

M&P Motion Control and Power Electronics GmbH

Bismarckstr. 56
01257 Dresden

Tel.: 0351/323 305 10
Fax.: 0351/323 305 19

M&P GmbH, Bismarckstr. 56, 01257 Dresden

Dresden, den 24.04.2013



Abschlussbericht

ZE: M&P Motion Control and Power Electronics	Förderkennzeichen: 03WKBP01E
Vorhabenbezeichnung: Wachstums Kern AutoTram – Verbundprojekt: Verkehrssystemtechnik für hochkapazitive, nachhaltige Transportsysteme zwischen Bus und Bahn; TP5: Traktionscontroller, Speicherüberwachung und Energiemanagement	
Laufzeit des Vorhabens:q 01.03.2009 bis 31.08.2012	
Berichtszeitraum: 01.03.2009 bis 31.08.2012	

M&P GmbH
Bismarckstr. 56
01257 Dresden

Tel.: ++49/+351/323 305 10
Fax.: ++49/+351/233 305 19
Email: info@powerelectronics.de
Internet: www.powerelectronics.de

Ost-sächsische Sparkasse Dresden
Kto. Nr.: 312 012 1982
BLZ: 850 503 00

Registergericht Dresden
HRB Nr. 19429
USt-IdNr. DE213200320
Geschäftsf.: Dipl.-Ing. T. Peppel
Dr.-Ing. F. Müller

Änderungsstatus

Version	Datum	Bearbeiter	Änderung
0	13.03.2013	T.Peppel	Erstellung
1	24.04.2013	T.Peppel, S. Büchner, F.Müller	Überarbeitung

Inhalt

Abschlußbericht	1
Änderungsstatus	2
1 Aufgabenstellung und Umfeld des Vorhabens.....	4
1.1 Aufgabenstellung	4
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	5
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	5
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens	6
1.4.1 Angaben bekannter Konstruktionen, die für das Vorhaben genutzt wurde.....	6
1.4.2 Angaben zur Fachliteratur sowie die benutzten Informations- und Dokumentationsdienste.....	6
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
2 Vorhabensdurchführung.....	6
2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielttes Ergebnis im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele.....	6
2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	27
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	27
2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses	27
2.5 Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt.....	28
2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	28
2.6.1 Internet.....	28
2.6.2 Vorträge.....	28
2.6.3 Messe.....	28
2.6.4 Sonstige öffentliche Auftritte.....	28

1 Aufgabenstellung und Umfeld des Vorhabens

Der öffentliche Personennahverkehr wird im Zuge der Verknappung konventioneller Energiequellen (Erdöl, Erdgas...) und dem Bestreben den Verkehr umweltfreundlicher zu gestalten eine immer bedeutendere Rolle einnehmen. Das aus sieben Partnern bestehende Konsortium hat mit dem Vorhaben diesen Trend aufgegriffen und mit der Entwicklung des Demonstrators Autotram die ersten Schritte für ein hochkapazitives, umweltfreundliches Fahrzeug getan.



Abbildung 1: Die Partner des Vorhabens Autotram[1]

M&P war im Rahmen des Vorhabens für die Ausrüstung des Fahrzeugs mit den leistungselektronischen Wandlern, dem Kondensatorspeicher, dem Fahrumrichter und der Energieverteilung und Management verantwortlich.

1.1 Aufgabenstellung

Nach wie vor besitzen die verfügbaren elektrischen Energiespeicher erhebliche Mängel. So können Batterien zwar große Energiemengen speichern, sind aber in der Leistung und der Zyklenzahl erheblich beschränkt. Speicher auf Kondensatorbasis erreichen zwar eine hohe Leistungsdichte und Zyklenzahl, sind aber in Bezug der speicherbaren Energiemenge beschränkt. Bei der Ausrüstung von Fahrzeugen mit elektrischen Speichern sind deshalb in die eine oder andere Richtung Abstriche zu machen. Die Ausrüstung von Bussen mit dualen elektrischen Energiespeichern, wie im Vorhaben geplant, ist nach wie vor nicht Stand der Technik. Somit stellt die Ausrüstung eines überlangen Fahrzeugs mit einem dualen Speicher, wie der Autotram, zusätzliche Anforderungen an das Energiemanagement, da auf Grund der benötigten Energiemenge mehrere Energiespeicher gleicher Art parallel betrieben werden müssen. Dadurch ergeben sich die folgenden Aufgabenstellungen:

- Überwachung dualer Traktionsenergiespeicher, einschließlich der Wandler zur Ansteuerung der Speicher
- Untersuchungen zum Energiemanagement
- Entwicklung eines Traktionscontroller
- Entwicklung eines Fahrumrichters

- Entwicklung einer Ladestation
- Entwicklung eines aktiven Gleichrichters für das Powerpack

Durch die Funktion des Traktionscontrollers den gesamten Energiefluß in der Autotram zu überwachen und zu regeln ergab sich die Notwendigkeit, dass M&P in praktisch allen Teilgebieten des Vorhabens, in denen elektrische Energie benötigt wurde, involviert war.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Voraussetzung für das Vorhaben bilden die vorhandenen Kenntnisse im Bereich der Speicherung von rekuperierter Energie in Supercaps und die Erfahrung, die bei der Entwicklung von DCDC Konvertern und AC/DC Konvertern gewonnen wurde, z.B. die Entwicklung einer Ladestation für die Schnellladung der Autotram 1.

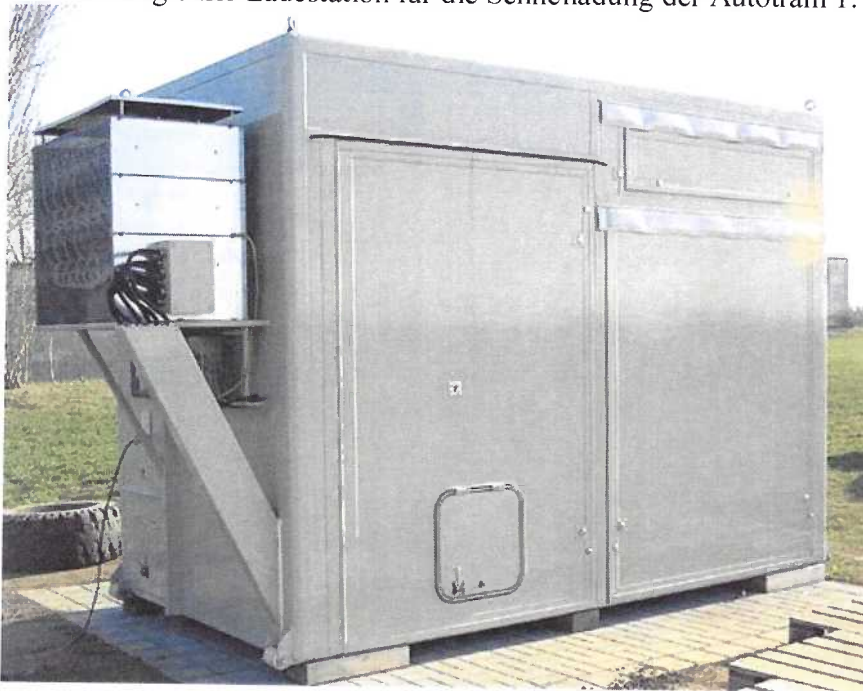


Abbildung 2: Ladestation für die Autotram 1

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

[2]Das Gesamtvorhaben wurde im Rahmen des nationalen Förderprogramms „Innovative regionale Wachstumskerne“ durch das BMBF gefördert und untergliedert sich in die 7 Teilprojekte (TP)

- TP 1: Mechatronische Grundlagen und modulare Systemtechnik hochkapazitiver BusBahnen im Nah- und Regionalverkehr (Göppel Bus GmbH),
- TP 2: Konzeption, Entwicklung und Erprobung einer neuartigen hochgradig spurtreuen Mehrachslenkung (Fraunhofer IVI),
- TP 3: Grundlagen und Methodik zur Auslegung kompakter Synchronmotoren mit innovativer Kühltechnik für hocheffiziente vollelektrische Antriebsstränge (TU Dresden),
- TP 4: Elektromagnetisches Design kompakter Synchronmotoren für hocheffiziente vollelektrische Antriebsstränge (WITTUR Electric Drives GmbH),
- TP 5: Traktionscontroller, Speicherüberwachung und Energiemanagement (Motion Control and Power Electronics GmbH),

- TP 6: Wissenschaftliche Neu- und Weiterentwicklung von Abnahme-, Prüf- und Genehmigungsvorschriften für die Einzel- und Typgenehmigung und die periodisch-technische Fahrzeugüberwachung (Dekra Automobil GmbH),
- TP 7: Vorbereitende und begleitende verkehrswissenschaftliche Untersuchung (Dresdner Verkehrsbetriebe AG).

Die Teilprojekte wurden von den jeweiligen Partnern bearbeitet, wobei eine Zusammenarbeit über die Teilprojekte hinaus notwendig war, um das Ziel des Vorhabens zu erreichen. Für die Zeit des Projektes wurde zwischen den Partnern ein Kooperationsvertrag geschlossen.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Zu Beginn des Vorhabens wurde sich nach eingehender Diskussion für einen seriellen Hybridantrieb entschieden. Bei einem seriellen Hybridantrieb wird die Energie durch ein Hauptaggregat erzeugt, in elektrische Energie gewandelt und über einen elektrischen Motor in mechanische Energie gewandelt. Der Nachteil des seriellen Hybrids besteht in der Reihenschaltung der Umformvorgänge und des damit schlechteren Wirkungsgrads. Da beim parallelen Hybridfahrzeug der komplette Antriebsstrang 2 x parallel ausgeführt ist, liegt der Vorteil des seriellen Hybrids in der Einsparung eines kompletten Antriebsstrangs (Gewicht).

Bisher bekannte Lösungen verwenden in der Regel nur eine Speicherart (Supercap, Batterie oder Schwungrad). Eine Lösung mit einem dualen Speicher wurde in einem Förderprojekt in Eberswalde (Ausrüster Fa. RWS) in einem Trolleybus eingebaut.

1.4.1 Angaben bekannter Konstruktionen, die für das Vorhaben genutzt wurde

Für das Vorhaben wurden teilweise bekannte Komponenten verwendet. Für die Konverter wurde eine bekannte Controlplattform verwendet. Damit konnte auf ein bewährtes System zurückgegriffen werden. Für das Monitoring der Kondensatorspeicher wurde ebenfalls eine bekannte Baugruppe verwendet.

1.4.2 Angaben zur Fachliteratur sowie die benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Für die Recherche wurden hauptsächlich die aktuelle Fachliteratur (Zeitschriften), Datenblätter und das Internet genutzt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Zuge der Prüfungen der Komponenten wurde mit dem Prüfinstitut SLG in Hartmannsdorf, einem Projektpartner der DEKRA, zusammengearbeitet.

2 Vorhabensdurchführung

2.1 Verwendung der Zuwendung und erzieltes Ergebnis im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Arbeitspaket A: Überwachung dualer Traktionsenergiespeicher

A1 Leistungselektronische Grundlagen dualer Traktionsenergiespeicher

Allgemeine Grundlagen

Die Autotram benötigt zum Betrieb eine Reihe von Geräten, die mit Energie versorgt werden müssen. Je nach Betriebszustand des Fahrzeugs variiert die Energieaufnahme dieser Geräte. Über allgemeine Berechnungen und Simulationen wurde ein benötigter Energiespeicher unter Berücksichtigung einer möglichen emissionsfreien Fahrt über mehrere Kilometer

dimensioniert. Da die Speicher mit den Konvertern ein zusätzliches Gewicht darstellen, darf der Speicher nicht zu großzügig ausgelegt werden. Über diese Berechnungen konnten dann auch die Leistungswerte der Konverter festgelegt werden. Als Ergebnis entstand eine Anforderungsspezifikation für die Autotram.

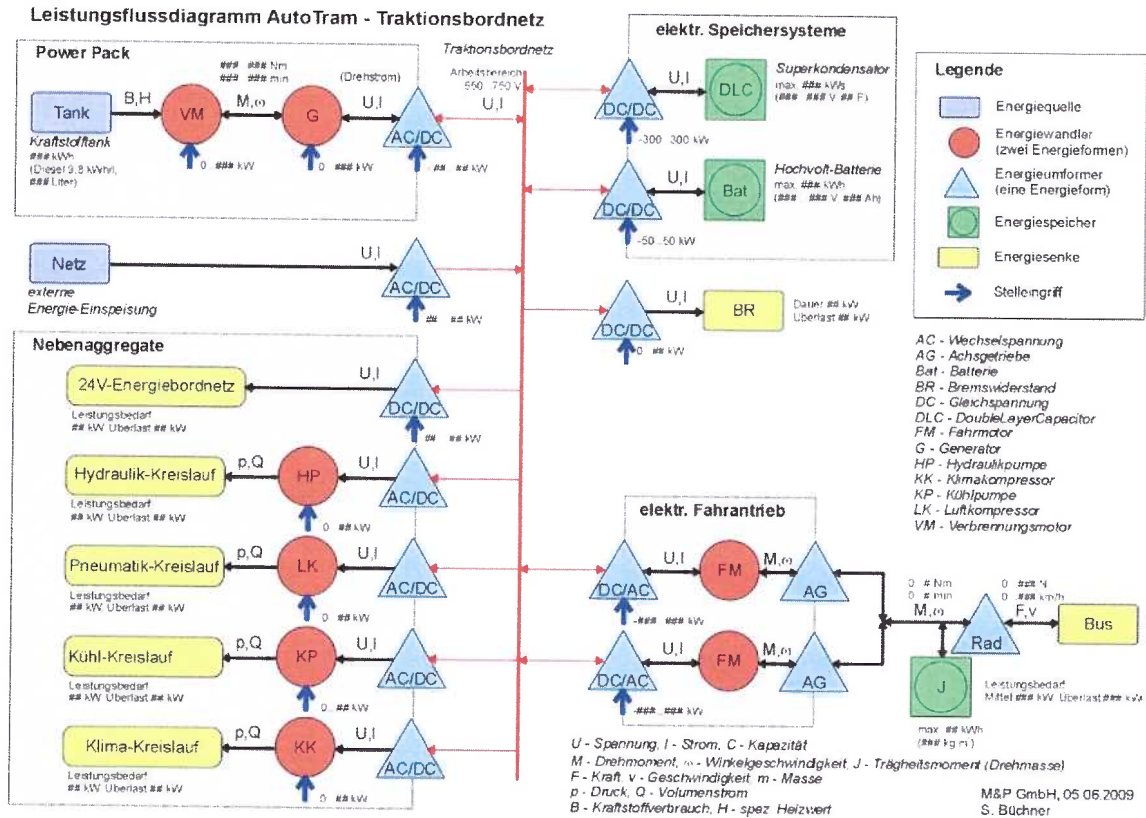


Abbildung 3: Darstellung der Energiequellen und Senken in der Autotram

DCDC Konverter

Für die DCDC Konverter wurde ein dreisträngiges System eingesetzt, das 120° versetzt getaktet wird. Gegenüber einem einsträngigem System kann dadurch eine Gewichtsreduzierung, eine Verbesserung der Spannungsqualität und damit eine reduzierte Beanspruchung des Energiespeichers erreicht werden. Durch die mehrsträngige Ausführung wird der Konverter komplizierter.

Die Konverter werden mit Wasser gekühlt.

Im Rahmen des Vorhabens wurde die Software für die versetzte Ansteuerung entwickelt. Für die versetzte 3-kanalige Ansteuerung musste eine zusätzliche Hardware (CPLD-Karte) entwickelt werden.

Für die DCDC Konverter wurde ein neues Leistungsteil entwickelt.

SuperCapspeicher

Der Supercapspeicher wurde durch Reihenschaltung von Kondensatormodulen aufgebaut. Ein parallelschalten von einzelnen Kondensatoren oder Modulen wurde aus Redundanzgründen verworfen. Der Supercapspeicher wurde über einen DCDC Konverter an den Zwischenkreis angebunden. Es wurden 2 Stränge Kondensatormodule mit jeweils einem eigenen DCDC Konverter verwendet.

Die Kondensatormodule sind luftgekühlt.

Batteriespeicher

Für den Batteriespeicher wurde ebenfalls eine Reihenschaltung vorgesehen. Die beiden Batteriestränge wurden ebenfalls über je einen DCDC Konverter an den Zwischenkreis angeschlossen. Damit ist eine Regelung des Energieflusses vollständig gegeben.

A2 Einzelzell-Monitoring, thermische Zustandsschätzung und Diagnosefunktionen an dualen Traktionsenergiespeichern

Supercap

Die Kondensatoren werden im Modul einzeln überwacht. Weicht eine Zellspannung wesentlich von den anderen Zellspannungen ab, werden zuerst eine Warnung und dann ein Fehler generiert. Der gesamte Capspeicher wird über die MCU überwacht.



Abbildung 4: auf der Autotram montierter Supercapspeicher mit DCDC Konverter

Batterie

Für die Batterie steht ebenfalls ein Batteriemanagementsystem zur Verfügung. Es werden Batteriemodule mit jeweils 12 Zellen verwaltet. Die Informationen der Batteriemodule können ebenfalls mit der MCU verwaltet werden.

Arbeitspaket B: GPS-basiertes Energiemanagement

B1 Sensorik und Messwertverarbeitung für eine historienbasierte Prädiktion der Antriebsleistung

Für die Energieeinsatzoptimierung sind dynamische Betriebsstrategien vorteilhaft, welche „online“ die günstigsten Steuerdaten für das Fahrzeug-Energiesystem ermitteln. Nichtprädiktive Strategien nutzen dabei nur historische und zum aktuellen Zeitpunkt vorliegende Informationen. Zur Bestimmung einer optimalen Steuertrajektorie sind jedoch für das Fahrzeug-Energiesystem Prognosen für die Energieanforderungen, der externen Restriktionen und der resultierenden Systemzustände für den gesamten Optimierungszeitraum notwendig. Dies liegt an den Systemrestriktionen, insbesondere der Wandler- und Speichersysteme [Bü08]. Die notwendige Sensorik und Messwertverarbeitung kann aus Abbildung 5 abgeleitet werden.

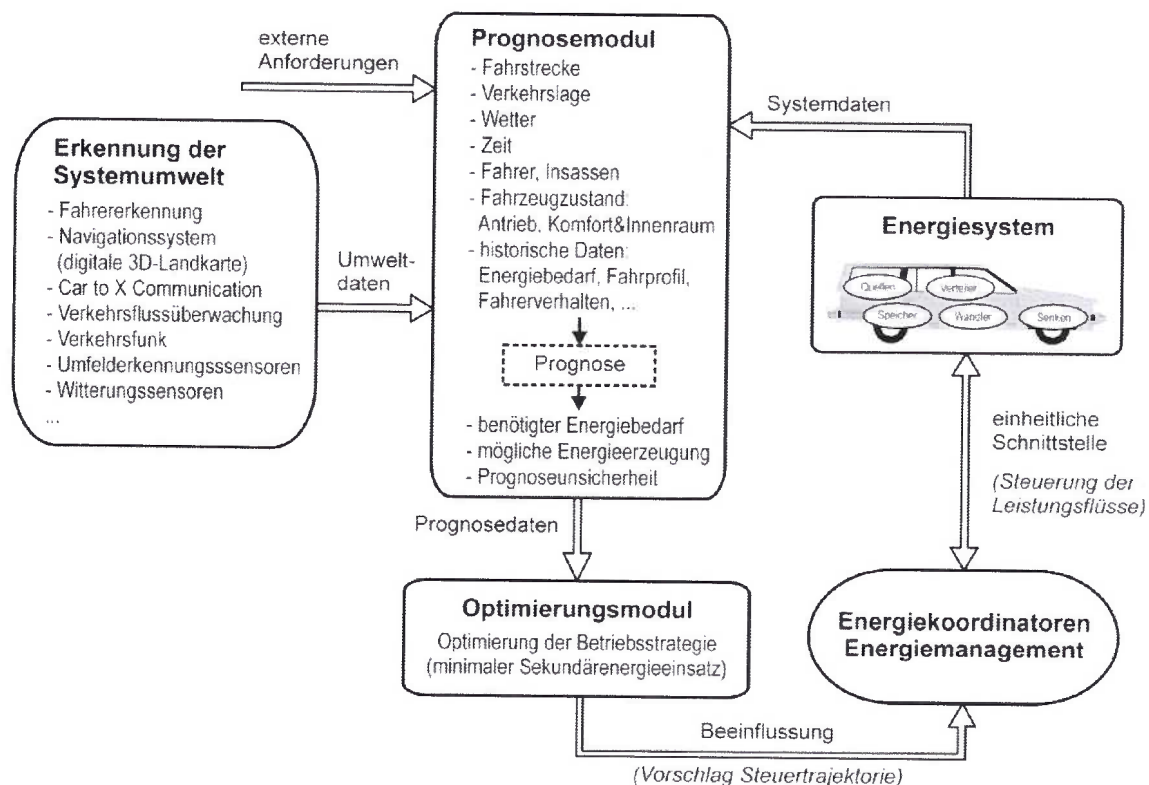


Abbildung 5: Schematische Struktur einer prädiktiven Betriebsstrategie [Bü08]

Der Aufbau des Energiesystems der AutoTram ist in Abbildung 3 dargestellt. Um dessen Systemdaten bereitzustellen erwies es sich als vorteilhaft, die dezentrale Messwerterfassung und -verarbeitung der relevanten Messgrößen in den entsprechenden Komponenten zu nutzen. Diese können vom Traktionscontroller als Master des Gesamtsystems zentral gesammelt und nach einer entsprechenden Aufbereitung einem Prognosemodul zur Verfügung gestellt werden. Im speziellen Fall wurden zur Ermittlung der elektrischen Kenngrößen des

Traktionsbordnetzes auf die Sensoren und Messwertverarbeitung der entsprechenden Umrichter zurückgegriffen. Bei den Messgrößen der Energiespeicher wurde auf die Sensorik und Messdatenverarbeitung der entsprechenden Speicherüberwachungssysteme zurückgegriffen. Für das Monitoring der Batterie im 24V-Bordnetz wurde zusätzlich ein intelligenter Batteriesensor im CAN-Netzwerk integriert. Zur Gewinnung weiterer System- und Umweltdaten wurden ebenfalls die Informationen der verteilten Steuergeräte und intelligenten Fahrzeugsensoren entsprechend in die Projektierung mit einbezogen.

B2 Entwicklung, Implementierung und Erprobung GPS gestützter, prädiktiver Energiemanagementfunktionen

Aufgabe der Energiemanagementfunktionen ist die zuverlässige und effiziente Bereitstellung der Energie zur Funktionserfüllung der Anforderungen an das Energiesystem im Gesamtfahrzeugsystem. Das serielle Antriebskonzept der AutoTram ermöglicht die Steuerung der Leistungsflüsse im Antriebsstrang. Mit Hilfe eines übergeordneten Energiemanagements soll damit ein energieeffizienter Betrieb ermöglicht werden. Der Entwurf der Energiemanagement-Funktionen stützte sich dabei auf die drei folgenden Ebenen (siehe Abbildung 6):

- Level 1 – Spannungsregelung Traktionsbordnetz: Schnelle Regelung der Speicherkomponenten zur Stabilisierung der Zwischenkreisspannung bei transienten Leistungsanforderungen.
- Level 2 – Leistungskoordination: Zuteilung (Allokation) der Leistungen zur Energieversorgung auf die Erzeuger-, Wandler- und Speicherkomponenten und Koordination der angeforderten Verbraucherleistungen. Ermittlung des Leistungsbedarfs und Systemzuständen der Erzeuger, Speicher und Verbraucher anhand des Fahrerwunschs und des aktuellen Energiesystemzustands.
- Level 3 – Energieeinsatzoptimierung (optional): Ermittlung einer optimalen Steuertrajektorie hinsichtlich minimalen Energieeinsatzes auf Grundlage von prognostizierten Zuständen des Energiesystems. Beeinflussung des Energie- und Funktionsmanagementmoduls („dynamische Betriebsstrategie“).

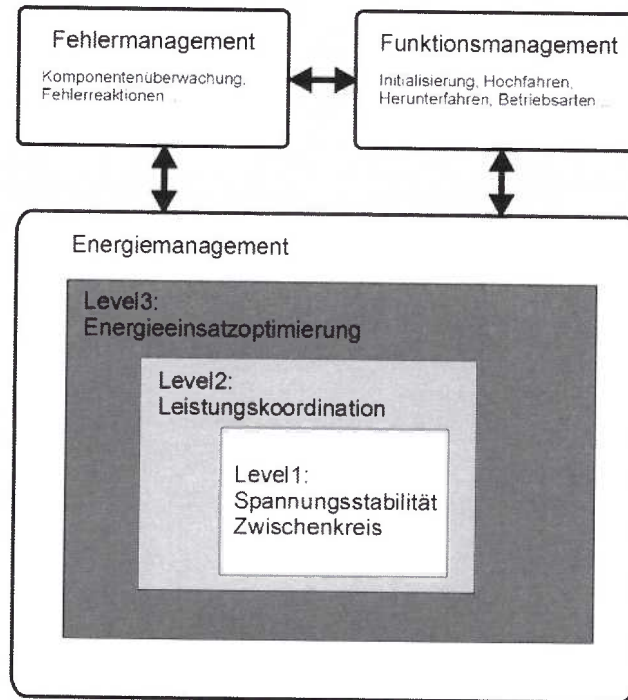


Abbildung 6: Entwurf der Energiemanagement-Funktion in unterschiedliche Ebenen

Bei der Entwicklung der Energiemanagementfunktionen wurde insbesondere auf eine zuverlässige Energiebereitstellung (Level1) Wert gelegt. Zusätzlich wurden Maßnahmen zur Erhöhung der Effizienz mit einer Leistungskoordination (Level2) integriert. Sie sind im Arbeitspaket B3 beschrieben. Für die Energieeinsatzoptimierung (Level3) wurden die entsprechenden Schnittstellen und Messwertverarbeitungen erweitert. Auf diese Weise können die erforderlichen Systemgrößen dem Prognosemodul zur Verfügung gestellt werden. Schnittstellen für zusätzliche Sensoren zur Erfassung weiterer Umweltdaten stehen mit dem Traktionscontroller zur Verfügung (siehe Arbeitspaket C).

Die Entwicklung der Energiemanagementfunktionen für das Level1 und Level2 erfolgte in Begleitung einer Simulation des Energiesystems. Die wesentlichen Komponenten des Traktionsbordnetzes wurden in der Simulink[®]-Toolbox PLECS der Firma Plexim modelliert und daraus eine Betriebsstrategie für einen zuverlässigen Betrieb abgeleitet. Die unterschiedlichen Regelmodi der einzelnen Komponenten sind in der Simulation so implementiert, wie sie auch auf den realen Steuergeräten umgesetzt sind. Auch die Trägheiten mechanischer Komponenten werden berücksichtigt. Es ist möglich verschiedene Lastzyklen zu fahren, um dafür optimale Regelparameter zu ermitteln. Dazu sind jedoch mehrere Simulationsdurchläufe nötig, welche einen entsprechend hohen Rechenaufwand darstellen.

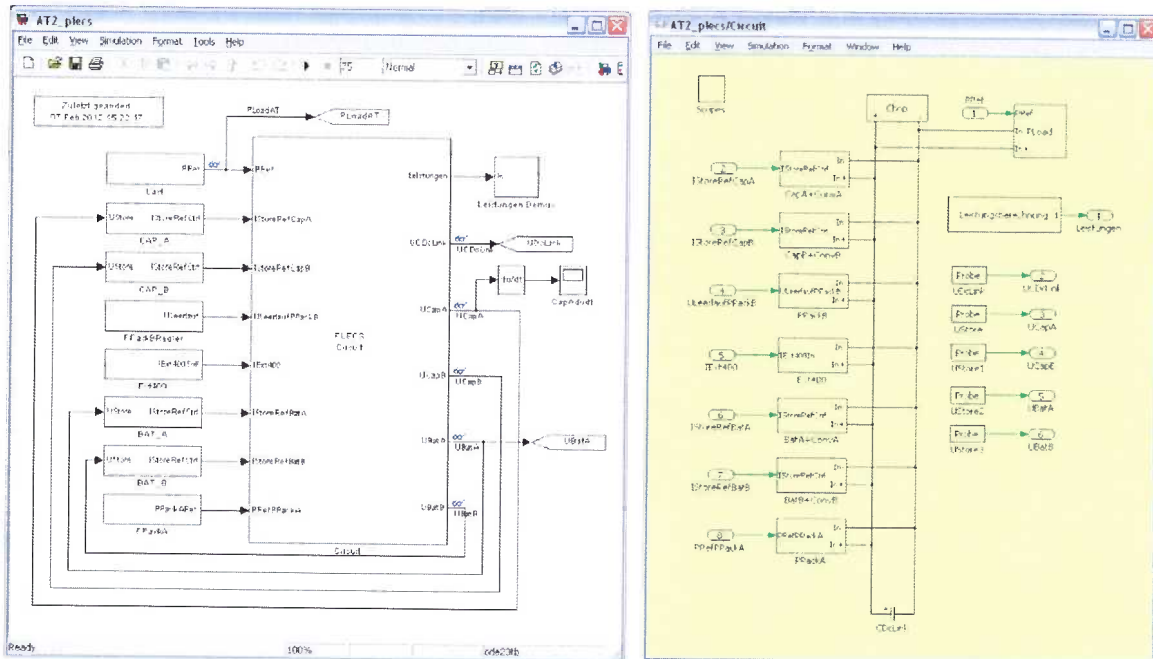


Abbildung 7: Übersicht der Energiesimulation mit PLECS

Anhand der Simulation in Simulink© konnte gezeigt werden, dass für normale Beschleunigungsvorgänge das PowerPackB und die SuperCaps ausreichen. Bei Steigungen, hoher Besetzung, oder langen Beschleunigungsphasen sind aber auch die Batterien und das zweite PowerPackA erforderlich. Bei Bremsvorgängen ergibt sich ein ähnliches Bild. Die Energie, welche durch rekuperatives Bremsen zurückgewonnen werden kann, lässt sich bei einem normalen Bremsvorgang problemlos allein in den SuperCaps speichern. Sind diese voll, oder verlängert sich der Bremsweg durch ein längeres Gefälle, werden die Batterien als Energiespeicher benötigt. Andernfalls muss der Chopper am Zwischenkreis die überschüssige Energie in Wärme umwandeln.

Um unabhängig von der langsamen Simulation schnell den Einfluss verschiedener Regelparameter testen zu können, wurde zusätzlich eine statische Simulation erstellt. Diese wurde in Excel mit Hilfe von Visual-Basic-Makros umgesetzt.

Abbildung 8 zeigt die Freiheitsgrade der Energiemanagementfunktion zum stabilen Betrieb des Traktionsbordnetzes (Level1). Im Hybridbetrieb wird die Grundversorgung von dem hinteren PowerPackB bereitgestellt. Da für dieses Aggregat kein aktiver Umrichter zur Verfügung stand, konnte allein durch Stellen der Drehzahl des Verbrennungsmotors die Bordnetzspannung geregelt werden. Aufgrund des Spannungstoleranzbandes der leistungselektronischen Komponenten des Traktionsbordnetzes und der Maximaldrehzahl des Verbrennungsmotors stand nur ein geringer Stellbereich im hohen Drehzahlbereich zur Verfügung. Im elektrischen Betrieb kann die Grundversorgung aus den Li-Ion-Batteriesträngen erfolgen.

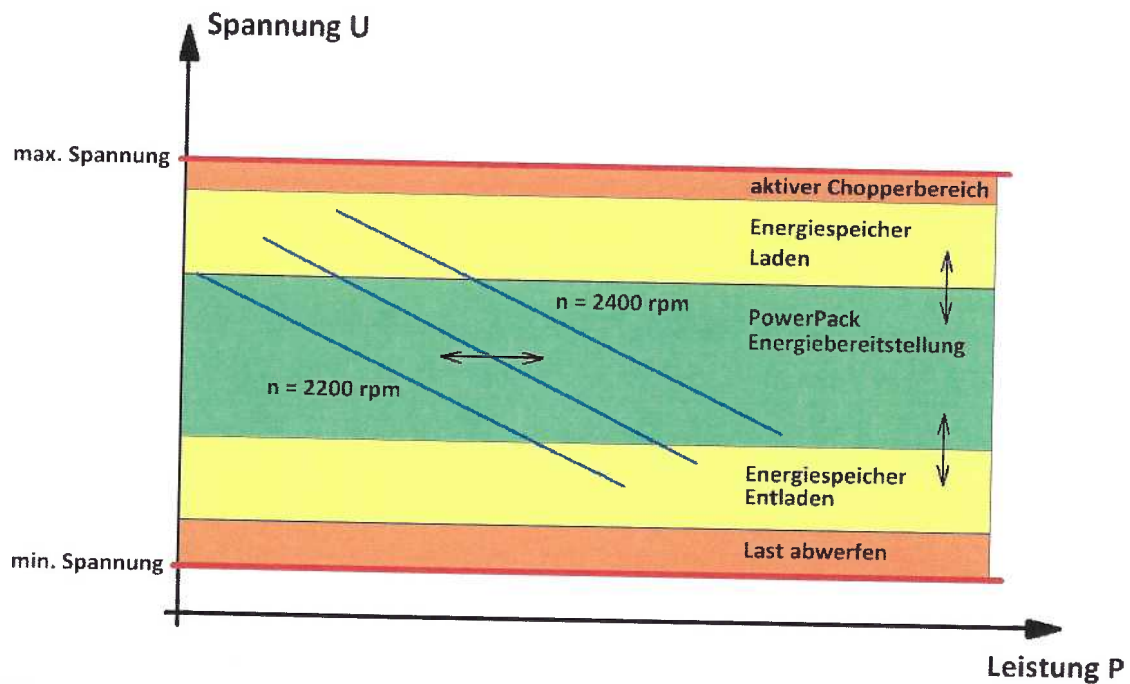


Abbildung 8: Freiheitsgrade zur Spannungsregelung des Traktionsbordnetzes

Zur Abdeckung von dynamischen Lastanforderungen (z.B. Anfahr- und Bremsenergie) sind die SCAP-Energiespeicherstränge vorgesehen. Ihr Leistungsfluss wird anhand der aktuellen Zwischenkreisspannung geregelt und ist über Statik-Kennlinien realisiert. Bei Bedarf kann auf die Leistungsbereitstellung des vorderen PowerPacks A zurückgegriffen werden. Ist die verfügbare Leistung im Traktionsbordnetz nicht ausreichend, wird die Leistung der Fahrmotoren reduziert.

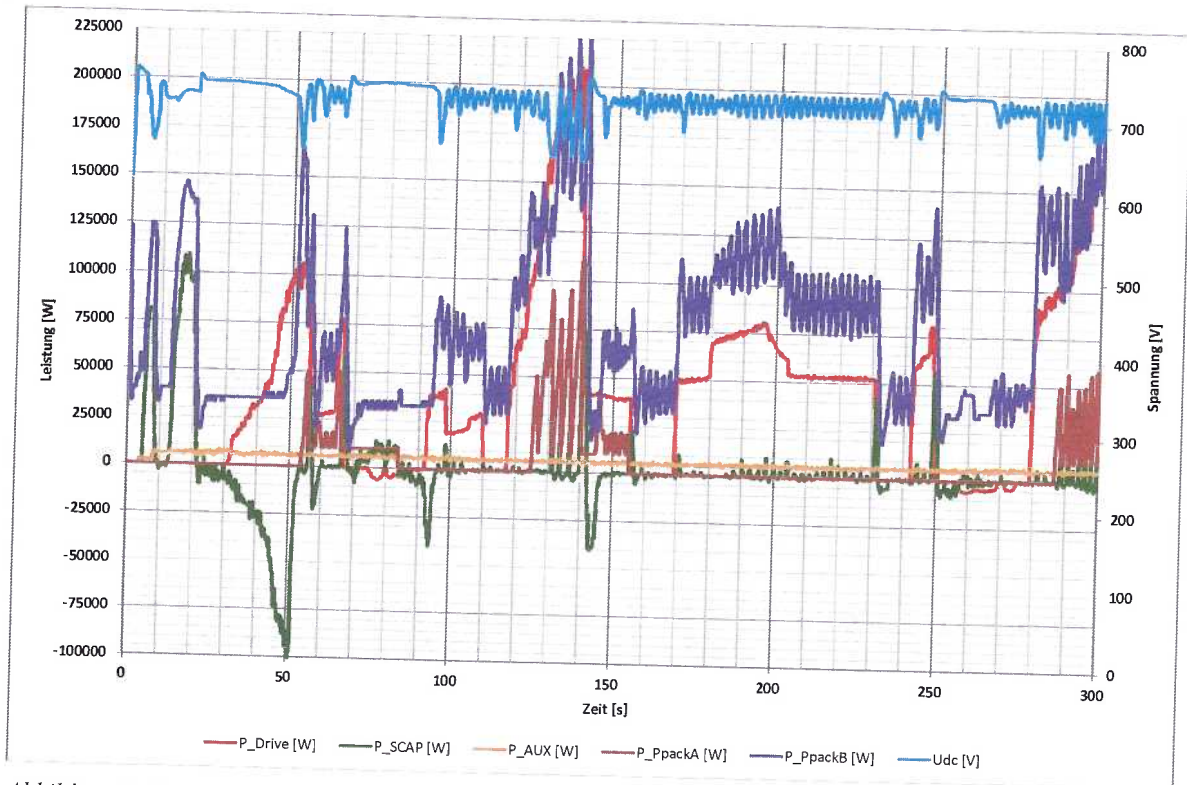


Abbildung 9: Leistungsflüsse während einer Testfahrt der AutoTram (Anfahren und Bremsen)

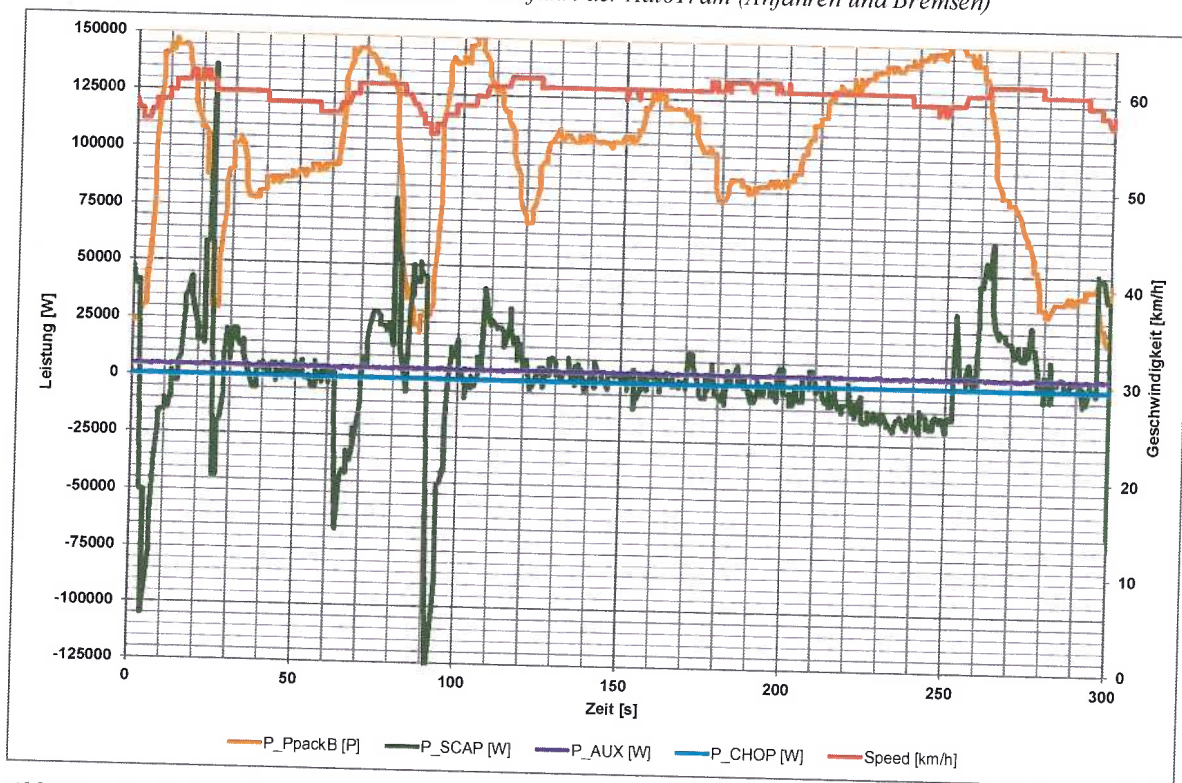


Abbildung 10: Leistungsflüsse während einer Überführungsfahrt auf der Autobahn

B3 Optimale Leistungsaufteilung der Antriebsleistung auf die Komponenten des Hybridantriebs

Ausgehend von den Regelstrategien zur Spannungsstabilisierung konnte durch Anpassung der Regelparameter die Leistungsverteilung im Traktionsbordnetz unter dem Gesichtspunkt einer effizienten Energiebereitstellung erfolgen.

Ein Freiheitsgrad des Energiesystems stellen die Ladezustände (SOC) der Energiespeicher dar. Deshalb wurde dem SCAP-Speichersystem eine SOC-Regelung überlagert. Der SOC-Sollwert wird dabei anhand der Fahrzeuggeschwindigkeit angepasst. Damit ist gewährleistet, dass beim Anfahren genügend Leistungsreserve zu Verfügung steht und die rekuperierte Bremsleistung in dem Energiespeicher aufgenommen werden kann. Ein weiterer Freiheitsgrad besteht in der Erzeugerleistung des vorderen PowerPacks A. Da dieses PowerPack nicht für eine dauerhafte Leistungsabgabe konzipiert ist, wird es zur Abdeckung von Leistungsspitzen verwendet, wenn nicht genügend Leistungsreserve durch die Energiespeicher bzw. dem hinteren PowerPack zur Verfügung steht.

Mit den Berechnungen aus Excel konnte die statische Auslegung der Leistungsflüsse im Traktionsbordnetz im Vorfeld erfolgen. Abhängig von der Zwischenkreisspannung kann man erkennen welche Komponenten wie viel Energie in den Zwischenkreis speist bzw. entnimmt.

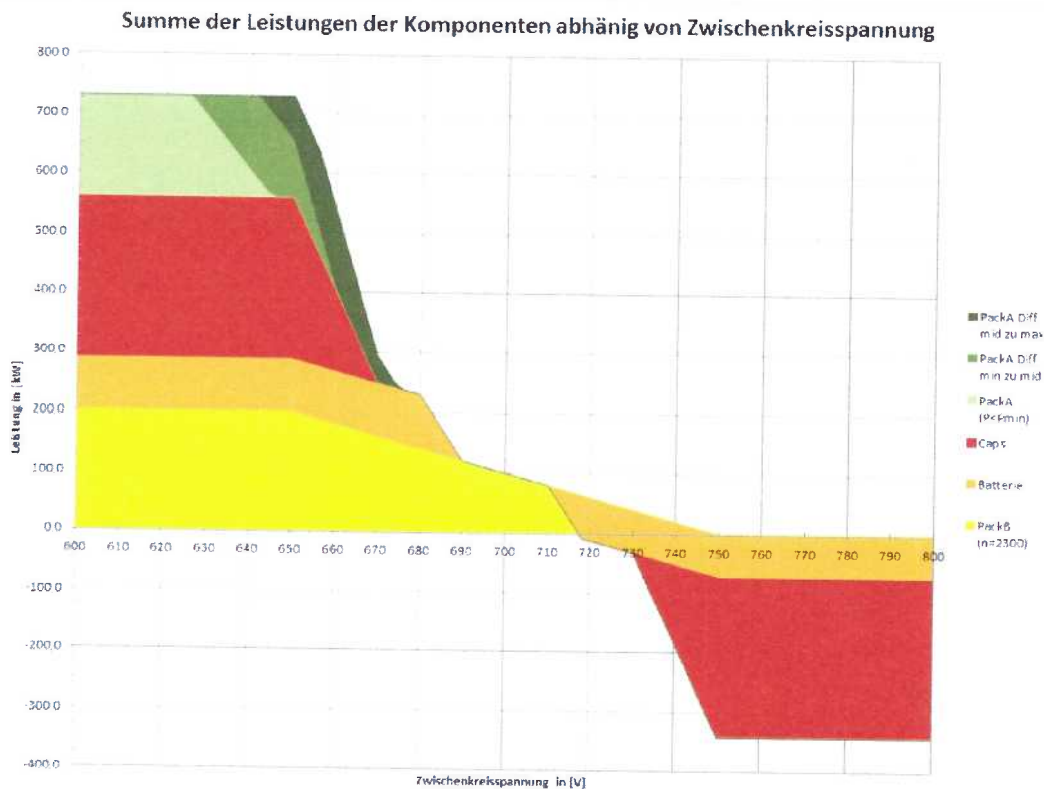


Abbildung 11: Ergebnis der statischen Energiemanagementsimulation in Excel

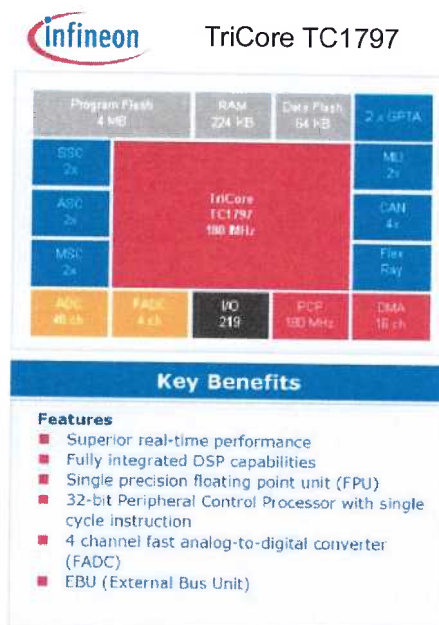
Arbeitspaket C: Entwicklung Traktionscontroller

C1: Entwicklung einer Basishardware (nicht zertifizierbares Forschungsmuster FM1) zum Test der grundsätzlichen Funktionalität

In einem ersten Schritt erfolgte die Auswahl einer geeigneten Prozessorplattform für die Steuergeräte zur Ansteuerung der leistungselektronischen Komponenten im Traktionsbordnetz und für den Traktionscontroller als Master des Gesamtsystems.

Als Basishardware der leistungselektronischen Komponenten wurde eine standardisierte, selbst entwickelte Baugruppe mit einem 16 Bit Prozessor (XC167CI) der Firma Infineon Technologies gewählt. Die Prozessorarchitektur kommt seit vielen Jahren in automobilen Steuergeräten verbreitet zum Einsatz. Die selbst entwickelte Baugruppe für die prozessornaher Peripherie wurde bereits in einigen anderen leistungselektronischen Anwendungen erprobt und zertifiziert.

Als Basishardware für den Traktionscontroller stand die Entscheidung zwischen einer kompakten Industrie SPS-Plattform und einer selbst zu entwickelnden Rechnerkarte mit entsprechender Hardwareperipherie. Um für die Funktionsentwicklung sehr flexibel aufgestellt zu sein, fiel die Wahl auf die Eigenentwicklung. Hierdurch konnte das Risiko von Einschränkungen eines vorgefertigten Funktionsumfangs eines SPS-Herstellers ausgeschlossen und die Hardware dediziert für die Anforderung entworfen werden. Als Prozessorplattform wurde ein 32 Bit Prozessor (Tricore TC1797) der Firma Infineon Technologies ausgewählt, da dafür bereits erste Erfahrungen im Umgang mit den Entwicklungswerkzeugen vorhanden waren und er gleichzeitig auch eine der neuesten Technologieentwicklungen der Embedded Prozessoren im automobilen Steuergeräteinsatz darstellt. Bei der Auswahl zählten auch die Vergleichsmerkmale Rechenleistung, Schnittstellenvielfalt und -anzahl, Speichergöße (FLASH/RAM) und Möglichkeiten zur modellbasierten Softwareentwicklung. Als Basishardware wurden für den ersten Testeinsatz die Rechnerkarte und das EVA-Board der Firma Phytex mit zusätzlichen selbst entwickelten Labor-Erweiterungskarten verwendet. Damit konnten die Software-Basisfunktionen entwickelt und getestet werden. Als Echtzeitbetriebssystem stand ein Kernel PXROS-HR der Firma Hightec zur Verfügung.



- 32-Bit Microcontroller-DSP Architektur für Embedded Systeme im Automobilbereich
- Einsatz des PXROS Echtzeitbetriebssystem (HighTec), welches für sicherheitskritische Anwendungen zertifiziert ist
- Nutzung einer modellbasierter Software-Entwicklung mit den Tools von Mathworks (Matlab / Simulink/ EmbeddedCoder)

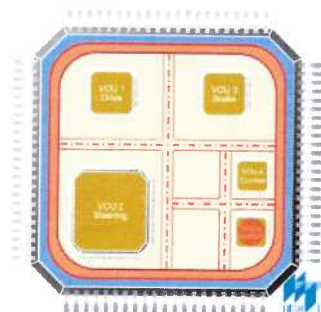


Abbildung 12: Merkmale der eingesetzten Prozessorplattform für den Traktionscontroller

Für die modellbasierte Entwicklung von Softwarefunktionen für das Energiemanagement und die Traktionsfunktion stand eine Toolkette der Firma Mathworks zur Verfügung. Sie erlaubt

es, Softwarefunktionen in einer Simulationsumgebung zu integrieren oder zu entwerfen und sie in einer Simulation mit einem Modell zu validieren und zu testen.

C2 Entwicklung eines zertifizierbaren Forschungsmusters FM2

Ausgehend vom Funktionsentwurf und der Informationsvernetzung der leistungselektronischen Komponenten im Fahrzeug konnte der Schnittstellenentwurf für den Traktionscontroller (PTCU) erfolgen. Die notwendigen Bauteile der Peripherie für den Traktionscontroller wurden hieraus abgeleitet. In mehreren Iterationsschleifen erfolgte der Schaltungsentwurf. Dabei wurde auf die Rechnerkarte der Firma Phytex zurückgegriffen. Im Anschluss daran konnte das Layout erfolgen. Beim Entwurfsprozess wurden die spezifischen Anforderungen aus dem automobilen Bereich berücksichtigt. Ein weiteres Kriterium war eine kompakte Größe des Gerätes in Anlehnung an eine Kompakt-SPS zu erreichen. Das entwickelte Forschungsmuster genügte den Anforderungen im Testbetrieb.

Angaben zur Hardware:

- Rechnerkarte PhyCore ,TriCore TC1797 (180 MHz)
- externer Watchdog
- Spannungsüberwachung
- batteriegestützte Echtzeituhr
- serieller EEPROM 64kByte

Schnittstellen:

- 4x CAN-Bus (isoliert)
- 2x serielle Schnittstelle
- 4x konfigurierbare Analogeingänge (0-10V, 0-5V, 0..20mA)
- 32x digitale Eingänge (isoliert, 24V)
- 32x digitale Ausgänge (isoliert, 24V)
- Ethernet (RJ45)
- Spannungsversorgung für den Fahrpedalgeber
- optionale Erweiterungsstecker mit seriellen Datenbussen

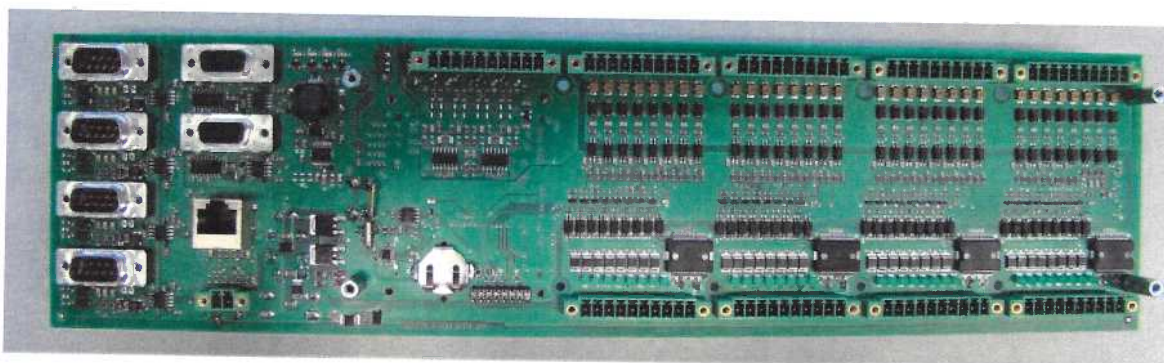


Abbildung 13: Vorderseite der Platine des PowerTractionControlUnit (PTCU)

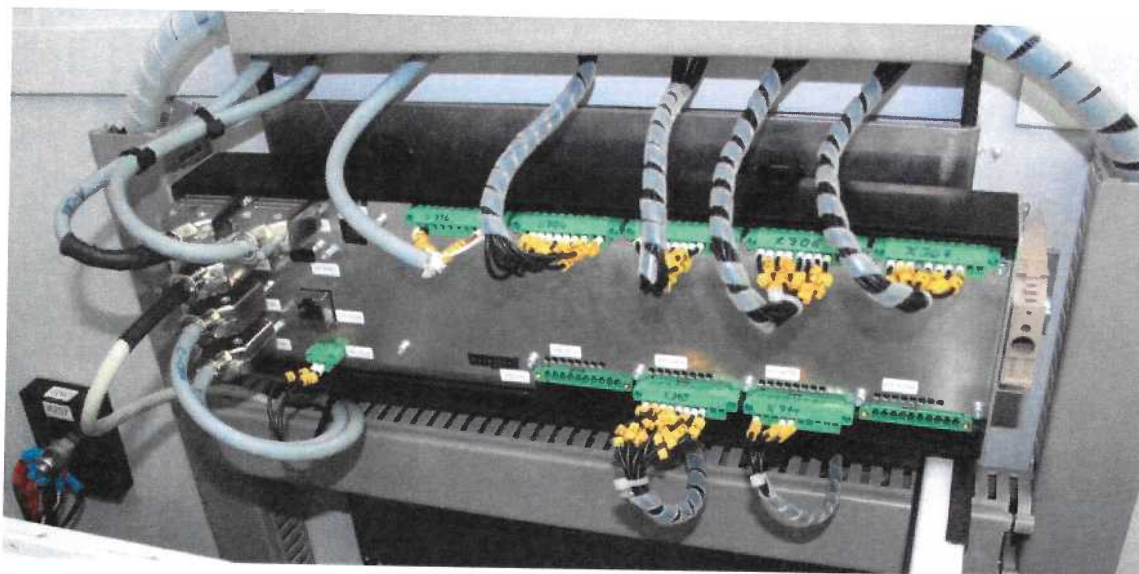


Abbildung 14: Einbauort des Traktionscontrollers im „Eurofach“ über dem Fahrerarbeitsplatz

C3 Programmierung

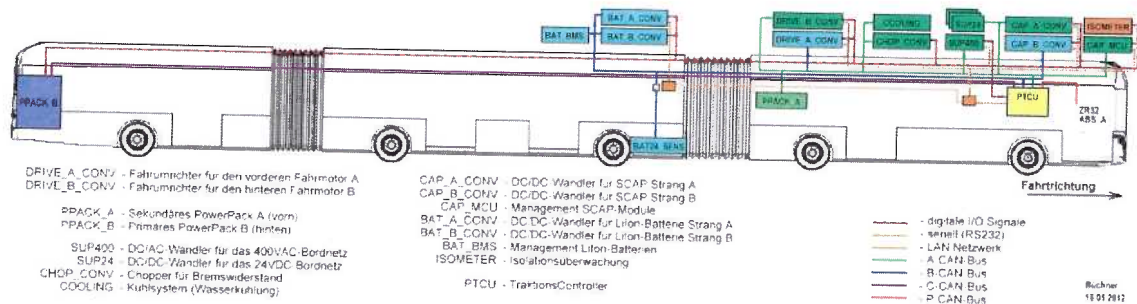
Bei der Softwareentwicklung stand eine Standardisierung der Grundfunktionen im Vordergrund. Dadurch konnte die Implementierungszeit und der Testaufwand erheblich reduziert werden. Zusätzlich konnte eine gemeinsame selbst entwickelte PC-Bediensoftware „PowerPanel“ für alle leistungselektronischen Geräte geschaffen werden. Die entsprechenden Regelalgorithmen wurden an die erforderlichen Aufgaben der Geräte auf dieses „Software-Basisprojekt“ aufgesetzt. Folgende Punkte gehören zu dessen Funktionsumfang:

- Bibliotheken für Arithmetikfunktionen, Mathematikfunktionen, allgemeine zeitdiskrete Regler- und Filterfunktionen
- Bibliothek für die Kommunikation mit der PC-Software „PowerPanel“ über ein standardisiertes Schnittstellenprotokoll RS3964R unter Nutzung einer seriellen Schnittstelle (RS232)
- Bibliothek zur Software-Versionsverwaltung und –prüfung
- Bibliothek zum Lesen interner und externer Speicherbausteine (EEPROM, FLASH)
- Bibliothek für Grundfunktionalitäten einer Gerätezustandsmaschine
- Funktionen zur Parametrierung und Konfiguration sowie zur Ausführung eines Firmwareupdates über „PowerPanel“.
- Funktionen zur Bereitstellung von Signalflussgrößen, Parametern und internen Systemgrößen mit Bedienung über „PowerPanel“.
- Funktionen zur Überwachung und Eigendiagnose der Hardware. Fehlerbehandlung von externen, internen und systembedingten Fehlern mit Überführung des Geräts in einen sicheren Zustand.
- Funktionen Bereitstellung von Betriebsstunden, Funktionsstunden und Einschaltzeiten.
- Funktionen zur Bereitstellung für eine relative oder absolute Systemzeit mit Hilfe einer batteriegepufferten Echtzeituhr.
- Funktionen für einen Transientenspeicher zur internen Signalaufzeichnung von 8 Kanälen in Echtzeit (zeitdiskrete Abtastzeitebene) mit Bedienung über „PowerPanel“.
- Funktionen für einen Ereignislogger zur Erzeugung von Statusmeldungen für Fehler, Warnungen und allgemeinen Meldungen mit Angabe der Systemzeit. Bedienung über

„PowerPanel“. Bei Fehlern werden die Einträge zusammen mit einem Abbild der Parameter zum Ereigniszeitpunkt automatisch in einem nichtflüchtigen Ringspeicher abgespeichert.

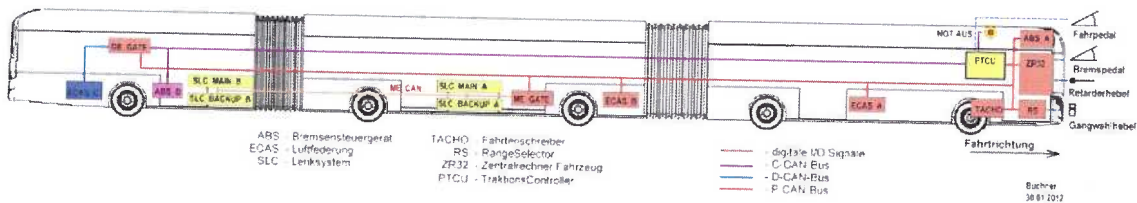
Funktionsentwicklung zum Traktionscontroller

Der Traktionscontroller ist zum einen das zentrale Steuergerät der Hybridkomponenten und zum anderen stellt er mit seinen Traktionsfunktionen die Schnittstelle zwischen Fahrer und Antriebsstrang dar. Deshalb wurde als seine Bezeichnung PowerTractionControllerUnit (PTCU) eingeführt. Die Funktionsumfänge beider Aufgabenstellungen mit den notwendigen Schnittstellen zur Realisierung sind in den folgenden beiden Abbildungen zusammengefasst.



- Ansteuerung und Überwachung der Komponenten
 - Koordination der Leistungsflüsse im Traktionsbordnetz
 - Fehlermanagement
- hohe Systemverfügbarkeit
- effizienter Energieeinsatz

Abbildung 15: Funktionsumfang und Schnittstellen des PTCU als zentrales Steuergerät der Hybridkomponenten



- Schnittstellen zu Fahrzeugsteuergeräten (Ersatz des herkömmlichen Motor- und Getriebesteuergerätes)
- Umsetzung Fahrerwunsch (elektrischen Fahren, elektrisches Bremsen)
- Drehmomentverteilung auf beide Antriebsachsen

Abbildung 16: Funktionsumfang und Schnittstellen des PTCU der Traktionsfunktionen

C4 Tests und Zertifizierungen

Nach der Entwicklung der Komponenten wurden diese einzeln getestet. Dieser Test war notwendig, da der Einsatz im Fahrzeug besondere Anforderungen bezüglich Rüttelfestigkeit

und EMV, bezüglich Störaussendung und Störfestigkeit, stellen. Ein IP65 Test wurde nicht durchgeführt, da die Gehäuse als Standardgehäuse mit dem Schutzgrad IP65 angeboten werden.

Für die Tests müssen die Geräte vorbereitet werden. Da sie nicht in der vorgesehenen Umgebung arbeiten müssen Signale manipuliert, Werte angepasst und Software geändert werden.

Temperaturtests

Die Temperaturtests wurden bei M&P durchgeführt. Die Geräte, die im Außenbereich montiert werden, wurden im geforderten Temperaturbereich von -30°C bis 50°C getestet. Der Test verlief erfolgreich.

Schlittentest

Der Schlittentest wurde in Klettwitz bei der DEKRA durchgeführt. Zur Vorbereitung wurden alle Komponenten auf den Originalrahmen der Autotram montiert. Der Test verlief erfolgreich.

Rütteltest

Der Rütteltest wurde in Hartmannsdorf bei der SLG durchgeführt. Die Geräte wurden an den vorgesehenen Haltepunkten befestigt und gerüttelt. Nachdem Probleme mit den Standardgehäusen gelöst wurden, lief der Test ohne weitere Probleme durch. Nach dem Test wurden alle Geräte einem Funktionstest in Dresden unterzogen. Es stellte sich heraus, dass der Versorgungskonverter Sup400 (AC/DC Konverter) ausgefallen war. Da die anderen Geräte ähnlich aufgebaut waren, konnte die Ursache des Ausfalls lokalisiert werden. Der mechanische Aufbau des Konverters wurde entsprechend angepasst.

EMV Tests der Komponenten

Der EMV Test wurde ebenfalls in Hartmannsdorf durchgeführt. Bei der Störaussendung wurden im Bereich unter 300MHz leichte Überschreitungen festgestellt. Im M&P Labor wurde versucht die Geräte weiter zu entstören.



Abbildung 17: Testaufbau EMV- Störungen

EMV Test der Autotram

Der Test wurde in Klettwitz durchgeführt. Die Tests wurden weitgehend bestanden. Bei der Installation der Autotram wurde versucht, die Kabel durch Überziehen eines Schirmgeflechts zu entstoren. Diese EntstoremaBnahme war nicht durchgänglich erfolgreich, da der Anschluss am Gehäuse problematisch ist. Für eine Serienfertigung muss doppelt geschirmtes Kabel vorgesehen werden.

Arbeitspaket D: Entwicklung eines kompakten Frequenzumrichter für den Antriebsmotor

Die Entwicklung des Frequenzumrichters für den Fahrmotor erfolgte in mehreren Schritten. Durch die parallele Entwicklung des Motors änderten sich die Kennwerte mehrmals. Zusätzlich gab es keine zuverlässigen Werte über die Belastung des Motors.

Bei der Hardware-Entwicklung war es das ursprüngliche Ziel, viele Umrichterkomponenten des LT200 zu verwenden, was nur teilweise gelang. Die elektrischen Bauelemente des LT 200 fanden Verwendung, bei der Mechanik war dies nicht möglich. Um eine kompakte Konstruktion zu erhalten mussten die Blechteile alle angepasst werden.

Im Fahrumrichter werden je 3 IGBT Zweige parallel geschaltet. Durch unterschiedliche Laufzeiten in den Signalpfaden und Toleranzen zwischen den IGBTs kann es zu einem Versatz der Schaltmomente kommen, die eine Überlastung einzelner IGBTs zur Folge haben können. Um Überlastungen zu verhindern, musste durch zusätzliche Ausgangsdrosseln eine Symmetrierung geschaffen werden. Diese SchaltungsmaBnahme musste ebenfalls im Rahmen der Entwicklung im Labor getestet werden, da ein Test in der Autotram nur schwer möglich ist.

Zusätzlich wurde eine Geberbaugruppe entwickelt, um die Motordrehzahl erfassen zu können. Um mit der Softwareentwicklung früh zu starten wurde ein kleinerer Demoumrichter aufgebaut. Mit einem kleineren Motor wurden die grundlegende Motorsoftware und das Geberinterface getestet. Der Umstieg auf die originale Hardware erfolgte relativ problemlos. Um einen, an den Fahrmotor angepassten Umrichter zu erhalten war eine enge Zusammenarbeit mit dem Motorhersteller (Wittur) und der TU Dresden notwendig, die die notwendigen Daten des Mors für einen optimalen Betrieb lieferten. Teile der Softwareentwicklung erfolgte direkt mit der TU Dresden. Nach der Entwicklung und Inbetriebnahme im Labor schloss sich eine Verbesserungsphase an der Autotram an.

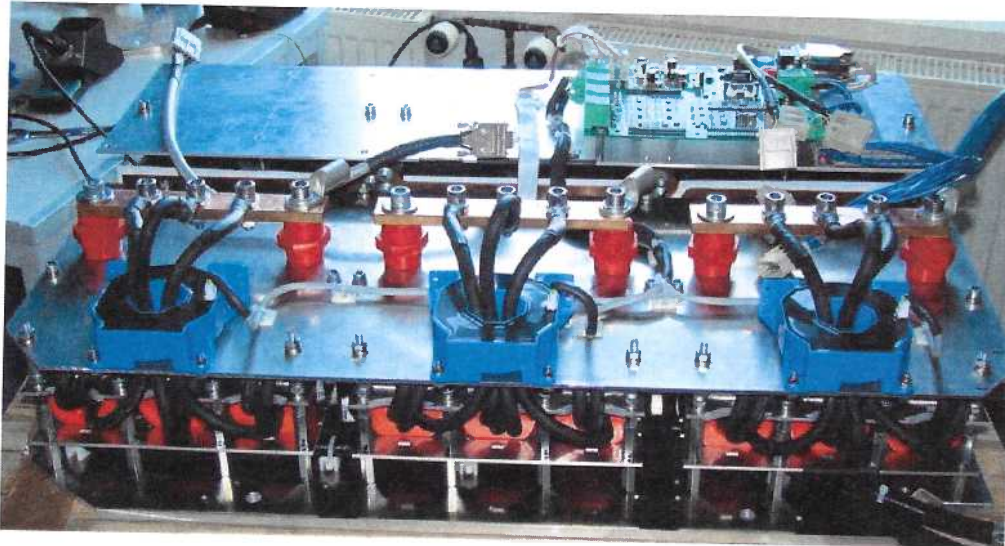


Abbildung 18: Motorumrichter ohne Gehäuse

Arbeitspaket F: Entwurf, Entwicklung und Aufbau einer Versorgungsstation für die Autotram

F1 Entwurf und Konzept

Für die Arbeiten an der Autotram ist eine externe Versorgungsstation sinnvoll, da sie einen Betrieb der Komponenten und eine Ladung der Batterien ohne Betrieb des Powerpacks zulässt. Durch eine externe Versorgungsstation lassen sich Wartungsarbeiten einfacher durchführen. Durch eine Variation der Ausgangsspannung lassen sich verschiedene Punkte des Betriebs der Autotram anfahren, ohne dass diese bewegt wird. Die Versorgungsstation kann auch als Last betrieben werden.

Ein Konzept für die Versorgungsstation wurde fertiggestellt. Die Versorgungsstation ist für die Nutzung in einem Betriebshof oder ähnlich bestimmt. Sie darf nur von unterwiesenem Personal bedient werden. Die Versorgungsstation ist aus Sicherheitsgründen galvanisch getrennt vom Netz entworfen worden. Sie stellt am Ausgang eine Gleichspannung zur Verfügung und kann so für Entwicklungsarbeiten an der Autotram aber auch zum Laden der Batterie genutzt werden.

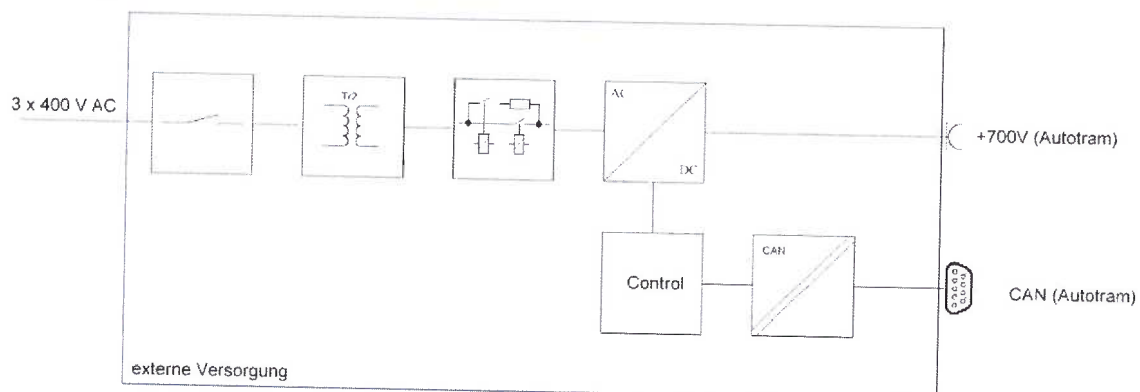


Abbildung 19: Blockschaltbild Versorgungsstation

F2 Entwicklung der Versorgungsstation

Da die Versorgungsstation nur im Stillstand der Autotram betrieben wird, geht der Leistungsbedarf zurück, so dass eine Versorgung mit einer Leistung von 25 kW ausreichend ist. Damit konnte ein 25 kW Trenntransformator und als Leistungsteil das LT120 ausgewählt werden. Für die Netzregelung wurden zusätzliche Spannungsmeßbaugruppen benötigt. Basierend auf dem Leistungsteil LT120 wurde die Versorgungseinheit entwickelt. Die gesamte Elektronik wurde in einen Schaltschrank 600 mm Breite projektiert. Die Software für die Versorgungsstation wurde entsprechend den Erfordernissen der Autotram entwickelt. Um Nachentwicklungen beim Betrieb an der Autotram zu minimieren, wurde ein weites Parameterfeld eingeführt, so dass eine Anpassung im Feld über Parametrierung möglich ist.

Die Versorgungsstation erreicht folgende Werte:

Leistung:	25 kW
Max. Zwischenkreisspannung:	720V
Taktfrequenz:	bis 14 kHz
Umgebungstemperatur:	bis 40°C
Kühlung:	forcierte Luft
Max. Sperrschichttemperatur:	97°C

F3 *Aufbau und Inbetriebnahme und Test der Versorgungsstation*

Die Versorgungsstation wurde in Dresden aufgebaut und in Betrieb genommen. Das System arbeitet zuverlässig und wurde an verschiedenen Verbrauchern erprobt. Eine Inbetriebnahme an der Autotram erfolgte noch nicht, da ein Transport nach Klettwitz nicht sinnvoll erschien.



Abbildung 20: Versorgungsstation, Frontansicht und geöffnet

Arbeitspaket G: Entwurf, Entwicklung und Test eines aktiven Gleichrichters für das Kirsch-Powerpack

G1 *Entwurf und Entwicklung eines aktiven Gleichrichters für das Kirsch Powerpack*
Für das Powerpack, das der Euro 5 Norm entsprechen muss, ist momentan am Markt nur ein Aggregat der Fa. Kirsch verfügbar. Dieses Aggregat wird nur mit ungesteuertem Gleichrichter ausgeliefert.

Entsprechend der Generatorkennlinie liefert das Powerpack entsprechend der Drehzahl eine bestimmte Spannung und kann eine bestimmte Leistung abgeben. Damit schwankt die Ausgangsspannung des Powerpacks etwa zwischen 200 V und 750 V. Da der Zwischenkreis mit mindestens 700V arbeitet, ist es nicht möglich im unteren Drehzahlbereich vom Powerpack einzuspeisen. Das Powerpack muss damit immer im oberen Drehzahlbereich

arbeiten, auch wenn nur wenig Leistung benötigt wird. Die Geräusch- und Schadstoffemissionen steigen damit stark an.

Durch den Ersatz des ungesteuerten Gleichrichters durch einen gesteuerten Gleichrichter auf IGBT-Basis (Active Front End - AFE) ist ein Hochsetzen der Spannung auf den benötigten Bereich von 700 V bis 750 V möglich. Entsprechend der benötigten Leistung kann durch das Powerpack eine Drehzahl angesteuert werden. Die Spannungsanpassung übernimmt dann das AFE. Damit kann der Kraftstoffverbrauch reduziert werden und die Geräusch- und Schadstoffemissionen werden gesenkt.

Das AFE muss ebenfalls mit dem PTCU kommunizieren um entsprechend der angeforderten Leistung den Zwischenkreis bedienen zu können.

Die zusätzlichen Funktionen müssen neben weiteren Sicherheitsfunktionen (z.B. für den Motor im PTCU (Power Traction Control Unit) Berücksichtigung finden.

Entsprechend der Leistung des Powerpacks wurde das AFE ausgelegt. Um das LT200 nutzen zu können, kann das Leistungsteil nur mit einer Taktfrequenz von etwa 4 kHz getaktet werden.

Als Einbauraum wurde ebenfalls ein Dachaufbau vorgesehen.

G2 Aufbau, Inbetriebnahme und Test des AFE in der Autotram

Das AFE wurde bei M&P aufgebaut und in Betrieb genommen. Durch die Messungen und den Präsentationen in den letzten Monaten der Projektlaufzeit konnte das AFE an der Autotram nicht in Betrieb genommen werden. Dadurch war auch eine EMV-technische Überprüfung nicht möglich.

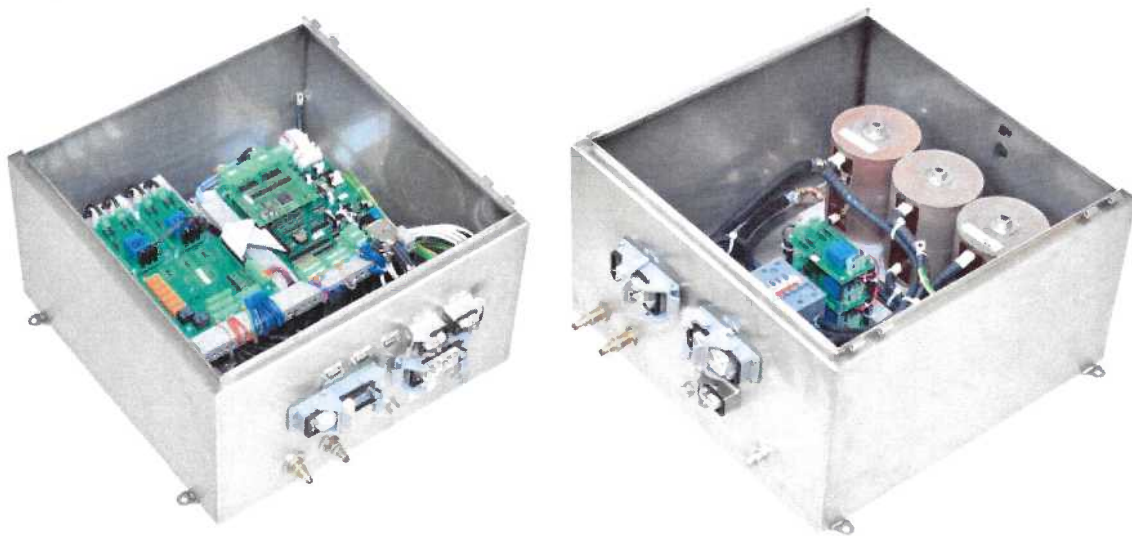


Abbildung 21: Elektronik und Filterbox des AFE

Arbeitspaket H: Einbindung der neuen Geräte und der neuen Funktionalität in den PTCU

H1: Einbindung der Versorgungsstation und des AFE in den PTCU

Für die Einbindung in den PTCU musste das Softwaremodul Gerätemanagement angepasst werden. Die Schnittstellendokumentation mit der Beschreibung der CAN Schnittstelle, den Signalen, den Regelungsarten und den spezifischen Warn- und Fehlercodes wurden vorbereitet.

Im SGerätemanagement wurde die Zustandsmaschine der Geräte implementiert. Dadurch sind die Geräte durch den PTCU ansprechbar.

Die Geräte wurden im Softwaremodul Energiemanagement angelegt und die Funktionen der Geräte wurden in die Software eingearbeitet.

In den Geräten selbst müssen ebenfalls die Schnittstellen entsprechend den Anforderungen des PTCU angelegt werden.

Da die Geräte auf der Autotram noch nicht eingebaut und in Betrieb genommen wurden, wurden die entsprechenden Funktionen im PTCU noch nicht aktiviert.

H2 Einbindung zusätzlicher Funktionalitäten in den PTCU

Mit fortschreitender Entwicklung zeigte es sich, dass die ursprünglich geplante Funktionalität des PTCU nicht ausreichend war. Da die Visualisierung des PTCU eine sehr gute Überwachung der gesamten angeschlossenen Komponenten zulässt, kann durch eine erweiterte Funktionalität der Inbetriebnahme und Testaufwand für die einzelnen Komponenten der Autotram sehr vereinfacht werden.

Da die energietechnischen Komponenten auf dem Dach verbaut sind, ist ein direktes Anstecken an das Gerät mit hohem Aufwand und auch einer Gefährdung verbunden. Durch eine erweiterte Diagnosefähigkeit und die Möglichkeit Geräteparameter über den PTCU zu ändern wurde eine wesentliche Verbesserung geschaffen. Es ist ebenfalls möglich ein Softwareupdate der Geräte über den PTCU zu realisieren.

Arbeitspaket I: Begleitung der Autotram während der Zulassungsphase und der Testphase bei der DVB

Während der Test und Zulassungsphase machte sich eine intensive Betreuung der Autotram notwendig.

Durch die notwendigen Tests mussten bestimmte Geräte außer Betrieb genommen werden können, die im Normalbetrieb nicht abschaltbar sind (z.B. DCDC Konverter für die Kondensatorspeicher). Auch zur Problemlösung, z.B. bei Störungen auf dem CAN Bus, war eine enge Betreuung notwendig. Die Fahrten auf dem Testgelände und den Überführungen zeigten auch Verbesserungen bei der Ansteuerung der Fahrmotoren auf, die intensiv untersucht werden mussten, um das Problem einzugrenzen und beseitigen zu können.

Im Verlängerungszeitraum machten sich auch Arbeiten an der Ausrüstung der Autotram erforderlich, z.B. Nachrüstungen oder Dichtigkeitsprobleme.

Während der Tests bei der Dekra mussten verschiedene Komponenten abstellbar sein, um z.B. Fehler oder Störungen lokalisieren zu können (z.B. während der EMV-Messung).



Abbildung 22: Überführung der Autotram zum Theaterplatz

2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Siehe Anlagen

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Im Projektzeitraum wurde die Mehrheit der Komponenten entwickelt. Damit stellt die Autotram auch den technischen Stand des Unternehmens M&P dar. Neben den Komponenten wie z.B. DCDC Konverter, Fahrantrieb und Energiemanagementcontroller (PTCU) wurde auch das Zusammenspiel der Einzelkomponenten realisiert. Neben dem entstandenen Wissen um die technischen Vorgänge in der Autotram wurde auch fertigungstechnisches Wissen gesammelt, das bei der Umsetzung der Prototypen in Seriengeräte nützlich ist. Durch die Projektverlängerung konnte der Testzeitraum vollständig betreut werden. Zusätzlich war es möglich notwendige Verbesserungen (z.B. Verbesserung Energiemanagement) zu realisieren. In der Projektverlängerungsphase wurden die Grundlagen für eine Ladung der Batterien aus einer Ladestation im Depot geschaffen. Durch den ebenfalls in der Projektverlängerungsphase entwickelten Eingangsgleichrichter ist es möglich das Powerpack im unteren Drehzahlbereich zu betreiben und damit zusätzlich Energie einzusparen.

Die Autotram bildet damit eine technische Plattform auf deren Grundlage auch eine ökonomische Weiterentwicklung des Unternehmens M&P möglich ist.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse lassen sich in verschiedene Bereiche teilen:

- Entwicklung einer Konvertereinheit, die als DC/DC oder als DC/AC Wandler betreibbar ist. Damit ist eine hohe Standardisierung über verschiedene Produktgruppen, auch abseits von der Autotram, bei etwa gleicher Leistung erreichbar.
- Der Aufbau und das Management eines hybriden Speichersystems mit Supercap und Batterie ermöglicht ein optimiertes Verhalten des Gesamtspeichers, da die Schwächen eines Teilsystems durch das andere ausgeglichen werden kann. Damit kann eine wesentliche Erhöhung der Batterielebensdauer erreicht werden.

- Das Energiemanagement (PTCU) ermöglicht den Energiefluss zwischen verschiedenen Energiequellen und Senken zu verwalten und so den Energiebedarf des Gesamtsystems zu optimieren. Damit ist die Einheit auch für Anwendungen außerhalb der Autotram anwendbar.
- Durch die Visualisierung und Bedienbarkeit der Energiesysteme der Autotram auf einen Monitor wurde eine leicht übertragbare Basis zur Visualisierung anderen Energiesystemen geschaffen.

2.5 Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt

Es ist kein Projekt im Bereich Bus bekannt, dass die Transportkapazität und den Hybridisierungsgrad der Autotram widerspiegelt. Durch die Parametrierbarkeit der elektrischen Speicher ist eine Anpassung an andere Erfordernisse realisierbar.

2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

2.6.1 Internet

Das Bündnis hat einen gemeinsamen Internetauftritt unter www.autotram.net.

2.6.2 Vorträge

Auf der Fachkonferenz unter dem Motto „Zukunftsorientierter ÖPNV – Der Weg zum Elektrobus, Erfahrungen und Entwicklungen bis 2011, wurden die verwendeten Komponenten und die Autotram präsentiert.

2.6.3 Messe

Die Autotram wurde auf der IAA in Hannover und auf der Hannover Messe 2013 dem Fachpublikum präsentiert.

2.6.4 Sonstige öffentliche Auftritte

Die Autotram wurde am 22.08 in Dresden einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt. Auftakt bildete die Präsentation an der TU Dresden im Beisein von Bildungsministerin Annette Schawan und Sachsens Ministerpräsident Herrn Tillich.

Die Autotram wurde weiterhin durch weitere Veröffentlichungen bekannt gemacht [siehe 2].