Zukunftscluster H_2 Wasserstoff

- Abschlussbericht zum Projekt HyInnoNets1 – Teil I und II

Zuwendungsempfänger: **Kümpers GmbH, Rheine**

Förderkennzeichen: **03ZU1115BB**

Laufzeit des Vorhabens: **01.10.2021 – 30.09.2024**

Letzter Zwischenbericht: **27.05.2024 für das Kalenderjahr 2023**

Berichtszeitraum: **01.10.2021 – 30.09.2024**

GEFÖRDERT VOM

CLUSTERS 4 FUTURE
Innovationsnetzwerke für unsere Zukunft

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Abschlussbericht
zum Förderprojekt „HyInnoNets1“

Zuwendungsempfänger (ZE): Kümpers GmbH, Rheine	**Förderkennzeichen**: **03ZU1115BB**
Förderprogramm/ Vorhabensbezeichnung: BMWi-Fördermaßnahme: Angewandte nichtnukleare Forschungsförderung im 7. Energieforschungsprogramm „Innovationen für die Energiewende“	
Titel des Vorhabens: HyInnoNets – Befähigung Fernleitungsnetze für H2-Betrieb. Teilprojekt: Entwicklung von faserverstärkten Kunststoffrohren (als Alternative zu Stahl), die hohen Drücken standhalten müssen (Composite-Pipeline-System), auf Basis eines speziell weiterentwickelten Towpregs (K-Pregs und UD-Pregs) von Kümpers.	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 - 30.09.2024; Fortführung über Phase 2.0 vom 01.03.2025 bis 29.02.2028	
Berichtszeitraum: 01.10.2021 - 30.09.2024	
Projektleiter: Dr. Ing. Rudolf Bonse	Tel.: 05971 861 0 E-Mail: info@kuempers.de
Verfasser Abschlussbericht: Dietmar Hoffstedde, Dipl. Ing.	Tel.: 05971 861 113 E-Mail: hoffstedde@kuempers.de

Teil I - Kurzbericht

Projekt: WASSERSTOFF: Befähigung Fernleitungsnetze für H2-Betrieb (HyInnoNets) - A
Projektlaufzeit: 01.10.2021 – 30.09.2024
Förderkennzeichen: 03ZU1115BB

Zum Aufbau eines Wasserstoff-Pipelinenetzes sollen bestehende Erdgaspipelines genutzt werden. Die für diese verwendeten Stähle sind aber teilweise nicht für den Betrieb mit Wasserstoff geeignet, es kommt zur Wasserstoffversprödung. Eine Möglichkeit, um diese Pipelines für den Betrieb mit Wasserstoff bereit zu machen, ist die Innenbeschichtung mit Permeationsbarrieren, welche den Wasserstoff nicht hindurchlassen und so das Rohrmaterial schützen.

Zu Beginn des Forschungsprojekts war die Technologie des high-speed directed energy deposition (HS-DED), bzw. früher Extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen (EHLA), eine in der Forschung etablierte Technologie, mit der metallische und Metall-Matrix-Komposit-Beschichtungen auf metallische Substarte aufgebracht werden konnten. Die Technologie war allerdings auf die Außenbeschichtung von Bauteilen beschränkt.
Im Projekt sollte daher eine Innenbeschichtungsoptik und der Prozess für die Innenbeschichtung entwickelt werden, um Rohre von innen beschichten zu können.
Der großflächige Einsatz von Wasserstoff als nachhaltiger Energieträger erfordert eine effiziente Infrastruktur für dessen Transport. Aktuell basiert das deutsche Gasleitungsnetz auf Stahlpipelines gemäß DVGW-G 463, die jedoch für den Transport von reinem Wasserstoff nur bedingt geeignet sind, da Wasserstoffdiffusion zu Versprödung und Materialschäden führen kann. Während bestehende Stahlpipelines durch innovative EHLA-Beschichtungstechnologien für den Wasserstofftransport nachgerüstet werden sollen, besteht gleichzeitig ein wachsender Bedarf an neuen, kosteneffizienten Pipeline-Lösungen. Hier setzt das Projekt HyInnoNets an, das die Entwicklung faserverstärkter Kunststoffpipelines (FVK) als Alternative zu herkömmlichen Stahlrohren erforscht. Diese FVK-Pipelines zeichnen sich durch geringes Gewicht, hohe Korrosionsbeständigkeit und eine reduzierte Temperatursensitivität aus und sollen für den Hochdruckbetrieb im Wasserstoff-Fernleitungsnetz optimiert werden.

Das Projekt bestand aus sieben Arbeitspaketen. Zunächst wurden in AP1 gemeinsam die Anforderungen an Rohr und Beschichtung definiert. Anschließend wurden im Bereich der Beschichtungen in AP2 und AP4 die Innenbeschichtungsoptik entwickelt und der Beschichtungsprozess entwickelt. Parallel wurde die Fertigung der FVK-Rohre in AP3 und AP5 mit der Entwicklung der Systemtechnik für die Wickelung und der Prozessentwicklung zur Fertigung von Faserverbund-Pipelines entwickelt, ***auf Basis der von Kümpers weiterentwickelten Carbon-Towpregs***. Zuletzt wurde in AP6 die Möglichkeit der metallischen Beschichtung von FVK-Rohren mittels HS-DED untersucht. Außerdem wurden in AP7 die gefertigten beschichteten und unbeschichteten Rohre im Hinblick auf die Wasserstoffpermeabilität getestet.

- **Umfassende Untersuchung aller relevanten Komponenten und Prozesse**
- **Entwicklung und Validierung von Prototypen**
- **Optimierung der Material- und Verbindungstechnik**

Es konnte eine entscheidende Grundlage für den Einsatz von FVK-Pipelines im zukünftigen Wasserstofftransport geschaffen werden. Die entwickelte Technologie zeigt vielversprechende Perspektiven für eine kosteneffiziente und nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Stahlpipelines.
Zudem konnte nachgewiesen werden, dass metallische Beschichtungen auf FVK-Rohren mittels HS-DED prinzipiell möglich sind, wobei thermoplastische Materialien als Substrate besonders geeignet sind. Dabei muss eine möglichst hohe Energiezufuhr in das Beschichtungsmaterial ermöglicht werden, ohne das Substrat zu schädigen. Daher eigenen sich Substrate mit hoher Erweichungstemperatur und Wärmeleitfähigkeit sowie die Nutzung eines metallischen Liners zum Wärmeabtransport.

Teil II – Darstellung der durchgeführten Arbeiten

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis iii

1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technische Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse 2

2. Vergleich des Stands des Vorhabens mit der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung 7

3. Änderungen der Aussichten auf Erreichen der Vorhabensziele 7

4. Forschungs- und Entwicklungsergebnisse Dritter 7

5. Notwendige Änderungen der Zielsetzung 7

6. Fortschreibung des Verwertungsplans 7

6.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte 7

6.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende 7

6.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende 7

6.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit 7

Neue Erkenntnisse und Weiterentwicklungen der Fa. Kümpers, die nach dem Zwischenbericht für das Jahr 2023, d.h. hauptsächlich im Jahr 2024, gewonnen und umgesetzt werden konnten, sind kursiv und unterstrichen dargestellt.

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

AP 1: Definition Anforderungen

Im Rahmen des Kick-offs und der ersten Projekttreffen sind die grundlegenden Anforderungen für die Innenbeschichtung mittels EHLA (Extrem-Hochgeschwindigkeits-Laser-Auftragsschweißen), das Wickeln der FVK-Pipelines sowie der Innenbeschichtungsoptik (IBO) ausgearbeitet und nach Möglichkeit direkt definiert worden. Diese Parameter dienen allen Projektpartner als Grundlage für die Konzepterstellung der Technologien, Materialauswahl und Versuchsplanung. Darüber hinaus werden Testmöglichkeiten für die Validierung der erzeugten Ergebnisse diskutiert und eine Auswahl für dieses Projekt getroffen.

Die Anforderungen wurden im Laufe des Projektes weiter herausgearbeitet und kontinuierlich evaluiert. An die Faserverbundwerkstoffe wurden die Anforderungen bezüglich der Festigkeit, Wasserstoff-Permeationskoeffizienten und der Schichtdicke definiert. Zudem wurde hier die Geometrie der gewickelten Pipelines definiert.

Hierzu spielt die Weiterentwicklung des Towpregs der Firma Kümpers eine wesentliche Rolle, worauf nachfolgend näher eingegangen wird, insbesondere die neuen Erkenntnisse aus den vergangenen Kalenderjahren 2023 und 2024 in den Arbeitspaketen AP 3 und AP 5.

AP 2: Entwicklung Innenbeschichtungsoptik für EHLA
Parallel ist in Abhängigkeit von den Anforderungen mit der Entwicklung der Innenbeschichtungsoptik (IBO) begonnen worden. Dazu sind verschiedene Kriterien definiert worden (siehe Zwischenbericht der Firma Kümpers für das Kalenderjahr 2022.

AP 3: Systemtechnik für die Wickelung von Faserverbundpipelines
Im Rahmen des Arbeitspakets wurden bei Kümpers Towpregs auf Basis von Epoxyd- und PU-Harz produziert, die den Anforderungen des Multifilamentwickelverfahrens (MFV) angepasst sind.
Wie im AP 3 (Bericht 2023) bereits beschrieben, handelt es sich bei den PU-Towpregs um eine technische Innovation, die in dieser Form auf dem Markt nicht vorhanden war. Vorteil von PU-Harzen ist die UV-Beständigkeit und längere Lebensdauer in Bezug auf Überland-Pipelines (hinsichtlich reduzierter Degradation oder Erweichung der faserverstärkten Kunststoffe, z.B. durch äußere Einflüsse von starken Temperaturschwankungen etc.).
Dazu wurden nach ersten Testläufen auf der Versuchsanlage der Firma Kümpers Weiterentwicklungen auf der Serienanlage mit einem (kommerziell) erhältlichen PU-Harz der Firma Covestro durchgeführt. Dabei konnte die Machbarkeit zur Serienreife erbracht, auch wenn die Laufeigenschaften nicht so effizient sind als bei anderen Harzsystemen, wie z.B. Epoxyd.
Im Laufe des Jahres 2023 und 2024 wurden weitere Optimierungen in Zusammenarbeit mit verschiedenen Harzherstellern erarbeitet, um die Laufeigenschaften zu verbessern, immer mit dem Ziel, die Kosten so gering wie möglich zu halten, bei mindestens gleichbleibender Qualität. Im Detail wurden folgende Versuchsreihen gefahren, mit dem Focus auf EP-Harz (siehe unten).
Im vergangenen Jahr 2024 konnte die Towpreganlage hinsichtlich der Breiteneinstellung des Towpregs weiterentwickelt werden, was zu einer wesentlichen Verbesserung der Faserverteilung beigetragen hat (siehe unten).

- **Tapebreite Towpreg**

  In 2024 konnte Kümpers durch ein neues Maschinen-setup die Breite des Towpregs vergrößern. Auf Basis einer 24K Carbontype konnte die Breite von 5,2 mm auf bis zu 6,8 mm vergrößert werden, immer mit der Vorgabe, die Faserverteilung ohne gaps/ Lücken zu gewährleisten. Bei der Weiterverarbeitung können die Towpregs so präziser abgelegt und gleichmäßiger im Faserverbundbauteil verteilt werden. Das wiederum führt zu einer besseren Wasserstoffdichtigkeit und thermischen Stabilität. Auch führt die Verteilung der Fasern auf eine größere Tapebreite zu einer verbesserten Harzverteilung, was mikroskopische Querschnittsanalysen der Towpregs belegen konnten (siehe Abschlussbericht ITA).

- **EP-Harzsystem**
  - Bei den EP-Towpregs konnten nochmals deutliche Fortschritte hinsichtlich der Verarbeitbarkeit und Erfüllung der Projekt-Anforderungen gemacht werden, v.a. hinsichtlich der im AP 3 geforderten Verkürzung der Konsolidierungszeit und dem -zyklus.
  - Bezeichnung Harz-Typ: Mit dem sogen. „snap cure"-Harzsystem von Westlake (Hoch-Tg) können sehr schnelle curing times erzielt werden. Hierbei ist von Kümpers ein Neulieferant in die Entwicklung mit eingebunden worden, die Fa. CTP (Birla-Group). Dabei konnten neue Erkenntnisse hinsichtlich einer besseren Verarbeitbarkeit gewonnen werden. *Die Konsolidierungszeit konnte dadurch reduziert werden, was die Wirtschaftlichkeit v.a. bei der Weiterverarbeitung der Towpregs deutlich steigert.*
  - Viskosität: Aufgrund der schwierigen Verarbeitbarkeit des herkömmlichen „snap-cure"-Systems, hat die Fa. Kümpers ein neues, angepasstes Anforderungsprofil an die Fa. Westlake (und neu: Fa. CTP) formuliert. Da ein gesunder Wettbewerb ja bekanntlich das Geschäft anregt, hat Westlake sehr intensiv nach einer Lösung gesucht und nach mehreren Laborversuchen ein modifiziertes „snap cure"-System angeboten (Bezeichnung: 0800-AT). Dieses Harz konnte bei der Fa. Kümpers bei mehreren Testläufen sehr erfolgreich verarbeitet werden: a) hinsichtlich der Herstellung der Harzformulierung und b) hinsichtlich deutlich verbesserten Laufeigenschaften aufgrund der niedrigeren Viskosität. Zum einen konnte die Viskosität vom Reinharz selber deutlich reduziert werden, zum anderen konnte durch die Anpassung der Härtermenge die Verarbeitung im Towpreg-Prozess zusätzlich verbessert werden. Wir können heute behaupten, ein schnell härtendes „fast curing-System" entwickelt zu haben, welches die gleichen Laufeigenschaften bei der Towpreg-Herstellung ermöglicht wie die mit einem Standard-EP-System.
    Die Fa. CTP hat ein ähnliches System entwickelt, welches in der Projektphase 2.0 getestet wird.

- Klebrigkeit/ Tack: diese kann sowohl mit „normalen" EP-Harzsystemen als auch dem „snap cure" System gesteuert werden über den Anteil eines zweiten Harzes innerhalb der Rezeptur oder über den Härter. Des Weiteren spielt der Fasergewichtsanteil eine Rolle und hat einen direkten Einfluss darauf. NEU: Kümpers hat über den Prozessparameter „Wärme" eine zusätzliche Möglichkeit gefunden, die Klebrigkeit zu steuern.
  Hierzu wurden weitere Untersuchungen durchgeführt, z.B. mit einem sogen. Prepreg-Harzsystem (von Huntsman). Dadurch konnten v.a. bei den breiteren Towpreg-Tapes definierte Tack-Einstellungen erzielt werden.
- Wicklung: Durch eine optimierte Aufwicklung der Towpregs mit definierten Winkeln und definierten Spannungen kann die Qualität und Geschwindigkeit beim Abwickeln beeinflusst und gesteuert werden.
  Kümpers hat neue Spulenaufnahmen installiert (Fa. Sahm), die eine optimierte und höhere Aufwickelspannung ermöglicht. Auch kann ein Durchrutschen durch die Verwendung von neuen Hülsen vermieden werden.
  Beide Neuentwicklungen ermöglichen es den Kunden, mit hohen Abzugsspannungen (mit bis zu 70N = 10x höher als die Aufwickelspannung an der Towpreg-Anlage) und sehr hohen Abzugsgeschwindigkeiten von über 300 m/ min zu produzieren (deutlicher Vorteil auch gegenüber dem Nasswickelverfahren, welches im „Wettbewerb" zum Wickeln von Towpregs steht).

- **PU-Harzsystem**
  - Viskosität: die Viskosität des verwendeten PU-Harzsystems konnte nochmals verbessert werden (bedeutet hier: höher eingestellt werden), liegt aber immer noch unter den Anforderungen für eine hochproduktive Fertigung von Towpregs. Das Harz ist immer noch so flüssig, dass es an jeder Umlenkwalze und Kontaktstelle aus den Fasern ausgequetscht wird. Die Maschinenkomponenten verschmutzen stark und die Produktqualität wird unkontrolliert verändert. Darüber hinaus ist es aufgrund der niedrigen Harzviskosität nur mit niedriger Laufgeschwindigkeit möglich, eine einigermaßen straff gewickelte Towpregspule zu produzieren, da man keine höheren Wickelspannungen realisieren kann, ohne die Spule zu beschädigen.
  - Feuchteempfindlichkeit: die derzeitigen PU-Harze sind stark feuchteempfindlich. Selbst nach kürzester Zeit reagiert das Harz mit der Feuchtigkeit der Umgebungsluft und bildet eine harte Kruste, die prozessstörend ist und nur mit großem Aufwand zu entfernen ist. Die Feuchteempfindlichkeit wirkt sich auch sehr negativ auf die Lagerungsstabilität des Materials aus. Um eine vorzeitige Aushärtung der Towpregspule zu vermeiden, ist diese sehr aufwendig, derzeit nur manuell mit einer transparenten Stretchfolie zu verpacken.
  - Schaumbildung: Über eine Modifizierung des Harzsystems von Covestro konnte die Schaumbildung deutlich reduziert werden. Diese war sehr störend hinsichtlich Laufeigenschaften und Optimierung des Fasergewichtsanteils.

AP 5: Prozessentwicklung zur Fertigung von Faserverbundpipelines

Auf Grundlage von AP 3 wird in diesem AP die Entwicklung der Fertigung der Faserverbund-Pipelines umgesetzt. Ziel: Wickelprozess und Fertigung der Pipelines unter Serienbedingungen. Insbesondere die Haftung und Wechselwirkungen zwischen Fasern, Matrix und Verbindungselementen spielt hierbei eine wichtige Rolle.

In Bezug auf diese Anforderung hat Kümpers den Towpreg-Prozess nochmals deutlich weiterentwickelt und die Streuung des Fasergewichtsanteils reduziert. Ziel ist es, die Maschinen- bzw. Prozessfähigkeit in Richtung 2.0 zu führen. Derzeit laufen Versuchsreihen, um die Streuungswerte der Matrixauflage weiter zu reduzieren. Dieses konnte v.a. in Verbindung mit dem modifizierten „fast curing-Harzsystem" erzielt werden.

Dieses wiederum hat einen direkten, positiven Einfluss auf die Zielsetzung, den Faserverbund der Pipeline zu optimieren und den Druckbeanspruchungen und Druckschwankungen Genüge zu tragen und ideale Voraussetzungen für die EHLA-Beschichtung zu schaffen.

Des Weiteren wurde die Wicklung der Towpregspulen optimiert (Wickelbild und Wickelspannung), um eine optimale Weiterverarbeitung beim Wickelverfahren/ Wickeln von FVK-Pipelines gewährleisten zu können.

Online-Überwachung und -Datenspeicherung der Prozessparameter im gesamten Herstellprozess:
Im Zuge von HyInnoNets1 konnte ein Partnerunternehmen gefunden werden, welches sich spezialisiert hat hinsichtlich der gesamtheitlichen Datenerfassung von Prozess- und Qualitätsparametern. Diese werden benötigt, um eine lückenlose Qualitätsüberwachung und Rückverfolgbarkeit von Prozessparametern gewährleisten zu können. Diese Daten können jederzeit statistisch aufbereitet werden.
Dieses Projekt wird über HyInnoNets2 fortgeführt. Folgende Parameter werden erfasst:
Abzugsspannung, Verarbeitungs-Geschwindigkeit, Breite des trockenen Rovings und des Towpregs, Harzauflage (Erkennen von trockenen Stellen), Aufwickelspannung, Harztemperatur, Mischverhältnis Dosieranlage, MV-Tests, Aufwickel-Winkel Towpreg, Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur.

1. Vergleich des Stands des Vorhabens mit der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung
Die tatsächlichen Kosten lagen etwas über dem geplanten Budget.

2. Änderungen der Aussichten auf Erreichen der Vorhabensziele
Im Berichtszeitraum haben sich die Aussichten auf das Erreichen der Ziele nicht geändert.

3. Forschungs- und Entwicklungsergebnisse Dritter
Im Berichtzeitraum sind keine Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind. Ganz im Gegenteil: das o.g. fast curing-System, welches auf einer Towpreg-Anlage unter Serienbedingungen wirtschaftlich verarbeitbar ist, scheint bisher weltweit einzigartig zu sein. *Ebenso die Verarbeitung eines Prepreg-Harzsystems innerhalb der Towpreg-Fertigung.*

4. Notwendige Änderungen der Zielsetzung
Derzeit ist nicht zu erwarten, dass Änderungen in der Zielsetzung notwendig werden.

5. Fortschreibung des Verwertungsplans
5.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte
Keine
5.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende
Positiv und somit keine Änderungen
5.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende
Positiv und somit keine Änderungen
5.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit
Positiv und somit keine Änderungen

6. Fortschreibung des Verwertungsplans
6.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte
Keine
6.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende
Die bisherigen Projektergebnisse können aus Sicht von Kümpers *bisher* als positiv bewertet werden und somit auch die Erfolge zum 30.09.2024. *Eine Fortführung erfolgt über die Phase 2.0. Hier legt Kümpers den Schwerpunkt auf eine neue Online-Prozessüberwachung und weiteren Optimierungen hinsichtlich verwendeter Harzsysteme und der allgemein leistungsbezogenen Towpreg-Verarbeitung.*
6.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende
Die bisherigen Projektergebnisse können *bisher* aus Sicht von Kümpers hinsichtlich der Towpregs mit den entsprechend weiterentwickelten Harzformulierungen als sehr erfolgreich bewertet werden und somit auch der erzielte Erfolg bis zum 30.09.2024 und darüber hinaus in Verbindung mit der Projektphase 2.0.
6.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit
Keine Änderungen.

Rheine, 26.03.2025

Kümpers GmbH
Elter Straße 290-312
48432 Rheine

Ort und Datum

Stempel, rechtsverbindliche Unterschrift