Schlussbericht

ZE:	Förderkennzeichen:
Mannesmann Line Pipe GmbH vorm. Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH	0303X375
Projekt: Foulprotect – Bewuchsschutz und Vermeidung von Biokorrosion in der Maritimen Technik Teilprojekt: Entwicklung und Untersuchung einer Faserzementmörtelummantelung (FZM) für konstruktive Stahlrohrelemente	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2014 bis 31.12.2017	

Ansprechpartner:

Mannesmann Line Pipe GmbH
Dr. H.-J. Kocks
In der Steinwiese 31
57074 Siegen

Telefon +49 271-691-170
Telefax +49 271-691-299
Hans-Juergen.Kocks@mannesmann.com

Inhalt

I Kurze Darstellung 2
I.1 Aufgabenstellung 2
I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 4
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 5
I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde 8
I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 11
II Eingehende Darstellung 12
II.1 Erzielte Ergebnisse 12
II.2 Zahlenmäßiger Nachweis 21
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 21
II.4 Nutzen, Ergebnisverwertung 21
II.5 Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen 23
II.6 Veröffentlichungen und Patentanmeldungen 23

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 0303X375 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

I Kurze Darstellung

I.1 Aufgabenstellung

Gesamtziel des Vorhabens ist die Entwicklung einer Kombination aus Korrosionsschutz und mechanischem Schutz für stahlbauliche Konstruktionselemente (z. B. Rohre oder Verbindungsknoten) auf feststehenden Offshore-Gründungen, insbesondere für Windenergieanlagen (WEA). Damit wird eine Schädigung durch Korrosion verhindert und die Standzeit der Windenergiegründungsbauwerke erhöht. Das Projekt hat das ehrgeizige Ziel, die Lebensdauer der Stahlkonstruktionen auf 25 Jahre bei möglichst geringem Wartungsaufwand zu verlängern. Neben der Verlängerung der Lebensdauer steht der Aspekt der Materialeinsparung im Fokus, weil durch den neuartigen Korrosionsschutz bisher erforderliche Abrostungszuschläge vermieden werden und somit mehrere Tonnen Stahl eingespart werden können.

Dieses Konzept zeichnet sich zudem durch eine besondere Breitenwirkung aus, da es nicht nur im stark wachsenden Segment der Offshore-WEA sondern darüber hinaus auch in anderen Anwendungen und Märkten (Öl- und Gasindustrie) ein großes Potential besitzt.

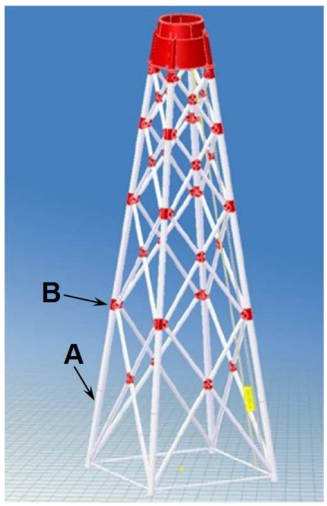

Abb. 1: Schema einer Gründungsstruktur für Offshore-Windenergieanlage für Tiefen > 20 m (Jacket-Struktur), bestehend aus A (weiß): Rohren und B (rot): Knotenpunkten. (Quelle: WeserWind)

Zielsetzung des Projektes ist die weitere Optimierung von Offshore Gründungsstrukturen für Offshore-Windenergieanlagen in Wassertiefen von mehr als 25 m, wie sie an der deutschen Nordseeküste anzutreffen sind. Eine typische Offshore-Gründungsstruktur ist eine Stahlbaukonstruktion, welche gegen die korrosiven Einflüsse der Seewasserumgebung geschützt werden muss. Im Rahmen des Vorhabens sollen neuartige Beschichtungssysteme und -verfahren entwickelt werden, mit dem Ziel eine höhere Lebensdauer und eine wirtschaftlichere Produktion solcher Offshore Gründungsstrukturen zu ermöglichen. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der hohen zu erwartenden Kosten bei der Wartung und Instandhaltung eines Offshore Windparks von essentieller Bedeutung.

Mit der neuen Technologie sollen die Rohre und Anbauteile der Gründungsstruktur mit einer Kombination aus thermoplastischer Schutzschicht und Zementmörtelummantelung versehen werden (Abb. 1), die einen möglichst wartungsfreien Betrieb über einen Zeitraum von 25 Jahren gewährleistet. Dadurch wird ein leistungsfähigerer Materialverbund erreicht, was eine optimierte Bauteilauslegung mit weniger Materialeinsatz und deutlich verlängerten Prüfintervallen bei mindestens gleichen mechanischen Eigenschaften ermöglicht.

Die wesentlichen wirtschaftlichen Ziele des Vorhabens leiten sich aus dem übergeordneten Gesamtziel ab, den Bewuchsschutz und Vermeidung von Biokorrosion in der Maritimen Technik zu Generieren und diese Erkenntnisse auch auf Offshore-WEA zu übertragen umfassen im Einzelnen:

- geringere Investitionskosten durch kostengünstigere Fertigung
- geringere Reparaturkosten durch längere Lebensdauer
- geringere Wartungskosten (Instandhaltungskosten)

Die wissenschaftlich-technischen Ziele bezogen sich auf ein vertieftes Verständnis der Materialeigenschaften in einem extremen Einsatzfeld, das durch die Kombination von korrosiven und mechanischen Belastungen einen völlig neuen Lösungsweg erfordert. Hier bestand Forschungsbedarf, um die Materialsysteme hinsichtlich ihrer Funktion im Gesamtsystem besser zu verstehen und gezielt zu verbessern. Die wissenschaftlichen Ziele waren im Einzelnen:

- verbesserter Korrosionsschutz
- verbesserte mechanische Eigenschaften gegenüber duroplastischen Systemen
- werksseitige Fertigung der Einzelkomponenten

Zur Erreichung der Projektziele war im Verbundprojekt eine Kooperation folgende Partner vorgesehen:

Antragsteller/Gesamtkoordinator:

	Organisation, Anschrift	Ansprechpartner/Kontakt
Fraunhofer IFAM	Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) Wiener Straße 12 28359 Bremen	Herr Dipl.-Ing. Sascha Buchbach Tel.: 0421/224 64 97 Sascha.Buchbach@ifam.fraunhofer.de

Teilprojektpartner:

	Organisation, Anschrift	Ansprechpartner/Kontakt
LimnoMar	LimnoMar Laboratory for Aquatic Research Bei der Neuen Muenze 11 D-22145 Hamburg	Herr Dr. Burkhard Watermann Tel: 040 678 99 11 watermann@limnomar.de
MOMENTIVE	Momentive Performance Materials GmbH Chemiepark Leverkusen 51368 Leverkusen	Herr Dr. Jos Delis Tel: 0214/ 3067 308 jos.delis@momentive.com
UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN	Universität Duisburg-Essen Universitätsstr. 5 45117 Essen	Herr Prof. Dr. Mathias Ulbricht 0201/183 31 51 mathias.ulbricht@uni-essen.de Herr Prof. Dr. Wolfgang Sand 0201/183 70 80 wolfgang.sand@uni-due.de
MANNESMANN LINE PIPE	Mannesmann Line Pipe GmbH (MLP GmbH) In der Steinwiese 31 57074 Siegen	Herr Dr. Hans-Jürgen Kocks 0271/691 170 hans-juergen.kocks@mannesmann.com

Weitere Kooperationspartner:

	Organisation, Anschrift	Ansprechpartner/Kontakt
	Institut für Bauforschung Aachen ibac GmbH Schinkelstr.3 52062 Aachen	Herr Prof. Dr. Weichold Tel: 0241 8095114 weichold@ibac.rwth-aachen.de

Bei der MLP GmbH wurden dazu die produktionstechnisch relevanten Umhüllungsversuche sowie systematische Untersuchungen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften durchgeführt, wie sie später im Rahmen einer Produktionsüberwachung relevant sind.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Bezüglich der Unternehmensausrichtung, Geschäftstätigkeit, Vorkenntnisse und Erfahrungen waren seitens der MLP GmbH folgende Voraussetzungen für das Projekt gegeben. Die MLP GmbH ist ein weltweit führender Anbieter von HFI (hochfrequenz-induktiv)-längs-nahtgeschweißten Stahlrohren. Die MLP GmbH produziert in den Werken Siegen und Hamm mit ca. 400 Mitarbeitern und einer möglichen jährlichen Kapazität von 450.000 t Stahlrohre mit einem Durchmesser bis 610 mm und einer Wanddicke von max. 25,4 mm. Neben klassischen Anwendungen wie Öl- und Gas-pipelines oder Trinkwasser- und Abwasserleitungen kommen HFI-Stahlrohre aufgrund ihrer sehr guten Eigenschaften bei Spannungen, Torsions- und Biege-belastungen im architektonischen und industriellen Stahl-hochbau zum Einsatz. Dabei bietet MLP seinen Kunden die komplette Wertschöpfungskette vom reinen Stahlrohr über Zementumhüllungen bis zur Applikation mehrlagiger Kunststoffbeschichtungen auf Polyethylen- und Polypropylenbasis.

Eine weitere wesentliche Voraussetzung war die intensive Vernetzung und die enge Zusammenarbeit der Projektpartner, die Komplementarität des Verbundes sowie die klare Aufteilung der Rollen und Verantwortlichkeiten. Die folgende Übersicht der Teilvorhaben der Projektpartner gibt ihre Arbeits-schwerpunkte an und macht auf einen Blick die Arbeitsteilung im Verbundprojekt deutlich.

Tab. 1: Übersicht der Arbeitsschwerpunkte der Partner im Teilvorhaben der MLP GmbH

Arbeitsschwerpunkte der am Teilvorhaben beteiligten Partner	Verbundprojekt Foulprotect Teilvorhaben: Entwicklung und Untersuchung einer Faserzementmörtel-ummantelung (FZM) für konstruktive Stahlrohrelemente
LimnoMar Laboratory for Aquatic Research	Auslagerungsversuche auf Norderney
Momentive Performance Materials GmbH	Bereitstellung von Mörtelzusatz
Universität Duisburg-Essen	Untersuchungen zum mikrobiellen Bewuchs des Mörtels
MLP GmbH	Produktionstechnische Untersuchung von Mörtelrezepturen
ibac	Entwicklung von Mörtelrezepturen

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt Foulprotect mit seinen beiden Arbeitsschwerpunkten in der Entwicklung von Beschichtungen für Schiffe und der Entwicklung eines zementbasierten Umhüllungssystems für Offshore Konstruktionen ist in vier Arbeitskomplexen bearbeitet worden, die von der Erarbeitung von notwendigen Grundlagen (vor allem bezüglich der Schleimbildung und der Mechanismen der Schleim-Abweisung durch spezielle Polymere) über angewandte F&E bis hin zur Anwendung reichen. Die Abbildungen 4 und 5 geben einen Überblick über die Arbeitskomplexe und aller Hauptakteure des Verbundprojektes.

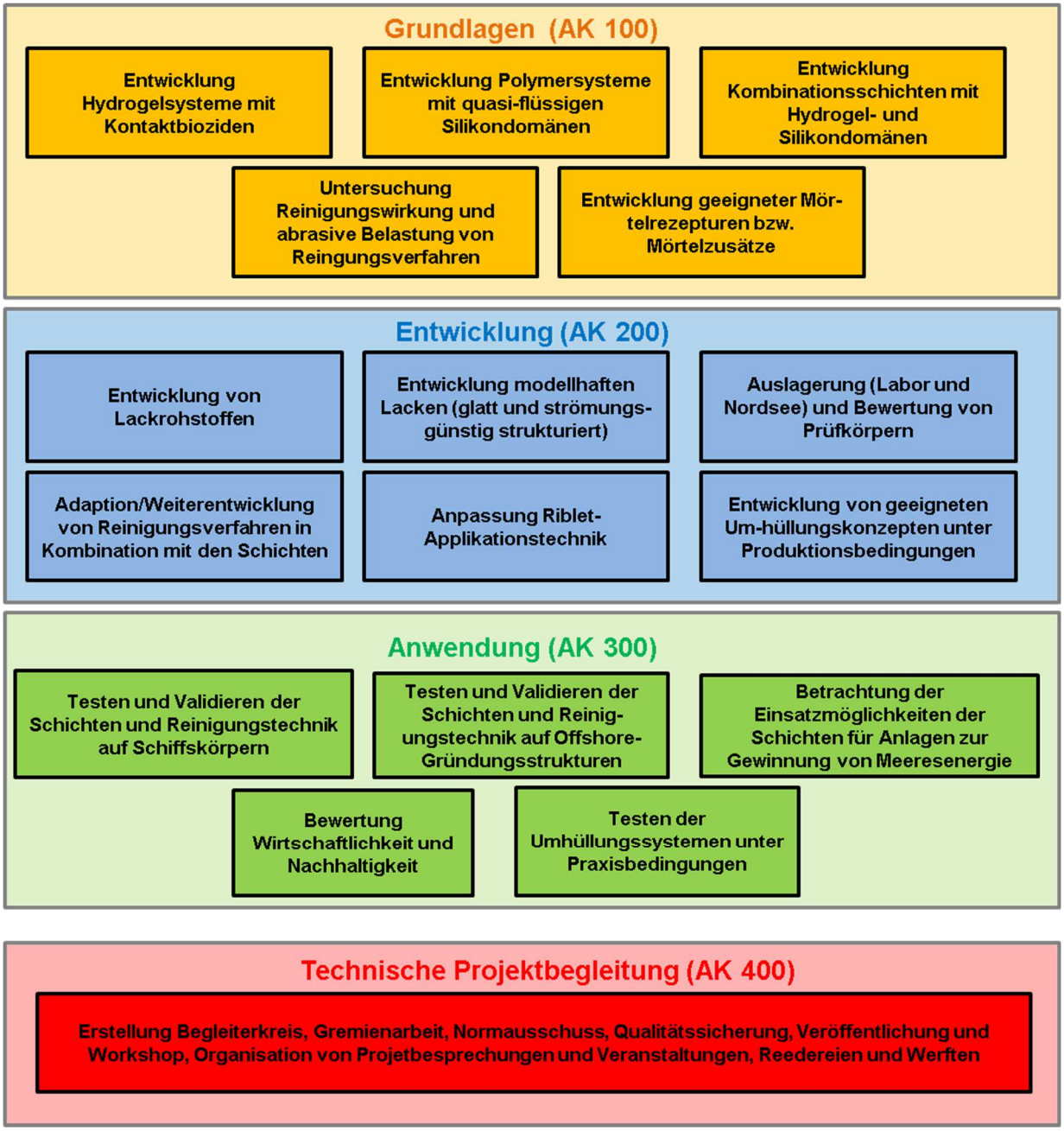

Abb. 2: Struktur des Verbundprojektes

Zuordnung der einzelnen Arbeitspakete auf die Projektpartner																			
Arbeitskomplexe	Arbeitspakete	Projektpartner	Momentive	Uni Duisburg-Essen	Uni Paderborn	Mannesmann	IFAM	LimnoMar	Norden-Frisia	Muehlhan AG	Nordseetaucher	BSH	German Drydocks	Mankiewicz	Germanischer Lloyd	Uni Aachen	GINCO	CMT
Grundlagen			**Uni Paderborn**															
AK 100	110	Untersuchung des Einflusses der Oberflächeneigenschaften auf die Schleimbildung, insbesondere im Hinblick auf neue Polymerkonzepte.	■	■	■													
	120	Entwicklung von modifizierten Partikelfüllstoffe und Trägermaterialien auf PDMS und Hydrogelbasis	■	■	■		■											
	130	Entwicklung und Optimierung der hydrophoben Polymersysteme mit quasi-flüssigen Silikondomänen, die chemisch an das Basispolymer angebunden sind. Untersuchung der optimalen Silikondichte und Kettenlänge.	■	■	■		■											
	140	Entwicklung und Optimierung von kontaktbioziden und antiadhäsiven Hydrogelbeschichtungen. Untersuchungen zu optimaler Hydrogelstruktur (PEG vs. zwitterionisch, variierte Netzwerkdichte) und optimaler biozider Funktionalität (Kettenlänge, Anteil und Art der Fixierung von Makromolekülen mit hydrophob quaternisierten Ammoniumseitengruppen)	■	■														
	150	Entwicklung von amphiphilen Polymere mit hydrophilen und hydrophoben Domänen an der Oberfläche	■		■		■											
	160	Entwicklung eines Reservoir-Lackes mit automatischer Refunktionalisierung - Wiederherstellung der antifouling-aktiven Oberfläche durch diffusive Nachlieferung aus der Bulkphase	■	■	■													
	170	Untersuchung der Filmbildungsmechanismen bei verschiedenen Vernetzungs-Chemien und Kontrolle der Ausbildung der Domänenstruktur sowohl an der Oberfläche als auch in der Bulkphase			■		■											
	180	Untersuchung des Ansiedelungsmechanismus von bestimmten Larven, bzw. der Maskierung der festen Oberfläche an den speziellen Oberflächen.					■	■										
	190	Etablierung von Techniken zur schnellen Analyse der Biofilmbildung und zum Material-screening (FTIR, Fluoreszenzmikroskopie sowie der QCM-D Analytik)																
	195	Entwicklung von Mörtelrezepturen für umhüllte Stahlhohlprofile im Stahlwasserbau als mechanischen Schutz und zum Schutz der umhüllten Stahlkonstruktion gegenüber mikrobiellen Bewuchs.		■		■												
Angewandte Entwicklung			**IFAM**															
AK 200	210	Entwicklung von hydrophoben Basisrezepturen	■		■		■			■								
	220	Entwicklung von hydrophilen Basisrezepturen	■	■			■			■								
	230	Entwicklung von Basisrezepturen mit hydrophob-hydrophilen Domänen	■	■	■		■			■								
	240	Untersuchung/Optimierung Applizierbarkeit glatt und in mikrostrukturierter Form	■				■											
	250	Untersuchung der Anti-Fouling Wirksamkeit durch Laborauslagerungen		■			■											
	260	Untersuchung der Anti-Fouling Wirksamkeit durch Auslagerung in der Nordsee		■			■	■										
	270	Untersuchung zu Struktureigenschaftbeziehungen von Oberflächenbeschaffenheit zum auftretenden Bewuchs	■	■	■		■											
	280	Adaption und Weiterentwicklung von Reinigungsverfahren in Kombination mit den entwickelten Schichten	■	■	■		■	■		■	■							
	290	Entwicklung von Beschichtungskonzepten für Offshore-Strukturen				■	■	■		■	■					■		
Praxisversuche / Anwendung			**Limnomar**															
AK 300	310	Up-scaling der Laborrezepturen auf die Herstellung technischer Mengen	■	■	■		■							■				
	320	Erprobung der Lackschicht auf einem oder mehreren Schiffskörpern		■			■	■	■	■	■	■	■	■		■		
	330	Erprobung von Konzepten für die Reinigung in Verbindung mit den jeweiligen Beschichtungen		■	■		■	■	■	■	■							
	340	Anwendung der Lacksysteme auf die Fundamente von Offshore-Anlagen, bzw. Pipelines.		■		■		■		■	■					■		
	350	Erprobung von Umhüllungskonzepten für Offshorekonstruktionen		■		■	■	■										
Technisches Projektmanagement / Beraterkreis			**CMT**															
AK 400	410	Einrichten und Leiten eines Beraterkreises (BK) für externe Partner																■
	420	Qualitätssicherung; Koordinieren des Versuchsprogramms															■	■
	430	Normen und Regularien					■	■		■					■			■
	440	Organisation eines speziellen Begleiterkreises für die Riblet-Anwendung															■	
	450	Betreuung von Schiffen im Praxiseinsatz										■			■		■	
	446	Organisation einer Fachtagung zum Projektabschluss																■

Abb.3: Zuordnung der Arbeitspakete und Aufteilung der Aktivitäten

Die Aufgabenstellung der Mannesmann Line Pipe GmbH konzentrierte sich dabei laut Teilantrag auf die folgenden Arbeitskomplexe:

Beschreibung der Arbeitspakete

Arbeitskomplex 100		
Arbeitspaket	195	Entwicklung geeigneter Mörtelrezepturen (Abschn. II.1.1)

Ziel	Entwicklung und Festlegung der optimalen Mörtelrezeptur
Arbeitspunkte / Ergebnisse	Auswahl geeigneter Mörtelrezepturen mit entsprechender Beständigkeit und Herstellen von Mörtelproben für die Untersuchungen im AK 300 (AP 350) Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wird MLP mit seinen Partnern verschiedene Mörtelrezepturen erarbeiten und Prismen für die Untersuchungen unter Praxisbedingungen entsprechend des AK 300 (AP 350) zur Verfügung stellen. Dabei ist auch die Mörtelrezeptur für die Nachumhüllung im Verbindungsbereich zu berücksichtigen.

Arbeitskomplex 200		
Arbeitspaket	290	Entwicklung von Beschichtungskonzepten für Offshore-Strukturen (Abschn. II.1.3)

Ziel	Untersuchung der Einsetzbarkeit der Rohrausführung für die Anwendung an Offshore-Strukturen
Arbeitspunkte / Ergebnisse	Definition von Prüfkörpern, angelehnt an reale Konstruktionen. Herstellung von Probekörpern, welche zur Simulierung von Offshore-Strukturen verwendet werden können. Die Endenausführung für die spätere Bearbeitung der Rohrverbindungen wird festgelegt. Ein Manual zur Bearbeitung von Verbindungen bei der Montage wird erstellt.

Arbeitskomplex 300		
Arbeitspaket	340	Anwendung der Lacksysteme auf die Fundamente von Offshore-Anlagen, bzw. Pipelines (Abschn. II.1.5)

Ziel	Untersuchung der Schutzwirkung der Lacksysteme auf Offshore-Fundamente (Stahl- und Beton) und Pipeline-Konstruktionen
Arbeitspunkte / Ergebnisse	Anwendung der Fouling-Release Schichten in Verbindung mit dem üblichen Lackuntergrund (ggf. Shop-Primer, Primer) auf die Fundamente von Offshore-Anlagen und Pipelines. Bereitstellung von Rohren bzw. Rohrabschnitten als Prüfkörper und Auslagerung

Arbeitskomplex 300		
Arbeitspaket	350	Erprobung von Umhüllungskonzepten für Offshorekonstruktionen (Abschn. II.1.2)

Ziel	Festlegung der optimalen Mörtelrezeptur (Prismen) Nachweis der Tauglichkeit des endgültigen Schichtaufbaus (Rohrsegmente oder geschnittene Platten aus Rohrsegmenten)
Arbeitspunkte / Ergebnisse	Screening bzw. Auslagerung möglicher Mörtelrezepturen. Mörtelproben werden dazu in Bezug auf ihre Eignung untersucht (PS+5 Monate bis PS+18 Monate). Die Festigkeitsentwicklung der Prismen sowie der ggf. durch Abbau der Mörtelmatrix hervorgerufene Abrieb der Prismen sind zu dokumentieren Herstellung und Auslagerung der hergestellten Rohrproben. Die optimale Mörtelrezeptur wird in Verbindung mit dem endgültigen Schichtaufbau ausgelagert und bewertet (ab PS+18 Monate bis PS+32 Monate). Begutachtung des Foulingverhaltens und der Korrosion der Probekörper (ab PS+32 Monate bis PS+33 Monate). Das Eigenschaftsprofil wird mit Blick auf eine zukünftige Spezifikation solcher Ummantelungen dokumentiert.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der Stand der Wissenschaft und Technik mit Bezug auf das Gesamtprojekt ist ausführlich im Leitantrag beschrieben.

Es existieren jahrzehntelange Erfahrungen in der Kombination von Stahlrohren mit Zementmörtel in Form von Auskleidungen und Ummantelungen (Abb. 1 und 2). Dabei wird sowohl die Korrosionsschutzwirkung einer Mörtelschicht in Verbindung mit dem Stahl genauso geschätzt, wie die mechanische Schutzwirkung einer Zementmörtelummantelung für ein bereits beschichtetes bzw. umhülltes Stahlrohr [1], [2]. Jede dieser Anwendungen bedarf einer Abstimmung der jeweils einzusetzenden Mörtelzusammensetzung. So erfordert bspw. eine entsprechende Chemikalienbeständigkeit den Einsatz von Kunststoffdispersionen oder aber die Beeinflussung mechanischer Eigenschaften den Einsatz von Faserzusätzen [3], [4].

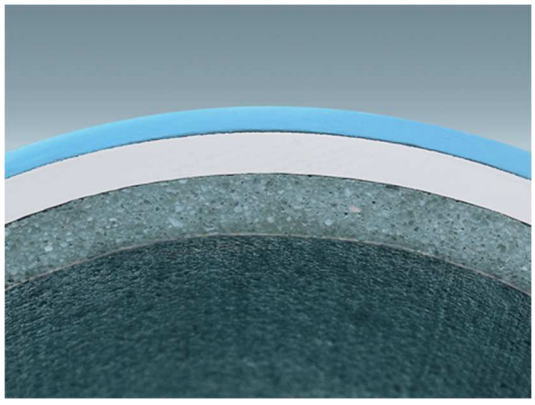

Abb. 4: Zementmörtelauskleidung

Abb. 5: Zementmörtelummantelung

Das wohl bekannteste Rohrprodukt mit Faserzusatz ist das Asbestzementrohr. Aufgrund seiner guten Materialeigenschaften wie hoher Scheiteldruckfestigkeit, hohem Berstdruck und aufgrund der geringen Wanddicken auch günstigen Gewichte hatte das Rohr eine große Verbreitung gefunden. Seit Beginn der 90`er Jahre wird jedoch aus den bekannten Gründen eine Kunststofffaser als Ersatz für die Asbestfaser eingesetzt. Das Verfahren zur Herstellung dieser Rohre hat sich dabei kaum verändert. Zur Herstellung wird eine Mischung aus Zement, Armierungsfasern und Prozessfasern verwendet. Die Prozessfasern sorgen dabei für ein wickelfähiges Gemisch der Einsatzstoffe. Hinzu kommen noch Wasser und einige Zusatz- bzw. Hilfsstoffe. Die Rohre werden auf geschliffenen Stahlkernen unter hohem Druck gewickelt.

Während im Falle der Faserzementrohre die Fasern wesentlich die statischen Eigenschaften prägen, wird im Falle der Stahlleitungsrohre die Rohrstatik in erster Linie durch die mechanischen Eigenschaften des Stahls bestimmt. Die Funktion der Faser beschränkt sich auf eine rissüberbrückende Aufgabenstellung zur Formstabilität der Zementmörtelummantelung (Abb. 6). Da es bspw. üblich ist, Rohre an der Baustelle kalt zu biegen, ist es erforderlich, die Zementmörtelummantelung so zu gestalten, dass eine geringfügige Rissbildung durch die Verformung nicht den mechanischen Schutz beeinträchtigt.

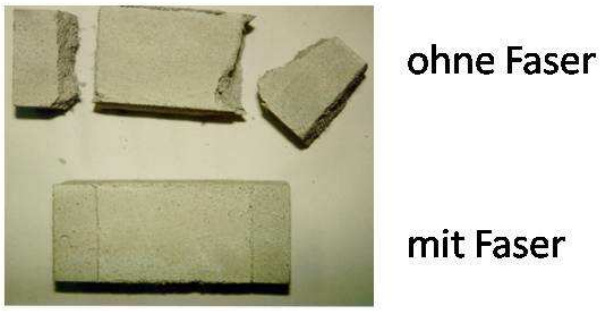

Abb. 6: Druckfestigkeitsprüfung an Normprismen

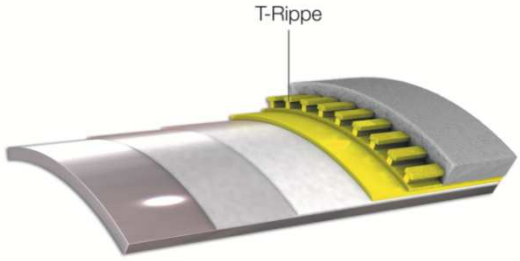

Abb. 7: Profilierung der PE-Umhüllung

Eine ähnliche Biegebeanspruchung, wenn auch im elastischen Bereich des Stahlrohres ergibt sich beispielsweise beim Ablegen von vorgeschweißten Rohrsträngen oder der heute gängigen grabenlosen Rohrverlegung, bei der Rohre in sanftem Bogen in eine vorbereitete Bohrung eingezogen werden. Hier wird durch eine Profilierung der Polyethylenumhüllung eine mechanischer Verbund zwischen Polyethylen-(PE)-umhüllung und Zementmörtelummantelung erzielt (Abb. 7). Vorteil ist, dass diese Profilierung nicht nur eine Armierung darstellt. Durch ihre Form und Strukturierung kann diese Scherkräfte problemlos aufnehmen. Darüber hinaus ist im Falle einer Rissbildung in der Mörtelschicht eine Rissweiterleitung in die Polyethylenumhüllung und damit in den Korrosionsschutz ausgeschlossen ist. Für Offshore-Konstruktionen, die einer dynamischen Beanspruchung unterliegen, ist der Fasereinsatz und der Einsatz einer solchen Profilierung der Umhüllung obligatorisch.

Eine weitere sich ergebende Anforderung im Offshore-Bereich ist die Beständigkeit des Werkstoffes gegenüber chemischen Beanspruchungen, die sich insbesondere aufgrund mikrobiologischer und biologischer Aktivität ergeben. Aus dem Rohrbereich sind derartige Belastungen bspw. im Abwasserbereich bekannt [5], [6]. Hier hat der korrosive Angriff insbesondere aufgrund mikrobiologischer Aktivität eine besondere Bedeutung. Wesentliche Anforderungen an die Zementmörtelauskleidung für Abwasserleitungen sind eine gute Sulfat- und Säurebeständigkeit. Die Sulfatbeständigkeit wird durch den Einsatz von sulfatbeständigen Zementen sichergestellt, während die Säure-

beständigkeit bspw. durch den ergänzenden Einsatz von Kunststoffdispersionen erreicht werden kann. Aus diesem Grunde sind entsprechende Mörtel in den Normen für die Auskleidung der Rohre im Abwasserbereich vorgeschrieben [7], [8].

Heute sind neben den organischen Mörtelzusätzen auch andere Möglichkeiten gegeben die Chemikalienbeständigkeit der Mörtel anzuheben. Dazu zählen beispielsweise auch Sondermörtel die aufgrund eines hohen Anteils chemisch inerter Mörtelbestandteile herausragende Beständigkeit in ansonsten kritischen Medien aufweisen [9], [10]. Unter Berücksichtigung der für eine Applikation erforderlichen Mörteleigenschaften ist im Rahmen dieses Projektes ein entsprechendes Screening für die Bedingungen im Offshore Bereich vorgesehen. Es sind letztlich zwei Applikationsverfahren zur Herstellung von Zementmörtelummantelungen bekannt.

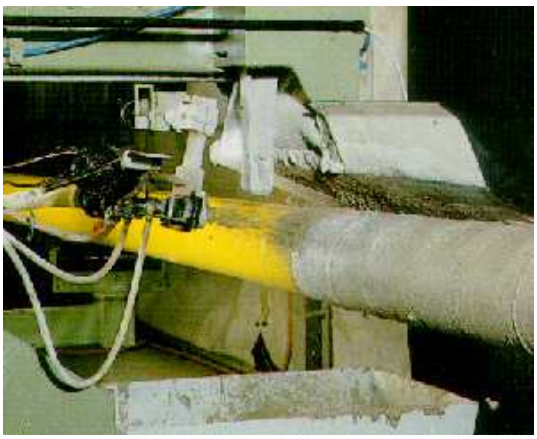

Abb. 8: Spritzverfahren

Abb. 9: Wickelverfahren

Beim Spritzverfahren wird der Mörtel mit Hilfe von Druckluft auf das sich drehende Rohr aufgebracht (Abb. 8). Dem Mörtel wird dabei im Spritzkopf über die Druckluft eine geschnittene Faser aus Glas oder Kunststoff dem Mörtel zugesetzt. Das heute bevorzugte Applikationsverfahren ist mit der Wickelextrusion einer Polyethylenumhüllung vergleichbar. Der Mörtel wird über eine Flachdüse auf das sich drehende Rohr aufgebracht, so dass unerwünschte Spritzverluste entfallen (Abb. 9).

Im Falle der Offshore Konstruktionen steht ein Umhüllungskonzept im Vordergrund, das auf eine Kombination von Polyolefinumhüllung und Mörtelschicht ausgerichtet ist. Durch geeignete Zusätze können die Mörtelschichten derart modifiziert werden, dass eine signifikante Reduktion der Korrosion durch Biofouling realisiert werden kann. Dieses Umhüllungskonzept erfordert dabei nicht nur die geeignete Umhüllung und Ummantelung der Rohre als Vormaterial für die Tragwerkstrukturen, sondern darüber hinaus auch die Entwicklung geeigneter Konzepte für die späteren Rohrverbindungen.

Bisherige Arbeiten des Antragstellers

Die MLP Pipe GmbH ist weltweit aktiver, technologisch führender Partner für HFI (hochfrequenz-induktiv) -längsnahtgeschweißte Stahlrohre. Dazu gehören Rohre für Gas- und Ölpipelines, Trinkwasser- und Abwasserleitungsrohre, Rohre für den Maschinen- und Anlagenbau sowie Ölfeldrohre, Fernwärmerohre und Konstruktionsrohre. Ergänzt durch ein reichhaltiges Angebot an Formteilen sowie sonstigem Zubehör- und Serviceleistungen.

Die MLP GmbH, besitzt zwei Produktionsstätten in Hamm und Siegen. Die Mannesmann Line Pipe GmbH steht in engem Kontakt mit nationalen und internationalen Instituten insbesondere mit dem konzerneigenen Salzgitter Mannesmann Forschungsinstitut um Produktentwicklungen zu realisieren und die Qualität von Produkten zu sichern.

Die MLP GmbH beherrscht die komplette Wertschöpfungskette vom Stahlrohr bis zu den erforderlichen Verbindungstechniken, Umhüllungen, Ummantelungen oder Auskleidungen. Speziell im Bereich der Zementmörtelauskleidungen und -ummantelungen verfügt die MLP GmbH über jahrzehntelange Erfahrungen.

Fachliteratur, Informations- und Dokumentationsdienste
Der Stand der Wissenschaft und Technik im relevanten Fachgebiet wurde und wird weiterhin regelmäßig verfolgt und recherchiert. Dies erfolgt insbesondere durch Patentrecherchen, Fachliteratur und Fachtagungen

Fachveranstaltungen (Beispiele):
EWEA Offshore Frankfurt, 19.-21.11.2013
EWEA Offshore Kopenhagen, 10.-12.03.2015
EWEA Offshore Amsterdam, 28.-30.11.2017
Wind Energy Hamburg, 22.-26.09.2014
Wind Energy Hamburg, 27.-30.09.2016
Husum Wind, 15.-18.09.2015
Husum Wind, 12.-15.09.2017

Fachliteratur (Beispiele):
http://www.offshorewindmagazine.com/ (Print- & Online)
http://www.offshorewind.biz/ (Online)
Wind Power Monthly (Print)
Wab Windenergie Magazin (Da sind wir als Konzern Mitglied, Entstand aus Windagentur Bremen/Bremerhaven)
Sun & Wind Energy bzw. Sonne Wind Wärme

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Neben der in Abschnitt I.2 beschriebenen Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern wurde speziell bei der Wahl von Einsatzmaterialien mit möglichen Zulieferern von Einsatzmaterial wie die Firmen Maleki oder Pagel aufgenommen. Ein weiterer Kontakt ergab sich bei der Planung erforderlicher Anlagenänderungen bei einem Lieferanten von Maschinen zu Verarbeitung von Spezialmörteln.

Tab. 2: Zusätzliche Ansprechpartner im Rahmen des Teilprojektes der MLP GmbH

Maleki GmbH Carl-Stolcke-Str. 1 D - 49090 Osnabrück www.malekigmbh.com	Pagel Spezial-Beton GmbH & Co KG Wolfsbankring 9 D-45355 Essen www.pagel.com

II Eingehende Darstellung

II.1 Erzielte Ergebnisse

II.1.1 Auswahl geeigneter Mörtelrezepturen (AP 195 + AP 350)

II.1.1.1 Allgemeines

In einem Screening ist beim ibac in Aachen eine Auswahl von fünf Mörtelrezepturen getroffen worden. Mit diesen fünf Mörtelrezepturen erfolgten bei MLP erste Produktionsversuche zur Herstellung von Mörtelproben für die Untersuchungen im AK 300. An diesen Mörtelproben wurden dazu im Labor nicht nur die Vergleichswerte für die Produktion ermittelt, sondern auch schon erste Auslagerungsversuche auf Norderney durchgeführt.

II.1.1.2 Untersuchungsverfahren

Druck- und Biegezugfestigkeit (ibac + MLP)

Die Ermittlung von Druck- und Biegezugfestigkeit des Zementmörtels zählt zu den Standard-prüfungen in der Produktion von Zementmörtelummantelungen oder -auskleidungen. Für die Prüfungen werden Normprismen im Format 160 x 40 x 40 mm³ (L x B x H) verwendet. Grundlage dieser Prüfungen ist DIN EN 196-1 [11]. Da die Ummantelungen unter Praxisbedingungen bereits nach 7 Tagen für den Transport vorgesehen sind, werden auch die Festigkeitswerte nach 7 Tagen ermittelt. Auf diese Weise kann schon das Eigenschaftsprofil für eine zukünftige Spezifikation ermittelt werden.

Auslagerung Norderney (Limnomar)

Für die Auslagerungsversuche auf Norderney wurden neben den Rohrproben aus der Produktion in Absprache mit dem Projektpartner Fa. Limnomar ein geeignetes Plattenformat für Laborproben von 200 x 200 x 40 mm³ (L x B x H) festgelegt. Dieses ist an die dortigen Auslagerungsbedingungen (z. B. Maximalformate und -gewichte) angepasst und enthält gleichzeitig genug Material für spätere Laborprüfungen. In den Ecken des Prüfkörpers wurden vier Aussparungen (Durchmesser 10 mm) für die spätere Befestigung vorgesehen. Während die Rohrproben an der Luft aushärten, wurden die im Labor gefertigten Probekörper nach der Herstellung einen Tag ohne Abdeckung in der Schalung belassen, danach ausgeschalt und sechs Tage bei einer Temperatur von 22 °C und 50 % relativer Feuchte gelagert. Die Proben wurden auf Norderney neun Monate (April 2016 bis Januar 2017) ausgelagert. Die Probeplatten wurden anschließend hinsichtlich struktureller Schädigungen untersucht. Die Rohrproben wurden insbesondere hinsichtlich ihres Bewuchses visuell und gravimetrisch bewertet.

Prüfung der Haftzugfestigkeit (ibac)

Zur Untersuchung möglicher strukturellen Schädigungen wurde an den Platten die Haftzugfestigkeit sowie die Schädigungstiefe ermittelt. Für die Bestimmung der Haftfestigkeit wurden aus den Platten Zylinder mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Höhe von ca. 40 mm gefertigt. Beide Seiten des Zylinders wurden mittels Winkelschleifer plan geschliffen und auf beiden Seiten Stahlstempel

(Ø 50 mm) mit einem hochviskosen 2-komponentigen Klebstoff zur Lasteinleitung verklebt. Die Zugfestigkeit wurde in Anlehnung an DIN EN 1542:1999 [12] ermittelt. Aus der Lage des Bruches kann eine mögliche Schädigung Mörteloberfläche nachgewiesen werden.

Simulation Angriff durch biogene Schwefelsäure (Uni Duisburg Essen)

Ausgewählte Mörtel wurden einem chemischen Angriff durch biogene Schwefelsäurekorrosion ausgesetzt. Dazu wurden Betonwürfel mit den Abmessungen 20 x 20 x 13 mm³ (L x B x H) hergestellt. Zur Bestimmung des chemischen Angriffs durch biogene Schwefelkorrosion wurden Prüfkörper in einer wasserdampfgesättigten H2S-Atmosphäre bei ca. 28 °C am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) über 47 Tage ausgelagert. Während der ersten drei Wochen wurden einmal wöchentlich schwefelsäurebildende Bakterien (Thiomonas intermedia) als Sprühnebel aufgetragen. Zusätzlich wurde einmal wöchentlich eine pH-neutrale Nährstofflösung aufgesprüht und der pH-Wert an der nassen Oberfläche bestimmt. Nach der Auslagerung wurde an den Würfeln eine kalorimetrische (biologische Stoffwechselwärme) Vermessung sowie eine Bestimmung der Zellzahl und des Gewichts durchgeführt.

Luftlagerung (MLP)

Zur Übertragung der Laborversuche auf die Praxis wurden mit sechs ausgewählten Mörtelmischungen mindestens zwei 12 m lange Rohre bei der Fa. SMLP in Siegen beschichtet. Bei den luftgelagerten Proben handelt es sich erneut um ca. 12 m lange, beschichtete Rohre, die in Siegen bei der Fa. SMLP über 26 Monate frei bewittert wurden.

II.1.1.3 Produktionsversuche

Mit den Mörtelrezepturen wurden im ersten Schritt Mischversuche und Pumpversuche in der Produktionsanlage durchgeführt. Zur Ummantelung wird der Mörtel üblicherweise vollautomatisch über Fördereinrichtungen zusammengestellt, das Wasser dosiert und anschließend im Zwangsmischer für die Verarbeitung vorbereitet. Zur Ummantelung wird der Mörtel vom Zwangsmischer in eine Mörtelpumpe überführt und über eine Schlauchleitung zur Flachdüse gefördert. Die Flachdüse ist so positioniert, dass ein Mörtelstreifen in der gewünschten Schichtdicke auf das sich drehende Rohr aufgebracht werden kann. Die Mörtelschicht wird mit Hilfe einer gleichzeitig außen gewickelten Gewebebandage auf dem Rohr fixiert. Abschließend wird die Mörtelschicht per Hand geglättet und die Gewebebandage dabei leicht in die Mörteloberfläche eingearbeitet.

Wesentlich für die Produktionsversuche dabei ist, dass einerseits das Mischen und vor allem die Förderung mit der Produktionsanlage gewährleistet ist. Hier ergeben sich wesentliche Unterschiede. In dieser Projektphase wurden jedoch die Mörtel nach der Probenfertigung schnellst möglich aus der Anlage entfernt um eine Havarie zu vermeiden. Bei einem Mörtel musste die Verarbeitungszeit verlängert werden, da das Material vorzeitig erhärtete. Die erforderlichen Werte und Proben wurden dann nachträglich ermittelt und gefertigt. Die Abbildungen 10 und 11 zeigen die Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeiten der ausgewählten Mörteltypen. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus dem Screening des ibac in Aachen und der am Produktionsstandort in Siegen durchgeführten Untersuchungen zeigen eine gute Übereinstimmung. Der Mörtel V14/10 von Pagel liefert hier die größten Festigkeiten.

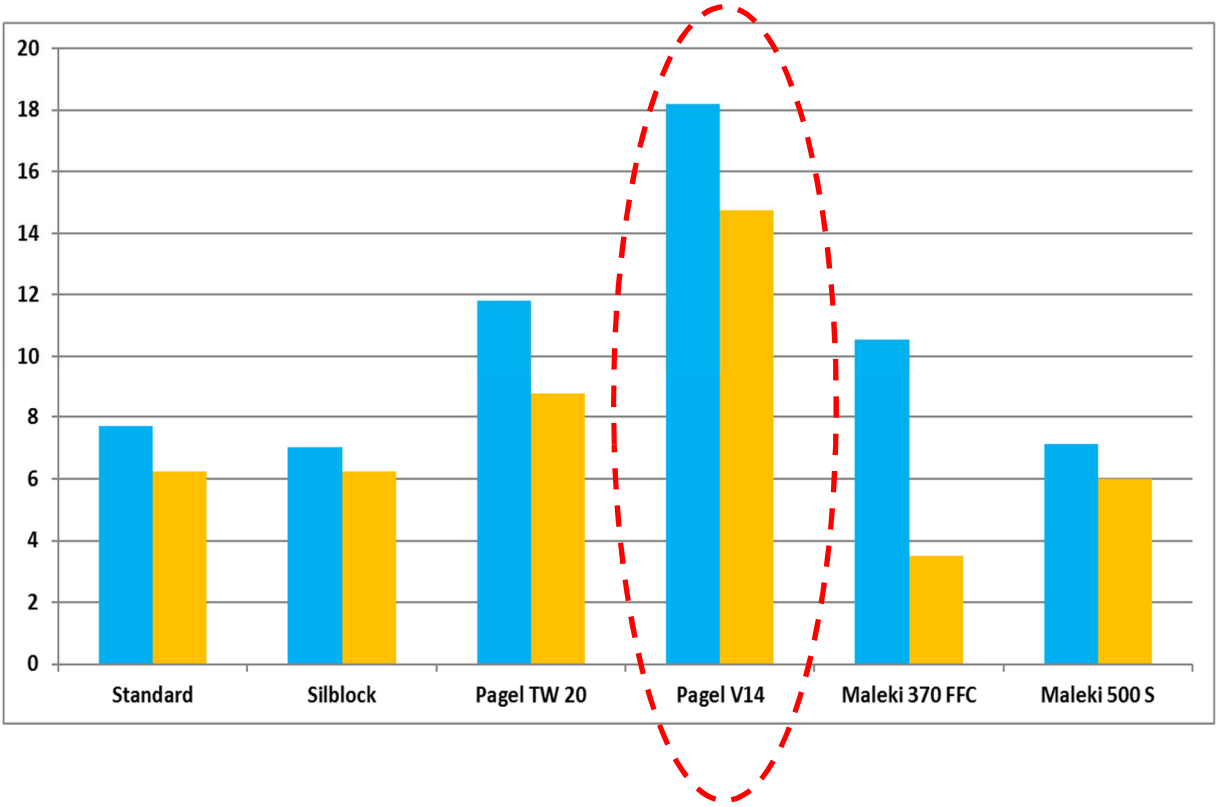

Abb. 10.: Vergleich der Biegezugfestigkeiten aus Produktion und Screening nach 7 Tagen (blau MLP, gelb ibac)

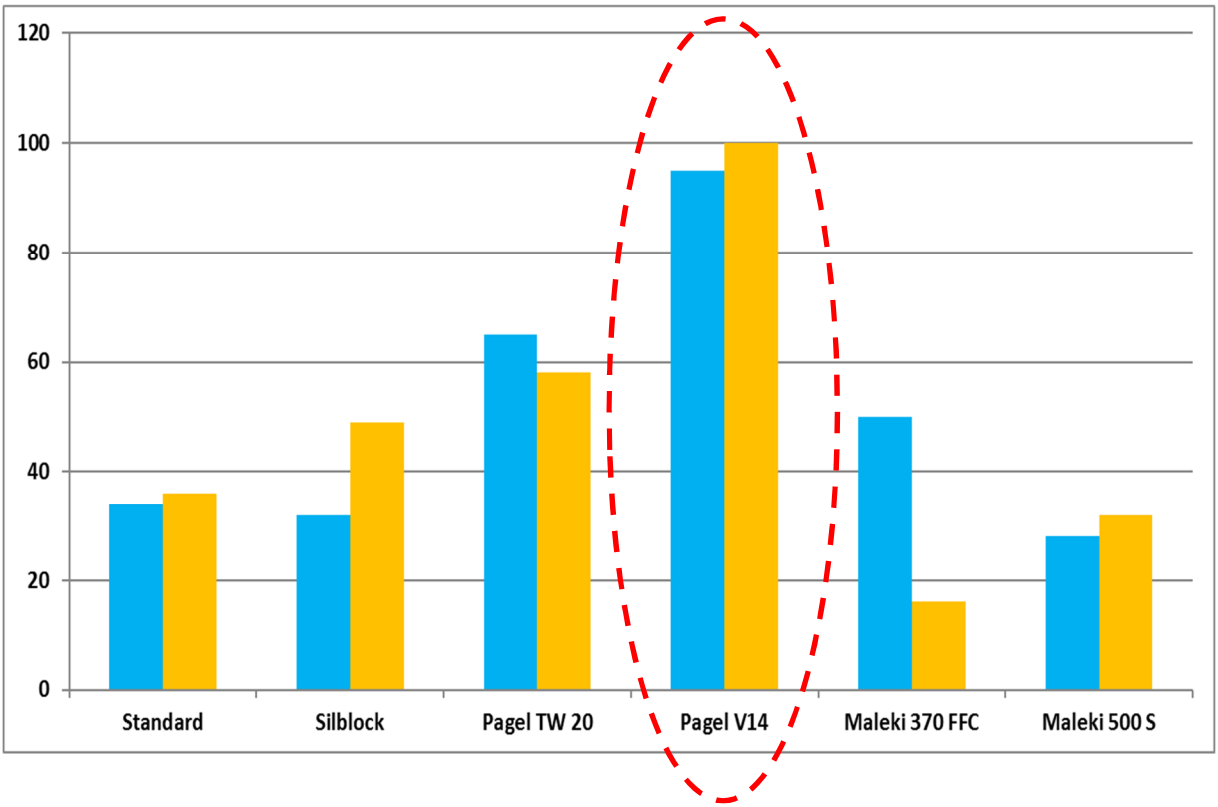

Abb. 11: Vergleich der Druckfestigkeiten aus Produktion und Screening nach 7 Tagen (blau MLP, gelb ibac)

II.1.1.4 Auslagerungsversuche an Platten und Rohren

Die untersuchten Rohrsegmente wurden auf Norderney neun Monate (April 2016 bis Januar 2017) ausgelagert. Aus den beschichteten Rohren wurden 200 mm lange möglichst homogen ummantelte Segmente herausgeschnitten und vor Norderney ausgelagert. Vor der Auslagerung wurden die Schnittflächen der Rohrsegmente mit einem Grundierungsharz versehen, um einen Eintrag von MIC bzw. eine Beschädigung des Verbundprobekörpers über diese Schnittflächen zu verhindern. Nach der Auslagerung wird die Masse des anhaftenden Bewuchses an allen Rohren bestimmt.

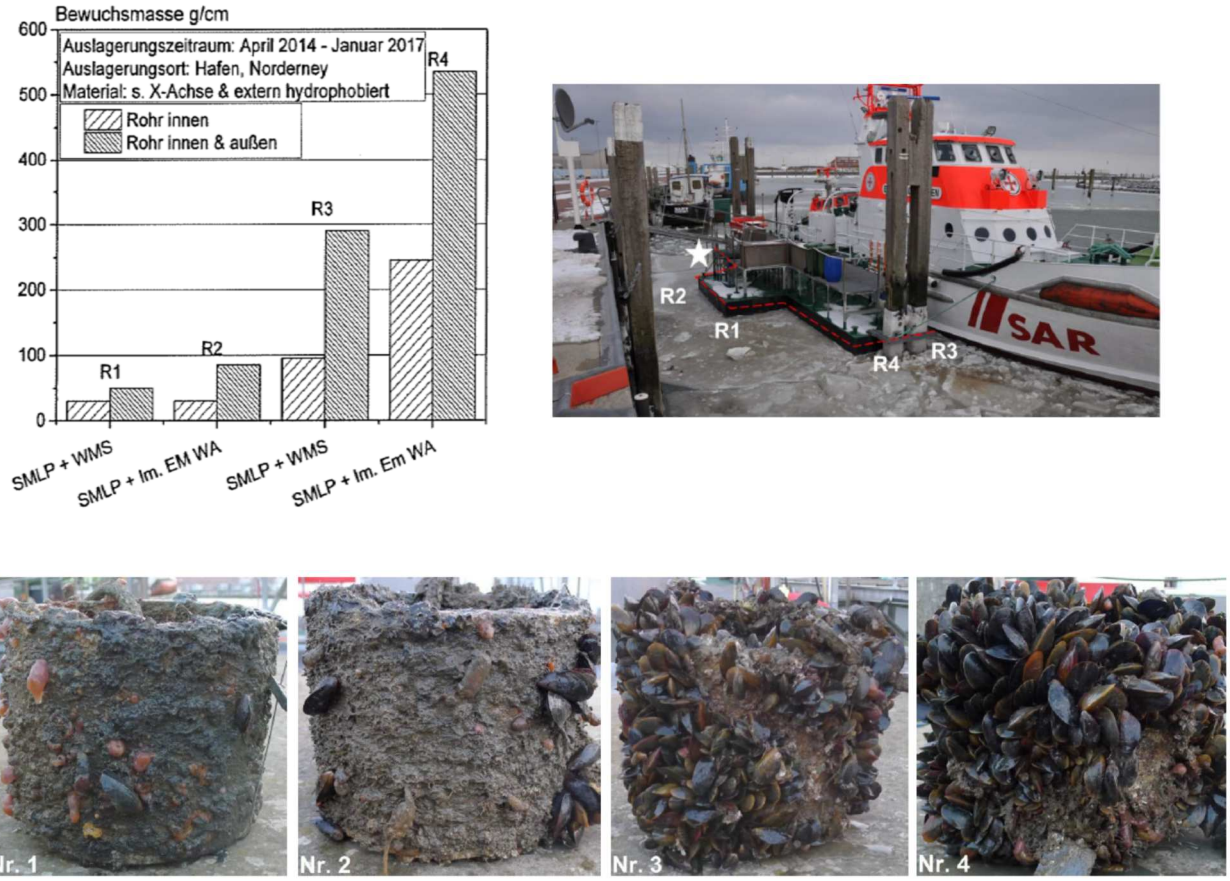

Abb. 12: Bewuchsmasse nach der Auslagerung der Rohrproben im Hafen von Norderney

Im Rahmen der Auslagerungsversuche ist zu erkennen, dass die Bewuchsmasse stark davon abhängt, ob sich auf dem Rohr Miesmuscheln ansiedeln. Dabei zeigt sich, dass trotz gleicher Mörtelzusammensetzungen (hier Standardmörtel (R1 und R3) und mit Silblock von Momentive modifizierter Mörtel (R2 und R4)) deutliche Unterschiede beim Bewuchs zu verzeichnen sind. Eine eindeutige Aussage ist so nicht möglich (Abb. 12).

Die in Abbildung 13 zusammengefasste gravimetrische Bestimmung des Bewuchses an Rohrproben, die Offshore vor Norderney ausgelagert wurden sind entsprechend kritisch zu bewerten.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Haftzugfestigkeitsmessungen an den gleichen Mörtelproben der im Hafen auf Norderney ausgelagerten Platten (Abb.14) wird deutlich, dass unabhängig vom Mörtel zumindest im Beobachtungszeitraum keine Schädigung erkennbar ist. Die Prüfwerte liegen

nach Einschätzung des ibac auf einem sehr hohen Niveau (> 1,5 N/mm²). Gravierende Unterschiede sind hier nicht zu verzeichnen. Die Messungen lassen erkennen, dass trotz intensivem Bewuchs keine Mörtelschädigung erkennbar ist.

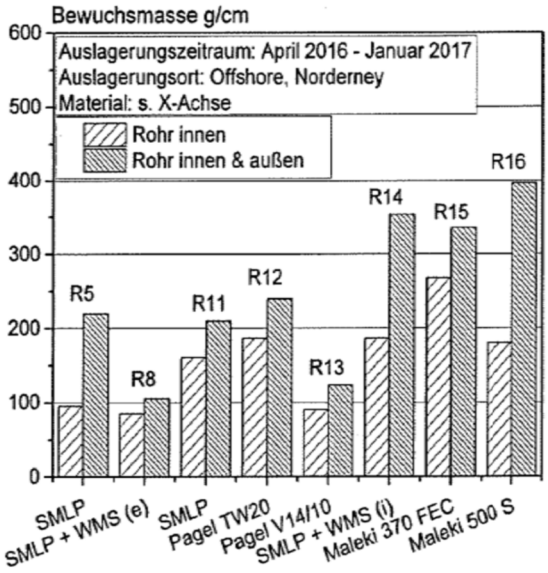

Abb. 13: Bewuchsmasse der Offshore vor Norderney ausgelagerten Proben

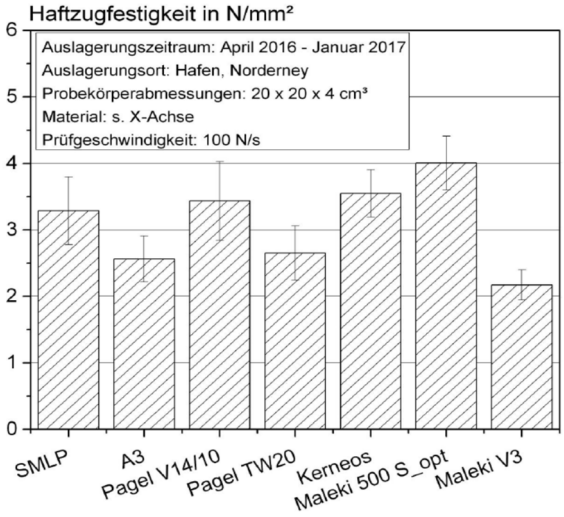

Abb. 14.: Haftfestigkeitsmessung an Platten nach 9-monatiger Auslagerung im Hafen von Norderney

Parallel zu den Auslagerungen auf Norderney wurden auch die verbliebenen Rohrabschnitte auf dem Lager der MLP GmbH bewertet. Im Verlauf von 12 Monaten sind hier Temperaturschwankungen von immerhin -10 °C und +40 °C zu berücksichtigen.

Abb. 15: Vergleich des Standardmörtels mit dem Mörtel V14/10 der Fa. Pagel nach 12 Monaten auf dem Rohrlager

Die zu erwartenden thermischen Spannungen führen zu einer Rissbildung, die im Abstand von jeweils 6 Monaten bewertet wurde. Während nach 6-monatiger Lagerung bei den beiden Mörteln der Fa. Pagel und dem Mörteltyp 500 S von Fa. Maleki noch keine Risse zu beobachten waren, traf dies nach 12 Monaten nur noch auf den Mörtel V 14/10 der Fa. Pagel zu (Abb. 15). Abbildung 16 zeigt dazu noch einmal das Ergebnis auf dem Rohrlager nach 6-monatiger Lagerung.

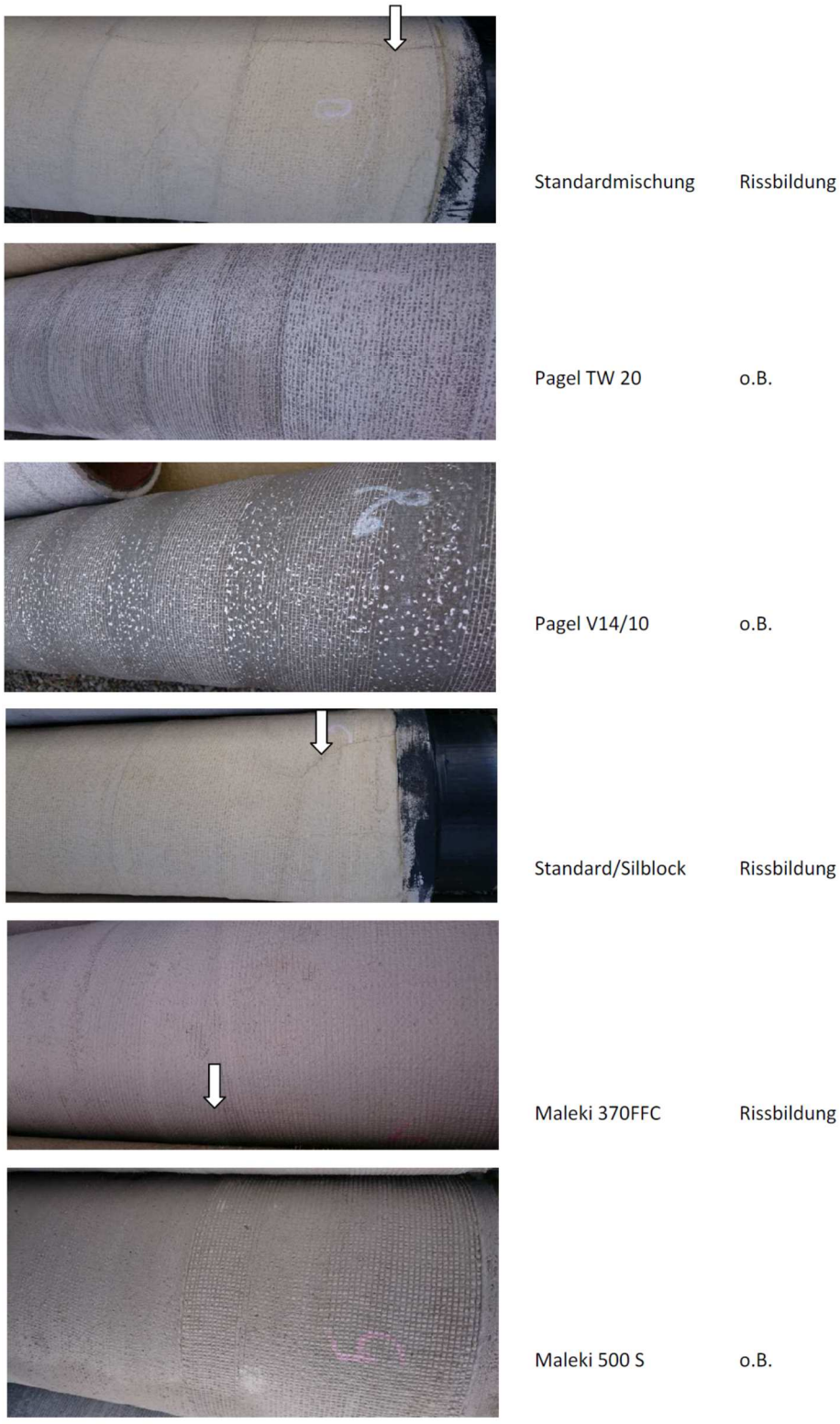

Abb. 16: Vergleich der in den Produktionsversuchen eingesetzten Mörtelarten nach 6 Monaten auf dem Rohrlager

Das gute Ergebnis des Mörteltyp V14/10 der Fa. Pagel ist vermutlich auf die hervorragenden mechanischen Festigkeiten des Materials zurückzuführen. Der direkte Vergleich des Standardmörtels mit dem Mörteltyp V14/20 bei der Simulation des Angriffs durch biogene Schwefelsäure bestätigt das Ergebnis. Während der organische Bewuchs bei der Auslagerung vor Norderney bei allen Mörteln noch ohne Wirkung bleibt, zeigt sich tendenziell bei diesem simulierten Angriff mit Zeitrafferwirkung sehr wohl ein deutlicher Unterschied zum Standardmörtel.

In der Simulation der Uni Duisburg Essen wurde an allen Probekörpern wurde eine starke mikrobielle Besiedlung festgestellt, die den pH-Wert des Betons deutlich senkt und i.d.R. zu einer Gewichtsabnahme führt. Die Ausnahme bildet der Mörteltyp V14/10. Zum Vergleich beträgt die gemessene Bioaktivität 89,1 anstatt 104,9 [µW/18,4 cm²].

II.1.1.5 Fazit der Mörtelentwicklung

Im Zuge der Mörtelentwicklung wurde die in den Arbeitspaketen 195 und 350 erwartete Auswahl geeigneter Mörtelrezepturen mit entsprechender Beständigkeit und das Herstellen von Mörtelproben für die praxisrelevanten Untersuchungen umgesetzt. Es wurden Rohre mit den Mörteln umhüllt und bezüglich des Foulingverhaltens und der Korrosion der Probekörper in Auslagerungs-versuche zur Simulation der Betriebsbedingungen von Offshore Konstruktionen bewertet. Das Eigenschaftsprofil wurde mit Blick auf eine zukünftige Spezifikation sowohl in den Screeningversuchen beim ibac Aachen, als auch in den ersten Produktionsversuchen dokumentiert. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Keine der getesteten Mischungen kann einen Bewuchs während einer Meerwasserauslagerung verhindern.
- Die Bewuchsmenge kann für qualitative Aussagen nicht herangezogen werden, da Faktoren wie Sonneneinstrahlung, Wasserstand sowie Vogelfraß zu großen Unwägbarkeiten einbringen.
- Alle Mörtelmischungen weisen nach einer Auslagerung im Offshore-Bereich ausreichende Haftzugfestigkeiten (> 1,5 N/mm²) auf und zeigen keine Beschädigung der Oberfläche.
- Der Mörteltyp V14/10 der Fa. Pagel ist sowohl im Labor als auch bei der Auslagerung unter realen Bedingungen am besten für die Anwendung geeignet. In Bezug auf die Rissbildung setzt sich dieses Material positiv von den anderen ab.

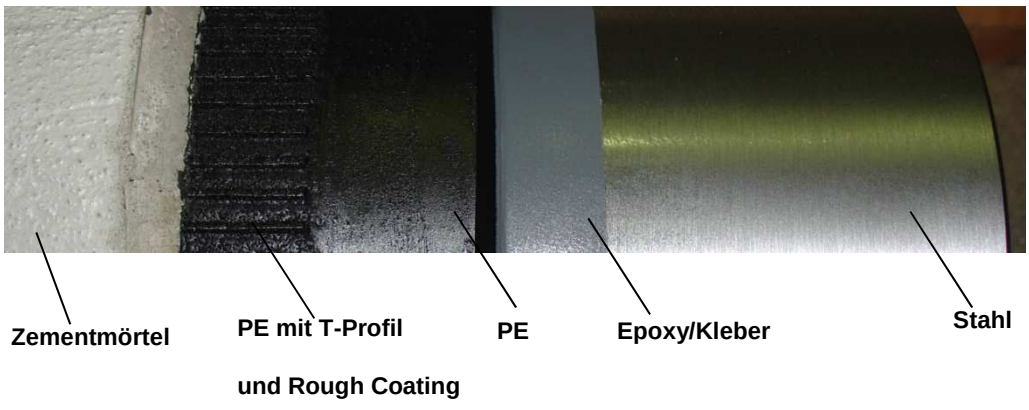

Abb. 17: Endenausführung der FZM-S Ausführung

Die Endenausführung der Rohre für die spätere Bearbeitung der Rohrverbindungen ist festgelegt und basiert auf die bereits aktuell gefertigten Standardausführungen für grabenlose Bauweisen. Ein Manual zur Bearbeitung von Verbindungen bei der Montage ist für übliche Anwendungsbereiche beschrieben und steht im Internet zur Verfügung. Die Profilierung der Polyethylenumhüllung wird beim Aufbringen des Mörtels an den Rohrenden auf einen Bereich von 2 bis 3 cm nicht mit Zementmörtel überdeckt, so dass auch die Nachumhüllung aus im Übergang zur Mörtel-umhüllung Gelegenheit findet, sich mechanisch zu verkrallen (Abb. 17).

Die Nachumhüllung der Baustellenschweißnähte erfolgt zunächst mit den bereits beschriebenen Umhüllungssystemen aus Korrosionsschutzbinden oder Schrumpfschläuchen nach DIN 30672 bzw. DIN EN 12068 [13], [14]. Damit auch die Feldnahtumhüllung den gleichen mechanischen Schutz wie das werksseitig mit Zementmörtel umhüllte Rohr erhält, können wahlweise Gießmörtel oder zementbeschichtete Binden eingesetzt werden. Auch das MAPUR-Vergusssystem, ein Polyurethan Gießharz mit Sandfüllung, wird angeboten. Hier haben sich ggf. auch GFK-Wickelmaterialien zur Vervollständigung des mechanischen Schutzes bewährt.

Mit diesem Entwicklungsstand sind die in Teilvorhabensbeschreibung festgelegten Meilensteine für das Vorhaben abgedeckt:

1. Meilenstein **PS + 12 Monate**	**Entwicklung von Basismaterialien**
AK 100 + AK 200 (teilweise)	**- Das Mörtelrezepturen sind für das Screening ausgewählt.**

2. Meilenstein **PS + 24 Monate**	**Nachweis und Verwendbarkeit der Entwickelten Produkte in gezielte Anwendung der Offshore und Schiffsindustrie**
AK 200 (teilweise)	**- Rohrausführung und optimale Mörtelrezeptur sind festgelegt**
AK 300	- **Auslagerungsversuche zur Simulation der Betriebsbedingungen von Offshore Konstruktionen laufen.**

Mit dem Mörteltyp V14/10 der Fa. Pagel konnte ein geeignetes Material identifiziert werden, welches als mechanische Schutzschicht für Konstruktionselemente im Offshore Bereich eingesetzt werden kann. Aus diesem Grunde sollten mit diesem Material die weiteren Produktionsversuche durchgeführt werden.

II.1.2 Sonstige Arbeiten (AP 340)

Unter dem Arbeitspaket 340 war auch die Anwendung der Fouling-Release Schichten in Verbindung mit dem üblichen Lackuntergrund (ggf. Shop-Primer, Primer) auf Fundamente von Offshore-Anlagen und Pipelines vorgesehen. Dazu wurden seitens MLP Rohren bzw. Rohrabschnitten als Prüfkörper für die Projektpartner bereitgestellt.

II.1.3 Literaturverzeichnis

[1] H.-J. Kocks, H. Joens, C. Reekers; Ummantelungen aus Faser-Zement-Mörtel; bbr 48 (1997) H. 8, S. 32 – 38

[2] H.-J. Kocks, W. Siedlarek; Zementmörtelauskleidungen für Trinkwasserleitungen aus Guss und Stahl; Werkstoffe und Korrosion 53 (2002) H. 8, S. 546 – 559

[3] H.-J. Kocks; Verbundwerkstoffe für die Abwasserwirtschaft; 3R international 39 (2000) H. 7, S. 424 – 430

[4] H.-J. Kocks; Das Stahlrohr in der Abwasserentsorgung; bbr 51 (2000) H. 10, S. 90 – 95

[5] Sand, W.; Die Bedeutung der reduzierten Schwefelsäureverbindungen, Schwefelwasserstoff, Thiosulfat und Methylmercaptan für die biogene Schwefelsäurekorrosion durch Thiobazillen; Wasser und Boden 5 (1987) S. 237 – 241

[6] Seyfried, C.F.; in Bilecke und Schremmer „Biogene Schwefelsäurekorrosion in teilgefüllten Abwasserkanälen, Sonderdruck aus Heft 94/1987 der Mitteilungen des Lichtweiß-Instituts für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig

[7] DIN 2880 Anwendung von Zementmörtel-Auskleidung für Gussrohre, Stahlrohre und Formstücke; Januar 1999

[8] DIN EN 10298 Stahlrohre und Formstücke für er- und wasserverlegte Rohrleitungen – Zementmörtel-Auskleidung; Dezember 2005

[9] Schultz, W.; Hochleistungsbeton für Betonrohre – Ergebnissen von Auslagerungsversuchen im Abwassernetz; Tagungsband 51. Ulmer Beton-Tage 2007

[10] Diepenseifen M., Hornung D., Schultz, W.; Betone mit hohem Widerstand gegen sauren Angriff. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (ÖIAZ) Heft 10 - 12 / 2008

[11] DIN EN 196-1 Prüfverfahren für Zement - Teil 1: Bestimmung der Festigkeit; November 2016

[12] DIN EN 1542 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch; Juli 1999

[13] DIN 30672 Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Rohrleitungen für Dauerbetriebstemperaturen bis 50 °C ohne kathodischen Korrosionsschutz - Bänder und schrumpfende Materialien; Dezember 2000

[14] DIN EN 12068 Kathodischer Korrosionsschutz - Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Stahlrohrleitungen im Zusammenwirken mit kathodischem Korrosionsschutz - Bänder und schrumpfende Materialien; März 1999

[15] DIN EN 12350-5 Prüfung von Frischbeton - Teil 5: Ausbreitmaß; September 201

[16] DIN EN 196-3 Prüfverfahren für Zement - Teil 3: Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit; März 2017

II.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Tab. 3: Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Position		Gesamtvorkalkulation (€)	Gesamtnachkalkulation (€)*)
0813	Material		
0823	FE-Fremdleistungen		
0837	Personalkosten	16.364,00	12.568,00
0838	Reisekosten	1.995,00	1.014,95
0847	Abschreibungen auf vorhabenspezifische Anlagen		
0848	Abschreibungen auf sonstige genutzte Anlagen des FE-Bereichs		
0850	sonstige unmittelbare Vorhabenkosten		
0855	**Summe** unmittelbare Vorhabenkosten (Pos. 0813 – 0850)	18.359,00	13.582,95
0856	Kosten innerbetrieblicher Leistungen	36.321,00	26.749,69
0860	Verwaltungskosten		
0881	**gesamte Selbstkosten des Vorhabens** (Summe Pos. 0855 – 0860)	54.680,00	40.332,64

Ein detaillierter zahlenmäßiger Nachweis wurde in Form des Vordrucks „Verwendungsnachweis“ eingereicht.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die von Mannesmann Line Pipe GmbH im Projekt geleisteten Arbeiten richteten sich nach den Projektzielen sowie den daraus abgeleiteten wissenschaftlichen und technischen Teilzielen. Dabei beeinflussten die Zwischenergebnisse jeweils das weitere Vorgehen. Die durchgeführten Projektarbeiten waren zur Zielerreichung sowohl notwendig als auch angemessen.

II.4 Nutzen, Ergebnisverwertung

Wissenschaftlicher und technischer Nutzen

Der wissenschaftlich-technische Nutzen für die Mannesmann Line Pipe GmbH betrifft den Bereich der Mehrschichtumhüllungssysteme, die insbesondere für Anwendungsfälle mit höheren Anforderungen an die mechanische Beständigkeit mehr und mehr an Bedeutung gewinnen. Die Erkenntnisse aus der Optimierung der Applikationstechnologie lassen sich möglicherweise in andere Teilbereiche der Umhüllung von Leitungsrohren übertragen.

Die Werksummantelung von Rohren für Offshore Konstruktionen ermöglicht gegenüber den bisher eingesetzten manuellen Verfahren eine gleichbleibend hohe Beschichtungsqualität auf einem großen Teil des späteren Bauwerkes, nur Schweißnahtbereiche werden händisch nachumhüllt. Insbesondere im Hinblick auf die Anzahl der geplanten Windparks gewinnt die Serienfertigung von Gründungsstrukturen zunehmend an Bedeutung. Korrosionsgeschützte Standardbauteile ermöglichen in einer solchen Serienproduktion kürzere Taktzeiten beim Bau von Gründungsstrukturen und somit eine gesteigerte Produktivität. Der Transport und die Lagerung der Rohre werden durch den vollständigen Korrosionsschutz vereinfacht.

Wirtschaftlicher Nutzen

Für die Mannesmann Line Pipe GmbH sind Innovationen und die Erweiterung des Produktspektrums angesichts der ständig steigenden Zahl an Wettbewerbern auf den Weltmärkten von größter Bedeutung. Nur die Realisierung von Sonderlösungen und die Herausarbeitung von Alleinstellungsmerkmalen kann in diesem Umfeld die Wettbewerbsfähigkeit sicherstellen und zum Erhalt der beiden Produktionsstandorte beitragen. Gleichzeitig könnte mit dem Bereich Offshore ein neues Marktsegment erschlossen.

Ein wirtschaftlicher Nutzen in Bezug auf eine Verringerung der Materialschädigung durch den Foulingschutz und damit die Verlängerung der Standzeiten von Bauteilen und Anlagen wird durch die effizientere Herstellung, den durch besseren Korrosionsschutz bedingten reduzierten Stahleinsatz, durch eine deutlich reduzierte Zahl an Reparaturen erwartet. Da der Einsatz dieser Technologie auf eine Reduzierung von Investitions-, Instandhaltungs- und Wartungskosten abzielt, wird die Konkurrenzfähigkeit auch in preislicher Hinsicht erwartet.

Verwertung der Ergebnisse

Wesentlich für die Anwendung im Offshore Bereich ist die Akzeptanz dieses neuen Korrosionsschutzkonzeptes durch Zertifizierungsunternehmen wie der Germanische Lloyd. Auf diesem Wege kann dieses Korrosionsschutzkonzept auch für andere Offshore- oder ggf. Onshore Anwendungen Zugang finden (z. B. Öl- und Gasplattformen). Die Investition in eine optimierte Anlagentechnik und eine weitergehende Optimierung der Mörtelrezeptur ist derzeit ebenfalls eine Option, die an der weiteren Entwicklung dieser Technologie im Markt gemessen werden muss. Die Hersteller von Offshore Konstruktionen müssen für den Einsatz bereits korrosionsgeschützter Bauteilkomponenten eine Änderung ihrer Logistik akzeptieren.

Offen ist auch die Frage ob sich auch Großrohrhersteller dieser Technologie bedienen. Aufgrund der vorliegenden Erfahrungen könnte jedenfalls recht schnell eine entsprechende Umsetzung auch in diesem Bereich realisiert werden.

Am Anfang steht die Publikation der Ergebnisse aus dem Vorhaben und die Suche nach alternativen Anwendungsmöglichkeiten für solche Umhüllungssysteme.

Tab. 4: Verwertungsplan mit Zeithorizont

Ergebnisverwertung durch die Mannesmann Line Pipe GmbH	Zeitraum [Jahre nach Projektende]
1. Verallgemeinerung der Ergebnisse und Verwertung für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Übertragung der Technologie auf andere Bauwerke (z. B. Öl- und Gasplattformen, Leitungsbau, etc.)	ab 0
3. Vergabe von Lizenzen (optional, z.B. für Großrohrhersteller)	ab 1
2. Investition in eine Anlagentechnik (optional)	1-2
4. Kunden spezifische Optimierung der entwickelten Umhüllungsausführung (optional)	2

II.5 Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Ein wesentlicher Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen ist uns nicht bekannt geworden.

II.6 Veröffentlichungen und Patentanmeldungen

Bereits während der Projektlaufzeit wurden erste Ergebnisse veröffentlicht:

- M. Morales Cruz; „Foulprotect – zur Problematik des Bewuchses in Meerwasserbauwerken Vortrag zum 53. Aachener Baustofftag am 12. und 13.10.2017
- Der Beitrag ist in der Zeitschrift Beton zur Veröffentlichung vorgesehen
- Unter dem Titel „Foulprotect – Die biozidfreie Systemlösung“ werden die Arbeiten zum Projekt Foulprotect am 25.09.2018 beim Fraunhofer Institut IFAM in Bremen vorgestellt.

weitere Veröffentlichungen sind in Vorbereitung.