



BMBF-Verbundprojekt: KI-MUSIK4.0

Teilvorhaben:

**Embedded Algorithmen für die echtzeitfähige Daten und
Informationsverarbeitung**

zum Gesamtvorhaben:

**KI-MUSIK4.0: Mikroelektronik-basierte universelle Sensor-
Schnittstelle mit Künstlicher Intelligenz für Industrie 4.0**

Firma: Knowtion GmbH
Autor: Dr. Thomas Kopfstedt
Datum: 27.06.2024

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen **16ME0073** gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Einführung	2
1.1	Gesamtziel des Vorhabens und Motivation	2
1.2	Bezug des Teilvorhabens zu den förderpolitischen Zielen	3
1.3	Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Teilvorhabens	4
1.4	Arbeitsplan	5
1.5	Zeitlicher Ablauf	6
2	Projektdurchführung	7
3	Zusammenfassung	15
3.1	Ergebnisübersicht.....	15
3.2	Detaillierte Ergebnisse.....	16
4	Fortschreibung Verwertungsplan – Ergänzende Information	17
4.1	Gemachte Erfindungen, vorgenommene Schutzrechtsanmeldungen, erteilte Schutzrechte	17
4.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende.....	17
4.3	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende	18
4.4	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit.....	18
4.5	Zahlenmäßiger Nachweis	18
4.6	Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	19
5	Abbildungsverzeichnis	20



1 Allgemeine Einführung

1.1 Gesamtziel des Vorhabens und Motivation

Das übergeordnete Ziel des Gesamtvorhabens war die Entwicklung und Realisierung autonomer, hochintegrierter Multisensor-Systeme mit verteilter dezentraler echtzeitfähiger Daten- und Informationsverarbeitung basierend auf Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) und des maschinellen Lernens (ML). Die vollständige Durchdringung der realen Welt mit intelligenten Sensorsystemen, die autonom agieren und lokal wichtige Information extrahieren, ist essentiell, um auch übergeordnete lernende Systeme verlässlich mit relevanten Kontextinformationen zu versorgen und um Entscheidungen auf Basis eines möglichst exakten Zustandsabbilds einer Produktionsanlage zu treffen.

Die Integration von intelligenten Algorithmen als Softwaremodule direkt in die Sensorsysteme birgt ein enormes Wertschöpfungspotential. Durch die Verfügbarkeit höherwertiger, relevanter Informationen („Smart Data“), die von verteilten intelligenten eingebetteten Sensorsystemen bereitgestellt werden, lassen sich Steuerungsprozesse auf höheren Systemebenen effizienter, flexibler und autonomer gestalten. Beispiele hierfür sind die Anpassung von Prozessparametern wie des Vortriebs einer Fräsmaschine, wenn einsetzender Verschleiß des Werkzeugs „erkannt“ wird, oder die Erkennung der Ursache für einen unerwarteten Werkzeugverschleiß durch nicht exakte positionierte Werkstücke.

Basierend auf den in der Gesamtvorhabensbeschreibung genannten Zielen haben sich für das Teilvorhaben die folgenden Ziele ergeben:

- Erweiterung des Knowhows: In diesem Teilvorhaben wurden KI-Algorithmen entwickelt, die praxisrelevante Aspekte berücksichtigen. Hierfür waren intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für die echtzeitfähige Daten- und Informationsverarbeitung in Produktionsanlagen notwendig. Hierbei haben wir unser Knowhow und unser Alleinstellungsmerkmal tiefes theoretisches und praktisches Verständnis im Bereich maschineller Lernverfahren für die Überwachung und



prädiktive Wartung von Produktionsanlagen, weiter ausgebaut.

- **Produktentwicklung:** Die im Teilvorhaben erzielten Ergebnisse sollen in die Weiterentwicklung des Software-Produkts Anominer von Knowtion zur automatischen Erkennung von Ausreißern und Störungen in Prozessen und Produktionsanlagen einfließen. Die Verbesserung sollen einen robusteren, effizienteren und flexibleren Einsatz ermöglichen. Weiterhin ist geplant eine Version zu entwickeln, die direkt im Sensorsystem integriert werden kann und somit die Funktionalität des Anominer lokal ohne aufwändige Infrastruktur bereitstellt.
- **Markteintritt und Partnerschaft:** Mit Hilfe dieses Teilvorhabens haben wir uns einen Zugang zum Markt der Produktionsanlagen erarbeitet. Das Ziel war es, aus diesem Teilvorhaben heraus zukünftige Umsätze mit unseren Produkten und Dienstleistungen zu generieren und Partnerschaften zu gewinnen.

1.2 Bezug des Teilvorhabens zu den förderpolitischen Zielen

Die in diesem Teilvorhaben erforschten und entwickelten Algorithmen zur echtzeitfähigen Daten- und Informationsverarbeitung basieren auf Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) und des maschinellen Lernens (ML) und wurden direkt auf der Mikroelektronik von verteilten Sensorsystemen als eigenständige und autonome Software-Module integriert. Dadurch wurde ein signifikanter Beitrag für die folgenden in der Ausschreibung genannten Forschungsbedarfe geleistet:

- Leistungsfähige und aufeinander abgestimmte Hardware- und Softwarekomponenten zur energieeffizienten Datenerfassung und –verarbeitung,
- Dezentrale Datenverarbeitung sowie Maßnahmen zur Datenreduktion und Datenvorverarbeitung für Echtzeit-Prozesssteuerung,
- Sensordatenfusion,
- Messverfahren und Sensorkonzepte.

Es wurden darüber hinaus mit den Zielen des Teilvorhabens mehrere der genannten Zielstellungen aus der Bekanntmachung adressiert:

- Steigerung der Effizienz, Flexibilität und Individualität in der Produktion und Logistik,



- Steigerung der Autonomie von Produktionsanlagen,
- Prädiktive Wartung von Produktionsanlagen und verbesserte Überwachung von Industrieprozessen,
- Steigerung der Energieeffizienz von Sensorsystemen bis hin zur Energieautarkie.

Zudem unterstützen die in diesem Teilvorhaben durchgeführten Arbeiten die Hightech-Strategie 2025 der Bundesregierung besonders im Bereich der technologischen Basis und somit die Mission, Künstliche Intelligenz in die Anwendung zu bringen.

1.3 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Teilvorhabens

Das wissenschaftliche und technische Ziel dieses Teilvorhabens war die Erforschung, Entwicklung und Umsetzung von KI-Methoden, die eine effiziente Implementierung von verteilter Intelligenz bis hin zu autonomen Systemen in Industrie 4.0 gewährleisten. Dabei sollten wichtige, praxisrelevante Aspekte der Zuverlässigkeit und Robustheit sowie der Echtzeitfähigkeit bei der Entwicklung entsprechender KI-Methoden eine signifikante Bedeutung zukommen. Durch die Modularität der KI-Methoden und deren Umsetzung in Softwarekomponenten wurde eine hohe Flexibilität ermöglicht und dadurch ein signifikanter Beitrag zu deren Transparenz und Nachvollziehbarkeit geleistet.

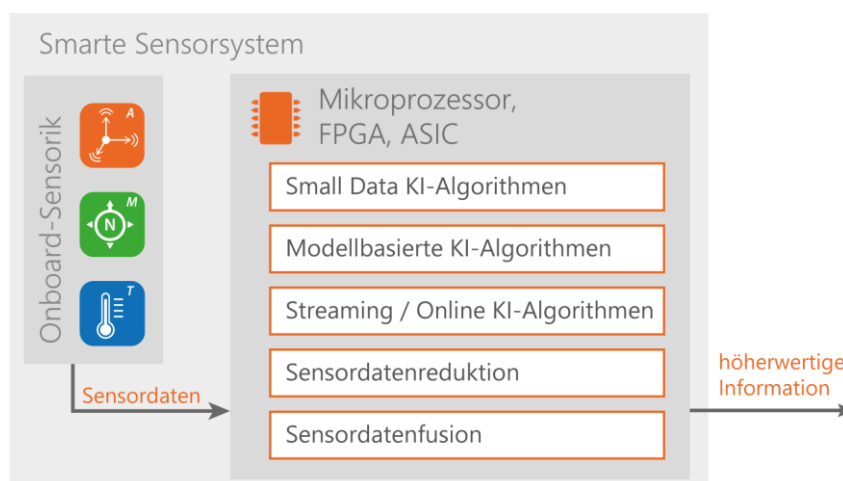


Abbildung 1: Überblick der wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele des Teilvorhabens.

Konkret wurden im Rahmen des Teilvorhabens KI-Methoden und KI-Algorithmen für die

folgenden praxisrelevanten Aspekte berücksichtigt und hierfür Lösungen erarbeitet, die in den Use-Cases robust und flexibel eingesetzt werden können.

- Small Data KI-Algorithmen
- Modellbasierte KI-Algorithmen
- Streaming / Online KI-Algorithmen
- Sensordatenreduktion
- Sensordatenfusion

Die KI-Methoden und KI-Algorithmen wurden als Software-Module lokal in der Mikroelektronik integriert und in einer Anwendung im Rahmen des Gesamtprojekts erprobt und evaluiert.

1.4 Arbeitsplan

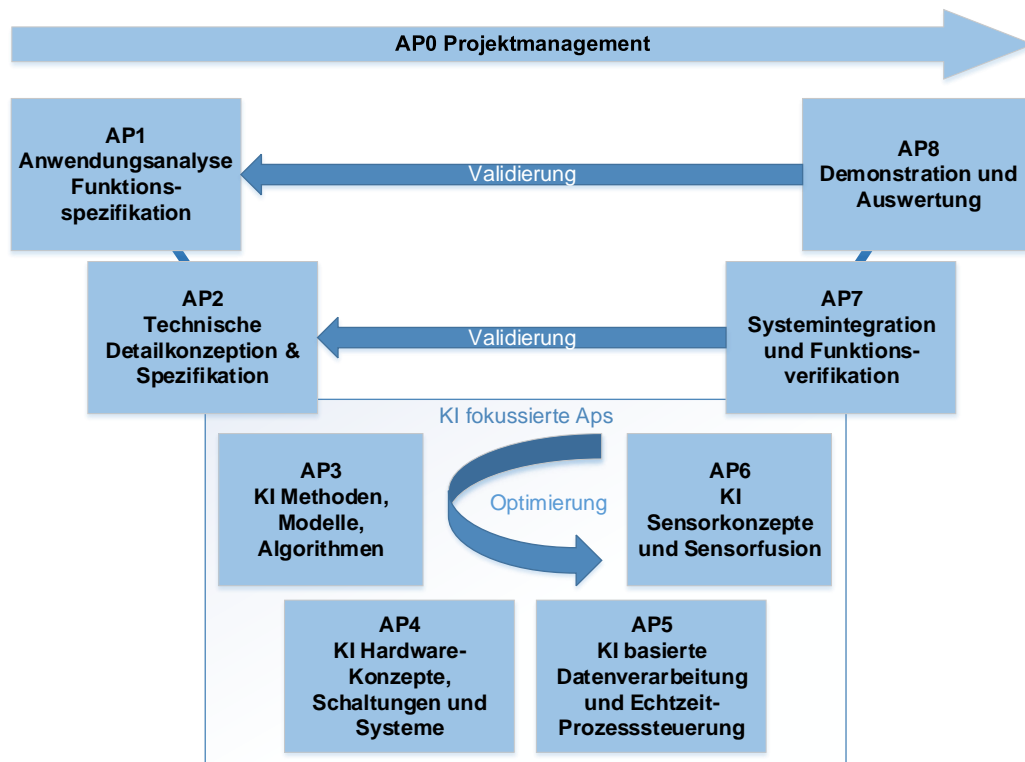


Abbildung 2: Gesamtstruktur des Projektes

Basierend auf den Kompetenzen und den Vorarbeiten der Knowtion GmbH lag der Schwerpunkt des Teilvorhabens von Knowtion in diesem Gesamtvorhaben in der



Erprobung, Entwicklung und Umsetzung von KI-Methoden und KI-Algorithmen in den Arbeitspaketen AP3, AP5 und AP6. In der Gesamtstruktur des Projekts besaß Knowtion hiermit die Rolle des Experten für die Algorithmen-Entwicklung für konkrete Anwendungen und deren Umsetzung in den entsprechenden Zielsystemen.

Auf diese Arbeitspakete wird im Folgenden referenziert, um die im Vorgehen erzielten Ergebnisse mit den jeweiligen Arbeitspaketen zu verlinken.

1.5 Zeitlicher Ablauf

Gantt-Projektplan MUSIK-40 AP/Task	Projektjahr 1				Projektjahr 2				Projektjahr 3			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
AP0 Projektmanagement	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
AP1 Anwendungsanalyse Funktionsspezifikation	█	█	█									
AP1.1 Anwendungsanalyse	█	█										
AP1.3 Technologieauswahl		█	█									
AP1.4 Funktionsspezifikation der Anwendungen	█	█										
AP2 Technische Detailkonzeption & Spezifikation		█	█	█								
AP2.1 Technische Konzeption KI-Komponenten und KI-Anwendungssysteme		█	█	█								
AP2.2 Technische Konzeption der Signal- und Datenverarbeitung		█	█	█								
AP2.4 Definition der KI-Softwarearchitektur und – interfaces			█	█								
AP3 KI Methoden, Modelle, Algorithmen		█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
AP3.2 Erforschung von Anwendungsprozess-spezifischen KI-Algorithmen und Entwicklung geeigneter KI-Modelle					█	█	█	█	█	█	█	█
AP3.5 Energieeffiziente Implementierung von KI-Modellen, -Methoden und -Algorithmen auf low-power embedded Systemen		█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
AP4 KI Hardware-Konzepte, Schaltungen und Systeme			█	█	█	█	█	█	█	█	█	
AP4.3 Ansteuerkonzept Mikrocontrollerarchitektur und KI-Schaltungsblock			█	█	█	█	█	█	█	█	█	
AP7 Systemintegration und Funktionsverifikation							█	█	█	█	█	█
AP7.1 Integration des verteilten KI-Systems							█	█	█	█	█	█
AP7.2 Funktionsverifikation des verteilten KI-Systems einschließlich der KI-Subsysteme							█	█	█	█	█	█
AP8 Demonstration und Auswertung									█	█	█	█
AP8.1 Realisierung der finalen KI-Anwendungsdemonstratoren									█	█	█	█

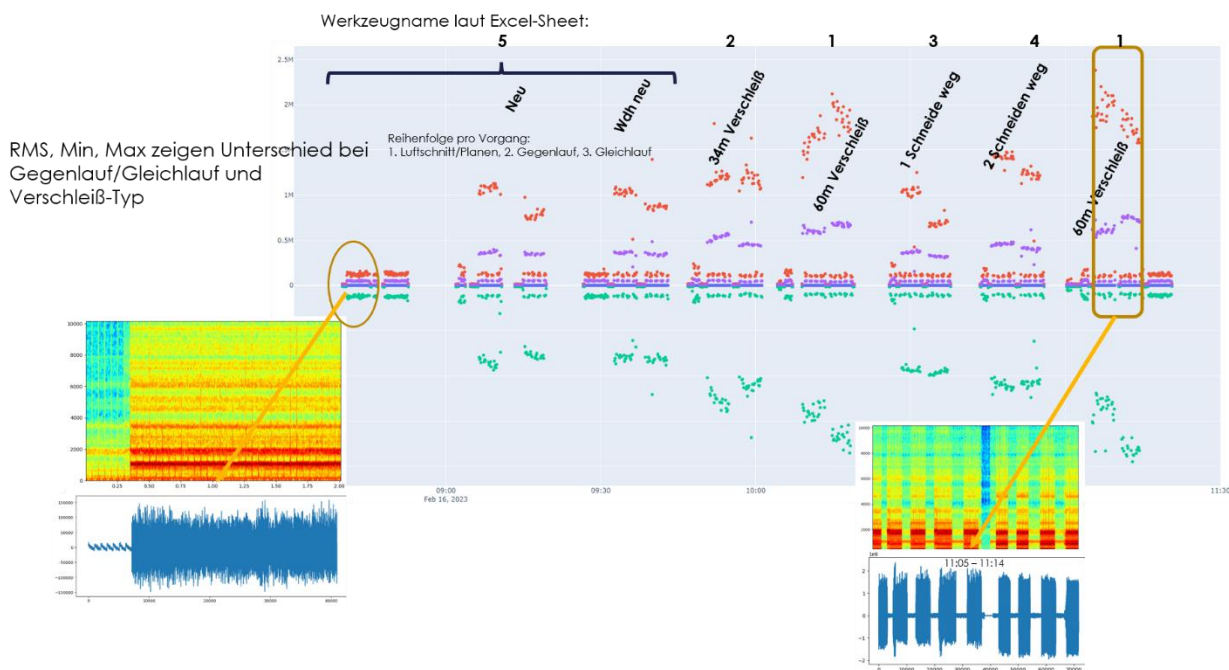


Abbildung 4: Daten des Mikrofons vom Fräsen.

Im Rahmen des Teilprojekts wurden die unterschiedlichen Versuchsdaten der am Gesamtvorhaben beteiligten Projektpartner Festo SE & Co. KG und Schaeffler Technologies AG & Co. KG im Detail analysiert und dahingehend überprüft, ob sich diese Daten eignen, um eine Änderung im Gerät über die Betriebsdauer zu erkennen. Beispielhaft sei dafür z.B. auf die *Abbildung 4* verwiesen, in der für einen Fräsprozess die verschiedenen Zustände des Werkzeugs von „neuwertig“ über „ca. 50% der Lebensdauer erreicht“ (entspricht in diesem Fall den 34m Fräsweg) und „abgenutzt“ (nach ca. 60m Fräsweg) zu erkennen sind. Außerdem wurden Sonderfälle mit aufgenommen, wie zum Beispiel, dass der Fräskopf, welcher bei diesem Typ von Fräse 4 Schneiden hat, einmal mit 1 oder 2 weggebrochenen Schneiden betrieben wurde, um auch solche Zustände erkennen zu können. Da die Fräsmaschine in zwei verschiedenen Betriebsmodi (Gleichlauf und Gegenlauf beim Fräsen) betrieben werden kann, wurden ebenfalls diese beiden Modi mit aufgenommen. Wie in *Abbildung 4* zu erkennen ist, sind die unterschiedlichen Phasen beim Fräsen in den Mikrofondaten teilweise gut, teilweise aber nicht direkt zu erkennen, so dass im Rahmen der Analyse die Daten unterschiedlicher Sensoren kombiniert wurden.

Als weitere Messgröße wurde die Temperatur als Information verwendet, welche in *Abbildung 5* dargestellt ist. Dabei waren zwei Punkte zu beachten:

- 1.) Es muss erkannt werden, ob die Maschine sich generell noch im Aufwärmprozess befindet oder ob die Maschine sich eigentlich von der Temperatur her im stationären Betriebsmodus befindet.
- 2.) Es muss zwischen der normalen Erwärmung der Maschine aufgrund des regulären Betriebs bis zur Betriebstemperatur und einem Anstieg der Temperatur aufgrund eines verschlissenen Werkzeugs unterschieden werden.

Durch Nutzung der Temperaturinformationen in Ergänzung zu den Mikrofondaten ist es möglich, die Robustheit der Klassifikation zu steigern, da jetzt auch akustische Einkopplungen von anderen Geräten in der Fertigung leichter identifiziert werden können.



- Anstieg der Temperatur bis Betriebstemperatur
- Zusätzlicher Anstieg am Ende bei verschlissenem Werkzeug

Abbildung 5: Temperaturverläufe bei den Versuchen mit der Fräsmaschine.

Als dritter Sensor wurde noch die Information eines Beschleunigungssensors für die Modellierung verwendet, da so über insgesamt 3 verschiedene Messprinzipien einzelne Betriebszustände der Maschine identifiziert werden können und durch die Kombination der Daten eine hohe Robustheit zu erwarten ist. Der in den Versuchen verwendete

Beschleunigungssensor hat 3-achsig gemessen. In der *Abbildung 6* ist die Y-Achse dargestellt, da diese aufgrund der Installationsrichtung der Sensorik die größten Amplitudenänderungen in den unterschiedlichen Versuchen angezeigt hat. Ergänzend ist in den Beschleunigungsdaten auch noch die Drehzahl der Fräskopfes zu erkennen, so dass technisch auch eine ergänzende Überwachung einer konstanten Drehzahl über diese Sensorik möglich wäre.

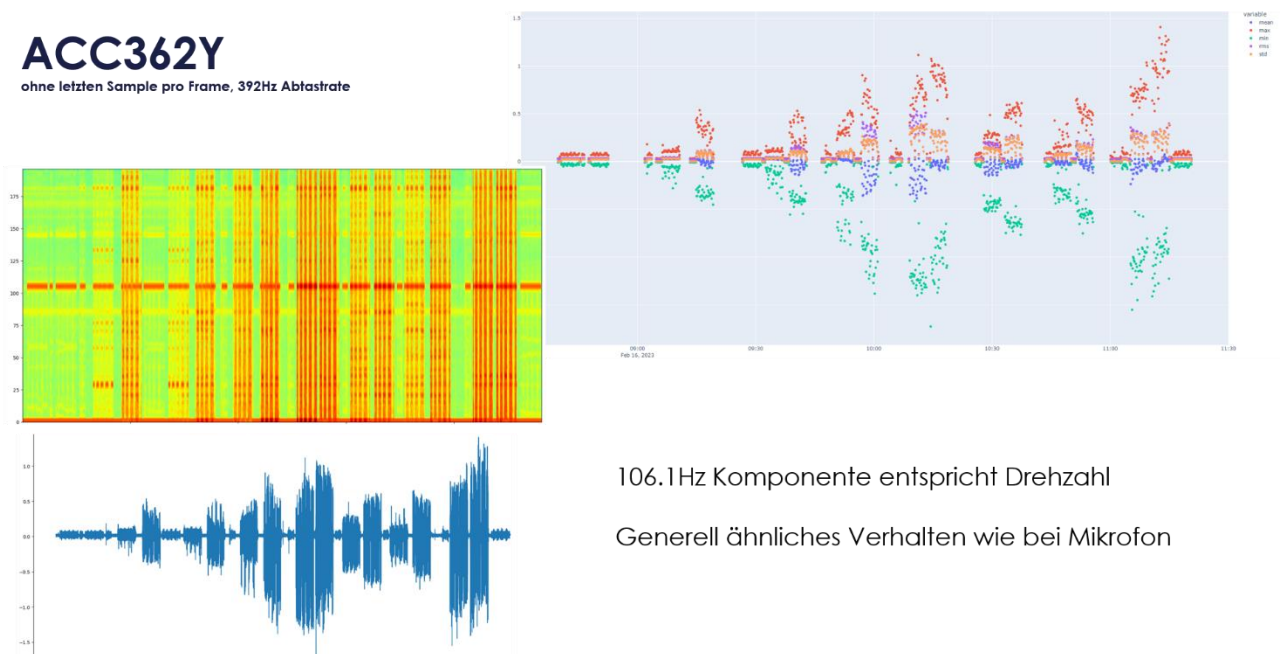


Abbildung 6: Daten des Beschleunigungssensor beim Fräsen.

In *Abbildung 6* sind bereits die unterschiedlichen Verschleißzustände im Spektrogramm auf der linken Seite grob zu erkennen. Bei einem stärkeren Detaillierungslevel, wie in *Abbildung 7* verwendet, sind dann die Unterschiede sehr gut zu erkennen und es ist auch sichtbar, dass die Fräsrichtung (Gleichlauf / Gegenlauf) sich sehr zuverlässig in den Daten zeigt.

ACC362Y Detail

Verschleiß, Wdh
Vs
Neu, Wdh

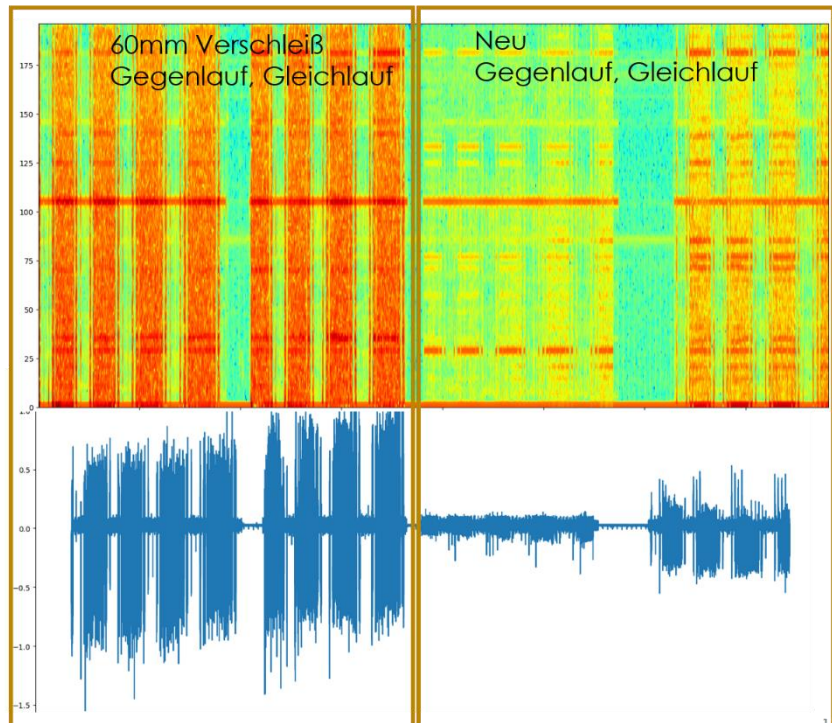


Abbildung 7: Detailbetrachtung der Beschleunigungswerte beim Fräsen.

Mit diesen Sensordaten wurden dann verschiedene KI-Modelle getestet und bewertet, um zu identifizieren, welches für diesen Anwendungsfall und den Umfang der verfügbaren Trainingsdaten die zuverlässigste Klassifikation ermöglicht. Ein typisches Feature-Clustering ist davon in *Abbildung 8* zu sehen. Wie dort zu sehen ist, sind generell die einzelnen Zustände gut zu erkennen. Es gibt aber auch Sonderfälle in denen eine saubere Klassifikation nicht direkt möglich ist. Dies sind häufig Fälle, wo z. B. das Werkzeug das Werkstück verlässt bzw. wo das Werkzeug vom Luftschnitt zum Fräsen am Werkstück wechselt. Diese Fälle wurden dann im Nachgang noch einmal gesondert betrachtet, um auch hier eine zuverlässigere Klassifikation zu erreichen.

Feature Clustering

- Zusätzliche spektrale Features hinzugefügt
- Finden „falscher“ Labels (Farbe=Klasse)

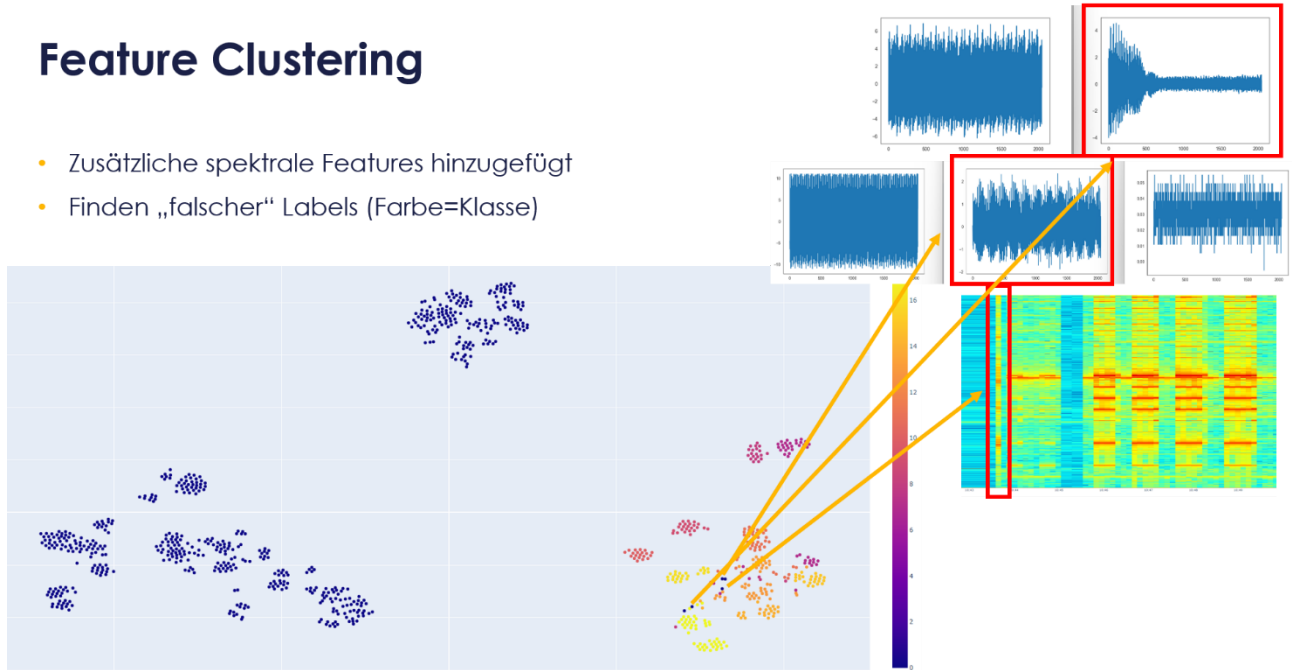


Abbildung 8: Feature Clustering.

Classification

All axes of the accelerometer together: 30 Feature
99.0% Acc, 97.4% F-Score

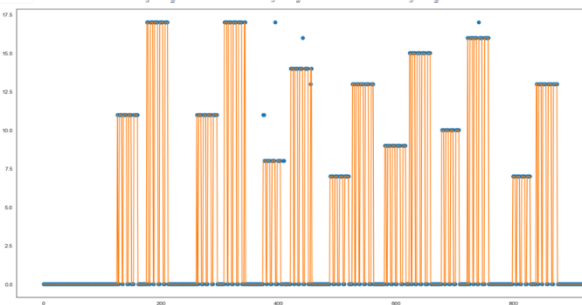
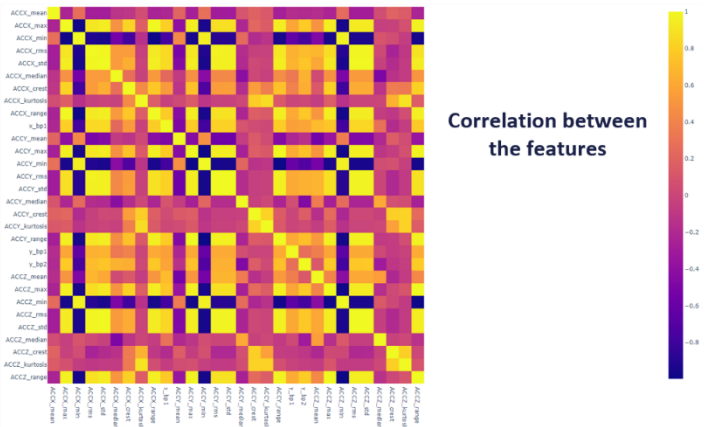
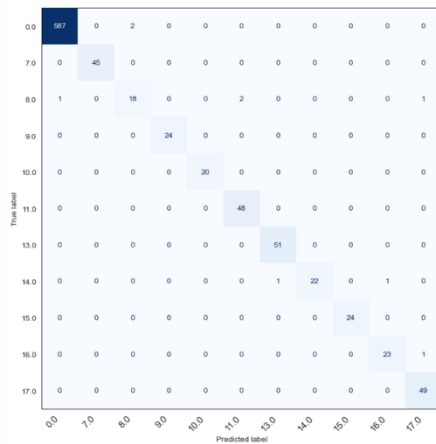


Abbildung 9: Klassifikation der Trainingsdaten.



Da klassisch das Werkzeug den größten Teil der Betriebsdauer im fehlerfreien Betrieb betrieben wird, ist die reine Zuverlässigkeit der Klassifikation nur bedingt aussagefähig. Aus diesem Grunde haben wir ergänzend, wie in *Abbildung 9* zu sehen, zusätzlich den F-Score als Entscheidungskriterium für die erreichte Klassifiktionsgüte verwendet.

Diese Methode liefert uns den entscheidenden Mehrwert, um auch feststellen zu können, wie gut wir die Sonderfälle sauber klassifizieren können, da wir folgende Punkte im F-Score vereinen:

- True Positive (TP): Die Anzahl der Instanzen, die vom Modell korrekt als positiv vorhergesagt wurden. Bei einem Problem der binären Klassifizierung wäre TP die Anzahl der tatsächlichen positiven Instanzen, die das Modell korrekt als positiv vorhergesagt hat.
- Falsch positiv (FP): Die Anzahl der Instanzen, die vom Modell fälschlicherweise als positiv vorhergesagt wurden. Bei einem binären Klassifizierungsproblem wäre FP die Anzahl der tatsächlichen negativen Instanzen, die das Modell fälschlicherweise als positiv vorhergesagt hat.
- True Negative (TN): Die Anzahl der Instanzen, die vom Modell korrekt als negativ vorhergesagt wurden. Bei einem binären Klassifizierungsproblem wäre TN die Anzahl der tatsächlichen negativen Instanzen, die das Modell korrekt als negativ vorhergesagt hat.
- Falsch-Negativ (FN): Die Anzahl der Instanzen, die vom Modell fälschlicherweise als negativ vorhergesagt wurden. Bei einem Problem der binären Klassifizierung wäre FN die Anzahl der tatsächlich positiven Instanzen, die vom Modell fälschlicherweise als negativ vorhergesagt wurden.

Die so validierten KI-Modelle wurden dann noch dahingehend optimiert, dass diese auf der angestrebten embedded Hardware ohne Einschränkungen funktionieren und danach dann auf einer der im Rahmen des Gesamtprojekts verwendeten Referenzhardwarelösungen implementiert und erneut getestet.

Finale Klassifikation

spektrale Feature + Fokus auf Extrema (kein RMS)

- **99.8% Accuracy**

- 2 Fehlklassifikationen

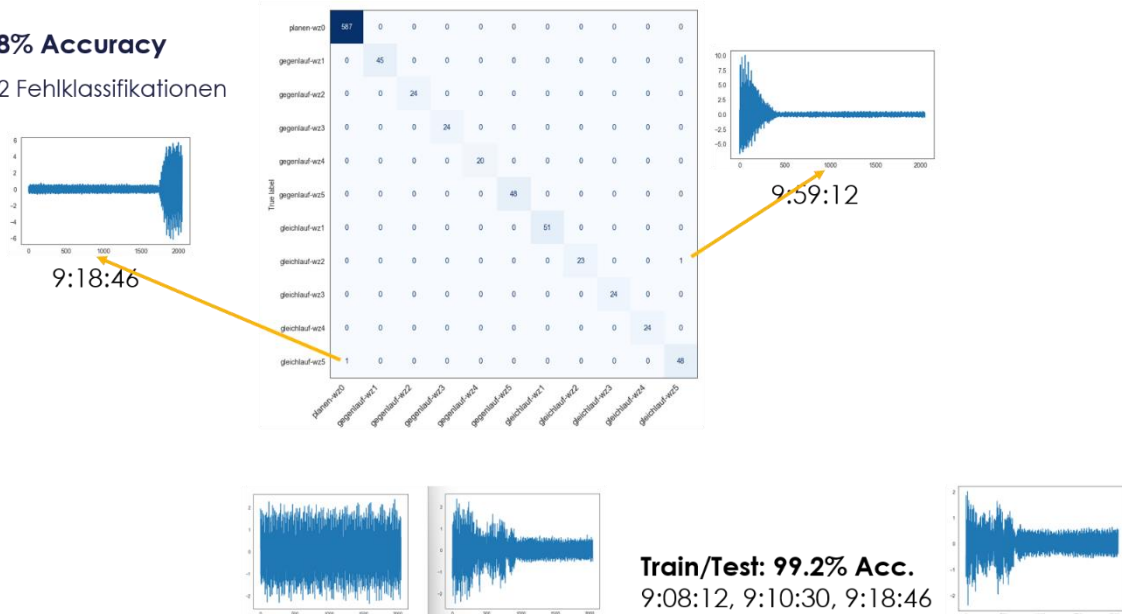


Abbildung 10: Final erreichte Klassifikationsgüte inklusiv Sonderfällen.

Nach einigen Optimierungen und der sorgfältigen Analyse der Sonderfälle konnten wir wie in Abbildung 10 dargestellt eine Güte von 99,2% bei der Klassifikation der Validierungsdaten auf dem Embedded Gerät erreichen. Dabei sind allerdings einige Einschränkungen zu beachten:

- 1.) Die Validierungsdaten wurden auf derselben Maschine aufgenommen wie die Trainingsdaten, so dass eine zuverlässige Aussage hinsichtlich der Robustheit der Klassifikation für andere Maschinentypen aktuell nicht getroffen werden kann
- 2.) Die Validierungsdaten wurden mit einem ähnlichen Werkstück wie die Testdaten erhoben. Hier ist es aktuell noch unklar, wie groß der Einfluss von Materialqualität im Werkstück auf die Qualität der Klassifikation und Prädiktion ist.
- 3.) Es wurde im Rahmen des Projekts nicht betrachtet, ob die Daten auch gelten, wenn ein anderes Material als Werkstück verwendet wird (z.B. Fräsen von Aluminium).



3 Zusammenfassung

3.1 Ergebnisübersicht

Im Rahmen von KI-MUSIK 4.0 wurden von drei Projektpartnern (IMS Gear SE & Co. KGaA, Schaeffler Technologies AG & Co. KG und Festo SE & Co. KG) Messdaten erhoben. Die Knowtion GmbH hat sich im Rahmen dieses Teilprojekts auf die Auswertung und Verwendung der Messdaten der Projektpartner Schaeffler Technologies AG & Co. KG und Festo SE & Co. KG fokussiert. Neben den Standarddatensätzen dieser beiden Projektpartner für dieses Projekt wurden mit diesen Projektpartnern jeweils auch Spezialdatensätze basierend auf dem iCOMOX™ Multisensor aufgenommen. Sowohl die Standarddaten, als auch die Daten vom iCOMOX™ Multisensor, wurden dann von der Knowtion GmbH im Detail analysiert, um eine zuverlässige Unterscheidung zwischen dem regulären fehlerfreien Betrieb und dem Fehlerfall zu erreichen. Entsprechend dem Projektziel, dass die Algorithmen später in einer Embedded-Hardware funktionieren müssen, wurde von Anfang an direkt bei der Analyse der Daten, als auch beim Entwurf der KI-Modelle darauf geachtet, dass diese später mit wenig Arbeitsspeicher und Rechenressourcen zurechtkommen. Um hier trotz der Begrenzungen in der Rechenleistung und der zulässigen Komplexität eine robuste Klassifikation und Vorhersage zu erreichen, wurden unterschiedliche KI-Modelle hinsichtlich ihrer potenziellen Eignung betrachtet und dann bei grundsätzlicher Eignung mit den Daten trainiert. Im nächsten Schritt wurden dann verschiedene Modelle miteinander verglichen und optimiert, um so für die jeweiligen Problemstellungen das jeweils am besten geeignete Verfahren zu identifizieren. Dieses wurde dann dahingehend prototypisch implementiert, dass es inklusive Datenfilterung auf der im Projekt festgelegten und von Projektpartnern entwickelten Embedded Hardware inkl. der im Projekt definierten Softwareumgebung funktionsfähig ist. Diese Software wurde dann integriert und getestet, um sicherzustellen, dass eine schritthaltende Datenverarbeitung und Auswertung wie geplant möglich ist. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Algorithmen so ausgelegt sind, dass diese auf einem Single-Core Embedded-Gerät ohne MPU, NPU etc. funktionsfähig ist, um für spätere Anwendungsfälle eine möglichst universell geeignete Tool-Chain als prototypische Lösung verfügbar zu haben. Diese Ergebnisse wurden dann in verschiedenen Projektmeetings präsentiert.



3.2 Detaillierte Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes wurden gemäß der Vorhabensbeschreibung folgende wesentliche technische Ergebnisse erarbeitet:

- Es wurde eine optimierte Algorithmenstruktur für die Anominer-Algorithmen entwickelt, um die Use-Cases der Projektpartner handhaben zu können.
- Das technische Konzept wurde verfeinert, um mittels angepasster und erweiterter KI-Methoden im Embedded-Device eine hohe Genauigkeit bei der Ermittlung von Abweichungen zu erreichen.
- Wir haben im Rahmen des Arbeitspakets 3 eine umfangreiche Recherche durchgeführt hinsichtlich Small Data KI-Algorithmen, welche für die im Projekt definierten Use-Cases auch in einer Embedded Umgebung Möglichkeiten bieten, um hier mit geringem Speicher und Rechenbedarf sowohl das Verfahren zu trainieren, als auch eine Ausführung in Echtzeit zu ermöglichen. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Möglichkeiten der energieeffizienten Realisierungsmöglichkeiten (kleine Netzwerkstrukturen etc.) gelegt, um auch eine Realisierung im Kontext von Low-Power-Embedded Systemen zu ermöglichen. Dieses Know-how kann in zukünftigen Projekte der Knowtion GmbH verwendet werden, um direkt einschätzen zu können, welche Verfahren für das jeweilige spezifische Problem wahrscheinlich am geeignetsten erscheinen.
- Unter Berücksichtigung der von den Projektpartnern geplanten Hardware haben wir unsere Algorithmen dahingehend analysiert, was erforderlich ist, um diese auf der jeweiligen HW theoretisch lauffähig bekommen zu können und zu identifizieren, welche Ressourcen jeweils genutzt werden können.
- In den Algorithmen wurden entsprechende konzeptionelle Maßnahmen ergriffen, um über Konfigurationsparameter die Algorithmen auf HW mit unterschiedlichen Taktraten und lokalem Speicher anpassen zu können.
- Die konzeptionell identifizierten Maßnahmen wurden in den Algorithmen prototypisch realisiert um die erforderliche Anpassung auf die im Projekt definierte Hardware realisieren zu können.



- Eine prototypische Implementierung auf einer der im Projekt ausgewählten Hardware Plattformen wurde realisiert und den Projektpartnern präsentiert.

4 Fortschreibung Verwertungsplan – ergänzende Information

4.1 Gemachte Erfindungen, vorgenommene Schutzrechtsanmeldungen, erteilte Schutzrechte

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden keine Schutzrechtsanmeldungen seitens der Knowtion GmbH vorgenommen. Außerdem sind seitens der Knowtion GmbH keine Erfindungen oder Schutzrechtsanmeldungen geplant, da reine Softwarepatente bzw. Algorithmenpatente in der Praxis, gerade als KMU, schwer durchzusetzen sind.

4.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Gerade durch die SARS COVID-19 Pandemie und den damit verbundenen Wechsel zu mehr HomeOffice und generell immer knapper werdendem Humankapital erhält das Thema Industrie 4.0 und Predictive Maintenance einen zusätzlichen Auftrieb, da einerseits die Maschinen möglichst kontinuierlich laufen sollen und gleichzeitig möglichst wenig Personal in den Fabrikhallen anwesend sein soll. Dementsprechend sehen wir für unser SW Produkt Anomimer und die hier im Rahmen des Projekts KI-MUSIK 4.0 laufenden Tätigkeiten eine sehr gute Chance dies schon kurzfristig nach dem Projektabschluss bei Kunden platzieren zu können. Dies liegt einerseits darin, dass die in diesem Projekt definierten Use-Cases ein sehr weites Spektrum von Anwendungsfällen abbilden, als auch darin, dass wir überzeugt sind, dass die in diesem Projekt von Seiten der Knowtion GmbH entwickelten Algorithmen eine kostengünstige Überwachung unterschiedlicher Maschinen ermöglichen werden und somit die Overall-Equipment-Kosten signifikant reduzieren werden, was zu einer hohen Akzeptanz führen sollte.

Unabhängig von den Arbeiten in diesem Projekt hat die Knowtion GmbH in Zusammenarbeit mit der Muttergesellschaft Shiratech Solutions Ltd. eine cloud-basierte Predictive Maintenance Lösung als MVP in 2022 auf den Markt gebracht. Diese verwendet eine von Shiratech Solutions Ltd. entwickelte Multisensorbox. Die im Rahmen dieses Projekts gewonnenen Erkenntnisgewinne sollten sich nach Projektabschluss auf diese Embedded-

Projekt: KI-MUSIK 4.0

Bearbeiter:
Knowtion GmbH

FKZ: 16ME0073



Hardware zumindest eingeschränkt anwenden lassen, um möglichst viele Berechnungen direkt maschinennah durchführen zu können. Dadurch sollte es möglich werden, die Menge an Daten, welche an die Cloud versandt werden müssen, als auch die Rechenlast in der Cloud, zu reduzieren. Eine finale Evaluierung, ob dies einen Mehrwert liefern kann, findet nach Projektabschluss statt, wenn die Ergebnisse, der bei den Projektpartnern im Rahmen des Projekts KI-MUSIK-4.0 durchgeführten Versuche, vorliegen.

4.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Gerade die im Rahmen der dedizierten Versuche an Fräsmaschinen und pneumatischen Zylindern gewonnen Erkenntnisse hinsichtlich der Detektierbarkeit von Verschleißerscheinungen mittels unterschiedlicher Sensoren, lassen sich über das Projekt hinaus querschnittlich für unterschiedliche ähnlich gelagerte Systeme verwenden und werden es ermöglichen die drohenden Ausfälle solcher Komponenten zuverlässig zu identifizieren und je nach Geschwindigkeit des Verschleißes auch mit einigem Vorlauf präzisieren lassen. Diese Themen wurden im Projekt zwischen allen beteiligten Partnern im Detail und im Konsortium allgemein diskutiert, um die Erkenntnisgewinne zu streuen und so die technischen Erfolgsaussichten voranzutreiben. Da es hierzu der Expertise der unterschiedlichen im Projekt beteiligen Partner bedurfte, sollten diese technischen Erkenntnisgewinne noch lange über das Projektende hinaus Bestand haben.

4.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Es ist geplant, die Ergebnisse in 2024 auf den Messen AMB und SPS vorzustellen und die Erkenntnisse dafür zu nutzen, unsere Predictive Maintenance Lösung hinsichtlich der Überwachung komplexerer Maschinen, wie z.B. Fräsmaschinen, zu erweitern. Hierzu wurden entsprechende Konzepte firmenintern bereits vorbereitet, um hier unter Berücksichtigung der Rückmeldungen von den Messen in 2024, direkt zielgerichtet eine Lösung zu entwickeln.

4.5 Zahlenmäßiger Nachweis

Im Rahmen des Vorhabens wurden hauptsächlich folgende Ausgaben getätigt:

Projekt: KI-MUSIK 4.0

Bearbeiter:
Knowtion GmbH

FKZ: 16ME0073



- Personalausgaben

Die Reisekosten im Projekt konnten durch den effizienten Einsatz von Online-Meetings gegenüber der Kalkulation stark reduziert werden. Diese wurden kostenneutral für Personalaufwendungen eingesetzt.

4.6 Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit war zur Erreichung des Projektziels notwendig, die Ressourcen wurden effizient eingesetzt.



5 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Überblick der wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele des Teilvorhabens.</i>	4
<i>Abbildung 2: Gesamtstruktur des Projektes</i>	5
<i>Abbildung 3: Gantt-Projektplan bei Projektbeginn</i>	7
<i>Abbildung 4: Daten des Mikrofons vom Fräsen.</i>	8
<i>Abbildung 5: Temperaturverläufe bei den Versuchen mit der Fräsmaschine.</i>	9
<i>Abbildung 6: Daten des Beschleunigungssensor beim Fräsen.</i>	10
<i>Abbildung 7: Detailbetrachtung der Beschleunigungswerte beim Fräsen.</i>	11
<i>Abbildung 8: Feature Clustering.</i>	12
<i>Abbildung 9: Klassifikation der Trainingsdaten.</i>	12
<i>Abbildung 10: Final erreichte Klassifikationsgüte inklusiv Sonderfällen.</i>	14

KI-MUSIK 4.0 – KURZBERICHT

1.1 Gemachte Erfindungen, vorgenommene Schutzrechtsanmeldungen, erteilte Schutzrechte

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden keine Schutzrechtsanmeldungen seitens der Knowtion GmbH vorgenommen. Außerdem sind seitens der Knowtion GmbH keine Erfindungen oder Schutzrechtsanmeldungen geplant, da reine Softwarepatente bzw. Algorithmenpatente in der Praxis schwer durchzusetzen sind.

1.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Gerade durch die COVID-19 Pandemie und den damit verbundenen Wechsel zu mehr HomeOffice und generell immer knapper werdendem Humankapital erhält das Thema Industrie 4.0 und Predictive Maintenance einen zusätzlichen Auftrieb, da einerseits die Maschinen möglichst kontinuierlich laufen sollen und gleichzeitig möglichst wenig Personal in den Fabrikhallen anwesend sein soll. Dementsprechend sehen wir für unser SW Produkt Anominer und die hier im Rahmen des Projekts KI-MUSIK 4.0 laufenden Tätigkeiten eine sehr gute Chance dies schon kurzfristig nach dem Projektabschluss bei Kunden platzieren zu können. Dies liegt einerseits darin, dass die in diesem Projekt definierten Use-Cases ein sehr weites Spektrum von Anwendungsfällen abbilden als auch darin, dass wir überzeugt sind, dass die in diesem Projekt von Seiten der Knowtion GmbH entwickelten Algorithmen eine kostengünstige Überwachung unterschiedlicher Maschinen ermöglichen wird und somit die Overall Equipment Kosten signifikant reduzieren wird. Was zu einer hohen Akzeptanz führen sollte.

Unabhängig von den Arbeiten in diesem Projekt hat die Knowtion GmbH in Zusammenarbeit mit der Muttergesellschaft Shiratech Solutions Ltd. eine Cloud basierte Predictive Maintenance Lösung als MVP in 2022 auf den Markt gebracht. Diese verwendet eine von Shiratech Solutions Ltd. entwickelte Multisensorbox. Die im Rahmen dieses Projekts gewonnenen Erkenntnisgewinne sollten sich nach Projektabschluss auf diese Embedded Hardware zumindest eingeschränkt anwenden lassen, um möglichst viele

Berechnungen direkt maschinennah durchführen zu können. Dadurch sollte es möglich werden die Menge an Daten, welche an die Cloud versandt werden müssen als auch die Rechenlast in der Cloud zu reduzieren. Eine finale Evaluierung, ob dies einen Mehrwert liefern kann findet nach Projektabschluss statt, wenn die Ergebnisse der bei den Projektpartnern im Rahmen des Projekts KI-MUSIK-4.0 durchgeführten Versuche vorliegen.

1.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Gerade die im Rahmen der dedizierten Versuche an Fräsmaschinen und pneumatischen Zylindern gewonnen Erkenntnisse hinsichtlich der Detektierbarkeit von Verschleißerscheinungen mittels unterschiedlicher Sensoren, lassen sich über das Projekt hinaus querschnittlich für unterschiedliche ähnlich gelagerte Systeme verwenden und werden es ermöglichen die drohenden Ausfälle solcher Komponenten zuverlässig zu identifizieren und je nach Geschwindigkeit des Verschleißes auch mit einigem Vorlauf präzisieren lassen. Diese Themen wurden im Projekt zwischen allen beteiligten Partnern im Detail und im Konsortium allgemein diskutiert um die Erkenntnisgewinne zu streuen und so die technischen Erfolgsaussichten voranzutreiben. Da es hierzu der Expertise der unterschiedlichen im Projekt beteiligen Partner bedurfte, sollten diese technischen Erkenntnisgewinne noch lange über das Projektende hinaus Bestand haben.

1.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Es ist geplant, die Ergebnisse in 2024 auf den Messen AMB und SPS vorzustellen und die Erkenntnisse dafür zu nutzen unsere Predictive Maintenance Lösung hinsichtlich der Überwachung komplexerer Maschinen, wie z.B. Fräsmaschinen zu erweitern. Hierzu wurden entsprechende Konzepte firmenintern bereits vorbereitet um hier unter Berücksichtigung der Rückmeldungen von den Messen in 2024 direkt zielgerichtet eine Lösung zu entwickeln.