Projektverlauf auf Basis der Ergebnisse experimenteller Untersuchungen erarbeitet werden sollten. Neben den technischen Aspekten sollten dabei auch ökonomische Aspekte adressiert werden, da diese entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung der neuartigen Technologie im Anschluss an das Vorhaben wären.

Am 08.03.2022 fand ein weiteres Projekttreffen statt, an dem Vertreter aller beteiligter Partner teilgenommen haben. Aufgrund von Corona-Schutzmaßnahmen wurde das Treffen wiederum online abgehalten. Die beiden wissenschaftlichen Partner stellten jeweils die bis dato durchgeführten Arbeiten und erreichten Projektziele vor.

Darüber hinaus stand die Westfälische Hochschule während der gesamten Projektlaufzeit bilateral im Austausch mit der Evonik Operations GmbH bzgl. der Entwicklung von Zellkomponenten und bzgl. des Aufbaus von AEM-Elektrolyseur-Test-Stacks. Mit der Fachhochschule Dortmund stand die WH durchgehend im Austausch bzgl. der Entwicklung einer Monitoring-Plattform und des Smart Device Controllers. Hierzu gab es sowohl Online-Meetings wie auch entsprechende Treffen vor Ort.

Arbeitspaket 1: Materialscreenings

Für die Durchführung der experimentellen Charakterisierung verschiedener Materialien wurde ein Labor-Testsystem aufgebaut. Dieses Testsystem besteht im Wesentlichen aus einer Einzelzell-Testvorrichtung auf Basis der hydraulischen Zellverpressung. Zu untersuchende Materialien können in einen Kunststoff-Zellrahmen integriert werden, welcher wiederum in eine flexible Tasche eingebracht werden kann. Diese Tasche ist von einem flüssigen Medium umgeben, welches mit Druck beaufschlagt werden kann. Der Druck innerhalb des Hydraulikmediums definiert so direkt die Verpresskraft der flächigen Zellkomponenten, welche auf diese Weise kontinuierlich angepasst und reproduziert werden kann. Die Medienversorgung der Prozesskreisläufe wird über Peristaltikpumpen realisiert, welche das jeweilige Prozessmedium aus einem Ausgleichsbehälter in die Zelle und wieder zurück fördern. Die Temperatur kann über einen externen Thermostaten konstant gehalten werden. Ein Potentiostat mit einer maximalen Stromstärke von bis zu 100 A wird als Strom- bzw. Spannungsquelle genutzt. Das System ist so aufgebaut, dass es flexibel und ortsunabhängig betrieben werden kann. Zwei unterschiedliche Probengrößen können in den angesprochenen Zellrahmen eingefügt werden, einmal Proben mit einer aktiven Zellfläche von 4 cm² und einmal mit einer aktiven Zellfläche von 25 cm², wobei die Geometrien jeweils quadratisch sind. Zu Beginn eines Entwicklungsprozesses wird materialschonend mit einer kleinen aktiven Fläche gearbeitet, während die vielversprechendsten Ergebnisse mit einer größeren Fläche validiert werden können. Die Funktionalität des Aufbaus wurde mit Hilfe einer Membran-Elektroden-Einheit (MEA) aus dem Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) Bereich validiert.

Auf Grundlage der innerhalb des Arbeitspakets 0 erarbeiteten Materialliste wurde damit begonnen, die benötigten Materialien zu beschaffen. Der verwendete Design-Ansatz arbeitet auf Zellebene mit flachen Komponenten, wobei [Inhalt vertraulich] verwendet werden und der Medientransport durch die Zelle über [Inhalt vertraulich] dargestellt wird. Dies bedingt einen mehrschichtigen Zellaufbau, bei dem auf beiden Seiten der Membran jeweils [Inhalt vertraulich] positioniert wird, [Inhalt vertraulich]. Dementsprechend wurden sowohl für die Anoden- wie auch für die Kathodenseite Materialien zur Verwendung jeweils als Katalysator, als MPL, als PTL und als Polplatte beschafft. Dabei war neben den

strukturellen Eigenschaften vor allem die Auswahl des Materials, aus dem die Komponenten gefertigt sind, von entscheidender Bedeutung aufgrund der damit verbundenen (elektro-) chemischen Eigenschaften unter den jeweils vorliegenden Umgebungsbedingungen im Elektrolysebetrieb innerhalb einer Zelle. Während kathodenseitig [Inhalt vertraulich] eingesetzt werden, werden anodenseitig [Inhalt vertraulich] verwendet. [Inhalt vertraulich] Neben den porösen Strukturen sind für den Betrieb der Zelle die verwendeten Katalysatormaterialien von entscheidender Bedeutung. Im Zuge der Entwicklungsarbeit wurde zunächst mit aus der PEM-Elektrolyse bekannten Iridium- und Platinmaterialien gearbeitet, Ziel war es aber, diese durch günstigere Materialien zu ersetzen, deren Beschaffung parallel bereits angestoßen wurde. Eine Übersicht über die Materialauswahl ist in folgender Tabelle gegeben:

Tabelle 1: Materialliste zur Auswahl geeigneter Zellkomponenten.

Inhalt vertraulich

Zu Beginn des Projektvorhabens wurden mit Hilfe eines hierzu eigens entwickelten und noch sehr einfachen Testaufbaus erste Messungen mit AEM-Elektrolysezellen im Labormaßstab durchgeführt. Hierfür wurden poröse Elektrodenmaterialien mit Katalysatormaterial beschichtet, wobei an der Anode [Inhalt vertraulich] zum Einsatz kamen, während kathodenseitig [Inhalt vertraulich] eingesetzt wurden. Die Elektroden wurden anschließenden in einem Testsystem auf Basis der hydraulischen Einzelzellverpressung betrieben, wobei eine anionenleitende Membran als Elektrolyt zwischen den beiden Elektroden fungierte.

Zunächst wurden Versuche zur Durchströmung mit Prozessmedium (1 M KOH) der eingesetzten porösen Materialien durchgeführt. Hierfür wurden bei unterschiedlichen Durchflussmengen jeweils die dabei auftretenden Gegendrücke temperaturabhängig gemessen. Anschließend wurde das Polarisationsverhalten bei einem festen Betriebspunkt untersucht. In *Abbildung 1* sind exemplarisch die gemessenen Zusammenhänge zwischen Stromdichte und Zellspannung von drei unterschiedlichen Zellen dargestellt. Dabei wurden insgesamt [Inhalt vertraulich] verwendet, während die restlichen Zellkomponenten jeweils gleichblieben.

Inhalt vertraulich

Abbildung 1: Polarisationskurven aufgenommen mit [Inhalt vertraulich].

Im Rahmen der Durchführung der Elektrolyse-Zelltests und der Planung des weiteren Versuchsumfangs wurde beschlossen, für die weiteren Untersuchungen eine automatisierte Testumgebung aufzubauen. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Materialcharakterisierungen im nötigen Umfang bei reproduzierbaren Betriebsbedingungen durchgeführt werden können. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die spätere Hochskalierungen in den kW-Bereich von zentraler Bedeutung, da hierfür vorab erste Dauertests über einen Zeitraum von mehreren Tagen realisiert

werden müssen. Auf Basis der gesammelten Erkenntnisse der bisherigen Untersuchungen wurde daher eine Testumgebung aufgebaut, welche in die vorhandene Prüfumgebung im Wasserstoff- und Brennstoffzellenlabor der Westfälischen Hochschule integriert werden konnte (s. *Abbildung 2*).



5

Abbildung 2: Testumgebung zur Charakterisierung von Aktivmaterialien im AEM-Elektrolysebetrieb.

Dieser Aufbau kann aufgrund der Einbindung in die Sicherheitsinfrastruktur des Labors für die nötigen Langzeituntersuchungen eingesetzt werden. Nach erfolgter Inbetriebnahme, bei der die Darstellung reproduzierbarer Betriebsbedingungen an der zu untersuchenden Testzelle im Vordergrund stand, wurde die Funktionalität abschließend durch den Betrieb einer AEM-Elektrolyse-Testzelle validiert. Der Aufbau wurde im weiteren Projektverlauf für die Charakterisierung von Aktivmaterialien eingesetzt.

Im Zuge des Projektfortschritts wurde die Testumgebung zur Charakterisierung von Aktivmaterialien im AEM-Elektrolysebetrieb zu einem eigenständigen Prüfstand erweitert. Hierfür wurde die vorhandene Infrastruktur in eine vollständig geschlossene laugenbeständige Umhausung integriert und für den eigenständigen Betrieb erweitert. Die Umhausung wurde so ausgelegt, dass der entstandene Prüfstand an die Sicherheitsinfrastruktur im Wasserstofflabor der WH angeschlossen werden konnte. Dies beinhaltet sowohl den Anschluss an die explosionsgeschützte Absaugung wie auch die Einbindung in die Sicherheitskette, sodass bei einem Fehlerfall der Betrieb umgehend vollautomatisch ausgesetzt wird. Eine Fotografie des fertigen Prüfstands ist in *Abbildung 3* zu sehen.

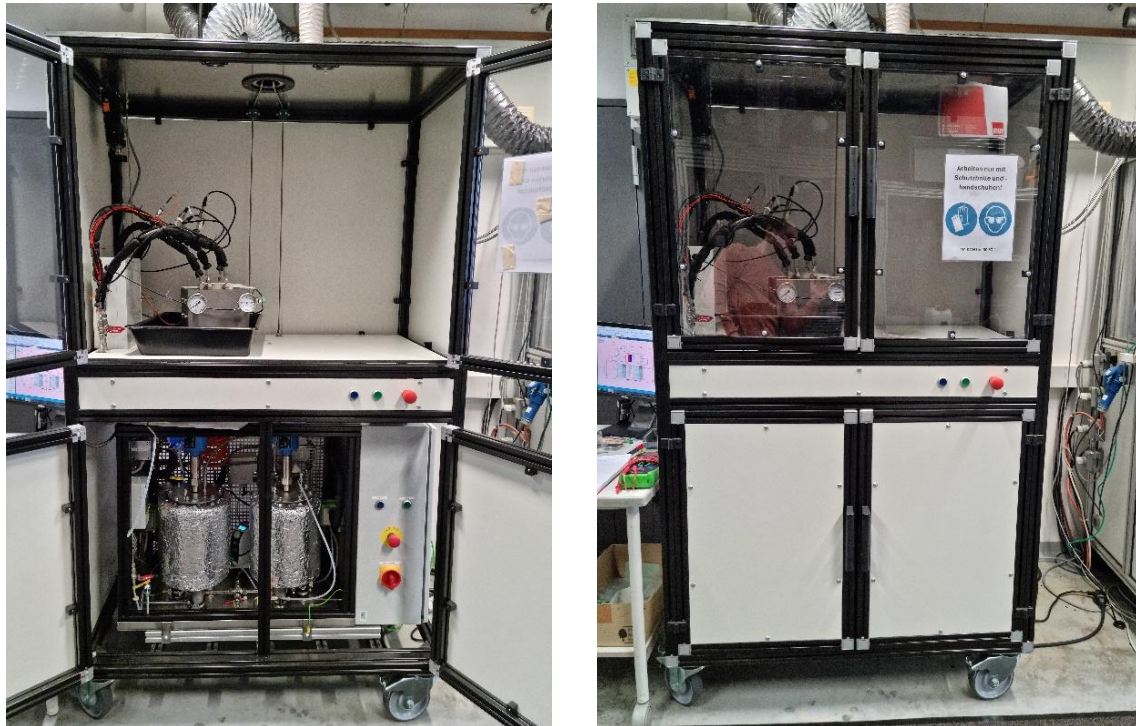


Abbildung 3: Fotografie des gesamten AEM-Elektrolyse-Prüfstands im Wasserstofflabor der Westfälischen Hochschule.

Mit Hilfe dieses Prüfstandes wurden die Untersuchungen zum Materialscreening weiter fortgesetzt. Dabei wurden im Rahmen einer Masterarbeit auch Versuche mit [Inhalt vertraulich] Membranen durchgeführt.

Alle Setups wurden mit einer Zellgröße von 4 cm^2 oder 25 cm^2 in einem hydraulisch verpressten Testsystem untersucht (s. Abb. 3). Die Membran-Elektroden-Einheit (MEA), bestehend aus [Inhalt vertraulich], welche auf Basis vorhergehender Untersuchungen festgelegt wurden, der Anionen-Austausch-Membran (AEM) und den [Inhalt vertraulich] Komponenten der Kathode, wurde bei [Inhalt vertraulich] verpresst. Alle Setups wurden bei [Inhalt vertraulich] Zell- und Kalilauge (KOH)-Temperatur untersucht. Der Durchfluss [Inhalt vertraulich] auf der Anoden- sowie auf der Kathodenseite wurde dabei variiert [Inhalt vertraulich]. Der Aufbau der Kathode bestand bei jedem Setup aus [Inhalt vertraulich]. Diese Kathoden wurden hierzu eigens hergestellt aus [Inhalt vertraulich]. Es wurden zwei verschiedene Ionomerlösungen [Inhalt vertraulich] vergleichend in-situ getestet (siehe Abbildung 4). Die Kennlinien wurden dabei zunächst in einer Zellgröße von 4 cm^2 [Inhalt vertraulich] aufgenommen.

Inhalt vertraulich

7

Abbildung 4: Exemplarische U-i-Kennlinien von [Inhalt vertraulich].

[Inhalt vertraulich]

Darüber hinaus wurden Kennlinien in der Zellgröße 25 cm² [Inhalt vertraulich] aufgenommen [Inhalt vertraulich] (siehe Abbildung 5).

Inhalt vertraulich

Abbildung 5: U-i-Kennlinien von [Inhalt vertraulich].

[Inhalt vertraulich]

8

Abschließend wurde daher im Rahmen der Voruntersuchungen das favorisierte Setup, bestehend aus [Inhalt vertraulich] bei verschiedenen KOH-Durchflüssen getestet. Die Durchflüsse wurden dabei sowohl auf der Anoden- als auch auf der Kathodenseite simultan variiert. In den nachfolgenden Diagrammen wird jeweils ein Setup bei [Inhalt vertraulich] (siehe Abbildung 6) verglichen.

Inhalt vertraulich

Abbildung 6: U-i-Kennlinien [Inhalt vertraulich].

[Inhalt vertraulich]

Arbeitspaket 2: Upscaling und Aufbau eines Labormusters

Nachdem die initiale Charakterisierung der Aktivmaterialien abgeschlossen war, wurde damit begonnen, einen Stack in Zielgröße aufzubauen. Hierfür sollte eine bereits in einem parallellaufenden Forschungsvorhaben entwickelte Plattform als Ausgangspunkt genutzt werden, welche ebenfalls auf der hydraulischen Verpressung von Einzelzellen basiert, wodurch die Übertragbarkeit der Entwicklungen im Labormaßstab in den anwendungsnahen Maßstab gewährleistet werden sollte. Der zur Verfügung stehende Stack ist in einer Konfiguration mit fünf Einzelzellen in *Abbildung 7* dargestellt. Je nach Leistungsdichte und Verfügbarkeit der Aktivmaterialien sollten die Zellrahmen so angepasst werden, dass eine Aufnahme dieser Materialien möglich werden sollte. Darüber hinaus sollte die Anzahl der Zellen an die Ziele dieses Vorhabens angepasst werden, was mit dem modularen Stackkonzept ohne zusätzliche Entwicklungsarbeit möglich sein sollte.

Insbesondere mit der Firma Evonik Operations GmbH wurden die Randbedingungen für den Aufbau fortlaufend abgestimmt, da die Membranen das zentrale Element der Zellen darstellen. Die Dimensionen der zur Verfügung stehenden Membranen waren so, dass die aktive Zellfläche im Vergleich zum vorliegenden Design [Inhalt vertraulich].

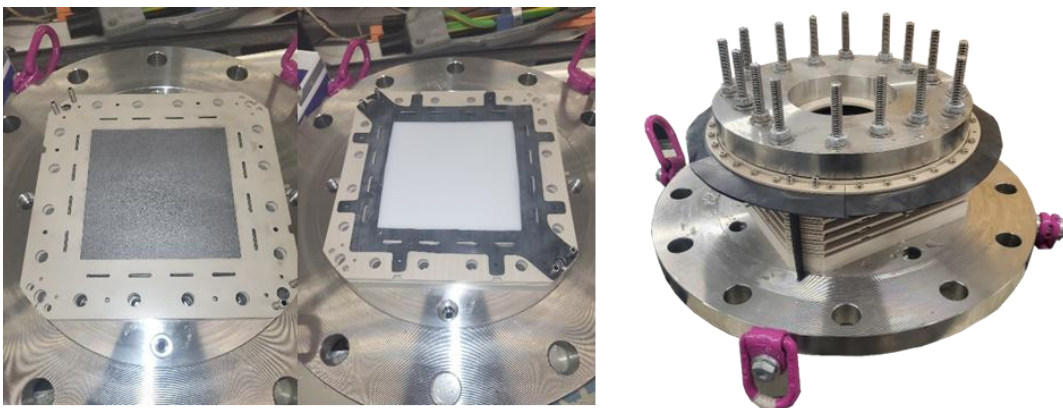


Abbildung 7: Stackplattform, auf Basis derer der AEMruhr-Teststack final angepasst und aufgebaut wurde.

Basierend auf den Vorgaben wurde mit der Ausarbeitung eines speziell an die Anforderungen des Projekts angepassten Zelldesigns auf Basis einer vorhandenen Stackplattform begonnen. Die Anpassung bezog sich hauptsächlich auf [Inhalt vertraulich], die restlichen Dimensionen wurden so ausgelegt, dass die Zellen in die vorhandene Stackplattform integriert werden konnte.

Die Stackplattform zeigte im ersten Versuch Dichtigkeitsprobleme nach dem Erhitzen und Abkühlen des Stacks unter Druck auf. Daher wurde das Dichtungskonzept angepasst. Die Fläche der Dichtung wurde stark verringert und die Dichtung saß anschließend innerhalb einer Nut (siehe *Abbildung 8*). Dadurch konnte die Dichtung von 0,5 mm Ausgangsdicke nur noch auf 0,3 mm zusammengedrückt werden. Da die Dichtung sich nicht mehr bis zu den Passtiftbohrungen erstreckte, wurden vier neue Passtiftbohrungen innerhalb der Dichtnut (und in allen Komponenten des Stacks) ergänzt. Da die innenliegenden Passtiftbohrungen auch innerhalb des Bereiches der Polplatten lagen, wurden PEEK-Stäbe mit einem Durchmesser von 6 mm genutzt, um einen Kurzschluss zu verhindern.

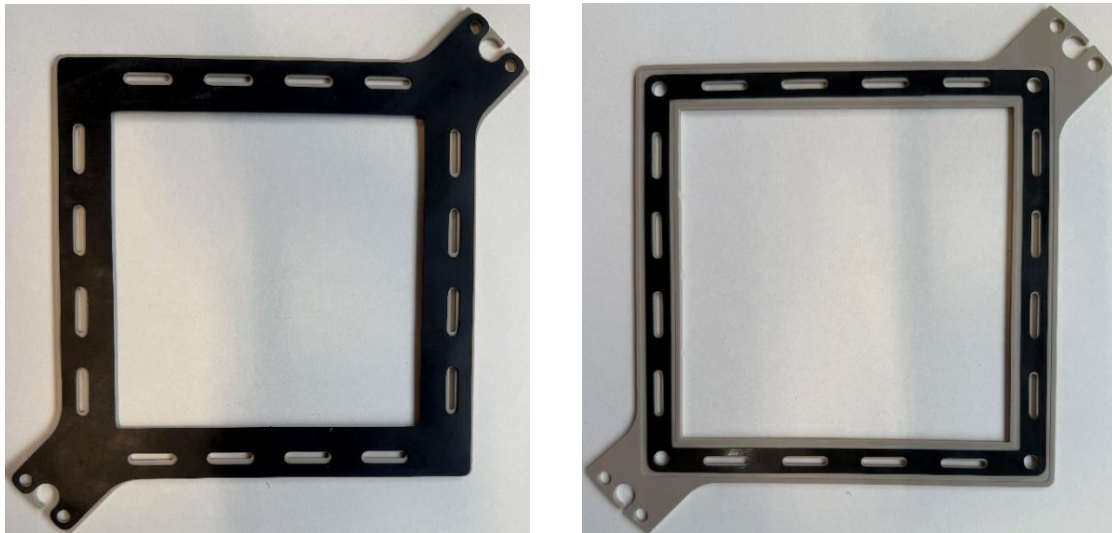


Abbildung 8: Flachdichtung der vorhandenen Stackplattform (links) und neue Flachdichtung (rechts).

Seitens des Projektpartners Evonik Operations GmbH wurde die Breite der zu verwendenden Membran auf [Inhalt vertraulich] festgelegt. Die Größe der Elektroden wurde daher auf [Inhalt vertraulich] festgelegt, dies führte zu einer elektrochemisch aktiven Fläche von [Inhalt vertraulich] pro Zelle. Da in die vorhandene Stackplattform Zellen mit einer Fläche von bis zu [Inhalt vertraulich] integriert werden konnten, wurden die Zellrahmen für die Aufnahme der AEMruhr-Elektroden angepasst. Um die Zellrahmen perspektivisch auch mit größeren Membranen [Inhalt vertraulich] nutzen zu können, wurden bereits Medienkanäle vorgesehen, die eine Vergrößerung der aktiven Fläche auf das Fräsen eines größeren Ausschnittes reduzieren (Abbildung 9).

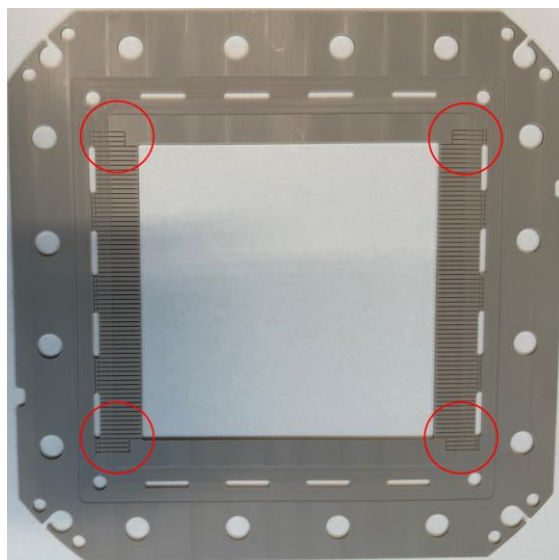


Abbildung 9: Neuer Zellrahmen für [Inhalt vertraulich] Elektroden.

Unter Verwendung dieser Zellen sowie der restlichen bereits vorhandenen Stackkomponenten wurde ein erstes Labormuster für die Inbetriebnahme der neu entwickelten Testumgebung (s. AP 4 und 5) aufgebaut.

Arbeitspaket 3: Optimierung und Aufbau eines industrienahe Demonstratorstacks

Der industrienahe Demonstratorstack wurde ebenfalls auf Basis der vorhandenen Stackplattform aufgebaut. Diese war allerdings für den Betrieb zur Wasserstoffproduktion bei Umgebungsdruck und zur Aufnahme von maximal bis zu fünf Einzelzellen ausgelegt. Aufgrund des Prinzips der hydraulischen Einzelzellverpressung musste für die Anpassung an den erhöhten Systemdruck und die erhöhte Anzahl an Einzelzellen jedoch lediglich der umgebende Druckbehälter angepasst werden. Die restlichen Komponenten konnten unverändert weiter genutzt werden. Ein entsprechender Druckbehälter wurde konstruiert und ist in *Abbildung 10* dargestellt.

11

Inhalt vertraulich

Abbildung 10: CAD-Grafik des neu konstruierten Druckbehälters mit einer Druckstabilität von bis zu 40 bar für die Aufnahme von bis zu 30 Einzelzellen.

Dieser Druckbehälter wurde so ausgelegt, dass die Wasserstoffproduktion bei Drücken von bis zu 30 bar möglich ist. Die Abmessungen ermöglichen dabei die Integration eines Stacks bestehend aus bis zu 30 Einzelzellen. Hierfür waren insbesondere die in *Abbildung 11* dargestellten Blindflansche neu auszulegen, da diese inklusive der darin integrierten Anschlüsse und Durchführungen für Strom und Prozessmedien dem gestiegenen Druck standhalten können mussten. Entsprechend musste neben der reinen Dicke der Flansche vor allem das Dichtungskonzept an den Durchführungen überarbeitet werden.

Inhalt vertraulich

12

Abbildung 11: Technische Zeichnung der für den Hochdruck-Betrieb überarbeiteten Blindflansche des neu konstruierten Druckbehälters.

Um den Druckbehälter, in den der Stack integriert werden sollte, im Container aufstellen und bewegen zu können, wurden drei Standfüße und Rollenhalterungen ergänzt. Anschließend wurde der Druckbehälter bei der Engels + Konrad GmbH gefertigt (Abbildung 12). Nach Erhalt des Druckbehälters wurden die Grundkomponenten des Stacks (alle Bauteile, die nicht von der Größe der Membran abhängig sind) final angepasst und WH-intern gefertigt.

Um die Dichtigkeit zu validieren, wurden die Stromdurchführungen sowie alle weiteren Adapter- und Anschlusskomponenten ausschließlich der Elektrolyseur-Zellen innerhalb des Druckbehälters installiert. Anschließend wurde der Druckbehälter auf 80 °C erhitzt und auf 50 bar Druck gebracht. Während eines zweistündigen Tests konnten keine Undichtigkeiten an den Stromdurchführungen oder den Medien Ein- und Auslässen festgestellt werden.



Abbildung 12: AEMruhr Druckbehälter.

Um das neue Dichtungskonzept der Zellen zu validieren, wurde eine Einzelzelle aufgebaut und in den Druckbehälter integriert, die anschließend in einem ersten Labor-Versuch betrieben wurde. Die Zell-Verpressung betrug [Inhalt vertraulich] und erfolgte über Druckluft. Die Anode wurde mit Hilfe einer Schlauchpumpe mit [Inhalt vertraulich] Kaliumhydroxidlauge durchspült. [Inhalt vertraulich] Undichtigkeiten konnten nicht festgestellt werden. Eine Polarisationskennlinie wurde bei Raumtemperatur mit Hilfe eines Labornetzteils aufgenommen (s. Abbildung 13). Damit konnte die prinzipielle Funktionalität der neu entwickelten Zellen für den Elektrolyse-Betrieb validiert werden.

Inhalt vertraulich

Abbildung 13: Polarisationskennlinie AEMruhr Vortest [Inhalt vertraulich].

Im Anschluss an den erfolgten Funktionstest wurde ein aus fünf Einzelzellen bestehender erster Stack aufgebaut. Dieser wurde mit den gleichen Materialien versehen, sodass fünf gleiche Zellen entstanden. Der Aufbau ist in Abbildung 14 dargestellt.

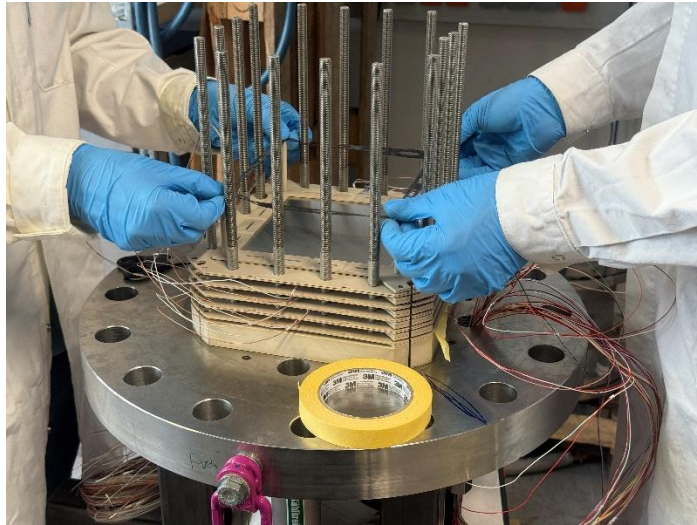


Abbildung 14: Aufbau eines AEM-Elektrolyseur-Stacks.

Mit Hilfe dieses ersten Labormusters wurde die neu aufgebaute Testumgebung (s. AP 4 & 5) in Betrieb genommen. Im Zuge der Inbetriebnahme trat eine Undichtigkeit im Bereich der Hydraulik auf, sodass Hydraulikmedium in die Prozesszweige eintrat. Der Versuch wurde abgebrochen, da ein weiterer Betrieb auf diese Weise keine weiteren Erkenntnisse mehr generiert hätte.

Nach einer gründlichen Reinigung aller Einzelteile und unter Verwendung neuer Aktivmaterialien wurde der Stack erneut aufgebaut. Der Aufbauvorgang wurde leicht verändert, damit die eingesetzten Dichtungsmaterialien optimal genutzt werden konnten. Der so aufgebaute Stack wurde anschließend in der Hochdruck-Testumgebung betrieben und hinsichtlich der Funktionalität untersucht. Als Ergebnis konnte der Hochdruck-Betrieb durch die Wasserstoffproduktion bei einem Betriebsdruck von 30 bar (Wasserstoff- und Sauerstoffproduktionsdruck) über mehrere Stunden validiert werden. Die zugehörige Polarisationskennlinie des Stack bei diesen Betriebsbedingungen ist in Abbildung 15 dargestellt. In Abbildung 16 ist der zugehörige zeitliche Verlauf der Parameter während der Aufnahme der Messdaten zu sehen.

Inhalt vertraulich

Abbildung 15: Polarisationskennlinien der einzelnen fünf Zellen während des Betriebs bei 30 bar Wasserstoffproduktionsdruck.

Inhalt vertraulich

Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der Betriebsparameter Druck, Stromstärke, und Spannung während der Aufnahme der Polarisationskennlinien aus Abbildung 15.

Des Weiteren wurde bei diesem Test die Erkenntnis gewonnen, dass der Betrieb insbesondere bei höheren Produktionsraten aufgrund zu kleiner Querschnitte der Prozessmedienkanäle eingeschränkt war. Daraufhin wurden die betreffenden Zellrahmen im Design entsprechend angepasst und neu gefertigt. Anschließend wurde erneut ein Stack bestehend aus fünf Einzelzellen aufgebaut und in Betrieb genommen. Der zeitliche Verlauf der Strom- und Spannungswerte während der initialen Charakterisierung dieses Stacks ist in Abbildung 17 zu sehen.

Inhalt vertraulich

Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der Stromstärke und der Einzelspannungsmessung während des Betriebs eines Stacks bestehend aus fünf Einzelzellen im finalen Design.

Da es im Anschluss zu einem Defekt an der Testumgebung kam, in Folge dessen die Zellverpressung zwischenzeitlich nicht mehr gewährleistet war, konnten keine weitergehenden Untersuchungen bei höheren Drücken durchgeführt werden, da die erzielten Ergebnisse nicht repräsentativ und damit nicht relevant für den weiteren Entwicklungsprozess gewesen wären. Da die Tests mit den jeweils aus fünf Einzelzellen bestehenden Stacks hinsichtlich der mechanischen Funktionalität abschließend positiv bewertet werden konnten, wurde anschließend der finale Demonstratorstack aufgebaut. Aufgrund der Tatsache, dass für die vorhergehenden Untersuchungen mehr Aktivmaterial verwendet werden musste, als ursprünglich vorgesehen, wurde in Abstimmung mit den Partnern die Zellanzahl des finalen Demonstratorstacks auf 24 Einzelzellen reduziert (s. Abbildung 18).

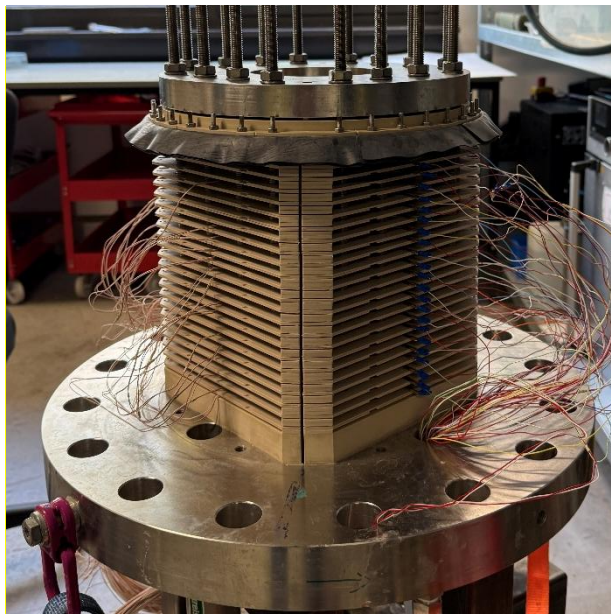


Abbildung 18: Finaler Demonstratorstack mit 24 Einzelzellen.

Da der nicht geplante mehrfache Aufbau eines kleineren Stacks bestehend aus fünf Zellen zu einer zeitlichen Verzögerung auch im bereits angepassten Zeitplan geführt hat, war es nicht mehr möglich, den abschließenden Demonstrationsbetrieb innerhalb der Projektlaufzeit durchzuführen. Da aber alle Komponenten bereits zusammengetragen, gefertigt und der Stack aufgebaut war, sollte die Charakterisierung im Rahmen einer zu diesem Zweck begonnen Masterarbeit an der Westfälischen Hochschule durchgeführt werden.

Arbeitspaket 4: Planung eines containerisierten Testsystems zum Demonstrationsbetrieb eines industrienahen AEM-Stacks auf Basis der hydraulischen Verpressung

Zu Beginn des Arbeitspakets wurde die technische Zielsetzung den finalen Demonstrator-Stack betreffend in enger Abstimmung mit der Evonik Operations GmbH definiert. Entgegen der ursprünglichen Planung, mit einer aktiven Zellgeometrie von 500 cm² zu arbeiten, wurden die zu erreichenden Ziele unabhängig von dieser Größe festgelegt, [Inhalt vertraulich]. Im Vergleich zum ursprünglichen Ansatz wurde dadurch der durch diese Änderung bedingte Aufwand gering gehalten. Da der modulare Aufbau der Stacks die Nutzung einer variablen Anzahl von Zellen ermöglicht, resultierte aus den geänderten Spezifikationen keine Änderung der allgemeinen Zielsetzung des

Vorhabens, [Inhalt vertraulich] Die Zielsetzung bezüglich der Leistungsaufnahme und der weiteren entscheidenden Kenngrößen ist im Folgenden aufgelistet:

[Inhalt vertraulich]

Auf Basis dieser technischen Zielsetzung wurde damit begonnen, die nötige Infrastruktur für den Betrieb eines entsprechenden Stacks zu planen. Ausgehend von den Erfahrungen mit einer bereits vorhandenen Testanlage in ähnlicher Größenordnung für PEM-Elektrolyse-Stacks, die auf dem Konzept der hydraulischen Einzelzellverpressung basiert, wurden die nötigen Spezifikationen für eine Testumgebung für den Betrieb eines AEM-Elektrolyse-Stacks erarbeitet. Ein wesentlicher Unterschied, der entsprechend hohen Entwicklungsaufwand bedurfte, war der Betrieb mit schwach konzentrierter Kalilauge anstatt Reinstwasser. Dementsprechend wurden zunächst die Prozessmedienkreisläufe betrachtet. Die Herausforderung bestand darin, neben bereits aus der PEM-Elektrolyse bekannten Betriebsbedingungen (Druck, Temperatur, Medienfluss etc.) die Konzentration der Kalilauge konstant zu halten. Da Wasser im Betrieb stetig durch die Membran diffundiert, welche beide Prozesszweige trennt, steigt die Konzentration einseitig während sie andererseits sinkt. Ein möglicher Ansatz, dies zu unterbinden, ist die ständige Erfassung der Konzentration über einen entsprechenden Sensor und die automatisierte Nachführung von Reinstwasser einerseits bzw. konzentrierter Kalilauge andererseits, wie im folgenden Fließbild in *Abbildung 19* dargestellt:

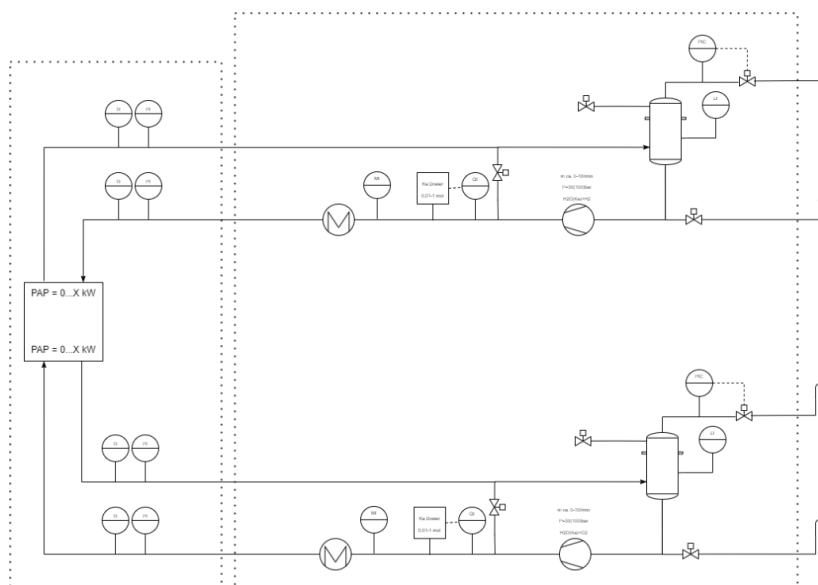


Abbildung 19: Fließbild zu einer möglichen Auslegung der Prozessmedienkreisläufe.

Da diese Umsetzung technisch schwierig und mit gewissen Unsicherheiten bei sehr kleinen Laugenkonzentrationen verbunden ist, wurden noch weitere Lösungen mit Möglichkeiten für einen analogen Konzentrationsausgleich ohne die Notwendigkeit externer Regelungen erarbeitet und diskutiert.

Parallel zur Entwicklung technischer Lösungen wurde seitens der Projektmitarbeiter damit begonnen, die nötigen Genehmigungen für den Aufbau der Testumgebung einzuholen. Der zuständige Mitarbeiter der Hochschulverwaltung wurde hierfür hinzugezogen, um Möglichkeiten der Umsetzung auszuloten.

Die bereits begonnene Planung für den Aufbau einer Testumgebung zum Betrieb eines AEM-Stacks in anwendungsnaher Größe wurde im weiteren Projektverlauf fortgeführt und konkretisiert. Im Zuge dieser Entwicklungsarbeiten musste aufgrund der gesetzten finanziellen Randbedingungen von der ursprünglich angedachten Lösung, dem Aufbau eines komplett eigenständigen containerisierten Testsystems, Abstand genommen werden. Stattdessen sollte ein Teil der bereits bestehenden Infrastruktur genutzt werden, was hauptsächlich den Hydraulik-Prozesskreislauf inklusive der integrierten Temperierung sowie die nachgeschaltete Gaskonditionierung inklusive Trocknung und Analytik betrifft, da diese Komponenten in einem vollständig neuen System baugleich vorzusehen gewesen wären, was aufgrund des geänderten Preisniveaus seit Antragsstellung nicht zu realisieren gewesen wäre. Daher wurden verschiedene alternative Lösungsansätze besprochen, um eine entsprechende Hochdruck-Elektrolyse-Testumgebung für den Betrieb mit alkalischen Medien zu realisieren, ohne das Erreichen der Projektziele zu gefährden.

Aufgrund des experimentellen Charakters der zu untersuchenden Stacks, Zellen, Komponenten und Materialien wurde bei der Planung eine hohe Priorität auf die Sicherheit auch im Fall eines Materialversagens gelegt. Entsprechend wurde eine Konfiguration gewählt, die gewährleisten sollte, dass es nicht zur Entstehung explosionsfähiger Atmosphären bei hohen Drücken im Betrieb kommen kann.

Auf Basis der gewählten Konfiguration wurde ein detailliertes Prozess- und Instrumentierungsdiagramm erstellt (s. Abbildung 20), anhand dessen die weitere Auslegung der benötigten Komponenten durchgeführt wurde. Die Auslegung erfolgte in Bezug auf die in der Kooperationsvereinbarung definierten Ziele bezüglich der Gesamtleistung. Darauf aufbauend wurde damit begonnen, Zulieferer für die benötigten Komponenten zu kontaktieren und mögliche technische Lösungen zur Umsetzung des geplanten Aufbaus zu besprechen.

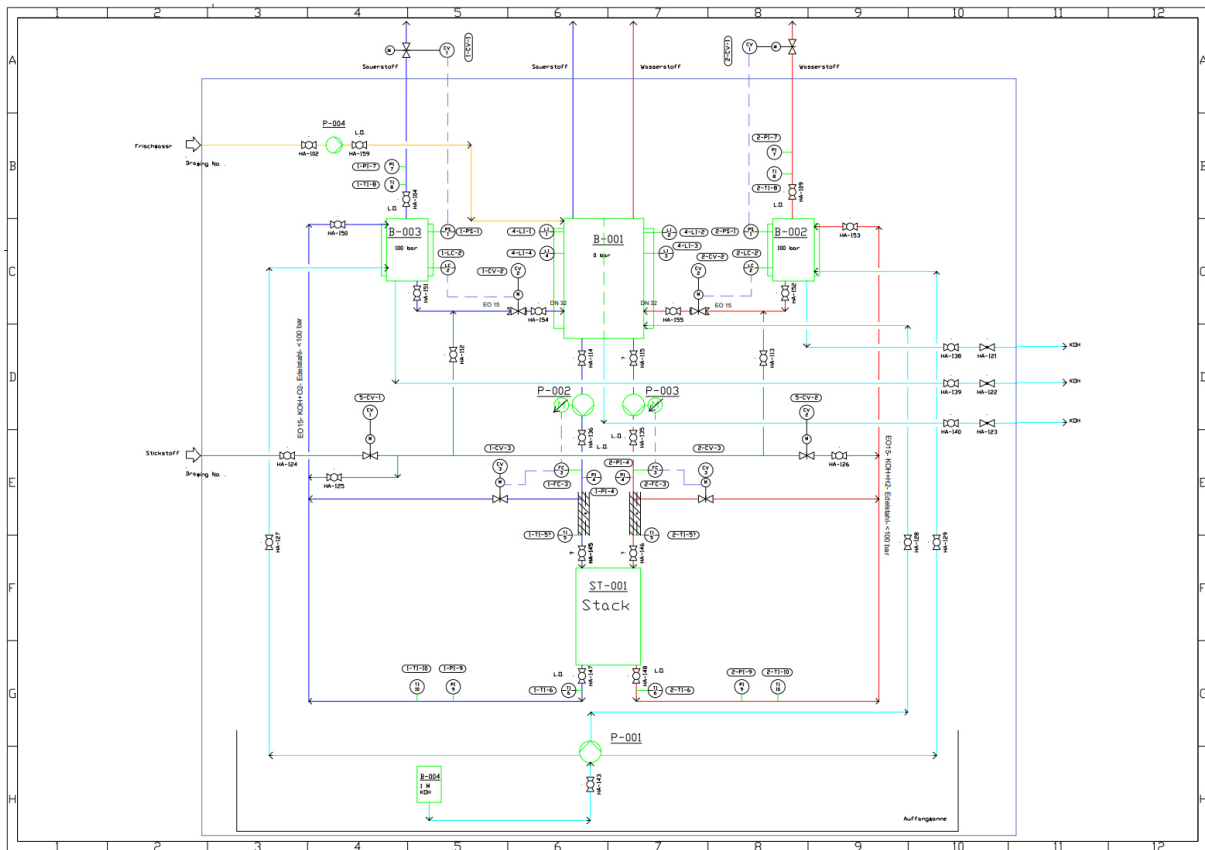


Abbildung 20: Prozess- und Instrumentierungsdiagramm der geplanten AEMWE-Testumgebung.

Wie bereits erläutert, sollte ein eigenständiger Aufbau zur Erweiterung einer bestehenden Hochdruck-Elektrolyse-Testanlage angefertigt und in diese integriert werden. Die Planungen hierzu inklusive der detaillierten Auslegung aller Systemkomponenten und -eigenschaften wurden im weiteren Projektverlauf konkretisiert und abgeschlossen. Das finale Prozess- und Instrumentierungsdiagramm sowie die zugehörigen Spezifikationen aller Komponenten sind in *Abbildung 21* und *Tabelle 2* jeweils dargestellt bzw. angegeben.

Die Anlagenerweiterung ist so ausgelegt worden, dass zwei einzelne Kreisläufe für die Zirkulation von Kalilauge (KOH) bis zu einer Konzentration von 1 M KOH jeweils für die Anoden- sowie für die Kathodenseite vorhanden sind. Beide Zirkulationskreisläufe beinhalten einen Gas-Wasser-Abscheider zur Abtrennung der erzeugten Gase Wasserstoff und Sauerstoff, um diese in den bestehenden Anlagenteil einzuleiten für die weitere Prozessierung. Darüber hinaus sind die beiden Kreisläufe über eine Verrohrung miteinander verbunden, worüber über entsprechende Ventil- und Pumpentechnik ein gezielter Austausch bzw. eine gezielte Durchmischung der KOH vorgenommen werden kann. Dies ist nötig, um die Konzentration in beiden Kreisläufen jederzeit konstant auf dem gewünschten Niveau halten zu können. Dies ist wiederum notwendig, da durch die Membran innerhalb des integrierten Stacks im Elektrolysebetrieb reines Wasser von einem Kreislauf zum anderen gezogen wird, was im vorgesehenen Langzeitbetrieb eine Verringerung der Konzentration in einem bei gleichzeitiger Konzentrationserhöhung im gegenüberliegenden Kreislauf erzeugen würde.

Anlagenerweiterung AEMruhr

Stand: 29.11.2023, Roth

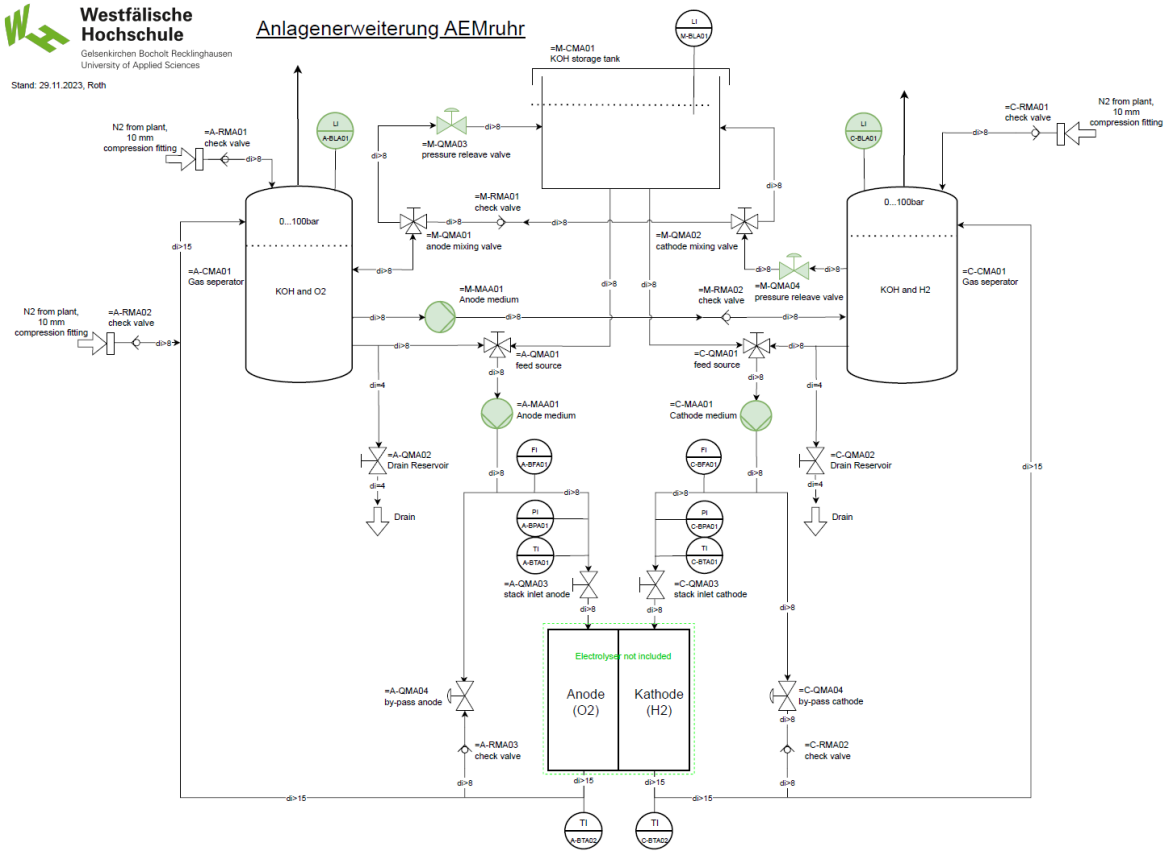


Abbildung 21: Finales Prozess- und Instrumentierungsdiagramm zur Erweiterung der bestehenden Hochdruck-Elektrolyse-Testanlage.

Eine konzeptbedingte Erhöhung der Konzentration wird während des Betriebs auch dadurch erzeugt, dass Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird, während die Salzionen des KOH zurückbleiben. Um diesen Effekt auszugleichen, wurde der Anschluss an eine vorhandene Hochdruck-Reinstwassernachfüllpumpe vorgesehen, wodurch der Füllstand und damit die Konzentration konstant gehalten werden können.

Darüber hinaus ist ein Vorratsbehälter für KOH vorgesehen, welcher über entsprechende Verrohrung und Ventiltechnik an die beiden Prozessmedienkreisläufe angeschlossen ist, worüber KOH nachgefüllt werden kann bei Bedarf, um z. B. das Gasvolumen in den Abscheidebehältern gezielt zu verringern oder zu erhöhen, falls dies für die Regelung der Anlage im Hochdruckbetrieb nötig werden hätte sollen. Beide Prozessmedienkreisläufe beinhalten außerdem jeweils einen Bypass, womit KOH gezielt am Stack vorbei im Kreis gepumpt werden kann, um so den Betrieb bei geringen Durchflüssen unterhalb des Minimalflusses der Pumpen zu ermöglichen. Dadurch werden Freiheitsgrade für die gezielte Untersuchung des Einflusses von geringen Durchflüssen auf den Langzeitbetrieb geschaffen, um alle möglichen Betriebszustände abbilden und so etwaige Kosteneinsparpotenziale für zukünftige industrielle Umsetzungen eruieren zu können.

GEFÖRDERT VOM

Tabelle 2: Detaillierte Spezifikationen aller zur Anlagenerweiterung gehöriger Komponenten.

Inhalt vertraulich

Auf Basis der erarbeiteten Details wurde ein Ausschreibungsverfahren zur Vergabe der Anfertigung der Anlagenerweiterung eingeleitet. Die Einzelheiten für eine mögliche Auftragsvergabe wurden mit potentiellen Auftragnehmern besprochen, und die Beschaffung beschlossen und eingeleitet.

Arbeitspaket 5: Realisierung eines containerisierten Testsystems zum Demonstrationsbetrieb eines industrienahen AEM-Stacks auf Basis der hydraulischen Verpressung

Zur Realisierung der Testumgebung für den Betrieb eines industrienahen Demonstratorstacks wurde die Anfertigung der Anlagenerweiterung entsprechend den bei Arbeitspaket 4 beschriebenen Details und Spezifikationen an einen externen Anbieter vergeben. Spezialkomponenten, die der Klärung mit den jeweiligen Zulieferern bedurften, wurden allerdings entsprechend der aktualisierten Geräteliste seitens der Westfälischen Hochschule beschafft und für die Anfertigung der Anlagenerweiterung beigestellt.

Die Anlagenerweiterung sollte wie in *Abbildung 22* skizziert in einen Bereich der bestehenden Hochdruck-Elektrolyse-Testanlage integriert werden, der hierfür freigeräumt wurde. Die bestehenden Anschlusspunkte für die jeweiligen Prozess- und Hydraulikmedienanschlüsse befinden sich wie dargestellt an der Wand hinter der zu integrierenden Anlagenerweiterung.

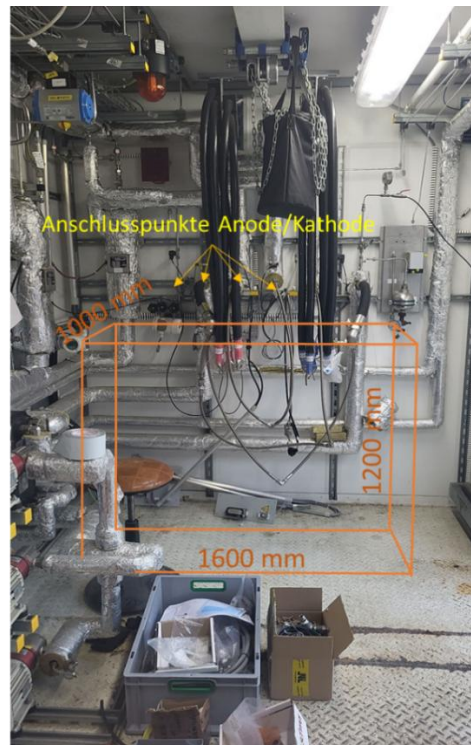
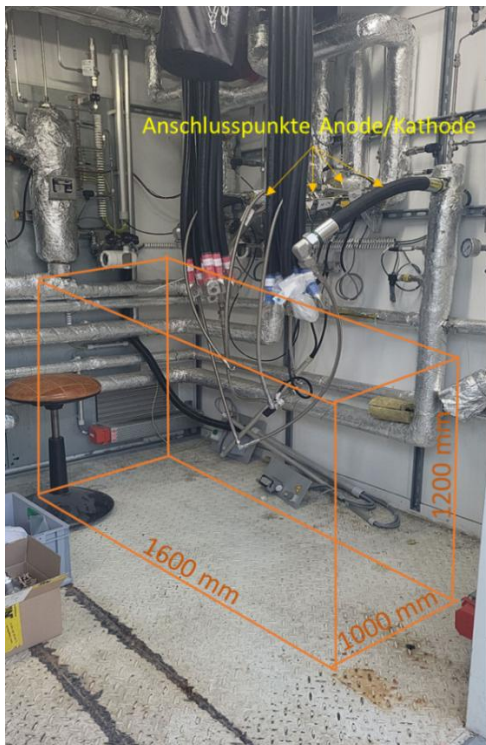


Abbildung 22: Fotografien zur Veranschaulichung des Bereichs der bestehenden Hochdruck-Elektrolyse-Testanlage, in den die Anlagenerweiterung für den Betrieb mit alkalischen Medien integriert werden sollte.

Die extern nach Vorgaben der WH gefertigte AEMruhr-Anlagenerweiterung wurde im weiteren Projektverlauf geliefert und an den vorgesehenen Platz im vorhandenen Container platziert (siehe Abbildung 23 links). Abbildung 23 zeigt rechts die Anlagenerweiterung zusammen mit den Rohrleitungen, die über die Anlagenerweiterung geführt werden mussten, damit auch weiterhin der Betrieb eines PEM-Elektrolyseurs mit der bereits bestehenden Peripherie möglich ist. Um die Rohrleitungen abzustützen, wurden zwei Aluprofile an der Anlagenerweiterung befestigt.

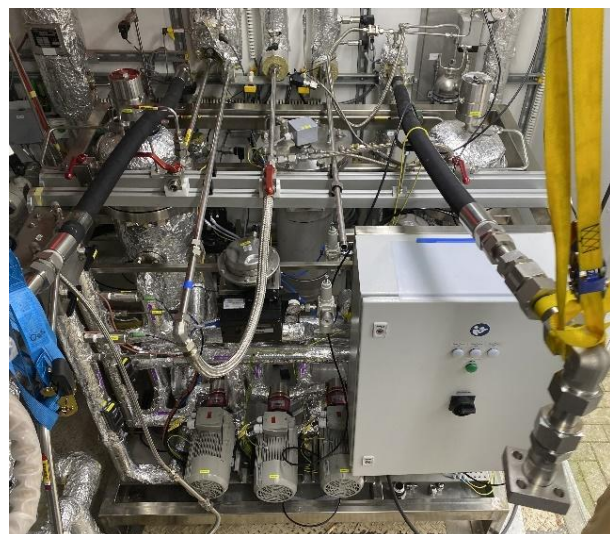


Abbildung 23: AEMruhr Anlagenerweiterung im H₂-Hochdruckelektrolysecontainer.

Nach erfolgter Installation der Anlagenerweiterung wurden die einzelnen Komponenten sukzessive getestet und die gesamte Peripherie in Betrieb genommen. Zunächst wurden die einzelnen Pumpen, Sensoren und Ventile hinsichtlich der Funktionalität getestet, anschließend wurden Durchfluss-, Dichtigkeits- und Temperierungstests durchgeführt, um die Funktionalität insbesondere auch im Zusammenspiel mit der bereits bestehenden Infrastruktur zu validieren. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme wurde der erste Stack (s. AP 3) angeschlossen und untersucht.

Arbeitspaket 9: Dissemination und Abschätzung des Verwertungspotentials

Zum Start des Projektvorhabens wurden seitens der Partner entsprechende Pressemitteilungen formuliert und veröffentlicht. Diese hatten die wesentlichen Inhalte und Eckdaten des Vorhabens zum Thema. Aufgegriffen wurde dies auch im Fachmagazin „H2 News“ und über diesen Kanal weiterverbreitet. Das Projektvorhaben wurde außerdem im Rahmen der ruhrvalley Convention in den Jahren 2023 - 2024 jeweils vor Ort vorgestellt und die aktuellen Entwicklungsergebnisse wurden in den ruhrvalley Jahresberichten 2022 - 2024 veröffentlicht.

Darüber hinaus wurde im Rahmen unter anderem dieses Projektvorhabens die Masterarbeit von Frau Tahmineh Haddadi, die sich mit der Konstruktion eines Anionenaustauschmembran-Wasserelektrolyse-Stacks auf Basis der hydraulischen Verpressung und der zugehörigen experimentellen Charakterisierung von Komponenten und Materialien beschäftigte, abgeschlossen. Eine weitere Masterarbeit von Herrn Niclas Meußen wurde im Rahmen des Projektvorhabens AEMruhr mit dem Thema der technischen und wirtschaftlichen Projektierung einer Testanlage für anionenleitende (alkalische) Membranelektrolyse mit hydraulischer Einzelzellverpressung angefertigt. Eine weitere Bachelorarbeit von Frau Razieh Karimi, die den Aufbau einer Labortestumgebung für die Untersuchung von Komponenten für den Einsatz in alkalischen Membran-Elektrolyseuren zum Thema hatte, wurde ebenfalls im Rahmen des Projektvorhabens erfolgreich abgeschlossen. Des Weiteren wurde eine Masterarbeit von Herrn Victor Thiel zum Aufbau und Test eines hydraulisch verpressten AEM-Hochdruck-Elektrolyseurs, insbesondere unter Betrachtung von Crossover-Effekten, begonnen. Der neu entwickelte und aufgebaute AEM-Elektrolyse-Laborteststand wurde zudem vor Ort bei der Messe ‚e-world‘ als Exponat gezeigt (20. – 22.02.2024 in Essen), wie in Abbildung 24 dargestellt.



Abbildung 24: Projektmitarbeiter zusammen mit Vertretern des ruhrvalley-Netzwerks vor dem AEMruhr-Laborprüfstand auf der Messe 'e-world' in Essen.

Im Rahmen des Auftritts des Westfälischen Energieinstituts bei den Industriemessen ‚HannoverMesse‘ (2022 - 2024), ‚hy-fcell‘ (2024 in Stuttgart) und ‚Hydrogen Technology Expo Europe‘ (2022 - 2024 in Bremen und Hamburg) wurde das Projekt ebenfalls präsentiert. Darüber hinaus wurden die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der Westfälischen Hochschule im Bereich der Wasserstoffenergiesysteme inklusive der AEM-Hochdruck-Elektrolyse im Zuge der Teilnahme an der European Hydrogen Week vorgestellt (18. – 22.11.2024 in Brüssel).

2. Vergleich des Stands des Vorhabens mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des Zuwendungsgebers geänderten) Arbeits-, Zeit- und Ausgabenplanung

Status der Arbeitspakete:

AP 0: Projektkoordination und Controlling.

Status:

Die Arbeiten innerhalb dieses Arbeitspakets konnten während der Projektlaufzeit wie geplant durchgeführt werden.

Ergebnisse:

- Erstellung Materialliste zu untersuchender, kommerziell verfügbarer Zellkomponenten
- Organisation und Durchführung des Kick-Off Meetings
- Ausarbeitung und Abstimmung eines Kooperationsvertrags
- Diverse bilaterale Gespräche mit den Partnern zur Abstimmung der Arbeiten innerhalb der einzelnen Arbeitspakete.

Abweichungen:

Projekttreffen mit allen Projektbeteiligten wurden nach 2022 nicht mehr durchgeführt, da sich die Arbeitsinhalte so sehr unterschieden, dass entschieden wurde, die Kommunikationsaktivitäten bzgl. der Entwicklungsfortschritte auf bilateralen Austausch zu verlagern. Die WH fungierte hier als zentrale Anlaufstelle.

Bewertung:

Die Arbeiten konnten zunächst im Rahmen von Gesamt-Projekttreffen unter Beteiligung aller Partner und anschließend im bilateralen Austausch koordiniert werden. Die Arbeiten innerhalb des AP 0 sind damit erfolgreich verlaufen.

AP 1: Materialscreenings.

Status:

Die Arbeiten wurden während des gesamten Projektzeitraums fortgeführt, um über das reine Materialscreening hinaus weitere Erkenntnisse für den Betrieb des Demonstrator-Stacks zu sammeln.

Ergebnisse:

- Aufbau eines Testsystems auf Basis der hydraulischen Verpressung für den Einsatz eines schwach konzentrierten KOH-Elektrolyten als Prozessmedium
- Beschaffung verschiedener Materialien zur Untersuchung bzgl. der Einsetzbarkeit als Aktivkomponenten für den Aufbau von AEMEL-Zellen
- Betrieb erster AEM-Elektrolyse-Testzellen und Charakterisierung der eingesetzten Komponenten
- Erweiterung der Labor-Testumgebung für den eigenständigen Betrieb
- Charakterisierung kommerziell verfügbarer Membranen als Referenz

- Einfluss des Prozessmediendurchflusses auf das Polarisationsverhalten einzelner Zellen wurde untersucht und belegt.

Abweichungen:

Das AP wurde nicht wie geplant abgeschlossen, die Arbeiten wurden während der gesamten Projektlaufzeit weiter fortgesetzt, da noch weitere entscheidende Erkenntnisse für den Stackbetrieb durch die Laborversuche erzielt werden sollten.

Bewertung:

Die Arbeiten zur Auswahl der Zellkomponenten und -materialien, die für den Aufbau des finalen Stacks genutzt wurden, wurden fristgerecht abgeschlossen. Unabhängig davon wurden weitere experimentelle Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Betriebsparameter auf das Verhalten der Zellen durchgeführt. Die Ziele des APs für den weiteren Projektfortschritt wurden wie geplant erreicht. Das AP wurde länger bearbeitet als geplant, um weitergehende Untersuchungen durchführen zu können.

26

AP 2: Upscaling und Aufbau eines Labormusters.

Status:

Mit dem Aufbau eines ersten Stacks in Zielgröße mit reduzierter Zellanzahl wurde das Arbeitspaket abgeschlossen.

Ergebnisse:

- Abstimmung zur nötigen Anpassung der vorhandenen Stackplattform.
- Durchführung der nötigen Arbeiten intern geplant und abgestimmt.
- Bereitstellen aller Komponenten für den Aufbau eines Labormusters mit Ausnahme der Zellrahmen.
- Auslegen der Zellrahmen für die finale Dimensionierung und anschließende Fertigung.
- Überarbeitung des Dichtungskonzepts.
- Fertigung aller Zellrahmen für den Aufbau eines ersten AEM-Elektrolyseur-Stacks.
- Aufbau und Validieren der Funktionalität eines ersten AEM-Elektrolyseur-Stacks.

Abweichungen:

Der Stack wurde später als ursprünglich geplant aufgebaut und betrieben, da es zu Verzögerungen beim Aufbau der Testumgebung gekommen war.

Bewertung:

Die Arbeiten innerhalb des AP wurden wie geplant durchgeführt, und konnten mit Verzögerungen zur ursprünglichen Zeitplanung dennoch erfolgreich abgeschlossen werden.

AP 3: Optimierung und Aufbau eines industrienahen Demonstratorstacks.

Status:

Mit dem Aufbau eines Demonstrator-Stacks in Zielgröße wurde das Arbeitspaket abgeschlossen.

Ergebnisse:

- Auslegung und Konstruktion eines Druckbehälters
- Anfertigung eines Druckbehälters
- Beschaffung aller Komponenten für den Aufbau des finalen Demonstratorstacks
- Aufbau eines AEM-Elektrolyseurstacks in Zielgröße

Abweichungen:

Abweichungen innerhalb des Arbeitspakets gab es hinsichtlich eingetretener Verzögerungen im Vergleich zur ursprünglichen Zeitplanung. Inhaltlich gab es keine Abweichungen.

Bewertung:

Nachdem das Stack-Konzept durch den Betrieb des Labormusters validiert wurde, wurde wie geplant der finale Stack aufgebaut und dessen Funktionalität Validiert. Das AP konnte erfolgreich abgeschlossen werden.

AP 4: Planung eines containerisierten Testsystems zum Demonstrationsbetrieb eines industrienahen AEM-Stacks auf Basis der hydraulischen Verpressung.

Status:

Das Arbeitspaket konnte mit Verzögerung im Vergleich zur ursprünglichen Zeitplanung inhaltlich erfolgreich abgeschlossen werden.

Ergebnisse:

- Ausarbeitung und Definition der Spezifikationen für das Testsystem
- Mehrere Entwürfe des Prozess- und Instrumentierungsdiagramms für die Prozessmedienzweige
- Finalisierung der Planungen für den Hochdruck-Elektrolyse-Betrieb mit alkalischen Medien.
- Erstellen eines finalen detaillierten Prozess- und Instrumentierungsdiagramms inklusive der Spezifikationen aller Komponenten.

Abweichungen:

Im Gegensatz zur ursprünglichen Planung wurde anstelle einer eigenständigen containerisierten Testanlage die Erweiterung einer bestehenden Hochdruck-Elektrolyse-Testumgebung durchgeführt.

Bewertung:

Durch die geänderte Planung im Vergleich zur Antragsstellung konnten finanzielle Mittel für weitere, im Projektverlauf nötig gewordene Arbeiten umgewidmet werden. Dies hat maßgeblich zum Erreichen der übergeordneten Projektziele beigetragen.

AP 5: Realisierung eines containerisierten Testsystems zum Demonstrationsbetrieb eines industrienahen AEM-Stacks auf Basis der hydraulischen Verpressung.

Status:

Die Arbeiten innerhalb des Arbeitspakets wurden wie geplant durchgeführt. Eine bestehende Anlage wurde für die Integration der Erweiterung vorbereitet. Die AEMruhr-Anlagenerweiterung wurde geliefert und im bereits existierenden H2-Hochdruckelektrolysecontainer platziert. Die

Anlagenerweiterung wurde an Reinstwasser, Stickstoff, Strom und die bestehende Infrastruktur angeschlossen. Abschließend wurden mehrere Stacks in der neu realisierten Testumgebung betrieben.

Ergebnisse:

- Einleiten des Beschaffungsvorgangs für die Fertigung der Anlagenerweiterung.
- Vorbereiten der bestehenden Anlage für die Integration der Anlagenerweiterung.
- Externe Anfertigung der Anlagenerweiterung.
- Die Anlagenerweiterung wurde in die bestehende Anlage integriert.
- Testbetrieb bei 30 bar Wasserstoffproduktionsdruck war erfolgreich.

28

Abweichungen:

Die verzögerte Fertigstellung der Anlagenerweiterung führte zu Verzögerungen im Gesamt-Projektablauf.

Bewertung:

Die technischen Ziele konnten mit Verzögerung erfolgreich erreicht werden.

AP 9: Dissemination und Abschätzung des Verwertungspotentials

Status:

Die Arbeiten innerhalb des Arbeitspakets konnten wie geplant durchgeführt werden.

Ergebnisse:

- Projektwebseite mit den Informationen über das Forschungsprojekt.
- Pressemitteilungen zum Projektstart seitens der Partner
- Projektvorstellung in „H2 News“ (Vulkan-Verlag)
- Projektvorstellung im Rahmen der ruhrvalley Convention in den Jahresberichten
- Projektvorstellung im Rahmen des Auftritts des Westfälischen Energieinstituts bei diversen Industriemessen.
- Einbindung des Projektvorhabens in die Lehre über insgesamt drei Master- sowie eine Bachelorarbeit.
- Präsentation des Laborprüfstands auf der Messe ‚e-world‘ 2024 in Essen.

Abweichungen:

Es gab keine Abweichungen zur ursprünglichen Planung.

Bewertung:

Das Projekt stößt auf breiten Anklang. Die Arbeiten zur Dissemination und zur Abschätzung des Verwertungspotentials konnten somit erfolgreich durchgeführt werden.

3. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises:

Aufgrund der nötig gewordenen Änderung hinsichtlich des Aufbaus einer containerisierten Testumgebung wurden entsprechende Änderungen im Finanzierungsplan notwendig. Diese wurden auf Basis der inhaltlichen Begründung seitens des Projektträgers kostenneutral genehmigt.

Entgegen der ursprünglichen Planung wurde die Testumgebung nicht als eigenständige Lösung aufgebaut, sondern in eine bereits bestehende Infrastruktur integriert. Die hiermit mögliche Nutzung bereits vorhandener Anlagenteile ermöglichte die Umsetzung der Entwicklung des Demonstratorstacks. Der hierfür notwendige Aufwand, vor allem personell, war höher als zu Projektbeginn geplant. Entsprechend wurden die freigewordenen finanziellen Mittel für die Beschäftigung von Projektmitarbeitern eingesetzt. Beschäftigungsentgelte stellten dementsprechend auch den größten Kostenpunkt innerhalb des Vorhabens dar.

Ein weiterer großer Kostenpunkt war die Anfertigung und Anlieferung der Anlagenerweiterung für den Aufbau der Testumgebung. Diese wurde auf Basis der seitens der WH durchgeführten Entwicklung und der wiederum darauf aufbauenden Detailplanung realisiert. Durch die Vergabe dieser Arbeiten an ein externes Unternehmen konnten wesentliche personelle Ressourcen für die weitere Entwicklung des Hochdruck-AEM-Stacks eingesetzt werden. Die Maßnahme war somit maßgeblich für das Erreichen der übergeordneten Projektziele.

Weitere größere Investitionen bezogen sich auf Gerätschaften, welche für den Aufbau der Labortestumgebung sowie der containerisierten Testumgebung nötig waren. Als größte Kostenpunkte sind hier ein Netzgerät zur Gleichstromversorgung für den Demonstratorstack sowie der für den Aufbau dieses Stack notwendige Druckbehälter zu nennen.

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten:

Im Vergleich zur ursprünglichen Projektplanung musste zusätzlich eine Testumgebung für Laborversuche aufgebaut werden, um die notwendigen Untersuchungen unterschiedlicher Aktivmaterialien durchführen zu können. Aufgrund der Neuartigkeit des Technologieansatzes gestalteten sich diese Untersuchungen darüber hinaus umfangreicher als ursprünglich geplant. Das Arbeitspaket 1 wurde dementsprechend auch länger und damit einhergehend mit einem höheren Personalaufwand als ursprünglich geplant bearbeitet. Die Arbeiten waren jedoch notwendig, weil die dadurch erzielten Erkenntnisse in Bezug sowohl auf die Materialauswahl als auch auf die Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der Entwicklung eines Demonstratorstacks unerlässlich waren.

Neben der vollständig neu entwickelten Labortestumgebung war auch das aufzubauende Testsystem in Containerbauweise eine komplette Neuentwicklung. Insbesondere die Anforderungen hinsichtlich der Sicherheit beim Umgang mit explosionsgefährlichen Stoffen bei hohen Drücken stellten eine besondere Herausforderung dar. Es mussten mehrere verschiedene Systemansätze erarbeitet und diskutiert werden, um eine Lösung zu erarbeiten, die einerseits den sicheren Betrieb gewährleistet, andererseits aber auch Untersuchungen zur perspektivischen Nutzbarkeit in zukünftigen industriellen Einsatzgebieten erlaubt. Der hierfür aufzuwendende personelle Aufwand war dementsprechend hoch, es konnte aber das Ziel erreicht werden, sodass eine Testumgebung, die den Anforderungen vollumfänglich entspricht, realisiert werden konnte.

Für den Demonstrationsbetrieb sollte ein Hochdruck-AEM-Elektrolyse-Stack auf Basis einer bereits bestehenden Plattform entwickelt werden. Da das Konzept bereits im PEM-Elektrolyse-Betrieb erprobt war, war davon ausgegangen worden, dass die Adaption für den AEM-Betrieb durch Anpassungen im Materialbereich möglich hätte sein sollen. Der Betrieb bei schwankenden Betriebsbedingungen (Druck, Temperatur) unter Einsatz von geänderten (Dichtungs-) Materialien und Prozessmedien erforderte jedoch die Anpassung der Geometrie der Zellrahmen. Insgesamt mussten mehrere verschiedenen Revisionen erzeugt und erprobt werden, um einen geeigneten Design-Ansatz für den Aufbau des finalen Demonstratorstacks zu erarbeiten. Da die Fertigung in Zielgröße sowie die anschließende experimentelle Untersuchung in der dafür vorgesehenen Infrastruktur jeweils langwierige Prozessschritte darstellten, war dieser Entwicklungsprozess ebenfalls mit einem hohen personellen Aufwand verbunden. Final konnte aber auch dieser Entwicklungsstrang erfolgreich abgeschlossen, und damit der Aufwand gerechtfertigt werden.

5. Voraussichtlicher Nutzen und Ergebnisverwertung:

Die im Rahmen des Projekt erarbeiteten Erkenntnisse haben seitens der Westfälischen Hochschule dazu geführt, dass die Entwicklung im Bereich der AEM-Technologie in vielen Aspekten vorangetrieben werden konnte. Hinsichtlich zur Verfügung stehender Elektrodenmaterialien konnten die Erfahrungen aus dem Projekt bereits in neue Entwicklungsansätze und Projektvorhaben umgesetzt werden:

- ME(G)AEM (FKZ: 01F22812N)
- KARPET (FKZ: EFRE-20800713)
- NiProAEM (FKZ: 16KN115821)

Erste erfolgversprechende Neuentwicklungen wurden bereits im Labormaßstab unter Verwendung der ebenfalls im Rahmen des ‚AEMruhr‘-Projekts entstandenen Labortestumgebung erarbeitet. Die Untersuchung der Skalierbarkeit dieser neuen Technologieansätze wird durch die im Zuge des AEMruhr-Projekts geschaffenen Kapazitäten ebenfalls möglich.

Die hierfür realisierte Hochdruck-Testumgebung für die Untersuchung von Materialien, Komponenten, Zellen und Stacks für die AEM-Elektrolyse-Technologie ermöglicht somit, die Entwicklung für diese vielversprechende Technologie maßgeblich zu unterstützen und voranzutreiben. Insbesondere in Verbindung mit der ebenfalls neu geschaffenen Stack-Plattform können neue Ansätze im Bereich der Aktivmaterialien hinsichtlich der Skalierbarkeit und Einsetzbarkeit unter industrienahen Bedingungen untersucht werden. Dies betrifft explizit auch den Betrieb bei erhöhten Wasserstoffproduktionsdrücken.

Erzielte Ergebnisse wurden und werden unter Wahrung der Vertraulichkeit gegenüber Projektpartnern stets auf Fachkonferenzen sowie Industriemessen einer breiten Öffentlichkeit präsentiert. Darüber hinaus werden neue Erkenntnisse in Fachzeitschriften publiziert. Der direkte Wissenstransfer erfolgt aber auch über die im Rahmen der diversen studentischen Abschlussarbeiten erworbenen Fähigkeiten, die im Zuge der Entwicklungsarbeiten innerhalb des Projekts erarbeitet wurden.

Damit legen sowohl die erarbeiteten Erkenntnisse als auch die geschaffene Infrastruktur die Basis für die weitere Entwicklung im Bereich der Hochdruck-AEM-Elektrolyse an der Westfälischen Hochschule.

6. Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Dirk Henkensmeier, Malukah Najibah, Corinna Harms, Jan Žitka, Jaromír Hnát, Karel Bouzek (2021).

Overview: State-of-the Art Commercial Membranes for Anion Exchange Membrane Water Electrolysis

- Experimenteller Vergleich der kommerziell verfügbaren Anionenaustauschmembranen.
- Die Membranen wurden hinsichtlich ihrer Performance im Elektrolysebetrieb untersucht.

S.Campagna Zignani, M. Lo Faro, A.Carbone, C.Italiano, S.Trocino, G.Monforte, A.S.Aricò (2022).

Performance and stability of a critical raw materials-free anion exchange membrane electrolysis cell

- Untersuchung verschiedener edelmetallfreier Katalysatoren für den AEM-Elektrolysebetrieb.
- Mit Edelmetallfreien NiMo-Katalysatoren wurden Ergebnisse erzielt, die denen von Pt-Katalysatoren nahe kommen.

Mohamed Massaoudi, Haitham Abu-Rub, Shady S. Refaat, Ines Chihi, Fakhreddine S. Oueslati (2021).

Deep Learning in Smart Grid Technology: A Review of Recent Advancements and Future Prospects

- Literatur Übersicht im Bereich Deep Learning Algorithmen im Kontext von Smart Grid welche sich mit Veröffentlichungen im Zeitraum 2018 bis 2020 befasst
- Besondere Aufmerksamkeit widmen die analysierten Veröffentlichungen den Themen: Voraussagen und Verteilung von Energieauslastung, Fehlererkennung und Internet-Sicherheit.

Osama Majeed Butt, Muhammad Zulqarnain, Tallal Majeed Butt (2020). **Recent advancement in smart grid technology: Future prospects in the electrical power network**

- Literatur Analyse von Veröffentlichungen von 2009 bis 2019 im Umfeld von Smart Power Grid mit Aussicht auf zukünftige Entwicklungen.
- Adressiert starken Zuwachs seit 2009 in Entwicklung und Forschung rund um das Thema Smart Grid.

Liting Tian, Lin Cheng, Yuxiang Wan, Kai Yuan, Rui Liu, Kuihua Wu (2020). **From Distributed Energy Resources to Virtual Power Plants: A Cyber-Physical System Solution for Integrating Demand-side in Smart Grid**

- Thematisiert die Transformation von zentralisierten zu dezentralisierten Systemen.
- Beschreibt die Rolle die virtuelle Kraftwerke in zukunfft einnehmen werden und welche Effekte dies auf den Energiemarkt haben kann.

Krishnan S et al., **Present and future cost of alkaline and PEM electrolyser stacks**, International Journal of Hydrogen Energy,

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.031>

Yan Shen, Pan Wu, Chun Wang, Wei Yuan, Wanliang Yang, Xiao Shang, **Electrodeposition of amorphous Ni-Fe-Mo composite as a binder-free and high-performance electrocatalyst for hydrogen generation from alkaline water electrolysis**, International Journal of Hydrogen Energy, 2023, ISSN 0360-3199,

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.03.327>.

Marilena Isabella Zappia, Valentina Mastronardi, Sebastiano Bellani, Yong Zuo, Gabriele Bianca, Luca Gabatel, Matteo Gentile, Ahmad Bagheri, Hossein Beydagh, Filippo Drago, Michele Ferri, Mauro Moglianetti, Pier Paolo Pompa, Liberato Manna, Francesco Bonaccorso, **Graphene vs. carbon black supports for Pt nanoparticles: towards next-generation cathodes for advanced alkaline electrolyzers**, Electrochimica Acta (2023), <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2023.142696>.

Autoren: Eid Gul, Giorgio Baldinelli, Azharuddin Farooqui, Pietro Bartocci, Tariq Shamim

Jahr: (2023)

Titel: AEM-electrolyzer based hydrogen integrated renewable energy system optimisation model for distributed communities

Kurzfassung:

- Beitrag stellt ein fortschrittliches wasserstoffintegriertes Systemmodell für erneuerbare Energien vor
- Das Systemmodell soll den Energiebedarf einer dezentralen Gemeinschaft decken
- Zudem soll aus überschüssiger bzw. kurzlebiger erneuerbarer Energie Wasserstoff erzeugt werden
- Hierfür wird im Kontext des Beitrages ein Optimierungsmodell des erneuerbaren Energiesystems (bestehend aus Windkraftanlagen, Biogasanlagen und Photovoltaikanlagen) sowie ein mathematisches Modell des Elektrolyseurs entwickelt
- Auch wird das Modell zum Energieaustausch mit einer lokalen Netzstation verbunden.

Autoren: Hernan Gomez-Villarreal, Miguel Canas-Carreton, Rafael Zarate-Minano, Miguel Carrion

Jahr: 2023

Titel: Generation Capacity Expansion Considering Hydrogen Power Plants and Energy Storage Systems

Kurzfassung:

- Arbeit stellt neuartiges Konzept für den Ausbau der Erzeugungskapazität vor, welches die Möglichkeit der Installation neuer Wasserstoff-Turbinen sowie die Erzeugung aus erneuerbaren Energien und verschiedenen Speichertechnologien berücksichtigt.
- Das Konzept bestimmt zudem Investitionsentscheidungen im Zusammenhang mit der Installation von Elektrolyseuren zur Wasserstoffherzeugung und -speicherung.
- Die anhand einer Fallstudie erzielten Ergebnisse zeigen, dass Wasserstoffkraftwerke in allen Fällen, in denen diese Technologie verfügbar ist, installiert werden. Zudem ist installierte Kapazität von Elektrolyseuren um den Faktor 2 ½ höher als die von Wasserstoff-Kraftwerken.

Autoren: Jan Martin Zepter, Jan Engelhardt, Mattia Marinelli

Jahr: 2023

Titel: Optimal expansion of a multi-domain virtual power plant for green hydrogen production to decarbonize seaborne passenger transportation

Kurzfassung:

- Beitrag stellt ein detailliertes technisch- wirtschaftliches Optimierungsmodell für die Dimensionierung eines Elektrolyseurs und eines Wasserstoffspeichers vor.
- Sowohl Elektrolyseur als auch Wasserstoffspeicher sind hierbei in ein virtuelles Kraftwerk mit mehreren Bereichen eingebettet, um grünen Wasserstoff für den Personentransport auf See zu erzeugen.

- Anhand von Daten aus einem von erneuerbaren Energien dominiertem 60/10-kV-Umspannwerk konnte gezeigt werden, dass ein Elektrolyseursystem ein wertvolles Flexibilitätselement auf der Stromnachfrageseite darstellt, während es gleichzeitig das Wärmemanagement des Fernwärmesystems unterstützt und dazu beiträgt, den Wasserstoffbedarf der Fähren zu decken.

Autoren: Wulyu Jiang, Werner Lehnert, Meital Shviro

Jahr: 2023

Titel: The Influence of Loadings and Substrates on the Performance of Nickel-Based Catalysts for the Oxygen Evolution Reaction

Kurzfassung:

- Im Rahmen der Arbeit wurde der Einfluss unterschiedlicher Katalysatormaterialbeladungen in Verbindung mit verschiedenen Substratmaterialien auf die Sauerstoffentwicklungsreaktion (OER) und damit auf einen wesentlichen Teil der Gesamtreaktion zur Wasserstoffherzeugung mittels alkalischer Membranelektrolyse untersucht.
- Es wurden verschiedene (kommerziell verfügbare) Katalysatormaterialien auf unterschiedliche Substrate aufgebracht und diese anschließend jeweils experimentell elektrochemisch charakterisiert.
- Als Ergebnis wurde herausgefunden, dass die OER-Aktivität ab einer gewissen Beladungsmenge nicht weiter steigt, während die Aktivität stark vom gewählten Substratmaterial abhängt.
- Die Arbeit bietet gute Vergleichsmöglichkeiten für die Charakterisierung von Aktivmaterialien, sowohl die Materialauswahl als auch die verwendeten Messtechniken betreffend.

Autoren: Jan Witte, Patrick Trinke, Boris Bensmann, Maik Becker, Richard Hanke-Rauschenbach, und Thomas Turek

Jahr: (2025)

Titel: Influence of Contact Pressure on Hydrogen Crossover and Polarization Behavior in AEM Water Electrolysis

Kurzfassung:

- Beitrag stellt die Ergebnisse einer experimentellen Untersuchung des Einflusses des Zellverpressdrucks auf den Wasserstoffanteil im Sauerstoff vor.
- Der im Projek AEMruhr bisher genutzte und für die Tests bei hochskalierten Zellflächen angedachte Verpressdruck befindet sich innerhalb der untersuchten Spanne.
- Die Ergebnisse werden bei den weiteren Tests berücksichtigt und mit eigenen Ergebnissen verglichen, sobald diese vorliegen

Delp, E., Mishra, R. & Wagner, E. **Evaluation of complex multi-physics phenomena at gas diffusion electrodes during high-pressure water electrolysis with AEMs.** Sci Rep 15, 24866 (2025).

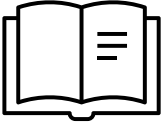
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-05216-5>

Sampangi, S. K., Jarubula, C. K., Elasmr, M., & Röntzsch, L. (2025, October 1). **Advanced Anion Exchange Membrane Electrolyser with 360 cm² Active Cell Area.** 10th Low-Temperature Fuel Cells, Electrolysers & H₂ Processing Forum (EFCF 2025), Lucerne, Switzerland.

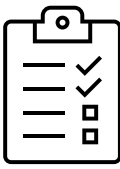
<https://doi.org/10.5281/zenodo.17244120>

7. Veröffentlichungen

Folgende Veröffentlichungen konnten platziert werden:

Publikationen und Veröffentlichungen (Print, Digital, Social Media)		
	2024	U. Rost et al. <i>In-situ Untersuchung von kostengünstigen Materialkombinationen in einem skalierbaren Testsystem basierend auf der hydraulischen Verpressung von Einzelzellen für die AEM-Wasserelektrolyse</i> , in J. Gulden (Hrsg.) <i>Nutzung Regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik 2024</i> , Tagungsband 31. Energie-Symposium, S. 109 – 118, 2024. DOI 10.18453/rosdok_id00004683
	15.07.2021	Artikel in Fachmagazin 'H2-News', <i>Neue Membranen für Elektrolyseure in der Entwicklung</i> . https://h2-news.de/forschung/neue-membranen-fuer-elektrolyseure-in-der-entwicklung/
	07.07.2021	Artikel in Fachzeitschrift 'F&S': https://fs-journal.de/forschung-und-entwicklung/wasserstoff-eisen-statt-platin-macht-erzeugung-guenstiger/
	2022	ruhrvalley Jahresbericht 2021, Seiten 71-73
	2023	ruhrvalley Jahresbericht 2022, Seiten 53-55
	2024	ruhrvalley Jahresbericht 2023, Seiten 60-62
	Darstellung auf der ruhrvalley Website: https://ruhrvalley.tech/projects/aemruhr/ Darstellung auf der Instituts-Website der Westfälischen Hochschule: https://www.w-hs.de/wei/arbeitsgruppenseiten/wasserstoffenergiesysteme/hydra-15-1-1-2/ Pressemitteilung der Westfälischen Hochschule: https://www.w-hs.de/pressemedien/nachrichten-lesen/news/detail/News/alkalisch-statt-sauer-unedle-statt-edelmetallen/	

Zudem wurde das Projekt bei folgenden Veranstaltungen präsentiert:

Veranstaltungen		
	Unsere Veranstaltungen und Vorträge:	
	24.08.2023	Ruhrvalley Convention 2023, Bochum
	29.10.2024	Ruhrvalley Convention 2024, Herne
	20. – 22.02.2024	Messe ‚E-World‘, Essen
	13. – 15.11.2024	31. Energie-Symposium – Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik, Stralsund