

# Modulares Stromversorgungskonzept Prüfsystem mit Basis-Wandlern und Booster-Wandler

Philip POLLHEIMER\*, Michael GRASSMUGG,  
Benedikt SCHWARZ, Jürgen FABIAN

AVL List GmbH, Hans-List-Platz 1, A-8020 Graz, juergen.fabian@avl.com, www.avl.com

**Kurzfassung:** Das modulare Stromversorgungskonzept (engl. Modular Power Supply, MPS) [1], [2] nutzt eine neue Betriebsstrategie mit Basis-Wandler(n) und Booster-Wandler(n), die es dem Betreiber z.B. eines Prüflabors ermöglicht, mit deutlich weniger installierter Leistung auszukommen. Heute wird für jeden Testkanal die maximal benötigte Leistung installiert, diese wird jedoch nur weniger als 10% der Testdauer benötigt. Die Erfindung betrifft ein Prüfsystem zur gleichzeitigen Prüfung mehrerer elektrischer Komponenten, insbesondere leistungselektronische Betriebsmittel, sowie ein Verfahren zur Prüfung von mehreren Prüflingen mit einem Prüfsystem. Als Prüfling kommt jede elektrische Energie abgebende oder aufnehmende Einheit infrage.

Der Fokus bei dieser Innovation wurde auf die Architektur eines Batterietestfeldes für Hochvoltbatterien gelegt, inwieweit der Energieverbrauch eines gesamten Batterielabors optimiert werden kann. Die Methodik lässt sich jedoch beliebig auf andere Anwendungsfälle ausdehnen, z.B. das Prüfen und Testen von Antriebssträngen, Brennstoffzellen, DC/DC-Wandlern, Ladegeräten, Wechselrichter oder andere elektrische Leistung transferierende Einheiten.

Bei bereits bestehenden Automatisierungssystemen fehlt die Möglichkeit, Prüfabläufe im Gesamtprüfstand flexibel zuzuordnen und durchzuführen. Basierend auf der heutigen Technologie, die nur starr ausgeführte Testläufe erlaubt, musste ein völlig neues Konzept entwickelt werden. Die Komplexität liegt hier in der Vergabe der Zeitfenster, in denen eine Leistungseinheit ein- und ausgeschaltet wird.

Ein Booster-Wandler bezeichnet ebenso wie der Basis-Wandler eine elektrische Schaltung, die eine am Eingang zugeführte Gleichspannung in eine Gleichspannung mit höheren, niedrigeren oder invertierten Spannungsniveau umwandelt. Booster-Wandler sind grundsätzlich ebenfalls dazu eingerichtet, elektrische Leistung bidirektional zu wandeln. Vorzugsweise sind Booster-Wandler so ausgestattet, dass sie an dessen Ausgang ein Leistungsniveau transferieren, das bei einem zum Basis-Wandler passenden Spannungsniveau über dem Basis-Leistungsniveau liegt.

Insbesondere bei zeitkritischen Tests muss sichergestellt sein, dass benötigte Leistungsbedarfe zum spezifizierten Zeitpunkt bereitgestellt werden können, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Somit ergibt sich für spezielle Prüfungen eine notwendige Priorisierung, damit es zu keiner Unterbrechung des Testzyklus kommt.

**Keywords:** Elektromobilität, Batteriesysteme, Prüfsystem, Booster-Wandler

## 1 Einleitung

Der Bedarf an elektrischen Prüfsystemen steigt derzeit aufgrund der Elektrifizierung von verschiedenen bisher nicht elektrifizierten Technologiefeldern stark an. Prüfsysteme werden dazu eingesetzt, um die Belastungen des Lebenszyklus eines Prüflings nachzustellen und sind in der Lage, einen an einen Testkanal angeschlossenen Prüfling mit einer Leistung zu laden und/oder zu entladen, wie es das jeweilige Prüfverfahren erfordert. Prüfverfahren weisen häufig große Unterschiede im Leistungsbedarf und der entsprechenden Zeitdauern auf: meist werden für längere Zeiträume geringere Leistungen benötigt, während besonders hohe Leistungsspitzen für kurze Zeiträume an einem Prüfling gefordert sind.

Gemäß aktuellem Stand der Technik gibt es kein System am weltweiten Markt, welches modular, skalierbar und anwendungsorientiert flexibel bedienbar ist. Aktuell werden Prüfsysteme für elektrische Komponenten jeweils mit der maximalen Prüfleistung ausgestattet, welche allerdings nur für sehr kurze Zeiträume genutzt werden.

Durch diese neuartige Innovation lässt sich der Betrieb eines Prüflabors effizienter gestalten, insbesondere ergibt sich eine signifikante Ersparnis von bis zu 33% (Anschaffungskosten, Platzersparnis), eine deutlich geringere Anforderung an die installierte Einspeiseleistung (z.B. Transformator), sowie geringe Betriebskosten als auch geringere Kosten zum Hochrüsten entsprechender Hardware (TCO, Total Cost of Ownership).

### 1.1 Rolle von AVL im Markt

Die AVL List GmbH („AVL“), mit dem Hauptsitz in Graz, ist eines der weltweit führenden Mobilitäts-Technologieunternehmen für Entwicklung, Simulation und Testen in der Automobilindustrie und in anderen Branchen. Ausgehend vom gelebten Pioniergeist liefert das Unternehmen Konzepte, Lösungen und Methoden für eine grüne, sichere und bessere Welt der Mobilität.

AVL erweitert stetig ihr Portfolio an hochwertigen Methodiken und Technologien in den Bereichen Fahrzeugentwicklung und -erprobung. Mit einem ganzheitlichen Ansatz – von der Ideenfindungsphase bis zur Serienproduktion – deckt das Unternehmen Fahrzeugarchitekturen und Plattformlösungen einschließlich der Auswirkungen neuer Antriebssysteme und Energieträger ab.

Um die Vision einer klimaneutralen Mobilität zu erreichen, treibt AVL innovative und kosteneffiziente Lösungen für alle Anwendungen voran – von traditionellen über Hybrid- bis hin zu Batterie- und Brennstoffzellentechnologien.

Als globaler Technologieanbieter reicht das Angebot der AVL von Simulation, Virtualisierung und Testautomatisierung für die Produktentwicklung bis hin zu ADAS/AD und Fahrzeugsoftware. Das Unternehmen kombiniert modernste und hochskalierbare IT-, Software und Technologielösungen mit ihrem Anwendungs-Know-how und bietet seinen Kunden damit umfangreiche Werkzeuge in Bereichen wie Big Data, künstliche Intelligenz, Cybersecurity oder Embedded Systems. Darüber hinaus strebt AVL ein sicheres und komfortables Fahrerlebnis für alle an und bringt ein umfassendes Verständnis von assistierten und automatisierten Fahrfunktionen in verschiedenen Fahrzeugen und Umgebungen ins Spiel.

Die Leidenschaft von AVL ist Innovation. Gemeinsam mit 11.200 MitarbeiterInnen an mehr als 90 Standorten und mit 45 Tech- und Engineering Centern weltweit unterstützt AVL Kunden bei ihren Mobilitätsbestrebungen. Im Jahr 2022 erwirtschaftete das Unternehmen einen Umsatz von 1,86 Milliarden Euro, wovon 11 % in F&E-Aktivitäten fließen, um kontinuierliche Innovation zu gewährleisten [3].

## 2 Besonderheiten der Innovation

Bei konventionellen Testsystemen wird die Leistungselektronik so ausgelegt, dass eine maximal zu erwartende Leistung auf jedem Einzelprüfstand realisiert werden kann. Aus diesem Grund wird die Leistungselektronik die meiste Zeit in einem nicht optimalen Bereich betrieben. Dadurch resultieren hohe initiale Kosten bei der Anschaffung und hohe laufende Kosten durch den ineffizienten Betrieb, da die meiste Zeit nur ein Bruchteil der installierten Leistung benötigt wird. Diese, durch eine modulare Lösung vermeidbare, finanzielle Mehrbelastung (höhere initiale Anschaffungskosten, erhöhter Platzbedarf und höhere laufende Kosten) wirkt sich direkt auf die Testkosten aus und muss an die Kunden weitergegeben werden.



Abbildung 1: Anforderungen an das modulare Stromversorgungskonzept (engl. Modular Power Supply, MPS), [4].

Durch einen schlanken Basisaufbau in Bezug auf die Leistungsdimensionierung kann die Energieeffizienz deutlich gesteigert werden, da die Leistungselektronik in einem optimalen Bereich betrieben werden kann. Durch die deutliche Verschlankeung der Leistungselektronik je Prüfstand ergibt sich ein großes Sparpotential bei den initialen Kosten und der Platzbedarf für ein Prüfsystem kann deutlich reduziert werden. Erhöhte Leistungsbedarfe werden durch eine oder mehrere zuschaltbare Leistungsstufen ausgeglichen. Da die meisten Tests nur eine kleine Basisleistung benötigen ergibt sich trotz geringerer Ausstattung eine hohe Verfügbarkeit der Anlage.

Durch die Nutzung eines gemeinsamen DC-Busses werden Wandungsverluste reduziert und die Einbindung von PV (Photovoltaik) und stationären ESS (Energy Storage System) kann effizienter erfolgen. Durch den gemeinsamen DC-Bus können Testprofile so aufeinander abgestimmt werden, dass der Energieaustausch beim Laden und Entladen über den DC-Bus stattfindet und somit der Netzbezug erheblich reduziert wird.

Systeme können vorab an die Gegebenheiten optimal angepasst werden und auch weitere Anpassungen können leichter realisiert werden als bei klassischen Prüfsystemen. Durch diese Flexibilität kann auf Anforderungen der Zukunft besser reagiert werden, wodurch sich ändernde Marktanforderungen in geringerem Ausmaß auf die Investition auswirken. Durch die Kombination dieser Vorteile können Testkosten erheblich reduziert und dadurch ein erheblicher Wettbewerbsvorteil generiert werden.

### 3 Technischer Aufbau des modularen Stromversorgungskonzepts

Im Folgenden ist nun eine beispielhafte Konfiguration eines MPS-Systems vorgestellt.

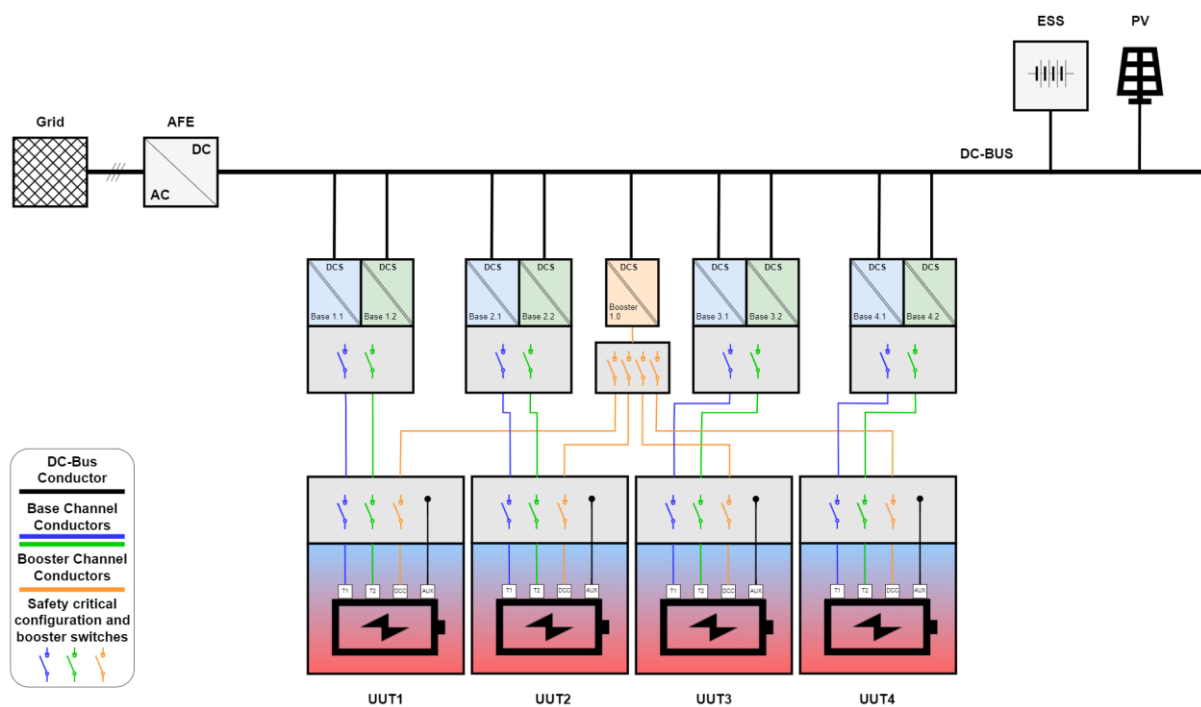


Abbildung 2: Technischer Aufbau des modularen Stromversorgungskonzepts, Prinzipschaltbild [4].

Ein zentrales Element ist der DC-Bus, welcher durch ein Active Front End (AFE, AC/DC Wandler) gespeist wird. Der DC-Bus kann als verteiltes DC-Fabriksnetz gesehen werden, auf dem neben den Prüfständen auch noch weitere Quellen und Senken integriert werden können, wie z.B. ein stationärer Energiespeicher (ESS) oder eine PV-Anlage.

Die DC/DC-Steller (DCS) der Prüfstände hängen am DC-Bus, auf welchem sich die Lastflüsse ausgleichen können, ohne die Notwendigkeit auf AC zu wandeln. Die einzelnen Steller haben dieselben Kenndaten (500kW/1000A), jedoch unterschiedliche Funktionen. DC/DC-Wandler, die direkt mit dem Anschlusschrank einer Klimakammer verbunden sind, werden Basiskanäle genannt. Sie sind immer einem UUT (Unit Under Test, Prüfling) zugeteilt. Ein oder mehrere

Boosterkanäle sind über Schaltelemente mit allen Anschlussschränken im Verbund kontaktiert. In den Anschlussschränken werden die Basis- und Boosterkanäle wiederum mit Schaltelementen zusammengeführt, um am Prüfling die jeweils geforderte Konfiguration herzustellen. Diese Verschaltung aus Konfigurations- und Boosterschützen wird als "Switch-Matrix" bezeichnet.

Das Prinzip des MPS ist es, eine ausgewogene Basisleistung jedem Prüfling dauerhaft verfügbar an jedem Kanal bereitzustellen, sowie im Bedarfsfall zusätzlich eine "floatende Ressource", den Booster, dynamisch dazu schalten zu können. Je höher die Anzahl der Prüflinge ist, auf welche der Booster geschaltet werden kann, desto höher ist die Ausnutzung der Boosterstufe. Mit wachsender Anzahl der UUTs steigt allerdings auch die Komplexität der Switch Matrix, außerdem erhöht sich die Downtime für die einzelnen Prüfläufe, je mehr UUTs sich eine Boosterstufe teilen und bei gleichzeitigem Bedarf warten müssen. Es ist daher sinnvoll, die Prüfstände zu Funktionseinheiten zu "clustern". Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht ist die beste Ausnutzung bei einem Cluster bestehend aus vier Prüfständen gegeben, die sich einen oder mehrere Boosterstufen teilen.

Die Prüflinge sind in der Regel automotive Batterie-Packs, die ihrerseits aus vielen zusammengeschalteten Zellen, einem integrierten Kühlsystem, einem Batteriemanagementsystem und mehreren durch Relais aufschaltbaren HV-Schnittstellen bestehen. Beim Aufrüsten in die Prüfkammer werden alle HV- und LV-Schnittstellen sowie das Kühlsystem verbunden.

### **3.1 Beschreibung des einzelnen Prüflingskanals**

Der Prüfling (UUT, Unit Under Test) befindet sich in einer Klima- bzw. Feuchtekammer. Der Prüfling hat zwei Traktionsanschlüsse T1 und T2, üblicherweise für Vorder- und Hinterachse, weiters einen DC-Ladeanschluss (DCC) sowie einen AUX-Anschluss für Hilfsverbraucher.

Nahe am Prüfling, direkt an der Klimakammer, befindet sich eine Übergabebox, welche die Switch-Matrix beinhaltet. Mit dieser können die unterschiedlichen Lastfälle geschaltet werden, die das Prüfprogramm verlangt.

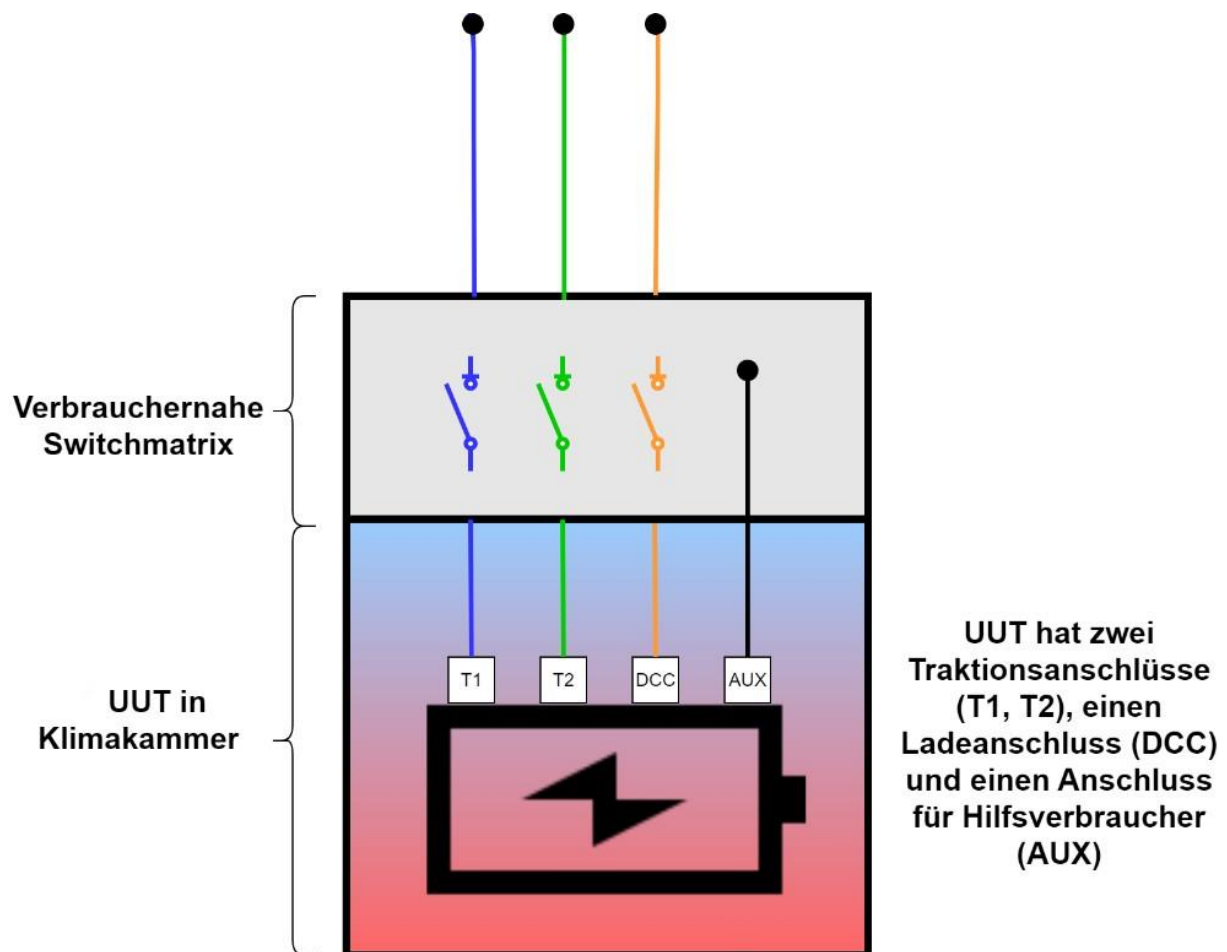


Abbildung 3: Einzelner Prüfkanal einer Batterie mit zwei Traktionsanschlüssen, [4].

Die Konfiguration der Prüflinge kann je nach Anwendung und Kunden sehr unterschiedlich sein, mit dieser beispielhaften Konfiguration werden aber viele reale Fälle abgedeckt.

Automotive Batterien für Passenger Cars und Vans haben häufig zwei Traktionsanschlüsse für die Vorder- und Hinterachse, in vielen anderen Anwendungen gibt es aber auch nur einen Traktionsanschluss. Das MPS-System ist für UUTs mit zwei Traktionsanschlüssen ausgelegt. Sollten Prüflinge mit weniger Anschlüssen getestet werden, würden die nicht verwendeten Kanäle dafür zur Verfügung stehen. Man könnte so z.B. mehr als ein UUT in der Kammer betreiben, und somit die Effizienz weiter erhöhen, wenn nicht zwei Basiskanäle auf einen Prüfling gehen, sondern ein Prüfling je Basiskanäle angeschlossen ist.

Bevor im Detail auf die Funktionsweise des MPS eingegangen wird, soll ein Blick auf die vorliegende Situation in Batterietestlaboren geworfen werden.

### 3.2 Status quo von Batterietestlaboren

Im Entwicklungsprozess von automotiven Batterie-Packs kommt dem Testen eine große Bedeutung zu. Anfängen von frühen Prototypen bis hin zu den letzten Absicherungstests für die Straßenfreigabe, wird ein großer, zeitintensiver Aufwand für Verifikation und Validation betrieben. Es werden dabei die verschiedensten Absicherungstests in unterschiedlicher

Ausprägung durchgeführt und der konventionelle Ansatz beim Auslegen eines Prüfstandes ist es, die Maximalleistung des Prüflings heranzuziehen.

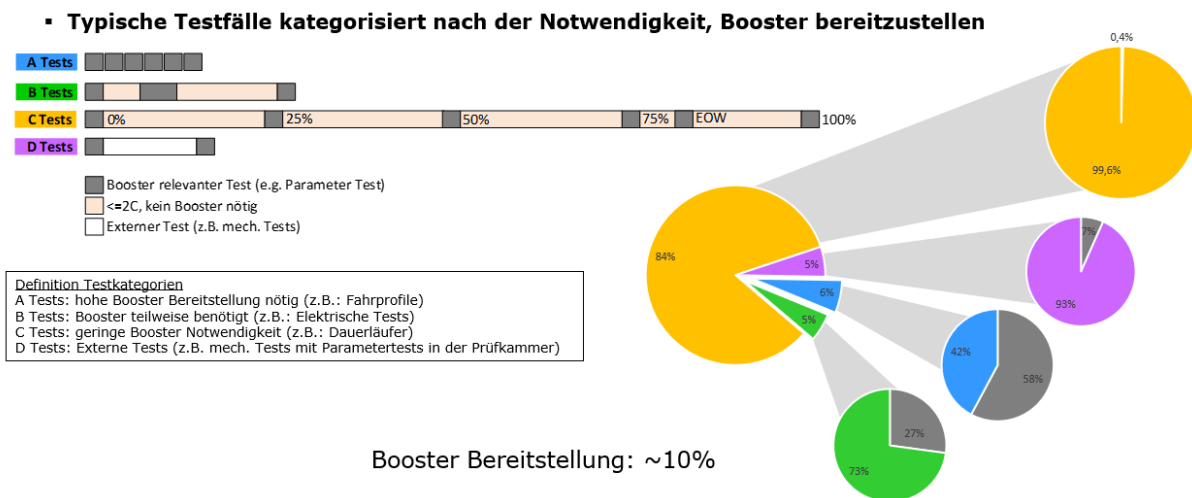


Abbildung 4: Typische Testfälle, kategorisiert nach Anwendungsfällen, [4].

Bei Automotive-Batterien bzw. bei Batterien generell kann die Maximalleistung nur für kurze Zeit herangezogen werden, da der Ladezustand bei starker Beanspruchung schnell in einen Bereich sinkt, bei dem abgeregelt werden muss. Bei den meisten Testläufen gibt es daher über die Zeit gesehen nur selten und kurz den Bedarf, die Batterie an den Leistungsgrenzen zu betreiben. Den überwiegenden Teil der Testzeit wird die Batterie in einem gemäßigten Leistungsfenster betrieben.

Die Idee ist also, eine vernünftige Basisleistung dauerhaft zur Verfügung zu stellen und die Maximalleistung bei Bedarf dynamisch dazu zu schalten.

Um die Ausnutzung beziffern zu können, wurden alle gängigen Batterietests basierend auf der vorhandenen Normenlandschaft sowie realen DVPs (Design Verification Plan) hinsichtlich eines Boosterbedarfs analysiert. Zur besseren Übersicht können Tests anhand des Verhältnisses vom Leistungsbedarf über die Zeit folgendermaßen kategorisiert werden:

- **A-Tests:** Höchste Boosternutzung. Üblicherweise Fahrprofil-Tests oder Performance Tests, bei denen das Batteriesystem an den Grenzen betrieben wird und die Leistungsfähigkeit ausgereizt wird. Bei diesen Tests muss die Boosterstufe abrufbar sein. Das sind üblicherweise viele hintereinander folgende, aber kurze (~2-3h) Tests, die immer wieder unterbrochen werden durch Zwischenvermessungen oder das Anfahren neuer Start-SOC's (State of Charge) oder Temperaturen. Die gesamte Dauer solcher Performance Tests lässt sich pauschal nicht beantworten und hängt von der jeweiligen Entwicklung ab. Es ist aber nicht unüblich, dass ein Prüfling bis zu einem Monat durchgehend solchen Tests unterzogen wird.
- **B-Tests:** Diese Testkategorie stellt einen Hybriden dar aus starker Boosternutzung, sowie längeren Phasen des Testprogramms, die sich nur mit Basisleistung bestreiten lassen. Bei gewissen Testläufen zur Absicherung von EMV und Elektrik gibt es nur bei vereinzelt Testfällen den Bedarf, das Batteriesystem an die leistungsmäßigen Grenzen zu bringen.

- **C-Tests:** In dieser Kategorie sind sämtliche Dauerläufertests zusammengefasst. Endurance- oder Dauerläufertests gibt es in den verschiedensten Ausprägungen mit unterschiedlichem Fokus, ihnen ist allerdings gemein, dass das Zyklisieren bei vergleichsweise kleinen Dauerleistungen erfolgt. Es werden zu Beginn und beim Abschluss des Tests sowie bei relevanten Punkten im Zeitverlauf (z.B. alle 25% Testfortschritt, End of Warranty o.ä.) Zwischenvermessungen bzw. Parametertests durchgeführt, bei denen der Einsatz des Boosters teilweise nötig ist. Diese Tests nehmen in der Regel nur einen bis max. drei Tage in Anspruch, jedenfalls im Vergleich zur gesamten Durchlaufzeit eines Dauerläufertests (können länger als ein Jahr laufen) nur einen verschwindend kleinen Teil. Die installierte Basisleistung reicht fast für die gesamte Testdauer aus, Boosterunterstützung ist nur selten und auch nur kurz vonnöten.
- **D-Tests:** Viele Absicherungstests für Batterien finden auf speziellen Anlagen statt, z.B. mechanische Tests, die Parametertests Pre/Post, also vor und nach diesen externen Tests, welche teilweise Boosterunterstützung erfordern, finden meistens nicht offline, sondern auf den (eigenen) Prüfständen statt, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu wahren. Die Testfälle in dieser Kategorie sind daher aus Sicht der Prüfstände kurz, aber dafür leichter planbar im Sinne der Boosterverfügbarkeit.

Betrachtet man nun, welche Tests in welcher Anzahl typischerweise über einen gewissen Beobachtungszeitraum in einem Labor durchgeführt werden und hebt den erwarteten Boosterbedarf hervor, so stellt man fest, dass mit etwa 10% Booster Bereitstellung gerechnet werden kann. Dieser Wert kann erheblich schwanken, je nachdem welche Validierungen der Betreiber im Labor plant. Werden z.B. nur die Booster-intensiven A-Tests durchgeführt und alle Dauerläufer ausgelagert, macht die MPS-Lösung nur bedingt Sinn, da der Booster häufig blockiert wird. Für einen Mischbetrieb, wo fast alle Testdisziplinen durchgeführt werden bzw. keine Spezialisierung auf irgendein Gebiet stattfindet, sind die 10% sogar konservativ gerechnet. Es ist in dieser Situation von einem deutlich geringeren Wert bei der Boosterbereitstellung auszugehen, was den Einsatz des MPS-Systems weiter rechtfertigt.

## 4 Funktionsweise des Systemverbunds

Um das System betreiben zu können, ist es notwendig, gewisse Aufgaben zu verteilen.

Die beteiligten Steuereinheiten im Systemverbund sind wie folgt:

**Automatisierungssystem (AuSy):** Jeder einzelne Prüfstand bzw. jeder Prüfling wird von einem Automatisierungssystem betrieben, welcher das Testprozedere vorgibt und relevante Daten des Prüfaufbaus misst. Beim MPS-System kommunizieren die Automatisierungssysteme nicht mit den jeweils physikalisch angeschlossenen DC-Stellern, sondern mit einem vorgelagerten Cluster Controller.

Jeder Cluster hat einen **Cluster Controller (CluCon)**, welcher die Aufgabe hat, die eingehenden Energieanfragen der Automatisierungssysteme zu bearbeiten. Dafür muss er die Architektur des Clusters und die aktuellen Schalterstellungen kennen. Der Cluster Controller leitet die Energie-Anfragen der einzelnen Testläufe an den Laboratory Controller weiter.

Der **Laboratory Controller (LabCon)** hat die Aufgabe, die Lastflüsse am DC-Bus zu überwachen. Die Cluster Controller geben die Anfragen ihrer Testläufe nach Leistung/Energie



weiter. Der LabCon muss nun anhand der momentanen Situation am Bus berechnen, ob die Energiekontingente vergeben werden können. Aufgrund der relativ kurzen Überlastfähigkeit des AFE, kann der LabCon eingehende Anfragen aber auch zurückhalten, bis es die Bilanz am DC-Bus wieder erlaubt. Sofern möglich, erteilt er die Freigabe an die teilnehmenden Cluster Controller. Weiters hat der LabCon auch die Aufgabe, das System z.B. durch teilweisen Lastabwurf stabil zu halten.

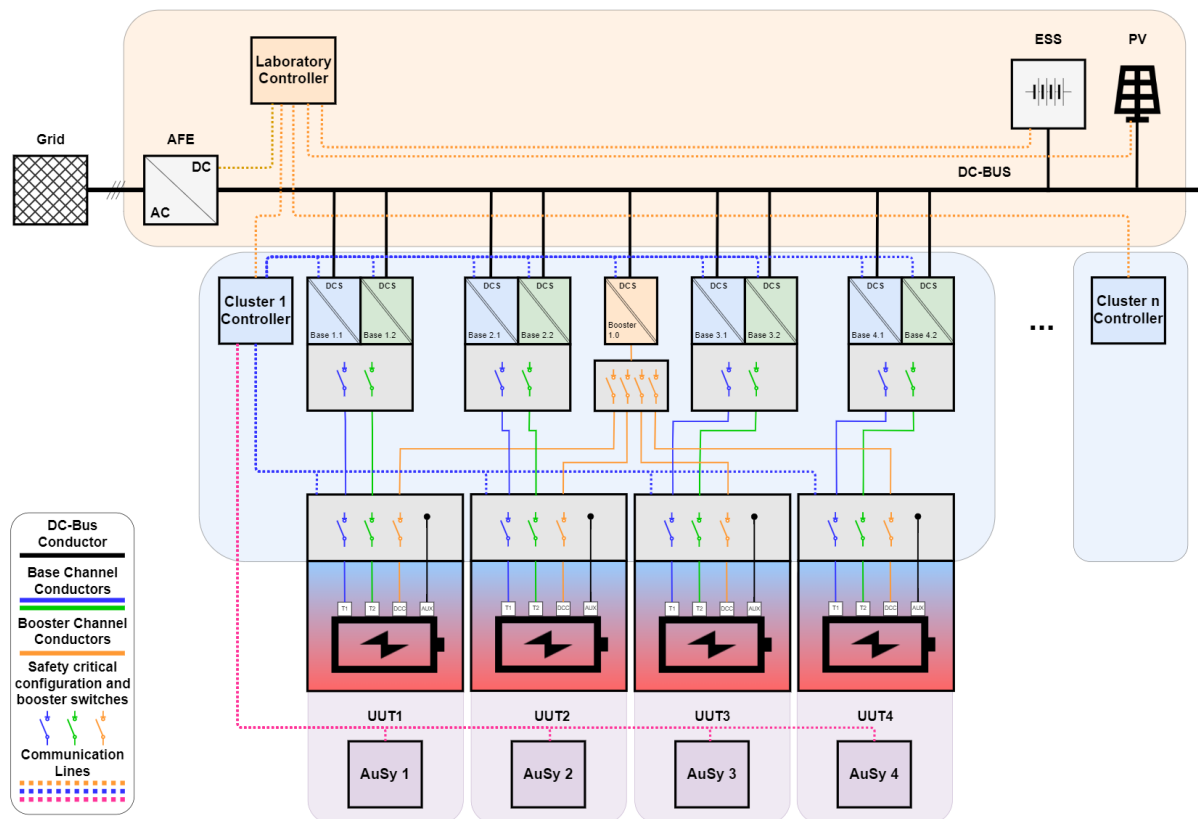


Abbildung 5: Systemverbund im Überblick, [4].

Ein Testlauf an einer Batterie in einem Cluster läuft im Automatisierungssystem ab. Die einzelnen Schritte eines Tests werden sequenziell durchgeführt. Nicht alle Testschritte erfordern aber eine aktive DC-Quelle/Senke, wie z.B. das Anfahren einer bestimmten Temperatur oder Feuchtigkeit. Sobald ein Schritt erreicht ist, der das Eingreifen des DC-Stellers erfordert, wird noch vor der Ausführung des Befehls vom Automatisierungssystem eine Ressourcenanfrage an den Cluster Controller gemeldet. Der Cluster Controller meldet nun seinerseits einen Leistungsbedarf an den Laboratory Controller weiter und berechnet intern den Booster-Bedarf. Sofern die Leistungsanfrage nicht ohne die zusätzliche Booster-Einheit durchgeführt werden kann, wird diese angefragt und allokiert, sofern sie verfügbar ist, bzw. wird abgewartet, bis sie von einem anderen Testlauf im Cluster freigegeben wird. Die entsprechenden Schütze werden gemäß der Leistungsanfrage verschaltet. Somit ist eine Bedingung für den Weiterbetrieb des Tests erfüllt, die zweite obliegt dem LabCon.

Parallel zur Ressourcenabfrage im CluCon, bearbeitet der Laboratory Controller dieselbe Leistungsanfrage. Erlaubt die Lastsituation am DC-Bus, dass der Anfrage entsprochen werden

kann, so wird das benötigte Energiekontingent aus dem Leistungspool reserviert und die Freigabe an den Cluster Controller zurückgemeldet. Wenn nun beide Bedingungen erfüllt sind (Schütze in Stellung und Leistungsfreigabe vom DC-Bus liegt vor), dann meldet der Cluster Controller an das Automatisierungssystem, dass der Test fortgesetzt werden kann. Nach Abarbeitung der Leistungsanforderungen gibt das Automatisierungssystem die ausgeborgten Ressourcen an den Cluster Controller und an den Laboratory Controller zurück.

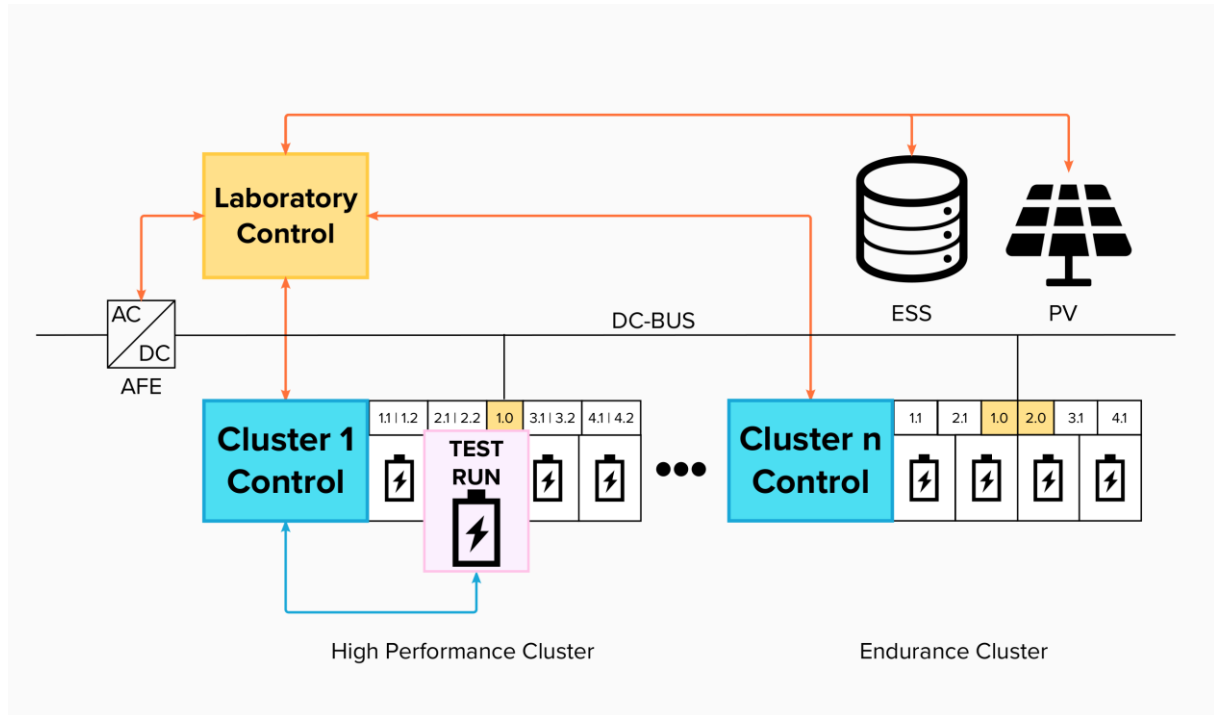


Abbildung 6: Exemplarischer Aufbau eines Prüflabors mit mehreren Clustern (Überblick, [4]).

Sind am selben DC-Bus neben den Prüfständen noch weitere Komponenten verbaut, wie ein stationärer Energiespeicher (große Batterie-Bank) oder eine PV-Anlage, so werden diese ebenfalls vom LabCon überwacht und in das Lastflussmanagement mit einbezogen.

Ein weiterer Aspekt soll noch beleuchtet werden, der beim initialen Auslegen eines Labors zum Tragen kommt.

Bei einem ausreichend großen Labor mit vielen Kanälen, kann man den Nutzen von MPS noch weiter erhöhen, indem man die verschiedenen Testdisziplinen in unterschiedlich ausgelegten Clustern durchführt. Ein praxisbezogenes Beispiel dazu:

- Der Kunde muss viele Performance Tests durchführen (Kategorie A, hoher Boosterbedarf), welche allerdings jeweils nur eine kurze Durchlaufzeit haben.
- Gleichzeitig muss er viele Absicherungstests fahren, die sehr lange Zeiten durchlaufen (Kategorie C-Tests, Dauerläufer mit sehr seltenem Boosterbedarf).
- Bezogen auf die gesamte Durchlaufzeit ergibt sich ein Bedarfsverhältnis von 1:2 von Performance Prüfständen gegenüber Dauerläuferprüfständen.

Eine sinnvolle Auslegung wäre also ein Drittel der Kanäle als High Performance Cluster zu installieren (siehe Schema oben). Nachdem auf den restlichen zwei Dritteln hauptsächlich Dauerläufertests vorgesehen sind, bei denen nur äußerst selten und wenn auch nur für kurze Dauer das Hinzuschalten eines Boosters erforderlich ist, ist es möglich, die installierte Basisleistung weiter zu reduzieren, ohne eine tatsächliche Einschränkung beim Betrieb des Labors wahrzunehmen.

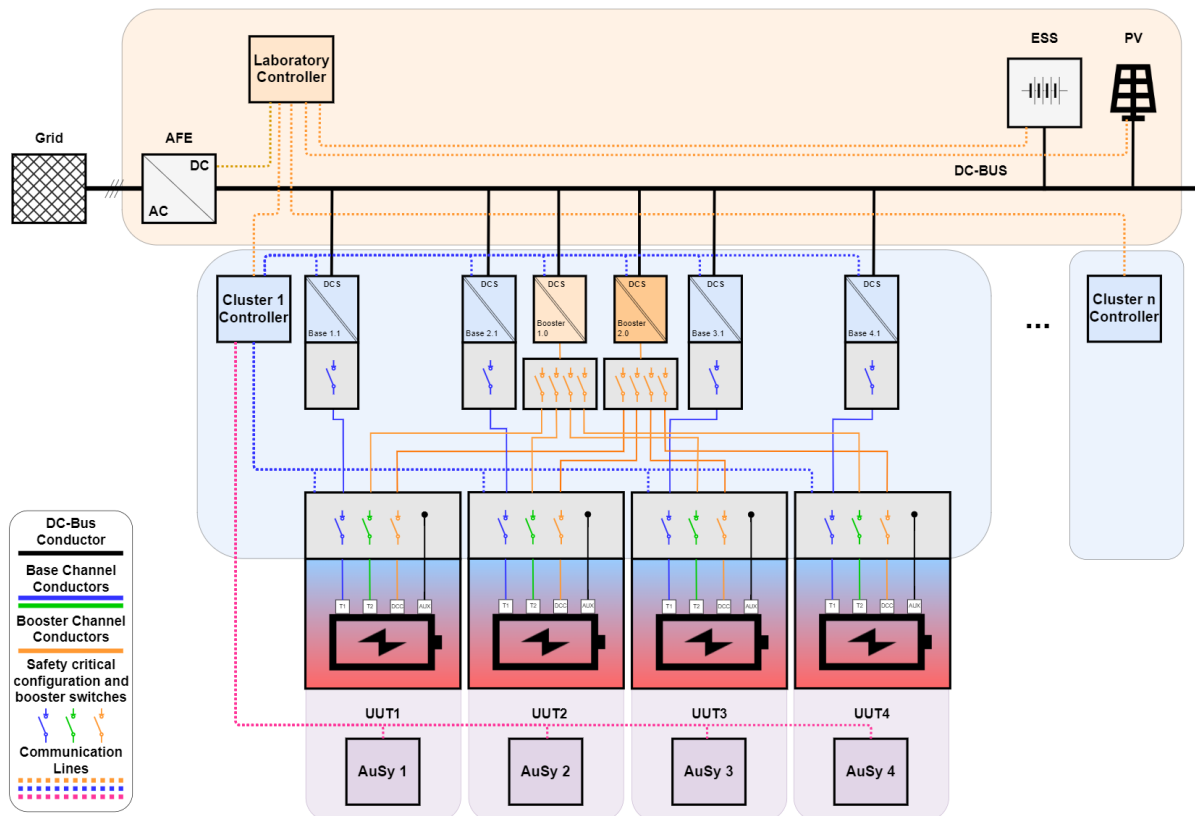


Abbildung 7: Exemplarischer Aufbau eines Prüflabors mit mehreren Clustern (detailliert, Fokus auf Cluster 1), [4].

Bei diesem sogenannten Endurance Cluster, welcher für die Durchführung von Dauerläufertests vorgesehen ist (z.B. Lebensdaueruntersuchungen), ist jeweils nur ein Basiskanal einem Prüfling zugeordnet. Eine Boosterstufe wird zu einem der vier Kanäle zugeschaltet, sofern der benötigte Umfang das rechtfertigt, kann auch eine zweite Boosterstufe installiert werden. Damit kann die Ausnutzung weiter erhöht werden, oder es können höhere Bedarfe auf einem Kanal dargestellt werden.

Nach diesem groben Einblick in die Funktionsweise des Systems, sollen abschließend die Vorteile zusammengefasst werden.

## 5 Vorzüge des gesamtheitlichen Versorgungskonzepts

**Was wollen wir damit für unsere Kunden erreichen?**

**Effizienz.** Das neue System soll die Effizienz des Laborbetriebes in mehreren Facetten steigern. Durch den Einsatz von einem oder mehreren DC-Bussen sollen Wandlungsverluste

eingespart werden, die bei der konventionellen Lösung rapide in die Höhe schnellen können. Das wirkt sich bei größeren Laboren noch deutlicher aus. Ebenso wird durch die DC-Bus Lösung das Einbinden stationärer Speicher möglich, welche in der Lage sind, ohne Wandlungsverluste Leistungsspitzen dynamisch abzufangen. Diese Speicher bieten wiederum die Möglichkeit, die Energie zeitversetzt zwischen einzelnen Prüfständen hin- und her- zuschieben, anstatt sie zurück ins Netz zu speisen. Diese Thematik wurde oftmals in Kundengesprächen diskutiert, da es in manchen Ländern nicht erlaubt ist, Energie ins Netz zurückzuliefern. Stattdessen werden häufig große Entladewiderstände genutzt, welche die Energie schlussendlich in Wärme umwandeln. Im weiteren Sinne der Effizienzsteigerung, wird die Leistungselektronik so ausgelegt, dass eine gewisse Basisleistung per Kanal zur Verfügung gestellt wird, die im optimalen Bereich betrieben werden kann. Durch diesen Ansatz ergibt sich ein insgesamt besserer Wirkungsgrad des Gesamtsystems, verglichen mit der konventionellen Auslegung, bei welcher die Leistungselektronik die meiste Zeit in einem nicht effizienten Bereich betrieben wird. Sobald ein erhöhter Leistungsbedarf, zum Beispiel in Form eines Innenwiderstandsbestimmungstest oder eines WLTPs benötigt wird, den die Basisstufe allein nicht mehr abdecken kann, können zusätzliche Boosterstufen dynamisch während des Testlaufs zugeschaltet werden, um diese zu bedienen. Ebenso bieten wir mit unserem Software-Ökosystem eine Umgebung an, die es unseren Kunden ermöglicht, von der Planung der Tests bis hin zur Datenauswertung einen durchgängigen Prozess zu durchlaufen. Dieses Softwareportfolio bietet dadurch eine geringere Fehleranfälligkeit, wie auch eine zuverlässige Art, auf Testresultate zugreifen zu können.

**OEE (Overall Equipment Efficiency).** Wenn man dieses System mit der konventionellen Methode vergleicht, wird das Verhältnis von installierter Hardwareleistung zu der tatsächlich benötigten in ein besseres Verhältnis gesetzt. Außerdem können aufgrund der verbauten Leistungselektronik, die sehr teuer werden kann, umso mehr Leistung man benötigt, die Stundensätze des Prüfbetriebs gesenkt werden. Ebenso werden auch die initialen Anschaffungskosten verringert, was einen zusätzlichen Vorteil in der Wirtschaftlichkeit bedeutet. Die Wartungskosten sind dabei auch nicht zu vernachlässigen. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist seine gute Wartbarkeit. Defekte Komponenten können leicht ausgebaut werden ohne laufende Tests an anderen Stellen des Prüflabors zu unterbrechen. Diese verringerten Standzeiten ergeben einen nicht zu vernachlässigenden zusätzlichen Benefit.

**Modulierbarkeit.** Die Systeme werden so ausgelegt, dass sie bei Bedarf erweiterbar sind, um für zukünftige Testanforderungen gerüstet zu sein.

**Footprint.** Gegenüber bestehenden Lösungen erreicht man mit diesem Ansatz einen viel geringeren Footprint. Da die Umwandlung von AC zu DC nur einmal zentral stattfindet, statt wie bisher in jedem einzelnen Gerät. Dieser leistungselektronische Schrank (AFE) versorgt den gesamten DC-Bus. Die Platzeinsparung ist beträchtlich. Je nach Konfiguration, kann bei einem Cluster in der Größe von 4 UUTs gegenüber der konventionellen Lösung bis zum 7-fachen an Platzbedarf eingespart werden. Der Platz-Vorteil, die AC/DC Wandlung auszugliedern, wirkt sich mit steigender Größe des Labors bzw. Anzahl der Kanäle umso positiver aus.

**Betrieb.** Die Einschränkung ist, dass nicht jedes System zeitgleich die Maximalleistung fahren kann. Sollten die unterschiedlichen Prüfläufe parallel denselben Booster anfragen, kann nur einer bedient werden und der andere muss warten. Mit einer durchdachten Auslegung des

MPS-Systeme sind allerdings nur kleine, im Bestfall kaum wahrnehmbare Einschränkungen für den Anwender zu erwarten. Die Vorteile von geteilten Ressourcen überwiegen.

## 6 Zusammenfassung

Der Bedarf an elektrischen Prüfsystemen steigt derzeit aufgrund der Elektrifizierung von verschiedenen bisher nicht elektrifizierten Technologiefeldern, sowohl in der Automobilbranche als auch in verwandten Branchen, stark an. Prüfsysteme können dazu eingerichtet sein, die Belastungen des Lebenszyklus eines Prüflings (z.B. einer Traktionsbatterie) nachzustellen und sind in der Lage, einen an einen Testkanal angeschlossenen Prüfling mit einer Leistung zu laden und/oder zu entladen, wie es das jeweilige Prüfverfahren erfordert.

Gemäß aktuellem Stand der Technik gibt es kein ganzheitliches Verbundsystem am globalen Markt, welches sämtliche Anforderungen erfüllt: modular, skalierbar und anwendungsorientiert bedienbar zu sein. Insbesondere ist beim modularen Stromversorgungskonzept nicht nur die notwendige Hardware entscheidend, sondern vielmehr die dahinterstehende intelligente Automatisierung und das übergeordnete Labormanagement. Aktuell werden Prüfsysteme für elektrische Komponenten jeweils mit der maximalen Prüfleistung ausgestattet, welche allerdings nur für sehr kurze Zeiträume genutzt werden und somit weitgehend ineffizient genutzt und betrieben werden.

Durch diese neuartige Innovation lässt sich der Betrieb eines Prüflabors effizienter gestalten, insbesondere ergibt sich eine signifikante Ersparnis von bis zu 33% (Anschaffungskosten, Platzersparnis), eine deutlich geringere Anforderung an die installierte Einspeiseleistung (z.B. Transformator), sowie geringe Betriebskosten als auch geringere Kosten zum Hochrüsten entsprechender Hardware (TCO, Total Cost of Ownership).

Ein Schwerpunkt der technischen Umsetzung liegt in der Komplexität der Hardware der Schaltmatrix, die auf Isolation überwacht und sicherheitsorientiert geschaltet werden muss, damit keine unbeabsichtigten Kurzschlüsse entstehen. Auch die Komponenten müssen richtig dimensioniert sein, da viele Schaltvorgänge zu erwarten sind. D.h. die Robustheit der Schalter muss zusätzlich gewährleistet sein.

Eine galvanische Entkopplung ist für den Betrieb dieses Systems zwingend erforderlich. Bestehende Labore mit DC-Quellen, die über eine solche galvanische Entkopplung nicht verfügen, sind daher für dieses Konzept nicht geeignet.

## 7 Referenzen

- [1] Österreichisches Patentamt, Patentnummer AT 525848 A1, Prüfsystem mit Basis-Wandlern und Booster-Wandler, 15.08.2023.
- [2] OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik, Innovation Award 2023, <https://www.ove-innovationday.at/ove-innovation-award/x>
- [3] AVL FACT SHEET 2023, 24.03.2023, <https://www.avl.com/de-de>
- [4] AVL List GmbH, Hans-List-Platz 1, 8020 Graz, Österreich