



## Sachbericht zum Verwendungsnachweis

WIR!-Bündnis: Gestaltung des Strukturwandels durch Innovationen  
in der Digitalisierung von Wartung, Instandhaltung und Reparatur („WI+R“)

**Vorhabenbezeichnung:** 1-1.1.7: Grundlagenversuche zur Digitalisierung von Geometrien sowie zur prozessübergreifenden Prozessüberwachung zur Qualitätssicherung

**Zuwendungsgeber:** Bundesministerium für Bildung und Forschung

**Förderkennzeichen:** 03WIR2503G

**Berichtspflichtiger:** B.I.G. Technology Services

**Projektleitung:** Christoph Wendt

**Laufzeit des Vorhabens:** 01.03.2021 – 30.04.2023

**Berichtszeitraum:** 01.01.2022 – 31.12.2022

Der/die (Mit-) Urheber/in des Schlussberichts einschließlich seiner Kurzfassung und weiterer Bestandteile (wie audiovisuelle Materialien) räumt dem Zuwendungsgeber und der Technischen Informationsbibliothek (TIB) die in der Creative Commons – Lizenz beschriebenen Rechte unter den dort genannten Bedingungen ein. Weiterhin räumt der /die (Mit-) Urheber/in des Schlussberichts einschließlich seiner Kurzfassung und weiterer Bestandteile (wie z. B. audiovisuelle Materialien und 3D-Modelle) der TIB das Recht zur Bearbeitung ein, um Metadaten einschließlich Abstracts, Thumbnails und Filmstills zu erstellen, die öffentlich zugänglich gemacht und durch die TIB und Dritte unter Verzicht auf eine Urheber-Vergütung genutzt werden dürfen. Dieses Recht wird hiermit auch Kooperationspartnern der TIB eingeräumt.

## I. Kurzbericht

Im Laufe des Projektes „Mobile Reparaturfabrik im Programm WIR! - Wandel durch Innovation in der Region innerhalb des WIR! -Bündnisses“ konnten für die B.I.G. Technology Services interessante Erkenntnisse erworben werden, sowie für den Projektverlauf entscheidende Meilensteine erreicht werden.

Der Einsatz der ausgewählten Technologien der Firmen Keyence und Scansonic haben die an ihnen gestellten Herausforderungen zur Fehlstellenvermessung und -analyse erfüllt. Dabei wurde in zwei Sensorkategorien unterschieden. Einmal in der videografischen Aufnahme mittels SCeye und einmal in der laserspektralen Messung mittels Keyence-Sensors und QH6D sowie deren Auswertesoftware.

Im ersten Schritt wurde ein repräsentatives Bauteil mit typischen Fehlerbild analysiert. Hierfür kam einmal die SCeye-Kamera zur videografischen Erkennung des Fehlerbildes zum Einsatz. Die Auflösung und Darstellung war in hoher Qualität möglich. Darauf folgte eine Vermessung mit einem Keyence-Sensor zur geometrischen Vermessung der Fehlstelle im dreidimensionalen Raum. Diese Vermessung inklusive der Auswertung und Darstellung in der Analysesoftware von Chossey war sehr präzise und eine Aussage zur Abmessung des Fehlerbildes konnte aufgezeigt werden.

Im weiteren Projektverlauf wurden Schweißproben der Firma Oscar PLT basierend von zwei verschiedenen Schweißverfahren mit den gleichen Technologien analysiert. Diesmal wurden mit der SCeye-Kamera Aufnahmen des Schweißprozesses erstellt als Grundlage zur KI-gestützten Fehlererkennung im Schmelzbad und der nachfolgenden erstarrten Schweißnaht. Auch hier konnte ein Erfolg verzeichnet werden. Die erstellten Schweißnähte wurden abschließend geometrisch mit dem QH6D-Sensor vermessen.

Nach der erfolgreichen Erprobung der Sensoren konnte eine Installation dieser im vorgesehenen Bearbeitungscontainer durchgeführt werden. Die Integration erfolgte hierbei problemlos. Neben der Hardware-Integration wurden auch alle Signale an die passenden technischen Entitäten gesendet. Sodass eine Nutzung der Geräte SCeye-Kamera und QH6D-Sensor im Container erfolgen kann.<sup>2</sup>

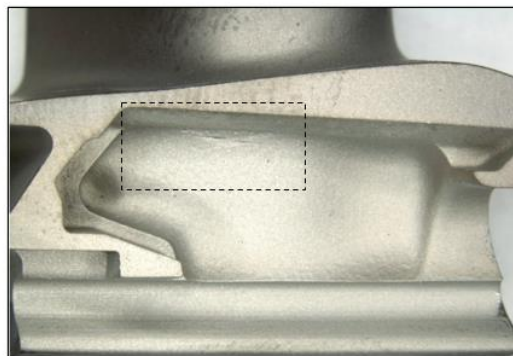
## II. Ausführliche Beschreibung der durchgeführten Arbeiten

Für erste Laborversuche wurde der B.I.G. TS ein Probebauteil zur Verfügung gestellt. Einer der Projektpartner hat dieses Bauteil aus dem realen Betriebseinsatz zurückgeführt. An der ausgewählten Turbinenschaufel ist nach dem Einsatz ein Defekt aufgetreten. Bei diesem Defekt handelt es sich um einen wenige Millimeter großen Bereich in dem Ermüdungserscheinungen im Material mit bloßem Auge zu erkennen sind (Abbildung 1).

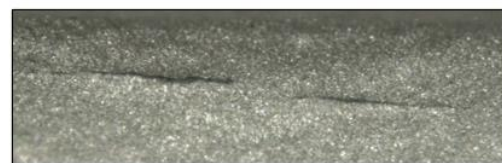
Für die Untersuchung des Defekts werden zwei verschiedene Systeme verwendet. Zum einen wird ein Geometriesensor der Firma Keyence zur Bauteilvermessung eingesetzt. Zum anderen wird mit einem Kamerasystem (SCeye) das Bauteil gefilmt.



Bauteil mit Defekt



Erste Vergrößerung Defekt



starke Vergrößerung Defekt

Abbildung 1 Turbinenschaufel als Probebauteil für erste Versuchsreihe

Zur Geometriedatenvermessung wurde der Sensor LJ-x8080 der Firma Keyence verwendet (Tabelle 1). Zur Auswertung der gemessenen Daten wurde die Software ScanView von Dr. Thomas von Chossy genutzt. Damit ist eine Darstellung der

Messdaten in einem 3D-Modell sowie der Einsatz weiterer Darstellungs- und Auswertelgorithmen möglich.

Tabelle 1 technische Daten Keyence-Sensor

Modell	Keyence LJ-X8080
Referenzabstand	73 mm
Messbereich	
Z-Achse	±20,5 mm
X-Achse	35 mm
Wellenlänge	405 nm
Laserklasse	2M
Leistung	10mW
Wiederholgenauigkeit	
Z-Achse	0,5 µm
X-Achse	1 µm
Software	ScanView (Dr. Thomas von Chossy)

Zum Vermessen des Bauteils wird der Sensor kontinuierlich über das Bauteil bewegt, um somit gleichmäßig Daten zu erzeugen (Abbildung 2). Mittels Montage des Sensors an einen Roboter konnte eine stetige Geschwindigkeit eingehalten werden. Aufgrund der optischen Datenerfassung über die Auswertung von reflektierter Laserstrahlung, können verschiedene Einstrahlwinkel die Messung beeinflussen. Um dies zu simulieren wurden verschiedene Einstrahlwinkel untersucht.

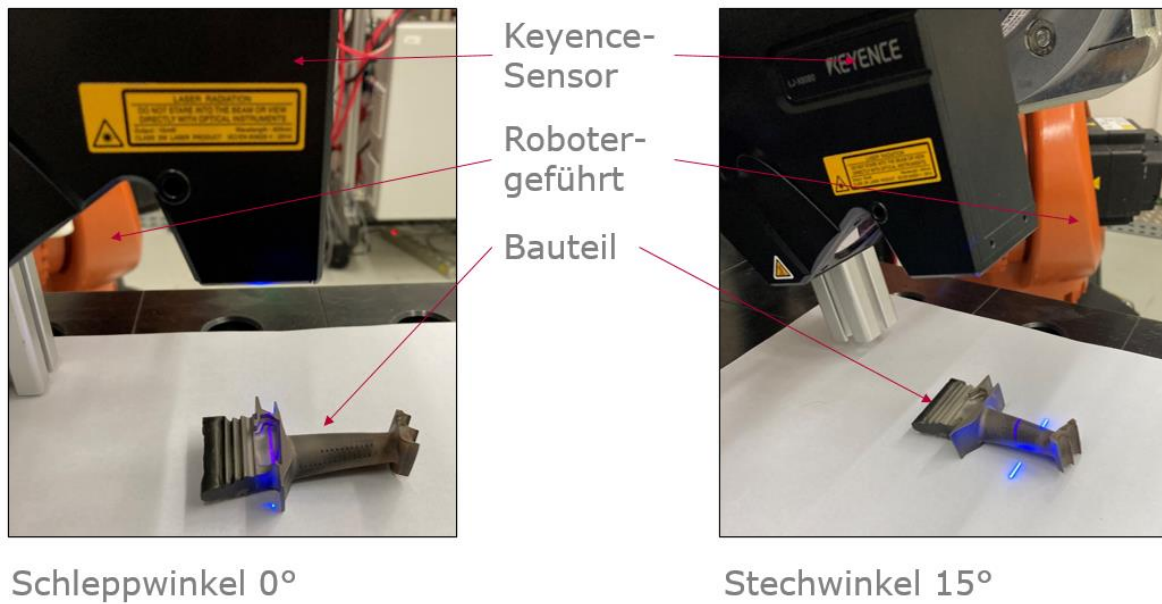
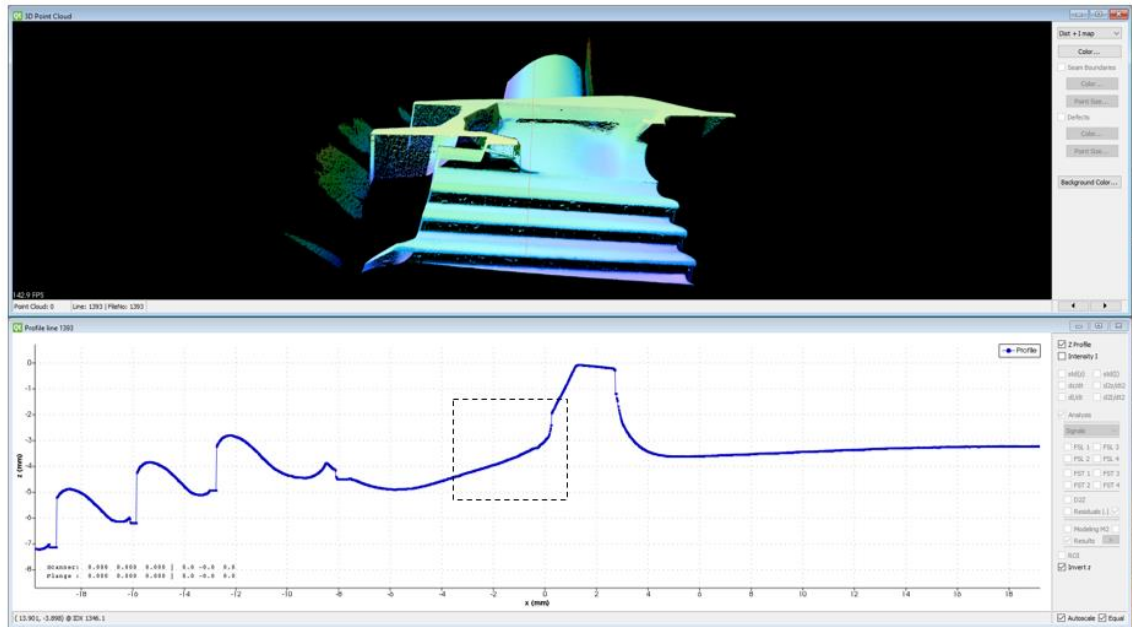


Abbildung 2 Geometriedatenmessung mittels Keyence Sensor an Turbinenschaufel

Neben verschiedenen Einstrahlwinkeln wurde auch die Vorschubrichtung des Sensors verändert. Das Bauteil wurde längs und quer zur Ausbreitungsrichtung des Defekts gescannt. Die Fehlstelle im Bauteil kann trotz der geringen Größe von 0,2 mm detektiert werden (Abbildung 3). Dabei fällt auf, dass Unebenheiten der Oberfläche in benachbarten Regionen eine ähnliche Ausprägung aufweisen. Eine Auswertung des Fehlers anhand dieser einen geometrischen Ausprägung somit fehleranfällig. Durch eine Sensoranordnung mit einem Stechwinkel zum Bauteil wird die Erkennung der Fehlstelle verbessert, jedoch folgt dadurch eine Verringerung der Gesamtqualität (Abbildung 4).

- scan\_line\_distance\_factor" :-0,03 mm
- 0° Stechwinkel
- 1000 Hz
- 0,03 m/s Vorschub
- quer zur Fehlstelle



- scan\_line\_distance\_factor" :-0,03 mm
- 0° Stechwinkel
- 1000 Hz
- 0,03 m/s Vorschub
- quer zur Fehlstelle

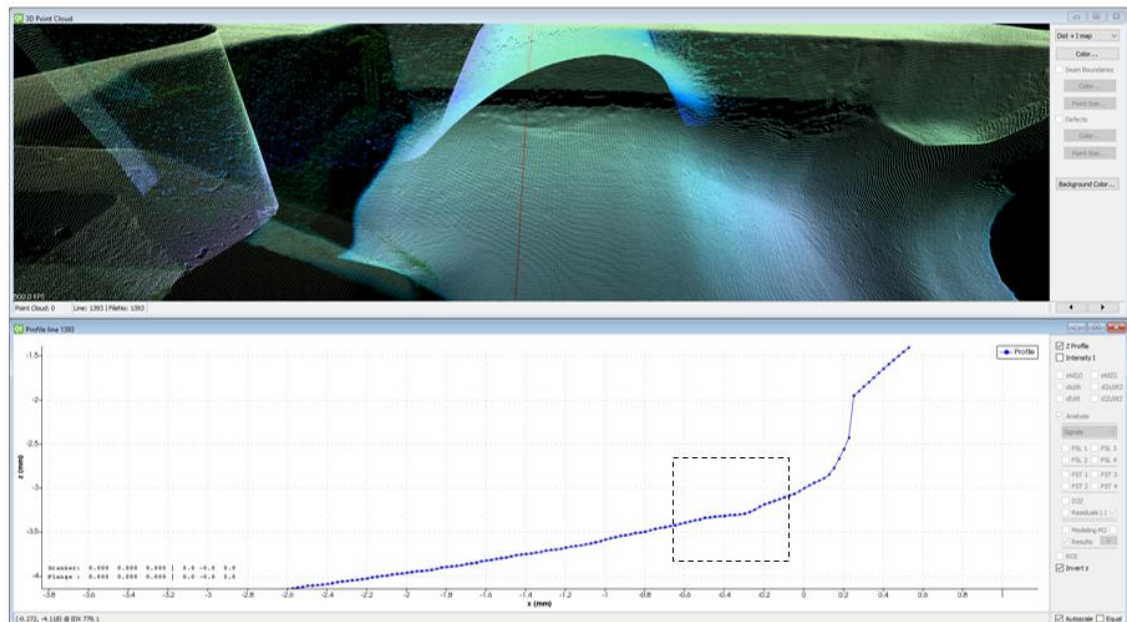
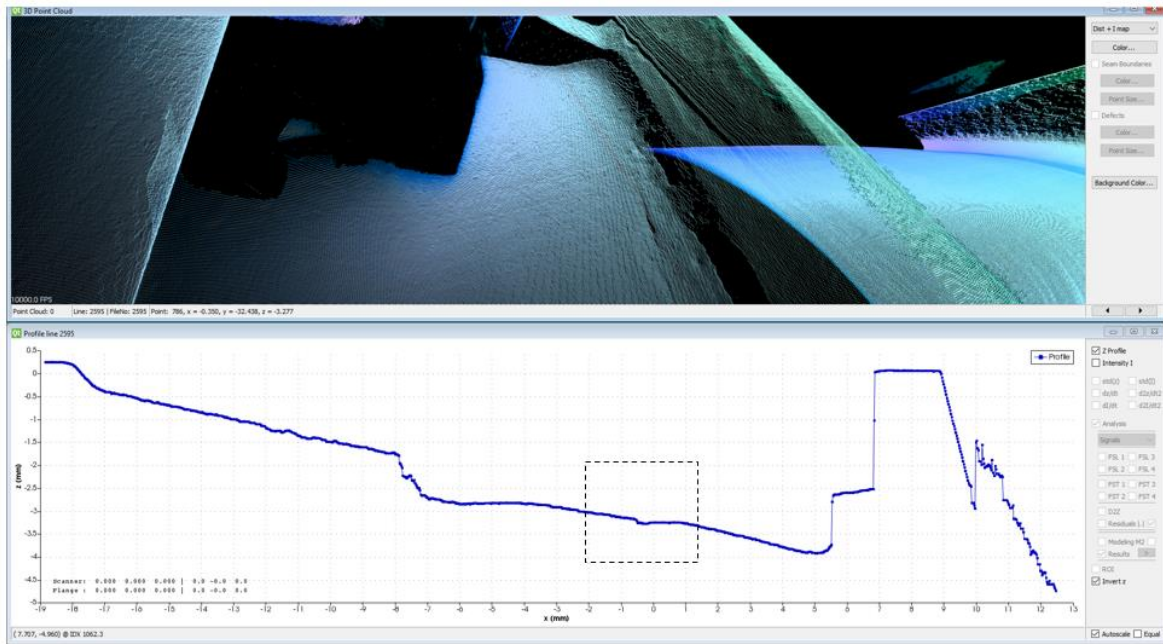


Abbildung 3 Geometrievermessung quer zur Fehlstelle



- scan\_line\_distance\_factor" : -0,0125 mm
- 15 ° Stechwinkel
- 1000 Hz
- 0,0125 m/s Vorschub
- längs zur Fehlstelle



- scan\_line\_distance\_factor" : -0,0125 mm
- 15 ° Stechwinkel
- 1000 Hz
- 0,0125 m/s Vorschub
- längs zur Fehlstelle

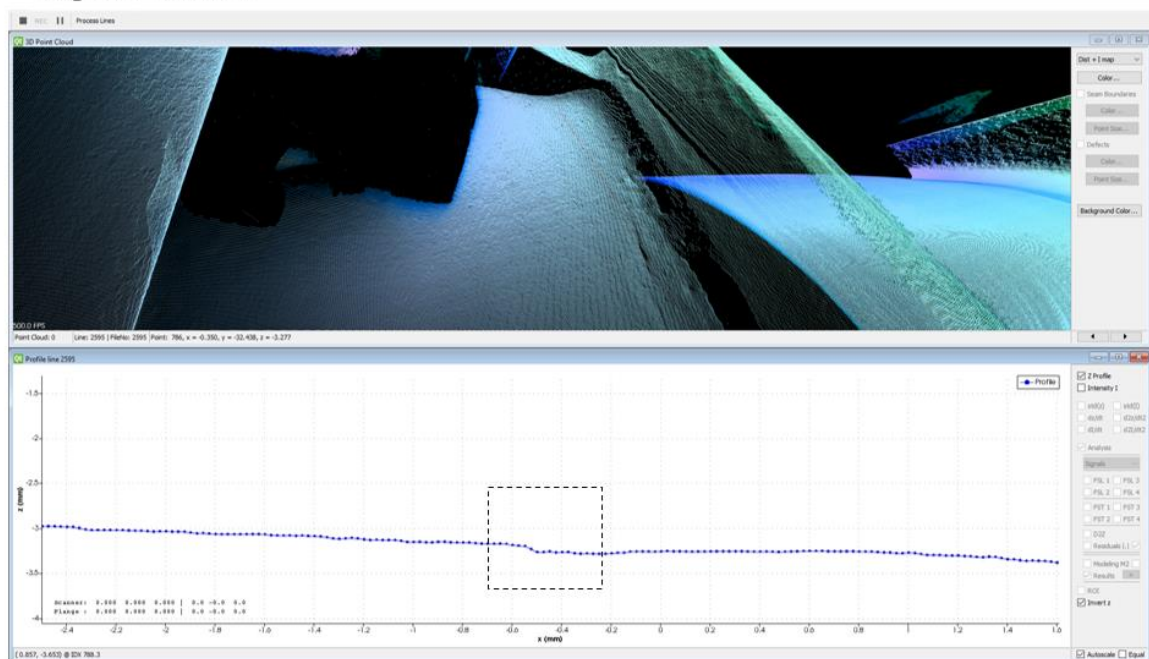


Abbildung 4 Geometrievermessung längs zur Fehlstelle mit Stechwinkel

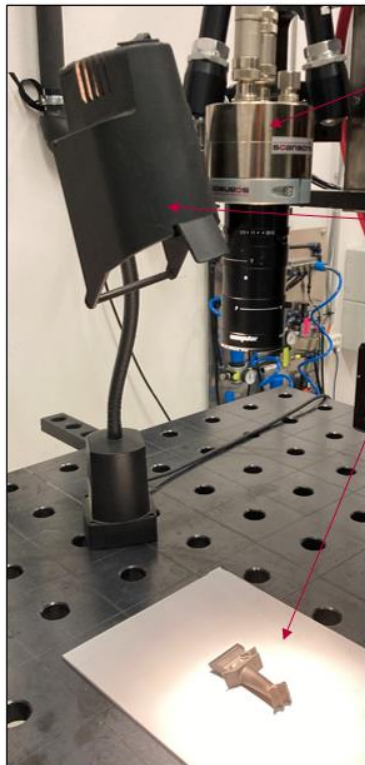
Neben der Verwendung eines Sensors zur Geometrievermessung wurde auch ein kamerabasiertes System verwendet. Hierfür hat die Firma Scansonic MI GmbH ein Sceye-System (SCeye-StandAlone) zur Verfügung gestellt. Die verwendeten Komponenten könne der Tabelle 2 entnommen werden. Zur optimalen Erkennung wird eine externe Beleuchtungsquelle im passenden Spektrum verwendet. (Abbildung 5)

Tabelle 2 Komponenten SCeye StandALone

<b>Sceye</b>	<b>StandAlone</b>
Kamera Chip	Photonfocus =EM-D1312IE-160-LC12(Chip 1“)
Objektiv	Computar MLH-10X (Zoom-Objektiv)
Filteraufnahme	½“ Filteraufnahme
Objektivaufnahme	C-Mount

Ähnlich zum vorhergehenden Versuchsaufbau wird auch die Kamera oberhalb des Bauteils an einen Roboter zur Positionierung montiert. Der eingestellte Abstand zum Bauteil beträgt 400 mm. Dieser kann jedoch aufgrund der Verwendung eines Zoomobjektivs stark variiert werden.





Sceye Kamera System (Stand Alone) mit Zoom-Objektiv

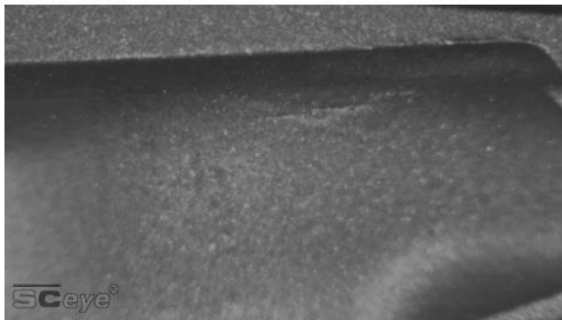
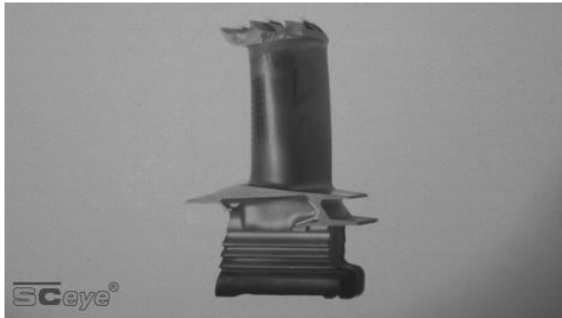
Lampe als externe Beleuchtung

Bauteil

Sceye-Kamera ist Roboter geführt (nicht im Bild)

Abbildung 5 Kamera Sceye zur Fehlstellendetektierung

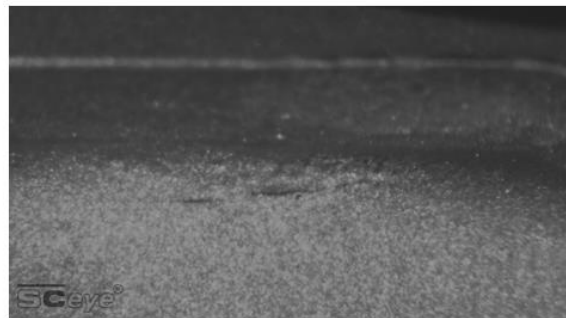
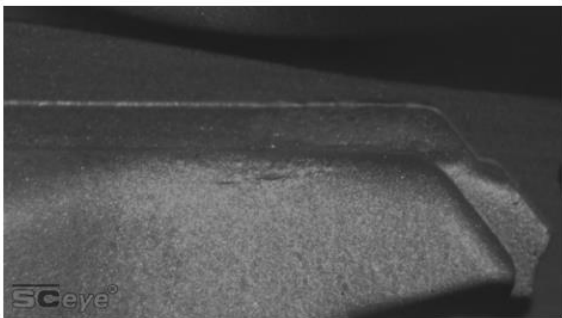
Zur Ermittlung der besten Darstellung des Defekts werden verschiedenen Zoomeinstellungen getestet. Dabei kann die Darstellung zwischen einer Ansicht des gesamten Bauteils oder einer detaillierten Darstellung der Fehlstelle gewechselt werden (Abbildung 6).



- Aufnahme ohne Schlepp- oder Steckwinkel
- Verschiedene Zoom Ebenen (max. bis min.)

Abbildung 6 Aufnahmen der Turbinenschaufel mit Kamera SCeye

Auch bei der Erstellung der Kameraaufnahmen zeigt sich, dass eine Veränderung der Einstrahlwinkel die Darstellung beeinflusst. Ein Schleppwinkel von 17° weist hierbei eine deutliche Verbesserung zur Erkennung der Fehlstelle auf. Die Darstellung erfolgt kontrastreicher im Kamerabild (Abbildung 7).



Aufnahmen mit einem Schleppwinkel von 17°

Abbildung 7 Kameraaufnahmen der Fehlstelle bei 17° Schleppwinkel

Die Geometrievermessung mit dem Keyencesensor sowie die Aufnahmen mit der SCeye Kamera führen zum Erkennen der Fehlstelle. Der Sensor scannt dabei der gesamten Oberfläche und ermöglicht somit eine messbare Analyse. Fehlstellen mit einer Tiefe von 0,2 mm können erkannt werden. Diese kann für eine vollautomatische Auswertung genutzt werden. Die Aufnahmen der Kamera lassen einen großen Arbeitsabstand zu. Eine Auswertung der Fehlstelle ist unter zusätzlichem Einsatz einer KI-Bilderkennung möglich.

Des Weiteren wird die SCeye Kamera in einer Versuchsreihe im Fertigungsprozess getestet. Hierfür werden Auftragsschweißungen der Firma OSCAR PLT aufgenommen. Dafür ist eine Montage und Inbetriebnahme beim Projektpartner erfolgt (Abbildung 8). Ziel ist die Ermittlung der optimalen Belichtungswellenlänge, um folglich die passende Filtertechnik für das Kamerasystem zu ermitteln.

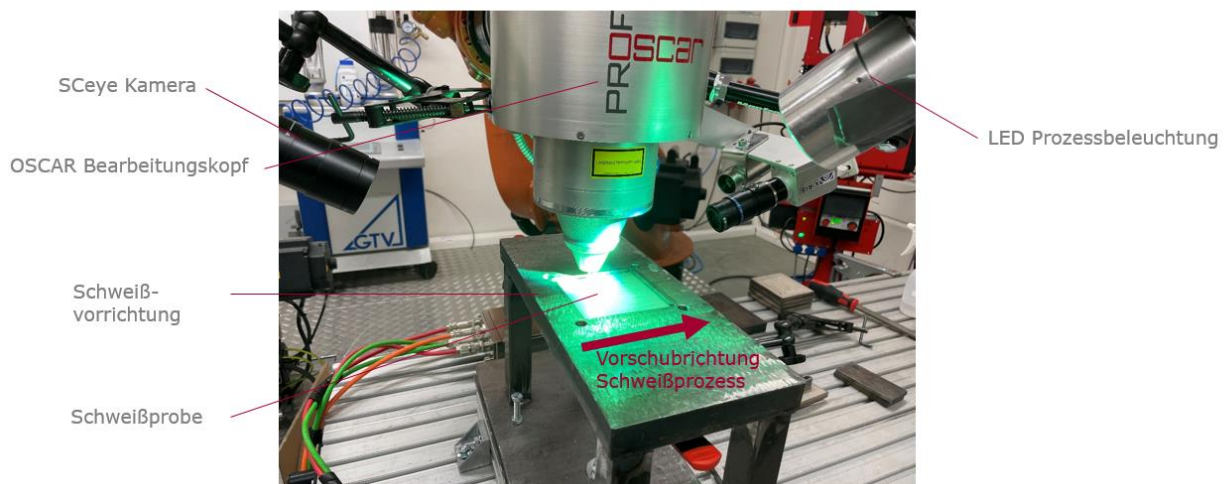


Abbildung 8 Aufbau SCeye Kamera für Schweißprozess bei OSCAR PLT

Für die Erstellung verwendbarer Aufnahmen ist eine präzise Justage des Kameraequipments notwendig. Hierbei ist die Ausrichtung der Kamera zum Bearbeitungsprozess und die dazu passende Ausrichtung der Zusatzbeleuchtung erforderlich. Im Kamerabild ist vor allem das Erstarren der Schweißnaht direkt nach dem Schweißprozess interessant um aufkommende Fehlstellen zu Erkennen.

Schweißprozessseitig ist das Erstellen von fehlerfreien sowie fehlerbehafteten Schweißnähten notwendig. Die fehlerfreien Nähte dienen als Referenz. Bei den fehlerbehafteten Nähten werden typisch auftretende Prozessfehler nachgestellt. Die dabei entstehenden Fehler in der Schweißnaht werden über die Kamera aufgenommen. Diese Aufnahmen dienen der KI-Bildererkennung zum Training zum Erkennen genau diese Fehler. (Abbildung 9)



Abbildung 9 Schweißproben OSCAR PLT und SCeye

### **Schweißnahtinspektion mit dem QH6D-Sensor**

Nachfolgend wurden an der gleichen Schweißprobe die Geometrie mit Hilfe des QH6D-Sensors von der Firma Scansonic MI vermessen. Der QH6D ist eine Erweiterung im Vergleich zu den vorhergehenden Geometrievermessung die Nutzung des einzelnen Keyence-Sensors Keyence LJ-X8080. Die technischen Daten des QH6D sind in Tabelle 3 dargestellt und sind den des Keyence-Sensors identisch. Der QH6D umfasst den Keyence-Sensor mit einem erweiterten Schutzkonzept. Der Sensor wurde zur Datenerhebung in gleichmäßiger Geschwindigkeit über die Probe gefahren. Dies konnte durch eine Roboterkinematik ermöglicht werden. (Abbildung 10).

Tabelle 3 Technische Daten QH6D

Modell	QH6D
Messbereich	
Z-Achse	± 34 mm
X-Achse	72 mm
Wellenlänge	405 nm
Laserklasse	2M
Leistung	10mW
Wiederholgenauigkeit	
Z-Achse	1 µm
X-Achse	3 µm
Frequenz	Bis zu 16 kHz
Auflösung	25 µm
Software	QH6D-View



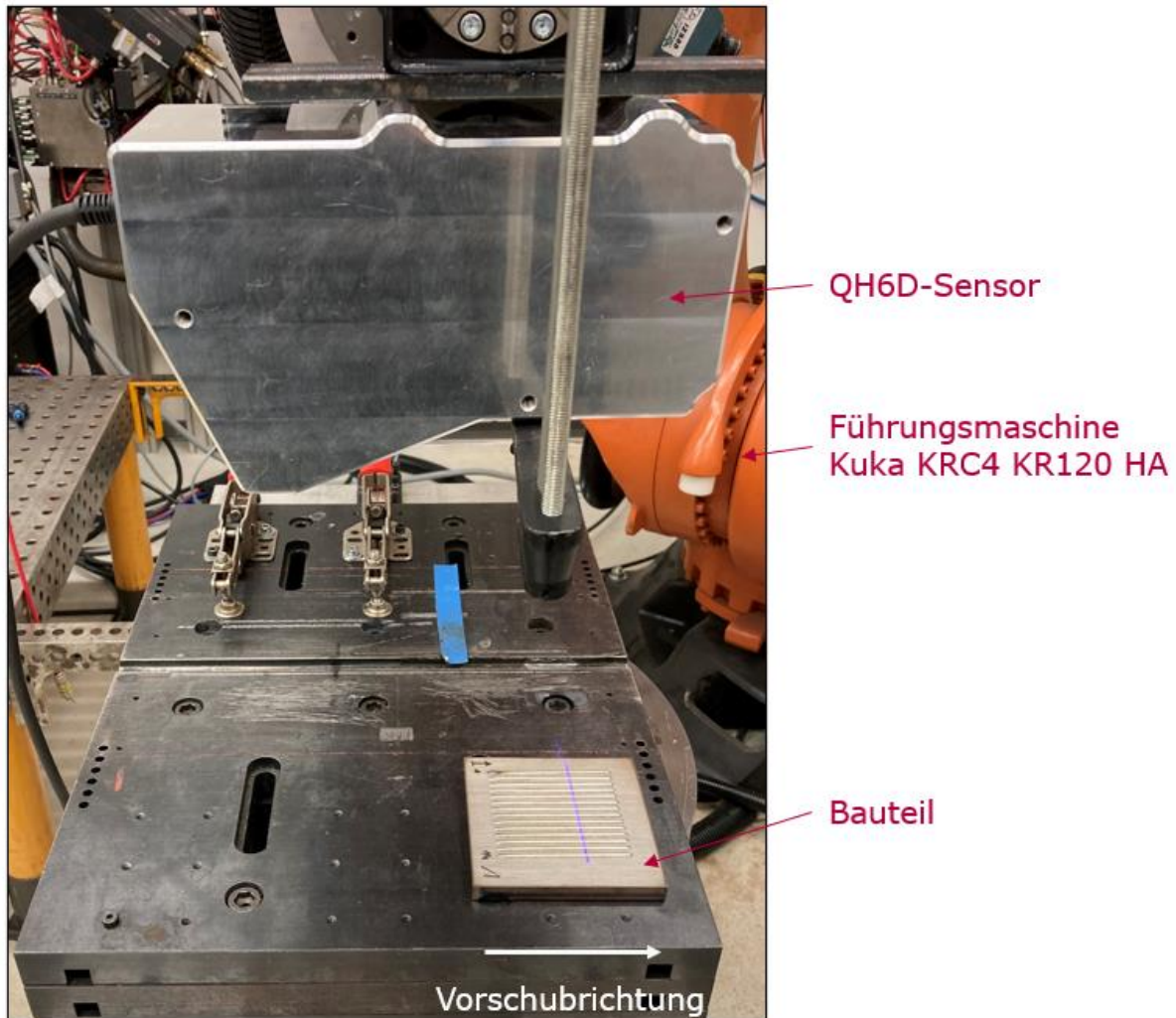
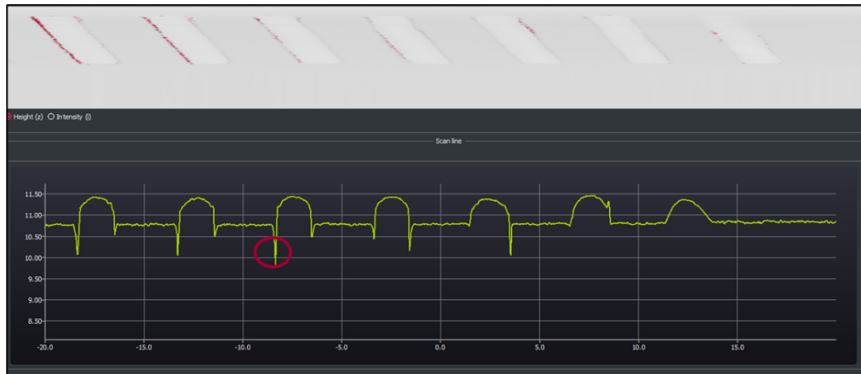


Abbildung 10 Versuchsaufbau Geometrievermessung mit QH6D

Zur Auswertung der Messdaten wurde nun die Software QH6D-View der Firma Scansonic MI in einem prototypischen Zustand verwendet. Diese dient zur Darstellung der Messdaten und deren Speicherung. Zudem werden Parameter wie Belichtungszeit und Laserleistung darüber gesteuert. Durch die Verwendung der Software konnte die Nahtbreite, Nahthöhe, der Nahtabstand und die jeweilige Nahtform ermittelt werden (Abbildung 11). Es zeigte sich, dass eine Analyse von sieben nebeneinander angeordneten Nähten auf Grund des großen Scanfeldes des Sensors möglich war. Die Darstellung erfolgte topografisch sowie im Querschnitt zum Nahtverlauf. Auf den Aufnahmen ist zu erkennen, dass deutliche Randkerben detektiert wurden. Diese sind jedoch auf dem realen Bauteil nicht vorhanden.



Parameter	Wert
Belichtungszeit	60 $\mu$ s
Laserleistung	50 %

Abbildung 11 erste Aufnahme QH6D und Parameter

Durch iterative Anpassungen der Parameter Belichtungszeit und Laserleistung wurde ein Datensatz erhoben, welcher die tatsächliche Geometrie des Bauteils aufweist und keine Scanfehler wie die zuvor erkannten Randkerben darstellt. (Abbildung 12)



Parameter	Wert
Belichtungszeit	30 $\mu$ s
Laserpower	50 %

Abbildung 12 zweite Aufnahme QH6D und Parameter

## Inbetriebnahme Sceye Stand Alone + QH6D

Im weiteren Projektverlauf wurden nun die beiden Systeme SCeye-Kamera und QH6D für den Einsatz im Container in Betrieb genommen. Hierfür wurden zunächst die Steuerungsboxen montiert und die Spannungsversorgung sichergestellt. (Abbildung 13)

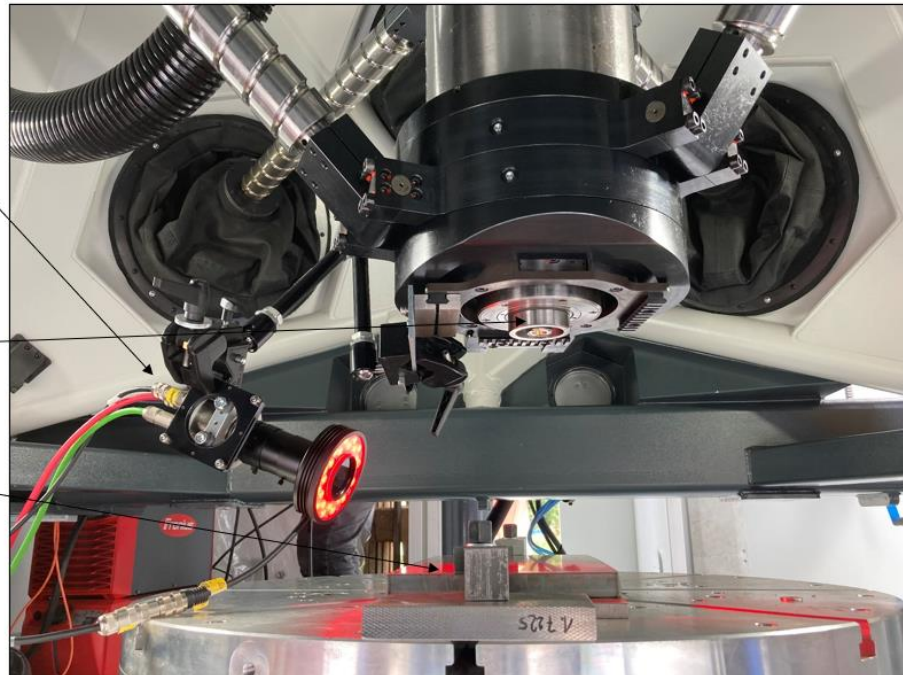
Steuerung QH6D  
Steuerung Sceye stand alone  
Steuerung KI Sceye Edgebox



Abbildung 13 Montage der Steuerungsboxen SCeye und QH6D

Der nächste Schritt war der testweise Aufbau des Kamerasystems an einem ausgewählten Bearbeitungskopf in der Anlage. Hierbei galt es die Kamera und die Zusatzbeleuchtung (rot dargestellt) präzise zum Bauteil und der zuschweißenden Naht auszurichten. (Abbildung 14)

- SceyeStand alone  
Kamerasystem +  
Ringleuchte
- (Scansonic)
- Nachlaufend 45°
- HSK-  
Aufnahme
- Substrat



Vorschub

Abbildung 14 Ausrichtung der SCeye Kamera in der Anlage (Container)

Die Bedienung erfolgt über die Software Jockey. Diese ist auf Bedien-PC installiert. Eine Kommunikation zwischen Bedien-PC und Kamerasteuerung wurde hergestellt.

Parallel wurde auch die Software QH6D-View zur Steuerung des QH6D-Sensors am Bedien-PC installiert und eine Kommunikation zwischen Bedien-PC und QH6D-Steuerung hergestellt. Zusätzlich erfolgte ein Test zur Übermittlung von Daten über die Roboterschnittstelle. Hier können Positionsdaten direkt an die Kinematik übergeben werden. Das dafür notwendige Interface wurde kinematikseitig nicht zur Verfügung gestellt und konnte nur über ein Test-Script überprüft werden.

Das Erzeugen einer Datenreihe, die Speicherung und erneute Anzeige gespeicherter Daten konnte erfolgreich mit Hilfe der QH6D-View Software durchgeführt werden (Abbildung 15)

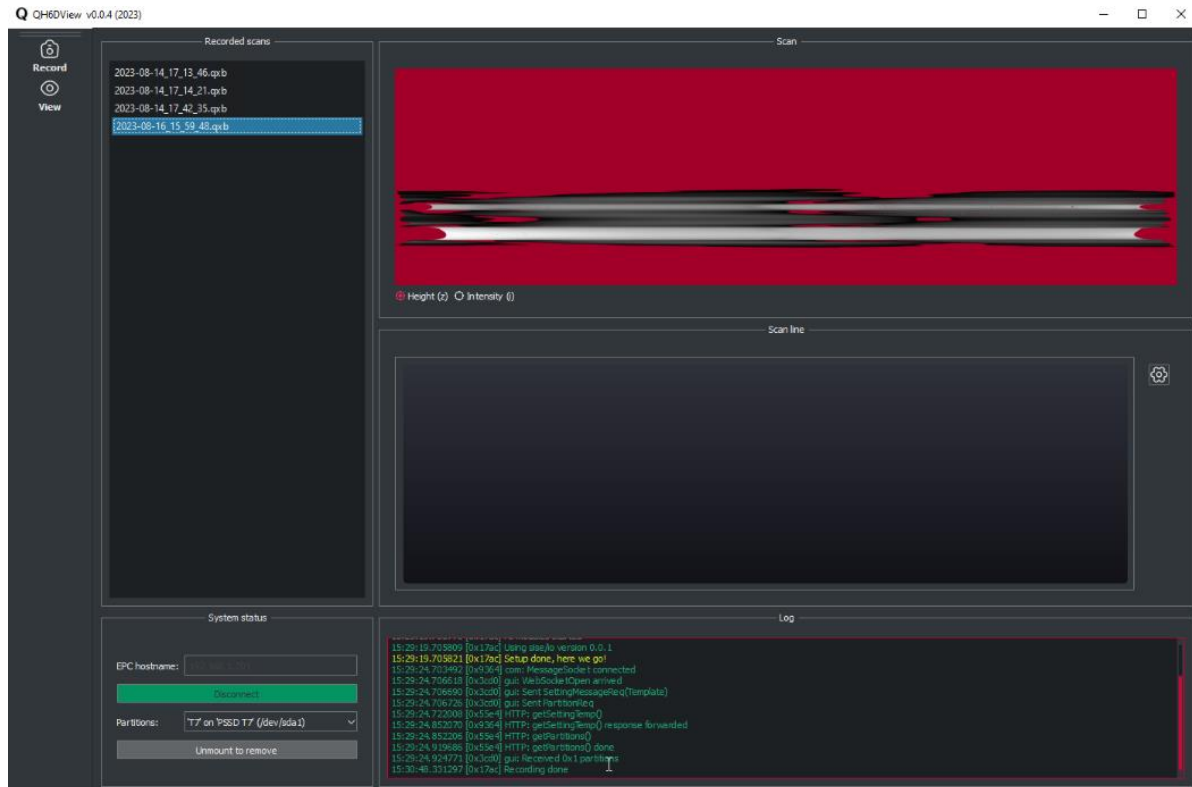


Abbildung 15 QH6D-View Datenerhebung, Datenspeicherung und Daten laden nach Installation im Container