Ausfallsicheres und effizientes elektrisches **An**triebssystem für **Ro**botertaxis

AnRox – Ausfallsicheres und effizientes elektrisches Antriebssystem für Robotertaxis – Teilvorhaben Mehrprozessorplattform – Abschlussbericht

01.04.2021 – 30.06.2024

AixControl GmbH

Zuwendungsempfänger	AixControl GmbH
Förderkennzeichen	**19A21004F**
Vorhabensbezeichnung	AnRox – Ausfallsicheres und effizientes elektrisches Antriebssystem für Robotertaxis; Teilvorhaben: Mehrprozessorplattform
Laufzeit des Vorhabens	01.04.2021 – 30.06.2024
Berichtszeitraum	01.04.2021 – 30.06.2024
Leiter des Teilvorhabens mit Telefon, Fax und E-Mail	Dr.-Ing. Felix Adler Tel.: +49 241 510083 58 Fax: +49 241 510083 10 adler@aixcontrol.de
Datum	27.11.2024

Funded by
the European Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Teilvorhabensleitung

Dr.-Ing. Felix Adler
AixControl GmbH
Sonnenweg 13, 52070 Aachen
Telefon: +49 241 510083 58, Fax: +49 241 510083 10
adler@aixcontrol.de

Autor

Adler, +49 241 510083 58, adler@aixcontrol.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis **3**
Abbildungsverzeichnis **4**
1 Kurzdarstellung **5**
1.1 Aufgabenstellung 5
1.2 Voraussetzungen 5
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 6
1.4 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand 7
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 8
2 Eingehende Darstellung **9**
2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse 9
2.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 13
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 13
2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses 14
2.5 Bekannt gewordener Fortschritt anderer Stellen 14
2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen 14

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grobzeitplan AnRox 7
Abbildung 2: Strukturelle Übersicht der Mehrprozessorplattform 10
Abbildung 3: Oberseite der Mehrprozessorplattform 10
Abbildung 4: Unterseite der Mehrprozessorplattform 11
Abbildung 5: Grundstruktur der Software 12
Abbildung 6: Basisplatine eines Satelliten 12
Abbildung 7: Aufbau der Erprobungsarbeiten 13
Abbildung 8: Beispielhafter Messschrieb 13

1 Kurzdarstellung

Im Folgenden ist das Projekt aus der Sicht des Teilvorhabens Mehrprozessorplattform der AixControl GmbH dargestellt. Die Perspektive des Gesamtvorhabens ist im gemeinschaftlichen Abschlussbericht des Konsortiums festgehalten.

1.1 Aufgabenstellung

Im Verbundprojekt „***Ausfallsicheres und effizientes elektrisches Antriebssystem für Robotertaxis (AnRox)***“ wurden System- und Komponentenlösungen für ausfallsichere Antriebssysteme und Energiebordnetze erforscht. Die erhöhten Kosten für die notwendige, erhöhte Verfügbarkeit von Komponenten aufgrund des Anwendungsfalls eines Robotaxis sollten dabei durch systemische Optimierung minimiert oder durch Mehrwert kompensiert werden. Durch die Umsetzung mit elektrischen Antriebssystemen ergeben sich neue Freiheitsgrade und Lösungsvarianten, die diese Optimierung durch neue Betriebs-, Fehlererkennungs- und Behandlungsstrategien ermöglichen. Dazu wurden im Verbundprojekt auf der Ebene der Antriebstopologien verschiedene Varianten von Ein- und Mehrmaschinensystemen untersucht.

Durch das Teilvorhaben Mehrprozessorplattform trug die AixControl im Cluster Antriebs- und Energiebordnetzkomponenten zu dem Teilbereich der Antriebskomponenten mit erhöhter Ausfallsicherheit bei. Das Teilvorhaben hatte das Ziel, eine leistungsfähige Mehrprozessorplattform für die Regelung ausfallsicherer Antriebe zu erstellen, die eine möglichst hohe Rechenleistung und geringe Latenz zur Verfügung stellt. Die Plattform sollte zur einfachen Umsetzung von Steuerungs- und Regelungsaufgaben eine grafische Programmierung ermöglichen sowie die Entwicklung und Fehlersuche mit einem Software-Oszilloskop und textuellen Ausgaben unterstützen. Für ein hohes Maß an Flexibilität sollte die Plattform aus einer Zentraleinheit und abgesetzten Satelliten bestehen, um den Betrieb von verteilten, jedoch synchronisierten Komponenten zu ermöglichen. Die Satelliten bilden dabei die analoge und digitale Schnittstelle zu realen Sensoren und Aktoren ab. Zusätzlich zum Betrieb einer Zentraleinheit mit mehreren Satelliten sollte ein Verbund aus mehreren solchen Einheiten ermöglicht werden. Dabei wurden auch Konzepte für die funktionale Sicherheit im Betrieb erarbeitet.

1.2 Voraussetzungen

So wie das Gesamtprojekt AnRox auf Vorarbeiten aufbaut, wurden auch im Bereich der Mehrprozessorplattform auf den Vorarbeiten aus früheren Forschungsprojekten und Aktivitäten aufgebaut.

Im Bereich der Forschung wurden Vorarbeiten vorrangig in den Projekten EMiLE und SiCModul geleistet, die mit den Themen Zentralsteuerung und verteilte Sensorik und Aktorik sowie Maschinenregelung befasst waren.

Die AixControl GmbH hat langjährige Erfahrung im Bereich der Leistungselektronik für netzgebundene Anwendungen, Antriebssteuerungen sowie kundenspezifische Umrichter und setzt in vielen Anwendungen bereits verteilte Systeme aus Zentralsteuerung und Satelliten ein.

Die vorhandene Zentralsteuerung stellte für aktuelle Anwendungen aus technischer und ökonomischer Sicht zunehmend ein Hindernis dar, da sich die vorhandene Rechenleistung mehr und mehr als Beschränkung herausstellte und die Entwicklungsprozesse aufgrund des inneren Aufbaus sowie der fehlenden Unterstützung von grafischen Programmiermethoden als ineffizient erwiesen haben. Der Aspekt der Sicherheit ist auf vorhandenen Systemen unzureichend berücksichtigt und das Vorhaben der Kopplung mehrerer solcher Systeme ist nicht im geplanten Maße möglich, so dass im Rahmen des Teilvorhabens Mehrprozessorplattform diese Aspekte besonders adressiert werden sollten.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Gliederung des Verbundprojekts AnRox in die vier Arbeitspakete

- Identifikation von Anforderungen an Antriebs-, Fahrwerksysteme und Energiebordnetze eines Robotertaxis (AP1),
- Ausfallsichere und intelligente Antriebssysteme und Energiebordnetze (AP2),
- Komponenten für ausfallsichere Antriebe und Energiebordnetze (AP3) sowie
- Validierung (AP4)

ist in den wesentlichen Punkten Konzept, Realisierung und Erprobung in die Strukturierung des Teilvorhabens übernommen worden. Neben der Mitarbeit am Verbundprojekt wurden bezogen auf die Mehrprozessorplattform

- in AP1 die Anforderungen an die Mehrprozessorplattform aus dem Verbund und innerhalb der AixControl erhoben,
- in AP2 die Verbundtopologie als Use-Case für die Erprobung entnommen sowie zusätzliche Anforderungen aus dem Zusammenspiel der Komponenten auf der Systemebene übernommen,
- in AP3 die eigentliche Realisierung der Mehrprozessorplattform vorgenommen sowie
- in AP4 die Erprobung der Plattform am Demonstrator durchgeführt.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt den geplanten Verlauf der Arbeitspakete inklusive Verlängerung. Aufgrund der Struktur des Verbundprojektes überschneiden sich die Arbeitspakete stark. Bezogen auf die Mehrprozessorplattform jedoch ist wegen der sequenziellen Natur des Teilvorhabens die Überschneidung weniger stark ausgeprägt.

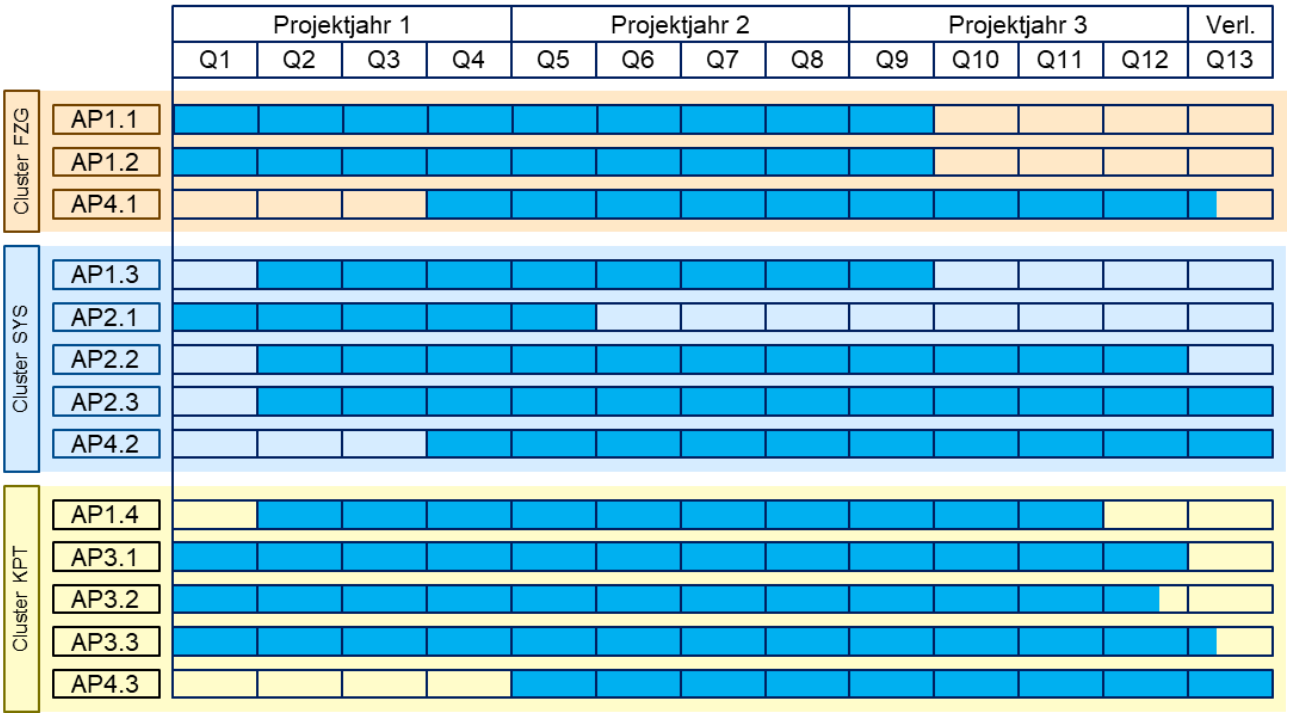

Abbildung 1: Grobzeitplan AnRox

Die Ressourcenplanung der Arbeitspakete sah jeweils ca. 6% des Gesamtumfangs auf die Arbeitspakete AP1 und AP2, ca. 10% für das Arbeitspaket AP4 und als Hauptteil ca. 75% für das Arbeitspaket AP3 vor. Zusätzlich waren ca. 3% für Projektmanagement eingeplant.

Im Ablauf kam es aufgrund der COVID-19-Pandemie und den damit verbundenen Auswirkungen auf Lieferketten zu erheblichem Verzug von Zulieferteilen in AP3 ab dem zweiten Halbjahr 2022 von insgesamt ca. 9 Monaten (Prozessormodul der Plattform). Durch eine Umplanung und Fokussierung der Arbeiten auf Softwareteile konnte die Ressourcenauslastung zunächst aufrechterhalten werden, führte in Folge im Jahr 2023 jedoch zu einer Reduktion des Ressourceneinsatzes durch fehlende Hardware. Dies wurde nach Fertigstellung der Plattform (inkl. verzögerter Revision) und verbunden mit zusätzlichen Ressourcen im vierten Quartal 2023 versucht aufzuarbeiten. Dies konnte nur teilweise erfolgen und führte zu einer Abänderung der Validierungsaktivitäten, die im Abschlussbericht des Verbundprojektes aufgeführt ist.

Insgesamt sind durch die aufgeführten Änderungen im Projektplan weniger Mittel verbraucht worden, als ursprünglich angesetzt waren.

1.4 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand

Für die Arbeiten an der Mehrprozessorplattform existierten verschiedene Anknüpfpunkte, die sich innerhalb des Verbundprojektes und innerhalb des Teilprojektes zu einem Gesamtbild zusammengefügt haben.

Im Rahmen der in der Automobilindustrie stattfindenden Disruption der Architektur der elektrischen und elektronischen Komponenten geht der Trend zu zentralisierten Systemen [1]. Dabei werden die gewünschten Funktionen einer oder mehreren leistungsstarken Rechnerplattformen in einem domänen- oder zonenorientierten Verfahren zugeordnet [2]. Solche Ansätze sollten auch Teil

der Verbundaktivitäten sein und mit der Grundidee des Verbundprojektes kombinierbar sein, bei den benötigten Redundanzen Synergien und Gleichteile zu nutzen und so Kostenpotentiale zu heben. Der Ansatz der Zentralisierung erfordert es jedoch, bei der Anbindung von Sensorik oder Aktorik lokale Rechenleistung bereitzustellen, z.B. bei einer Antriebssteuerung für die Maschinenregelung. Dies erschwert die Synergie- und Gleichteilnutzung.

Aus dem Arbeitsumfeld der AixControl ergeben sich Erfahrungen in der Entwicklung und dem Betrieb von Zentralsteuerungen mit abgesetzten Schnittstellen zu Aktorik und Sensorik, die das Zentralisierungskonzept des Verbundprojektes unterstützt. Hinzu kommen Erfahrungen der Übertragbarkeit aus dem Umfeld der industriellen Steuerungen in den Forschungsbereich der automobilen Antriebe [3].

Schließlich knüpfen die Arbeiten im Verbund und Teil an die applikationsspezifische Verlagerung der Leistungselektronik-Halbleiter in den Wide-Bandgap-Bereich an, in denen Kosten- und Gewichtsersparnis durch kleinere passive Komponenten angestrebt und unter anderem durch höhere Dynamiken im Bereich der Regelung und des Echtzeitverhaltens erkauft wird. Dies setzt höhere Rechenleistungen und niedrigere Latenzen voraus.

Kombiniert führen die Anknüpfpunkte zu den technischen Lösungen, die in diesem Projekt erarbeitet wurden.

Für die Durchführung des Vorhabens wurden keine darüberhinausgehenden Veröffentlichungen, Konstruktionen, Verfahren oder Schutzrechte benutzt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zur Bewältigung des Gesamtvorhabens war eine enge Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Partnern unabdingbar. Neben den regelmäßigen Zusammenkünften aller Partner und zusätzlichen Videokonferenzen der einzelnen Arbeitspakete gab es auch zahlreiche Arbeitstreffen im kleinen Kreis. Besonders erschwert wurde das Zusammenarbeiten in Präsenz durch die COVID-19-Pandemie, so dass auf Telepräsenz oder Hybridveranstaltungen ausgewichen werden musste.

Bezogen auf das Teilvorhaben wurde eine enge Verzahnung der Arbeitsergebnisse der Multiprozessorplattform mit den Arbeitspaketen der Antriebsentwicklung (AP3) und Validierung (AP4) zugunsten einer vorhandenen Lösung für die Verbundergebnisse verworfen. Der entstandene Freiheitsgrad hat sich im weiteren Verlauf des Projektes als vorteilhaft erwiesen, um die Turbulenzen aus der COVID-19-Pandemie aufzufangen.

Zusammenarbeit mit Stellen außerhalb des Konsortiums fand lediglich im Rahmen der Beauftragung der Firma Invensity statt.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Der Verwendungszweck der Zuwendung und das Hauptergebnis des Teilvorhabens ist die Ertüchtigung der Mehrprozessorplattform.

Die Mehrprozessorplattform ist eine Regelungs- und Steuerungsplattform speziell für verteilte leistungselektronische Systeme. Die Plattform fungiert als zentraler Ausführungsort aller softwarebasierten Regelungs- und Steuerungsfunktionen und bindet verteilte Leistungselektronik über Kommunikationskanäle an, die speziell für diesen Zweck im Sinne des Echtzeitverhaltens und der Übertragungssicherheit ausgelegt sind. Wie oben aufgeführt, basiert die Plattform konzeptuell auf Vorarbeiten, wurde jedoch in diesem Teilvorhaben von Grund auf erneuert, da sowohl für das Verbundprojekt als auch für die Verwertung die bisherige Plattform nicht geeignet ist. Die erarbeitete Mehrprozessorplattform wurde in den wesentlichen Bereichen der Rechenleistung, der Verbindungsmöglichkeiten sowie der Sicherheitsmaßnahmen (sowohl im Sinne der Safety als auch der Security) verbessert und erweitert. Ziel der Arbeiten war ebenso, die Entwicklungsprozesse der Softwareentwicklung und des Testens zu vereinfachen und dadurch zu beschleunigen sowie weniger fehleranfällig zu gestalten.

Der Begriff Mehrprozessorplattform wird mehrdeutig verwendet und bezeichnet zum einen, dass die Plattform an sich aus mehreren Prozessorkernen besteht, und zum anderen, dass mehrere dieser Plattformen zu einem Verbund gekoppelt werden können, um größere und komplexere Anlagen zu realisieren.

Abbildung 2 zeigt den strukturellen Aufbau der Mehrprozessorplattform. Im linken Bereich ist die Zentraleinheit abgebildet, die den eigentlichen Rechenkern als Modul beinhaltet. Dieses Modul enthält neben mehreren CPU-Kernen flüchtigen und nichtflüchtigen Speicher und ist ebenfalls mit programmierbarer Logik ausgestattet. In dieser ist die Kommunikationslogik realisiert, die an die im rechten Bereich abgebildeten Schnittstellen ankoppelt. Vier Satellitenports stehen für abgesetzte Peripherie zur Verfügung und zwei zusätzliche Ports sind für die Verschaltung mehrerer Mehrprozessorplattformen vorgesehen. Weitere Elemente sind Kommunikationsschnittstellen (zwei Ethernet-Ports sowie CAN und serielle Schnittstellen), digitale, optisch getrennte Ein- und Ausgänge, Statusanzeigen, ein Speicherkartenslot sowie eine Erweiterungsschnittstelle für künftige Anwendungen. Besonders hervorzuheben sind das Trusted Platform Module für kryptographische Aufgaben sowie der System-Basis-Chip als Sicherheitselement, das Überwachungsaufgaben übernimmt.

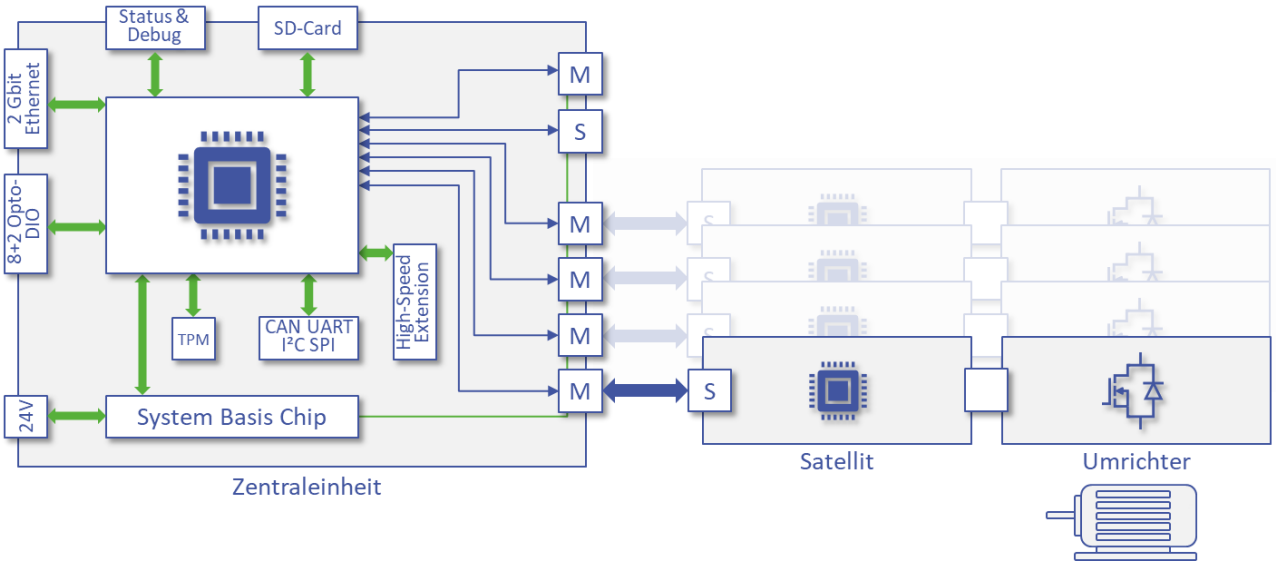

Abbildung 2: Strukturelle Übersicht der Mehrprozessorplattform

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die realisierte Mehrprozessorplattform ohne Gehäuse. Auf der Oberseite ist das Prozessormodul zu sehen, das die Rechenkerne, die für die Echtzeitkommunikation nötige programmierbare Logik und den Speicher enthält. Oben aufgebracht sind ebenfalls das Trusted Platform Module als Basiselement für kryprographische Sicherheit, Kommunikationsschnittstellen zur Anbindung von übergeordneten Steuerungen und Leistungselektronik, Stromschleifen für die Betriebssicherheit sowie allgemeine Ein- und Ausgabemöglichkeiten. Die Unterseite zeigt den System-Basis-Chip als zentrale Komponente der Betriebssicherheit sowie Erweiterungsschnittstellen. Passend zu der Baugruppe ist ein Gehäuse entworfen worden, um die Plattform in Industrieanlagen einsetzen zu können.

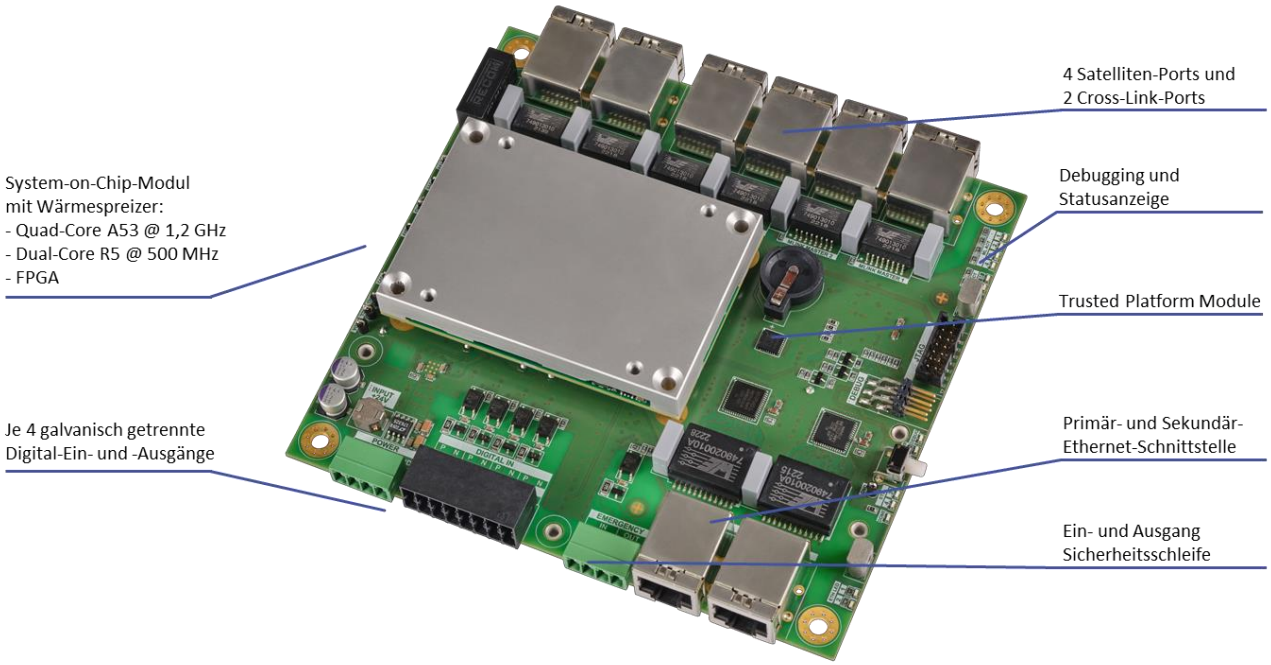

Abbildung 3: Oberseite der Mehrprozessorplattform

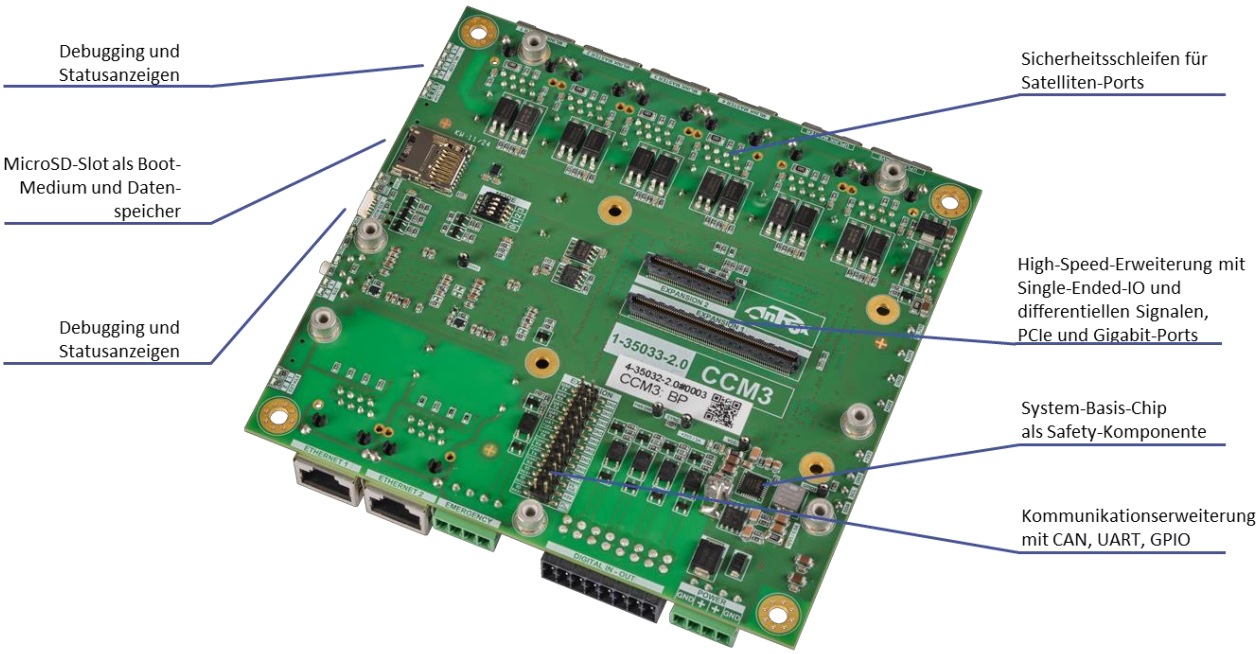

Abbildung 4: Unterseite der Mehrprozessorplattform

Im Bereich der Software waren umfangreiche Arbeiten nötig, um die Plattform zu ertüchtigen sowie die Ziele der vereinfachten Entwicklungs- und Testprozesse zu erreichen.

Abbildung 5 zeigt den schematischen Aufbau der Software. Die unteren beiden Ebenen enthalten den hardwarenahen Code und Elemente, die applikationsunabhängig bereitgestellt werden. Während die unterste Ebene speziell für das ausgewählte Prozessormodul programmiert wurde, sind in der mittleren Schicht Softwaremodule realisiert, die weitestgehend plattformunabhängig betrieben werden können. In der obersten Ebene findet die eigentliche Anpassung der Software an die Applikation im Bereich der Anlagensteuerung, der Kommunikation und der Regelung statt. Die ersten beiden Anteile der Anpassung werden manuell in C++ programmiert während Regelungsanteile über grafische Programmierung modellbasiert erstellt und im Anschluss als Quellcode automatisch ausgeleitet und angebunden werden.

Zusätzlich zu den Arbeiten im Bereich der modularen Software wurden im Bereich der Entwicklungswerkzeuge Strukturen geschaffen, die das Ziel der vereinfachten Entwicklung realisieren: die Erzeugung der Binärdateien aus Quellcode wurden mit Hilfe moderner Werkzeuge der Softwareentwicklung (hier CMake mit dem Compiler GCC) realisiert. Zur Modularisierung und Wiederverwendbarkeit wurde eine Quellcode-Paketverwaltung angebunden (hier Conan), die das einfache Einbinden von Software-Bestandteilen als Quell- oder Binärcode und deren Abhängigkeiten unterstützt.

Zur Umsetzung vereinfachter Testprozesse sind bewährte Werkzeuge auf die Plattform portiert (Live-View von internen und externen Größen über ein Softwareoszilloskop) und neue (umfangreiches Logging während der Laufzeit) erstellt worden.

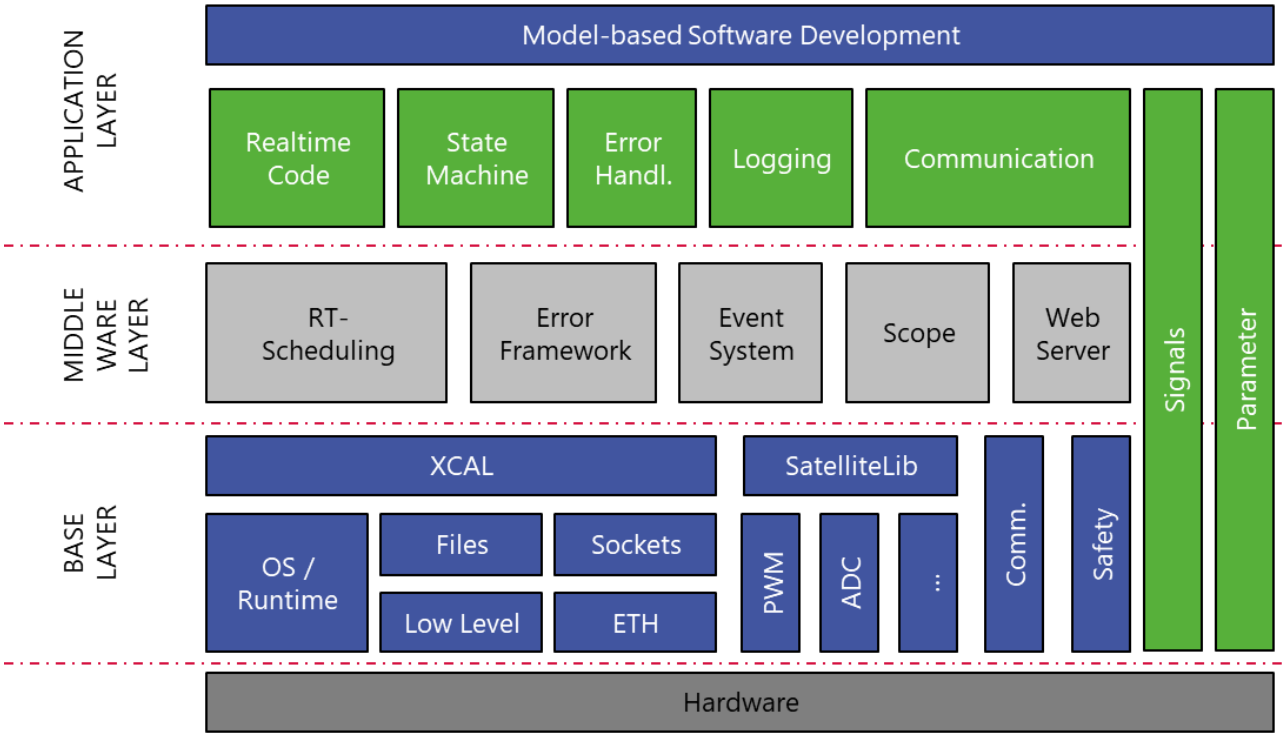

Abbildung 5: Grundstruktur der Software

Zum Betrieb der Mehrprozessorplattform sind abgesetzte Peripherieeinheiten nötig, die leistungselektronische Komponenten an die Mehrprozessorplattform anbinden. Diese Satelliten genannten Einheiten bestehen aus einem generischen und einem applikationsspezifischen Teil.

Der generische Teil ist in Abbildung 6 dargestellt und besteht aus einem Baustein programmierbarer Logik, der die Kommunikation und die Ansteuerung der Sensorik und Aktorik übernimmt. Daran wird ein Adapter über die unten im Bild gezeigten Schnittstellen angeschlossen, der die applikationsspezifische Anpassung der Signale vornimmt sowie Analog-Digitalumsetzer enthält, die für die üblichen Strom- und Spannungsmessungen nötig sind.

Zur Ertüchtigung der Satelliten wurden ebenso Softwarearbeiten durchgeführt, um die Anbindung der Peripherie an die Software der Mehrprozessorplattform zu realisieren.

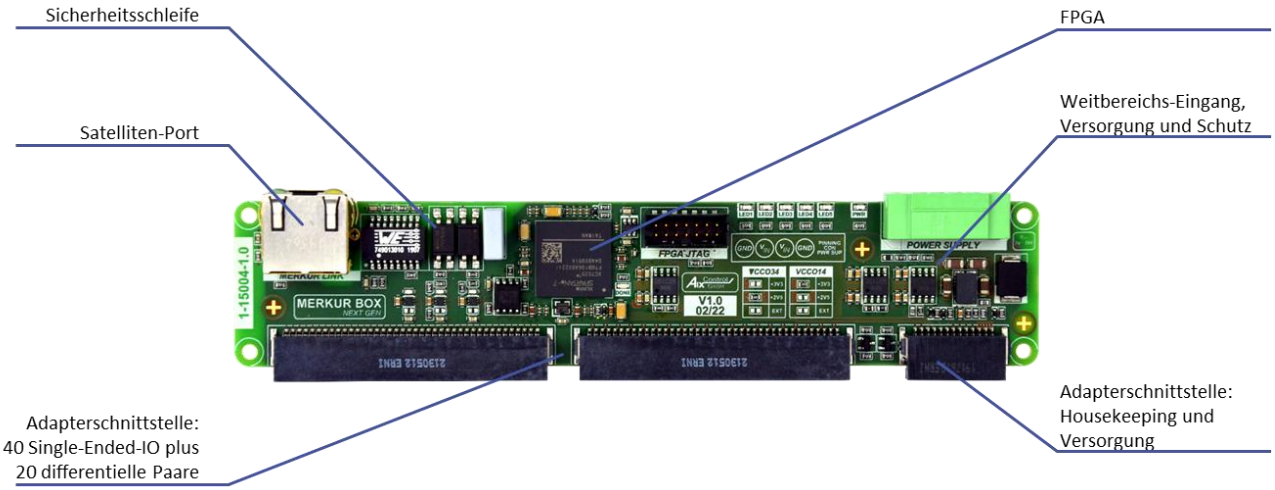

Abbildung 6: Basisplatine eines Satelliten

Im Rahmen des Verbundprojektes sind auf Basis der obigen Projektergebnisse weitere Arbeiten für die Validierung und Demonstration durchgeführt worden. In Abbildung 7 ist der Aufbau dargestellt, der zur Erprobung der Plattform verwendet wurde. Der Aufbau und die Schritte der Erprobung sind im Verbundbericht genauer beschrieben. Abbildung 8 zeigt exemplarisch den Messschrieb eines Reversiervorgangs der im Rahmen der Erprobung geregelten Maschine als Export aus dem Live-View-Entwicklungswerkzeug.

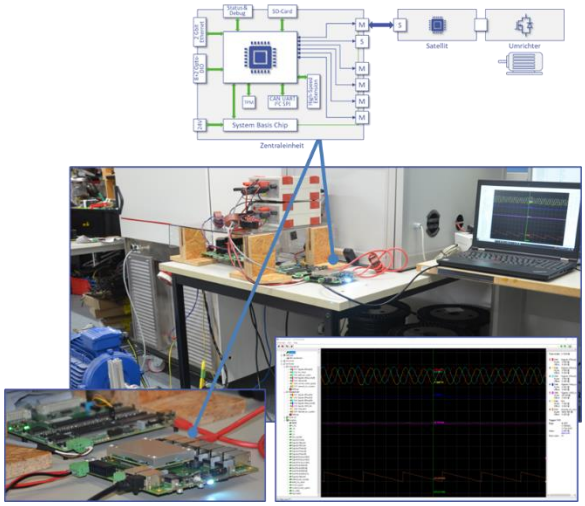

Abbildung 7: Aufbau der Erprobungsarbeiten

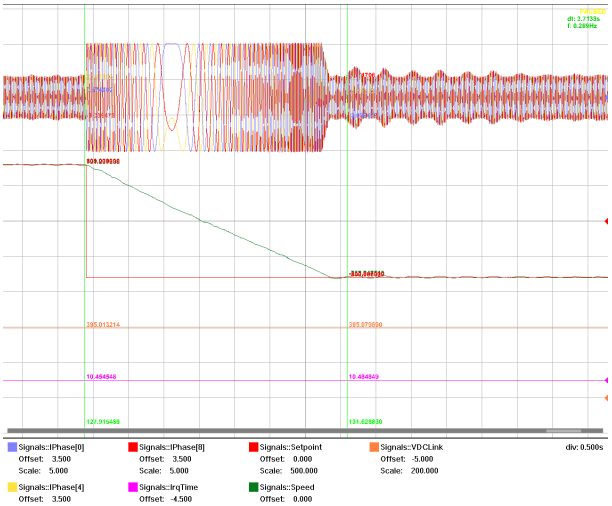

Abbildung 8: Beispielhafter Messschrieb

2.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis ist dem Förderträger im Rahmen des Verwendungsnachweises zur Verfügung gestellt worden. Dieser enthält neben dem Hauptanteil der Personalkosten das aufgewendete Material sowie Fremdleistungen, die im Rahmen des Verbundprojektes beauftragt wurden.

Der Materialaufwand besteht aus mehreren Entwicklungskits, die zur Erprobung des Prozessormoduls sowie zur frühen Softwareentwicklung verwendet wurden, aus den zu der Entwicklung benötigten In-Circuit-Schnittstellen zum Zugriff auf die Prozessorressourcen sowie aus den eigentlichen Materialkosten der Prototypen.

Die Kosten für die im Verbundprojekt vorgesehene Beauftragung der Firma Invensity zur Erarbeitung von funktionalen Sicherheitskonzepten wurde auf die Partner umgelegt und ist im zahlenmäßigen Nachweis als Fremdleistung aufgeführt.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Aus Sicht des Verbundprojektes haben die erarbeiteten Ergebnisse in mehreren Arbeitspaketen zum Gesamtergebnis beigetragen und den Kenntnisstand erweitert. Die konzeptionellen Aspekte flossen dabei in die Topologieuntersuchungen ein. Im Besonderen die Validierungsphase zum Ende der Arbeiten haben beigetragen, den eingeschlagenen Weg abzusichern. Dazu war der Demonstratoraufbau unabdingbar.

Ebenfalls aus Sicht des Teilvorhabens sind die geleisteten Arbeiten von entscheidender Bedeutung und haben unmittelbar zum Ergebnis und damit zum Erreichen der gesteckten Ziele geführt. Die ungeplanten Verzögerungen durch Lieferengpässe und die damit verbundenen Umstrukturierungen technischer und organisatorischer Art haben bestätigt, dass die geplanten und geleisteten Arbeiten notwendig und daher angemessen waren.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Der Nutzen des Teilvorhabens ist durch die industrienahe Ausrichtung der technischen Realisierung sofort gegeben: Die Mehrprozessorplattform ist durch den hohen erreichten Technologie-Reifegrad bereits in Pilotanwendungen einsetzbar. Zusätzlich können durch die Entwicklung von Zusatz-Aufsteckkarten neue Einsatzgebiete erschlossen werden. Der Stand der Software hat bereits einen hohen Reifegrad, so dass mit wenig Aufwand Applikationen erstellt werden können. Gestützt wird dies durch die erarbeitete vereinfachte Entwicklungsumgebung, die grafische Programmierung und die Paketverwaltung.

Insgesamt sind die neue Plattform und die Satelliten aufgrund der Leistungsfähigkeit Enabler für die Weiterentwicklung des Technologieportfolios der AixControl GmbH im Bereich der Echtzeitkommunikation und für weiterführende Technologien z.B. im Bereich der Wide-Bandgap-Leistungshalbleiter und deren Herausforderungen in der Ansteuerung, Sensorik und Regelung.

2.5 Bekannt gewordener Fortschritt anderer Stellen

Es ist kein Fortschritt anderer Stellen auf dem Gebiet des Teilvorhabens bekannt.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Die Erkenntnisse und Ergebnisse des Teilvorhabens wurden unter Wahrung etwaiger, geltender Geheimhaltung mit Partnern und Forschungseinrichtungen auch über den Rahmen des Verbundprojektes hinaus ausgetauscht, z.B. durch Messepräsenz auf der PCIM 2023 und 2024. Darüberhinausgehende Veröffentlichungen haben seitens der AixControl GmbH nicht stattgefunden.

3 Verweise

[1] O. Burkacky, J. Deichmann und J. P. Stein, „https://www.mckinsey.com," 2019. [Online]. Available: https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/automotive%20and%20assembly/our%20insights/mapping%20the%20automotive%20software%20and%20electronics%20landscape%20through%202030/outlook%20on%20the%20automotive%20software%20and%20electronics%20market%. [Zugriff am 2024].

[2] R. Cornyn, „Integration and Control for Tomorrow's Intelligent Electrified Solutions," 2019. [Online]. Available: https://community.nxp.com/pwmxy87654/attachments/pwmxy87654/connects/126/1/AMF-AUT-T3626.pdf. [Zugriff am 2021].

[3] K. Egger, „EMiLE - Elektro-Maschinen integrierte Leistungs-Elektronik : BMBF-Verbundforschungsprojekt : Abschlußbericht," 2016.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel AnRox – Ausfallsicheres und effizientes elektrisches Antriebssystem für Robotertaxis – Teilvorhaben Mehrprozessorplattform – Abschlussbericht	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Adler, Felix	5. Abschlussdatum des Vorhabens Juni 2024
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation Online
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) AixControl GmbH Sonnenweg 13 52070 Aachen	9. Ber. Nr. Durchführende Institution keine
	10. Förderkennzeichen 19A21004F
	11. Seitenzahl 16
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 3
	14. Tabellen keine
	15. Abbildungen 8
16. Zusätzliche Angaben keine	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Nicht zutreffend	
18. Kurzfassung Im Verbundprojekt „Ausfallsicheres und effizientes elektrisches Antriebssystem für Robotertaxis (AnRox)“ wurden System- und Komponentenlösungen für ausfallsichere Antriebssysteme und Energiebordnetze erforscht. Die erhöhten Kosten für die notwendige, erhöhte Verfügbarkeit von Komponenten aufgrund des Anwendungsfalls eines Robotaxis sollen dabei durch systemische Optimierung minimiert oder durch Mehrwert kompensiert werden. Durch die Umsetzung mit elektrischen Antriebssystemen ergeben sich neue Freiheitsgrade und Lösungsvarianten, die diese Optimierung durch neue Betriebs-, Fehlererkennungs- und Behandlungsstrategien ermöglichen. Dazu wurden im Verbundprojekt auf der Ebene der Antriebstopologien verschiedene Varianten von Ein- und Mehrmaschinensystemen untersucht. Im Teilvorhaben „Mehrprozessorplattform“ trug die AixControl zu dem Teilbereich der Antriebskomponenten mit erhöhter Ausfallsicherheit bei. Es wurde eine leistungsfähige Mehrprozessorplattform als Regelungs- und Steuerungsplattform entworfen und umgesetzt, die eine sehr hohe Rechenleistung und geringe Latenzen in der Verarbeitung von Ein- und Ausgaben zur Verfügung stellt. Die Plattform ermöglicht zur einfachen Umsetzung von Steuerungs- und Regelungsaufgaben eine grafische Programmierung und unterstützt die Entwicklung und Fehlersuche mit einem Software-Oszilloskop und textuellen Ausgaben. Für ein hohes Maß an Flexibilität besteht die Plattform aus einer Zentraleinheit und abgesetzten Satelliten, um den Betrieb von verteilten, jedoch synchronisierten Komponenten zu ermöglichen. Die Satelliten bilden dabei die analoge und digitale Schnittstelle zu realen Sensoren und Aktoren ab. Zusätzlich zum Betrieb einer Zentraleinheit mit mehreren Satelliten wird ein Verbund aus mehreren solchen Einheiten ermöglicht. Am Demonstrator konnte die Funktion und Leistungsfähigkeit der Plattform am Beispiel einer Maschinenregelung gezeigt werden.	
19. Schlagwörter	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN Planned	2. type of document (e.g. report, publication) Report
3. title AnRox – Ausfallsicheres und effizientes elektrisches Antriebssystem für Robotertaxis – Teilvorhaben Mehrprozessorplattform – Abschlussbericht	
4. author(s) (family name, first name(s)) Adler, Felix	5. end of project June 2024
	6. publication date Planned
	7. form of publication Online
8. performing organization(s) (name, address) AixControl GmbH Sonnenweg 13 52070 Aachen	9. originator's report no. N / A
	10. reference no. 19A21004F
	11. no. of pages 16
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. no. of references 3
	14. no. of tables None
	15. no. of figures 8
16. supplementary notes None	
17. presented at (title, place, date) N / A	
18. abstract The joint project „Ausfallsicheres und effizientes elektrisches Antriebssystem für Robotertaxis (AnRox)“ researched system and component solutions for fail-safe drive systems and power supply systems. The increased costs for the necessary, increased availability of components due to the use case of a robotaxi are to be minimized through systemic optimization or compensated for through added value. The implementation with electric drive systems results in new degrees of freedom and solution variants that enable this optimization through new operating, fault detection and handling strategies. To this end, various variants of single and multi-machine systems were investigated in the joint project at the drive topology level. In the sub-project „Mehrprozessorplattform,“ AixControl contributed to the sub-area of drive components with increased reliability. A high-performance multiprocessor platform was designed and implemented as a control platform, which provides very high computing power and low latencies for inputs and outputs. The development environment of the platform offers model-based control engineering by graphical programming and supports development and troubleshooting with a software oscilloscope and textual outputs. For a high degree of flexibility, the platform consists of a central unit and remote satellites to enable the operation of distributed but synchronized components. The satellites represent the analog and digital interface to real sensors and actuators. In addition to the operation of a central unit with several satellites, a network of several such units is made possible. A demonstrator was used to show the function and performance of the platform using the example of a closed-loop control of an induction machine.	
19. keywords	
20. publisher	21. price