

Gefördert durch:



Projekt-Abschlussbericht

RUBIN-Bündnis SAPHIR

Verbundprojekt VP 4: Saphir-Processing

Teilprojekt TP 4.1: Industrieller Digitaler Zwilling für die Herstellung von Weichferriten

Zuwendungsgeber:	Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt
Förderkennzeichen:	O3RU1U164A
Projektlaufzeit:	01.08.2022 bis 31.07.2025
Berichtslaufzeit:	01.08.2022 bis 31.07.2025

Teil I: Kurzbericht

Teil II: Ausführlicher Bericht

Teil III: Erfolgskontrollbericht

Berichtspflichtiger: Schneider Engineering Solutions GmbH

Projektleitung: Jens Schneider

Autor: Jens Schneider

Datum: 2. Februar 2026

Unterschrift

Teil I: Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Die Arbeitsziele des Teilvorhabens „Digitaler Zwilling in der Keramikfertigung“ orientierten sich an den konkreten Anforderungen der keramikherstellenden SAPHIR-Partner und insbesondere an den Anforderungen der Tridelta Weichferrite GmbH, deren Prozesskette als Grundlage für die digitale Abbildung der für die Herstellung keramischer Produkte typischen Prozesskette diente.

In den bislang klassisch geprägten Prozessen der keramischen Industrie wie beispielsweise TWF und den assoziierten Partnern, wurden bis dato bereits viele Daten und Informationen erfasst. Die entlang der, für die Keramikindustrie typischen Prozesskette Materialeinkauf – Materialaufbereitung – Formgebung – Thermische Behandlung – Nachbearbeitung – Endkontrolle sowie unternehmensspezifischer Zwischenschritte wie beispielsweise Reinigung und Sterilisation anfallenden Daten sollten in einer möglichst einheitlichen Datenbasis zusammengeführt werden um deren Analyse, Verknüpfung und effiziente Verarbeitung zu Informationen zu ermöglichen und damit die in den Unternehmen bislang immensen Aufwände bei der Nachverfolgung ihrer Prozesse zu reduzieren.

Hierzu wurden Konzepte für eine verwertbare, digitale Abbildung und Darstellung der Prozesse in der keramischen Fertigung entwickelt, die die Erfassung und Speicherung der in unterschiedlichen Formaten anfallenden Daten entlang der Prozesskette sowie die Schaffung neuer Datenquellen in einer einheitlichen Datenbasis ermöglichen. Durch Entwicklung dieser zentralen und universellen Datenstruktur wurde die Grundlage für eine zukünftig einfachere Datennutzung geschaffen. Hierzu erfolgte zunächst die Ermittlung der aktuellen Stände bei den Partnerunternehmen, insbesondere der Tridelta Weichferrite GmbH vom Wareneingang bis zum Warenausgang. Ausgehend von diesen Ständen erfolgte die Entwicklung allgemeingültiger Konzepte zur Datenerfassung und -speicherung. Zusätzlich sollten geeignete Möglichkeiten und die Nutzbarkeit modernster Verfahren der KI und des ML zur Informationsgenerierung aus dieser Datenbasis untersucht und ihre Eignung nachgewiesen werden. Dieser Nachweis war aufgrund der noch jungen und unvollständigen Datenumfänge nur eingeschränkt möglich.

Digitaler Zwilling:		
Phase	Zielwerte	Erfüllungsgrad
Prozess erfassen	Übersicht des Prozesses	100 %
Daten erfassen	Übersicht aller Daten	100 %
Speicherkonzept	Ein nicht manipulierbares Speicherkonzept	100 %
Datenbankkonzept	Eine gut vernetzte Datenbankkonzept für jeden Prozessschritt	100 %

Testumgebung	Prototypsoftware mit einzelnen Anwendungen	100 %
Datenausgabe	Ausgabe von Werkspapieren durch Datenbank	100 %
KI-Tools	Auswertung und Kontrolle der Daten auf Konformität durch KI	50 %
Automatisierter Messplatz:		
Konzept	Ermittlung von benötigten Geräten	100%
Aufbau	Aufbau des Setups	100%
Test	Test des Aufbaus	100%
Steuerung	Entwicklung einer Steuerungssoftware	100%
Software	Entwicklung einer Messsoftware	100%
Messung	Automatisierte Messung von Mustern mit Messsoftware	100 %
Datenausgabe	Automatische Datenausgabe nach Messung	100 %

2. Wissenschaft-technischer Stand vor dem Projekt

In den bislang klassisch geprägten Prozessen der keramischen Industrie werden bereits heute viele Daten und Informationen erfasst. Entlang der, für die Keramikindustrie typischen Prozesskette: Materialeinkauf – Materialaufbereitung – Formgebung – Thermische Behandlung – Nachbearbeitung – Endkontrolle fallen Daten in den unterschiedlichsten Umfängen, Formaten und Orten an. Dadurch sind Analysen, Verknüpfung und effiziente Verarbeitung zu Informationen jedoch unmöglich. In Falle von Reklamationen oder Qualitätsabweichungen entstehen immense Aufwände bei der Nachverfolgung und Ursachenfindung.

In der keramischen Industrie wie auch bei der Tridelta Weichferrite GmbH gab es aufgrund der unterschiedlichen Kundenanforderungen sowie der branchenspezifisch ausgeprägten normativen und gesetzlichen Regelungen bislang keine ausreichend

digitalisierte Prozessüberwachung und -regelung oder automatisierte Prozess- und Produktdokumentationen.

Aufgrund der, nur im eingeschränkten Umfang und unterschiedlichsten Formaten verfügbaren Daten gestaltete sich deren Nutzung für eine Berichterstellung zur Rückverfolgbarkeit sehr schwierig und aufwändig.

Die Grundlagen für die Schaffung des digitalen Zwillings beruhen auf der Erstellung einer einheitlichen Datenbasis sowie dem Einsatz geeigneter aktueller Technologien der Vernetzung, der Datenerfassung und der Datenspeicherung. Verfügbare Ansätze und Lösungen aus anderen Branchen deckten die besonderen Anforderungen der Keramikindustrie nur unzureichend ab, dienten jedoch als Vorbild. Nur basierend auf der so geschaffenen einheitlichen Datenstruktur können nun Verfahren zur Datenanalyse etabliert werden, die auch die Nutzung von künstlicher Intelligenz ermöglichen.

3. Ablauf des Vorhabens

Um die Entwicklung eines Digitalen Zwillings zu ermöglichen, wurde SES durch den Projektpartner TWF in den keramischen Fertigungsprozess umfassend eingearbeitet und sämtliche Datenflüsse erörtert und auf Aktualität geprüft.

Anschließend wurden die einzelnen Konzepte für die Speicherung und das Datenmanagement entwickelt und verbildlicht, damit die Dateneingaben und -speicherung einheitlich sind. Dies beinhaltet Lieferantenzertifikate, Rezepturen, Messungen von Parametern in der Produktionskette sowie der abschließenden Messung der magnetischen Eigenschaften bis zum Versand. Mit den einzelnen Konzepten wurde für jede Stationen eine Testumgebung aufgebaut, in der Daten eingegeben und gespeichert werden können.

Nach einer allgemeinen Funktionskontrolle wurde die Ausgabe von Daten in Form von Laufkarten und Werksbescheinigungen konzeptioniert und getestet.

Abschließend wurde eruiert, ob eine KI-Analyse der Daten möglich ist und wie neue, bisher ungenutzte, Daten automatisch erfasst und implementiert werden könnten.

4. Wesentliche Ergebnisse

Es wurde eine Vielzahl von Erfahrungen in der Komplexität der Erstellung eines Digitalen Zwillings gesammelt, der den keramischen Fertigungsprozess ausreichend detailliert abbildet. Der komplexe Fertigungsprozess mit seiner Vielzahl an unterschiedlichen Daten konnte umfassend abgebildet werden, um eine Erstellung eines Speicher- und Datenbankkonzepts zu ermöglichen. Darauf basierend konnten einzelne Testumgebungen programmiert werden, um einen Datenfluss zu simulieren. Eine übersichtliche Anzeige in Form einer digitalen Laufkarte konnte mit den eingegebenen Daten ermöglicht werden und auch die Erstellung von Fertigungsdokumente konnten in dem gewünschten Design ermöglicht werden. Die Verbindung des Digitalen Zwillings mit einer KI zur Datenanalyse hat sich als sehr schwierig für die Projektpartner herausgestellt, da hier die Erfahrungsgrundlage wie auch die notwendige Datenbasis noch nicht umfangreich genug sind. Es wurden erste Konzepte aufgestellt, um noch bisher ungenutzte Daten, wie z.B. Umweltdaten der Fertigungshalle automatisiert zu erfassen und dem Digitalen Zwillings zuzuführen.

5. Zusammenarbeit mit Projektpartnern

Die Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern erfolgte nach der Einarbeitung intensiv und konstruktiv. Jeder Partner hat aktiv eigene Ideen in die Entwicklung, und Erprobung eingebracht. Innerhalb der Projektlaufzeit wurden viele Projektmeetings, zum großen Teil alle zwei Tage, bezüglich der spezifischen AP durchgeführt und konstruktiv umgesetzt. Der Austausch von Daten und Informationen erfolgte über ein Cloud-System vom IKTS. Durch die lokale Nähe der Partner konnten Informationen zeitnah und unkompliziert übergeben werden.

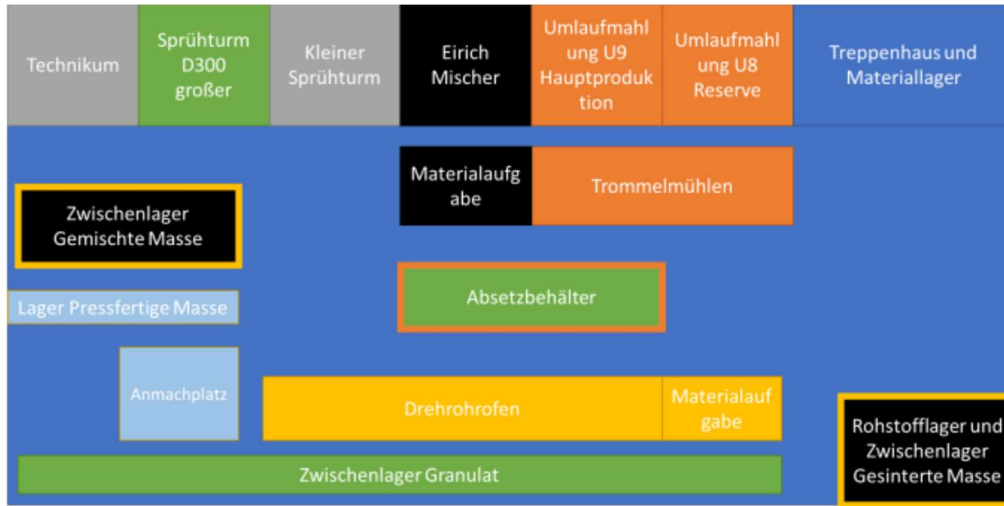
Teil II: Ausführlicher Sachbericht

1. Projekthinhalte AP 4.1

AP 4.1.1 Ermittlung aktueller Stand in den produzierenden Partnerunternehmen

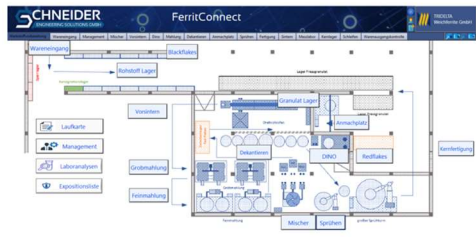
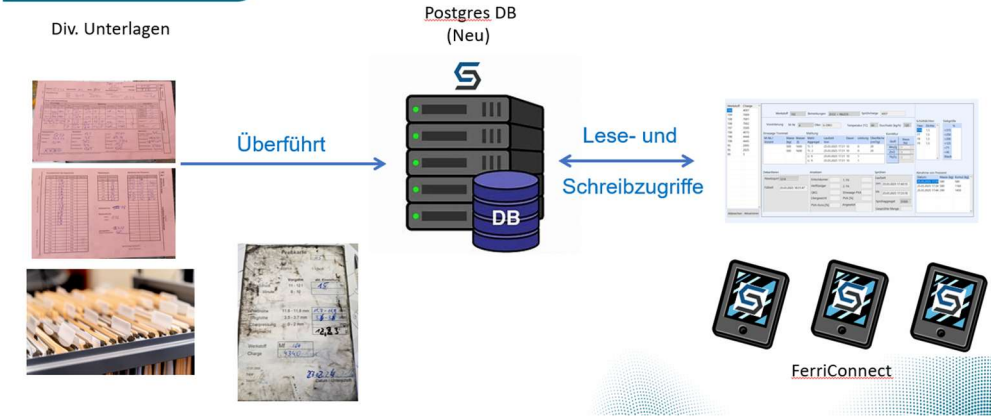
Die Hersteller keramischer Produkte verfügen über sehr ähnliche Prozessketten mit jeweils spezifischen Besonderheiten. Die anzuliefernden Grundmaterialien müssen bestimmte Parameter einhalten und zumeist erfolgt eine weitere Materialaufbereitung vor dem Formgebungsprozess. Nach der Formgebung, bei der unterschiedliche Verfahren zum Einsatz kommen, erfolgt typischerweise die thermische Behandlung der Produkte sowie eine abschließende Feinbearbeitung. In diesem Prozess sind bei allen Herstellern unterschiedlich ausgeprägte Stationen und Verfahren der Qualitäts- und Prozesskontrolle sowie weiteren Bearbeitungen implementiert. Während bei Herstellern medizinischer Produkte neben den Eigenschaften der Produkte wie beispielsweise der Maßhaltigkeit auch die Sauberkeit und Sterilität einen hohen Stellenwert einnehmen, sind bei magnetischen Produkten der Tridelta Weichferrite GmbH eine hochpräzise Fertigung und Montage in großen Stückzahlen sowie die daraus resultierende Einhaltung der magnetischen Parameter entscheidende Kriterien. Aufgrund der, in der Vergangenheit etablierten Verfahren fallen während der Fertigungsprozesse Daten in den unterschiedlichsten Formaten und Umfängen an. Zur Erstellung einer allgemeinen digitalen Abbildung wurden zunächst die in den Verbund-partnerunternehmen (TWF und assoziierte Partner) aktuell anfallenden Daten sowie deren Quellen, Typen und Strukturen ermittelt und analysiert. Durch die Bestimmung potenzieller zusätzlicher Datenquellen sowie der Untersuchung der Möglichkeiten zu deren Integration wurde ein umfänglicher Überblick über die aktuell und zukünftig zu berücksichtigenden Daten ermittelt. Durch die Zusammenfassung der Ergebnisse, deren möglichst weitgehende Verallgemeinerung sowie der Herausarbeitung der partnerspezifischen Anforderungen werden die Grundlagen für die Erstellung der Konzepte für die Datenerfassung und -Speicherung gelegt. Diese Erkenntnisse können aufgrund der berücksichtigten Vielfältigkeit bei den Partnerunternehmen nun gut auch auf neue Partner, Unternehmen und Kunden außerhalb des Projektes angewendet werden. Kurz lassen sich die Maßnahmen unter den folgenden Punkten zusammenfassen:

- Dokumentation des aktuellen Standes bei TWF und den assoziierten Partnern
- Analyse der aktuellen Verfahrensweisen, Datenquellen, -Strukturen und -Typen
- Ermittlung von neuen potenziellen Datenquellen in den produzierenden Partnerunternehmen
- Zusammenfassung der Ergebnisse und Verallgemeinerung

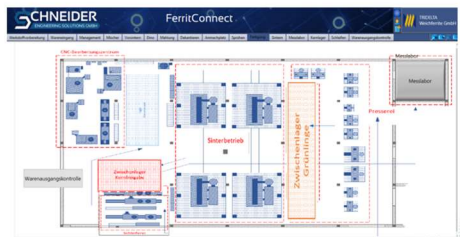


1. FerriConnect

Research Project SAPHIR



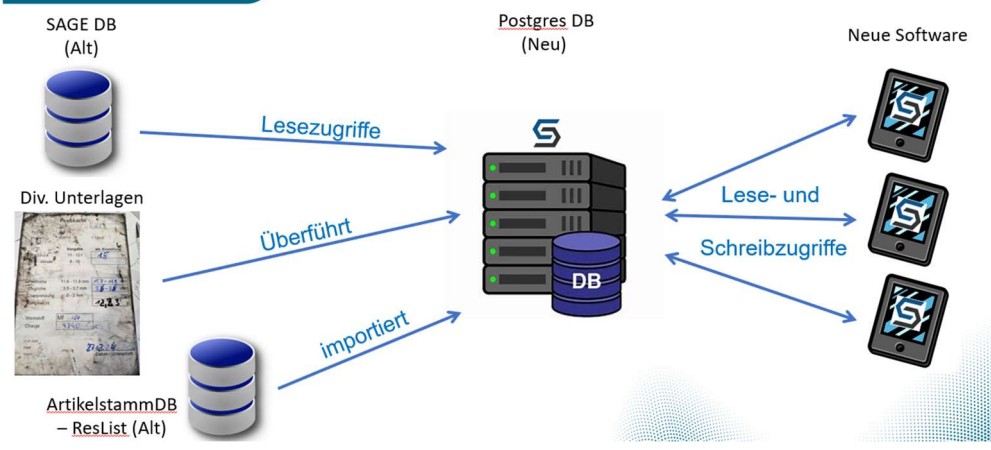
Werkstoffvorbereitung



Fertigung

1. FerriConnect

Research Project SAPHIR



AP 4.1.2 Konzepterstellung für Datenerfassung und -Speicherung

Basierend auf den ermittelten, bereits vorhandenen sowie den perspektivisch noch zu integrierenden Datenquellen erfolgte die Erstellung eines Datenspeicherungskonzeptes. Hierbei werden bereits vorhandene digitale Daten in die zentrale Speicherung einbezogen. Darüber hinaus erfolgten die Transformation und Einbindung einiger, bisher nicht für die Speicherung und die weitere spätere Nutzung geeigneter Datenquellen. Für bisher nicht verfügbare, jedoch für den Erfolg dieses und der anderen Verbundprojekte elementare Datenquellen wurden Erfassungskonzepte geschaffen. Dies umfasste beispielsweise die automatisierte Ermittlung der Produktparametern von MZF in Zusammenarbeit mit TWF, die Entwicklung und Integration einer dynamischen atmosphärenabhängigen Ofenregelung gemeinsam mit TTP sowie die Unterstützung der Entwicklung eines Formgebungs- und Trocknungsverfahrens für BSCF-Kapillaren (IKTS) und die kontinuierliche Aufzeichnung bisher nicht erfasster externer Größen wie beispielsweise Daten einer Haus- und Gebäudesteuerung.

Neben den im Vorfeld ermittelten allgemeinen Daten, die bei allen Partnern anfallen, wurden hier auch die genannten prozessspezifischen Daten einzelner Partner in die Konzepte zur zentralen Erfassung integriert.

- Konzepterstellung zur Integration vorhandener geeigneter Datenquellen
- Exemplarische Entwicklung (HW / SW) und Aufbau eines Prüfplatzes zur automatisierten Parameterermittlung an MZF in Zusammenarbeit mit TWF (Prüfplatz Qualitätssicherung)
- Inbetriebnahme / Testung / Optimierung / Kalibrierung MZF-Prüfplatz (Prüfplatz Qualitätssicherung)
- Entwicklung und Integration einer Datenerfassung sowie dynamischen atmosphärenabhängigen Ofenregelung für einen Versuchsofen (Wärmebehandlung)
- Entwicklung eines Formgebungs- und Trocknungsverfahrens für BSCF-Kapillaren mit Datenerfassung und Steuerungselementen (Formgebung und thermische Behandlung)
- Zentrale Datenspeicherung / Datenbankkonzept allgemein
- Zentrale Datenspeicherung / Datenbankkonzept spezifische Anforderungen

Die entstandenen Konzepte wurden gemeinsam mit der Tridelta Weichferrite GmbH, die mit ihrem Unternehmen und ihrer Fertigung als Referenzumgebung diente, auf ihre Eignung und praktische Ein- bzw. Umsetzbarkeit hin überprüft.

Messwerte-Übersicht:

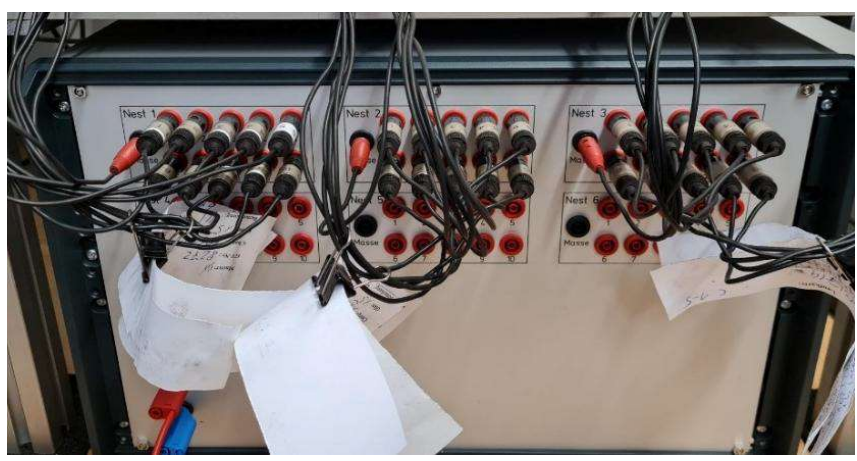
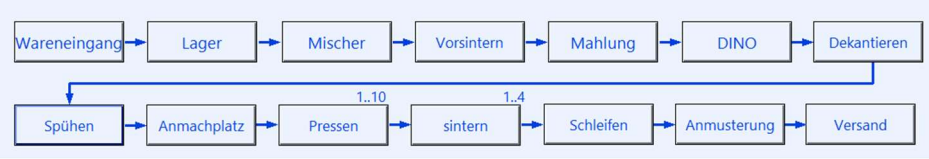
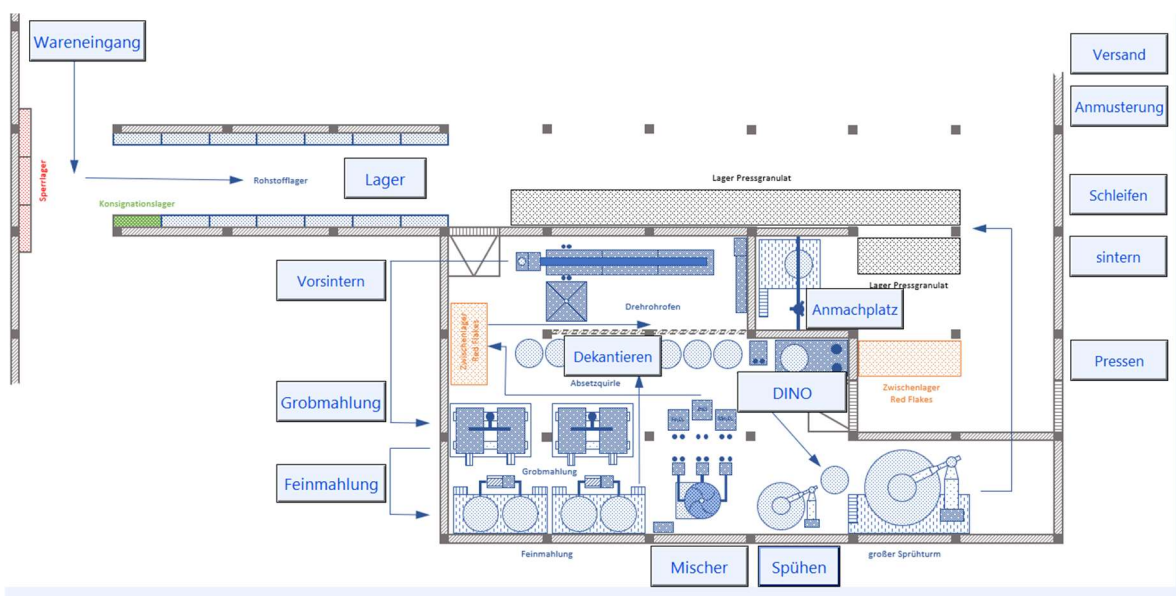
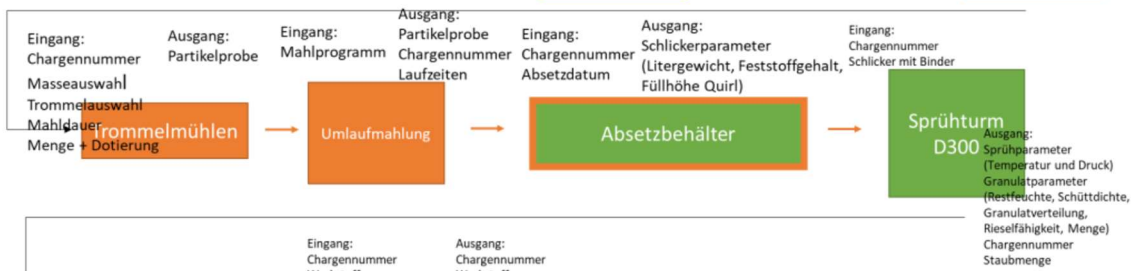
Analysen:
Eisenoxid
Manganoxid
Zinkoxid
Calciumcarbonat
Siliziumoxid
Cobaltoxid

Eingang:
Zusammensetzung (M-Nr. nach Rezept)
Rohstoffauswahl

Ausgang:
Schüttdichte
Chemieprobe d. Hauptkomponenten
Gemischte Masse (Menge, Laufzeit, Temperatur, M-Nr., Werkstoff)

Eingang:
Masseauswahl
Temperatur
Durchsatz

Ausgang:
Schüttdichte
Restmagnetisierung-Messung
Gesinterter Masse (Menge, Temperatur, Durchsatz, M-Nr., Werkstoff)



4.1.3 Möglichkeiten der Auswertungen und Nutzung der gewonnenen Datenbasis

Auf Basis der erzielten Konzepte zur zentralen Speicherung umfangreicher Daten in verwertbaren Formaten wurden die Möglichkeiten der Nutzung anhand auszuwählender Beispiele untersucht und anhand von Daten der Tridelta Weichferrite GmbH sowie ggf. Dummy-Daten exemplarisch demonstriert. Dies umfasst einerseits allgemeine Auswertungen der Datenbestände sowie die automatisierte Erstellung von Berichten und Protokollen. Diese werden beispielsweise im Rahmen der Traceability sowie Prozessanalyse und -Optimierung herangezogen und reduzieren erfolgreich die mit hohen Aufwänden verbundenen manuellen Prozesse.

Durch die weitere Aufbereitung der gespeicherten Daten und deren Verwendung als Input für Verfahren der künstlichen Intelligenz wurden neuartige Möglichkeiten untersucht, bisher nicht bekannte Zusammenhänge zwischen den Daten zu ermitteln. Diese Verfahren mussten nach ihrer Eignung ausgewählt werden, um nach der Implementierung die korrekte Funktion anhand konkreter Referenzdatenstände verifizieren zu können. Diese Verifikation war aufgrund der nicht hinreichenden Datenbasis leider nicht vollumfänglich möglich.

- Auswertungen anhand von DB-Abfragen ist möglich
- Automatisierte konfigurierbare Berichterstellung (z.B. Traceability) ist möglich
- Automatisierte Datenaufbereitung und Auswertung für Optimierungen (KI / ML) ist möglich
- Eruiierung neuen Methoden zur automatisierten Informationsgenerierung (KI / ML) ist möglich, jedoch nicht hinreichend validiert

Tabellarischer Überblick über die Arbeitspakete und erreichter Stand:

4.1	Themenschwerpunkt Digitaler Zwilling	Erreichter Stand
4.1.1 SES	Ermittlung der aktuellen Stände in den produzierenden Partnerunternehmen	Für das Projekt und am Beispiel TWF erfolgreich abgeschlossen
4.1.1.1 SES	Dokumentation des aktuellen Standes	
	<p>In diesem AP wird der aktuelle Stand der vorhandenen Dokumentation in dem beteiligten Unternehmen TWF und assoziierten Partnern ermittelt und bei Bedarf mögliche Anpassungen abgestimmt.</p> <p>Dafür sind die einzelnen Stationen der keramischen Fertigung (insb. TWF-Ferrit-Fertigung) sowie ggf. Zwischenstationen wie Lagerplätze zu betrachten:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Material- / Wareneingang ➤ Masseaufbereitung ➤ Formgebung ➤ Wärmebehandlung / Sinterung ➤ Nachbearbeitung ➤ Warenausgang 	<p>Der aktuelle Stand wurde für TWF gemeinsam ermittelt und dokumentiert. Für die einzelnen Prozessschritte wurden die anfallenden Daten in das Erfassungs-, Speicher- und Auswertkonzept übernommen.</p> <p>Dieser Schritt wird zukünftig für jedes Projekt bzw. jeden Kunden erfolgen, um die Eignung des aktuellen Standes sowie die Notwendigkeit von Erweiterung und Anpassung an neue Anforderungen zu ermitteln.</p>
Ergebnis des AP	Feststellung des Ist-Zustandes der anfallenden dokumentierten Daten ist erfolgt	
4.1.1.2 SES	Analyse der aktuellen Verfahrensweisen, Datenquellen, -Strukturen und -Typen	
	<p>In diesem AP werden die Erkenntnisse zur Dokumentation genutzt, um die vorhandenen Verfahrensweisen und Strukturen der Dokumentationsketten zu analysieren.</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Strukturierung der Dokumente und Datenquellen 7. Analyse der Dokumente, Datenquellen, -Typen, -Strukturen und der Zusammenhänge 	<p>Ist erfolgt und in die Datenerfassung-, -Speicherungs- und Auswertkonzepte integriert.</p> <p>Dieser Schritt wird zukünftig für jedes Projekt bzw. jeden Kunden erfolgen, um die Eignung des aktuellen Standes sowie die Notwendigkeit von Erweiterung und Anpassung an neue Anforderungen zu ermitteln.</p>
Ergebnis des AP	Strukturpläne der Gesamtheit der Dokumentationskette in den Unternehmen sind in die Konzepte übertragen und in den Datenverknüpfungen abgebildet.	

4.1.1.3 SES	Ermittlung von neuen potenziellen Datenquellen in den produzierenden Partnerunternehmen	
	<p>In diesem AP werden neue potenzielle Datenquellen in den einzelnen Fertigungsstationen ermittelt, die Voraussetzungen für Ihre Integration und Nutzbarkeit ermittelt und konzeptionell in den entstehenden Datenpool eingearbeitet. Neue Datenquellen könnten beispielweise sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Sensorik für Temperaturen und Feuchtigkeit in der Fertigung ➤ Haussteuerungen ➤ Vorhandene Anlagen, Systeme und Geräte ➤ Für die Zukunft geplante Anlagen, Systeme und Geräte 	<p>Es wurden diverse neue und potenzielle Datenquellen ermittelt und exemplarisch integriert. Wichtigster Punkt für eine Integration sind die Verfügbarkeit von geeigneten Schnittstellen sowie deren Beschreibung.</p>
Ergebnis des AP	<p>Neue Datenquellen wurden in der keramischen Fertigung gefunden und konzeptionell in die Datenerfassung eingefügt. Es entsteht ein „zukünftig aktueller Stand“ für jede Fertigung.</p>	
4.1.1.4 SES	Zusammenfassung der Ergebnisse und Verallgemeinerung	
	<p>In diesem AP werden die, bei den Partnern ermittelten Daten, ihre Strukturen und Quellen zusammengefasst, strukturiert und für die folgende Erstellung des Datenerfassungs- und -Speicherungskonzeptes verallgemeinert.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Zusammenfassung ➤ Strukturierung ➤ Verallgemeinerung ➤ Analyse vorhandener, notwendiger und zu beachtender Spezifika 	<p>Ist erfolgt und in die Datenerfassungs-, -Speicherungs- und Auswertkonzepte integriert, so dass zukünftige Anpassungen an neue Anforderungen mit überschaubaren Aufwänden möglich sein sollten.</p> <p>Dieser Schritt wird zukünftig für jedes Projekt bzw. jeden Kunden erfolgen, um die Eignung des aktuellen Standes sowie die Notwendigkeit von Erweiterung und Anpassung an neue Anforderungen zu ermitteln.</p>
Ergebnis des AP	<p>Darstellung einer allgemeingültigen Datenstruktur sowie partner- und prozessspezifischer Sonderanforderungen ist erstellt, in den Konzepten berücksichtigt und erprobt.</p>	

4.1.2 SES	Konzepterstellung von Datenerfassung und -Speicherung	Für das Projekt und am Beispiel TWF erfolgreich abgeschlossen
4.1.2.1 SES	Integration vorhandener geeigneter Datenquellen	
	<p>In diesem AP erfolgt eine Entwicklung des Datenerfassungs- und -speicherungskonzeptes unter Beachtung der im Vorfeld ermittelten Informationen, der erfolgten Verallgemeinerung sowie spezifischen Anforderungen.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Erfassung von Daten aus den unterschiedlichen Quellen ➤ Sensoren in der Fertigung, Schnittstellen zu Anlagen, Geräten, Systemen und Arbeitsplätzen ➤ z.B. RFID-Chips und Lesegeräte für Traceability, Hausautomatisierung, Materialaufbereitungsanlagen, Öfen, Prüfplätze 	Ein einheitliches Datenerfassungs- und -Speicherungskonzept wurde erstellt. Dieses beruht aktuell auf einer PostgreSQL-Datenbank und ermöglicht die zukünftige Erweiterung und Anpassung an neue Anforderungen und Wünsche.
Ergebnis des AP	Alle zu beachtenden Datenquellen wurden in ein erweiterbares Datenbank-beziehungsweise Datenspeicherungskonzept integriert.	
4.1.2.2 SES	Entwicklung (HW/SW) und Aufbau eines Prüfplatzes zur automatisierten Parameterermittlung an MZF	
	<p>In diesem AP wird in Zusammenarbeit mit TWF ein neuartiger automatisierter Prüfplatz für MZF mit höheren Anforderungen hinsichtlich Sättigungsmagnetisierung, Verlustleistung, Frequenz und Temperatur aus einzelnen Messgeräten konzipiert, zusammengestellt und als Musterumgebung aufgebaut.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Erweiterung und Integration von Hardware zur automatisierten Parameterermittlung an MFZ ➤ Softwareentwicklung für automatisierte Prüfabläufe und Datenspeicherung 	Der Messplatz zur automatisierten Parameterermittlung an MZF wurde entwickelt, aufgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen. Dieser ermöglicht nach der Bestückung eine automatisierte Charakterisierung von MZF-Kernen bei unterschiedlichsten Prüfparametern ohne manuelle Eingriffe, so dass beispielsweise Kennwertverläufe über Temperaturen und Frequenzen mit geringem Aufwand wesentlich genauer spezifiziert werden können.

Ergebnis des AP	Der Messplatz ermittelt Produktparameter für neuartige MZF, prüft anhand flexibel einstellbarer Grenzen und Parameter und kann Ergebnisse in das entwickelte Datenspeicherungskonzept übertragen. Das Konzept ist in die laufende Entwicklung und auf die Serienfertigung übertragbar und wird dort erfolgreich eingesetzt.	
4.1.2.3 SES	Inbetriebnahme/Testung/Optimierung/Kalibrierung MZF-Prüfplatz	
	<p>In diesem AP wird der aufgebaute Prüfplatz in Betrieb genommen und Mittels Standard-Proben (z.B. RK 25) aus verschiedenen Werkstoffen getestet, Kalibriert und optimiert. Zusätzlich sind Auswertungen zu den geprüften Teilen zu erstellen und der Prüfplatz anhand dieser u.a. auf folgende Kriterien zu bewerten und zu optimieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ➤ Ermittlung der Anwendungsgrenzen (Frequenzen, Magnetfelder, Kerngrößen, Temperaturen, ...) ➤ Einfache Handhabung (Software) ➤ Messzeitoptimierung ➤ Automatisierte Berichterstellung 	Anhand von diversen Messreihen wurde die korrekte Messplatzfunktion nachgewiesen und die Bedienung auf die Anforderungen der Bediener hin optimiert. Durch die Automatisierung sind auch Langzeitmessungen mit sehr vielen Messpunkten und unterschiedlichen Parametern ohne Bedienereingriffe und somit beispielsweise auch über Nacht möglich. Die Messergebnisse werden in entsprechenden Berichten und Protokollen dargestellt und in der Datenbank gespeichert, so dass diese zukünftig auch für Auswertungen mittels KI verwendbar sind.
Ergebnis des AP	Der voll funktionsfähige Muster-Prüfplatz ist inkl. Datenspeicherung und automatisierten Auswertungen als Systemkonzept in Entwicklung und der Serienfertigung einsetzbar.	
4.1.2.4 SES	Entwicklung und Integration dynamischen atmosphärenabhängigen Ofenregelung für einen Versuchsofen	
	<p>Am Beispiel eines Versuchsofens sollen die notwendigen sensorischen und aktorischen Erweiterung sowie notwendigen Regelalgorithmen ermittelt und auf ihre Funktion überprüft werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Konzept für die Integration zusätzlicher Sensorik ➤ Konzept für Softwaremodule / Bausteine zur Regelung 	Durch die Entwicklung einer adaptierbaren Signalerfassung können diverse Sensorsignale erfasst und Aktoren angesteuert werden. Dabei sind Abstraten und Kanalzahlen an die jeweiligen Anforderungen anpassbar und auch die notwendigen Regelungen für die jeweiligen Aktoren sind anforderungsgerecht adaptierbar.

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Konzept für zusätzliche Ofen- und Steuerungsaktorik 	
Ergebnis des AP	Ein funktionsfähiges Konzept zur Erweiterung von Standard-Industrieöfen für die keramische Fertigung wurde entwickelt und erprobt.	
4.1.2.5 SES	Entwicklung eines Formgebungs- und Trocknungsverfahrens für BSCF-Kapillaren	
	<p>Für die Fertigung von BSCF-Kapillaren ist ein anwendbares und skalierbares Gesamtkonzept für Formgebung und Trocknung zu erstellen und dessen Eignung nachzuweisen.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Erarbeitung von Varianten und Erstellung Teilkonzept Formgebung ➤ Erarbeitung von Varianten und Erstellung Teilkonzept Trocknung • Verknüpfung der Teilkonzepte zu einer skalierbaren Gesamtlösung 	<p>Diverse (Teil-) Konzepte für die einzelnen Schritte der Serienfertigung wurden erstellt und verglichen. Diese können bei Bedarf in der Serienfertigung zum Einsatz kommen, bedürfen jedoch je nach Ausbaustufe größere Stückzahlen, um eine rentable Umsetzung des entsprechenden Automatisierungsgrades zu ermöglichen. Im Projektverlauf wurden diese notwendigen Stückzahlen nicht erreicht, so dass die Konzepte noch nicht zum Einsatz gekommen sind.</p>
Ergebnis des AP	Ein skalierbares Konzept für ein integrierbares Formgebungs- und Trocknungsverfahren ist entwickelt, jedoch noch nicht realisiert und somit nicht erprobt.	
4.1.2.6 SES	Zentrale Datenspeicherung/ Datenbankkonzept allgemein	
	<p>Entwicklung eines modularen und erweiterbaren Datenbankkonzeptes inkl. flexibler Verknüpfung von Datensätzen unterschiedlicher Quellen und Stationen der keramischen Prozesskette.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Beachtung der verallgemeinerten Anforderungen ➤ Entwicklung des Kerns des Digitalen Zwillings (Core) 	<p>Es ist auf Basis PostgreSQL ein modulares und erweiterbares Datenbankkonzept entstanden, welches auch die flexible Verknüpfung von Datensätzen aus unterschiedlichen Quellen und Stationen der keramischen Prozesskette ermöglicht. Allgemeine Anforderungen, wie sie bei jedem Keramikunternehmen auftreten, wurden berücksichtigt.</p>
Ergebnis des AP	Ein allgemeingültiges Konzept für eine zentrale Datenspeicherung wurde ermittelt.	
4.1.2.7 SES	Zentrale Datenspeicherung/ Datenbankkonzept spezifische Anforderungen	

	<p>Entwicklung eines Konzeptes für die aufwandsarme Erstellung von speziellen Modulen zur Datenintegration.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Beachtung der spezifischen Anforderungen ➤ Import- und Adaptionfunktion für unterschiedliche Daten ➤ Entwicklung von anwendungs- und prozessspezifischen Modulen für den Digitalen Zwilling ➤ Grundlage für die spätere Anwendung von KI / ML - Methoden 	<p>Das allgemeine Datenbankkonzept wurde am Beispiel der TWF durch die dort auftretenden speziellen Anforderungen erweitert. In der gleichen Art lassen sich künftig auch spezielle Anforderungen anderer Unternehmen in entsprechenden neuen Modulen umsetzen.</p>
<p>Ergebnis des AP</p>	<p>Zukünftige anwendungs- und prozessspezifische Anforderungen lassen sich durch die Erstellung von Zusatzmodulen leicht realisieren und an die Allgemeine Struktur (Core) anbinden</p>	

4.1.3 SES	Möglichkeiten der Auswertung und Nutzung der gewonnenen Datenbasis	Für das Projekt und am Beispiel TWF erfolgreich abgeschlossen
4.1.3.1 SES	Auswertung anhand von DB-Abfragen	
	<p>Entwicklung eines Konzeptes für die Erstellung und Konfiguration von Datenbankabfragen zur allgemeinen Analyse des Datenbestandes sowie zur Untersuchung spezieller Aspekte (Core und Zusatzmodule) sowie deren Darstellung.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Beispiele Auswertung Core: <ul style="list-style-type: none"> • Daten Waren- / Materialeingang und Chargendaten • Allg. Prozessdaten • Verbrauch (Werkstoffe) • Prüfergebnisse ➤ Beispiele Auswertung Zusatzmodule: <ul style="list-style-type: none"> • Daten Gebäudesteuerung (Energie) • Temperaturen Fertigungsumgebung über einen Zeitraum • Daten Sterilisation 	Anhand von z.T. konfigurierbaren Datenbankabfragen lassen sich die erfassten und untereinander verknüpften Daten abrufen, um diese beispielsweise für Auswertungen und Bericht verwenden zu können. In gleicher Weise lassen sich zukünftig zusätzliche Daten nach Ihrer Integration abrufen und somit für manuelle oder automatisierte Auswertungen und Optimierungen verwenden. Aufgrund der Projektlaufzeit erfolgte zunächst eine Beschränkung auf die zentralen Prozessdaten und -Parameter.
Ergebnis des AP	Exemplarische Auswertungen für die gespeicherten Daten (Core und Zusatzmodule) sowie Datenexport für verschiedene Formate sind realisiert und erprobt.	
4.1.3.2 SES	Automatisierte konfigurierbare Berichterstattung (Traceability)	
	<p>Konzepterstellung für ein modulares und erweiterbares Tool zur Datenanalyse, -Darstellung und den -Export in verschiedenen Formaten.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Überwachung und Darstellung ausgewählter Daten (Leitstand-Funktion) ➤ Automatisierte Berichtgenerierung in konfigurierbaren Umfängen (z.B. für Traceability) 	Die aktuell auf jedem geeigneten Windows-System, d.h. PC oder Tablet einsetzbare Software ermöglicht die Kontrolle der aktuellen Stände sowie die Erstellung und den Export diverser Daten. Hierbei sind bedarfsgerechte Erweiterungen der Funktionsumfänge jederzeit möglich und die Daten sind bei Bedarf auch übertrag- und abrufbar.

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Auswertung spezifischer Parametergruppen für Optimierungen in den Prozessen ➤ Exportfunktionen zur automatisierten Datenweitergabe 	
Ergebnis des AP	Ein relativ komfortabel zu bedienendes Tool zur Überwachung sowie zur automatisierten Erstellung und Durchführung von Auswertungen für die gespeicherten Daten (Core und Zusatzmodule) inkl. Datenexport für verschiedene Formate wurde konzipiert, exemplarisch erstellt und erprobt.	
4.1.3.3 SES	Automatisierte Datenaufbereitung und Auswertung für Optimierungen (KI/ML)	
	<p>Schaffung von Schnittstellen zu KI / ML – Modulen und Programmen sowie Implementierung geeigneter moderner Verfahren zur Datenanalyse und automatisierten Steuerung von Anlagen und Prozessen</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Anbindung an verfügbare und noch zu entwickelnde KI / ML – Verfahren ➤ Automatische Rückwirkung von Ergebnisdaten auf die jeweiligen Prozessschritte 	Die Vorbereitungen zur Verwendung der Datenstrukturen in KI und ML wurden durch die entsprechende Strukturierung und Verknüpfung der Daten geschaffen, so dass der Einsatz von KI und ML ermöglicht wurde. Da aufgrund der damit verbundenen hohen Aufwände nur die dringenden relevanten Bestandsdaten in die neuen Strukturen übernommen wurden, mangelt es hier derzeit noch an den für KI notwendigen, strukturierten gespeicherten Datenumfängen.
Ergebnis des AP	Die Datenbereitstellung für KI / ML – Module und Programme sowie Möglichkeit der automatischen Prozessregelung ist generell möglich, jedoch aufgrund der geringen Umfänge an strukturierten Daten derzeit noch nicht zielführend.	
4.1.3.4 SES	Eruierung neuer Methoden zur automatisierten Informationsgenerierung (KI/ML)	
	<p>Recherche verfügbarer Tools, Methoden und Verfahren der KI und ML, Prüfung der Anwendbarkeit und korrekten Funktion sowie Untersuchung der daraus resultierenden Informationen auf ihre Aussagekraft</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Test von KI / ML – Modulen und Programmen ➤ Überprüfung der Ergebnisse 	Auf Basis der noch beschränkten Datenbasis wurden einige KI-Verfahren auf ihre potenzielle Eignung untersucht. Die infrage kommenden Verfahren müssen zu einem späteren Zeitpunkt mit größeren Datenumfängen validiert und miteinander verglichen werden.

Ergebnis des AP	Es gibt eine Auswahl infrage kommender KI / ML – Module und Programme. Aktuell konnte die Funktion und damit die Gewährleistung der Ergebnissicherheit noch nicht validiert werden.
-----------------	---



2. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Die geleisteten Projektstunden waren erforderlich, um sich in die Thematik-Digitalisierung auf Unternehmensebene und der gesamten Wertschöpfungskette einzuarbeiten. Die daraus resultierende Komplexität machten vor allem auch eine gravierende Weiterentwicklung in der Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen den Mitarbeitern von TWF und SES notwendig. Die Erfassung der Zusammenhänge, welche für die TWF-Mitarbeiter eine Selbstverständlichkeit darstellten, war sehr aufwändig, ebenso wie die Vermittlung der Anforderungen an die Informationsaufbereitung und Übergabe durch SES. In der Testphase der einzelnen Module musste viel Zeit investiert werden, damit die Funktionsfähigkeit der Einzelkonzepte sowie deren Zusammenspiel optimiert und sichergestellt werden konnten. Nach der Testphase wurde intensiv an den Auswertefunktionen gearbeitet, um auch deren korrekte Funktion sicherzustellen. Ohne das Projekt hätte dieser umfangreiche Wissens- und Erfahrungsaufbau nicht erfolgen können und wir gehen davon auf, dass diese wertvollen Erfahrungen und das damit verbundene Know-How unsere Position am Markt wesentlich stärken werden.

3. Voraussichtliche Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Aus wissenschaftlicher Perspektive dienen die entwickelten Konzepte als Startpunkt für die Entwicklung eines funktionsfähigen Digitalen Zwillings, für die keramische Industrie und weitere Branchen, für die es bislang keine passenden Standardlösungen gibt. Die entwickelten Grundlagen können für andere keramische Hersteller mit geringfügigen Adaptionen verwendet werden. SES wird versuchen, die erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse möglichst zeitnah in einen marktfähigen Stand zu überführen. Leider haben zum aktuellen Zeitpunkt die meisten Unternehmen eine geringe Investitionsbereitschaft oder -Möglichkeiten, so dass wir derzeit versuchen, die Konzepte auf wirtschaftlich weniger betroffene Branchen wie beispielsweise Defence und Avionik zu übertragen und dort zu implementieren, wobei uns der modulare und wiederverwendbare Ansatz sicher zugutekommen werden.

4. Fortgeschriebener Verwertungsplan

Hinsichtlich der entwickelten Konzepte wird ein Folgeprojekt angeschlossen, um die entstandenen Konzepte einem umfangreicheren Digitalen Zwilling weiterzuentwickeln. Dieses wird wohl ab 2026 erfolgen. Der entwickelte, automatisierten Messplatz wird bereits regelmäßig verwendet und trägt damit zur wachsenden Datenbasis bei. Die wissenschaftlich-technologischen Erkenntnisse werden ab sofort genutzt, um auf Veranstaltungen und vor allem auch in Kundengesprächen die Möglichkeiten der digitalen Erfassung von Fertigungsprozessen durch SES anzubieten und daraus wie geplant ein zusätzliches und nun branchenübergreifendes Standbein für unser Unternehmen zu schaffen.

5. Veröffentlichung anderer Marktteilnehmer

Veröffentlichungen anderer Marktteilnehmer sind nach aktuellen Recherchen nicht bekannt. Es gibt sehr wohl andere Systeme, die ähnliche Funktionen bieten, diese sind aber nicht auf den komplexen keramischen Fertigungsprozess angepasst.

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Eine Veröffentlichung, abgesehen von diesem Bericht, ist seitens SES noch nicht fest geplant. Es gibt jedoch aufgrund der bereits erfolgten Veröffentlichungen und Veranstaltungen aktuell Anfragen, z.B. der DKG zu diesem Thema und auch eine spezielle Internetseite zu dem Thema wird entstehen.