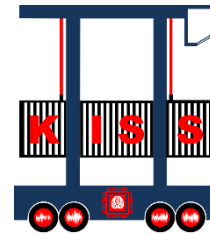


Abschlussbericht Teil 1

Kurzdarstellung



KISS KI-Basiertes Schadens- und Verschleißerkennungs-
system zur cloudbasierten Zustandsüberwachung von
Hybrid-Container-Fahrzeugen

Teilvorhabenbezeichnung:

Konsortialleitung, KI-Elektroniksystem

Förderkennzeichen:

19I21015A

Laufzeit:

1. Juli 2021 – 30. Juni 2024

ANEDO

Matthias Terhaag
Hülsmeierstr. 35
49406 Eydelstedt
Tel.: 05442 / 80379-14
Fax: 05442 / 80379-22
m.terhaag@anedo.de
<http://www.anedo.de>



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Teil 1 – Kurzdarstellung.....	3
1. Aufgabenstellung	3
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wird	4
3. Planung und Ablauf des Vorhabens	5
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wird.....	6
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
6. Literaturverzeichnis.....	8

Teil 1 – Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Das Projekt „KI-basiertes Schadens und Verschleißerkennungssystem zur cloudbasierten Zustandsüberwachung von Hybrid-Container Fahrzeugen (KISS)“ wurde vom BMWK im Rahmen des Förderprogramms „Künstliche Intelligenz als Schlüsseltechnologie für das Fahrzeug der Zukunft“ gefördert. Das Ziel ist eine intelligente Zustandsüberwachung von Radantrieben, die in Sonderfahrzeugen zum Transport von Schiffscontainern eingesetzt werden.

Die Gesamtaufgabe des Vorhabens KISS war unter Nutzung der Künstlichen Intelligenz die intelligente Überwachung der Zustände der Radantriebe von Sonderfahrzeugen in Echtzeit, die damit verbundene frühzeitige Erkennung von Schäden sowie die automatische Entscheidung zu Wartungsaktivitäten zu entwickeln. Im abgeschlossenen Vorhaben KISS war die Herausforderung die Erkennung von unterschiedlichen Verschleißerscheinungen und spontan auftretenden Schäden, sowie Leckagen an verschiedenen Komponenten von Containerfahrzeugen im Hafen oder Untertage-Transportfahrzeugen.

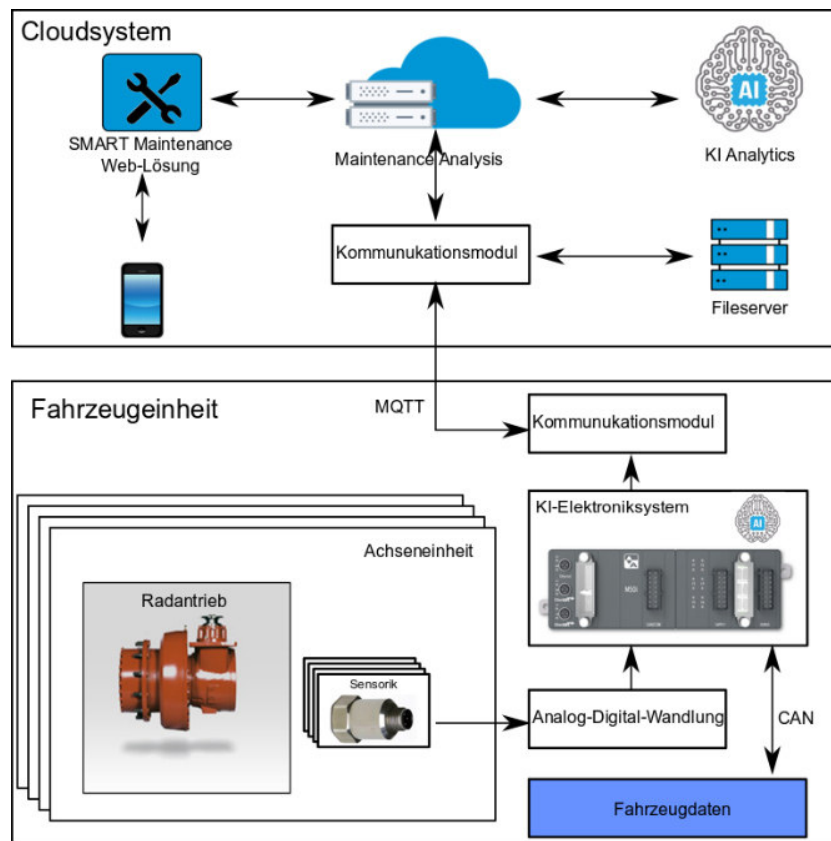


Abbildung 1: Systemdarstellung des KI-Analysesystems zur Überwachung von Sonderfahrzeugen

In Abbildung 1 ist die Systemtopologie des im Rahmen des KISS-Vorhaben umgesetzten Gesamtsystems dargestellt. Ausgehend von den erfassten Körperschallsignalen an den Radantrieben werden diese im KI-Elektroniksystem mit den Fahrzeugdaten fusioniert und mit Hilfe der eingebetteten KI-Algorithmen aus- und bewertet. Aufgrund der beschränkten Rechenressourcen konnten nur bedingt rechenintensive KI-Algorithmen implementiert werden. Daher wurden die erfassten Daten mit Hilfe des Kommunikationsmoduls in das Cloud-System übertragen und unter Nutzung rechenintensiver Merkmalsextraktionsverfahren ausgewertet. Basierend auf den Merkmalen wurden mit Hilfe von KI-Klassifikationsverfahren die spezifischen Verschleiß- und Schadentypen mit den unterschiedlichen Verschleißgraden bestimmt. In **Abbildung 2 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die prinzipielle Wirkkette von der Signalerfassung über die Signalaufbereitung bis zur KI-basierten Klassifikation dargestellt.

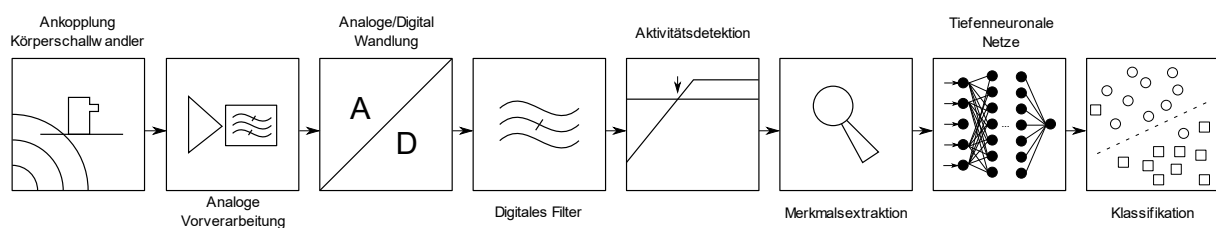


Abbildung 2: Wirkkette von der Erfassung akustischer Signale bis zur KI-basierten Klassifikation der Schadensereignisse

Die elektromechanischen Radantriebe stellten hierbei eine besonders hohe Herausforderung dar, da eine Vielzahl von Parametern während des Betriebs eine Rolle spielen. Hierfür wurden neben den Schwingungssignalen der Radantriebe ebenfalls Drehzahlen, Ölstände und Fahrzeugdaten, die Aufschluss über das aktuelle Fahrtszenario geben, erfasst und über KI-basierte Ansätze eine Analyse in einem Cloudsystem (Supervised Learning) durchgeführt, um frühzeitig Vorschädigungen der verschleißanfälligen Radantriebe zu erkennen. Die Daten konnten zudem in dem cloudbasierten WEB Front-End analysiert und für Flottenbetreiber grafisch aufbereitet werden. Ein Prototyp des fahrzeugherstellerunabhängigen Sensorsystems ermöglicht nun gezielt Aussagen über die verbleibende Lebensdauer der Komponenten zu bestimmen.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wird

Das Projekt KISS mit dem Förderkennzeichen 19I21015A wurde im Zeitraum vom 01.07.2021 bis zum 30.06.2024 durchgeführt. Das Projekt KISS profitiert von den langjährigen Erfahrungen der Projektpartner in ihrem jeweiligen Fachgebiet.

Die Firma ANEDO GmbH mit 20 Jahren Markterfahrung entwickelt und produziert am Unternehmensstandort in Eydelstedt/Niedersachsen zukunftsichere Steuerungssysteme für alle Automatisierungsaufgaben, mit bis zu 15.000 Geräten pro Jahr. Durch ein modulares Baukastensystem werden individuelle Herausforderungen, sowohl einfachste Anwendungen als auch hochkomplexe Steuerungsprozesse, skalierbar umgesetzt. Dabei erstreckt sich die Wirkkette von der Sensorik und Aktorik bis hin zur Maschinenkommunikation.

Die Voraussetzungen bzw. die Situation für das Projekt KISS sahen wie folgt aus:

- Die Anforderungen an die Antriebstechnik, welche oft das Herzstück von Maschinen und Anlagen bildet, waren in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Die Erwartungen der Kunden bezüglich Dimensionierung, Anschaffungskosten, Energieverbrauch, aber vor allem Lebensdauer und Wartung im Betrieb folgten dem Trend zu nachhaltigem Handeln.
- Im Bereich Sonderfahrzeugbau, unter anderem Fahrzeuge von Hafenanlagen oder dem Einsatzfeld Untertagebau sind die Fahrzeuge in der Regel durch den Schichtbetrieb fast ganztägig und 365 Tage im Jahr in Betrieb. Die Radantriebe werden extrem gefordert. Der Wechsel solcher Radantriebe geschieht teilweise bei auftretenden Schäden und den dadurch entstandenen Folgeschäden.

Insgesamt zeigte der aktuelle Stand der Technik bisher somit noch einige Defizite auf, die im Rahmen dieses Projekts näher betrachtet wurden. Neue Aspekte dieses Vorhabens waren vor allem die Untersuchungen vieler Antriebe im realen Fahrzeug im Hafenbetrieb, da bisherige vergleichbare Untersuchungen vor allem den Fokus auf Laboraufbauten hatten. Im realen Umfeld entstehen durch Umgebungsgeräusche und andere Fahrzeugkomponenten eine Vielzahl von Geräuschquellen, welche es zu beherrschen gilt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Forschungsprojekt ist von einem interdisziplinären Projektteam gemäß der Gesamtvorhabensbeschreibung bearbeitet worden. Das Projekt wurde in drei Phasen gegliedert, wie in der folgenden Abbildung 3 dargestellt ist. Das Projektteam besteht aus Partnern der Wissenschaft und Wirtschaft. Partner der Wissenschaft ist die Universität Bremen. Die Wirtschaftspartner ANEDO, Kessler und SEGNO setzen sich aus verschiedenen Bereichen mit unterschiedlichen Expertisen zusammen.

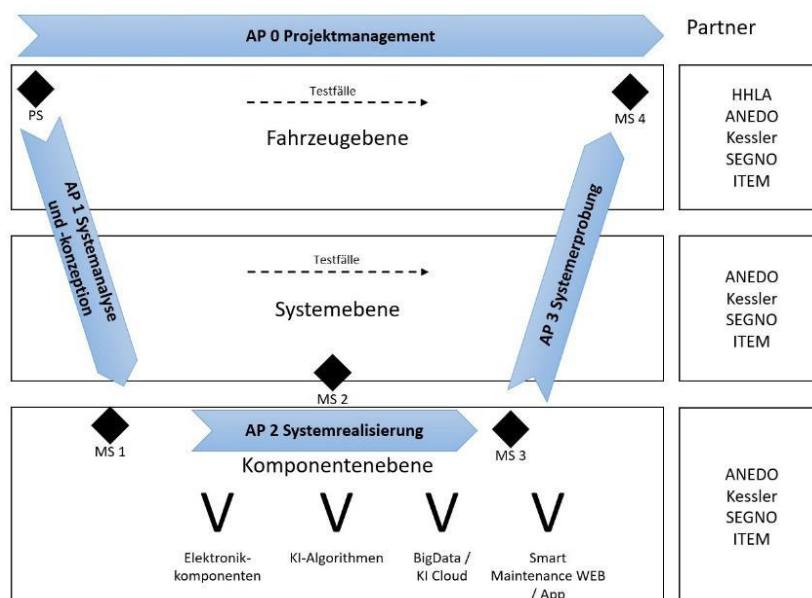


Abbildung 3: Zusammenarbeit der Partner

Für die Projektorganisation und den fachlichen Austausch zwischen den Projektpartnern fanden die halbjährlichen Projekttreffen und zusätzlich im 4-wöchigen Rhythmus ein Jour-Fixe statt. Corona-bedingt erfolgten die Treffen teilweise als Video-Konferenz. Des Weiteren wurden spezielle Fragestellungen zwischen den betreffenden Partnern direkt in Arbeitsbesprechungen bearbeitet.

Arbeiten von ANEDO fanden in Eydelstedt und bei den Partnern Kessler, ITEM und HHLA statt. Die Spezifizierung des Elektroniksystems umfasste den Besuch der Unternehmen Kessler und HHLA, um die Produkte und den Anwendungsbereich im Hafen zu verstehen. Die Entwicklung der Elektronik und die Programmierung der Software fand in Eydelstedt statt. Dabei gab es auch Projektbesprechungen an der Uni Bremen. In AP3 waren wir zu mehreren Einsätzen bei der HHLA in Hamburg, um die drei Van Carrier initial auszustatten und im Betrieb zu optimieren und das System robust zu machen.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wird

Die Logistikbranche weist steigende Umschlagszahlen auf. Besonders im Hafenumfeld ist Zeit das entscheidende Kriterium, die Liegezeiten von Schiffen sollen möglichst kurzgehalten werden, um die Kosten zu verringern und den Umschlag zu erhöhen. Der Hamburger Hafen ist der größte deutsche und drittgrößte Hafen in Europa. Der assoziierte Partner HHLA ist ein führender europäischer Hafen- und Transportlogistikkonzern. Um im internationalen Wettbewerb mithalten zu können, ist ein reibungsloser Ablauf unerlässlich. Um diesen zu gewährleisten ist ein planungssicherer Einsatz der Van Carrier notwendig, welche für den bodenseitigen Umschlag eine Schlüsselrolle spielen.

Eine der entscheidenden und verschleißanfälligen Komponenten im Van Carrier stellen die Antriebseinheiten und insbesondere die zweistufigen Planetengetriebe dar. Im Bereich der Antriebstechnik sind die Anforderungen in den letzten Jahren stark gestiegen. Anforderungen im Bereich Dimensionierung, Kosten, Energieverbrauch und Langlebigkeit müssen erfüllt werden, um im internationalen Wettbewerb mithalten zu können. Zugleich sind auch Steigerungen im Umsatz im Bereich der Antriebstechnik in Deutschland zu erkennen. Nach einem, vermutlich durch Corona bedingten, Einbruch im Jahr 2020 setzt sich der steigende Trend seit 2021 fort und erzielte 2022 den bislang höchsten Umsatz mit 20,17 Millionen Euro (1).

Im Bereich der Zustandsüberwachung von Antriebseinheiten ist eine Reihe von Veröffentlichungen bereits vorzufinden. Allerdings beziehen diese sich größtenteils auf separate Untersuchungen von Lager- oder Verzahnungskomponenten. Eine Untersuchung im Getriebeverbund ist selten. Zudem ist eine Betrachtung im Feldeinsatz, im Projekt KISS der Hafen, nicht bekannt. Im Folgenden werden einzelne Ergebnisse präsentiert, die als Ausgangspunkt für das vorliegende Projekt herangezogen wurden.

In (3) erfolgt ein Review von gängigen Methoden im Bereich der Schadensüberwachung von Planetengetrieben. Dieses enthält sowohl Grundlagen zum Aufbau des Planetengetriebes als auch Charakteristika von diesen. Zudem wird ein guter Überblick über den wissenschaftlichen

Stand der Schadensüberwachung gegeben. Unterschieden wird dabei in Methoden, welche auf Simulationen basieren, sowie in Signalverarbeitungsmethoden. Unter die Simulationsmodelle fallen Ansätze zur Simulation der Schwingungsantwort, Simulationen von Schäden oder die Entwicklung von Finite Elemente Methoden zur Abbildung von Schwingungsausbreitungen.

Für Signalverarbeitungsmethoden werden Methoden basierend auf Signalen im Zeit-, Frequenz- und Zeit-Frequenzbereich vorgestellt. Bei Untersuchungen im Zeitbereich werden typischerweise statistische Merkmale verwendet, im Frequenzbereich hingegen ist die Überwachung von Schadensfrequenzen und deren Seitenbänder üblich.

Der erfolgreiche Einsatz von Simulationsansätzen sowie Frequenzüberwachungen ist allerdings für nicht-stationäre Schwingungssignale bereits mehrfach widerlegt worden. In (4) werden beispielsweise die Grenzen der Fourier-Transformation für Überwachungen unter variierenden Betriebsbedingungen vorgestellt. Das benannte Review-Paper stellt dabei die Schwierigkeiten bei der Überwachung vor und gibt einen Überblick über alternative Ansätze. Diese basieren überwiegend auf Untersuchungen im Zeit-Frequenzbereich. Üblich ist dabei zum Beispiel die Verwendung der Short Time Fourier Transformation oder die Verwendung von Signalzerlegungen wie Wavelet Transform oder Emporial Mode Decomposition. Als Grundlage zur Signalzerlegung von Schwingungssignalen zur Maschinenüberwachung kann das Review in (5) herangezogen werden.

Die vorgestellten Datengrundlagen können dann für Deep Learning Methoden zur Überwachung der Antriebseinheiten verwendet werden. In (6) erfolgt ein Überblick über Machine und Deep Learning Methoden, die bereits erfolgreich für die Detektion von Lagerschädigungen verwendet wurden. Beispielsweise konnte in (7) unter Zuhilfenahme eines adaptiven Deep Convolutional Neural Networks (CNN) eine Differenzierung in vier Lagerschädigungen erfolgen. In (8) hingegen wurden adaptive überlappende CNNs verwendet, um die Detektion anhand von Zeitsignalen zu verbessern. Diese Methode konnte für einen öffentlichen Datensatz sehr gute Ergebnisse erzielen, wobei nur 5 % der Daten fürs Training verwendet wurden.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

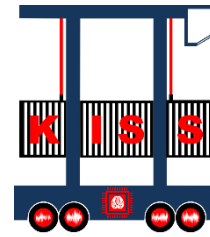
Im Rahmen des Projektes KISS gab es keine weitere Zusammenarbeit mit externen Partnern außerhalb des Projektkonsortiums.

6. Literaturverzeichnis

1. **Bundesamt, Statistisches.** Statistika. [Online] Juni 2024. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/235436/umfrage/umsatz-im-bereich-antriebstechnik-in-deutschland/>.
2. **Reichel, Jens, Müller, Gerhard und Haeffs, Jean.** *Betriebliche Instandhaltung*. s.l. : Springer, 2018.
3. **Lei, Yaguo, et al.** *Condition monitoring and fault diagnosis of planetary gearboxes: A review*. s.l. : Elsevier, 2014.
4. **Zhang, Xin, Wang, Lei und Miao, Qiang.** Fault diagnosis techniques for planetary gearboxes under variable conditions: A review. [Hrsg.] IEEE. *2016 Prognostics and System Health Management Conference*. 2016.
5. **Feng, Zhipeng, Zhang, Dong und Zuo, Ming.** Adaptive Mode Decomposition Methods and Their Applications in Signal Analysis for Machinery Fault Diagnosis: A Review With Examples. *IEEE Access*. 2017, Bd. 5.
6. **Zhang, Shen, et al.** Machine Learning and Deep Learning Algorithms for Bearing Fault Diagnostics -- A Comprehensive Review. *IEEE Access*. 2020, Bd. 8.
7. **Guo, Xiaojie, Chen, Liang und Shen, Changqing.** Hierarchical adaptive deep convolution neural network and its application to bearing fault diagnosis. *Measurement*. 2016, Bd. 93.
8. **Qian, Weiwei, et al.** An intelligent fault diagnosis framework for raw vibration signals: adaptive overlapping convolutional neural network. *Measurement Science and Technology*. 2018, Bd. 29, 9.

Abschlussbericht Teil 2

Eingehende Darstellung



KISS KI-Basiertes Schadens- und Verschleißerkennungs-
system zur cloudbasierten Zustandsüberwachung von
Hybrid-Container-Fahrzeugen

Teilvorhabenbezeichnung:

Konsortialleitung, KI-Elektroniksystem

Förderkennzeichen:

19I21015A

Laufzeit:

1. Juli 2021 – 30. Juni 2024

ANEDO

Matthias Terhaag
Hülsmeierstr. 35
49406 Eydelstedt
Tel.: 05442 / 80379-14
Fax: 05442 / 80379-22
m.terhaag@anedo.de
<http://www.anedo.de>



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Teil 2 – Eingehende Darstellung	3
1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	3
1.1 Abkürzungen	3
1.2 Systemüberblick	3
1.3 Beschreibung der Teilkomponenten	4
1.3.1 Teilkomponente Sensorik.....	4
1.3.2 Teilkomponente Steuerungstechnik	5
1.3.3 Teilkomponente Konnektivitätsmodul.....	5
1.3.4 Teilkomponente Signalauswertung.....	6
1.4 Systemerprobung	8
1.4.1 Prüfstanderprobung.....	8
1.4.2 Erprobung im Hafenumfeld.....	11
1.5 Zusammenfassung und Fazit.....	14
2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	15
3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	15
4 Verwertbarkeit der Ergebnisse	15
5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	16
6 Erfolgte und geplante Veröffentlichung der Ergebnisse	16

Teil 2 – Eingehende Darstellung

1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

1.1 Abkürzungen

CNN	convolutional neural network
CPU	Central Processing Unit
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DSP	Digital Signal Processor
FFT	Fast Fourier Transformation
GPU	Graphics Processing Unit
IEPE	Integrated Electronics Piezo-Electric
ITEM	Institut für Theoretische Elektrotechnik und Mikroelektronik
I/O	Input/Output
KI	Künstliche Intelligenz
NI	National Instruments
NMEA	National Marine Electronics Association
NPU	Neural Processing Unit
SoC	System on Chip
TOP	Trillion Operations per Second (Einheit zur Beschreibung der NPU-Leistung)

1.2 Systemüberblick

Das On-Bord-Elektroniksystem wurde anhand der Anforderungen aus der Projektphase AP1 geplant. Die Systemarchitektur setzt sich aus den Elektronikkomponenten zusammen, die sich auf dem Van Carrier von den Radantrieben bis zur Motorbrücke bei der Fahrerkabine verteilen. Die Kommunikation, Hauptsteuergerät und KI-Rechner sitzen zentral bei der Fahrerkabine auf der Motorbrücke. Davon gehen die Kabel zu den beiden Slave-Steuergerät mit dazu gehörigen Sensoren, die bei den Reifen in den Fahrrahmen links und rechts positioniert sind. In der folgenden Abbildung ist die Systemarchitektur dargestellt.

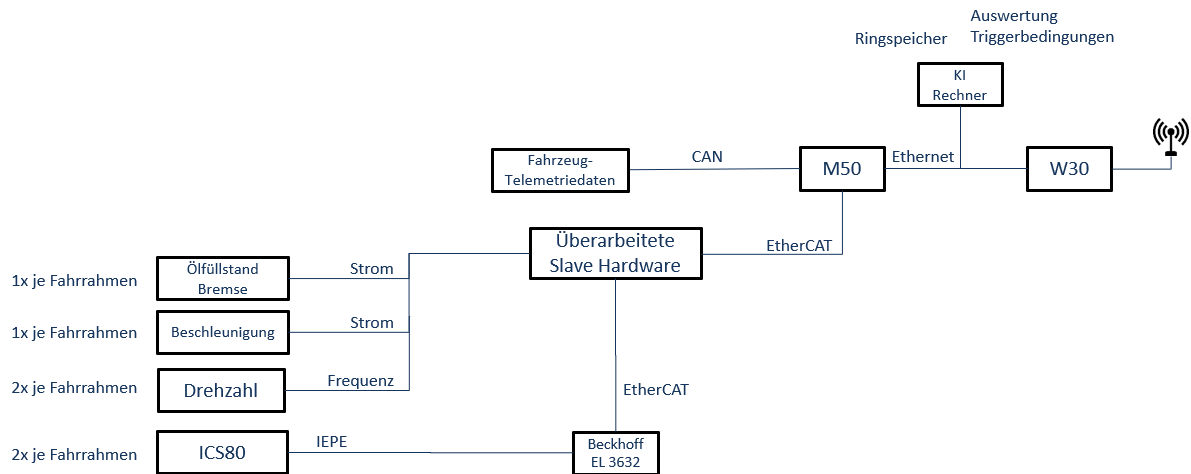


Abbildung 1: Systemarchitektur des On-Bord-Elektroniksystem

1.3 Beschreibung der Teilkomponenten

1.3.1 Teilkomponente Sensorik

Die Sensorik an den Fahrzeugen setzt sich im finalen System aus den Schwingungssensoren, Schocksensoren, Füllstandssensoren und einem GPS-Empfänger zusammen.

Die Schwingungssensoren weisen hierbei eine für raue Umgebungen ausgelegte Integrated Electronics Piezo-Electric (IEPE)-Schnittstelle auf. Die Sensoren erfassen die Schwingungen, welche von den Radantrieben generiert und als Indikator für den Verschleißgrad genutzt werden. Es werden alle angetriebenen Räder eines Van Carriers überwacht, sodass je Fahrzeug vier Schwingungssensoren des Typs iCS84 des Herstellers *ids innomic* eingesetzt werden.

Die Schock- beziehungsweise Beschleunigungssensoren dienen zur Ermittlung von starken Erschütterungen. Das Ziel der Verwendung dieser Sensoren ist die Erkennung von Schlaglöchern auf dem Umschlagplatz eines Hafenterminals. Die Sensoren sind an den vorderen Rädern des linken und rechten Fahrrahmens im ungefederten Bereich angebracht. Die ermittelten Beschleunigungswerte in vertikaler Richtung werden als Stromsignal (4-20 mA) an die Steuerungstechnik übermittelt.

Ein Teil der Fahrzeuge wurde mit einem Füllstandssensor ausgestattet. Mithilfe dieser Sensoren wird der Füllstand des Bremskühlöl-Tanks im Stillstand des Fahrzeugs überwacht. Hierdurch soll ein Überlauf und somit ein Umweltschaden verhindert werden. Der Tank wird mit zusätzlichem Öl gefüllt, wenn die Trennung der Kreisläufe des Bremskühlöls und des Hydrauliköls im Radantrieb nicht mehr in Takt ist. Die ermittelte Information wird ebenfalls mittels Stromsignal an die Steuerungstechnik übermittelt. Da im Laufe des Projektzeitraums durch den Hersteller der Fahrzeuge ebenfalls eine Möglichkeit der Füllstandsüberwachung eingeführt wurde, sind nicht alle hier betrachteten Fahrzeuge mit einem nachgerüsteten Sensor ausgestattet worden.

Der GPS-Empfänger wird im Zusammenhang mit den Beschleunigungssensoren zur Ermittlung und Kartierung von Schlaglöchern genutzt. Die Standortdaten werden hierbei digital im NMEA2000-Format an die Steuerungstechnik übermittelt.

1.3.2 Teilkomponente Steuerungstechnik

Die Steuerungstechnik setzt sich im Wesentlichen aus dem Hauptrechner „M55“ und den Nebenrechnern „S10dev“ und „Beckhoff EP3632“ zusammen.

Der Hauptrechner befindet sich auf der Motorbrücke im oberen Bereich des Van Carriers. Auf diesem wird die anwendungsspezifische Applikationssoftware ausgeführt, welche die über das Bussystem *EtherCAT* angeschlossenen Nebenrechner konfiguriert und steuert. Ferner stellt das Hauptsteuergerät die Verbindung zum Ethernet-Netzwerk dar, in dem sich das Konnektivitätsmodul und der Rechner zur Signalauswertung befinden.

Das Nebensteuergerät „S10dev“ ist ein anpassbares I/O-Modul. Für dieses Projekt wurde das Gerät mit den Stromeingängen für einen Beschleunigungssensor und einen Füllstandssensor ausgestattet.

Als weiteres Nebensteuergerät wird das „EP3632“ der Firma Beckhoff eingesetzt. Dieses ist ebenfalls per EtherCAT-Bus an das Hauptsteuergerät angeschlossen. Es weist zwei Eingänge für IEPE-Sensoren auf und wertet diese mit einer Frequenz von 50 *kHz* aus.

Die Nebensteuergeräte befinden sich möglichst nah am Ort der Signalentstehung und sind daher jeweils an den beiden Fahrrahmen angebracht. Das Gesamtsystem zur Signalerfassung besteht somit aus einem M50 und jeweils zwei S10dev und EP3632.

1.3.3 Teilkomponente Konnektivitätsmodul

Zur Vernetzung aller Komponenten haben wir ein 4-Port unmanaged Ethernet Switch „NITE-XS4-1100 – 411300“ der Firma TERZ eingesetzt. Über diesen Netzwerkschicht sind die Geräte M55, KI-Rechner und W30 miteinander verbunden.

Die zentrale Kommunikationseinheit bildet das „W30“, welches die IP-Adressenverwaltung und das Netzwerkrouting über einen DHCP-Server abbildet. Damit ist die Kommunikation innerhalb des LAN auf dem Van Carrier gewährleistet.

Zum Datenaustausch zwischen den einzelnen Komponenten wird das MQTT-Protokoll eingesetzt. Um den Datenaustausch innerhalb des LAN zu gewährleisten, stellt das W30 einen eigenen lokalen MQTT-Broker zur Verfügung. An diesen kann das M55 Daten publishen und der KI-Rechner kann hier die Daten abonnieren ohne dass eine Verbindung zu externen Servern notwendig ist.

Des Weiteren wird über das W30 eine LTE-Mobilfunkverbindung aufgebaut und damit das Internet für alle im LAN befindlichen Teilnehmer bereitgestellt. Die über DHCP bereitgestellten Routing-Einstellungen beinhalten auch das Internet über die Mobilfunkverbindung. Über diesen Mobilfunkkanal können Verbindungen zur Cloud aufgebaut werden.

Als weiteres Modul verfügt das W30 über einen GPS-Empfänger. Damit kann die Position des Van Carriers ermittelt werden. Bei der Schlaglocherkennung wird hiervon Gebrauch gemacht. Dabei erkennt das M55 ein Schlagloch und übergibt das Ereignis zunächst an das W30. Das W30 fügt die Positionsdaten an und überträgt das Ergebnis an den MQTT-Broker in der Cloud.

1.3.4 Teilkomponente Signalauswertung

Um die Aufgaben, wofür künstliche Intelligenz zum Tragen kommt, in diesem und in späteren Projekten effizient erfüllen zu können, hat die Firma ANEDO sich Zugang zu Serverinfrastruktur verschafft. Hiermit stehen ausreichend Hardware-Ressourcen zur Verfügung, um große Datensätze mit komplexen Algorithmen verarbeiten zu können. Dies ist notwendig, um das Modell zu trainieren, welches für die On-Board KI eingesetzt wird.

Nach Absprachen mit dem Projektpartner ITEM und Recherchen wurde sich für die Schadenserkennung auf die Nutzung eines neuronalen Netzes als Basis für die On-Board KI festgelegt. Als Eingang der On-Board KI dienen die vom ANEDO Messsystem aufgenommenen Schwingungsdaten. Ein Ansatz ist die Autoencoder-Architektur, die für Anomalieerkennungen eingesetzt wird. Nach schlechten Evaluierungsergebnissen hinsichtlich Genauigkeit wurde dieser Ansatz verworfen. Stattdessen wurde die Tatsache ausgenutzt, dass neuronale Netze sehr gut auf Bilddaten anwendbar sind. Die Schwingungsdaten werden in ein Spektrogramm umgesetzt, siehe Abbildung 2, womit das neuronale Netz (convolutional neural network, CNN) trainiert wird. Es wurde sich hier für die Methode „Transfer Learning“ (auch bekannt als „Finetuning“) entschieden. Eine bekannte und gut funktionierende Modell-Architektur ist „Mobilenet“, wobei das Ausgangsmodell auf den Imagenet-Datensatz trainiert wurde. Beim Training sind alle Layer bis auf die untersten zehn eingefroren worden. Die untersten wurden auf den Anwendungsfall und die erstellten Spektrogramme trainiert. Mit diesem Ansatz kann zum einen eine erprobte und gut arbeitende CNN-Architektur genutzt werden. Zum anderen wird hiermit das Problem der relativ kleinen Datenbasis abgefedert, da grundlegende Strukturen bereits durch die trainierten vorderen Layer erkannt werden.

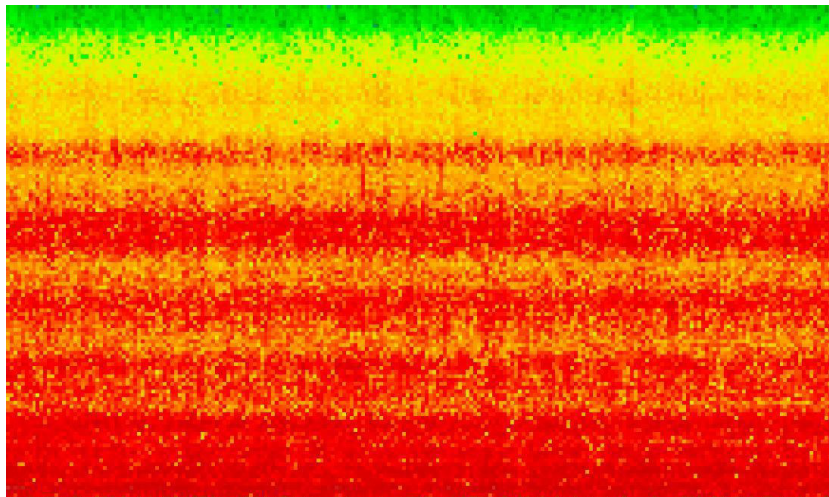


Abbildung 2: Spektrogramm, Frequenz über die Zeit, Farbe: Auftretenshäufigkeit der Frequenz

Das Modell wurde mit zwei Ausgangsklassen konfiguriert. Dies entspricht einer Vorhersage von intaktem oder beschädigtem Getriebe. Weitere feinere Einteilungen werden durch die deutlich potentere Hardware der Off-Board KI vorgenommen.

Die finalen Trainingsdaten wurden am 19.01.2024 im Rahmen einer Messkampagne bei der HHLA aufgenommen. Um hier die Zeit effizient zu nutzen, wurden viele verschiedene Schadenstypen vermessen. Hierdurch wurden weniger Daten intakter Getriebe gesammelt. Dies führt unmittelbar zu einem „imbalanced dataset“ Problem, welches durch Downsampling der Schaddaten behoben wurde. Insgesamt wurde mit dem Testdatensatz eine Genauigkeit von 90 % erreicht.

Für die On-Board KI ist neben der Erkennungsrate auch die Rechenkomplexität von Bedeutung. Neben der Minimierung der Komplexität ist auch die Hardware entscheidend, auf der die Algorithmen ausgeführt werden. Einen guten Kompromiss zwischen Performanz und Leistungsaufnahme bietet der Mikroprozessor i.MX 8M Plus von NXP. Der embedded SoC bietet unterschiedliche Module, um hardwarebeschleunigt echtzeitfähige Algorithmen auszuführen. Zur Ausführung von Algorithmen zur Vorverarbeitung, wie die Erzeugung des Spektrogramms, wird ein Audio Digital Signal Processor (DSP) oder auch eine Graphics Processing Unit (GPU) bereitgestellt. Speziell für die Ausführung neuronaler Netze ist eine Neural Processing Unit (NPU) mit 2,3 TOPS bestückt. Darüber hinaus ist eine Arm Cortex A53 CPU mit vier Kernen vorhanden. Daher ist mit dem i.MX 8M Plus eine sehr gut geeignete Hardwareplattform zur Ausführung der On-Board KI ermittelt worden.

Der KI-Rechner mit dem i.MX 8M Plus von NXP ist in der Abbildung 3 rot gekennzeichnet.

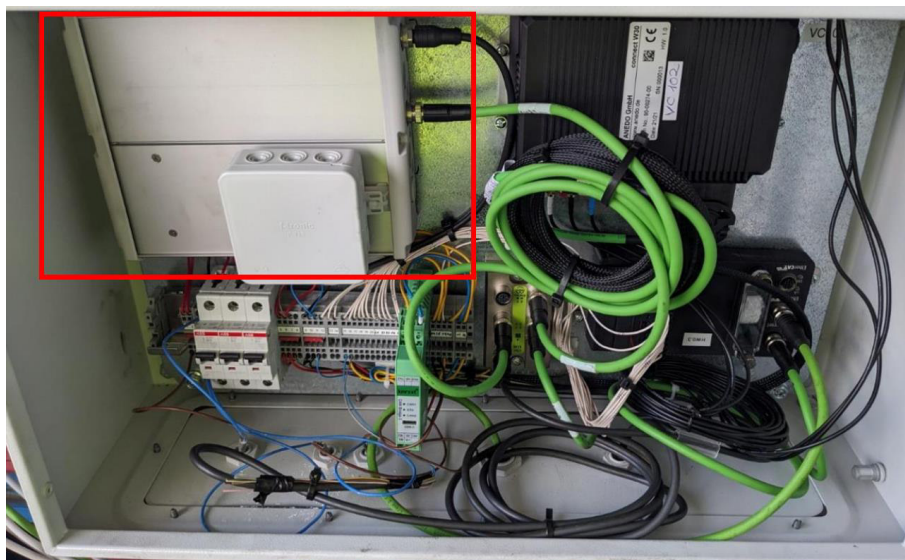


Abbildung 3: Schaltschrank der Maschinenbühne mit KI-Rechner

Um eine optimale Ausführung des neuronalen Netzes auf der Plattform zu gewährleisten, wurden Tests und Analysen durchgeführt. Ein wichtiger Faktor ist das genutzte Modellformat sowie das zu verwendende Framework. Hier konnte für die obige Netzarchitektur gezeigt werden, dass Modelle im Format .tflite die vielversprechendsten Ergebnisse liefern. Diese Modelle werden mit dem TensorflowLite Framework eingebunden und über den OpenVX-Treiber hardwarebeschleunigt auf der NPU ausgeführt. Neuronale Netze im .tflite Format können erzeugt werden, indem Tensorflow-Modelle konvertiert werden. Hier muss beachtet werden, dass eine Quantisierung auf 8-bit Integer durchgeführt wird, da die verwendete NPU keine Gleitkommazahlen besitzt.

Der Ablauf der On-Board KI Applikation ist in Abbildung 4 dargestellt. Beim Start des On-Board KI-Rechners werden zunächst Initialisierungsschritte durchgeführt. Zum einen wird der MQTT-Client aufgesetzt, wodurch eine Verbindung zum Broker hergestellt werden kann. Außerdem wird das CNN geladen. Bis zum Eintreffen von Schwingungsdaten vom M50 ist die Applikation im Idle-Zustand. Liegen neue Daten vor, werden diese für das neuronale Netz vorbereitet. Die benötigten Spektrogramme werden aus den Schwingungsdaten generiert. Dieser Schritt deckt sich mit der Vorverarbeitung im Rahmen des Trainings, ist aber für die Ausführung auf der On-Board Hardware optimiert. Anschließend wird die Inferenz ausgeführt. Das Ergebnis wird per MQTT-Nachricht an den SEGNO Server gesendet, sodass die Informationen in der Datenbank gespeichert werden können. Bisher wird hier eine Klasse (Schadklasse, 0 = kein Schaden, 1 = Schaden) und die Genauigkeit (0 - 1) übertragen. Dies wird im weiteren Verlauf des Projektes angepasst und mit dem Projektpartner SEGNO abgestimmt.

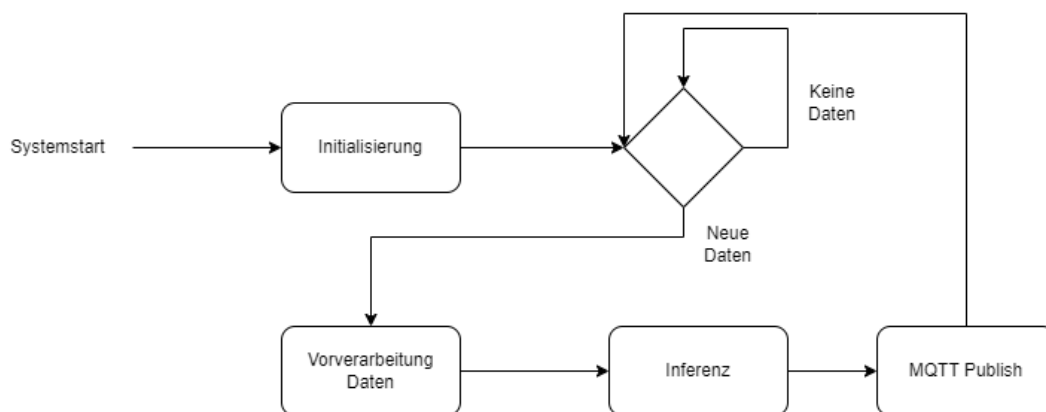


Abbildung 4: Ablaufdiagramm der On-Board KI Applikation

1.4 Systemerprobung

1.4.1 Prüfstanderprobung

Die Prüfstandmessreihen fanden bei dem Partner Kessler statt. Der Prüfstandsaufbau bestand aus folgenden Komponenten:

- 1: Hauptsteuergerät M50
- 2: Nebensteuergerät S10dev
- 3: Nebensteuergerät S10dev
- 4: Konnektivitätsmodul W30
- 5: Multifunktions-Antenne; GPS, Mobilfunk, WLAN

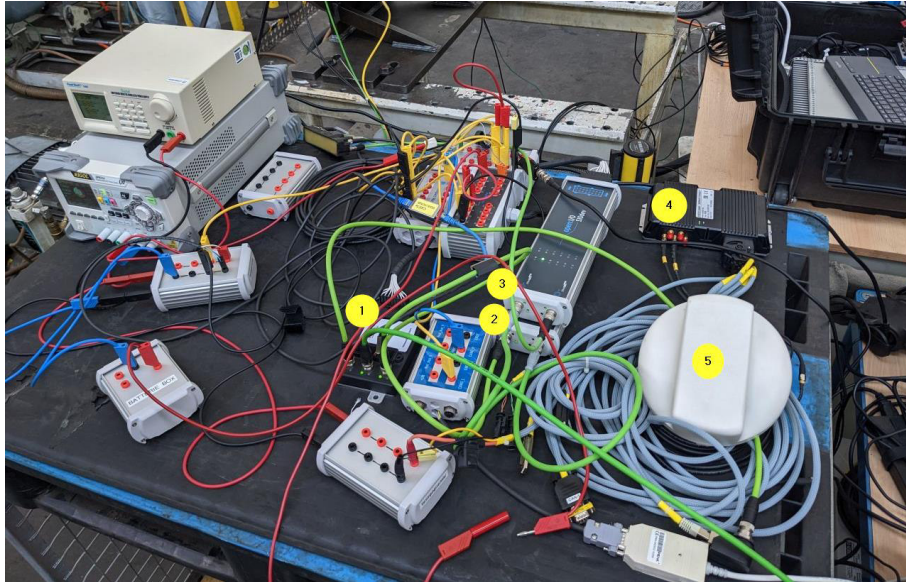


Abbildung 5: Aufbau der Messtechnik für Evaluationsmessungen im Hause Kessler



Abbildung 6: Montierte Sensoren am Leerlaufprüfstand

- 1: Getrieberahmen
- 2: Drehzahlsensor
- 3: Nebensteuergerät Beckhoff EP3632

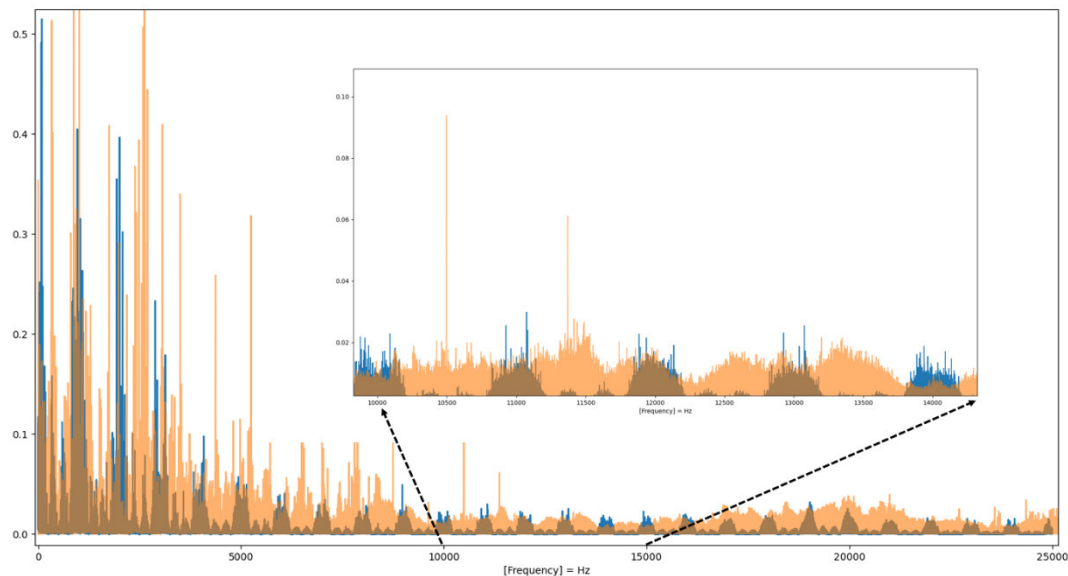


Abbildung 7: Vergleich der Messdaten vom ITEM (orange) mit denen von ANEDO (blau)

Der Versuchsaufbau im Hause Kessler wurde durchgeführt, um die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Funktionsmusters zu evaluieren. Die zu testenden Punkte waren

- Aufbau einer Internetverbindung zum Versenden der Messdaten,
- Erfassung der Messdaten der angeschlossenen Sensorik,
 - Vier IEPE-Schwingungssensoren,
 - Ein Drehzahlsensor,
 - die Auswertung des angeschlossenen CAN-Busses mit simulierten Daten eines realen Van Carriers.

Durch diese Messungen soll die Belastung des Hauptsteuergerätes möglichst realitätsnah nachgebildet werden. In der Abbildung 5 und Abbildung 6 ist der Aufbau für diese Messungen dargestellt.

Die vom Funktionsmuster aufgezeichneten Messreihen wurden mit den vom NI-Messsystem (ITEM) aufgenommenen Daten verglichen. Dazu wurde bei beiden Systemen gleichzeitig eine Messung ausgelöst. Die Schwingungsdaten wurden anschließend mittels FFT (Fast Fourier Transformation) in den Frequenzbereich transformiert, was in der Abbildung 7 zu sehen ist. Hier ist zu erkennen, dass in den Daten unterschiedliche Spektrallinien vorhanden sind. Im hineingezoomten Bereich ist zu sehen, dass vom Funktionsmuster 1000 Hz periodische Frequenzanteile auftauchen, die nicht beim ITEM Messsystem zu erkennen sind. Bei weiteren Analyseschritten konnte dies auf einen systematischen Fehler in der Messaufnahme zurückgeführt werden. Durch diesen Fehler ist ein weiterer Vergleich der Messdaten nicht sinnvoll durchführbar, da der systematische Fehler alle anderen Frequenzanteile beeinflusst.

1.4.2 Erprobung im Hafenumfeld

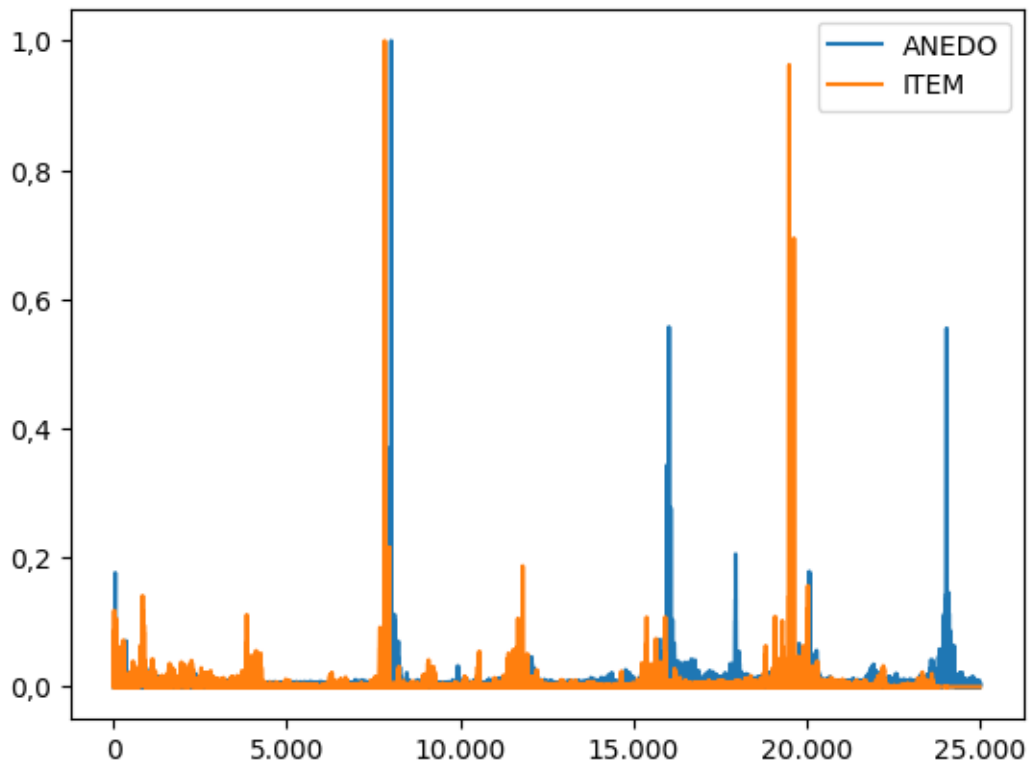


Abbildung 8: Vergleich der Messdaten vom ITEM (orange) mit denen von ANEDO (blau), nach Anpassungen

Zum Testen und Validieren der Komponenten wurde am 14.04.2023 ein Termin bei der HHLA abgehalten, um die Messsysteme zur Aufnahme von Schwingungsdaten von ANEDO und vom ITEM zu vergleichen. In der Abbildung 8 ist eine FFT abgebildet, die aus einer Vergleichsmessung von Schwingungsdaten heraus generiert wurde. Für Frequenzen unterhalb von 15 kHz ist eine gute Überschneidung der Frequenzen erkennbar. Oberhalb dieser Frequenz treten mitunter Unterschiede auf, welche sich nicht sicher erklären lassen. Allerdings wird bisher davon ausgegangen, dass Schadfrequenzen im Bereich bis 10 kHz auftreten (siehe ITEM Zwischenbericht 2022, Halbjahr 2). Daher wird für das spätere Training der KI eine Unterabtastung vorgenommen, sodass Frequenzen oberhalb von 15 kHz keinen Einfluss haben. Unter diesen Bedingungen konnte mit dem Termin am 14.04.2023 gezeigt werden, dass das ANEDO Messsystem valide Schwingungsdaten aufzeichnet.

Während der Projektlaufzeit wurde eine Alternative zur Ermittlung der Drehzahl der angetriebenen Räder gesucht, da die auf dem CAN-Bus des Fahrzeugs zur Verfügung stehenden Werte zum einen mit niedriger Frequenz von ca. 3 Hz aktualisiert werden und zum anderen eine große Ungenauigkeit aufweisen. Als Alternative wurde ein möglichst flacher Drehzahlsensor ausgesucht, da ein entsprechend kleiner Bauraum zur Verfügung steht. Um den Sensor vor Umwelteinflüssen zu schützen wurde ein Gehäuse durch die Firma Kessler erstellt. Trotz entsprechender Dichtungen zur Vermeidung des Eindringens von Wasser durch die Außenseite, wurde beim Öffnen eines defekten Sensors festgestellt, dass das Gehäuse von innen mit Wasser gefüllt war. Der Wasserpegel ist in der Abbildung 9 zu erkennen. Es ist zu vermuten, dass

das Wasser über die Welle, auf die der Drehzahlsensor aufgesetzt ist, in das Gehäuse eingedrungen ist.

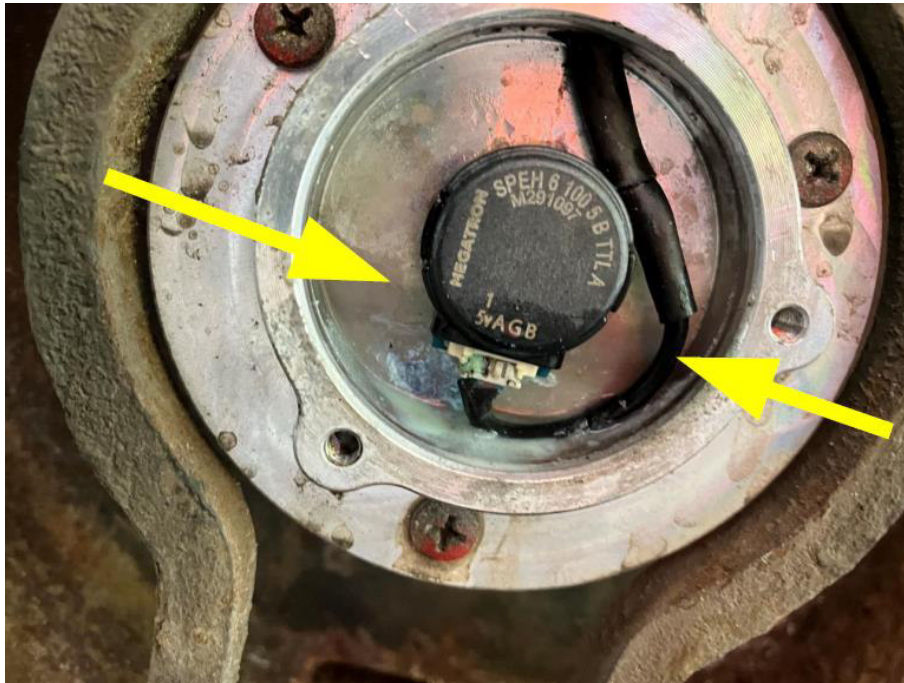


Abbildung 9: Wasserstand im geöffneten Gehäuse des Drehzahlsensors

Ein weiteres Fehlerbild entsteht durch ein zu großes Spiel der abzutastenden Welle. In Abbildung 10 ist zu erkennen, dass Teile des Sensors abgerieben wurden. Eine Funktion des betrachteten Sensors ist nicht mehr gegeben.



Abbildung 10: Abrieb nach Demontage eines defekten Drehzahlsensors

Die ursprünglich geplante Überwachung des Bremskühlöl-Tanks wurde nur für ein Fahrzeug umgesetzt. Während der Evaluation des Sensors wurde dem Projektteam mitgeteilt, dass der Hersteller zukünftig beabsichtigt, den Füllstand werksseitig zu überwachen. Aus diesem Grund ist diese Anforderung nicht mehr Gegenstand des Projekts. Weitere Van Carrier wurden nicht mit dem Füllstandssensor ausgestattet.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil der Systemerprobung war eine Untersuchung zum Einfluss der gewählten Kabelverläufe. Diese wurde angestrebt, nachdem eine Störbehaftung auf den gemessenen Signalen vermutet wurde. An einem Versuchsfahrzeug wurden am 10.11.2023 vier Kombinationen aus Kabelart und Verlegeweg untersucht:

1. Nutzung eines geschirmten Kabels,
verlegt entlang der Stromkabel des Elektromotors.

2. Nutzung eines geschirmten Kabels,
verlegt an den zum Motor führenden Hydraulikleitungen.
3. Nutzung eines nicht geschirmten Kabels,
verlegt entlang der Stromkabel des Elektromotors.
4. Nutzung eines nicht geschirmten Kabels,
verlegt an den zum Motor führenden Hydraulikleitungen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in der Abbildung 11 dargestellt. Die Abbildung zeigt die jeweils an den angetriebenen Rädern aufgenommenen Schwingungen im Zeitbereich. Hier ist zu erkennen, dass die erfassten Daten an den Rädern 5 und 6 überwiegend ein Rauschen zeigen, welches unverändert über die Zeit ist. Die Signalverläufe der Räder 3 und 4 zeigen hingegen Schwingungseigenschaften, welche beim Rad 4 am deutlichsten ausgeprägt sind.

Auf Grund dieser Ergebnisse wurden alle im Projekt beobachteten Van Carrier umgerüstet, sodass die Messdatenerfassung über geschirmte Kabel, welche möglichst weit entfernt von den stromführenden Motorzuleitungen verlegt sind, durchgeführt wird.

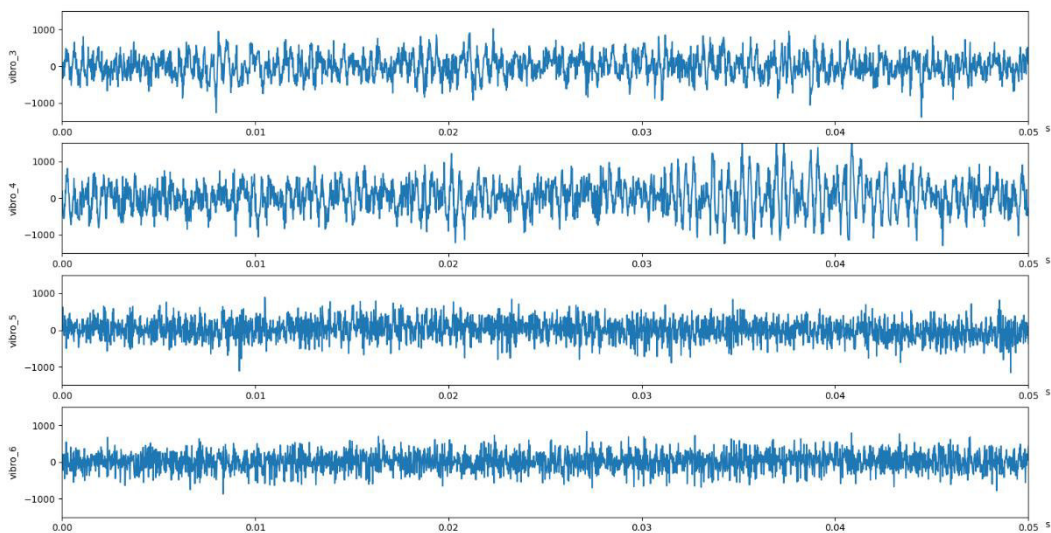


Abbildung 11: Vergleich der aufgenommenen Schwingungsdaten bei Nutzung verschiedener Kabelwege

1.5 Zusammenfassung und Fazit

In Zusammenarbeit mit den Firmen SEGNO Industrie Automation GmbH, KESSLER & CO GmbH & Co. KG, der Universität Bremen (ITEM) sowie mit dem assoziierten Partner Hamburger Hafen und Logistik Aktiengesellschaft konnte im Forschungsprojekt KISS gezeigt werden, dass eine Schadens- und Verschleißüberwachung eines zweistufigen Planetengetriebes, das in den Radantrieben von Van Carriern verbaut ist, möglich ist. Das Projektteam hat dabei ein vollumfassendes Überwachungssystem, inklusive Messtechnik, Vernetzung, KI-Auswertung und Ergebnisbereitstellung via Smart Maintenance, realisiert.

Die Realisierung, Inbetriebnahme und Optimierung des Gesamtsystems zeigen gut die aktuellen und zukünftigen Einsatzmöglichkeiten des Endsystems auf. Insbesondere für ANEDO konnte die Funktionalität des On-Bord-Elektroniksystems nachgewiesen werden.

Neben den zahlreichen Erfolgen bei der Umsetzung der Anforderungen haben sich auch noch Schwächen aufgetan, die in potenziellen nächsten Schritten im Rahmen der Kommerzialisierung oder weiteren Forschungsvorhaben behoben werden. Für die wirtschaftliche Vermarktung muss diese Lösung technisch noch optimiert werden. Die Validierung des Gesamtsystems mit den drei Van Carriern über 12 Monate hat allen Projektpartnern die Komplexität vor Augen geführt. Die neuen Erkenntnisse in der Zeit wurden zeitnah in Optimierungsschleifen im System umgesetzt.

Prinzipiell hat sich das modulare System mit Einzelkomponenten bewährt. Es kann das Gesamtsystem, aber auch einzelne Komponenten aus diesem System, zukünftig zur Marktreife weiterentwickelt und vermarktet werden.

Durch das Forschungsprojekt KISS ist eine Überwachung der Radantriebe im Van Carrier hinsichtlich gegenwärtiger Schäden und prognostizierten Ausfallwahrscheinlichkeiten einsetzbar. Dies trägt einen wesentlichen Anteil zur Optimierung der Wartungsarbeiten, zur Reduktion der Stillstandzeiten und somit insgesamt zu einem ökonomischen Nutzen bei.

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die im Projekt bewilligten Gelder wurden verwendet, um unterschiedliche Positionen zu finanzieren. Die finanziellen Mittel wurden sachgerecht eingesetzt. Den größten Anteil nehmen hierbei die Personalkosten ein.

Bei der Finanzierung gibt es zwischen der Vorkalkulation und der Nachkalkulation Abweichungen bei ANEDO. Die Materialkosten fallen kleiner aus, aufgrund von geringerer Materialbeschaffung. Dafür sind im Gegensatz die Personalkosten gestiegen. Es war ein personell höherer Aufwand im Projekt nötig, um in den Phasen AP2 und AP3 die Betreuung der Flotte der Van Carrier bei der HHLA in Hamburg sicherzustellen. Dies zahlte sich durch das Erreichen der Projektziele zum Projektende hin aus.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Forschungsarbeiten im Forschungsprojekt KISS, sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, da sie der im Projektantrag formulierten Planung weitgehend entsprachen und alle wesentlichen im Arbeitsplan formulierten Aufgaben erfolgreich bearbeitet wurden. Die Gesamtkosten von ANEDO wurden gemäß der Planung im Projektantrag weitgehend eingehalten (siehe auch Erfolgskontrollbericht).

4 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse aus dem Projekt KISS können zukünftigen Forschungsvorhaben dienen. Erste Ideen für weitere Projekte gibt es unter den Projektpartnern.

Aus wirtschaftlicher Sicht ergeben sich vor allem für ANEDO neue mittelfristige Chancen. Der aktuelle Stand der HW-Komponenten und die speziellen KI-Softwaremodule werden im Rahmen der Entwicklung in die zukünftigen Steuergeräte-Generation einfließen. Dazu gehört auch die neu aufgebaute Kompetenz rund um das Thema Edge-KI bei den beteiligten Mitarbeitern.

Es sind weitere Anwendungen für das erarbeitete KI-Fachwissen denkbar, wie zum Beispiel Anwendungen im Bereich der Bediengeräte-Produktfamilie von ANEDO. Die digitalen Videosysteme entwickeln sich weiter und die Kamera und Monitor werden von einem reinen Aufnahme-/Anzeigegerät durch Edge-KI zu einem intelligenten Sensorsystem.

Weiteres ist dem Erfolgskontrollbericht zu entnehmen.

5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Auf dem Gebiet der echtzeitfähigen Antriebsüberwachung im Hafenumfeld sind während der Projektlaufzeit vom Projektvorhaben KISS keine weiteren Fortschritte bekannt geworden. Durch den intensiven Austausch mit den Projektpartnern konnte ein breitbandiger Aufbau von spezifischem Fachwissen erfolgen. Auch an dieser Stelle sind keine Fortschritte bekannt geworden.

6 Erfolgte und geplante Veröffentlichung der Ergebnisse

Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des mittelständischen Unternehmens ANEDO gab es zwei Pressemitteilungen.

Der Partner Universität Bremen hat im wissenschaftlichen Umfeld ebenso diese Mitteilungen und weitere Publikationen veröffentlicht:

Projektbericht auf der Webseite der Universität Bremen:

<https://www.uni-bremen.de/universitaet/hochschulkommunikation-und-marketing/aktuelle-meldungen/detailansicht/ki-gestuetzte-zustandsueberwachung-von-hafenfahrzeugen-optimiert-logistische-prozesse>

Projekt erwähnt auf der Webseite des Informationsdienst der Wissenschaft:

<https://idw-online.de/de/news835066>

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung (Publikation) Schlussbericht
3. Titel Verbundprojekt: KISS - KI-Basiertes Schadens- und Verschleißerkennungssystem zur cloudbasierten Zustandsüberwachung von Hybrid-Container-Fahrzeugen Teilvorhaben: Konsortialleitung, KI-Elektroniksystem	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Terhaag, Matthias; Geitner, Christoph; Krüger, Klaus	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2024
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) ANEDO GmbH Hülsmeierstr. 35 49406 Eydelstedt	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19I21015A
	11. Seitenzahl 26
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) Scharnhorststraße 34-37 10115 Berlin Postanschrift : 11019 Berlin	13. Literaturangaben 8
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 14
16. Zusätzliche Angaben Keine	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das Ziel des Vorhabens „KI-Basiertes Schadens- und Verschleißerkennungssystem zur cloudbasierten Zustandsüberwachung von Hybrid-Container-Fahrzeugen (KISS)“ ist unter Nutzung der Künstlichen Intelligenz die intelligente Überwachung der Zustände der Radantriebe von Sonderfahrzeugen in Echtzeit, die damit verbundene frühzeitige Erkennung von Schäden sowie die automatische Entscheidung zu Wartungsaktivitäten zu entwickeln. Im Vorhaben KISS ist die Herausforderung die Erkennung von unterschiedlichen Verschleißerscheinungen und spontan auftretenden Schäden, sowie Leckagen an verschiedenen Komponenten von Containerfahrzeugen im Hafen oder Untertage-Transportfahrzeugen. Im Teilprojekt hat ANEDO die elektro-mechanischen Radantriebe sowie weitere Parameter während des Betriebs in einem speziellen KI-Elektroniksystem auf dem Fahrzeug zusammengeführt. Dabei werden neben den Schwingungssignalen der Radantriebe ebenfalls Drehzahlen, Ölstände und Fahrzeugdaten, die Aufschluss über das aktuelle Fahrtszenario geben, erfasst und über KI-basierte Ansätze eine Analyse mit der On-Board-KI voranalysiert und danach an das Cloudsystem mit einer weiteren KI (Supervised Learning) kommuniziert, um frühzeitig Vorschädigungen der verschleißanfälligen Radantriebe zu erkennen. Das fahrzeugherstellerunabhängige Sensorsystem ermöglicht gezielt Aussagen über die verbleibende Lebensdauer der Komponenten zu bestimmen. Diese Informationen führen zu einer effektiven Wartungs- und Instandhaltungsplanung. Das Verwertungspotenzial kann als hoch angenommen werden, da bereits ein rechtzeitig erkannter Verschleißschaden die Kosten um ein Mehrfaches amortisiert. Mit dem Vorhaben bekommt ANEDO den Zugang zu neuen KI-basierten Komponenten und spezifischem algorithmischen Wissen für neue Produkte mit KI sowie neue Marktzugänge.	
19. Schlagwörter KISS, KI, Künstliche Intelligenz, Elektronisches Sensorsystem, Steuergerät, Edge-Computing, Körperschall, Planetengetriebe, Sonderfahrzeuge	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication)
3. title Collaborative project: KISS - AI-based damage and wear detection system for cloud-based condition monitoring of hybrid container vehicles Subproject: Consortium management, AI electronic system	
4. author(s) (family name, first name(s)) Terhaag, Matthias; Geitner, Christoph; Krüger, Klaus	5. end of project 30.06.2024
	6. publication date
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) ANEDO GmbH Hülsmeierstraße 35 49406 Eydelstedt	9. originator's report no.
	10. reference no. 19I21015A
	11. no. of pages 26
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) Scharnhorststraße 34-37 10115 Berlin Postanschrift : 11019 Berlin	13. no. of references 8
	14. no. of tables 1
	15. no. of figures 14
16. supplementary notes No	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract <p>The aim of the project "AI-based damage and wear detection system for cloud-based condition monitoring of hybrid container vehicles (KISS)" is to use artificial intelligence to develop intelligent monitoring of the condition of the wheel drives of special vehicles in real time, the associated early detection of damage and the automatic decision on maintenance activities. In the KISS project, the challenge is to detect various signs of wear and spontaneously occurring damage, as well as leaks in various components of container vehicles in ports or underground transport vehicles.</p> <p>In the sub-project, ANEDO has brought together the electro-mechanical wheel drives and other parameters during operation in a special AI electronics system on the vehicle. In addition to the vibration signals of the wheel drives, speeds, oil levels and vehicle data that provide information about the current driving scenario are also recorded and an analysis is pre-analysed with the on-board AI using AI-based approaches and then communicated to the cloud system with another AI (supervised learning) in order to detect pre-damage to the wear-prone wheel drives at an early stage. The vehicle manufacturer-independent sensor system makes it possible to make targeted statements about the remaining remaining service life of the components. This information leads to effective maintenance and maintenance planning. The utilization potential can be assumed to be high, as even damage caused by wear and tear that is detected in good time amortizes the costs many times over. The project gives ANEDO access to new AI-based components and specific algorithmic knowledge for new products with AI as well as new market access.</p>	
19. keywords KISS, AI, artificial intelligence, electronic sensor system, control unit, edge computing, structure-borne noise, planetary gearbox, special vehicles	
20. publisher	21. price