

# Vehicle Data Analysing System (VeDAS)

*Martin Bussas, Carsten Dettmar*  
*Trout GmbH, Parkstraße 28, 34119 Kassel*

## Zusammenfassung

Der Einsatz von Fahrzeugen in anspruchsvollen Aufgabenstellungen und Szenarien, wie besonders schwierigem Gelände oder in einer Dauerbeanspruchung führt unter anderem zu Problemen bei der Belastung über die für das Fahrzeug vorgegebenen Grenzen hinweg. Schwierigkeiten ergeben sich auch bei der Erkennung und Behebung von systematischen Fehlern. Im Rahmen des Performance Based Logistic Ansatzes ist geplant, eine bedarfsorientierte Wartung vorzusehen. Auch hierfür benötigt man entsprechende Belastungsdaten des Systems aus dem tagtäglichen Einsatz heraus.

Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit eines autarken Systems, das einfach an unterschiedliche Plattformen im Fahrzeugbereich adaptierbar ist, die Belastungsdaten in den unterschiedlichen Freiheitsgraden sensiert und aufzeichnet und durch einen konsequenten strukturierten Aufbau in Hard- und Software diesen speziellen Anforderungen genügt. Aufgrund der Vielzahl der gerade im Landfahrzeugbereich vorhandenen Plattformen muss ein solches System kostengünstig und zuverlässig einsetzbar sein.

Die TROUT GmbH in Kassel ist ein Unternehmen der Informationstechnologie und Systemtechnik mit speziellem Know-how in der Anwendung Künstlicher Intelligenz für Aufgabenlösungen aus dem technisch-wissenschaftlichen Bereich.

Ausgehend von den oben geschilderten Anforderungen an Landsysteme entwickelte und erprobte TROUT in einer mehrjährigen Technologiepartnerschaft mit der Rheinmetall Landsysteme GmbH hierzu ein sogenanntes Vehicle Data Analysing System, kurz VeDAS. VeDAS dient der automatischen Erfassung von Fahrzeugdaten und deren Auswertung. Die Kommunikation mit dem zugehörigen Auswertesystem erfolgt entweder per mobilem Speichermedium oder per drahtloser Kommunikation schnell und sicher (safety & security).

**Keywords:** Bedarfsorientierte Wartung, Zustandsbasierte Wartung, Machine Learning

## Datenaufnahmeeinheit

Insbesondere die im harten Einsatz z.B. bei Aufgaben des Internationalen Krisenmanagements vom Fahrzeug erfahrenen Beschleunigungen und Vibrationen haben einen großen Einfluss auf die Mean Time Between Failure und damit auf die tatsächlich nutzbare Verfügungszeit.

Um eine Verbindung herzustellen zwischen den erfahrenen Belastungen und jeweiligen tatsächlichen Umweltbedingungen müssen auch die Lage der Plattform im dreidimensionalen Raum sowie die Fahrzeugparameter Geschwindigkeit und zurückgelegte Distanz erfasst werden.

Die Datenaufnahme erfolgt über eine Sensoreinheit, die auf der jeweiligen Plattform montiert wird und durch Drehwinkel-, Beschleunigungs- und Vibrationssensoren die Belastungen aufnimmt, aufzeichnet und mit den jeweiligen Fahrzeugparametern zur späteren Auswertung zur Verfügung stellt.

Nebstehendes Bild zeigt eine derartige Einheit zur VeDAS Datenaufnahme.

Über eine fahrzeuginterne CAN-Bus-Schnittstelle können zudem Daten, die beispielsweise



Abb. 1: Datenaufnahmeeinheit

ein Motorsteuergerät liefert, ebenfalls hinzugezogen werden. Das geschlossene Aluminium-Gehäuse besitzt Schutzklasse IP 67. Die Rundstecker-Verbindungen für die Schnittstellen nach außen sind robust und wasserdicht und erfüllen militärischen Standard.

## Sensorik

Eine umfangreiche Sensorik umfasst Messfühler für Beschleunigung, Drehwinkel, Vibration und Umwelteinflüsse. Ein GNSS-Modul zeichnet Positionsdaten auf.

**Beschleunigungssensoren (Accelerometer):** Diese Sensoren messen die Beschleunigungskräfte in drei Raumachsen (x, y, z). Genutzt werden mikroelektromechanische Systeme (MEMS), die sehr klein sind und geringen Stromverbrauch haben.

**Gyroskope (Drehwinkelsensoren):** Gyroskope messen die Drehbewegung um die drei räumlichen Achsen.

**Vibrationssensoren:** Diese Sensoren erfassen mechanische Schwingungen und Stöße.

**Feuchtigkeits- und Temperatursensor:** Feuchtigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur kann die Leistung und Sicherheit von elektronischen und auch mechanischen Systemen beeinträchtigen.

Ergänzt wird die Messeinheit durch Körperschallmikrofone. Zum Einsatz kommen zwei rauscharme MEMS-Mikrofone mit hohem Schalldruckpegel und erweitertem Tieftonbereich. Dem Mikrofonelement ist ein Impedanz-Konverterverstärker nachgeschaltet. Eine lineare Reaktion erfolgt bis zu 130 dB SPL. Die Tieftonerweiterung bis hinunter zu 6 Hz bietet hervorragende Phaseneigenschaften. Der niedrige Stromverbrauch trägt gemeinsam mit einem differenzierten Power-Management zu langen Betriebszeiten auch ohne externe Spannungsversorgung bei.

Zur Datenreduktion, und um die aperiodischen Signale in ein kontinuierliches Spektrum zerlegen zu können, wird noch auf dem Signaldatenprozessor eine schnelle Fourier-Analyse (FFT) durchgeführt.

Die gesamte Sensorik arbeitet über einen erweiterten Temperaturbereich von -40 °C bis +85 °C.

Unter dem Deckel und an der Gehäusevorderseite befinden sich LEDs für Status- und Fehleranzeigen. Die USB-Ports dienen zur sicheren, drahtgebundenen Datenübertragung und eröffnen die Möglichkeit, über eine Konfigurationsdatei die inneren Parameter der Messeinheit individuell für die jeweilige Mission anzupassen.

Zusätzlich steht noch ein Interface für weitere Sensoren oder auch eine drahtlose Übertragung der aufgezeichneten Daten über die Rundstecker-Verbindungen zur Verfügung.

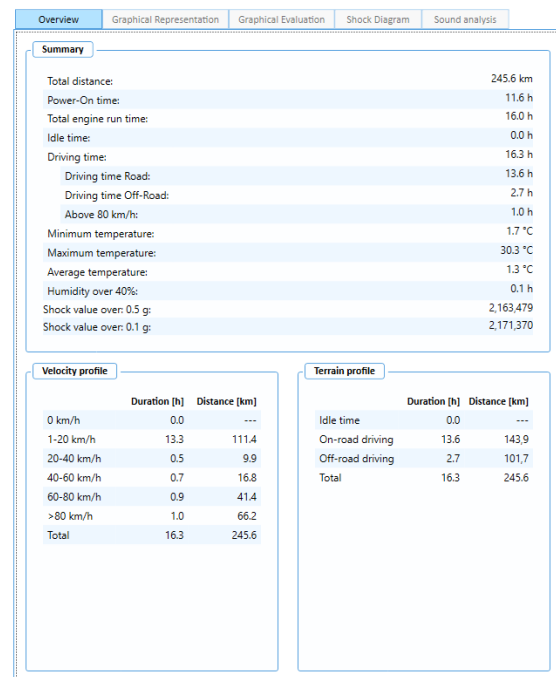
Die Elektronik ist in MultiLayer PCB (Printed Circuit Board) Technologie mit mechanischen Führungen ausgeführt. Die Führungen dienen dem Schutz der Leiterplatte und erleichtern eine präzise Montage in dem komplexen Gerätegehäuse.

## Datenaufnahme

Fahrzeugdaten vom CAN-Bus sowie an der VEDAS Box angeschlossener Sensorik werden nach einer Filterung mit Datenreduktion und Plausibilitätscheck in einen Ringspeicher geschrieben. Die Kapazität des Ringspeichers umfasst Messdaten mehrerer Monate.

## Auswertungssoftware

Zu jedem gewünschten Zeitpunkt können die Daten aus dem Ringspeicher in eine Datenbank auf einen PC / Laptop exportiert werden. Dort werden die Daten algorithmisch analysiert, tabellarisch zusammengefasst und visualisiert.



Exportieren  Show Idle time

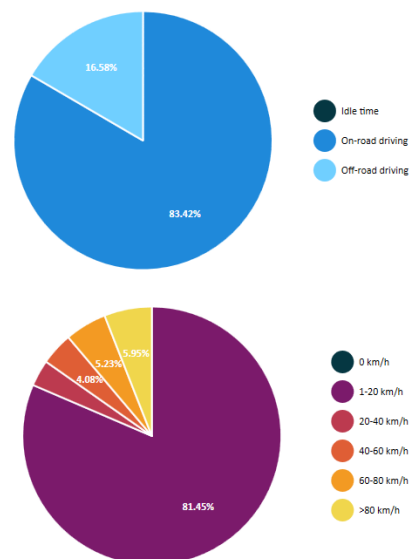


Abb 2: Tabellarische und grafische Auswertung

Durch die KI-gestützte Auswertung der Bewegungs- und Beschleunigungsdaten hinsichtlich der Stoß- und Wankeinwirkungen und des dadurch entstehenden Energieeintrags auf das Fahrzeug ergibt sich ein aussagekräftiges Belastungsprofil der überwachten Flotte.

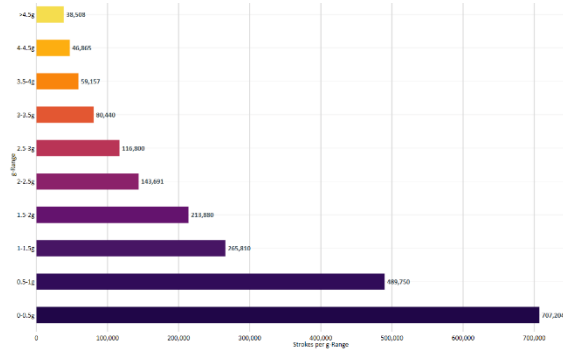


Abb. 3: Diagramm zur Verteilung von Stoßbelastungen

Analog wird für die Berechnung potentiell erforderlicher Wartungsarbeiten von Fahrzeug-Komponenten verfahren. Hierfür wird noch eine Auswertung des gemessenen Körperschall-spektrums hinzugezogen. Betrachtet wird der Frequenzbereich von 6 Hz bis 20 kHz.

Eine Aufnahme des gesamten Frequenzbereichs in einer Messung erzeugt eine sehr große Datenmenge, da gerade zum Messen niedriger Frequenzen ein langer Zeitraum erforderlich ist. Daher ist es sinnvoll, mehrere Messungen für unterschiedliche Frequenzbereiche durchzuführen, bei denen die Datenmenge jeweils auswertbar bleibt.

In der Startkonfiguration wird dem Sensor übermittelt, für welche Frequenzen er Messungen durchführen soll. (Dauer der Messung TM1, TM2, TM3 und Messfrequenz MF1, MF2, MF3).

**Fahrzeugwahl**

Nach Auswahl des gewünschten Fahrzeugs stehen folgende Optionen für Auswertungen zur Verfügung:

- Fahrzeugdaten: Überblickartige Zusammenfassung aller gesammelten Fahrzeugdaten. Tabellarische Auflistung der Tagesdaten und Benutzungszeiten. Graphische Darstellung des Leerlauf-, Gelände- und Straßenanteils im Kreisdiagramm. Anlegen und Modifizieren von Fahrzeugstammdaten.
- Nutzungsprofil: Detailbetrachtung der Fahrzeugbenutzungsdaten nach auswählbarem Zeitraum. Aufschlüsselung in Geschwindigkeitsintervalle und Beschleunigungskraftbereiche. Möglichkeit zur Gegenüberstellung von mehreren Fahrzeugen und/oder verschiedenen Zeitspannen.

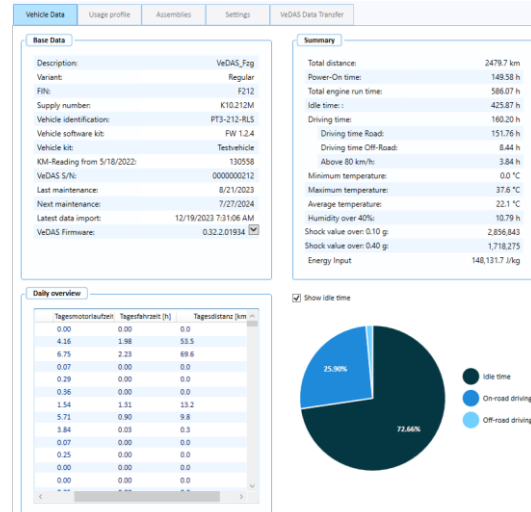


Abb. 4: Präsentation der Fahrzeugbenutzungsdaten

- Graphische Darstellung: Kartenabbildung der Fahrstrecke des Fahrzeugs, Zeitreihen und Diagramme der Messdaten, Balkendiagramm zur Verteilung von Stoßbeschleunigungen



Abb. 5: Diagramm der g-Kräfte in der Umgebung eines Routenpunktes

- Baugruppen: Organisation der zustandsüberwachten Bauteile. Planung, Verwaltung und Dokumentation von Wartungsmaßnahmen
- Einstellungen: Spracheinstellung, Verzeichnisse, Export-Einstellungen, Festlegen der Grenzwerte und Korrekturfaktoren.
- VeDAS-Datentransfer: Konfiguration des VeDAS-Datensticks, Datenimport vom Datenstick.

Für jedes Fahrzeug können Reports im PDF Format mit den Auswertungsdaten und -diagrammen frei wählbarer Nutzungszeiträume erstellt werden.

Der Export von Messdaten in Tabellenformate wie Microsoft Excel oder CSV ist ebenfalls möglich. Weitere Auswertungen in nachgeschalteten Analysesystemen werden damit erleichtert.

## Körperschall

Körperschallsensoren, auch als Struktur-schallsensoren bekannt, messen die durch mechanische Quellen in einem Material erzeugten Schwingungen. Diese Sensoren sind besonders nützlich für die Zustandsüberwachung und die vorbeugende Wartung von Maschinen und Fahrzeugen, einschließlich gepanzerter Radfahrzeuge. Sie werden hier verwendet, um Defekte an bewegten oder rotierenden Teilen zu detektieren, indem Veränderungen in den Schwingungsmustern erkannt werden, die auf Probleme wie Unwucht, Verschleiß, Risse oder andere Schäden hinweisen.

Die beiden Sensoren des VeDAS erfassen kontinuierlich die durch die Fahrzeugkomponenten erzeugten und transmittierten Schwingungen, sowohl im Ruhezustand als auch während der Bewegung. Die Schallerfassung wird nach Geschwindigkeitsintervallen differenziert, und es wird zwischen Gelände und Straße unterschieden.

Die aufgenommenen Daten werden einmal in Echtzeit analysiert und auch im Nachgang, um Muster oder Anomalien zu erkennen. Dies erfolgt durch fortgeschrittene Algorithmen aus dem Umfeld des maschinellen Lernens, um auch geringfügige Veränderungen zu identifizieren, die auf potenzielle Defekte hinweisen. Bei der Erkennung von Anomalien wird eine Benachrichtigungskette initiiert, um die spezifische Ursache zu identifizieren und vorbeugende Wartungsmaßnahmen durchzuführen, bevor ein schwerwiegender Ausfall auftritt.

Im Gegensatz zu anderen Diagnosemethoden, die direkten Zugang zu den zu überwachenden Teilen erfordern, können Körperschallsensoren Messungen aus der Ferne durchführen, ohne in den Betrieb des Fahrzeugs einzugreifen.

Die Möglichkeit zur Echtzeitüberwachung unterstützt eine kontinuierliche Zustandsüberwachung und erleichtert die sofortige Erkennung von Problemen.

Die Kosteneffizienz von Körperschallsensoren in der Wartung und Überwachung mechanischer Systeme ergibt sich aus den Schlüsselfaktoren:

**Früherkennung von Problemen:** Erfassung beginnender Defekte wie Risse, Abnutzung oder Lockerung noch vor einem Ausfall.

**Vermeidung ungeplanter Ausfälle:** Sie sind oft mit hohen Kosten verbunden, nicht nur wegen der sofortigen Reparaturbedürfnisse, sondern auch aufgrund der Betriebsunterbrechung.

**Optimierung der Wartungsintervalle und Verlängerung der Lebensdauer der Komponenten** sowie Verbesserung der Sicherheit und Zuverlässigkeit.

## Testfahrten

Die spektrale Zusammensetzung des Körperschalls ist eine charakteristische Größe für das Fahrzeug.

Abhängig vom Geländeprofil und der Bewegungsgeschwindigkeit dominieren spezifische Resonanzfrequenzen das Bild. Diese Daten werden in Testfahrten erhoben und organisiert.

Serialnr.	Y-Nr.	Strecke	Datum (Min)	Datum (Max)	Info	Bemerkungen
0000000201	Y-430 403	Mittelfeld	05.07.2023 05:00:00	05.07.2023 05:00:00	Ausgangsfahrt	GTE Boxer Y-430 403 1) Aufbereitung GTE Boxer Y-430 403
0000000201	Y-430 461	Mittelfeld	04.07.2023 07:00:00	04.07.2023 13:15:00	Ausgangsfahrt	GTE Boxer Y-430 461 1) Aufbereitung 2) Inbetriebnahme 3) Inbetriebnahme 4) Inbetriebnahme
0000000201	Y-430 403	Mittelfeld	03.07.2023 07:00:00	03.07.2023 09:00:00	Ausgangsfahrt	GTE Boxer Y-430 403 1) Inbetriebnahme
0000000201	Y-430 519	Mittelfeld	13.06.2023 09:00:00	13.06.2023 23:37:35	Ausgangsfahrt	Y-430 519
0000000300	Y-430 461	Mittelfeld	26.11.2022 06:15:00	26.11.2022 10:15:00	Ausgangsfahrt	GTE Boxer Boxer FUFz
0000000209	Y-430 461	Mittelfeld	25.11.2022 06:15:00	25.11.2022 12:45:00	Eingangsfahrt	GTE Boxer Boxer FUFz
0000000300	Y-430 461	Mittelfeld	24.11.2022 11:45:00	24.11.2022 12:45:00	Eingangsfahrt	GTE Boxer Boxer FUFz
0000000201	Y-430 419	Mittelfeld	14.11.2022 00:00:00	14.11.2022 23:37:35	Eingangsfahrt	Y-430 419

Abb. 6: Verwaltung von Testfahrten

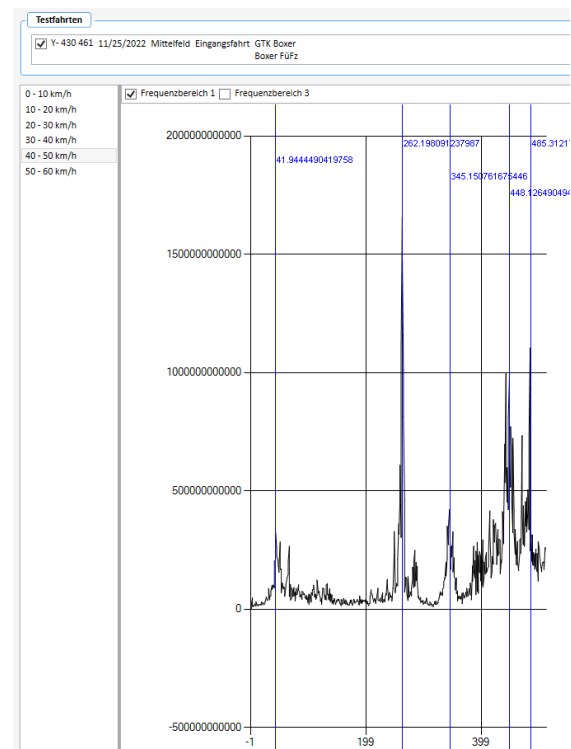


Abb. 7: Charakteristische Frequenzen

Bei dem Vergleich von Eingangsfahrten (vor der Instandsetzung) und Ausgangsfahrten (nach einer Instandsetzung) werden Diskrepanzen in den Spektren offenbart, die vom mechanischen Zustand der rotierenden Komponenten herrühren. In den nachfolgenden Abbildungen werden Abweichungen in den Amplituden offensichtlich.

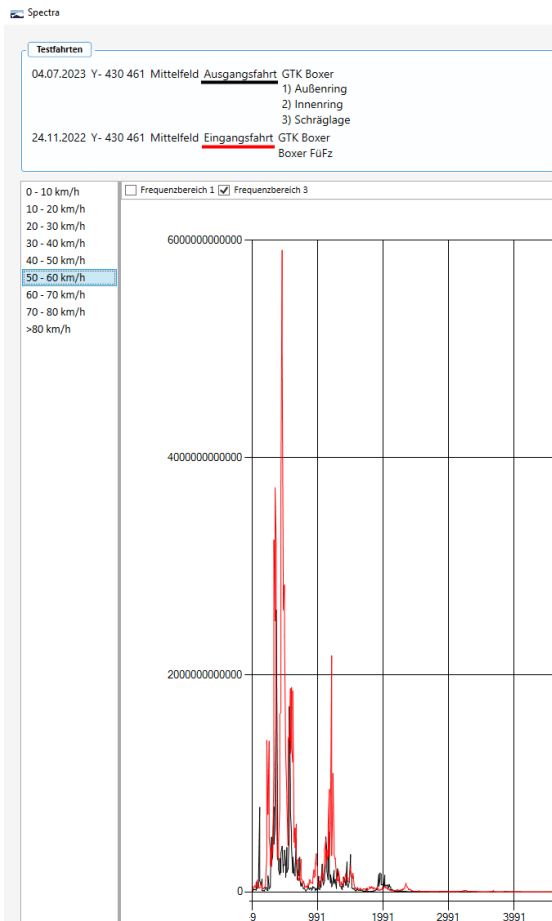


Abb. 8: Spektraler Vergleich von Testfahrten

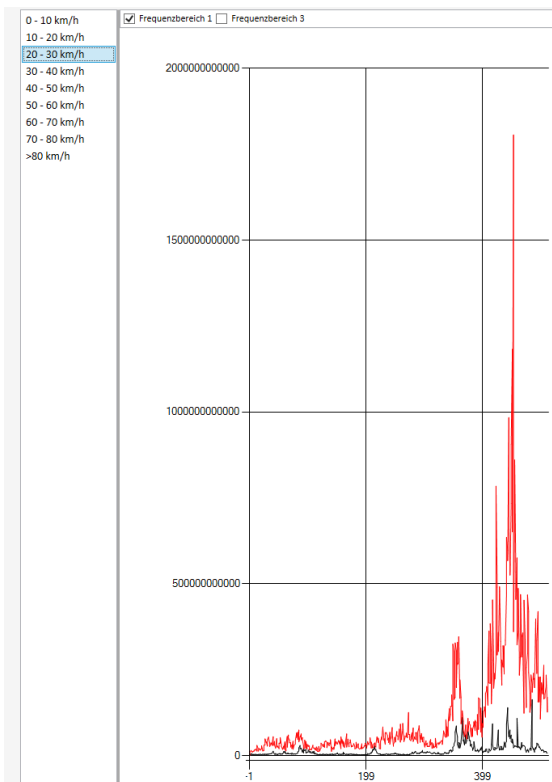


Abb. 9: Spektraler Vergleich von Testfahrten (vor, nach einer Inst.) in den jeweiligen Geschwindigkeitsintervallen (wie in Abb. 8).

Der Auswertungsalgorithmus für die Zustandsüberwachung lernt daraus, die Prominenz spezifischer Frequenzen in den Schalldaten mit dem drohenden Funktionsverlust oder Ausfall von Fahrwerksbauteilen zu verbinden.

### Kartendarstellung

Ist eine entsprechende Karte geladen, werden die in der Testfahrt vorhandenen GPS-Daten auf diese Karte übertragen. Der Nutzer kann so den Kurs des Fahrzeugs nachverfolgen. Die Routenpunkte auf der Karte signalisieren anhand ihrer Farbe die Geschwindigkeit oder andere Parameter, je nach Bedienerauswahl. Jede Markierung auf der Karte ist vom Nutzer anwählbar, um zusätzliche Informationen wie Geschwindigkeit und Momentanbeschleunigung des Zeitpunktes zu erhalten. Zudem kann der Benutzer einen Zeitrahmen auswählen, so dass sich der Bereich um diesen Punkt im Tab „Graphische Auswertung“ genauer analysieren lässt.



Abb. 10: Route mit farblicher Darstellung der g-Kräfte

Für einige Parameter wie Geschwindigkeit und g-Kraft können zur Filterung Schwellenwerte eingegeben werden, so dass nur die Messpunkte ober- bzw. unterhalb dieser Schranken angezeigt werden.

### Grafische Auswertung

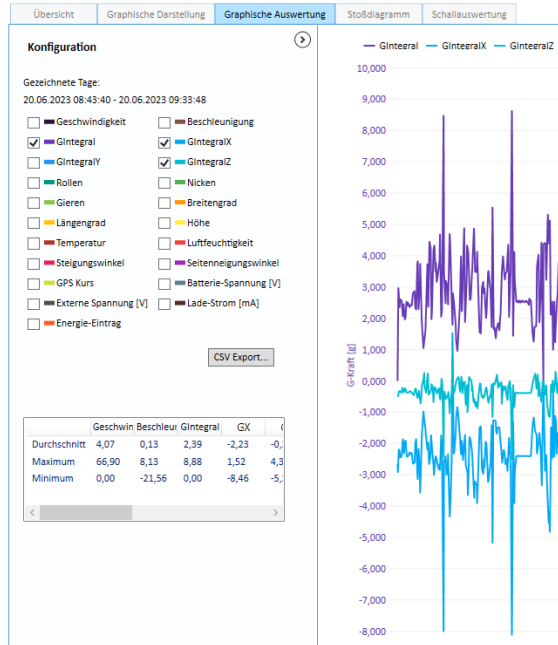


Abb. 11: Beschleunigungswerte über der Zeit

Im Fenster für die grafische Auswertung können die Daten, die gegeneinander geplottet werden sollen ausgewählt werden. Die Farbwahl ist frei. Selektierte Daten können für eine nachgeschaltete Auswerteeinheit exportiert werden.

### Logbuchfunktion

LCN	Teile-Kennzeichen	Bezeichnung	VersNr	SAP-Material-Nr.	Index	Serial
A00	142C00000.000.0	BOXER FuZ A2	2355-12-401-9598	405000182		Y-4
A00	140C00000.000.0	FAHRMODULV.	2355-12-407-3663	305005033		nn
A01	120D011000.000.0	MOTOR MIT GENERATOR	nn	225027280		nn
A01	300.090.553.MB	Generator SF217-20-D	2920-12-403-0120	105009323		V70
A06	142W060000.000.0	Elektrische Anlage	nn	305002565		nn
A06	142W063900.000.0	Energieverteiler FuZ A2	6110-12-408-8054	225017078		100
A06	9999138-062100.000.0	CAN-Knoten	7035-12-379-5874	220198940		RA0
A06	10206-511000.000.0	RICHTGRIFFSCHALT- ELEKTR	5998-12-410-2590	105009965		000
A06	122D061000.000.2	EINBAURAIM BEDIEN- U. ANZEI	nn	300029591		nn
A06	142D061100.000.0	BAE-MKF	2510-12-406-6132	225025948		c 183
A06	122D062000.000.0	EINBAURAIM VERTEILERKASTE	nn	300029795		nn
A06	142D063100.000.0	ENERGIEVERTEILER FM	6110-12-406-4540	225023776		c 183
A08	120D034000.000.0	KRAFTSTOFFPUMPEN	nn	300033630		nn
A08	120D081100.000.0	ACHSMITTENGETR. 1. KPL.	nn	220238455		nn
A12	120D123010.000.0	BREMSE. VR VORMONTIERT	2530-12-385-7626	220238760		nn
A16	142W160950.000.0	Dachstaukasten. vollst.	2540-12-410-0656	225016115		b 000
A16	122W161000.000.0	SITZE. VOLLST.	nn	300035117		nn
A16	122W161100.000.0	Kommandantsitz, Einbau	nn	220317841		nn

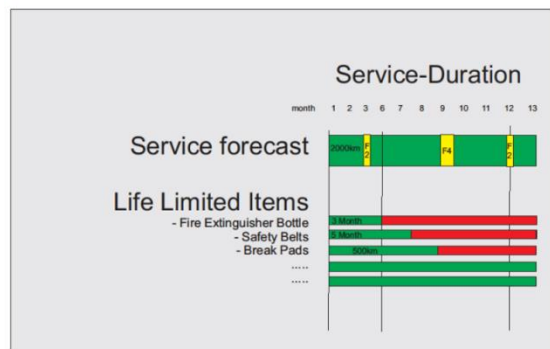


Abb. 12: Logbuch mit Service Forecast

Neben der Fahrzeugdatenerfassung verfügt VeDAS auch über eine Logbuchfunktion zur Dokumentation der Wartungstätigkeiten. Hier werden für die vom System beobachteten Fahrzeugbaugruppen die Wartungsintervalle und Fristen geplant und verrichtete Instandsetzungsmaßnahmen oder Komponententausch vermerkt.

### Fazit

Die dargestellte Methode der Zustandsüberwachung gibt nun über einen internen KI-Prozess die Wartungsintervalle vor und sichert die Verfügbarkeit des Fahrzeugs. In einer Ausbaustufe und nach einer CAN-BUS-Adaption, wurde ein Konzept zur Bewertung der Ölgüte über die nutzbaren Parameter erarbeitet, um auch hier die bedarfsorientierte Wartung und präventive Maßnahmen zu unterstützen.

Das System ist einführungsreif. Es dient dazu Felddaten und Betriebsdaten von Fahrzeugen zu erfassen, um damit Lifecycle Kosten besser kalkulieren zu können. VeDAS besitzt das Potential, technische Updates und Verbesserungen einzuleiten sowie Schwachstellen bei Fahrzeugen zu erkennen. Es deckt die Bereiche Wartung sowie vorbeugende Wartung ab und gibt Informationen über den erwarteten Lebenszyklus des überwachten Systems.

Zusammenfassend ist die vorausschauende und auch zustandsbasierte Wartung ein Bestandteil des Lebenszyklusmanagements, der sich speziell auf den Wartungsaspekt konzentriert. Beide sind integraler Bestandteil eines effektiven Asset Managements und zielen darauf ab, Leistung, Kosten und Lebensdauer des Equipments zu optimieren

### Ausblick

VeDAS verfügt über Schnittstellen, um die gewonnenen Daten für eine weitergehende Verarbeitung beispielsweise in einem Fahrzeug-Management-System zu nutzen und ist damit ein wichtiger Baustein für weitere digitalisierte Systeme.

### Literaturnachweis

- [1] Vehicle Data Analysis System (VeDAS) ein erster Schritt hin zur Planung und Vorbereitung bedarfsorientierter Wartung, CPM Forum für Rüstung und Sicherheit Heft 4 | 2023 Seite 66ff
- [2] Michael Möser, Wolfgang Kropp, Körperschall Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen, 2010 ISBN: 978-3-540-49048-7
- [3] Michael Möser, Körperschall-Messtechnik, 2018 ISBN: 978-3-662-56621-3
- [4] Bernd Orend & Ingo Meyer Schadensfrüherkennung mittels Körperschall, 2009 MTZ - Motor-technische Zeitschrift volume 70, pages 386–391