

Abschlussbericht gem. Nr. 8.2 der NKBF

Zuwendungsempfänger:	Fa. SWN Steelwind Nordenham Blexer Reede 2 26954 Nordenham
Förderzeichen:	03EE3006D
Vorhabenkennzeichnung:	WindsurfAce- Automatisierte Kontrolle von Stahloberflächen Für Gründungen von Offshore- Windenergieanlagen vor dem Beschichten
Teilvorhaben	Digitale Transformation in Stahlbaufertigung Offshore Wind
Laufzeit des Vorhabens:	01.09.2019 - 31.08.2022
Stellv. Projektleiter:	K. Harders

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für
Wirtschaft und Klima unter dem Förderkennzeichen 03EE3006C gefördert.
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.**

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzdarstellung

- 1.1. Aufgabenstellung
- 1.2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde
- 1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens
- 1.4. Wissenschaftlich-technischer Stand, an dem angeknüpft wurde
- 1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

2. Eingehende Darstellung

- 2.1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit
Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele,
- 2.2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises,
- 2.3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit
- 2.4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne
des fortgeschriebenen Verwertungsplans
- 2.5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf
dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen
- 2.6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Entwicklung eines Messsystem zu automatischen Erfassung von Oberflächenungängen, Entwicklung eines Bewertungs-Algorithmus auf Basis lernender Systeme (z.B. neuronale Netze, Random- Forest etc.)

Implementierung des Messsystem in den Fertigungsprozess von Gründungsstrukturen.

Ermittlung eines über Klassifizierung P2/P3 hinausgehenden Bewertungsmaßstabes für den Einfluss der relevanten Oberflächenzustände auf den Korrosionsschutz.

Etablierung dieser neuen Technologien aus dem Kontext Industrie 4.0 für den maritimen Stahlbau im Sinne einer Pionierleistung. Eliminierung von zeitlichen Unsicherheiten im Fertigungsprozess als Voraussetzung für eine effiziente Serienfertigung, Minimierung von Produktionsausfällen. Erhalt der Lebensdauer von Offshore- Windenergieanlagen durch Fehlerminimierung im Korrosionsschutz.

Zugang hochspezifischer Technologieanbieter, vornehmlich KMU, zum maritimen Stahlbaumarkt.

Erarbeitung von Alleinstellungsmerkmalen am Standort Deutschland für den zukünftigen Technologie- Export.

1.2 Voraussetzungen unter denen das durchgeführt wurde

Der Prozess der Oberflächenvorbereitung innerhalb des maritimen Bereiches zur Sicherstellung von Korrosionsschutzbeschichtungen hat einen sehr großen Einfluss auf die Lebensdauer im Fundamentbau von Monopiles, Transition Piece und Single Piece.

Ungängen in der Stahloberfläche müssen von sogenannten Beschichtungsinspektoren möglichst präzise erkannt und klassifiziert werden, was heutzutage aufgrund der individuellen/optischen Begutachtungen kaum möglich ist und erheblichen Zusatzaufwand verursacht. Infolge nicht objektiver Bewertung von Ungängen und Unregelmäßigkeiten der Beschichtungsinspektoren, was heutzutage aufgrund der individuellen/optischen Begutachtungen kaum möglich ist und erheblichen Zusatzaufwand verursacht. Infolge nicht präziser Erfassung von Ungängen entstehen Stillstandzeiten in der Produktion. Eine eindeutige, objektive und reproduzierbare Bewertung der Stahloberflächen ermöglicht eine bessere Nutzung der Fertigungskapazitäten und eine Kostenreduzierung in den jeweiligen Prozessen. Dies ist angesichts der angedachten Serienfertigung und des zu erwartenden Kostendrucks (Stromerzeugung aus Offshore Windenergieanlagen muss wettbewerbsfähig sein im Vergleich zu anderen Stromerzeugungsarten) ein entscheidender Wettbewerbsfaktor für die Zulieferer der Gründungsstrukturen.

Die Einführung des im Projekt zu entwickelnden Messsystems könnte perspektivisch ermöglichen, die ermittelten Abweichungen (Ungängen) so zu klassifizieren, dass nur die real notwendigen Nacharbeiten durchgeführt werden und nicht - wie heute - mangels objektivierbarer Verfahren häufig mehr Nacharbeit gemacht wird als notwendig.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Verbundvorhaben ist in 6 Arbeitspakete unterteilt. Die enge Verzahnung der einzelnen technischen Arbeitsschritte und Arbeitspaket untereinander ist in

Die Vorhabendurchführung liegt Vergleich zur ursprünglichen Arbeit-, Zeit- und Kostenplanung innerhalb des vorgesehenen Rahmens

Arbeitspaket	AP Letter	36 Monate																																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
2 Referenzsysteme und Korrosionsprüfungen	IFAM																																						
2.1 Erstellung von Proben- und Messplan																																							
2.2 Probenherstellung: Muster, Abdrücke von Realbauteilen																																							
2.3 Aufbereitung inakzeptabler Oberflächenzustände etc.																																							
2.4 Korrosionsprüfungen																																							
3. Datenerfassung und Geräteentwicklung	AOT																																						
3.1 Tests Bildaufnahmeverfahren und Auswahl Algorithmus																																							
4. Datenbank und Algorithmen	IFAM																																						
4.1 Screening und Tests von Auswertalgorithmen																																							
5. Systemtests und Validierung	SWN																																						
5.1 Systemtests unter Realbedingungen																																							
5.2 Validierung der Ergebnisse durch Beschichtungsexperten																																							
5.3 Korrelation mit Korrosionsprüfungen																																							
6. Dokumentation und Technologiestabilisierung	IFAM																																						
6.1 Berichterstellung																																							
Milensteine																																							

1.4 wissenschaftlichem und technischen Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere

Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden,

Monopile-Fundamente bestehen aus einem zentralen Tragrohr, welches in den Meeresboden gerammt wird und (meistens) zusätzlich aus einem aufgesetzten Transition Piece, auf welchem die Windenergieanlage montiert ist. Monopile-Fundamente bieten den Vorteil, dass sie schnell am Meeresboden zu installieren sind und keine aufwändigen Vorarbeiten notwendig sind. In weiterem Vorteil ist der geringe Wartungsaufwand nach der Installation.

Wanddicke Stahl: bis 13 cm

Durchmesser: bis 10 m

Länge: ca. 100 m

Masse: bis zu 2100 t

Fundamentsysteme werden aktuell in Fließfertigung hergestellt. Zunächst werden Stahl-Grobbleche kalt gebogen und anschließend zu Mantelschüssen verschweißt. Diese Mantelschüsse werden mit Rundnähten miteinander verschweißt und bilden dann die tragende Hülle des Monopiles, Singlepiece bzw. des Transitionpieces. Sowohl bei den Monopiles als auch bei den Transitionpieces werden im Anschluss die Oberflächen vorbereitet (also gewaschen/entsalzt und mit Stahlkies gestrahlt) und abschließend beschichtet. Der Beschichtungsvorgang wird in klimatisierten, hochmodernen Hallen inline durchgeführt.

Die geforderte lange Betriebsdauer der Windenergieanlagen (bis zu 25 Jahre) kann nur durch eine maximale Korrosionsschutzfunktion der Beschichtung erreicht werden. Dies wiederum setzt die Einhaltung aller Qualitätsanforderungen für den Beschichtungsprozess, also der Oberflächenvorbereitung und der Applikation des Beschichtungsstoffes, voraus. Somit ist der Oberflächenzustand vor dem Beschichtungsauftrag maßgeblich, d.h. der Zustand nach dem Strahlen.

Aus fertigungstechnischer Sicht ist es jedoch wichtig, dass der Oberflächenzustand schon vor dem Strahlen in Ordnung ist. Stellt man nach dem Strahlen fest, dass die Oberfläche inakzeptable Ungängen aufweist, muss innerhalb der Fertigungslinie nachbearbeitet werden, was zu Verzögerungen im gesamten vorgeschalteten Teil der Prozesskette führt. Wird das Teil für Nacharbeiten im Beschichtungsprozess aus der Fertigungslinie herausgenommen, muss anschließend wieder die komplette Oberfläche vorbereitet werden, was auch zu Verzögerungen in der Fertigung führt. An das Beschichten werden also nicht nur höchste Qualitätsanforderungen gestellt, dieser Fertigungsschritt stellt gleichzeitig den „Bottleneck“ im gesamten Fertigungsprozess dar. Hierbei sei angemerkt, dass die Bauteile vor der Beschichtung ihre volle Größe erreicht haben. Der innerbetriebliche Transport ist umso einfacher, je kleiner die Bauteile sind (Mantelschüsse, Segmente), also weiter vorne im Fertigungsprozess. Aber auch im frühen Fertigungsstadium ist der Aufwand für eventuell notwendige Nacharbeit beträchtlich, da viel Stellfläche, die entsprechenden Transportmöglichkeiten und entsprechend qualifiziertes Personal erforderlich sind.

Aus diesen Gründen wird häufig und nach vielen einzelnen Fertigungsschritten die Oberfläche begutachtet, um inakzeptable Ungängen frühzeitig zu erkennen und auszubessern. Zu den geforderten Oberflächenzuständen sei auf die DIN EN ISO 12944 Teil 4 sowie der DIN EN ISO 8501 Teil 1 und Teil 3 verwiesen. Die Entscheidung, ob ein Oberflächenzustand akzeptabel ist oder nicht, also ob nachbearbeitet werden muss, weist aufgrund folgender Aspekte eine große Unschärfe auf:

- Subjektiver Charakter der Bewertung aufgrund fehlender quantifizierbarer Kriterien
- Nicht eindeutige bzw. grobe Kategorisierung der Ungängen in den Standards hinsichtlich der Korrosionswirkung (Beispiel P2/P3)

Daraus ergeben sich zwei mögliche Arten von Fehleinschätzungen. Oberflächenzustände können als akzeptabel bzw. als inakzeptabel bewertet werden, sind dies hinsichtlich Ihres Einflusses auf die Schutzwirkung der Beschichtung aber nicht. Ein fälschlicherweise als inakzeptabel bewerteter Zustand bedeutet zusätzliche, aber eigentlich nicht notwendige Nachbearbeitung mit entsprechend hohem Aufwand in der Fertigung. Ein fälschlicherweise als akzeptabel bewerteter Zustand bedeutet einen hohen Aufwand für Reparaturen vor Ort an der aufgerichteten und betriebenen Anlage und ist damit kostentechnisch noch viel bedeutsamer. Um auf der sicheren Seite zu sein, wird daher oft sehr konservativ bewertet. Unklare Oberflächenzustände werden im Zweifelsfall eher nicht akzeptiert. Hier steckt also noch großes Potenzial, den Fertigungsaufwand weiter zu optimieren.

Die Effizienz des Fertigungsprozesses ist entscheidend für den Kostenaufwand und damit für die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens. In der Fließfertigung ist die Einhaltung des Fertigungstaktes maßgebend. Unplanmäßige Störungen im Ablauf sind besonders kritisch. Die heutige Praxis der visuell/optischen Erfassung und Bewertung mit oft deutlich unterschiedlichen Bewertungsergebnissen zwischen einzelnen Beschichtungsinspektoren stellt daher eine fundamentale Schwachstelle für den gesamten Fertigungsprozess dar. Hier müssen in Deutschland neue Konzepte in der automatisierten Fertigung entwickelt und berücksichtigt werden, um die technologische Führerschaft mittelfristig zu erhalten.

Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste.

- DIN EN ISO 5817:2023-07 Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten
- DIN EN ISO 12944-1 bis 9 Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten
- DIN EN ISO 8501-3 Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen

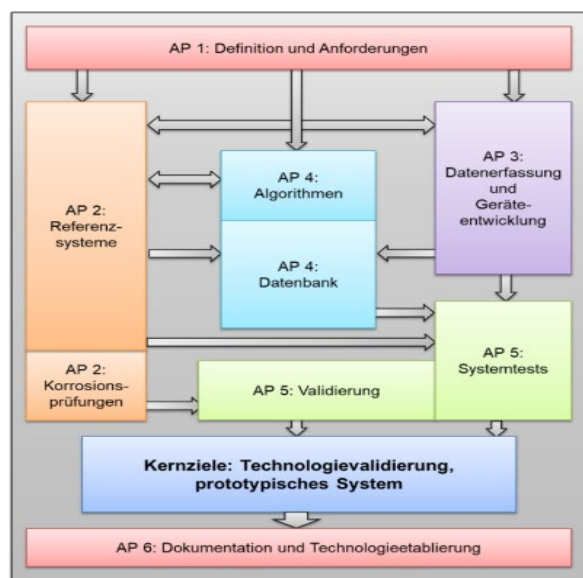
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Fraunhofer Institut IFAM	Expertise, Algorithmus Entwicklung
Helmut Müller GmbH	Expertise im Bereich Bewertung / Vorbereitungsgrad
AOT Solution GmbH	Entwicklung des Demonstrators, Programmierung der Software
Franz Dietrich GmbH	Einbringung der Expertise, Herstellung Vorbereitungsgrad der Probeplatten
Steelwind Nordenham GmbH	Herstellung von Unregelmäßigkeiten von Probeplatten, Bereitstellung von Cableholes, Bauteile aus dem Fertigungsprozess innerhalb der Strahlhalle

2 Eingehende Darstellung

2.1 der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegeben Ziele

Abbildung 1 gezeigt.



Die Vorhabendurchführung liegt Vergleich zur ursprünglichen Arbeit-, Zeit- und Kostenplanung innerhalb des vorgesehenen Rahmens

Nacharbeiten im Beschichtungsprozess aus der Fertigungslinie herausgenommen, muss anschließend wieder die komplette Oberfläche vorbereitet werden, was auch zu Verzögerungen in der Fertigung führt. An das Beschichten werden also nicht nur höchste Qualitätsanforderungen gestellt, dieser Fertigungsschritt stellt gleichzeitig den „Bottleneck“ im gesamten Fertigungsprozess dar. Hierbei sei angemerkt, dass die Bauteile vor der Beschichtung ihre volle Größe erreicht haben. Der innerbetriebliche Transport ist umso einfacher, je kleiner die Bauteile sind (Mantelschüsse, Segmente), also weiter vorne im Fertigungsprozess. Aber auch im frühen Fertigungsstadium ist der Aufwand für eventuell notwendige Nacharbeit beträchtlich, da viel Stellfläche, die entsprechenden Transportmöglichkeiten und entsprechend qualifiziertes Personal erforderlich sind.

Aus diesen Gründen wird häufig und nach vielen einzelnen Fertigungsschritten die Oberfläche begutachtet, um inakzeptable Ungenzen frühzeitig zu erkennen und auszubessern. Zu den geforderten Oberflächenzuständen sei auf die DIN EN ISO 12944 Teil 4 sowie der DIN EN ISO 8501 Teil 1 und Teil 3 verwiesen. Die Entscheidung, ob ein Oberflächenzustand akzeptabel ist oder nicht, also ob nachbearbeitet werden muss, weist aufgrund folgender Aspekte eine große Unschärfe auf:

- Subjektiver Charakter der Bewertung aufgrund fehlender quantifizierbarer Kriterien
- Nicht eindeutige bzw. grobe Kategorisierung der Ungenzen in den Standards hinsichtlich der Korrosionswirkung (Beispiel P2/P3)

Daraus ergeben sich zwei mögliche Arten von Fehleinschätzungen. Oberflächenzustände können als akzeptabel bzw. als inakzeptabel bewertet werden, sind dies hinsichtlich Ihres Einflusses auf die Schutzwirkung der Beschichtung aber nicht. Ein fälschlicherweise als inakzeptabel bewerteter Zustand bedeutet zusätzliche, aber eigentlich nicht notwendige Nachbearbeitung mit entsprechend hohem Aufwand in der Fertigung. Ein fälschlicherweise als akzeptabel bewerteter Zustand bedeutet einen hohen Aufwand für Reparaturen vor Ort an der aufgerichteten und betriebenen Anlage und ist damit kostentechnisch noch viel bedeutsamer. Um auf der sicheren Seite zu sein, wird daher oft sehr konservativ bewertet. Unklare Oberflächenzustände werden im Zweifelsfall eher nicht akzeptiert. Hier steckt also noch großes Potenzial, den Fertigungsaufwand weiter zu optimieren.

Die Effizienz des Fertigungsprozesses ist entscheidend für den Kostenaufwand und damit für die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens. In der Fließfertigung ist die Einhaltung des Fertigungstaktes maßgebend. Unplanmäßige Störungen im Ablauf sind besonders kritisch. Die heutige Praxis der visuell/optischen Erfassung und Bewertung mit oft deutlich unterschiedlichen Bewertungsergebnissen zwischen einzelnen Beschichtungsinspektoren stellt daher eine fundamentale Schwachstelle für den gesamten Fertigungsprozess dar. Hier müssen in Deutschland neue Konzepte in der automatisierten Fertigung entwickelt und berücksichtigt werden, um die technologische Führerschaft mittelfristig zu erhalten.

Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste.

- DIN EN ISO 5817:2023-07 Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten
- DIN EN ISO 12944-1 bis 9 Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten
- DIN EN ISO 8501-3 Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen

2.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Fraunhofer Institut IFAM

Expertise, Algorithmus Entwicklung

Helmut Müller GmbH

Expertise im Bereich Bewertung / Vorbereitungsgrad

AOT Solution GmbH	Entwicklung des Demonstrators, Programmierung der Software
Franz Dietrich GmbH	Einbringung der Expertise, Herstellung Vorbereitungsgrad der Probeplatten
Steelwind Nordenham GmbH	Herstellung von Unregelmäßigkeiten von Probeplatten, Bereitstellung von Cableholes, Bauteile aus dem Fertigungsprozess innerhalb der Strahlhalle

3 Eingehende Darstellung

3.1 der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegeben Ziele

Abbildung 1: Übersicht Projektstruktur und Verknüpfung der technischen Arbeitspakete

Die nachfolgende Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Struktur des Gesamtprojektes und sowie der relevanten Arbeitspakete für das vorliegende Teilprojekt (blau) wieder.

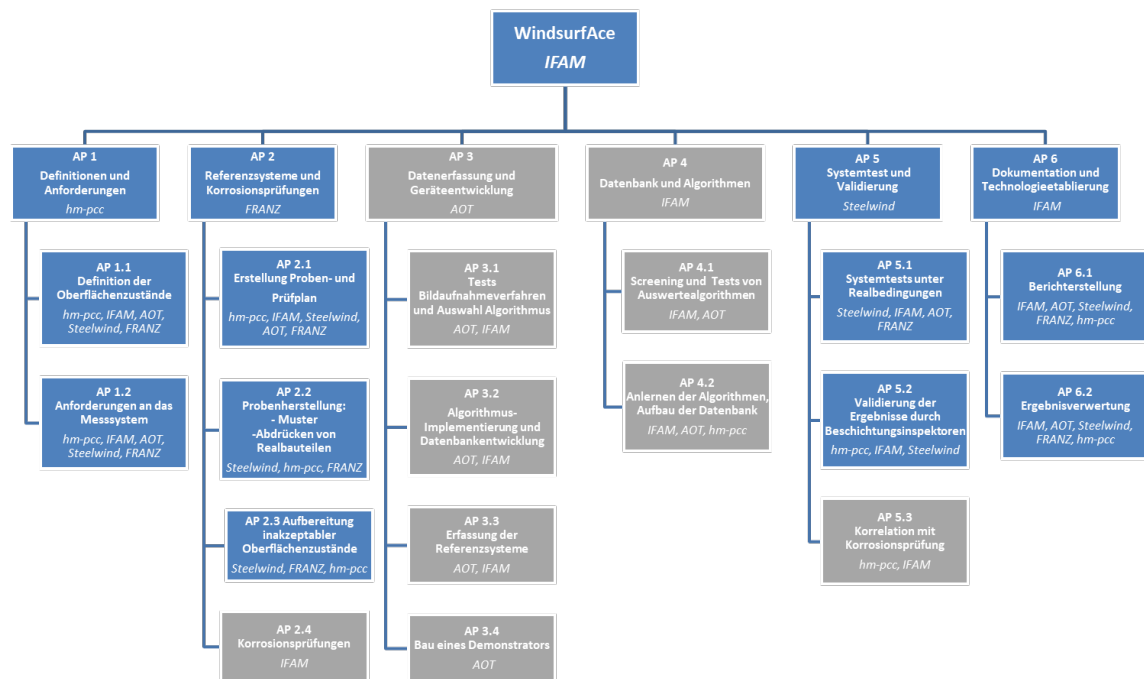


Abbildung 2: Netzstrukturplan des Gesamtvorhabens: die für Steelwind relevanten Arbeitspakete sind blau hervorgehoben

Steelwind ist in vier Arbeitspaketen beteiligt. Der Fokus der Arbeiten liegt dabei in

- AP 1 Definitionen und Anforderungen: Steelwind erfasst und dokumentiert die zu untersuchenden Oberflächen und die Anforderungen an das spätere Messsystem inkl. IT-Anforderungen zur Integration in die ERP-Landschaft
- AP 2 Referenzsysteme: Steelwind stellt Referenzsysteme her und stellt sie zur Verfügung (Proben, Abdrücke, ...)
- AP 5 Systemtest und Validierung: Steelwind stellt eine mögliche Testumgebung bereit und macht erste Versuche zur Systemintegration
- AP 6 Dokumentation und Technologieetablierung: Steelwind unterstützt aktiv die Ergebnisverwertung in Bezug auf die Etablierung dieser neuen Technologie für den Stahlbau für Windenergieanlagen

AP 1 Definitionen und Anforderungen

Innerhalb des Berichtszeitraums wurde im Arbeitspaket AP 1 über die Definitionen und Anforderungen der Oberflächenzustände diskutiert und eine Auswahl der kritischsten Ungängen definiert. Es wurde ein Katalog bzgl. Oberflächenungängen vor und nach dem Strahlen erstellt und zur Verfügung gestellt.

Innerhalb von AP 1 wurden zunächst die relevanten Oberflächenzustände definiert. Hierbei fand ein Treffen in Nordenham mit allen Projektpartnern statt. Beim Besuch der Stahlbau-Fertigung wurden verschiedene Oberflächenzustände in verschiedenen Fertigungsschritten gezeigt, vom Rohblech im Lieferzustand, vor und nach dem Umformen, nach dem Schweißen, sowie vor und nach dem Strahlen. Es wurde entschieden, dass die Oberflächen erst nach dem Strahlen ausgewertet werden sollen. Ausnahme davon sind Schweißnähte.

Es wurde Bildmaterial zur Verfügung gestellt und ein Musterkatalog erstellt. Dieser Katalog wurde allen Projektteilnehmern auf der Info-Plattform zur Verfügung gestellt.

Oberflächenzustände Monopile



Inhaltsverzeichnis aus dem Katalog Oberflächenzustände

	Titel
2-3	Oberflächen Kerben
4	Oberflächen Ungänzen
5-6	Walzabdrücke
7-9	Oberflächen Ausbrüche
10	Oberflächen-Abdruck scharfkantig
11	Radio's an Schweißnaht
12-13	Pikhammer-Abdruck
14	Unterschleifung Schweißnaht
15	Krater
16	Schweißschlacke
17-18	Walzabdrücke
19	Klemmabdrücke
20	Krater / Rostfraß
22	Furchen d. Einwalzung
23	Poren

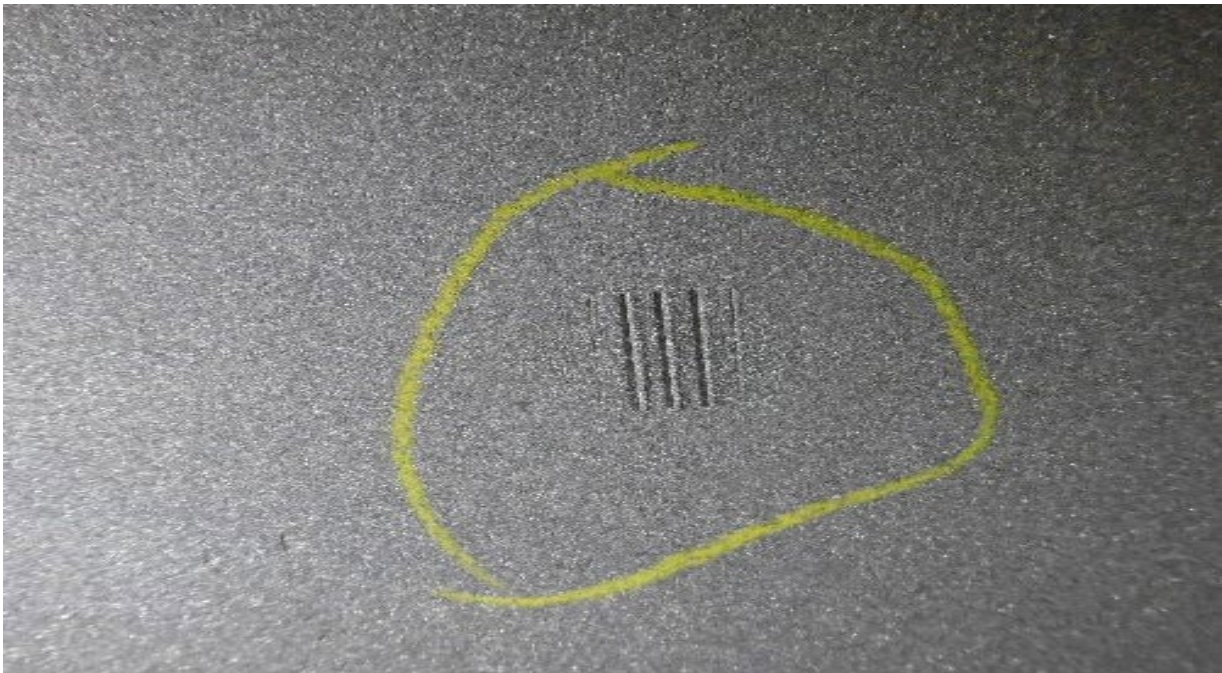
Beispiele vor dem Strahlen und nach dem Strahlen aus dem Katalog

Bereich ist im Vorwege zu beschleifen, sollte in der Strahlabnahme nicht mehr vorhanden sein.



Art der Unregelmäßigkeit		Vorbereitungsgrade		
Beschreibung	Darstellung	P1	P2	P3
3,3 Überwalzungen /Trennungen		Die Oberfläche muss frei von abgehobenem Werkstoff sein	Die Oberfläche muss frei von sichtbaren Überwalzungen/ Trennungen sein.	Die Oberfläche muss frei von sichtbaren Überwalzungen/ Trennungen sein

Abdrücke nach dem Strahlen sind einfach zu bewerten



Bewertung der Oberfläche wird oft subjektiv von Frosios bewertet



Art der Unregelmäßigkeit		Vorbereitungsgrade		
Beschreibung	Darstellung	P1	P2	P3
3,6 Eindrücke und Markierungen vom Walzen		Keine Vorbereitung	Eindrücke und Markierungen vom Walzen müssen glatt sein	Die Oberfläche muss frei von Eindrücken und Markierungen vom Walzen sein

Die einzelnen Ergebnisse gemäß der Aufgabe aus dem Netzstrukturplan wurden in blau hinterlegt

AP 1 Definitionen und Anforderungen wurden erreicht.

AP 1.1 Definition der Oberflächenzustände wurden in einem Katalog erfasst und zur Verfügung gestellt definiert und besprochen

AP 1.2 Hier wurden die Oberflächenanforderungen besprochen für die Integration in der ERP-Landschaft besprochen

AP 2 Referenzsysteme und Korrosionsprüfungen

AP 2.1 Erstellung Proben und Prüfplan

Es wurden die relevanten Stahlbaunormen besprochen. Nach der jeweiligen Überprüfung kommen für die zu beschichtenden Bereiche nur drei Normen zur Anwendung: DIN EN ISO 8501, DIN EN ISO 5817 und DIN EN ISO 12944, die Erkenntnisse sind mit in den Prüfplan eingeflossen.

Es wurden Stahlbleche in Form von Brennschneidteilen zur Verfügung gestellt mit Oberflächenungängen. Dabei wurden zwei Oberflächenzustände bewertet und messtechnisch aufgenommen, Positiv-Abdrücke wurden mit dem Abformmaterial „betasil“ erstellt.

Aus dem Meeting 30.09.2019 wurden die Arbeitspakete besprochen und festgelegt, Stahlblech-Brennteile (ehemalige Kabellöcher-Ausschnitte) zu verwenden. SWN stellte 21 Stahlblech-Brennteile „nicht gestrahlt“ zur Verfügung. Die Oberfläche der Stahl-Brennteile wurde inspeziert und gekennzeichnet, im Anschluss wurden 8 Brennteile ausgesucht und mit Schlagzahlen zur eindeutigen Identifikation durchnummeriert.

AP 2.2 Probenherstellung – Muster- Abdrücken von Realbauteilen

Betasil ist ein Abformmaterial für dentale Zwecke (additionsvernetzendes Polyvinylsiloxan nach EN ISO 4823, Typ 3, leicht fließend, siehe Bild 01).

Bild Nr. 0



Bild Nr. 02



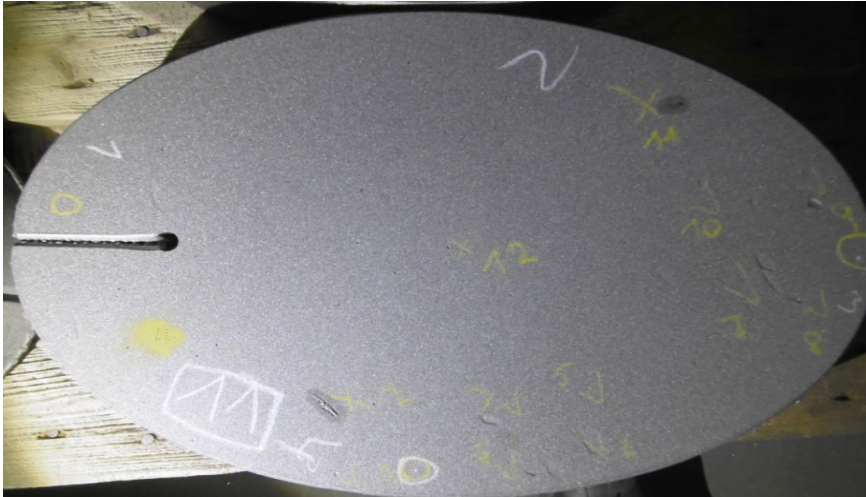
Das Bauteil 12 fällt nicht unter die Auswahl der acht ausgesuchten Proben

Es wurden an allen acht Oberflächen betasil Abdrücke vorgenommen.

Nächster Schritt ist die messtechnischen Aufnahmen der Ungängen an der Oberfläche von den acht festgelegten Stahlblech-Brennteilen.

Alle acht Brennteile wurden gestrahlt und erneut visuell begutachtet, im Anschluss weitere betasil Abdrücke von der gestrahlten Oberfläche der Brennteile genommen und messtechnisch aufgenommen.

Beispielbild gestrahlte Oberfläche



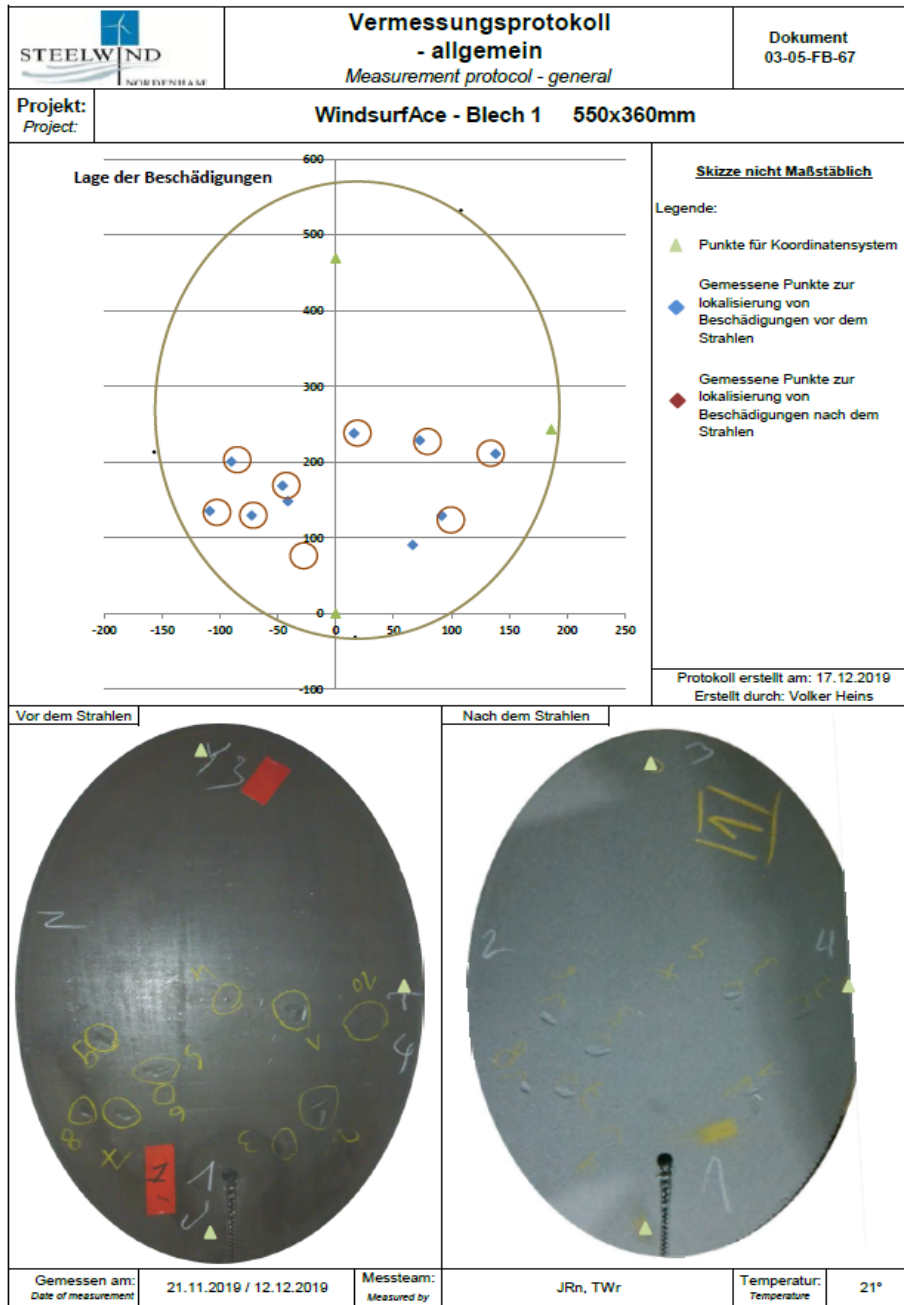
Exemplarisch wurde eine Auswertung einer messtechnischen Aufnahme vom Brenteil 1 durchgeführt; ersichtlich ist die Lage der lokalisierten Beschädigungen vor und nach dem Strahlen.

Es ist erkennbar das vor dem Strahlen zehn lokalisierte Beschädigungen durch visuelle Prüfung definiert wurden und nach dem Strahlen waren es neun lokalisierte Beschädigungen.

Drei der Beschädigungen stimmen nicht überein; vor und nach dem Strahlen gibt es minimale Abweichungen.

Im weiteren Anhang ein Protokoll der messtechnisch Aufnahme und Auswertung.

Vermessungsprotokoll von dem Blech 1



Es wurden Referenzprüfkörper durch Metallaktivschweißen hergestellt Das Resultat, eine poröse Schweißnaht die nach dem Einebnen der Schweißnaht reproduzierbare Pin- holes aufwies. Nach Bewertung aller Projektpartner wurden weitere Versuchsplatten hergestellt.

Prüfkörper

- S 355 ML 95x150x8 mm
- Hier wurden zwei Schweißraupen durch Metallaktivschweißen aufgebracht. Einmal mit und einmal ohne Schutzgas, die Schweißraupen wurden eingeebnet wie ersichtlich Bild 3

Bild 3



Die Abbildung Bild 4 zeigt Abdrücke, die nach dem Strahlen auf einer Testplatte entstehen. Sie veranschaulichen, wie die Oberfläche eines Monopiles nach der Fertigung aussehen könnte.

Bild 4



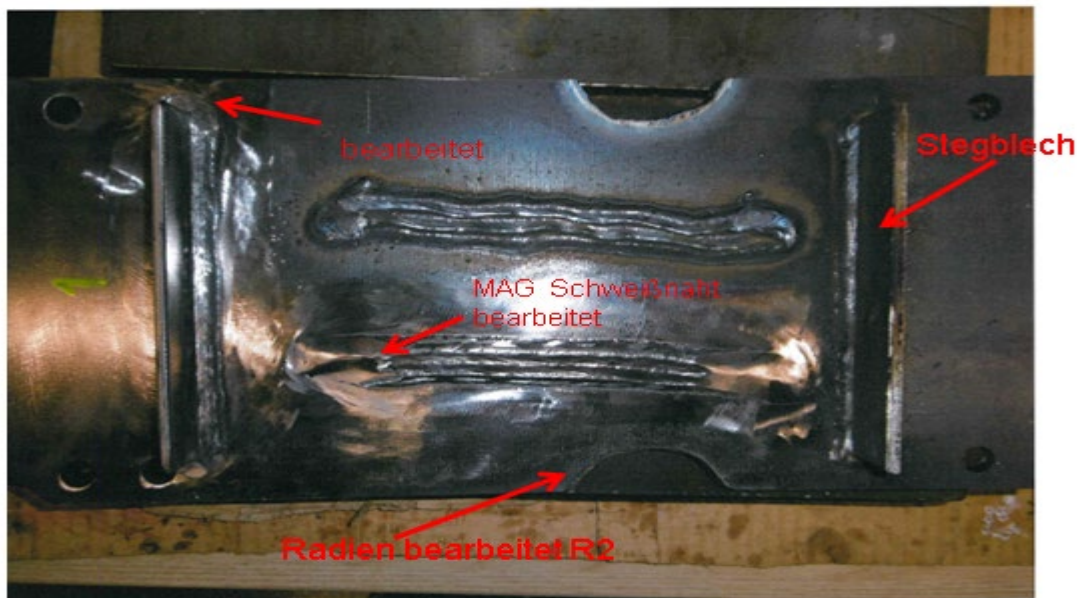
Als Beispiel:

Probleblech 1 von 22

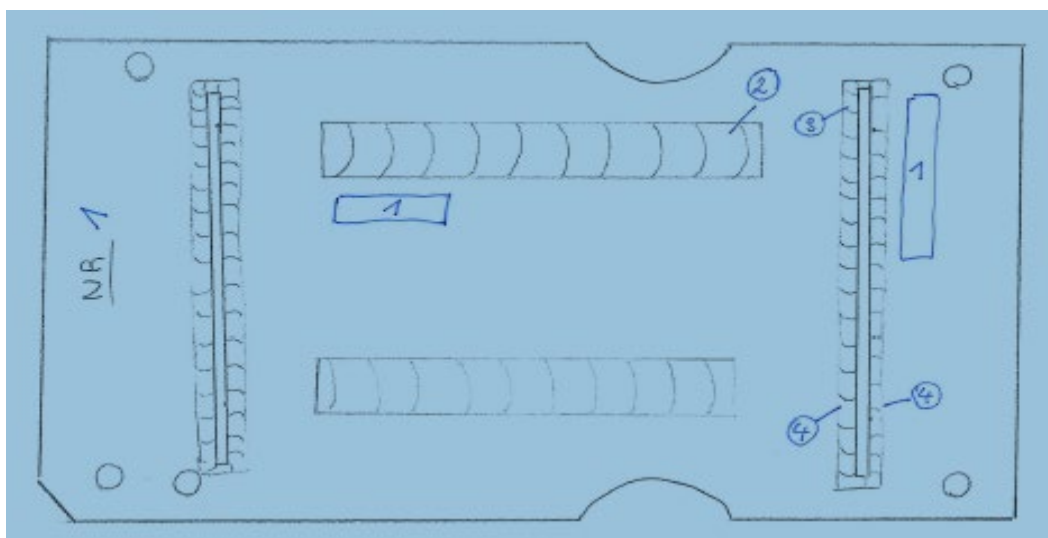
Herstellung 22 warmer Proben incl. Bewertung der genannten Normen aus dem AP2.1 dokumentiert, gemäß der Ordnungsnummer DIN EN ISO 6520 aus der DIN EN ISO 5817 B.

Es wurden auf dem Probleblech jeweils zwei MAG Auftragschweißungen aufgebracht, zwei Stegbleche aufgeschweißt mittels einer beidseitigen Kehlnaht und thermische Radien angebracht. Alle Realbauteile (warme Proben) wurden durch einen ZfP-Prüfer bewertet. Die Ausführungen durch das Schweißen und Autogenbrennen (thermisches bearbeiten) wurden abweichend zu den Normen ausgeführt, im Anschluss wurden jeweils eine der drei Ausführungen nach den oben genannten Normen bearbeitet.


Alle Realbauteile (warme Proben) wurden auf SA2½ gestrahlt.



Skizze mit Nummerierung der Abweichungen



Dokumentation der Bewertung Nummerierung entspricht der Skizze

STEELWIND		Sichtprüfung - Prüfprotokoll Visual Examination Report (Standard - FB)		Dokument 03-05-FB-07 RDS-PP			
Auftraggeber: Customer:	Surface	Protokoll-Nr.: Report No.:	01				
Kennwert: Project:		Zeichnungs-Nr.: Drawing No.:					
Auftrags-Nr.: Order No.:		File-Nr.: File No.:					
Reisegruppe: Assembly:	Blech 01	Schweißprozess: Welding process:	MAG				
Angaben zum Objekt Order Information							
Prüfanweisung: Test instruction:		Prüfobjekt: Exam. Object:	Blech				
Material:	S 355	Anforderung/Nr.: Requirement:	DIN EN ISO 17637				
Spezifikation: Specification:		Bewertung: Evaluation:	DIN EN ISO 5817/B				
Prüfumfang: Extent of exam.:		Prüfung nach: Exam. acc. to:	DIN EN 1090-2				
Prüfzustand: Cond. of exam. surface:		Prüfmittel: Resource:	-				
Beschreibung von Fehlern Description of mistakes							
Prüfergebnis Result							
Schweiß-ID Weld ID	Fehler ** defect **	Bewertung/Insulation* 1 2 3	Nacharbeit work repetition	In Ordnung acceptance			
1	502	3	ne				
2	505	2	ne				
3	2013	2	ne				
4	5011	2	ne				
*Bewertung/Insulation: 1 ohne Insulation, 2 mit Insulation, 3 verschärft (ohne spezielle Anweisung) Fehler multiple defects **nach/after ISO 6520-1							
Prüfer / Examiner:		Prüfobjekt/Superior:		Mitarbeiter/Inspector:		Prüfungstermin/Date of testing:	
Block: 		J. Quares		J. Pump		J. Meyer	
Datum: 02.10.2013		Datum geändert: 01.09.2015		Datum geändert: 01.09.2015		Datum geändert: 08.08.2015	
Seite 3		Seite 1 von 2		Seite 1 von 2		Seite 2 von 2	

AP 2 Referenzsysteme und Korrosionsprüfungen wurden definiert und hergestellt, das Vorhaben wurde erfolgreich umgesetzt, Ziele wurden erreicht.

AP 2.1 Erstellung von Proben – und Prüfplan, hier wurden die Anforderung der Oberflächen nach Vorgaben der Normen besprochen und festgelegt

AP 2.2 Probenherstellung – Muster, Abdrücken von Realbauteilen, Proben wurden zur Verfügung gestellt, Oberflächenfehler wurden auf den Blechen (Cablehole) bewertet

AP 3.2 Aufbereitung inakzeptabler Oberflächenzustände wurde durch vorher Schwarze Oberfläche und nach dem Strahlen zur Verfügung gestellt, Abdrücke mit Betasil wurde durchgeführt und zur Verfügung gestellt.

AP 5 Systemtest und Validierung

AP 5.1 Systemtests unter Realbedingungen

In AP 5 werden alle Teilaspekte der Entwicklung zusammengeführt. Hierzu werden mit dem entwickelten Messsystem (Demonstrator) Systemtests an ausgewählten Referenzsystemen, die nicht zum Anlernen der Datenbank dienen, sowie unter Realbedingungen in der Fertigung durchgeführt. Fa. Steelwind stellt die Fertigungsumgebung zur Verfügung mit einem Realbauteil (Monopilesegment). Das Monopile wurde aus einem aktuellen Projekt zur Verfügung gestellt, die Oberfläche wurde entsprechend der Kundenvorgabe auf Sa 2,5 gestrahlt und war mechanisch unbearbeitet. Das Messsystem (Demonstrator) bietet eine gute Datenbasis zu den Bewertungsergebnissen aufgrund des vorhandenen Trainings und Datenbasis der implementierten Algorithmen.

Bereitstellung einer Sektion siehe Bild. Die Oberfläche wurde mittels Strahlen durch Fa. Dietrich innen und außen Fa. AOT zur Verfügung gestellt. Fa. AOT führte erste Aufnahmen durch.



Die adressierten Oberflächenzustände können gut erfasst werden, dies wird durch einen Sichtvergleich des jeweiligen Oberflächenzustandes mit der digitalen Erfassung ersichtlich. Die digitalisierten Daten stellen somit eine hinreichende Datenbasis für einen noch zu entwickelnden Bewertungsalgorithmus dar.

AP 5 Systemtest und Validierung wurde vollständig umgesetzt Ziel wurde erreicht.

AP 5.1 Systemtest unter Realbedingungen komplette Monopilekomponenten wurden innerhalb des Produktionsflusses in der Strahlhalle zur Verfügung gestellt, die Oberflächen wurden auf Vorgabe SA 2,5 gestrahlt.

AP 5.2 Validierung der Ergebnisse durch Beschichtungsinspektoren, verschiedene Oberflächen wurden durch Frosios validiert und die Algorithmen wurden angeleert.

AP 6 Dokumentation und Technologieetablierung

AP 6.1 Berichterstellung im Rahmen der umfassenden Dokumentation und Berichterstattung wurden die gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und zur Verfügung gestellt. Ziel war es, auf Basis der Berichte, Zwischen- und Abschlussberichte, Projekttreffen sowie der Verwertung der Ergebnisse, die entsprechenden Informationen bereitzustellen.

Die auf Basis der validierten Ergebnisse durchgeführte objektive Bewertung von Oberflächen nach dem Strahlen wurde erreicht.

AP 6.2 Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass die Bereiche des eingesetzten Demonstrators im Verhältnis zu den großen Dimensionen zu gering sind. Zudem sind die zu beschichtende Bereiche und die nötige Prüfgeschwindigkeit zurzeit nicht umsetzbar. Nach dem Strahlvorgang einer hochaktiven Fläche muss eine effiziente Oberflächenprüfung durchgeführt werden, die eine zeitnahe Auswertung ermöglicht. Die Implementierung der Oberflächentechnologie sowie der Auswertungssoftware in einer hinlänglichen Geschwindigkeit würde eine subjektive Prüfung obsolet machen und somit unnötige Kosten vermeiden, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirken würde.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Selbstkosten des Vorhabens: **17.650,30**

Eigenmittel des Antragstellers: 10.590,18

Zuwendung: 7.060,12

Reisekosten für Treffen wurden nicht erfasst

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Festlegen der Oberflächenzuständen und insbesondere der Ungängen aus der stahlbaulichen Praxis sowie deren Klassifizierung anhand der geltenden Regelwerke. Die Erstellung eines umfangreichen Katalogs der an der Oberfläche der Bauteile auffindbaren Ungängen als Grundlage zur Festlegung der Anforderungen an die Mess- Technologie wurde zur umgesetzt. Die Herstellung und das Bereitstellen der Referenzen durch Cable Holes Blechplatten, die Herstellung der unterschiedlichen Oberflächen und die Bereitstellung gemäß AP 2.2 war ein umfangreicher Prozess, hier wurden Mitarbeiterkapazitäten gebündelt und zur Verfügung gestellt.

Innerhalb des seriellen Fertigungsablauf ist es SWN gelungen entsprechend Realbauteile zur Verfügung zu stellen um den Demonstrator mit dem jeweiligen Effektorkopf mit einem 3- Achs- Portal. Die entwickelten Algorithmen wurden in der Steuerungssoftware implementiert. Die Fördermittel wurden entsprechend der Arbeitspakete eingesetzt.

Aufgrund der umfangreichen Ausführungen und Bereitstellungen bzgl. Abstimmungen und von unterschiedlichen Oberflächen waren die Förderungen notwendig und die geleisteten Arbeiten angemessen.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.

Die durchgeführte Untersuchung belegt, dass die Zusammenarbeit mit sämtlichen Projektpartnern dazu geeignet war, eine automatisierte Prüfung von Oberflächen objektiv nach Regel- und Normvorgaben durchzuführen.

Der Demonstrator mit der Oberflächenscantechnologie und der Software ist für den industriellen Einsatz in dieser Größe noch nicht geeignet, da noch mechanische Anpassungen notwendig sind, um die großen Flächen nebst Schweißnähten objektiv gemäß dem geltenden Normen abzufahren und zu bewerten.

Die Präzision, mit der die Algorithmen Unvollkommenheiten objektiv bewerteten, war bemerkenswert. Selbst feine Unterschiede, die das menschliche Auge oft verkehrt herleitet, wurden korrekt identifiziert. Dies stellt eine bedeutende Entwicklung in der automatisierten Bewertung von Oberflächen dar, da hier das menschliche Auge und somit der Prüfer oft zu unterschiedlichen Ergebnissen kommt.

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.

Es sind keine anderen Stellen bzgl. ein weiteres Vorhaben bekannt.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse nach Nr. 11

Die Ergebnisse werden durch einige Verbundpartner durch das IFAM zur Verfügung gestellt.