

ABSCHLUSSBERICHT

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Zuwendungsempfänger:

Siqens GmbH, München



Förderkennzeichen:

03EN5019D

Thema: Entwicklung einer portablen Energieerzeugungsplattform auf der Basis von Methanol und Brennstoffzellentechnik

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2022 – 30.04.2025

Berichtszeitraum: 01.01.2022 – 30.04.2025

1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse

1.1. Arbeitspakete und Meilensteine lt. Arbeitsplan

Arbeitspakete (AP)	Bearbeitungsstand
AP1 Systemmodellierung und Simulation	- Abgeschlossen
AP 2 Entwicklung eines Reformerkörpers im 3D-Druck	- Abgeschlossen
AP3 Startbrenner Optimierung	- Abgeschlossen
AP 4 Wärmeübertrager	- Abgeschlossen
AP 5 Stackkühlung	- Abgeschlossen
AP 6 Optimierte Leitungsführung	- Abgeschlossen
AP 7 Verdunstungsbehälter	- Abgeschlossen
AP 8 Füllstandssensor	- Abgeschlossen

AP 9 Anschlussadapter für Methanolgebinde	- Abgeschlossen
AP 10 Entwicklung optimierter Systemsteuerung / Einsparung von Sensoren	- Abgeschlossen
AP 11 Tests in Systemen	- Abgeschlossen

1.2. Aufzählung der wichtigsten Ergebnisse und anderer vorhabenrelevanter Ereignisse

Im folgenden Teil des Berichtes werden die Arbeiten, Planungen und erreichten Entwicklungsstände in den einzelnen Arbeitspaketen laut Projektplan dargestellt.

Arbeitspaket 1: Systemmodellierung und Simulation

Basierend auf den Projektvorgaben konnte durch diverse Modellierungen und Simulationen ein schlüssiges Systemkonzept identifiziert werden. Um den Anforderungen speziell hinsichtlich der maximalen Umgebungstemperatur gerecht zu werden, konnte die Anzahl der Wärmeübertrager nicht in dem Maße reduziert werden wie es die ersten Annahmen nahelegten. Dennoch versprach das Konzept Vorteile durch Vereinfachungen hinsichtlich der Regelungskomplexität und ließ dabei genug Freiraum für Skalierbarkeit und Bauweise der Wärmeübertrager. Daher waren auch keine Änderungen am Systemkonzept notwendig als die Entwicklung der Aluminiumwärmeübertrager in Arbeitspaket 4 scheiterte und es konnte nahtlos mit alternativen Wärmeübertragern fortgefahren werden. Die Validierung des Systemkonzeptes konnte erfolgreich in den Arbeitspaketen 4 und 11 durchgeführt werden.

Arbeitspaket 2: Entwicklung eines Reformers im 3D-Druck

Im Rahmen des Projektes haben sich vielfältige Herausforderungen im Hinblick auf den Einsatz von metallischem 3D-Druck für Reformer gezeigt.

Zum einen konstruktive bei der Wahl der optimalen Innenstruktur für ein Konzept mit direkt beschichtetem Reformerkatalysator das eine sehr große innere Oberfläche benötigt. Eine dafür ideal passende Gyroidstruktur konnte trotz erheblicher Anstrengungen mit den zur Verfügung stehenden CAD-Softwareprodukten nicht in dem Maße umgesetzt werden, dass ein Körper in der nötigen Größe hätte gedruckt werden können. Die erzeugten Konstruktionsdateien wiesen trotz diverser Maßnahmen immer leichte Fehler auf, meist in Form von minimalen Fehlstellen an Übergängen, die zu Fehlern in der Druckvorbereitungssoftware führten. Letztlich musste auf eine einfache Parallel-Struktur mit rechteckigen Kanälen ausgewichen werden, die die Vorteile des 3D-Drucks bei weitem nicht ausnutzt.

Zum anderen kam es zu Herausforderungen im Druck selbst, da sich trotz mehrerer Versuche und zwischenzeitlicher Optimierung kein intern vollständig dichter Körper herstellen ließ. Die nötigen hohen Wandstärken von 0,7 mm bei Einsatz von Edelstahl stellen ebenfalls einen deutlichen Nachteil zu konventionellen Verfahren wie Prägen dar und gehen mit einem enorm hohen Gewicht und entsprechend nachteiliger hoher thermischer Masse des Reformerkörpers einher.

Des Weiteren muss durch die vielen kleinen Kanäle der Laser des Druckers häufig springen, was zu einer sehr langen Druckzeit führt. Der erste Prototyp hatte eine Druckzeit von etwa 31 Tagen, der letzte nach Optimierung des Druckvorganges immerhin noch von ca. 15 Tagen. Die Kosten für die Körper sind entsprechend hoch und nach einer Schätzung durch den Projektpartner 3D-Laserdruck deutlich 5-stellig.

Ergänzend kam noch die erheblich schlechtere Katalysatorbeladung hinzu die deutlich unter den Erwartungen der Vorversuche lag. Die genauen Gründe dafür konnten im Rahmen des Projektes nicht mehr ermittelt werden.

Abschließend lässt sich sagen, dass mit dem aktuellen Stand der Technik Reformer im metallischen 3D-Druck nicht sinnvoll erscheinen. Dies kann zumindest für das im Projekt entwickelte Reformerkonzept gesagt werden. Insgesamt erweist sich hier der 3D-Druck auch im Prototyping als nicht wirtschaftlich gegenüber konventionellen Verfahren wie dem chemischen Ätzen von Platten zur Beschichtung oder auch dem Fräsen und Schweißen von Reformerkörpern.

Ein Druck einzelner Platten um diese erst zu beschichten und anschließend als Stapel zu verschweißen, erscheint auf Grund der nötigen Wandstärken gegenüber dem Ätzverfahren ebenfalls nicht als sinnvoll.

Nach Rücksprache mit dem Projektpartner 3D-Laserdruck könnte der metallische Druck jedoch für das Prototyping konventioneller Schüttgut-Reformer wie sie bisher in Sigens-Ecoport-Systemen zum Einsatz kommen interessant sein, da weniger Kanäle (und damit selteneres springen des Lasers) und weniger Material nötig sind und zudem Aluminium statt Edelstahl eingesetzt werden könnte. Dies müsste aber künftig noch genauer betrachtet werden, da einige der oben genannten Herausforderungen auch in diesem Fall bestehen bleiben.

Arbeitspaket 3: Startbrenner

Im Projektverlauf konnten die grundlegenden Überlegungen zu einem hoch integrierten, einfachen Methanolbrennersystem erfolgreich in einem Prototyp umgesetzt werden. Die Herausforderungen der Wärmeeinbringung zur Verdampfung im Diffusor konnten zumindest für Laborbedingungen gelöst werden. Gleichzeitig konnte durch den Verzicht auf eine Sekundärluftführung die Regelung erheblich vereinfacht werden mit potentiell sehr positiven Auswirkungen auf die Flammstabilität des Brenners.

Für eine Überführung der entwickelten Brennertechnologie in die Siqens Seriensystem müssen im Anschluss an das Projekt noch weitere Tests und Optimierungen speziell bei extremen Umgebungstemperaturen bis zu minus 20°C denen die Seriensysteme ausgesetzt sind erfolgen. Kritisch dürfte dabei erneut die Abwärmeverdampfung im Diffusor sein. Ein weiterer Punkt der hinsichtlich Kosten/Funktion noch zu optimieren ist stellt die Förderung der Tertiärluft dar. Eventuell ist es kostengünstiger, statt zwei Lüfter nur einen zu verwenden. Hierzu muss dann allerdings auch eine Betrachtung der möglichen Funktionseinschränkungen erfolgen.

Bezüglich des Potentials 3D-gedruckter metallischer Komponenten konnten mit den Arbeiten im Projekt die technischen Limitierungen und die Rahmenbedingungen für einen wirtschaftlich sinnvollen Einsatz aufgezeigt werden. Für einen wirtschaftlichen Einsatz müssen möglichst viele Komponenten in einer einzigen gedruckten vereinigt werden. Im hier vorliegenden Fall des Startbrenners stellt dies jedoch große Herausforderungen hinsichtlich der Kombination aus festen Umwandlungen und teiloffenen Strukturen und dem Umgang mit Restpulver dar.

Das Potential der Technologie kann in jedem Fall für schnelle Prototypenteile genutzt werden die später in der Serie mit konventionellen Verfahren hergestellt werden da die Druckzeiten kurz sind, speziell im Vergleich zu den Reformern in Arbeitspaket 2. Des Weiteren ist zu einem späteren Zeitpunkt auch ein Serieneinsatz der Technologie im Bereich Brenner denkbar, dafür sind jedoch noch konkrete Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an der Brenneinheit selbst nötig.

Arbeitspaket 4: Wärmeübertrager

Die ursprünglichen Ziele dieses Arbeitspaketes waren in Zusammenarbeit mit dem ursprünglichen Projektpartner in AKG sehr ambitioniert gewählt. Die Entwicklung kostengünstiger, auf die Plattform zugeschnittener Wärmeübertrager aus Aluminium scheiterte letztlich an den relativ aggressiven Medien Methanol und Wasser mit Bestandteilen von Phosphorsäure und der fehlenden Verfügbarkeit einer hinreichend haltbaren Schutzbeschichtung. Nach dem vorzeitigen Ausstieg des Partners AKG wurde das Arbeitspaket mit den verbleibenden Projektpartnern neu ausgerichtet und enger mit Arbeitspaket 7 verzahnt. Der neue Fokus lag dabei darauf möglichst kostengünstige, marktverfügbare Lösungen zu nutzen und nur bei Bedarf Sonderlösungen über metallischen 3D-Druck zu nutzen.

Dies konnte im Projektverlauf erfolgreich mittels Einsatzes von Plattenwärmeübertragern und Automotive-Kühlern aus Edelstahl realisiert und über den gesamten Einsatztemperaturbereich (-20°C bis 50°C) getestet werden.

Dabei haben die durch den Projektpartner Fraunhofer IMM ausgelegten Übertragerflächen in weiten Bereichen sehr gut mit den realen Messdaten korreliert. Der für den Einsatz der neuen Verschaltung (Kapitel 7) in Testsystemen mit konventionellen Reformern entwickelte Gyroidwärmeübertrager für drei Medienströme in einem Bauteil konnte ebenfalls erfolgreich getestet werden und stellte die maximale Größe für einen fertigen Gyroidwärmeübertrager dar. Für den Betrieb mit dem finalen, direkt beschichteten Reformer wurde dieser zwar weiter genutzt, wäre aufgrund der höheren Temperaturniveaus aber auch durch einen konventionellen Plattenwärmeübertrager ersetzbar gewesen.

Metallischer 3D-Druck wurde damit ebenfalls den Zielen des Arbeitspaketes entsprechend nur an technisch notwendigen Stellen eingesetzt.

Durch den erfolgreichen Test kostengünstiger, lamellenblech basierter Automotive-Kühler konnte ebenfalls aufgezeigt werden, wie einfach verfügbare Standardkomponenten in Brennstoffzellensystemen zum Einsatz kommen und gleichzeitig deren Balance-of-Plant-Kosten signifikant reduzieren können.

Die im Arbeitspaket gewonnenen Erkenntnisse sollen künftig stufenweise auch in die Siqens Seriensysteme einfließen. Dazu sind noch weitere Langzeit-Qualifizierungstests sowie leichte Anpassungen der Komponenten nötig.

Arbeitspaket 5: Stackkühlung

Im Rahmen des Projektes wurde eine Luftkühlung als optimale Lösung zur Erreichung der Ziele des Arbeitspaketes identifiziert. Für die passende Auslegung des Kühlsystems mit mussten große Herausforderungen überwunden werden. Es wurde ein modular skalierbares Stackkühlsystem entwickelt, das auf luftgekühlten Segmenten basiert und sich an unterschiedliche Stackleistungsanforderungen anpassen lässt. Die Kombination aus graphitischen und metallischen Wärmeleitstrukturen ermöglicht eine effiziente Kühlung bei gleichzeitig geringem parasitärem Energieaufwand. Die durch Simulationen und experimentelle Arbeiten erzielten Fortschritte führten zu einem signifikanten Erkenntnisgewinn über Wärmeverteilung, Druckverluste und Materialverhalten in HT-PEM-Systemen.

Aufgrund des Ausscheidens des Unterauftragnehmers zur Herstellung des verpressten Kühlplattenverbundes kam es zu erheblichen Verzögerungen im Aufbau des Protoypstacks da der Ausscheidewunsch erst spät an Sigens kommuniziert wurde und dann noch eine Alternative Fertigungsmöglichkeit gefunden werden musste. Daher konnte der Stack mit dem entwickelten Kühlsystem zwar noch bis zur Abgabe des Berichtes assembliert werden, ein Test war jedoch nicht mehr möglich. Die Validierung der Kühlung wird künftig außerhalb des Projektrahmens fortgesetzt.

Damit konnte im Arbeitspaket 5 der Grundstein für die effiziente Kühlung zukünftiger Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellenplattformen gelegt und ein entscheidender Beitrag zur Systemskalierbarkeit geleistet werden.

Arbeitspaket 6: Leitungsführung

Im Rahmen des Projektes konnten im Arbeitspaket die Möglichkeiten des 3D-Drucks für medienführende Leitungen erprobt und die Funktionalität erfolgreich validiert werden.

Für Anschlüsse an Wärmeübertrager aus Polypropylen wurde das Multi-Jet-Fusion-Verfahren genutzt. Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen von Rückständen der wärmeleitenden Flüssigkeit des Verfahrens auf die Medienbeständigkeit der Bauteile konnten durch Ex- wie In-Situ-Versuche zerstreut werden. Das Verfahren eignet sich vollständig für den Einsatz in Brennstoffzellensystemen in thermisch weniger belasteten Bereichen.

In Kooperation mit den Projektpartnern 3D-Laserdruck und Fraunhofer IMM wurden poröse 3D-Druck-Strukturen identifiziert, die Kondensat aufnehmen, leiten und kontinuierlich wieder abgeben können. Es wurden verschiedene Probekörper die sich durch die Druckparameter unterscheiden, seitens des Fraunhofer IMM auf die tatsächliche Porenverteilung und seitens Siqens auf die Benetzungs- und Speichereigenschaften untersucht. Die beiden vielversprechendsten Parametersätze wurden für Testkörper genutzt, die einen hinsichtlich Kondensation besonders kritischen Rohrabschnitt in einem Siqens Standardsystem widerspiegeln. Die Körper konnten erfolgreich im System getestet werden. Es konnten keine negativen Auswirkungen durch Kondensattropfen auf den Systembetrieb über einen Betriebszeitraum von ca. 48h beobachtet werden. Auch eine externe Zugabe von Kondensat in den Rohrabschnitt zeigte erst bei größeren Mengen Auswirkungen auf den Systembetrieb, diese wurden durch das Bauteil jedoch sehr stark gedämpft und konnten von der Standardsystemregelung ausgegelt werden.

Des Weiteren konnte ein Serienteil aus gesintertem Metalldraht, dass in erster Linie als Filterelement vermarktet wird identifiziert werden. In Vorversuchen zeigte sich ein ähnliches Benetzungs- und Speicherverhalten wie für die 3D-Druck-Struktur. In Systemtests mit vergleichbarem Aufbau zu den Tests der 3D-Druck-Rohrabschnitte konnten ebenfalls keine Auswirkungen durch Kondensattropfen beobachtet werden. Bei externer Kondensatbeimengung wird zwar eine leichte Dämpfung erreicht, diese ist jedoch nicht mit den Eigenschaften der 3D-Druck-Bauteile vergleichbar.

Damit stehen zwei probate Lösungen für kondensatgefährdete Stellen zur Verfügung, eine sehr günstige, einfach verfügbare und eine noch etwas leistungsfähigere zu deutlich höheren Kosten für besonders schwierige Stellen

Arbeitspaket 7: Verdunstungsbehälter

Ziel des Arbeitspaketes war es zusammen mit den Arbeiten in Arbeitspaket 4 eine Reduzierung der Komplexität der gesamten Medieneinheit und damit eine Kostenersparnis zu erzielen bei gleichzeitiger Skalierbarkeit der Lösung im gewählten Rahmen (1,5 – 3,0 – 4,5 kW) der Systemplattform.

Dabei haben die Simulationen verschiedener Verschaltungen des Projektpartners Fraunhofer IMM (Arbeitspaket 1) und deren Validierung durch Ex-situ-Versuche klar gezeigt, dass weder auf die Kühlung durch die Methanolverdunstung (MVV) noch auf die luftgekühlte Kühlstufe (in den Prosim-Schaltbildern COFF-IC) verzichtet werden kann, um die Wasserbilanz zwischen Kathodenproduktwasser und Wasserdampfreformierung zu schließen. Eine Reduzierung der Komplexität war an dieser Stelle also nicht möglich ohne Einschränkungen hinsichtlich der Einsatzfähigkeit des Systems hinzunehmen.

Um dennoch die zentralen Forderungen nach Skalierbarkeit und Kosten erfüllen zu können wurde im weiteren Projektverlauf der Fokus auf in großen Stückzahlen am Markt verfügbare Wärmeübertrager gelegt. Dazu wurden für die Wärmeübertrager in denen Verdunstung und Verdampfung stattfindet konventionelle Plattenwärmeübertrager aus Edelstahl gewählt und für den Zwischenkühler mit Luft als Kühlmedium ein auf Lamellenplatten basierender Kühler aus dem Automotive-Bereich.

Durch Ex-Situ und Systemtests (Arbeitspaket 11) der Verschaltung konnte die prinzipielle Eignung des Konzeptes als auch die funktionelle der Wärmeübertrager nachgewiesen werden.

Damit steht am Ende des Projektes eine kostengünstige und speziell hinsichtlich der Plattenwärmeübertrager einfach skalierbare Lösung für die Verdampfung des Wasser-Methanol-Gemischs und die Kondensation des Kathodenproduktwassers zur Verfügung. Für einen künftigen Einsatz der Verschaltung in Seriensystemen müssen jedoch noch Langzeittests und Optimierungen hinsichtlich der nötigen Startzeit erfolgen.

Arbeitspaket 8: Kontinuierliche Füllstandsmessung

In Kooperation mit einem Sensorhersteller konnte im Rahmen des Projektes ein nach dem kapazitiven Messprinzip funktionierender Sensor für die kontinuierliche Überwachung von Flüssigkeitsfüllständen identifiziert werden. Nach erfolgreichen Vortests mit einem Evaluierungskit wurde der Sensor hinsichtlich Geometrie, Steckverbindung und Kommunikationsprotokoll an die Bedürfnisse von Siqens angepasst.

Der Sensor wurde zunächst in ein Siqens-Standardsystem zur Regelung des Füllstandes des Kondensatwassers integriert, um die grundlegende Regelung an den neuen Sensor anzupassen. Es konnte ein sehr gut passender Parametersatz entwickelt werden mit dem der Füllstand über die Regelung des Lüfters für den Zwischenkühler „COFF-IC“ sehr konstant gehalten wurde. Der Sensor wurde im System über 1800 Betriebsstunden und 70 Starts hinsichtlich der Stabilität der Ausgabewerte validiert. Dabei haben sich keine Auffälligkeiten gezeigt.

Der Sensor wurde an selber Stelle in das Methodik-Labor-Demonstratorsystem implementiert und konnte dort ebenfalls seine positiven Eigenschaften ausspielen.

Der im Projekt entwickelte Sensor und die darauf aufbauende Regelung haben die Ziele damit vollumfänglich erfüllt. Es konnte ein ruhigerer Systembetrieb ohne Störeinfluss durch starkes Variieren des „COFF-IC“ Lüfters mit entsprechend niedrigerem peripheren Energieverbrauch der Wasserrückgewinnung dargestellt werden. Der Sensor wurde so gestaltet, dass er künftig auch in Siqens-Standardsystemen zusätzlich zur Überwachung des Kondensatwasserfüllstandes auch zur Erfassung des Füllstandes des Medieneinheitsbehälters genutzt werden kann.

Arbeitspaket 9: Anschlussadapter für Methanolgebinde

Im Rahmen des Projektes wurde das bestehende Design des Methanolentnahmekopfes mit externen Firmen erfolgreich hinsichtlich der Fertigbarkeit im Spritzgussverfahren geprüft. Hinsichtlich der Maßhaltigkeit der Teile bei längerer Lagerung nach dem Spritzguss ergeben sich jedoch neue Herausforderungen im Verbund mit den Anschlüssen tankpatronenseitig.

Durch Vereinfachung des Designs, konnte ein Bauteil im Entnahmekopf eingespart werden und der Aufwand der Fertigung soweit reduziert werden, dass selbst mit konventionellem, spanabhebendem Verfahren eine signifikante Kostenersparnis realisiert werden kann. Damit kann bis zu mittleren Stückzahlen auf Spritzguss und die damit verbundenen Problemstellungen verzichtet werden.

Prototypen des neuen Entnahmekopfes wurden im Systembetrieb erfolgreich über kumuliert 5800 Betriebsstunden getestet ohne Auffälligkeiten. Der neue Entnahmekopf kann daher für alle künftigen Sigens System genutzt werden.

Arbeitspaket 10: Entwicklung optimaler Systemsteuerung / Einsparung von Sensoren

Durch die Arbeiten in den Arbeitspaketen 3 und 7 konnte die Reduzierung um diverse Sensoren im Methodik-Labor-Demonstratorsystem nachgewiesen werden. Im Startbrenner kann durch die entwickelten Maßnahmen sowohl auf eine Messblende als auch auf das Magnetventil und einen der Thermosensoren verzichtet werden. In der Wärmerübertragerverschaltung zur Medienaufbereitung kann auf zwei Füllstandssensoren und einen PT100 Sensor verzichtet werden.

Dadurch konnten einige Elemente aus der objektorientierten Regelungssoftware entfernt und diese vereinfacht werden. Speziell die Regelung der Methanol-Wasser-Dampfbereitstellung ist deutlich weniger komplex im Vergleich zu Siqens Standardsystemen da Temperatur- Konzentrations- und Füllstandsregelung entfallen. Durch die enge thermische Koppelung des katalytischen Brenners mit dem Reformer konnte in der Regelung die gesonderte Ebene der Katbrennerregelung entfernt werden und die Temperaturregelung des Reformers direkt genutzt werden.

Speziell hinsichtlich der Reformerregelung sind jedoch über das Projekt hinaus noch weitere Arbeiten zur Abstimmung der Regelparameter und der Betriebszustände notwendig, um Markttauglichkeit zu erreichen.

Arbeitspaket 11: Tests in Systemen

Insgesamt konnten durch die diversen Systemtests mit dem modifizierten Ecoport1500 als auch mit dem Labordemonstrator wertvolle Erkenntnisse gesammelt werden und Bereiche zur künftigen Optimierung identifiziert werden. Dabei haben vor allem die Versuche zur Verifizierung der im Projekt entwickelten Wärmeübertragerverschaltung als Ersatz für die bisherige Medienheineit sehr erfolgreich neue Erkenntnisse über die Komponente hinaus zum Einfluss von Temperatur und Luftfeuchte generiert die auch direkt in die Betriebsoptimierung der Siqens Standardsysteme einfließen werden. Des Weiteren konnten die in Arbeitspaket 1 durch den Projektpartner Fraunhofer IMM durchgeführten Simulationen zur System- und Wärmeübertragerverschaltung weitgehend bestätigt werden und damit die Grundlage für eine einfach skalierbare, kostengünstige Medienaufbereitung zur Systemversorgung gelegt werden. Gleichzeitig wird damit eine deutliche Reduzierung der Sensoren und eine vereinfachte Regelung ermöglicht, da die Verdampfung des Methanol-Wasser-Gemischs nicht mehr von der Anodenabgasrezirkulation sowie der Konzentration und Temperatur der Medieneinheitsflüssigkeit abhängt. Durch den entwickelten kontinuierlichen Füllstandssensor am Phasentrenner-Kathoden-Kondensat (PTKK) konnte eine exakt bedarfsgeführte Lüfterregelung umgesetzt werden die einen deutlich positiven Einfluss auf den peripheren Stromverbrauch und die Stabilität der gesamten Systemregelung hat. Das im Rahmen des Projektes entwickelte Startsystem konnte ebenfalls im System erfolgreich getestet werden und wies zumindest unter Laborbedingungen einen optimalen Betrieb im Systemverbund auf. Dies gilt auch für den vereinfachten Methanolentnahmekopf und die Maßnahmen zur Verhinderung von Kondensattropfenbildung in den Leitungen. Im Labordemonstratorsystem wurden an den kritischen Stellen die in Arbeitspaket 6 entwickelten porösen Strukturen eingesetzt und es konnte über die gesamten Testbetriebe kein Tropfenevent beobachtet werden.

Der Systembetrieb des 3D-gedruckten Reformers hat sich als herausfordernd dargestellt, da nicht nur die durch das Konzept der direkten Beschichtung erwarteten Auswirkungen auf die Regelung auftraten, sondern auch durch die im Verhältnis hohe Masse die Trägheit der Temperaturregelung noch deutlich verstärkt wurde. Dies resultierte unter anderem auch in einer sehr langen Aufheizzeit bis zur Reformierungstemperatur von ca. 2 Stunden, dies ist deutlich zu lang für reale Anwendungen. Gut funktioniert hat die elektrische Vorheizung mittels Heißluft die schon nach kurzer Zeit von ca. 7 bis 10 Minuten die Temperatur am Reformereinlass über die Methanolsiedetemperatur gehoben hat. Ebenfalls erfolgreich konnte die Verdampfung des Methanols zum Betrieb des Katbrenners in der Startphase über die Abwärme des Reformers dargestellt werden, das Konzept des seitlich im Reformerkörper integrierten Verdampfers hat sich damit bewährt.

Bezüglich der Qualität des Reformatgases hat sich neben einer zu erwartenden Auswirkung des S/C-Verhältnisses auch ein deutlicher Temperatureinfluss auf die CO-Konzentration gezeigt, der in der Form nicht erwartet wurde. Problematisch ist das enge Temperaturfenster für eine optimale Gasqualität im Zusammenspiel mit der trägen Regelbarkeit des Reformers. Diese muss für einen weiteren Betrieb erheblich verbessert werden.

Die optimierte Stackkühlung ist die einzige Komponente, die im Rahmen des Projektes entwickelt wurde, jedoch bis zur Abgabe des Berichtes aus bereits in Arbeitspaket 5 dargelegten Gründen nicht im Systemverbund getestet werden konnte.

Die Optimierung des Regelverhaltens des Reformers und der Systemtest der optimierten Stackkühlung sind zentrale Anknüpfungspunkte für künftige Arbeiten außerhalb des Projektrahmens.

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

Aufgrund größerer Herausforderungen und Verzögerungen in der Umsetzung des 3D-gedruckten Reformers und der optimierten Stackkühlung war eine kostenneutrale Verlängerung des Projektes um 4 Monate nötig. Der Nachweis eines funktionsfähigen Laborprototypen konnte erbracht werden.

3. Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Ausgabenzeitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert (Begründung)?

Die Ziele des Vorhabens konnten weitgehend erreicht werden. Ein Systembetrieb der im Projekt entwickelten Stackkühlung konnte aus den im entsprechenden Arbeitspaket genannten Gründen nicht dargestellt werden. Das Labordemonstratorsystem wurde noch mit einer konventionellen Stackkühlung, sonst aber mit allen im Projekt entwickelten Komponenten betrieben

4. Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?

Es sind keine Änderungen in der Zielsetzung vorgesehen.

5. Sind inzwischen von dritter Seite Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind? (Darstellung der aktuellen Informationsrecherchen nach Nr. 2.1 BNBEST-BMBF 98 oder Nr. 1.2 NABF für AZA bzw. Nr. 6.1 NKBF 98 oder Nr. 1.2 NKFB 2017 für AZK).

Im Verlauf des Vorhabens sind keine Ergebnisse bekannt geworden, die sich explizit mit der durch das Projekt bearbeiteten Fragestellung befassen.

6. Fortschreibung des Verwertungsplans.

Im jetzigen Projektstadium wird eine IP-Verwertung untersucht. Konkret wurden noch keine Schutzrechtsanmeldungen zu den Erfindungen getätigt. Hinsichtlich der wirtschaftlichen, wissenschaftlichen und/oder technischen Erfolgsaussichten nach Projektende hat sich gegenüber dem Status, wie er im Projektantrag dargelegt wurde, keine Veränderung ergeben.