

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Verbundprojekt

Zustandsbewertung und Prozessassistenz für nutzungsdauerbasierte Geschäftsmodelle zur Flexibilitätssteigerung in der Produktion



in der Fördermaßnahme

Internetbasierte Dienstleistungen für komplexe Produkte,
Produktionsprozesse und -anlagen (Smart Services)

Matthias Spindler

HyPneu Service GmbH, Zwickauer Str. 137a, 09116 Chemnitz

Projektlaufzeit: 01.05.2020 – 31.12.2023

Erstellungsdatum: 25.06.2024

Projektpartner

Nr.	Projektpartner	Kürzel	FKZ
1	HyPneu GmbH	HyPneu	02K18D090
2	HyPneu Service GmbH	HyPneu Service	02K18D092
3	KIESELSTEIN International GmbH	KIC	02K18D091
4	EMA-TEC GmbH	EMA-TEC	
5	BENTELER Automobiltechnik GmbH	Benteler	02K18D097
6	attenio GmbH	Attenio	
7	Visual World GmbH	Visual World	02K18D099
8	X-INTEGRATE Software & Consulting GmbH	X-Integrate	02K18D095
9	Fachhochschule Südwestfalen – Labor für Massivumformung	LFM	02K18D095
10	Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik	IWU	02K18D096

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
I. Teil I Kurzfassung	3
I.1 Aufgabenstellung	3
I.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens	3
I.3 Wesentliche Ergebnisse im Überblick	4
II. Teil II Eingehende Darstellung	5
II.1 Motivation und Aufgabenstellung	5
II.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens	7
II.2.1 Überwachung hydraulischer Systeme und Prozesse	7
II.2.2 Geschäftsmodelle	8
II.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	9
II.4 Erzielte Ergebnisse	10
AP 1: Geschäftsmodellentwicklung und -bewertung	10
AP 3: Q2 Zustandstransparenz	11
AP 4: Q3 Maschinennutzungs- und Risikoindex	13
AP 5: Q4 Datenhaltung und Sicherheit	18
AP 6: Q6 AR-Service und Prozessassistent	21
AP 7: Q6 Integration	22
AP 8: Pilot 2 – „Maschine und Service“ Demonstrator: Hydraulikaggregat/Drahtziehanlage	23
AP 9: Transfer	26
AP 10: Projektmanagement	26
II.5 Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen	27
II.6 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse	27
II.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes	27
II.8 Veröffentlichungen, Vorträge Referate, etc.	27
II.9 Literaturverzeichnis	29

I. Teil I Kurzfassung

I.1 Aufgabenstellung

Aktuelle Entwicklungstrends in allen Industriebereichen der Wirtschaft gehen einher mit Komplexitätssteigerungen und kürzer werdenden Innovationszyklen von Produkten. Dabei wird auf Funktionsoptimierung und -erweiterung, den stetigen Ausbau markanter Designs und Usability sowie auf eine kostenoptimale Produktstruktur abgezielt. Die Anforderungen aus den Produkten spiegeln sich in wachsenden Herausforderungen für die Produktionstechnik bezüglich Flexibilität, Leistungsfähigkeit, Verfügbarkeit und Teilequalität wider. Gepaart mit den steigenden Bedürfnissen an nachhaltige und resiliente Produktionsnetze gewinnen zunehmend wandlungsfähige, agile Produktionssysteme an Bedeutung. Viele Unternehmen sind sich jedoch unsicher, wie die Transformation des etablierten Geschäftsmodells hin zu einem digitalen Geschäftsmodell gelingen kann. Während bislang meist der Verkauf von Erzeugnissen, Maschinen und Dienstleistungen im Fokus steht, kann künftig ein breiteres Angebot durch nutzungsabhängige Pay-per-X oder datengetriebene Services aufgebaut und in Koexistenz zu den etablierten Modellen betrieben werden. Die hohe Komplexität seitens der Anlagen, Prozesse und Produkte sowie die Angst vor dem Knowhow-Verlust durch eine Weitergabe von Produktionsdaten hemmen die Einführung dieser neuen Geschäftsmodelle.

Im Rahmen des Projekts ZuPro2Flex werden diese Hemmnisse aus technologischer und wirtschaftlicher Perspektive adressiert und Lösungen für die Wahrung der Geschäftssicherheit bei der Bestimmung und Übermittlung von abrechnungsrelevanten Daten, für die Einführung und Planung von digitalen Geschäftsmodellen für bestehende Produktarchitekturen sowie für eine Realisierung entsprechender Überwachungs- und Assistenzsysteme entwickelt.

I.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Obwohl Pay-per-X Geschäftsmodelle und Vorgehensweisen ausreichend publiziert sind (vgl. beispielsweise [1-3]), wendet sich der Mittelstand nicht oder nur zögerlich diesen neuen Geschäftsmodellen zu (vgl. [4]). Insbesondere Pay-per-X Geschäftsmodelle werden lediglich in Geschäftsbereichen der Versorgung und Bereitstellung von Ressourcen (etwa Druckerzeugnisse, Energie, Wasser) angewendet, da hiermit oftmals überschaubare Geschäftsrisiken verbunden sind. Denn in diesen Branchen sind die technisch-wirtschaftlichen Zusammenhänge, welche die Abrechnungsgrundlage bilden, transparent (beispielsweise Abrechnung anhand von Stückzahlen (zum Beispiel Anzahl kopierter Seiten) und Attributen (zum Beispiel Farbkopien oder Schwarz-Weiß-Kopien). Bei komplexen Anlagen, Prozessen und Dienstleistungen innerhalb der Produktionstechnik liegen diese technisch-wirtschaftlichen Zusammenhänge zur Ableitung eines für alle Beteiligten funktionierenden Geschäftsmodells oftmals nicht vor. Die notwendige Transparenz für Maschine, Prozess und Wirtschaftlichkeit ist somit häufig nicht gegeben. Eine systematische Vorgehensweise zur Potenzialanalyse, Einführung und Entwicklung von Pay-per-X Geschäftsmodellen bei komplexen Produkten, Prozessen und Dienstleistungen ist notwendig, um die Unsicherheit bei den Geschäftsbeteiligten zu reduzieren und die Nutzeneffekte zu verdeutlichen. Sie liegt jedoch derzeit noch nicht umfänglich vor. Folgende Herausforderungen und Defizite bestehen:

- Es bestehen Normen und Methodiken wie die DIN SPEC 33453 zur Entwicklung und Einführung von digitalen Leistungen und Geschäftsmodellen, die jedoch sehr generalistisch sind und für die Anwendung Expertenwissen erfordern. Eine niederschwellige Methodik zur Beschleunigung, Verbesserung und Vereinfachung der Entwicklung und Umsetzung von digitalen Geschäftsmodellen für KMU in der Produktionstechnik ist derzeit nicht verfügbar.
- Die Produktionstechnik als eine KMU-dominierte Branche ist durch ein hohes Maß an Variantenvielfalt der Produktionssysteme, der für die Überwachung von Maschinen- und Prozessen notwendigen Systeme gepaart mit hoher Komplexität und kurzen Produktzyklen.

- Für flexible, nutzungsbasierte Geschäftsmodelle besteht die Voraussetzung eines Austausches von Produktionsdaten zwischen den Geschäftspartnern. Dabei beinhalten diese Daten oftmals Knowhow über Produktionsprozesse und -abläufe. Dieses Wissen und deren Anwendung stellt für viele Maschinenanwender und Servicedienstleister ein schützenswertes Gut dar, um die eigene Position im Wettbewerb zu erhalten und auszubauen. Der Zielkonflikt von hoher Geschäftssicherheit und Knowhow-Schutz bei gleichzeitig hoher Transparenz im Nutzungsverhalten hemmt die Einführung und Umsetzung flexibler Geschäftsmodelle.

Eine Aufwand-Nutzen-Rechnung ist daher sehr komplex. Darüber hinaus sehen sich Maschinenbauer, -anwender sowie Servicedienstleister vor der Herausforderung, einen sehr flexiblen Markt mit oftmals investitionsintensiven Maschinen bei komplexer werdenden Produktionsabläufen und Servicediensten zu bedienen.

I.3 Wesentliche Ergebnisse im Überblick

Die entstandenen Lösungen wurden im Projekt für fünf Pilotprodukte (Fertigungskapazität einer Warmformanlage, Drahtziehanlage, Induktionserwärmer, Hydraulikaggregat und -service) technisch-wirtschaftlich erprobt und validiert.

Eine möglichst hohe Geschäftssicherheit auf allen Seiten ist für digitale Geschäftsmodelle zentral. Die maßgeschneiderte Erhebung von Zustands- und Prozessdaten ist dafür unerlässlich. Dabei steht die Frage im Raum, welche Daten Geschäftsgeheimnisse sind und welche in digitalen Services und zur Abrechnung weitergegeben werden können. Ohne vertrauensvolle Datenlogistik werden diese Geschäftsmodelle kaum akzeptiert werden. Im Projekt wurde deshalb ein digitaler Notar entwickelt und erprobt. Dieser bildet eine neutrale Instanz in Hard- und Software und ist direkt an der Maschine verortet. Der digitale Notar wandelt die Produktions- und Maschinendaten in neutrale Indizes um, welche dann für die Abrechnung weitergeleitet werden – ohne Knowhow preiszugeben. Somit können auch komplexe Angebote sicher und nachvollziehbar abgerechnet und die Geschäftssicherheit gewahrt werden.

Da Produktionssysteme individuell sind, muss auch das neue Geschäftsmodell an das jeweilige technische System angepasst werden. Mit einer virtuellen Testumgebung können interessierte Unternehmen und Service-Organisationen sich über flexible und digitale Geschäftsmodelle in der Produktionstechnik informieren. Zudem bietet die virtuelle Testumgebung neben einer Initialanalyse hinsichtlich Pay-per-Use-Readiness, die Möglichkeit flexible Geschäftsmodellideen hinsichtlich der Umsetzbarkeit (technische Machbarkeit, Risikoanalyse etc.) und wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit zu erproben. Der Nutzer gibt toolunterstützt Eingangsgrößen (Produktart, Produktionsmenge, Kostenparameter, ...) vor, welche ausgewertet werden und in Empfehlungen (Hinweise zu technischen Voraussetzungen, wirtschaftliche Eignung und der Bildung des Maschinennutzungs- und Risikoindexes) münden. Um der hohen Individualität im Maschinen- und Anlagenbau Rechnung zu tragen, wird dieses Softwaretool durch ein Beratungskonzept zur Tiefenanalyse und Detaillierung der Pay-per-X Umsetzung ergänzt.

Für die Nutzung digitaler Geschäftsmodelle sind die Systemtransparenz und die kontextbezogene Informationsbereitstellung entscheidend. Mittels der Assistenzsysteme können Anlaufzeiten neuer Prozesse, Inbetriebnahme-Zeiten und Zeiten für Fehler-Ursachen-Analysen deutlich reduziert werden. Zudem werden die Kommunikation und Interaktion zwischen Anbieter und Nutzer erleichtert.

Im Projekt ZuPro²Flex wurde eine Methode zur agilen Entwicklung und Integration geeigneter (AR)-Assistenzsysteme konzipiert und umgesetzt. Diese visualisiert die Informationen und Kennwerte, welche mittels der entwickelten Überwachungslösungen zur Identifikation der Maschinennutzung in den Geschäftsmodellen erfasst und verfügbar werden.

II. Teil II Eingehende Darstellung

II.1 Motivation und Aufgabenstellung

Digitalisierte, flexible Geschäftsmodelle werden künftig eine stärkere Rolle spielen, wenn es darum geht, als Unternehmen im Maschinenbau zukunftssicher und resilient aufgestellt zu sein. Die Transformation des etablierten Geschäftsmodells hin zu einem daten- oder service-basierten Geschäftsmodells ist jedoch herausfordernd. Dies liegt zum einen an der hohen Komplexität der Produktionssysteme als Basisprodukte und zum anderen an der Vielzahl der Domänen, in denen diese neuen Geschäftsmodelle wirken. So spielt neben der technischen Funktionalität auch der Datenstrom sowie entsprechender Knowhow-Schutz eine tragende Rolle, um wirtschaftliche Erfolge durch einen geschäftssicheren Betrieb dieser digitalen und flexiblen Geschäftsmodelle sicherzustellen. Hinzukommend ist die Produktionstechnik auf allen Ebenen individuell – von der Maschine bis zu deren Anwendungen. So ist auch ein neues Geschäftsmodell individuell an die Basistechnologien anzupassen.

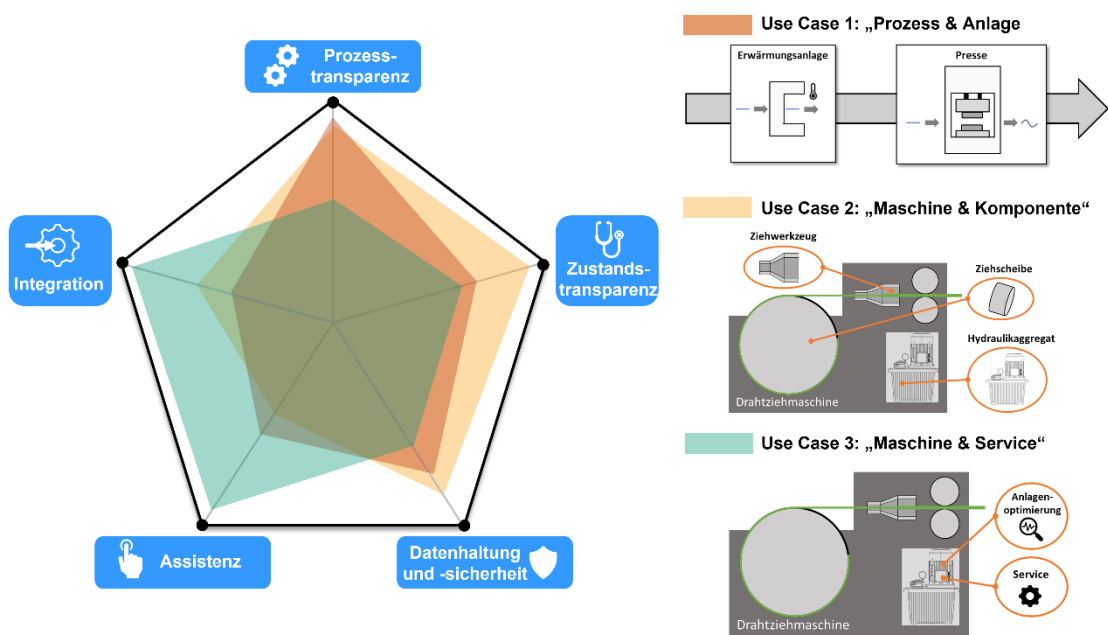


Abbildung 1: Übersicht der Demonstratoren und die dazugehörigen Handlungsschwerpunkte in ZuPro²Flex

Abgeleitet von der Aufgabenstellung besteht das Ziel des Verbundprojektes darin, aus technisch-technologischer Sicht Methoden und Konzepte zu erarbeiten und zu erproben, mit denen eine deutliche Flexibilitätssteigerung durch die Nutzung von Pay-per-X-Geschäftsmodellen auf Basis einer erweiterten Transparenz von Prozess und Maschine möglich wird. Die Basis bildet ein anwendungsspezifischer Maschinennutzungsindex aufbauend auf Nutzungshistorie sowie der aktuellen und künftigen Nutzung eines Systems. Die technisch-technologischen Funktionen werden hinsichtlich der Anwendung für Pay-per-X-Geschäftsmodelle entwickelt, sodass neben eine durch Pay-per-X mögliche Zahlungsflexibilität auch eine deutliche Reduktion von Maschinenstillstands- und Produktionsanlaufzeiten sowie ressourcenoptimale Betriebsbedingungen erreicht werden. Die Entwicklungen werden in einer Systematik zur Einführung und Nutzung von Pay-per-X-Geschäftsmodellen konsolidiert. Aus dieser Zielstellung resultieren im ZuPro²Flex-Projekt folgende Handlungsschwerpunkte:

- **Prozesstransparenz:** Für Pay-per-X-Geschäftsmodelle ist es Grundvoraussetzung, dass die abrechnungsrelevanten Prozessparameter (X) bekannt sind und ermittelt werden können. Ziel besteht zudem in der Erarbeitung und Validierung einer Methodik zur Identifikation fehlender Sensorik und geeigneter Prozessfenster.

- Zustandstransparenz: Die Identifikation von zustands- und damit abrechnungsrelevanten Parameter, um die tatsächliche Maschinennutzung sowie -beanspruchung (Korrelation aus Belastung und Verschleiß von Baugruppen) stellt ein Schwerpunkt dar. Die notwendigen Algorithmen, Messmethoden und physikalischen Wirkzusammenhänge werden an den Demonstratoren untersucht, erprobt und in generalisierter Form die Entscheidungssystematik der virtuellen Testumgebung überführt.
- Datenhaltung und -sicherheit: Ziel ist eine automatisier- und skalierbare Methode zur Datenbereitstellung. Dabei werden Aspekte der Datensicherheit genauso berücksichtigt, wie die der Datenharmonisierung.
- Assistenz: Zur Steigerung der Flexibilität der neuen Geschäftsmodelle ist die zielgerichtete und kontextbezogene Informationsbereitstellung (Nutzungsdaten, aber auch Wartungsinformationen) durch Assistenzsysteme von entscheidender Bedeutung.
- Integration: Ziel und Herausforderung ist es, die zu entwickelnden Modellen, Vorgehensweisen und Lösungen als Umsetzungsmodule in übergeordnete Strukturen und Systeme zu integrieren. Hierzu sind Schnittstellen zu erarbeiten, die in einer übergreifenden Architektur zusammengefasst werden.

welche im Projekt adressiert und an vier Pilotanwendungen erprobt werden. Die Pilotanwendungen orientieren sich an konkreten Lieferanten-Kunden-Beziehungen:

- Use-Case „Prozess und Anlage“: Hierbei werden zwei Geschäftsmodelle am Beispiel einer Warmformanlage für Pressteile entwickelt und erprobt. Zum einen geht es darum, über den Ansatz Pay-per-Stroke, ein plattformbasiertes Geschäftsmodell, flexibel freiwerdende Anlagenkapazitäten verfügbar zu machen. Zum anderen werden Teile der Warmformanlage selbst (hier das Erwärmungssystem) als Pay-per-X bereitgestellt.
- Use-Case „Maschine und Komponente“: Beschreibung und Demonstration von pay-per-X-finanzierten Maschinen (Drahtziehmaschine) und Komponenten (Hydraulikaggregat), wobei die Kosten in Abhängigkeit vom Nutzungsverhalten der Betreiber ermittelt werden.
- Use-Case „Maschine und Service“: Digitale Serviceleistungen und Maschinenoptimierungen mit dem Ziel der Betriebseffizienzsteigerung und Risikominimierung wird am Beispiel einer in einer Maschine (Drahtziehanlage) integrierten Maschinenkomponente (Hydraulikaggregat) untersucht und erprobt.

Um die Aufgabenstellung und daraus abgeleiteten Ziele erfolgreich umzusetzen, wurden vom HyPneu Service GmbH folgende Teilziele aufgestellt und verfolgt:

Die HyPneu Service GmbH ist ein Hydraulikdienstleister. Im Verbund der HyPneu Gruppe werden dort alle Dienstleistungen, Wartungen und Reparaturen, sowohl Kundenaufträge als auch Inhouse, abgebildet. Generell sind viele Firmen in diesem Sektor aktiv. Um nennenswert Marktanteile zu gewinnen und zu halten, muss dem Kunden ein echter Mehrwert geboten werden. Dies ist durch neue, datengetriebene Geschäftsmodell möglich. Um ein solches Geschäftsmodell zu entwickeln war zum einen eine Beteiligungsstrategie in Form von Pay-per-X, als auch eine Datenerfassung (Sensor-Kit) über dem üblichen technologischen Stand erforderlich.

Im Projekt wurden die Grundlagen für drei unterschiedliche Verwertungsstrategien untersucht und entwickelt:

1. Das „Predictive Maintenance“-Modell bietet dem Kunden eine Wartungsfltrate mit unterschiedlichen Ausbaustufen. Mehrwert für den Kunden sind planbare Kosten und eine bedarfsgerechte Wartung. In hohen Ausbaustufen kommt das Konzept, da auch Ersatzteile gedeckt sind, einer vor Ort Gewährleistung gleich. Aufgrund sehr starker inhaltlicher Überschneidungen ist das Konzept ein Enabler für weitere Beteiligungskonzepte:
2. Das entwickelte Überwachungs-Kit inkl. Edge-Device eignet sich ideal um Anlagen energetisch zu optimieren. Der im Sachbericht beschriebene Violinen-Plot ist dafür beispielhaft. Es wird deutlich in wie weit Antriebe ausgelastet sind und wo Optimierungsbedarf besteht. Ingenieurtechnische Anpassungen sind auf dieser Basis möglich. Die HyPneu Service GmbH bietet diese Dienstleistung an und vermarktet zudem die Umrüstmaßnahmen.

3. Liegt der Fokus auf unbedingter Verfügbarkeitssteigerung, kann die Auswertung entsprechend angepasst und dem Kunden als Dienstleistung verkauft werden. Die Service- und Ersatzteilkosten trägt dann weiterhin der Kunden, allerdings partizipiert die HyPneu Service GmbH anteilig an den deutlich reduzierten Ausfallzeiten. Die Überwachung erfolgt kontinuierlich und zeitlich unbegrenzt.
4. Die resultierende sehr enge Kundenbindung der vorstehend beschriebenen Geschäftsmodelle mündet erwartungsgemäß in der Vermarktung weiterer Antriebssysteme.

Auf Basis der Untersuchungen in dem Projekt sollte ein Demonstrator (Hydraulikaggregat) entstehen, an dem durch eine Sensorintegration Betriebsdaten erfasst werden. Durch die Nutzung von Auswertelgorithmen werden diese Betriebsdaten in Kennwerte überführt, die den aktuellen Verschleiß- und Betriebszustand beschreiben. Die Nutzung dieser Kennwerte findet in einem Assistenzsystem zur Informationsbereitstellung für den Inbetriebnehmer, Servicetechniker und Anwender statt. Durch einen modularen Systemansatz können die individuellen Bestandteile unterschiedlicher Anwendungsszenarien korreliert überwacht und somit für ein entsprechendes Geschäftsmodell qualifiziert werden.

Die Erprobung und Validierung erfolgte an einem Demonstrator „Maschine & Komponente“, welcher in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner KIESELSTEIN International GmbH aufgebaut wurde. Darin wurden die Projektergebnisse auf einen realen Anwendungsfall (Hydraulikaggregat in einer Drahtziehanlage) überführt und deren Anwendbarkeit nachgewiesen.

II.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

II.2.1 Überwachung hydraulischer Systeme und Prozesse

Zu Projektbeginn befand sich eine Vielzahl unterschiedlicher Überwachungssysteme für hydraulische Anlagen von unterschiedlichen Anbietern im Einsatz [1], [2], [3]. Zielkriterien der bestehenden Systeme und aktuellen Forschungsaufgaben dazu sind bspw. ein adaptiver Betrieb der Systeme [4], eine Zustandsüberwachung (bspw. in [5]) oder eine Prozessüberwachung für das Applikationsszenario. Entsprechend den Anwenderbereichen (bspw. Antriebssysteme für Schwermaschinen, Pressenantriebe, Kühl- und Schmiersysteme) hydraulischer Systeme bestehen unterschiedliche Anforderungen an die Überwachungseinrichtungen. Dies resultiert zum einen aus Einsatzbedingungen (etwa Druckbereiche, Vibrationen, Temperatur, Betriebsstrategien) und zum anderen aus den jeweils unterschiedlichen Systemkonfigurationen (Konfiguration der Aggregate, Ventiltechnik, Aktorik, ...). Neben der direkten Überwachung von Hydraulikkomponenten, Fluiden etc. besteht ein großes Potential für die im Projekt dressierten Ziele in der Korrelation weiterer Maschineninformationen mit den Überwachungsdaten hydraulischer Anlagen. Damals vorhandene Sensoren an Maschinen und Anlagen ermitteln dazu Daten, die einen Zustand während der Produktion eines Bauteils überwachen (vgl. bspw. [6], [7], [8]). Auf dieser Basis wurden Kennzahlen wie die o.g. OEE ermittelt. Diese kurzzeitige Überwachung liefert häufig eine Aussage, ob ein Produktionsschritt innerhalb oder außerhalb vorgegebener Grenzen geschieht. Die Überwachung eines Fertigungsprozesses erfolgte jedoch hierbei nicht vollständig, eine Korrelation der in der Maschine gemessenen Größen mit Informationen aus hydraulischen Systemen fand, wenn überhaupt, auf rudimentärem Niveau statt. Eine dauerhafte Speicherung und kontinuierliche Auswertung / Vergleich der gemessenen Daten wurde zwar in einigen Literaturstellen für Prozess- und Maschinenüberwachung diskutiert (vgl. [9], [10], [11]), erfolgte jedoch aufgrund hoher Individualisierungsanforderungen häufig nicht im notwendigen Umfang, so dass Langzeiteffekt oder Korrelationen zu weiteren Einflussfaktoren unkenntlich blieben.

Fazit:

- Umfangreiche Sensorik war am Markt verfügbar --> Entwicklung neuer Sensoren nicht erforderlich
- Status quo war:

- Am Markt waren zum einen Einzellösungen für die Überwachung hydraulischer Systeme verfügbar, die bei einer zielgerichteten Applikation i.S.d. Projektzielstellung zu einem hohen Entwicklungsaufwand führen, der aufgrund des langen ROI nicht vom Endanwender getragen werden kann.
- Zum anderen bestanden am Markt fertige hydraulische Systeme, mit denen eine Zustandsüberwachung dieser betrieben werden konnte. Diese konnten als Stand-Allone-Lösung ohne Entwicklungsaufwand in ein System integriert werden, waren jedoch für viele Endanwender aufgrund fehlender Adaptierbarkeit wiederum nicht für die Projektziele i.S.d. Vorhabens geeignet.

II.2.2 Geschäftsmodelle

Obwohl Geschäftsmodelle und Vorgehensweisen ausreichend publiziert waren (vgl. bspw. [12], [13], [14], [15], [16]), wendet sich der Mittelstand nicht oder nur zögerlich neuen Geschäftsmodellen zu [17]. Insbesondere Pay-per-X-Geschäftsmodelle wurden in Geschäftsbereichen der Versorgung und Bereitstellung von Ressourcen (etwa Druckerzeugnisse, Energie, Wasser) angewendet, da hiermit oftmals überschaubare Geschäftsrisiken verbunden sind, da die technisch-wirtschaftlichen Zusammenhänge, welche die Abrechnungsgrundlage bilden, transparent sind (bspw. Abrechnung anhand von Stückzahlen (bspw. Anzahl kopierter Seiten) und Attributen (bspw. Farbkopien oder Schwarz-Weiß-Kopien)). Bei komplexen Produkten, Prozessen, wie hydraulischen Anlagen innerhalb einer entsprechenden Beteiligungsstruktur lagen diese technisch-wirtschaftlichen Zusammenhänge zur Ableitung eines für alle Beteiligten funktionierenden Geschäftsmodells nicht vor und sind von einer Vielzahl an individuellen Einflussgrößen abhängig (Höhe des jeweiligen Maschinenwerts, Lebenszykluskosten, Qualitätskenngrößen, Prozessfenster, ...).

Die notwendige Transparenz für Maschine, Prozess und Wirtschaftlichkeit war somit nicht gegeben, weshalb Pay-per-X-Geschäftsmodelle branchenweit nur sehr zögerlich Anwendung bei komplexen Produkten, Prozessen und Dienstleistungen fanden. Der Nutzen wird lediglich an den wenigen bestehenden Pay-per-X-Realisierungen diskutiert (bspw. bei der Fa. Heller als „HELLER4Use“ oder bei der Fa. EMAG [18] mit dem „Pay-per-Use-Kredit“). In Bezug auf Hydraulikaggregate wurde lediglich bei der Cytro-Box [2] die Möglichkeit der Pay-per-Use-Nutzung unterschiedlicher zugehöriger Softwarebestandteile angeboten. Der Ansatz dazu war jedoch ein anderer als das Projektziel: Durch eine systemimmanente Sensorik werden kontinuierlich Daten erfasst, welche für fest definierte Auswertelgorithmen zur Verfügung stehen. Eine Anpassung des Systems an die übergeordnete Maschinenstruktur ist sehr begrenzt möglich. Hinzukommend kann das System nicht als Nachrüstlösung genutzt werden.

Weiterführend werden unterschiedliche Geschäftsmodelle im Stand der Forschung diskutiert, in denen die physischen Produkte als Produkt-Service-Systeme (PSS) betrachtet werden. Hierin ist auch der Ansatz des Servicemanagements 4.0 zu finden, welcher allgemein von Kans und Ingwald in [19] (in vier Stufen beschrieben) entwickelt wurde. Dieser Ansatz wird auch in [20] aufgegriffen und der Bezug zu voll vernetzten cyber-physischen Systemen genommen. In diesen Literaturstellen wird jedoch stets von einem mit Sensoren integrierten System ausgegangen, welches als PSS weiterentwickelt werden kann. Serviceangebote im Bereich Hydraulikanwendungen folgten derzeit den klassischen Vertragsmustern. Obgleich Optimierungsleistungen (dann jedoch statisch-individuell) und Messdienstleistungen (bspw. Analysen von Pumpenlagern) von einigen Serviceanbietern abgebildet wurden (vgl. bspw. [21, 22]), sind zur Antragstellung keine Lösungen für eine umfangreiche Analyse mit entsprechend flexibler und integrierbarer Sensortechnik wie in diesem Vorhaben adressiert.

Fazit:

- Theoretische Grundlagen für unterschiedlichste Geschäftsmodelle existierten
- Es existierten erste individuelle umgesetzte Pay-per-X-Geschäftsmodelle in der Produktionstechnik im Sinne eines Service-Ansatzes

- Für eine Anwendung von Servicegeschäftsmodellen i.S.d. Projektziele für (Bestands-)Anlagen mit flexiblen Betriebsparametern in übergeordneten Systemen lag jedoch derzeit kein Ansatz für eine Pay-per-X-Architektur und entsprechende technische Umsetzungsvorschläge vor.

Bisherige Arbeiten des Antragstellers

Die HyPneu Service GmbH führte Serviceaktivität sowohl für HyPneu-Anlagen als auch für Anlagen fremder Hersteller durch. Seit einigen Jahren standen dabei auch Themen aus dem Bereich smart Services i.S.d. wissensbasierten Serviceentscheidungen und Anlagentransparenz für optimale Betriebsweisen im Fokus. Gemeinsam mit dem Partner HyPneu GmbH wurden Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Zustandsüberwachung durchgeführt, in denen ein hohes Anwendungsorientiertes Know-How aufgebaut und in das Projekt eingebracht wurde.

II.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das gesamte Projektvorhaben war für eine Laufzeit von 36 Monaten (01.05.2020 bis 30.04.2023) vorgesehen und wurde kostenneutral um acht Monate bis Ende 2023 verlängert. Die geplanten Zeiträume für die Bearbeitung der einzelnen Projektschritte sowie der entstandene tatsächliche Ablauf ist dem Balkanplan (siehe hier unten) zu entnehmen.

Im Jahr 2020 hatten ein verspäterer Projektstart, die fehlenden Präsenztermine aufgrund von Corona und Personalengpässe zu Verzögerungen bei einigen Arbeitspunkten geführt, die sich 2021 fortsetzten. Durch Neugewinnung von Personal etwa Mitte 2021 konnten die aufgelaufenen Verzögerungen bis Ende 2021 reduziert, aber nicht vollständig abgebaut werden.

Zu Beginn 2022 kamen noch Schwierigkeiten bei der Beschaffung hinzu: Geplante Steuerungs- und Elektronikbauteile für Laborversuche und für die geplanten Demonstratoren hatten teilweise extrem lange Lieferzeiten. Von dieser Verzögerung sind die Arbeitspakete AP2.7 (Labortest) und AP8 (Demonstratoren) maßgeblich betroffen gewesen. In Konsequenz wurden hierdurch alle in Abhängigkeit stehenden Arbeitspakete ebenfalls verzögert. Nach einer genehmigten kostenneutralen Verlängerung um acht Monate bis Ende 2023 konnten die geplanten Projektziele letztendlich aber realisiert werden.

- M1: Geschäftsmodellkonzepte für die Demonstratoren sind aufgestellt und wirtschaftlich-rechtlich bewertet
- M2: Gap-Analyse zwischen vorhandener und benötigter Sensorik aus AP 3 liegt vor. Ergebnisse von Marktanalysen liegen vor. Können wichtige Daten durch gekoppelte Auswertung nicht erfasst werden, wird eine alternative Informationsgewinnung geprüft. Im Worst Case bleibt eine zu große Lücke, die zum Projektabbruch führen kann.
- M3: Konzept zur Bildung des Maschinennutzungs- und Risikoindex liegt vor und kann hinsichtlich Datenhaltung- und Sicherheit umgesetzt werden (Digitaler Notar DN). Sollte der „DN“ keine hinreichende Datensicherheit gewährleisten, müssen alternative Lösungen gefunden, der Projektablauf angepasst und/oder zusätzlicher F&E Bedarf aufgezeigt werden.
- M4: Demonstrator ist erprobt und weist den Nutzen der Methoden und Modelle nach

Erweiterung bisheriges Geschäftsmodell		
Geschäftsmodell	Beschreibung	Anmerkung
Predictive Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> • Gegenstand ist Überwachung und Service-Leistung für angebotenes Aggregat • monatl. Grundgebühr • Voraussetzung ist mit Sensorik und Software ausgestattete Anlage 	<ul style="list-style-type: none"> + planbare Einnahmen + gleichbleibende Zahlung unabhängig von Nutzungsintensität der Anlage + Planbarkeit der Serviceleistung + Warnung vor drohendem Aggregat-Ausfall + Nutzungsüberwachung nicht zwingend erforderlich - keine finanzielle Beteiligung bei erhöhtem Wartungsbedarf bedingt durch hohe Nutzungsintensität - komplizierte Kostenanalyse

Abbildung 2: Predictive Maintenance als neues Geschäftsmodellkonzept

Resultierend steht im hauptsächlich untersuchten Predictive Maintenance Konzept ein dreistufiges Service Angebot für Hydraulikanlagen zur Verfügung. Das „Grundpreismodell“ in der 1. Stufe beinhaltet alle planmäßig und außerplanmäßigen Servicekosten exklusive Material. In Stufe 2 dem „Verschleißkostenmodell“ sind zudem alle Verschleißteile inkludiert. Das betrifft unter anderem Filter, Schläuche, Dichtungen und Hydrospeicher. Im Fokus der Vermarktung steht das „Gewährleistungsmodell“. Dort sind zu zudem vollumfänglich alle Ersatzteilkosten, also z.B. auch Pumpen und Ventile, abgedeckt. In allen drei Stufen profitiert der Kunde von einer durch Predictive Maintenance bedarfsgerechten Wartung und durch Lebensdauervorhersagen von einer gesteigerten Anlagenverfügbarkeit. Die HyPneu Service GmbH profitiert innerhalb dieser Geschäfte zusätzlich durch eine gesteigerte Kundenbindung, einen engen Kundenkontakt und ggf. zusätzliche Aufträge.

AP 1.2: Kontinuierliche Bewertung der Geschäftsmodellidee

Die Bewertung der Geschäftsmodellkonzepte sowie deren Risikoanalyse erfolgte kontinuierlich über den gesamten Projektzeitraum hinweg und in enger Abstimmung mit den Projektpartnern LFM, X-Integrate und IWU im Arbeitspaket 1.2. Von zentraler Bedeutung war hierbei zum einen die juristische Bewertung der Geschäftsmodelle hinsichtlich Ertragsmechanik und bereits aufgestellter Vertragsbedingungen und zum anderen der ständige Abgleich aktueller, technischer Anforderungen mit den erarbeiteten Lösungsansätzen. Das Geschäftsmodell wurde entsprechend fortlaufen validiert und angepasst.

AP 3: Q2 Zustandstransparenz

AP 3.1: Identifikation von Anforderungen und Messgrößen

In konventionellen Hydraulikanlagen erfolgt die Überwachung rudimentärer Betriebsparameter, die ein Minimum an Service und Zuverlässigkeit gewährleisten, aber nicht den Anspruch von Predictive Maintenance genügen. Konkret betrifft das die folgenden Parameter:

- Differenzdruck Filter (Schwellwert Wartung)
- Fluidtemperatur (Schwellwert Schaden)
- Füllstand Tank (Schwellwert Schaden)

Das hatte starken Einfluss auf den Forschungsbedarf zur Genese der Schadfälle und der davon abhängigen zeitlichen Änderung messbarer Parameter. Anders als zum Beispiel für Filterverschmutzung gab es für das Versagen von Ventilen oder Pumpen im Betrieb der Anlage noch keine bekannten Diagnosekriterien. Die Aufbereitung zustandsrelevanter Servicefälle erlaubte zwar wertvolle Rückschlüsse auf geschädigte oder schadensursächliche Bauteile, es fehlte jedoch der stochastische und historische Zusammenhang. Relevant ist das nicht nur für die Vorhersagequalität als solches, sondern auch für den kalkulierten Materialbedarf. Um die Datenbasis zu stärken, war es erforderlich verschiedene Maßnahmen zu initialisiert. Unter

anderem wurden der HyPneu-eigene Anlagenbestand mit Cloud-fähigen HyPneu-Motormonitoring Modulen ausgestattet. Ziel war es anhand der entstehenden Logs im Nachgang Kausalitäten für Stöorzustände dieser Anlagen zu ermitteln. Die Logs wurden permanent mit Stör- und Schadfällen abgeglichen. Später soll das Modul fester Bestandteil des Sensorkits von HyPneu Service GmbH und HyPneu GmbH sein. Diese Standardisierung innerhalb der HyPneu Gruppe ist entscheidend für den Markterfolg, die Übertragbarkeit und die Wirtschaftlichkeit. Darüber hinaus ist es durch Simulationen gelungen hydraulische Messgrößen zu bestätigen, die Rückschlüsse auf die Pumpengesundheit erlauben. Die Verifikation erfolgte zusammen mit der HyPneu GmbH und dem Fraunhofer IWU anhand eines Pumpen-Verschleiß-Prüfstandes. Strangweise (1x je Pumpe) beinhaltet das im Projekt verwendete Überwachungs-Kit die Sensorik in Tabelle 2.

Tabelle 2: Sensorauswahl

Hydrauliküberwachung	Motormonitoring
Systemdruck (IFM PV7000)	HyPneu Modul als Klemmkastenintegration mit:
Tankfüllstand (IFM LR3000)	
Temperatur Saugleitung (IFM TV7105)	
Temperatur Druckleitung (IFM TV7105)	
Volumenstrom Lecköl (IFM SBG232)	
	<ul style="list-style-type: none"> - Wirkleistung und Scheinleistung - a_{rms} = hochfrequente Fehlerbilder bspw. Lagerschäden - a_{max} = Stoßbelastung - Kurtosis = Stoß und Schlagbelastung - V_{rms} = Unwuchten

Die HyPneu Gruppe verfügt zudem über ein eigenes Produkt zum Datenabgriff an Bestandssensoren. Ergänzend ist damit eine umfangreiche Messdatenerhebung an vorinstallierten Sensoren möglich bzw. können diese in die Überwachung eingebunden werden. Das Stromsignal wird mit einem Shunt (Messwiderstand) in Reihe abgegriffen und das Spannungssignal parallel zum Sensor. Aufgrund der Signalart und der Art des Abgriffs entsteht in beiden Fällen keine Beeinflussung (Verzerrung o.ä.) des Signals. Wie auch beim Motor-Monitoring-Modul ist eine direkte Cloud-Anbindung möglich und sinnvoll. Erfasste Daten müssen grundsätzlich vom Kunden der HyPneu Service GmbH zur Eigennutzung, insbesondere Weiterentwicklung des Geschäftsmodells zur Verfügung gestellt werden. Dieser Anspruch ist zentral um die Vorhersagequalität zu steigern. Wir erwarten, dass bei einer entsprechend garantierten Datensicherheit und Anonymisierung der Kunde dazu bereit ist.

AP 3.2: Soll-Ist-Analyse

Basierend auf vorhandenen Erfahrungswerten und Datensätzen bisheriger Servicefälle erfolgte gemeinsam mit dem Projektpartner HyPneu GmbH die Ausarbeitung eines Konzeptes zur Zustandsüberwachung relevanter Anlagenkomponenten unter Berücksichtigung der erforderlichen Messgrößen und entsprechender Überwachungsmöglichkeiten. Dabei konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass bereits vorhandenen Sensorik an Bestandsanlagen in den meisten Fällen nicht die Anforderungen der Zustandsüberwachung für das neue Geschäftsmodellkonzept nach dem Predictive Maintenance-Ansatz erfüllt. Daher wurde das Konzept für ein Sensorkit entwickelt, welches die Überwachung der definierten, relevanten Messgrößen ermöglicht und die informationstechnischen, mechanischen sowie hydraulischen Anforderungen des Geschäftsmodellkonzeptes berücksichtigt.

AP 3.3: Algorithmenentwicklung zur Produktionsschritt-sicheren Zustands- und Belastungsbewertung

Die Wirkzusammenhänge zur Algorithmenentwicklung wurden in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern HyPneu GmbH, IWU und X-Integrate untersucht. Die Hauptursache für unplanmäßige Maschinenstillstände an Hydraulikanlagen ist nach unseren Daten mit deutlichem Vorsprung das Versagen von Pumpen. Schäden an Aktuatoren führen, sofern nicht kollisionsbedingt o.ä., selten zum unmittelbaren Anlagenausfall. Funktionsstörungen an Ventilen treten nur sehr sporadisch auf und sind vorab messtechnisch schwer zu erfassen. Deutlich besser kann den Ursachen für Ventil- und Dichtungsschäden: Druckschläge, Mikro-Diesel und schlechten

Öl Parametern durch eine geeignete Sensoranordnung vorgebeugt werden. Das frühe Eingreifen bei ungünstigen Betriebszuständen verhindert dabei schwerwiegende Folgen. Entsprechende Parameter sind messtechnisch leicht zugänglich und einfach auszuwerten. Die erforderlichen Zusammenhänge wurden beschrieben.

Im Fokus der Algorithmenentwicklung stand zusammen mit der Hypneu GmbH eine Früherkennungsroutine für Anlagen- und insbesondere Pumpenschäden. Die Untersuchungen der HyPneu Service GmbH stützen sich dabei Großteils auf das Motor-Monitoring-Modul und demzufolge die elektrischen Leistungsdaten des antreibenden Motors. Die Abbildung 3 zeigt einen mit dem Motor-Monitoring-Modul aufgezeichneten Datensatz. Zu sehen ist ein Violinen-Plot und ein Torten-Diagramm der Leistungs- und Schwingungsdaten des Motors. Diese Darstellung visualisiert die Zustandsverteilung der Auslastung und Überlastung. Insbesondere die Korrelation mit Inhomogenitäten der anderen Maschinenparameter, ist ein starker Zeiger auf Fehlerzustände, siehe Abbildung 4. Später am realen Kundenaggregat und gekoppelt mit Schaltsignalen ist eine Zuordnung zu Bauteilen realisierbar. Komplettiert wird diese Auswertung durch die Verschleißzustandsüberwachung am Pumpen und anhand der durch die HyPneu GmbH erarbeiteten Pumpenkennfelder und Schwellwerttabellen.

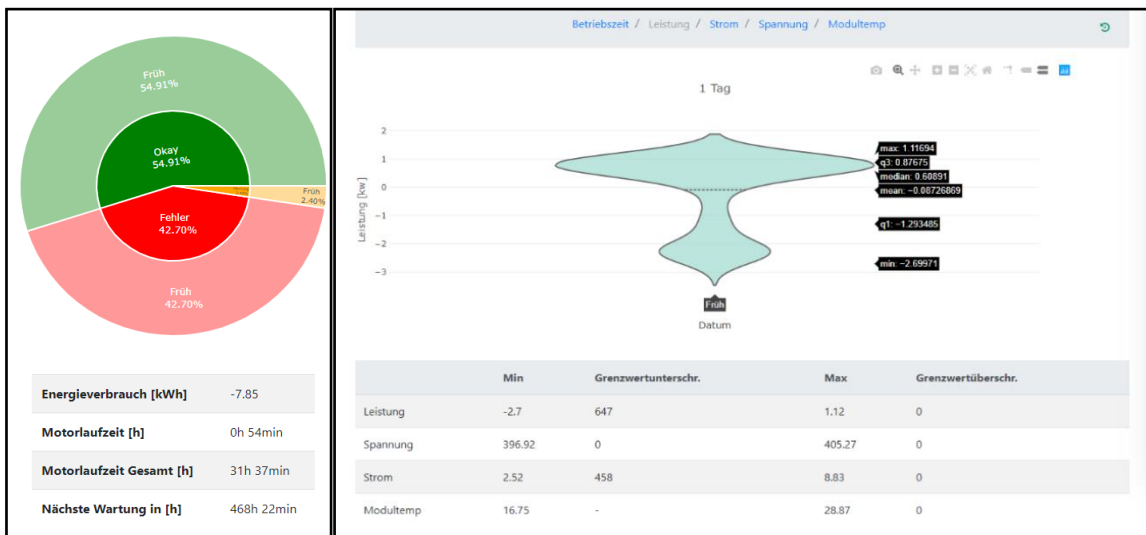


Abbildung 3: Datensatz HyPneu-Motormonitoring Modul

Schwingungen Fehler

Show entries

ID	Value	
203181	4.73	2022-07-05 13:02:24
203592	4.81	2022-07-15 09:43:13
208582	7.6	2022-09-12 08:39:04

Showing 1 to 3 of 3 entries

Abbildung 4: Fehlerhafte Schwingungszustände

AP 4: Q3 Maschinennutzungs- und Risikoindex

AP 4.1: Anforderungsdefinition (technisch-wirtschaftlich) & Konzept für Maschinennutzungs- und Risikoindex

Bei der Erstellung des Lastenhefts war zwischen drei Ausbaustufen des Geschäftsmodells zu unterscheiden. Basis ist immer „Predictive Maintenance“ als Dienstleistung. Zusätzlich kann der

Kunde aus zwei verschiedenen Materialpaket wählen: Verschleißteile exklusiv oder inklusiv Ersatzteile. Wobei die HyPneu Service GmbH auch die Wahlfreiheit hat Bauteile instand zu setzen. Im Prinzip entspricht dieses erweiterte „Sorglospaket“ einer Mängelhaftung/Garantie. Allen gemein, sollte dieses Geschäftsmodell möglichst breit anwendbar sein, nur wenige Ausschlüsse definieren, Ressourcenschonend und automatisierbar sein. Folgende wesentliche Anforderungsebenen wurden identifiziert und definiert. Generell gibt es viele Schnittmengen zwischen den einzelnen Anstrichen. Zusammen sind diese Aspekte wichtig für die Risikokalkulation und Preisbildung.

- Vertragsgestaltung
 - Ausschlüsse zur Risikominderung
 - Sonderkündigungsrecht bei außerplanmäßigen Schadfällen
 - Reaktionszeit bis zum Serviceeinsatz
 - Erfüllungsort
 - Garantierte Anlagenverfügbarkeit
 - Vertragsstrafen
 - Einschränkung auf innere Schäden an
- Kosten Kalkulation
 - Planmäßige und Außerplanmäßige Maßnahmen
 - Lebensdauerkalkulation von Bauteilen
 - Materialerfassung von Fremdanlagen
 - Zustandserfassung von Altanlagen
 - Kostenerfassung je Vertrag
 - Kalkulatorische Weiterentwicklung von Neuverträgen durch Vererbung aus Altverträgen
 - Umgang mit zukünftigen Preissteigerungen
- Personalverfügbarkeit
 - Personalbedarf
 - Personalplanung
 - Verantwortlichkeiten
- Materialverfügbarkeit
- Reaktionsfähigkeit bei ungeplanten Ausfällen - Lieferzeiten
 - Automatisierte Beschaffung für geplante Wartungen
 - Lagerhaltung und Pflege
 - Kapitalbindung
- Risikomanagement
 - Risikoermittlung
 - Poolbildung/Solidarisierung für ungeplante Kosten
 - Umgang mit hochpreisigen Einzelbauteilen
- Fehlermanagement
 - Identifikation und Dokumentation
 - Einpreisung
 - Korrekturmechanismen
- Ressourcen
 - Fuhrpark
 - Fahrzeugbestückung temporär/permanent

AP 4.2: Identifikationsalgorithmen für Maschinennutzung

Zusammen mit den Projektpartnern X-Intergrate, IWU, Visual World und LFM wurde intensiv an einer Preisbildungsarchitektur für das Predictive Maintenance Geschäftsmodell hydraulischer Anlagen gearbeitet. Anders als in der HyPneu GmbH, wo mit einer pauschalierten Gesamtlebenserwartung der Anlage gerechnet wird, über die diese abzuschreiben ist. Basiert das Geschäftsmodell der HyPneu Service GmbH auf dem Lebensdauer Erwartungswert jeder

einzelnen verschleißrelevante Komponente. Da die mögliche Nutzungsdauer und der Wiederherstellungspreis verschiedener Komponenten stark streuen, war eine differenzierte Analyse der Situation erforderlich. Von zentraler Bedeutung der Kostenrechnung ist die Unterscheidung verschiedener Fehlerkategorien, wie in Abbildung 5 dargestellt:

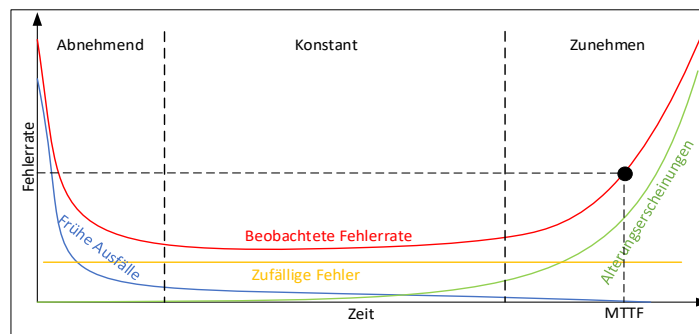


Abbildung 5: Beobachtete stochastische Fehlerrate

Da unsere Anlagen zu 100% geprüft sind, bevor sie den Kunden erreichen, sind wir in der Lage frühe Ausfälle sehr gut zu erkennen. Bei Altanlagen hat sich das Fenster ebenfalls geschlossen. Dieser Fehlertyp ist außerdem von der Gewährleistung des Bauteilherstellers erfasst und hat nur eine vernachlässigbare Relevanz für das Projekt.

Zufällige Ereignisse und Alterungserscheinungen können nur mit stochastischen Mitteln erfasst werden. Da es aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Komponenten nicht möglich ist diese Daten selbst in Versuchen zu ermitteln, war es erforderlich einen anderen Zugang zu finden. Ein praktikabler Ansatz liefert die Zuverlässigkeitsberechnung für Risikobewertungen der Maschinensicherheit im Rahmen von CE-Zertifizierungen. Dort werden MTTF-Werte (mean time to failure) in ihrer Sonderform MTTFd verwendet. Nach IEC 60050 (191) handelt es sich dabei um den Erwartungswert der Zeit bis zum (MTTFd - gefahrbringenden) (Total-) Ausfall. Aufgrund der Verfügbarkeit wurde entschieden beide Werte im Geschäftsmodell zu verwenden. Entsprechend der Definition als Totalschaden tritt eine Untererfassung auf, die durch geeignete Sicherheitsbeiwerte kompensiert werden muss. Nach EN ISO 13849-1 geht man davon aus, dass 50% der Schadensfälle gefahrbringend sind. Der MTTF-Wert ist somit um den Faktor 2 schlechter zu bewerten, als der MTTFd-Wert. Für besonders sicherheitsrelevante Bauteile ermitteln Hersteller diese Werte explizit, zu unkritischen Bauteilen existieren Produktgruppenspezifische Erwartungswerte. Für Produktgruppen, wo keine entsprechenden Werte bekannt sind, müssen Erwartungswerte geschätzt werden. Bauteile die in Normalbetrieb nicht versagen (Tank etc.) werden nicht betrachtet. Da der MTTF-Wert mit einer sehr hohen Überlebenswahrscheinlichkeit von deutlich über 90% rechnet, werden die Kosten linear über die Laufzeit abgetragen. Alle Verschleißteile (Schläuche, Speicher, Dichtungen, ...) werden turnusmäßig getauscht oder gewartet. Teilweise existieren gesetzliche Vorgaben (Schlauch, Speicher), alle anderen Verschleißteile (Dichtungen) werden spätestens nach 6 Jahren ersetzt. Das liefert zumindest eine gute Näherung der erwartenden Lebensdauer und somit Kosten. Anders als in der Sicherheitsberechnung von Anlagen wird jedes Bauteil als separater Kanal betrachtet, da davon ausgegangen werden muss, dass jeder Fehler zu einem Serviceeinsatz führt. Damit konnte die kalkulatorische Basis für die Preisbildung hergeleitet werden. Nachfolgend sind die Berechnungsgrundlagen dargestellt, welche auf drei Ausbaustufen basieren:

- Grundpreismodell: Service und Überwachung ist inkludiert
- Verschleißkostenmodell: Grundpreismodell + Verschleißteile
- Gewährleistungsmodell: Verschleißkostenmodell + Gewährleistung auf alle Bauteile

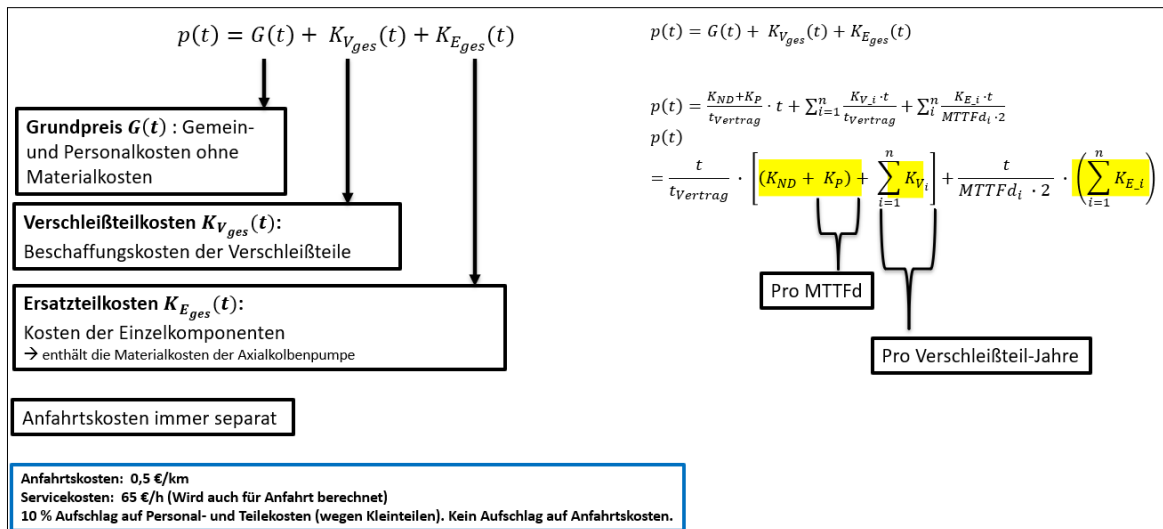


Abbildung 6: Aufbau der Formeln für das Geschäftsmodell der HyPneu Service GmbH

$p(t)$

$$= \frac{t}{t_{Vertrag}} \cdot \left[(K_{ND} + K_P) + \sum_{i=1}^n K_{V_i} \right] + \frac{t}{MTTFd_i \cdot 2} \cdot \left(\sum_{i=1}^n K_{E_i} \right)$$

- $K_{ND} = 30 \frac{\text{€}}{\text{Jahr}} + (65 \cdot 12) \frac{\text{€}}{\text{Jahr}} = 810 \frac{\text{€}}{\text{Jahr}}$
 - 30 $\frac{\text{€}}{\text{Jahr}}$ für Cloud etc.
 - Monatliche Rechnungsprüfung und -erstellung durch Mitarbeiter: Jeweils 1 Stunde bei 65 $\frac{\text{€}}{\text{h}}$
- $K_P = \sum \frac{K_{P_i}}{MTTFd} = \sum \frac{(\text{Servicezeit} \cdot \text{Servicekosten}) \cdot 1,1}{MTTFd}$
- $\sum_{i=1}^n (K_{V_i}) = \sum \frac{K_{V_i}}{\text{Verschleißteiljahre}} = \sum \frac{\text{Listenpreis} \cdot 1,1}{\text{Verschleißteiljahre}}$
- $\sum_{i=1}^n K_{E_i} = \sum (\text{Servicezeit} \cdot \text{Servicekosten}) \cdot 1,1$

$t = 1$ Abrechnungsintervall $\frac{1}{12}$ Jahr

$t_{Vertrag} =$ gesamte Vertragslaufzeit

K_{ND} : Kosten während der Nutzungsdauer

MTTFd: Mean Time To Dangerous Failure

K_P : Personalkosten 1,1 → 10 % Aufschlag

K_{V_i} : Beschaffungskosten des einzelnen Verschleißteils

K_{E_i} : Kosten der Einzelkomponente

Abbildung 7: Anwendung Formel an einem konkreten Beispiel

Die Berechnungsgrundlage für den Maschinennutzungsindex wurde mit Beispieldaten eines 15k€ Aggregates verifiziert. Es konnte nachgewiesen werden, dass der Gewinn der HyPneu Service GmbH über die Vertragsdauer höher liegt, als wenn die Anlage auf Abruf betreut worden wäre. Gleichzeitig sinkt für den Kunden das Ausfallrisiko und er hat kein Wagnis für zufällige Maschinenschäden. In der Abbildung 6, Abbildung 7 und Abbildung 8 ist das entstandene Formelwerk, die Ertragsmechanik und die Ergebnisse dargestellt.

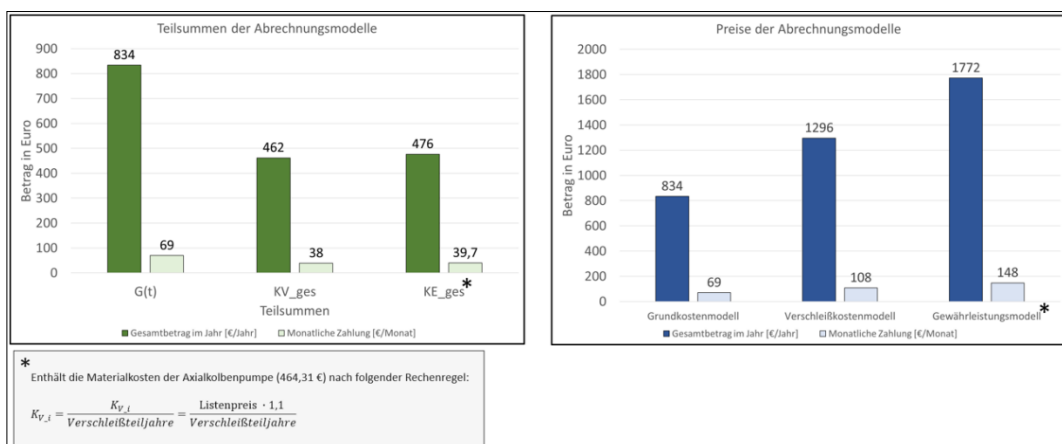


Abbildung 8: jährliche Kosten anhand eines Beispieldatensatzes für die drei Ausbaustufen

Weiterhin wurden die Erkenntnisse und technologischen Anforderungen aus diesem AP in konkrete Formulierungen für den Vertragsentwurf überführt. Ursprünglich sind wir davon ausgegangen, dass der Kunde die Datenhoheit verlangt, dass also keine detaillierten Daten in der Cloud oder auf HyPneu Servern vorhanden sind. Das Geschäftsmodell funktioniert allerdings nur mit dauerhaftem vollständigem Datenzugriff durch die HyPneu Service GmbH. Andernfalls ist es nicht möglich die Vorhersagequalität des Algorithmus zu reifen. Außerdem erlaubt der Datenzugriff missbräuchliche Benutzung der Anlage zu identifizieren und dem Kunden einen besseren Service zu bieten. Zum Beispiel können sich Mehrfachanfahrten durch umfangreiche Dateneinsichten erübrigen

AP 4.3: Methode zur Risikoreduktion bei Produkteinführungen

Ziel dieses Arbeitspunkts war es alle relevanten Faktoren zu identifizieren und nichtabstellbare Effekte in der Kalkulation zu berücksichtigen, so dass die Kosten solidarisiert auf die Kunden umgelegt oder (vertraglich) minimiert werden können. Bereits in der Vergangenheit erfasste die HyPneu Gruppe Geschäftsrisiken auf Kostenträgerauswertungen in Verbindung mit der Verbuchung der Fehlerkosten. Generell stößt jeder Regress nach Rechnungslegung eine derartige Buchung an. Diese Kennzahlen sind verfügbar und werden bei Angebotslegung innerhalb der kalkulierten Gemeinkosten miterfasst und gehen neben der Marge als fester Faktor in das Formelwerk ein. Das Geschäftsmodell „Predictive Maintenance“ weicht aber in vielen wesentlichen Punkten von den bisher praktizierten Geschäftsmodellen der HyPneu Service GmbH ab. Aus diesem Grund war eine erweiterte Analyse erforderlich. Diese bestand aus einer Bewertung der Geschäftsrisiken zusammen mit dem IWU anhand des geplanten Piloten mit Sensorik, aber auch an einer internen Analyse mit Feedback durch erfahrene Service Kollegen. Zusammen mit X-Integrate wurde eine Maske und die dazugehörige Bewertung allgemeiner Pay-Per-X Geschäftsrisiken (z.B. unternehmerisches, juristisches und technisches Risiko) entwickelt und im Nachgang durch individuelle Risiken ergänzt.

Wirtschaftliches Risiko: Benutzeroberfläche

Unterteilungen Risiko
Wirtschaftlich
Juristisch
Technisch

Berechnung des wirtschaftlichen Risikos
Zur Bewertung von Handelsrisiken, Zahlungsverzug und -ausfall

Geschätztes Vertragsvolumen

Vertragslaufzeit in Monaten

In welchem Land wird die Maschine geliefert? (Englische Namen)

Die Auswahl des Landes beeinflusst die juristischen sowie wirtschaftlichen Risiken.

In welcher Branche ist der Vertragspartner tätig?

Die Auswahl der Branche beeinflusst bei den wirtschaftlichen Risiken.

Bilanzsumme des Vertragspartners in Mio Euro

Eigenkapital des Vertragspartners in Mio Euro

Aus der Bilanzsumme und dem Eigenkapital wird die Eigenkapitalquote errechnet, diese dient für weitere Informationen steht die Methodenbeschreibung zur Verfügung.

Das **geschätzte Vertragsvolumen** über die gesamte Laufzeit. Dient als Grundlage für die Höhe des Risikoaufschlages.

Die **vereinbarte Vertragslaufzeit**, falls > 12 Monate wird das Wirtschaftliche Risiko auf ein Jahr berechnet.

Das **Zielland der Maschine** wird. Dies beeinflusst in der RisikoApp die Wirtschaftlichen Risiken im Bereich Zahlungsausfall sowie auch spezifischen Handelsrisiken mit dem Land. Des Weiteren auch juristische Risiken im Bezug auf die Durchsetzungsfähigkeit von Verträgen mit diesem Land.

Die **Branche des Vertragspartners** beeinflusst in der RisikoApp das Risiko des Zahlungsverzuges.

Zusammen ergeben sie die **Eigenkapitalquote**, anhand dieser wird das Zahlungsausfallrisiko mitbewertet.

Abbildung 9: Eingabemaske Risiko-App „Wirtschaftliches Risiko“ Quelle: X-Integrate GmbH

Die Geschäftsmodelle sind bereits in Ihrer Formulierung mit unterschiedlichen individuellen Risiken behaftet. Zum Beispiel das Grundpreismodell inkludiert nur den Wartungsaufwand der Verschleißteile, jegliches Material und Fremdleistungen sind nicht berücksichtigt. Daher hängt das Risiko im Wesentlichen von drei übergeordneten Faktoren ab:

- der Haftbarkeit von verbindlichen Zusagen (z.B. Prognosequalität, Verfügbarkeitszusagen, ...) dem Kunden gegenüber,
- Abweichungen zum vorgeplanten Arbeitsaufwand,
- und verschleißbeschleunigenden Faktoren beim Kunden (defekte Luftfilter, Missbrauch, ...).

Abgeleitete Formulierungen für den Dienstleistungsvertrag wurden vorbereitet. Im Idealfall gelingt es die Haftung komplett auszuschließen. Manipulationen und Missbrauch lassen sich oft nachweisen. Zwar ist die Beweisführung auch mit Kosten und Aufwand verbunden. Im Missbrauchsfall werden aber sowohl die Kosten für den Nachweis, als auch die Servicekosten vertragsgemäß auf den Kunden umgelegt.

Deutlich anspruchsvoller gestaltete sich die Risikobewertung beim Verschleiß- oder Gewährleistungsmodell. Das Risiko des Service-Blocks und der Umgang damit sind identisch mit dem Grundpreismodell. Durch die Materialhaftung steigt das finanzielle Risiko jedoch erheblich an. Risikomindernd wirkt, dass das Material (anders als bei Pay-per-Overage) nicht Eigentum der HyPneu Service GmbH ist. Entsprechend muss keine Sorge dafür getragen werden, dass bei Zahlungsausfall Investitionsgut verloren geht. Folgende Risiken wurden ermittelt, bewertet und in die Architektur des Geschäftsmodells eingearbeitet:

- Kundenrisiko:
 - Manipulation oder Vandalismus (Nachweis oft teuer oder unmöglich) die Beweispflicht liegt aber bei HyPneu
 - Nutzungsänderung der Anlage
 - Fehlbedienung
- Technisches Risiko
 - Ersatzteilverfügbarkeit
 - Fehlerhaft ausgelegte Anlagen (evtl. auch Fremdanlagen)
 - Vorhersagequalität (durch frühe und zuverlässige Prognosen reduzieren sich Folgeschäden und Kosten)

AP 5: Q4 Datenhaltung und Sicherheit

AP 5.1: Analyse und Klassifikation der Daten

Dieser AP war gemeinsam mit der HyPneu GmbH in einer identischen Implementierung zu beantworten. Federführend bei der Entwicklung war die Visual World GmbH. Auf Grundlage der folgenden Erörterung wurden eine prototypische Umsetzung getätigt, welche anschließend mittels der beiden HyPneu Piloten auf Tauglichkeit untersucht wurde:

Man kann die Anforderungen grob in zwei Teile gliedern:

1. Abrechnungsrelevante Daten: Diese Daten sind für die Nutzungs- und Risikoauswertung erforderlich. Die HyPneu Service GmbH kennt abrechnungsrelevanten Daten nur im Sinne zulässiger Betriebsgrenzen z.B. Übertemperatur, etc.
2. Wartungsrelevante Daten: In der HyPneu Gruppe stehen Verschleißindikatoren im Vordergrund, wobei der Pumpe besondere Aufmerksamkeit und Relevanz zukommt. In Zukunft soll es möglich sein, mit den gespeicherten Informationen ein KI-Modell zu trainieren, um einen Pumpenverschleiß vor einem Totalausfall der Maschine zu erkennen. Diese Informationen müssen sehr hochauflösend sein, um eine gute prognostische Qualität zu erreichen.

Für abrechnungsrelevante Daten gilt, dass diese gesetzlich verpflichtend für 10 Jahre zu speichern sind. Um die Nachvollziehbarkeit der Berechnungen zu erhöhen, hat sich gezeigt, dass es sinnvoll ist, auch die Berechnungsgrundlage (Rohdaten) der Indizes zu speichern. Diese Informationen müssen permanent für die Rechnungsbildung in aktuellen Abrechnungszeitraum zur Verfügung stehen. Nach erfolgreicher Abrechnung (Zahlungseingang) ist eine weitere Archivierung fakultativ. Für Analysen im Vorfeld eines Serviceeinsatzes und das Training von KI muss es möglich sein, auf aktuelle (live) und historische Daten zuzugreifen. Zusammengefasst bedeutet für die HyPneu Gruppe:

1. Der abrechnungsrelevante Wirkleistungskanal und der Preisbildungsindex werden prinzipiell vollumfänglich 10Jahre mit einer relativ geringen Auflösung von 1Hz gespeichert.

2. Für alle anderen Kanäle sind individuelle und deutlich verkürzte Speicherfristen bei erheblich höheren Abtastraten möglich und sinnvoll, wobei ein KI-Teaching intermittierend erfolgt, so dass keine langfristige Datenhaltung erforderlich ist. Praktikabel sollte eine Datenbevorratung für 2 Jahre sein. Ggf. wird dauerhaft ein Mitschnitt vom Neuzustand der Maschine aufbewahrt.

Gemeinsam mit dem IWU wurden mit Hilfe einer einfachen Formel die zu erwartende Datenmenge einer Maschine berechnet. Für 10 Parameter á 16 Bit und einer Abtastrate von 1Hz ergibt sich folgende Formel zur Berechnung des Datenvolumens. Diese ist auf beliebige Szenarien skalierbar:

$$10 * 16 \frac{\text{Bit}}{\text{s}} * \frac{1}{d} * 24 * \frac{h}{d} * 60 \frac{\text{min}}{h} * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} * \frac{1}{8} \frac{\text{Byte}}{\text{Bit}} = 1.728.000 \frac{\text{Byte}}{d} \approx 1,65 \frac{\text{MByte}}{d}$$

Im Fall der HyPneu Gruppe besteht das Sensorkit aus 11 Kanälen. Pro Jahr und Maschine fallen dementsprechend ungefähr 600MB abrechnungsrelevante Daten an. Für den 10-Jahres Zeitraum sind das 6GB. Das Volumen der restlichen 10 Kanäle liegt unter einer Auflösung von 10Hz zusammen bei 6GB pro Jahr. In Summe liegt die zu speichernde Datenmenge je Aggregat bei unter 20GB.

Ein postuliertes Kundenmisstrauen äußerte sich auch im Bedenken, dass die Halter der Daten, diese eventuell manipulieren könnten. Es muss demnach sichergestellt werden, dass Daten, die persistiert wurden, nicht von Maschinenmieter oder -vermieter manipuliert werden können, um so Einfluss auf die Abrechnung nehmen zu können. Dazu gibt es verschiedene Lösungsansätze, wie zum Beispiel Hashes.

Zusammenfassend wurden folgende Anforderungen an die Architektur der Datenhaltung des digitalen Notars ermittelt:

- Speicherung unterschiedlicher Datenarten
- Speicherung sehr hoher Datenmengen
- Speicherung von Daten mit hoher Zugriffsrade
- Archivierung der Daten zur Serviceverbesserung und dem Nachweis
- Kostengünstige Unterhaltung des Systems
- Offlinefähigkeit des Hostings

AP 5.4: Schnittstellen und Maschinenanbindung

Dieser AP wurde gemeinsam mit verschiedenen Projektpartnern bearbeitet und spezifisch für die HyPneu Service GmbH unter AP7.1 detailliert. Abschließend liegt eine kostengünstige und sichere Unterhaltung des digitalen Notars im Sinne beider Parteien (Anbieter und Kunde). Im Konsortium gab es Parteien (bspw. Benteler) welche ihre Daten nicht in firmenexterne Netzwerke übertragen möchten. Es muss also möglich sein, die Datenhaltung auch offline nahe der Maschine zu ermöglichen. Daraus ergeben sich die in Abbildung 10 aufgezeigten Hosting Umgebungen:

Die HyPneu Gruppe wird ausschließlich auf die 4. Variante zurückgreifen. Das resultierende Konzept unterscheidet in drei verschiedene Speicherdomänen (Abbildung 11). Der erste Speicher ist ein Pufferspeicher an der Maschine. Dieser dient der Speicherung der Messdaten über bspw. MQTT an der Maschine. Sollte die Verbindung zum zentralen Datenspeicher unterbrochen werden, gehen keine Informationen verloren, da diese in der an der verfügbaren Instanz gespeichert werden. Nachdem die Informationen gespeichert sind, werden diese an einen Arbeitsspeicher in der Cloud oder einem zentralen Server gesendet. Dieser dient der Speicherung der Daten für ein Arbeitsintervall. Dieser ist auf Zugriffe und Verarbeitung optimiert. Problematisch hierbei ist, dass die permanente Verfügbarkeit erhöhte Kosten verursacht, weswegen sich dieser Speicher nicht für eine Archivierung schon fertig verarbeiteter Daten eignet. Die dritte Domäne ist der

Langzeitdatenspeicher. Dieser eignet sich um ausgewertete Informationen für spätere, nachgelagerte Prozesse aufzubewahren.

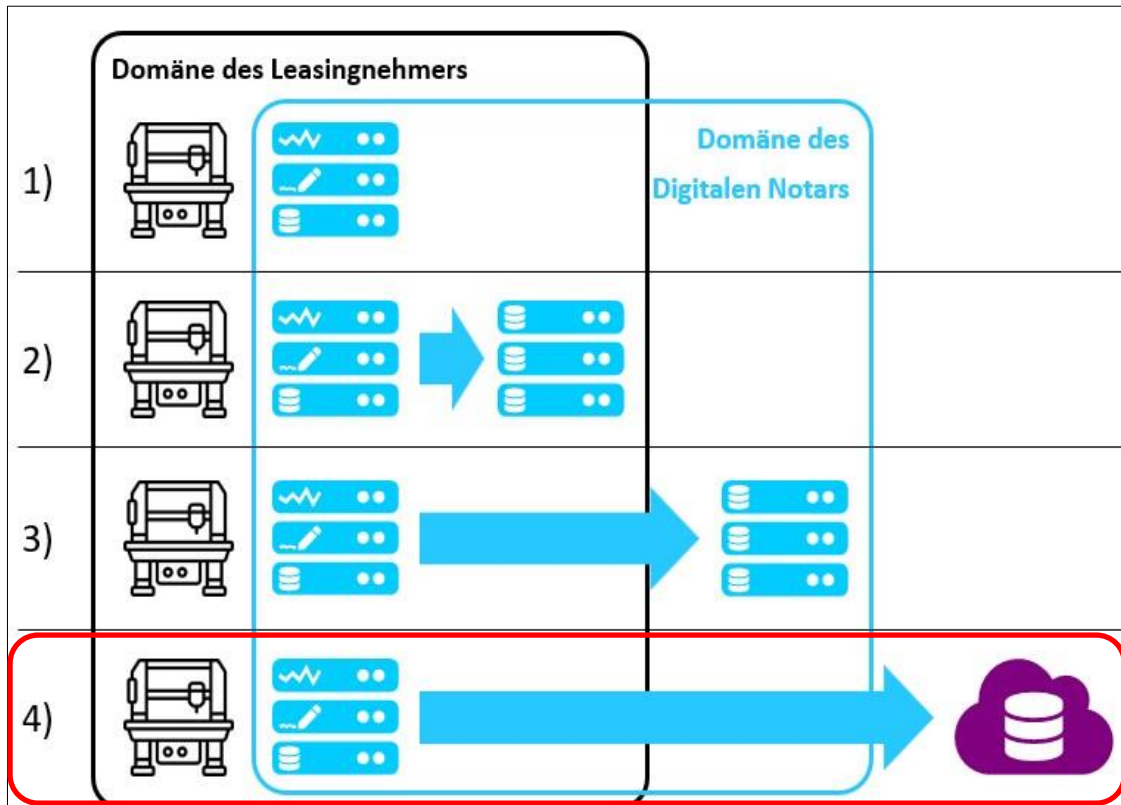


Abbildung 10: mögliche Hostingvariationen – rot HyPneu Gruppe

Um die geforderten Informationen verarbeiten zu können müssen verschiedene Komponenten implementiert werden. Ein lokales Edge-Device dient als Schnittstelle zwischen den Sensordaten und der Datenhaltung und ist direkt an der Maschine installiert. Es dient wie weiter oben genannt als Sammelstelle aller Messdaten an der Maschine und als Vermittler der Informationen an den CloudSpeicher. In der Cloud empfängt die "Core"-Komponente die Informationen und speichert sie zunächst in einer Influx-DB (Arbeitspeicher). Anschließend übermittelt sie die extrahierten Informationen an den Langzeitspeicher (Blob-Storage). Externe Dienste, wie die Augmented Reality-Komponente, können über Schnittstellen sowohl auf historische Daten als auch Live-Informationen zugreifen.

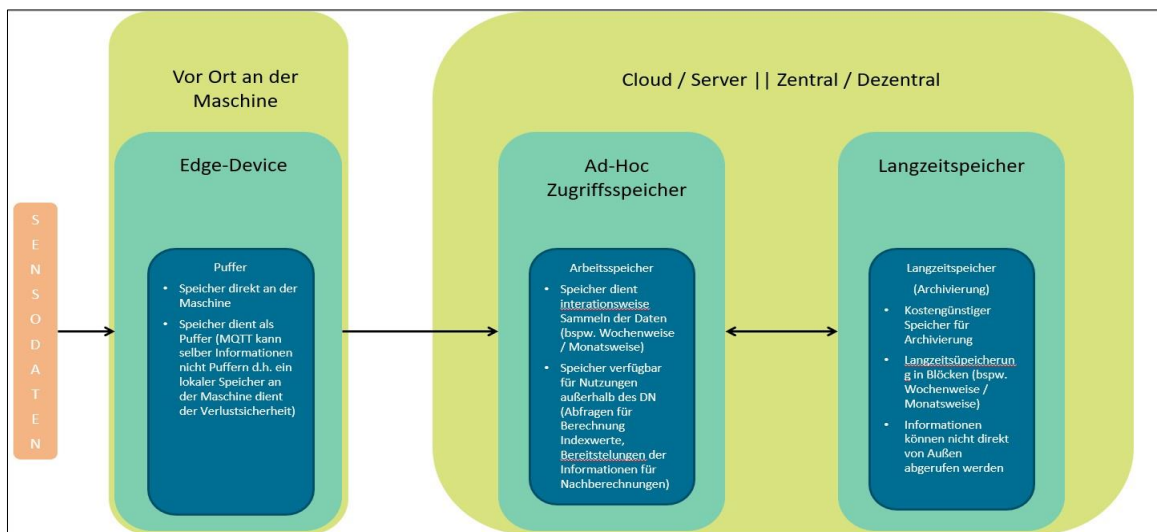


Abbildung 11: Speicherausprägungen des Konzeptes

AP 6: Q6 AR-Service und Prozessassistent

AP 6.4: AR-Interaktionskonzept

Zusammen mit Attenio wurde in diesem Arbeitspunkt das Konzept einer Interaktiven und intuitiven Software- Wartungsunterstützung mit Dokumentationsfunktion für das Predictive Maintenance Geschäftsmodell der HyPneu Service GmbH erarbeitet. Zu diesem Zweck wurde die Anwendungsnotwendigkeit einer AR-Integration für verschiedene ungelöste Problemstellungen analysiert. Die Hauptproblematik im Hydraulikservice ist die nahezu vollständige Abwesenheit von Wartungs- und Reparaturanleitungen für komplexe Bauteile (z.B. verstellbare Axialkolbenmaschinen). Die Weitergabe des personengebundenen Fach- und Erfahrungswissens erfolgt mündlich und birgt viele ungelöste Herausforderungen:

- Subjektivität bei der Bauteilbewertung
- Mitarbeitergebundenes Wissen
- Schulungs- und Einarbeitungsaufwand
- Verbesserungswürdige Dokumentation

Gelöst wurde diese Problematik indem eine eigene AR-Umgebung aufgebaut wurde, in der erfahrene Monteure den Reparaturprozesse dokumentieren und quantifizieren. Erfahrungswissen wird erfasst und konsolidiert (Montagereihenfolge, Gut/Schlecht Szenarien, ...)

- Die Einarbeitungszeit für neue Mitarbeiter wird reduziert
- Bestellvorgänge für Ersatzteile können automatisiert ausgelöst werden
- Das Reparaturergebnis wird für Produkthaftungen und Service dokumentiert
- Messwertedatenbank erlaubt einfache gut/schlecht Beurteilung

Als Supportwerkzeug für Monteure konzipiert, sollen nicht nur Arbeitsabläufe und Montageanweisungen hinterlegt, sondern auch konkrete Entscheidungshilfen geliefert werden. Der Reparaturprozess wird dadurch objektiviert und vereinheitlicht. Die Entscheidungshoheit hatte bisher der (erfahrene) Monteur. Gerade in Zeiten von Personalknappheit ist das ein Problem. Konkret bedeutet das: Abhängig von individuellem Erfahrungswissen wurden Bauteile oder Gruppen als gut oder schlecht eingestuft. Dabei stehen Messmöglichkeiten zur Verfügung um die Bauteilgesundheit zu quantifizieren, ein typisches Beispiel aus einer Axialkolbenpumpe: Die Laufflächen der Steuerscheibe in einer solchen Pumpe weißten mit der Zeit Einlaufspuren auf. Bisher wurde mittels Nagelprobe und subjektivem Empfinden zwischen gut und schlecht unterschieden. Zukünftig erlaubt Messverfahren eine quantifizierte Bewertung. Die Messwerte und Fotos gehen dann in die Dokumentation und Bauteilhistorie innerhalb der AR-Software ein. Das ist eine sehr gute Möglichkeit der Nachvollziehbarkeit im Sinne der Qualitätssicherung, aber auch der technologischen Weiterentwicklung. Wenn eine solche reparierte Pumpe mit einem ähnlichen Fehlerbild erneut ausfällt, kann das System mitlernen und zumindest Vorschläge zur Anpassung der Grenzwerte unterbreiten. Hinterlegte Entscheidungsbäume erlauben es, die Reparatur einzugrenzen, Ursachen zu identifizieren und die Aufwendungen minimal zu halten. Fotos und Messprotokolle aus dem Reparaturprozess und der Wiederinbetriebnahme runden die Funktionalität ab. Abschließend wird das Reparaturergebnis mittels eines Protokolls und der Messkurve, sowie Fotos vom Prüfstand dokumentiert. Allen Ansprüchen aus der Produkthaftung wird dadurch entsprochen.

AP 6.5: Realisierung und Validierung

Umgesetzt wurde dieses Konzept in einem Software-Demonstrator zusammen mit Attenio anhand einer Parker PV Axialkolbenpumpe mit Druckregler. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Ansprüche aus dem AP 6.4 erfüllt werden.

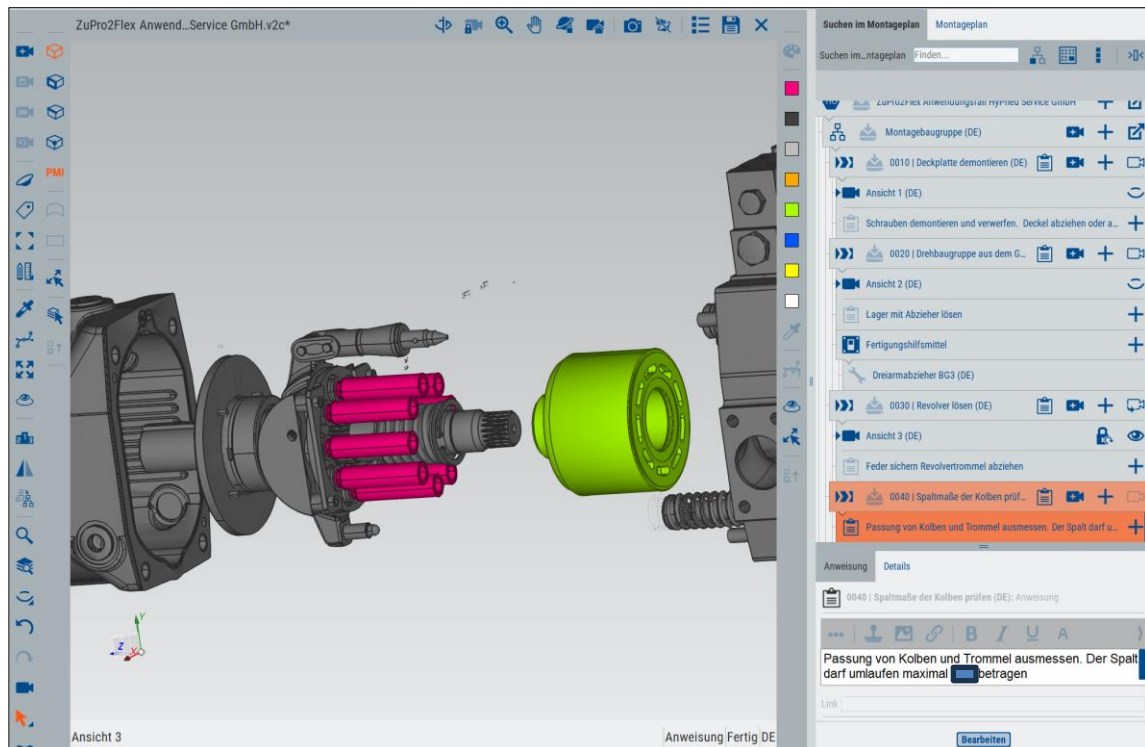


Abbildung 12: Softwaredemonstrator Pumpenservice an einer Parker PV046

AP 7: Q6 Integration

AP 7.1: Schnittstellen und Übertragungsmethode

Zusammen mit Visual Word, X-Integrate und Kieselstein wurde eine gemeinsame Infrastruktur und Systematik entwickelt. Ein wesentliches Ziel war, proprietäre Schnittstellen zu meiden um eine breite Anwendbarkeit und Verfügbarkeit zu gewährleisten. Auch zukünftigen Ansprüchen und Entwicklungen wird damit Rechnung getragen. Auf drei Ebenen war die Konzeption geeigneter Protokolle erforderlich.

1. Datenverbindung vom Sensor zum EDGE Device mit IoT-Schnittstelle,
2. Datenverbindung (IoT-Schnittstelle) vom EDGE Device zum Cloud-Dienstleister und
3. Cloud-Dienstleister zur ERP-Software für die notwendige Abrechnung.

Eine direkte Anbindung der Sensoren an eine Cloud ist aus mehreren Gründen nicht sinnvoll oder möglich, auch wenn einige Typen das unterstützen:

1. Cloudfähige Sensoren sind überproportional teuer und damit für das Geschäftsmodell der HyPneu unwirtschaftlich.
2. Es ist nicht sinnvoll mehrere parallele Datenströme aufzubauen (Zeitsynchronisierung, kostenpflichtige Zugriffe -> Bündelung, asynchrone Auflösung, ...),
3. Datensicherheit (puffern von Daten um Verbindungsfehler zu kompensieren)
4. Digitaler Notar für Abrechnung (Vertrauensbildung und Beweiskraft).

Aus diesem Grund läuft immer ein (MQTT-) EDGE Device beim Kunden, der die Datenströme bündelt und die korrekte Übertragung zur Cloud gewährleistet. Die dreistufige Übertragungsmethode baut sich wie folgend auf:

Auf der Sensorseite ist eine IO-Link Schnittstelle erforderlich. Das hat den Vorteil, dass diese Sensoren bereits über eine digitale Schnittstelle kommunizieren und aus der Ferne konfigurierbar sind. Durch den Entfall analoger Schnittstellen und teurer DA/AD-Wandler gehört diese Ausführung zu den günstigsten am Markt und sind in der Breite von verschiedenen Herstellern verfügbar. Ein

IO-LINK-Master reicht den Sensorwert hochaufgelöst auf Intranet-Ebene an das EDGE Device weiter. Nach diesem verlassen die Daten das Kundennetz.

Das EDGE Device kommuniziert über eine IoT-Schnittstelle mit dem Clouddienstleister. Entsprechend der definierten Ansprüche findet die MQTT Schnittstelle Anwendung. Das Protokoll ist offen, sehr stabil und fehlertolerant. Aber auch OPC UA stand zur Diskussion. Von großer Bedeutung ist, dass die HyPneu Gruppe bereits eine eigene Infrastruktur, Clients und Cloudanwendungen mit dem MQTT-Protokoll aufgebaut hat.

Die Möglichkeit einer direkten ERP-Integration wurde für HyPneu untersucht, jedoch zum aktuellen Zeitpunkt verworfen. Das schließt die Integration zu einem späteren Zeitpunkt allerdings nicht aus. Die erforderlichen Grundlagen liegen durch das Forschungsprojekt vor.

AP 7.2: Anforderungen und Umsetzungsstrategie zur Integration in bestehende Strukturen (BDE- und ERP)

Eine unmittelbare Integration in das bestehende ERP-System ist nicht trivial und kosteneffizient möglich. Deutlich zweckmäßiger und günstiger ist es, die bestehenden Programmierungen zu nutzen. Über vorhandene Eigenprogrammierungen und Sammelordner mit Schnittstelle zum ERP-System erfolgt die Auftragsbearbeitung. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet das: Der digitale Notar versendet pro Vorgang eine E-Mail an ein eigens dafür eingerichtetes Konto. Ein Sachbearbeiter pflegt diese Mails. Der Datenimport erfolgt dann durch Exceltabellen mit SQL-Anbindung über ODB-Schnittstellen.

AP 7.3: Adaptionmöglichkeiten der Front-End-Schnittstellen & Erprobung an Pilotanlagen

Die Struktur des digitalen Notars wurde anhand der Integrationsmöglichkeiten innerhalb des Systems analysiert. Dabei wurden Möglichkeiten zur Datenanfrage und -analyse diskutiert. Diese Schnittstellen wurden anschließend auf die Demonstratoren übertragen, um ihre Implementierung und Tests zu evaluieren.

AP 8: Pilot 2 – „Maschine und Service“ Demonstrator: Hydraulikaggregat/Drahtziehanlage

AP 8.1: Pilotanlage – Auswahl und Bewertung

Zusammen mit Kieselstein wurde deren Prototypenanlage als Demonstrator ausgewählt und Qualifiziert. Von großem Vorteil für die Firma HyPneu war, dass das betreffende Hydraulikaggregat ursprünglich durch die HyPneu produziert wurde. Es waren also der vollständige Datensatz sowie ein Großteil der Maschinenhistorie bekannt.

AP 8.2: Qualifizierung der Pilotanlagen

Das Sensorkit wurde auf die Anlage angepasst und physisch integriert. In Abbildung 13 ist dieses Aggregat dargestellt. Enthalten sind alle Sensoren der Abbildung 14.

Zusammenfassend kann zum Demonstrator Hydraulikaggregat festgestellt werden:

- Die eingesetzte Sensorik / Messstrecke ist für das geplante Geschäftsmodell geeignet.
- Die analysierten Werte waren alle plausibel.
- Die Abtastrate beträgt 1Hz und ist für des Geschäftsmodells ausreichend
- Anhand der Verbrauchsdaten konnte auf einen erhöhten Verschleiß der auch optisch deutlich gealterten Pumpe geschlossen werden.



Abbildung 13: Pilot HyPneu

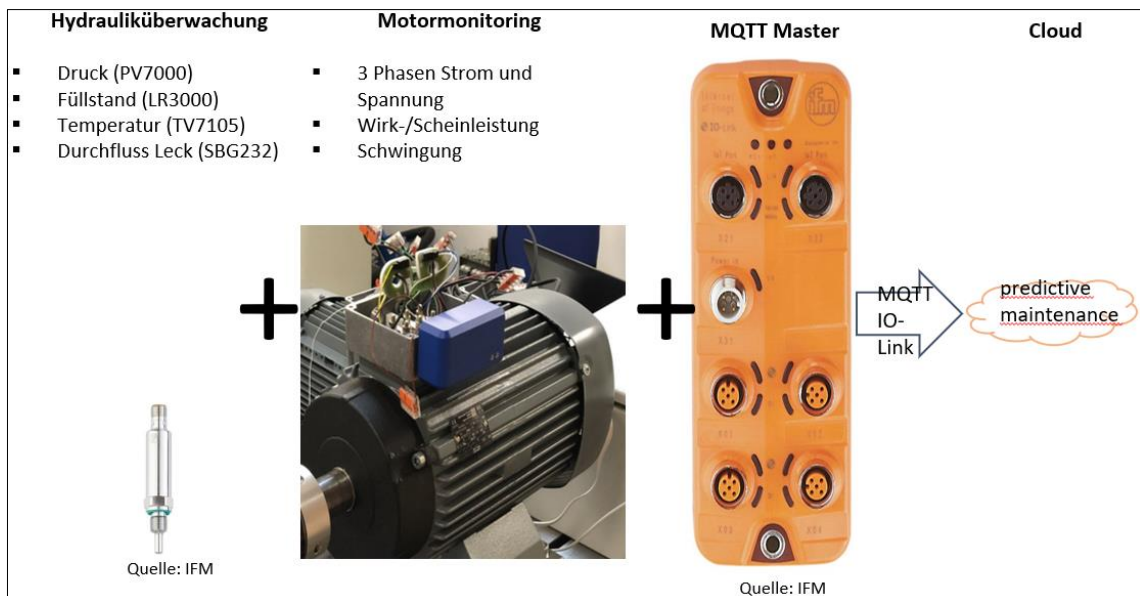


Abbildung 14: Sensorkit HyPneu

AP 8.3: Erprobung und Demonstrationsbetrieb

Bei den Versuchen ist aufgefallen, dass der gemeinsame Demonstrator am Hydraulikaggregat aufgrund des kontinuierlichen Prozesses ein sehr ungewöhnliches Lastprofil, nahe der Konstantlast, aufweist. Aus diesem Grund wurde über Simulationen in Modelica weitere, diskontinuierliche Lastprofile entwickelt und mittels Drosselventils aufgeprägt. Bei einer Nennleistung von 7,5kW beinhaltete das Profil auch gezielt Überlastspitzen, um eine Fehlfunktion zu simulieren und Servicemaßnahmen anzustoßen. Mit diesen Versuchen konnte die korrekte Funktion der Geschäftsmodellarchitektur nachgewiesen werden. Die Abbildungen 15 bis 19 zeigen die relevanten Daten eines Versuchs.

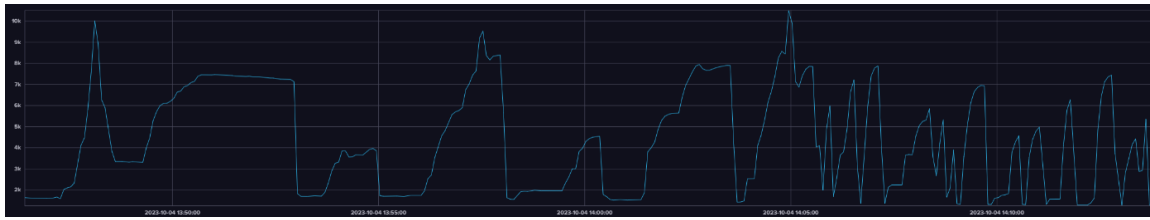


Abbildung 15: Leistungsaufnahme - Pilot 2



Abbildung 16: Druck - Pilot 2



Abbildung 17: Lecköl - Pilot 2

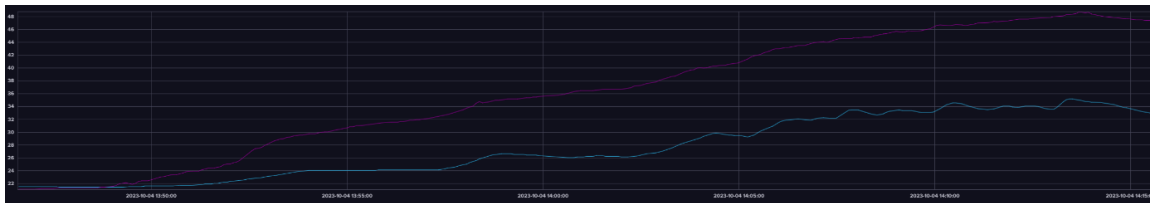


Abbildung 18: Temperatur im Tank - Pilot 2



Abbildung 19: Schwingung mit verschiedenen Ableitungen - Pilot 2

AP 9: Transfer

AP 9.1: Veröffentlichungen

Pressemitteilungen

- Impuls FH SWF (11/2020): Spitzenforschung kommt nach Iserlohn

Publikationen in Fachzeitschriften:

- Robin Kurth, Chris Drechsler, Steffen Ihlenfeldt, Rainer Labs, Michael Marré, Marek Havlicek, Nutzungsdauerbasierte Geschäftsmodelle in der Produktion in: wt Werkstattstechnik online , Jg. 111 (2021), Heft 7-8, Seite 548 – 552, ISSN online: 1436-4980 , doi.org/10.37544/1436-4980-2021-07-08-80
- Mohaned Alaluss, Chris Drechsler, Robin Kurth, Rainer Labs, Anton Mauersberger, Steffen Ihlenfeldt, Michael Marré, Produktion mit Vertrauen: Konzept eines digitalen Notars/Production based on trust: Scheme of a digital notary – Transparency in pay-per-use models using a digital notary while ensuring business confidentiality in: wt Werkstattstechnik online , Jg. 112 (2022), Heft 4, Seite 253 – 257, ISSN online: 1436-4980, doi.org/10.37544/1436-4980-2022-04-53
- Mohaned Alaluss, Chris Drechsler, Robin Kurth, Anton Mauersberger, Steffen Ihlenfeldt, Michael Marré, Rainer Labs: Usage-based leasing of complex manufacturing systems: A method to transform current ownership-based into pay-per-use business models. Procedia CIRP, Volume 107, 2022, Pages 1238-1244, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.138>.
- Konferenzbeitrag, Prof. Dr.-Ing. Michael Marré: Digitalization in forging – data, devices and deals. Vortrag auf der Conference: EUROFORGE Spring Forum, Stirin, Czech Republic, May 2022.

Vorträge/öffentlicher Auftritt

- Im Rahmen von Transfermaßnahmen wurde am Ersten Koordinierungstreffen der 13 Verbundprojekte in der Fördermaßnahme "Internetbasierte Dienstleistungen" teilgenommen (Netzwerken).
- Die Projektpräsentation bei der Veranstaltung „HighTech meets HighTouch“ wurde unterstützt.
- Teilnahme an Abschlussveranstaltung zu Abschluss der Förderrichtlinie „Internetbasierte Dienstleistungen“ (BMBF) („Datenorientierte Wertschöpfung nachhaltig gestalten“) in Kassel am 20.06.2023 an der Universität Kassel mit eigenem Stand der Konsortialpartner.
- Konferenzbeitrag, Prof. Dr.-Ing. Michael Marré: Digitalization in forging – data, devices and deals. Vortrag auf der Conference: EUROFORGE Spring Forum, Stirin, Czech Republic, May 2022.

AP 9.4: Netzwerken

Im Rahmen der Konsortien-Webseite werden die Ergebnisse und Erkenntnisse veröffentlicht. Ebenfalls wird das Projekt mit unseren Partnern und Kunden erörtert.

Des Weiteren wird das Projekt über Linked-In und Blogs, wie dem Fraunhofer-Blog „Kognitive Produktion“ publiziert.

Siehe unter AP 9.1 die aufgeführten Vorträge/öffentlichen Auftritte.

AP 10: Projektmanagement

HyPneu Service hat den Projektkoordinator HyPneu GmbH durch aktive Mitarbeit in gemeinsamen Workshops und Abstimmungsrunden sowie durch die Bereitstellung aller für die Projektkoordination notwendigen Informationen unterstützt.

II.5 Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Die HyPneu Service GmbH als Dienstleister profitiert auch außerhalb von „Predictive Maintenance“ an Hydraulikanlagen im Bereich verschiedener Beteiligungsstrategien und der Pumpenreparatur. Erfahrungswissen kann zukünftig leichter gesichert, der Reparaturablauf und die Dokumentation nachhaltig verbessert werden.

II.6 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Projektergebnisse erfüllen die im Antrag geführten Projektziele und dokumentieren die prinzipielle Realisierbarkeit der beiden untersuchten und entwickelten Geschäftsmodelle. Dementsprechend bereitet die HyPneu die Markteinführung entsprechend des beantragten Verwertungsplans, zuzüglich der dokumentierten Verzögerungen vor. Eine Detaillierung findet sich im Erfolgskontrollbericht Teil III.

Patente oder Schutzrechte wurden nicht angemeldet.

II.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes

- Konferenzbeitrag, Prof. Dr.-Ing. Michael Marré: Digitalization in forging – data, devices and deals. Vortrag auf der Conference: EUROFORGE Spring Forum, Stirin, Czech Republic, May 2022.
- Vorstellung der Ziele und Potentiale von *ZuPro2Flex* beim Wirtschaftsgespräch Plettenberg als Veranstaltung der SIHK, 09.08.2023.
- Vorstellung der Ziele und Potentiale von *ZuPro2Flex* beim Laborgespräch "Massivumformung" am 07. September 2023 in Iserlohn als Veranstaltung von *Atlas – Automotive Transformationsplattform*. Siehe hierzu: <https://atlas-swf.de/kalender/laborgespraech-massivumformung/>
- Vorstellung der Ziele und Potentiale von *ZuPro2Flex* bei der Abschlusskonferenz „Datenorientierte Wertschöpfung nachhaltig gestalten“, Kassel, 20.06.2023.
- Vorstellung und Diskussion der Ziele und Potentiale von *ZuPro2Flex* beim Thementag „Flexible digitale Geschäftsmodelle für die Produktionstechnik“, Chemnitz, 11.04.2024.

II.8 Veröffentlichungen, Vorträge Referate, etc.

Veröffentlichungen:

- (1) Kurth, R.; Drechsler, C.; Ihlenfeldt, S.; Labs, R.; Marré, M.; Havlicek, M.: Nutzungsdauerbasierte Geschäftsmodelle in der Produktion, *Werkstattstechnik online*, S. 548–552, 2021.
- (2) Alaluss, M.; Drechsler, C.; Kurth, R.; Mauersberger, A.; Ihlenfeldt, S.; Marré, M.; Labs, R.: Usage-based leasing of complex manufacturing systems: A method to transform current ownership-based into pay-per-use business models, *Procedia CIRP*, Volume 107, 2022, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.138>.
- (3) Alaluss, M.; Drechsler, C.; Kurth, R.; Labs, R.; Mauersberger, A.; Ihlenfeldt, S.; Marré, M.: Produktion mit Vertrauen: Konzept eines digitalen Notars, *wt Werkstattstechnik online*, S. 253 – 257. VDI Fachmedien, 2022, DOI:10.37544/1436-4980-2022-04-53.
- (4) Kurth, R.: Aus Daten wird Business – Neue Geschäftsmodelle für komplexe Produktionssysteme, Blog #kognitiveProduktion, Fraunhofer IWU, 05.07.2022, Verfügbar unter: <https://www.kognitive-produktion.de/aus-daten-wird-business-neue-geschaeftsmodelle-fuer-komplexe-produktionssysteme/>, Zugriff am: 19.01.2024

- (5) Alaluss, M.; Kurth R.; Drechsler, C., Ihlenfeldt, S.: Resiliente Produktion durch digitale Geschäftsmodelle, *SERVICETODAY* 3/22: Geschäftsmodelle für den Service der Zukunft entwickeln, 2022.
- (6) Kurth, R.; Alaluss, M.; Tehel, R.; Reichert, W.; Ihlenfeldt, S.: Towards Cognitive Forming Machines: Utilization of Digital Twin-Based Virtual Sensors, *Engineering Proceedings*, 2022; 26(1):10. DOI: 10.3390/engproc2022026010.
- (7) Stolle, H.: Pay-per-X: Wie flexible Bezahlmodelle zur Maschinennutzung funktionieren können, *MM Maschinenmarkt*, 12.06.2023, Verfügbar unter: <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/wie-flexible-bezahlmodelle-zur-maschinennutzung-funktionieren-koennen-a-f56e4c25ee28a9d482ccde751f6e66ec/>, Zugriff am: 19.01.2024.
- (8) Kurth, R.; et al.: Zustandsbewertung und Prozessassistenz für nutzungsdauerbasierte Geschäftsmodelle zur Flexibilitätssteigerung, In: *INNOVATIONEN FÜR DATENBASIERTE WERTSCHÖPFUNG*, Abschlusspublikation, Verfügbar unter: https://susie-hub.de/wp-content/uploads/2023/06/ING_Abschlusspublikation_WEB.pdf, Zugriff am: 15.04.2024.
- (9) Alaluss, M.; Kurth, R.; Mauersberger, A.; Drechsler, C.; Ihlenfeldt, S.: An assessment method of machine components for usage-based value creation in complex manufacturing systems, In: *56th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, *Procedia CIRP* 120, S. 224-229, 2023, DOI: 10.1016/j.procir.2023.08.040.

Vorträge

- (10) Alaluss, M.; et al.: Usage-based leasing of complex manufacturing systems: A method to transform current ownership-based into pay-per-use business models, In: *55th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 29th June – 1st July 2022, Lugano, Switzerland.
- (11) Marré, M.: Digitalization in forging – data, devices and deals, In: *EUROFORGE Spring Forum*, Stirin, Czech Republic, May 2022.
- (12) Kurth, R.; et al.: Towards Cognitive Forming Machines: Linking Manufacturing System Knowledge and IoT, Vortrag, In: *28th Saxon Conference on Forming Technology SFU*, 03 November 2022.
- (13) Alaluss, M.; et al.: An assessment method of machine components for usage-based value creation in complex manufacturing systems, In: *56th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 24 - 26 October 2023, Cape Town, South Africa.
- (14) Kurth, R.: Agil und effizient: Neue Geschäftsmodelle als Enabler für die Produktionstechnik, Vortrag, In: *Thementag Flexible digitale Geschäftsmodelle für die Produktionstechnik*, Chemnitz, 11.04.2024.
- (15) Fründ, J.: Pay-per-Stroke – ein nutzungsbasiertes Abrechnungsmodell: Voraussetzungen und Implementierung von nutzenbasierten Abrechnungsmodellen in der Automobilzulieferindustrie, Vortrag, In: *Thementag Flexible digitale Geschäftsmodelle für die Produktionstechnik*, Chemnitz, 11.04.2024.
- (16) Walther, T.: Innovative Geschäftsmodelle für KMU – Pay-per-Use in der Induktionserwärmung, Vortrag, In: *Thementag Flexible digitale Geschäftsmodelle für die Produktionstechnik*, Chemnitz, 11.04.2024.

Tagungen, Konferenzen, Thementage und Messen

- (17) Projektpräsentation bei der Veranstaltung „HighTech meets HighTouch“, 08.11.2021, Nürnberg.
- (18) Projektpräsentation bei der HMI, Juni 2022.

- (19) Projektpräsentation bei der Fachtagung „Stanzen und Umformtechnik“, Juni 2022, Chemnitz.
- (20) Projektpräsentation beim Thementag Intelligente Komponenten für den Maschinenbau, Chemnitz, Juni 2022.
- (21) Organisation und Teilnahme an 28. Sächsische Fachtagung Umformtechnik, Chemnitz, 02. – 03.11.2022.
- (22) Teilnahme und Projektpräsentation bei der Abschlusskonferenz „Datenorientierte Wertschöpfung nachhaltig gestalten“, Kassel, 20.06.2023.
- (23) Teilnahme an Netzwerktreffen Pressentechnik organisiert durch Fa. HYDAC, September 2023.
- (24) Organisation und Teilnahme am Thementag „Flexible digitale Geschäftsmodelle für die Produktionstechnik“, Chemnitz, 11.04.2024.

II.9 Literaturverzeichnis

- [1] Hydac International: Predictive maintenance strategy. https://www.hydac.com/uploads/media/E_FS_predictive_maintenance_magazin_HMI_2016_LQ.pdf, abgerufen am: 09.12.2019
- [2] Bosch Rexroth: Die Zukunft der Hydraulik hat begonnen. <https://www.boschrexroth.com/de/de/produkte/produktgruppen/industriehydraulik/themen/aggregate/zukunft-der-hydraulik/zukunft-der-hydraulik-index>, abgerufen am: 09.12.2019
- [3] IFM: Hydraulik macht Schweres leicht. <https://www.ifm.com/at/de/applications/090/hydraulik.html>, abgerufen am: 09.12.2019
- [4] Willkomm, J.: Modellprädiktive Optimierung drehzahlvariabler Verstellpumpen, TU Dresden Dissertation. Dresden, 2016
- [5] Münchhof, M.; Isermann, R.: Fault Detection and Diagnosis of a Linear Hydraulic Servo Axis. IFAC Proceedings Volumes, S. 861–866, 2004
- [6] Lessmeier, C.: Datenbasierte Zustandsüberwachung von Wälzlagerschäden in elektromechanischen Antriebssystemen. Dissertation, 2017
- [7] Klein, H.: Zustandsüberwachung von Rollen-Profilschienenführungen und Kugelgewindetrieben. Dissertation, 2011
- [8] Rittmeier, S.: Systemunterstützte Umformung. Dissertation, 2007
- [9] Huf, A.: Kumulative Lastermittlung aus Antriebsdaten zur Zustandsbewertung von Werkzeugmaschinenkomponenten. Dissertation, 2012
- [10] Schopp et al.: Steigerung der Verfügbarkeit durch Überlastbegrenzung und Prozessparallele Last- und Verschleißüberwachung (OPTILAST). Aachen: Apprimus Verlag, 2009
- [11] Kosch, G.: Konstruktion eines Umformwerkzeuges für Schmiedeversuche zum Training eines künstlichen neuronalen Netzes. https://www.umformtechnik.net/binary_data/110201_knn1_ifum_kosch.pdf
- [12] DIN SPEC 33453:2019-09. Entwicklung digitaler Dienstleistungssysteme, 2019
- [13] Brecher, C. et al.: Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer. Heidelberg: Springer, 2011

- [14] Gassmann, O., Frankenberger, K.; Csik, M.: Geschäftsmodelle entwickeln. 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. Hanser eLibrary. München: Hanser, 2013
- [15] Neugebauer, R.: Verfügbarkeit von Produktionssystemen. Tagungsband, Chemnitz, 2009
- [16] Boge, C.: Methoden zum Entwurf und Implementierung von prozeßorientierten Überwachungsverfahren für die Fertigungstechnik. Aachen: Shaker Verlag, 1994
- [17] Emmrich, V. et al.: Geschäftsmodell-Innovationen durch Industrie 4.0, 2015
- [18] Grupp, M.: Vorteile von Pay-per-Use im Maschinenbau. <https://industrieanzeiger.industrie.de/management/vorteile-von-pay-per-use-im-maschinenbau/>, abgerufen am: 28.11.2019
- [19] Kans, M.; Ingwald, A.: Business Model Development towards Service Management 4.0. Procedia CIRP, S. 489–494, 2016
- [20] Aurich, J. et al.: PSS 4.0 – Einflüsse von Industrie 4.0 auf Produkt-Service Systeme. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, S. 565–568, 2016
- [21] Nold: Service Hydraulikanlagen. <https://www.nold.de/service-hydraulikaggregate.html>, abgerufen am: 13.01.2020
- [22] Voortmann: Hydraulik Service. <https://www.voortmann.de/hydraulik/hydraulik-service>, abgerufen am: 13.01.2020