

Whitepaper

Hybridantriebe im Wandel: Globale Entwicklungspfade, Konzepte und Architekturen

Die Perspektive von Bosch auf globale Marktdynamiken
und die Auslegung hybrider Systeme

Technik fürs Leben

BOSCH

Inhalt

01
Marktkontext: Der globale Wandel von Antriebstechnologien 3

02
Entscheidende Faktoren: Wie regionale Einsatzszenarien und gesetzliche Vorschriften Antriebskonzepte bestimmen 5

03
Auslegung der Hybridisierung: Zentrale Antriebsarchitekturen in modernen Fahrzeugen 9

3.1 P2-, P3- und weitere DHT-Topologien 12
Vorteile und Einsatzszenarien
Nachteile und technische Einschränkungen
Akzeptanz bei OEMs und Marktrelevanz
Bosch Mobility-Perspektive

3.2 Power-Split-Topologien 15
Vorteile und Einsatzszenarien
Nachteile und technische Einschränkungen
Akzeptanz bei OEMs und Marktrelevanz
Bosch Mobility-Perspektive

3.3 Serielle/parallele Topologien 18
Vorteile und Einsatzszenarien
Nachteile und technische Einschränkungen
Akzeptanz bei OEMs und Marktrelevanz
Bosch Mobility-Perspektive

3.4 REEV-Topologien 21
Vorteile und Einsatzszenarien
Nachteile und technische Einschränkungen
Akzeptanz bei OEMs und Marktrelevanz
Bosch Mobility-Perspektive

04
Fazit/Zusammenfassung 25



01
Marktkontext: Der globale Wandel von Antriebstechnologien

Der globale Wandel bei Antriebstechnologien für Personenkraftwagen beschleunigt sich, jedoch unterscheidet sich die Geschwindigkeit von Region zu Region. Laut IEA Global EV Outlook 2026 überstieg der weltweite Absatz von Elektro-Pkw 2025 20 Millionen Fahrzeuge und wird 2026 voraussichtlich 23 Millionen Fahrzeuge überschreiten, was 28 % der weltweit verkauften neuen Pkw entspricht. BloombergNEF prognostiziert ebenfalls ein anhaltendes zweistelliges Wachstum, wobei sich der Anteil elektrifizierter Fahrzeuge 25 % der weltweiten Verkäufe von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen nähert. Dieser globale Durchschnitt verdeckt jedoch erhebliche regionale Unterschiede in den technologischen Entwicklungspfaden.

China bleibt der klare Vorreiter und macht etwa 60 bis 65 % der weltweiten Verkäufe von Elektrofahrzeugen aus. Im Jahr 2025 überstiegen Fahrzeuge mit alternativem

Antrieb, sogenannte New Energy Vehicles – einschließlich batterieelektrischer Fahrzeuge (BEV) und Plug-in-Hybride (PHEV) – in China bereits 50 % der Neuwagenverkäufe. Laut der Marktforschung von Bosch und interner Modellierung von Szenarien für Antriebsstränge wird sich die Elektrifizierung bis 2035 weiter beschleunigen, wobei batterieelektrische Fahrzeuge zur vorherrschenden Technologie bei Neuzulassungen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen werden. Gleichzeitig bleiben Hybridtechnologien, einschließlich Vollhybride, Plug-in-Hybride und Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung (REEV), ein strukturelles Element des Übergangs. Dies spiegelt die weiterhin wichtige Rolle elektrifizierter Fahrzeugkonzepte im chinesischen regulatorischen und industriellen Rahmen wider.

Europa folgt einem ähnlichen Kurs, allerdings unter stärkerem regulatorischem Druck. Elektrifizierte Fahrzeuge machen derzeit in der Region insgesamt etwa 20 bis 25 % der Neuzulassungen aus. Die Modellierung von Szenarien für Antriebsstränge von Bosch zeigt, dass sich der europäische Markt bis 2035 schrittweise in Richtung einer BEV-dominierten Struktur bewegen wird, während Hybridarchitekturen im Übergangszeitraum weiterhin als für die Einhaltung von Vorgaben relevante Technologie erhalten bleiben.

In den USA schreitet die Elektrifizierung langsamer voran. Elektrofahrzeuge (BEV, PHEV, REEV) machen etwa 10 % der Neufahrzeugverkäufe aus, wobei BEVs führen, ihr Wachstum jedoch durch den Ausbau der Infrastruktur und regionale Unterschiede in der Politik begrenzt wird. Gleichzeitig haben Vollhybride erheblich an Marktrelevanz gewonnen, da sie Effizienzverbesserungen liefern, ohne Reichweite, Zuglast oder Komfort beim Tanken oder Laden zu beeinträchtigen. Die Marktforschung von Bosch zeigt, dass langfristig ein Mix elektrifizierter Antriebsarchitekturen bestehen bleibt, wobei Hybridfahrzeuge eine Schlüsselrolle dabei spielen, Kundenanforderungen in einem geografisch weitläufigen Markt zu erfüllen.

Der Übergang zu neuen Antriebstechnologien ist bei Weitem nicht einheitlich und bleibt weltweit stark heterogen. Auch wenn elektrifizierte Optionen immer verbreiteter werden, folgen verschiedene Regionen ihren jeweils eigenen Wegen bei der Entwicklung, die durch lokale Regulierung, Infrastruktur und Marktanforderungen geprägt ist. Das bedeutet, dass ein Mix aus klassischen Verbrennungsmotoren, Hybridfahrzeugen und Elektrofahrzeugen auf absehbare Zeit weiter koexistieren wird, statt dass sich alles auf eine einzige Lösung konzentriert.

Diese Erkenntnisse unterstreichen eine zentrale Realität: Die globale Elektrifizierung schreitet schnell voran, aber der Übergang ist nicht einheitlich. Regionale politische Rahmenbedingungen, der Reifegrad der Infrastruktur, industrielle Strukturen und Kaufentscheidungen der Endkunden prägen weiterhin unterschiedliche Entwicklungswege der Technologie. In diesem Kontext bleiben Hybridantriebstechnologien – einschließlich HEV, PHEV und REEV – als kritische Übergangstechnologien relevant. Sie ermöglichen eine skalierbare CO_2-Reduktion, bieten Flexibilität in Märkten mit uneinheitlich ausgebauter Ladeinfrastruktur und sichern die Bezahlbarkeit in Fahrzeugsegmenten für den Massenmarkt. Infolgedessen lässt sich die globale Antriebslandschaft mittelfristig am besten als heterogenes System verstehen, das auf schrittweiser Elektrifizierung basiert, statt auf einem einzigen universellen Technologiepfad.

02
Entscheidende Faktoren: Wie regionale Einsatzszenarien und gesetzliche Vorschriften Antriebskonzepte bestimmen

Die Auswahl von Antriebskonzepten für Fahrzeuge wird zunehmend durch zwei grundlegende Faktoren bestimmt: regionale Einsatzszenarien für Fahrzeuge und das vorherrschende regulatorische Umfeld. Während die technologische Leistungsfähigkeit definiert, was möglich ist, sind es letztlich diese beiden externen Parameter, die bestimmen, welche Antriebskonzepte in großem Maßstab eingesetzt werden. Damit folgt der globale Übergang hin zu elektrifizierter Mobilität keinem gemeinsamen technologischen Entwicklungspfad. Stattdessen entwickeln sich verschiedene Märkte in Richtung verschiedener Kombinationen aus Verbrennungsmotoren, Hybridsystemen und batterieelektrischen Antrieben.

Regionale Fahrzeugeinsatzszenarien beeinflussen die Auswahl von Antriebskonzepten maßgeblich. Fahrzeugeinsatzprofile – wie tägliche Fahrstrecke, Autobahnnutzung, Anforderungen an die Nutzung von Anhängern oder städtische Stausituationen – bestimmen den relativen Wert von Elektroantrieb, Kraftstoffeffizienz, thermischer Robustheit und Flexibilität beim Tanken. Parallel dazu definieren regulatorische Rahmenbedingungen die wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen, innerhalb derer Hersteller agieren müssen. CO_2-Flottengrenzwerte, Null-Emissions-Vorgaben, Förderprogramme und Steuerstrukturen beeinflussen daher direkt die Wettbewerbsfähigkeit verschiedener Antriebstechnologien.

In **Nordamerika** sind Fahrzeugnutzungsszenarien durch Langstreckenfahrten, hohe Autobahngeschwindigkeiten und erhebliche Anforderungen an das Ziehen von Anhängern gekennzeichnet, einschließlich der Anhängelast und Geschwindigkeit beim Transport mit Anhängern. Crossover-(CUV)- und SUV-Segmente – inklusive kleiner und mittelgroßer SUV – stellen den Großteil des Pkw-Marktes dar und machen in den USA deutlich über 50 % der Neufahrzeugverkäufe aus, während Pick-up-Trucks spezifische, hochwertige Segmente mit besonders anspruchsvollen Einsatzprofilen (z. B. Anhänge- und Nutzlast) dominieren. Full-size-Pick-ups und große SUVs dominieren wichtige Marktsegmente und erfordern Antriebssysteme, die dauerhaft hohe Lasten und große Einsatzreichweiten ermöglichen. In diesem Kontext bieten Antriebskonzepte, die Verbrennungsmotoren mit Hybridisierung kombinieren, ein attraktives Gleichgewicht zwischen Effizienzsteigerungen und Einsatzfähigkeit. Mild-Hybrid-Modelle (mHEV) und Vollhybride (sHEV) können messbare Effizienzgewinne erzielen, während Zugfähigkeit und Komfort beim Tanken und Laden erhalten bleiben. Gleichzeitig nimmt der HEV-Anteil in diesen volumenstarken SUV-Segmenten zu, angetrieben durch die Nachfrage nach verbesserter Kraftstoffeffizienz ohne Änderungen im Nutzungsverhalten. Batterieelektrische Fahrzeuge dringen zunehmend in dieses Segment vor, aber die Kombination aus hohem Energiebedarf und Anforderungen an Anhängelasten begünstigt für viele Einsatzprofile weiterhin hybridisierte Verbrennungsmotoren.

In **Europa** ist das regulatorische Umfeld ein zentraler Treiber der Antriebsstrategie. Strenge CO_2-Ziele für den Flottendurchschnitt, Umweltzonen in urbanen Zentren und hohe Kraftstoffpreise schaffen starke Anreize für elektrifizierte Antriebssysteme. Gleichzeitig zeichnen sich die europäischen Fahrgewohnheiten sowohl durch Fahrten im dichten Stadtverkehr als auch auf Schnellstraßen aus. Infolgedessen setzen Hersteller zunehmend Antriebskonzepte ein, die eine hohe elektrische Reichweite ermöglichen und zugleich Flexibilität für Langstrecken bieten. Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeuge spielen daher eine strategische Rolle: Sie ermöglichen den täglichen elektrischen Betrieb und unterstützen zugleich längere Fahrten, ohne auf Ladeinfrastruktur angewiesen zu sein. Batterieelektrische Fahrzeuge gewinnen rasch an Bedeutung, doch hybride Verbrennungskonzepte bleiben ein entscheidender Bestandteil des Übergangs – insbesondere in Ländern, in denen die Ladeinfrastruktur noch nicht ausreicht, um den Bedarf der Nutzenden zu decken.

Das regulatorische und marktorientierte Umfeld in **China** hingegen begünstigt elektrifizierte Antriebskonzepte stark. Nationale und regionale Maßnahmen zur Förderung von Fahrzeugen mit alternativem Antrieb schaffen in Verbindung mit den Verkehrsbedingungen in großen Ballungsräumen enorme Anreize für einen hohen Anteil an elektrischen Fahrzeugen. In diesem Rahmen setzen Hersteller auf eine breite Palette elektrifizierter Konzepte, darunter batterieelektrische Fahrzeuge, Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung und fortgeschrittene Hybridsysteme. Diese Konzepte ermöglichen im dichten innerstädtischen Verkehr ein überwiegend elektrisches Fahren und sichern zugleich Reichweite und Flexibilität für Fahrten zwischen Städten. Staatliche politische Instrumente – wie Kaufanreize, Kennzeichenbeschränkungen und eine Industriepolitik zur Unterstützung heimischer Lieferketten – haben die Einführung dieser elektrifizierten Konzepte weiter beschleunigt.

In **Japan** und mehreren anderen asiatischen Märkten wird die Auswahl von Antriebskonzepten stark durch Kundenprioritäten wie Effizienz, Zuverlässigkeit und komfortables Fahrverhalten beeinflusst. Hohe innerstädtische Dichte und kürzere tägliche Fahrstrecken begünstigen Antriebssysteme, die konsistente Verbesserungen des Kraftstoffverbrauchs liefern, ohne externe Ladeinfrastruktur zu erfordern. Folglich haben starke Hybridsysteme eine besonders hohe Marktdurchdringung erreicht und bieten erhebliche Effizienzvorteile gegenüber Verbrennungsmotoren (internal combustion engine – ICE), während sie die einfache Betriebsart konventioneller Fahrzeuge beibehalten.

In **Südamerika** folgt der Fahrplan in Richtung Klimaneutralität einem ganz eigenen Weg, der durch lokale Bedingungen geprägt ist, wobei Brasilien rund 80 % der Fahrzeugproduktion in der Region ausmacht. Statt einer raschen Verbreitung von reinen Elektrofahrzeugen ist der Markt durch einen Multi-Energie-Ansatz geprägt, unterstützt durch ein gut etabliertes Biokraftstoff-Ökosystem: Rund 85 % der Verkäufe von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen in Brasilien entfallen auf Flex-Fuel-Fahrzeuge, die mit Ethanol betrieben werden können. Insgesamt wächst der brasilianische Fahrzeugmarkt, und Antriebssysteme einschließlich Verbrennungsmotoren folgen dieser allgemeinen Marktexpansion. In diesem Rahmen gewinnen Flex-Fuel-Hybridkonzepte (mHEV, sHEV und PHEV) als skalierbare Lösungen zur Reduzierung der CO_2-Emissionen an Bedeutung, wobei Bezahlbarkeit und Kompatibilität mit der bestehenden Infrastruktur erhalten bleiben. Gleichzeitig gewinnen mHEV, sHEV und PHEV vermehrt Marktanteile, während eine Verbreitung von REEV bislang nicht erkennbar ist; es bleibt abzuwarten, ob chinesische Erstausrüster (OEMs) entsprechende Modelle im brasilianischen Markt etablieren. Infolgedessen wird erwartet, dass die Region mittel- bis langfristig überwiegend von Verbrennungsmotoren und Hybriden geprägt bleibt, was einen regionsspezifischen Ansatz zur Dekarbonisierung widerspiegelt.

In **Indien** ist die Entwicklung von Antriebssträngen durch hohe Kostensensitivität, vielfältige Nutzungsmuster und sich weiterentwickelnde regulatorische Rahmenbedingungen geprägt. Ähnlich wie in Brasilien wächst der gesamte Fahrzeugmarkt in Indien, und Antriebsstränge, einschließlich Verbrennungsmotoren, folgen weiterhin dieser Entwicklung. Die Elektrifizierung schreitet selektiv voran, wobei Hybridmodelle (hauptsächlich mHEV und HEV), komprimiertes Erdgas und aufkommende Flex-Fuel-Konzepte konventionelle Verbrennungsmotoren ergänzen, statt sie zu ersetzen. Im Bereich der Elektrifizierung gewinnen Hybrid- und Elektrofahrzeuge Marktanteile hinzu, wenngleich das Ausgangsniveau vergleichsweise gering ist. Gesetzliche Vorschriften (z. B. Indiens Abgasnormen für Kraftfahrzeuge „Bharat Stage 6“ (BS6) und das E20-Ziel, Benzin zu 20 % mit Ethanol zu mischen) unterstützt eine schrittweise Verschiebung hin zu emissionsärmeren Lösungen bei gleichzeitigem Erhalt der Bezahlbarkeit, während Einschränkungen der Ladeinfrastruktur die großflächige Einführung von BEV weiterhin limitieren. Daher wird erwartet, dass sich der Markt vielfältig entwickeln wird, wobei Verbrennungsmotor-basierte Antriebssysteme – in Kombination mit Hybridisierung und alternativen Kraftstoffen – mittelfristig dominieren werden.

Diese regionalen Beispiele zeigen, dass Antriebskonzepte nicht isoliert und ausschließlich auf Grundlage des technologischen Potenzials ausgewählt werden. Was sich auf dem Markt durchsetzen wird, wird durch das Zusammenspiel von Fahrzeugeinsatzszenarien, regulatorischen Anforderungen, dem Reifegrad der Infrastruktur und der Wirtschaftlichkeit für Kundinnen und Kunden definiert. Infolgedessen werden Multi-Energie-Plattformen – die ICE, hybride und batterieelektrische Lösungen kombinieren – zu einer strukturellen Notwendigkeit statt rein optional zu sein. Sie ermöglichen es Herstellern, unterschiedliche regionale Anforderungen flexibler zu erfüllen und gleichzeitig Skaleneffekte über Technologien und Märkte hinweg zu nutzen. Statt sich auf einen einzigen Pfad festzulegen, müssen OEMs ein breites Portfolio an Antriebskonzepten managen – ICE, mHEV, sHEV, PHEV, REEV und BEV – jeweils optimiert für spezifische Rahmenbedingungen. Die Antriebsstrategie beschränkt sich damit nicht auf eine einzige Topologie für alle Märkte; der Wettbewerbsvorteil liegt darin, den richtigen Technologiemix auf skalierbaren Plattformen, die sich an wechselnde Nachfrage und regulatorische Unsicherheit anpassen können, einzusetzen.

Diese zunehmende regionale Differenzierung der Antriebskonzepte hat auch erhebliche Auswirkungen auf Industrialisierungs- und Beschaffungsstrategien. Die Entwicklung und Fertigung mehrerer regionsspezifischer Antriebslösungen über alle wesentlichen Architekturen hinweg – von mHEV über REEV bis BEV – erfordert erhebliche technische Ressourcen, Plattformanpassungen und komplexere Lieferketten. Für einzelne OEMs wird es sowohl aus Kosten- als auch aus Skalierungsgründen zunehmend schwerer, diese Breite an internen Kompetenzen aufrechtzuerhalten. In diesem Kontext können Tier-1-Zulieferer mit globaler Präsenz und architekturübergreifender Expertise erhebliche Skaleneffekte erzielen, indem sie modulare, wiederverwendbare Lösungen für mehrere Kundenpräfenzen und Märkte entwickeln. Dies reduziert nicht nur Entwicklungsaufwand und Komplexität für OEMs, sondern ermöglicht auch eine schnellere Umsetzung marktspezifischer Antriebskonzepte. Folglich wird eine Einkaufstrategie, die von einem leistungsfähigen Systemlieferanten mit Systemexpertise unterstützt wird, strukturell wettbewerbsfähiger sein als ein fragmentierter Eigenfertigungsansatz, insbesondere in einer Welt mit unterschiedlichen regionalen Anforderungen und immer kürzeren Technologiezyklen.

Im folgenden Kapitel wird untersucht, wie diese Antriebskonzepte durch unterschiedliche Hybridsystem-Topologien und -Architekturen technisch umgesetzt werden.

03
Auslegung der Hybridisierung: Zentrale Antriebsarchitekturen in modernen Fahrzeugen

Während das vorherige Kapitel untersuchte, wie regionale Einsatzszenarien und rechtliche Rahmenbedingungen die Auswahl von Antriebskonzepten beeinflussen, befasst sich der nächste Schritt im Entwicklungsprozess mit der technischen Realisierung hybrider Antriebssysteme. Sobald im Rahmen eines Fahrzeugprogramms festgelegt wurde, dass Hybridisierung das geeignete Konzept darstellt – ob als Vollhybrid, Plug-in-Hybrid oder Elektrofahrzeug mit Reichweitenverlängerung – legt die spezifische Hybridtopologie fest, wie Elektromotoren, Verbrennungsmotoren, Getriebe und Energiespeichersysteme innerhalb des Antriebssystems zusammenwirken.

Hybridtopologien unterscheiden sich vor allem in der mechanischen und elektrischen Kopplung zwischen dem Verbrennungsmotor und dem elektrischen Antriebssystem. Diese Kopplung bestimmt, wie Leistungsflüsse zwischen Motor, Elektromotor(en), Batterie und Rädern gesteuert werden. Damit hat die Topologiewahl direkten Einfluss auf zentrale Fahrzeugeigenschaften, darunter Kraftstoffeffizienz, Reichweite im Elektrobetrieb, Systemkosten, Komplexität der Baugruppen, Fahrleistung und Skalierbarkeit über verschiedene Fahrzeugplattformen hinweg.

In den vergangenen zwei Jahrzehnten haben sich mehrere Hybridarchitekturen als vorherrschende Lösungen in der globalen Automobilindustrie etabliert. Jede Topologie spiegelt eine andere technische Philosophie hinsichtlich des Gleichgewichts zwischen mechanischer Einfachheit, Elektrifizierungsfähigkeit und Systemeffizienz wider. Einige Architekturen priorisieren eine schrittweise Elektrifizierung konventioneller Antriebssysteme, während andere darauf ausgelegt sind, überwiegend elektrisches Fahren zu ermöglichen, wobei der Verbrennungsmotor primär als unterstützende Energiequelle fungiert.

Für Fahrzeughersteller ist die Wahl einer Hybridtopologie daher eine grundlegende strategische und technische Entscheidung. Sie muss nicht nur zum vorgesehenen Einsatzprofil des Fahrzeugs und zu den Marktanforderungen passen, sondern auch zu übergeordneten Aspekten wie Plattformintegration, Skalierbarkeit der Fertigung, dem Reifegrad des Zulieferer-Ökosystems und langfristigen Elektrifizierungsstrategien. Darüber hinaus spielen frühere Entscheidungen – einschließlich bestehenden geistigen Eigentumsrechten, früheren Investitionen und festgelegten Technologie-Roadmaps – eine wesentliche Rolle, da sie sowohl die technische Umsetzbarkeit als auch die Wirtschaftlichkeit der Einführung neuer Architekturen beeinflussen.



Dieses Kapitel gibt einen Überblick über vier große Familien von Hybridtopologien, die auf den globalen Märkten große Bedeutung erlangt haben und auch in Zukunft bestehen bleiben werden:

- **P2, P3** und **Dedicated Hybrid Transmission (DHT)-**Architekturen, die auf konventionellen Antriebslayouts aufbauen, indem Elektromotoren an strategischen Positionen im Antriebssystem integriert werden.

- **Power-Split-**Architekturen, die Planetenradsätze nutzen, um mechanische und elektrische Leistungspfade für hochflexible Betriebsstrategien zu kombinieren.

- **Seriell/parallel-hybride** Systeme, die mehrere Betriebsmodi ermöglichen, sodass der Verbrennungsmotor die Räder entweder direkt antreiben oder Strom erzeugen kann.

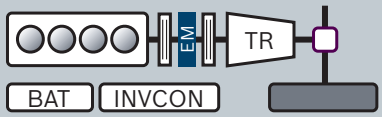
- Architekturen für **Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung,** bei denen der elektrische Antrieb der Primärantrieb ist und der Verbrennungsmotor hauptsächlich als bordseitiger Energiegenerator fungiert.

Für jede Topologie-Familie bewerten die folgenden Abschnitte die wesentlichen technischen Eigenschaften, Vorteile und potenziellen Einschränkungen. Dabei werden Faktoren wie Effizienzpotenzial, Systemkomplexität, Kostenauswirkungen und Eignung für unterschiedliche Fahrzeugsegmente und regionale Märkte berücksichtigt. Anhand dieses Vergleichs soll in diesem Kapitel verdeutlicht werden, wie unterschiedliche Hybridarchitekturen die im vorherigen Kapitel skizzierten vielfältigen Elektrifizierungspfade unterstützen.

Die Erfahrung von Bosch Mobility mit allen wesentlichen Hybridarchitekturen bietet eine einzigartige Perspektive auf diese Abwägungen auf Systemebene und basiert auf jahrzehntelanger Entwicklung und Serienproduktion.

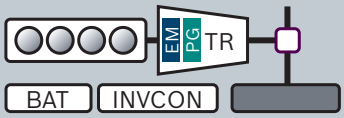
P2

6- bis 9-Gang-Getriebe



DHT (exemplarisch mit einem EM)

3- bis 6-Gang-DHT mit eCVT-Modus
ohne Kupplungselement, ohne Rückwärtsgang



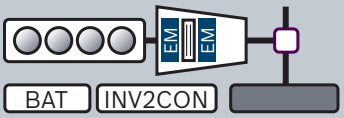
Power-Split

Power-Split
ohne Kupplungselement, ohne Rückwärtsgang



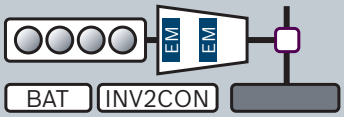
Seriell/parallel

Seriell/parallel-hybrid
Klauenkupplung, ohne Rückwärtsgang

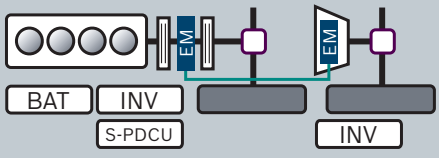


REEV

Seriell-hybrid
ohne Rückwärtsgang



P1.5 + P4



Konventionelles Automatikgetriebe

Dedicated Hybrid Transmission (DHT)

Reiner elektrischer Antrieb

Abkürzungsverzeichnis:

AWD:	Allradantrieb
BAT:	Batterie
BEV:	batterieelektrische Fahrzeuge
CNG:	komprimiertes Erdgas
DOF:	Freiheitsgrade
eCVT:	elektronisch gesteuertes stufenloses Getriebe
EM:	Elektromotoren
EV:	Elektrofahrzeuge
FWD:	Frontantrieb
HEV:	Vollhybrides Fahrzeug
ICE:	Verbrennungsmotoren
INVCON:	Wechselrichter-Steuerung
INV2CON:	Doppel-Wechselrichter-Steuerung mit DC/DC-Wandler
NEV:	Fahrzeuge mit alternativem Antrieb
PG:	Planetengetriebe
PHEV:	Plug-in-Hybride Fahrzeuge
REEV:	Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung
s-PDCU:	Super Powertrain Domain Control Unit
TR:	Transmission

Abbildung 1: Übersicht über Topologien und Getriebetechnologien

3.1
P2-, P3- und weitere DHT-Topologien

P2-, P3- und weiterentwickelte Dedicated Hybrid Transmission (DHT)-Architekturen stellen eine Klasse von Hybridsystemen dar, die auf konventionellen Antriebslayouts aufbauen und einen oder mehrere Elektromotoren an definierten Positionen innerhalb des Getriebes oder des Antriebssystems integrieren. In P2-Konfigurationen ist der Elektromotor typischerweise zwischen Motor und Getriebe angeordnet und ersetzt oder ergänzt häufig den Drehmomentwandler oder die Kupplung. Bei P3-Architekturen wird der Elektromotor hinter das Getriebe verlagert, während weiterentwickelte DHT-Konzepte mit reduzierter Gangzahl diesen Ansatz zu multimodalen Hybridgetrieben mit erhöhter Funktionsintegration erweitern.

Diese Architekturen zeichnen sich durch eine hohe Kompatibilität mit bestehenden Fahrzeugplattformen aus und ermöglichen eine schrittweise Elektrifizierung mit vergleichsweise geringer Beeinträchtigung bestehender Antriebskonfigurationen.

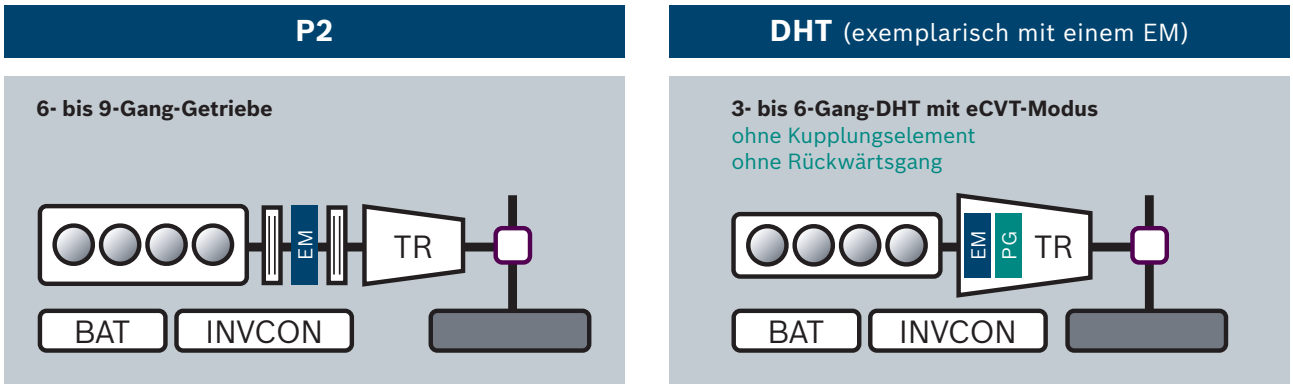


Abbildung 2: P2- und DHT-Referenztopologie

Vorteile und Einsatzszenarien

Ein wesentlicher Vorteil von P2-, P3- und DHT-Architekturen liegt in ihrer Skalierbarkeit und Integrationseffizienz. Durch die Nutzung bestehender Getriebekonzepte kann die Hybridisierung durch eine relativ unkomplizierte Integration eines Elektromotors umgesetzt werden, in einigen Fällen durch den Ersatz konventioneller Antriebskomponenten wie Kupplungen oder Drehmomentwandler. Dies ermöglicht eine kosteneffiziente Elektrifizierung – allerdings nur dann, wenn bestehende Technologieinvestitionen wiederverwendet werden können.

Die Architekturen sorgen für ein unmittelbares Ansprechen des Drehmoments, verbessern das Fahrverhalten und unterstützen sowohl effizienz- als auch performanceorientierte („fun-to-drive“) Fahrzeugeigenschaften. Abhängig von der Leistung des Elektromotors und der Batteriegröße können sie eine erhebliche Effizienzsteigerung und eine Reduktion der CO_2-Emission bewirken, wobei das Spektrum von Mildhybrid-Anwendungen (sogar mit 48 V möglich) bis hin zur Plug-in-Hybrid-Fähigkeit in bestimmten Konfigurationen reicht.

Diese Systeme eignen sich besonders für folgende Einsatzprofile:

- Bestehende Fahrzeugplattformen, bei denen ein hoher Grad an Übernahme bestehender Architekturen erforderlich ist
- Fahrzeuge mit hohen Lastzuganforderungen, einschließlich Anhängerbetrieb und längeren Autobahnfahrten
- Anwendungen, bei denen Flexibilität beim Tanken und große Reichweiten weiterhin entscheidend sind

Ihre Robustheit unter hohen Lastbedingungen sowie die Kompatibilität mit mechanischen Allradantriebslösungen (sowie optional elektrifizierten Hinterachsen) unterstreichen zusätzlich ihre Eignung für große Fahrzeuge und anspruchsvolle Einsatzprofile.

Nachteile und technische Einschränkungen

Trotz ihrer Vorteile weisen P2-, P3- und DHT-Architekturen bestimmte strukturelle Einschränkungen auf. Aufgrund ihrer parallelen Betriebsarten, in denen der Verbrennungsmotor direkt mit den Rädern gekoppelt ist, ist das Potenzial zur Reduzierung der ICE-Komplexität begrenzt.

Auch Vorteile im Bereich des Getriebes sind limitiert, da das Vereinfachungspotenzial gegenüber konventionellen Antriebssystemen begrenzt ist, insbesondere bei Architekturen, die weiterhin mehrere mechanische Komponenten behalten. Darüber hinaus kann die Komplexität der Baugruppen durch die Integration elektrischer Motoren innerhalb bestehender Getriebegehäuse zu einer Herausforderung werden.

Betriebsbezogene Aspekte wie das Startverhalten des Motors erfordern eine sorgfältige Abstimmung, um nahtlose Übergänge zwischen den Betriebsmodi sicherzustellen, insbesondere in für den Kunden relevanten Fahrsituationen.

Akzeptanz bei OEMs und Marktrelevanz

P2-basierte Architekturen sind in der Branche weit verbreitet und stellen eine der häufigsten Hybridlösungen in Europa dar. Typische Anwendungen finden sich in europäischen und globalen OEM-Portfolios, darunter BMW, Ford (EU), Mercedes-Benz und Audi.

Weiterentwickelte DHT- und multimodale Hybridsysteme gewinnen zunehmend an Bedeutung, insbesondere in Märkten mit hoher Hybridnachfrage. Diese werden von den OEMs Renault, Geely, BYD und General Motors implementiert, was die Skalierbarkeit dieser Architekturen über verschiedene Regionen und Fahrzeugsegmente hinweg widerspiegelt.

Bosch Mobility-Perspektive

Aus systemtechnischer Sicht profitiert die Weiterentwicklung von P2-, P3- und DHT-Architekturen von einer durchgängigen Integration über den gesamten Technologie-Stack von Bosch Mobility hinweg, der Antriebs-, Elektrifizierungs-, Getriebe- und Bremssysteme umfasst. Dies ermöglicht eine ganzheitliche Optimierung von Fahrzeugfunktionen, einschließlich Diagnose, Emissionsstrategien, Thermomanagement und Energiestromregelung innerhalb einer einheitlichen Systemarchitektur.

Gleichzeitig stellen diese Architekturen besonders hohe Anforderungen an Systemintegration und Kalibrierqualität, da die Gesamtperformance stark vom Zusammenspiel von Verbrennungsmotoren, Elektromotoren und Getriebe abhängt. Bosch Mobility kombiniert Komponenten der Spitzenklasse mit fundierter Systemkompetenz, basierend auf jahrzehntelanger Erfahrung in der Entwicklung von Verbrennungsmotoren und Hybridsystemen. Eine wesentliche Stärke in diesem Zusammenhang ist die Entwicklung spezifischer Funktionen für Hybridmotoren, die gezielt auf das Betriebsprofil von P2-, P3- und DHT-Systemen abgestimmt sind. Dazu gehören optimierte Motorstarts sowie eine ganzheitliche Optimierung der Betriebsstrategie hinsichtlich Effizienz, Emissionen, Geräuschen, Vibrationen, Rauigkeit und Zuverlässigkeit.

Dies ist insbesondere in Bereichen relevant, die typischerweise als Einschränkungen dieser Topologien gelten. Dank moderner Regelungsstrategien und Kalibrierungskompetenz verbessert Bosch Mobility das Startverhalten des Motors, die Betriebsartenwechsel und das allgemeine Fahrverhalten unter gemischten Antriebsbedingungen. Aufbauend auf langjähriger Kompetenz für Verbrennungsmotoren und Elektrifizierung sorgt Bosch Mobility für ein reibungsloses, robustes und kundenrelevantes Systemverhalten, mit stabilem Betriebspunktmanagement und konsistentem Ansprechverhalten in realen Fahrsituationen.

Darüber hinaus ermöglicht die enge Verzahnung von Antriebs- und Bremsfunktionen eine optimierte Energierückgewinnung und verfeinerte Regelungsstrategien, wodurch sowohl die Effizienz als auch der vom Fahrer wahrgenommene Komfort, z. B. durch nahtlose Übergänge zwischen rekuperativem und mechanischem Bremsen, verbessert wird.

Insgesamt realisiert Bosch Mobility durch die Kombination von herausragender Komponentenqualität mit bereichsübergreifender Systemintegration skalierbare und anwendungsspezifische Lösungen für P2-, P3- und DHT-Architekturen und kann OEMs so dabei unterstützen, Leistung, Kosten und Komplexität über globale Fahrzeugplattformen hinweg in Einklang zu bringen.

3.2
Power-Split-Topologien

Power-Split-Architekturen sind eine eigenständige Hybridtopologie, die mechanische und elektrische Leistungspfade mithilfe eines Planetengetriebes verbindet. In dieser Konfiguration ist der Verbrennungsmotor nicht direkt über feste Übersetzungsverhältnisse mit den Rädern gekoppelt, sondern interagiert stattdessen mit zwei oder mehr Elektromotoren, welche die Leistungsverteilung zwischen Antrieb und Energieerzeugung steuern.

Diese Architektur ermöglicht ein hohes Maß an betrieblicher Flexibilität, sodass das System je nach Fahrbedingungen Motorbetriebspunkte und Energieströme kontinuierlich optimieren kann.

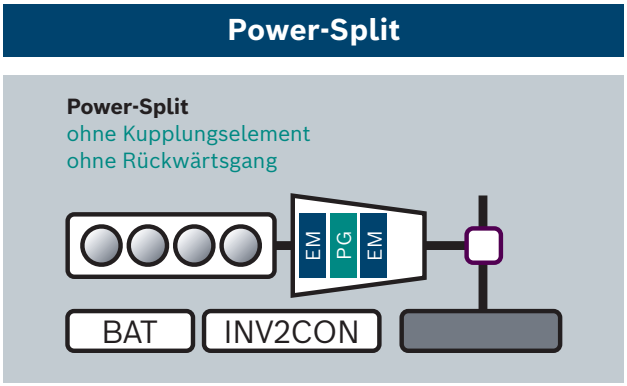


Abbildung 3: Power-Split-Referenztopologie

Vorteile und Einsatzszenarien

Ein wesentlicher Vorteil von Power-Split-Topologien besteht darin, dass die Leistungsverzweigung zwischen mechanischem und elektrischem Pfad eine weitgehende Entkopplung des Verbrennungsmotors von der Fahrzeuggeschwindigkeit ermöglicht. Dadurch können Motordrehzahl und Motorlast unabhängig von der aktuellen Abtriebsdrehzahl in Bereichen mit hohem Wirkungsgrad betrieben werden, während gleichzeitig die für das Fahrerlebnis erforderliche Antriebsleistung an den Rädern bereitgestellt wird. Das System optimiert somit kontinuierlich den Betriebspunkt des Verbrennungsmotors sowie die Leistungsverteilung zwischen elektrischem und mechanischem Antriebspfad.

Diese Architektur ermöglicht eine vereinfachte Auslegung des Verbrennungsmotors, da das Fehlen einer festen mechanischen Verbindung zu den Rädern einen flexibleren Motorbetrieb erlaubt. Darüber hinaus bietet das System aufgrund des hohen Grades an Funktionsintegration ein kompaktes Packaging.

Power-Split-Systeme sind weithin für ihr gleichmäßiges und kontinuierliches Fahrverhalten bekannt, das häufig als ein dem stufenlosen Automatikgetriebeähnlichem Fahrerlebnis wahrgenommen wird. Dieses Merkmal hat in Verbindung mit jahrzehntelanger Praxiserfahrung zu ihrer hohen Akzeptanz auf dem Markt beigetragen.

Typische Einsatzszenarien umfassen:

- Pkw mit Fokus auf Komfort und gleichmäßigem Fahrverhalten
- Anwendungen, bei denen eine bewährte, hochzuverlässige Hybridtechnologie eine zentrale Anforderung ist
- Märkte, in denen Kraftstoffeffizienz und niedrige Betriebskosten Vorrang vor hoher Nutzlast haben

Abhängig von Elektromotorleistung und Batteriegröße kann das Konzept von konventionellen Hybriden bis hin zu Plug-in-Hybrid-Anwendungen skaliert werden. Bei Ausstattung mit einer zusätzlichen eAchse sind auch Allradanwendungen möglich.

Nachteile und technische Einschränkungen

Ein potenzieller Nachteil von Power-Split-Architekturen liegt darin, dass die Drehzahl des Verbrennungsmotors nicht unmittelbar mit der Fahrzeuggeschwindigkeit oder der vom Fahrer wahrgenommenen Beschleunigung korreliert. Je nach Auslegung und Kalibrierung kann dies zu einem ungewohnten Fahrgefühl führen, da Motorgeräusch und Fahrzeugreaktion zeitweise entkoppelt erscheinen.

Im Allgemeinen erfordert das Erreichen einer hohen Zugkraft bei Architekturen mit einem erheblichen Anteil an serieller Leistungsübertragung einen höheren Systemaufwand, da die Antriebsleistung über elektrische Umwandlungspfade statt über eine direkte mechanische Verbindung geleitet wird.
Dies führt zu höheren Anforderungen an die Dimensionierung der Komponenten, das Wärmemanagement und die Gesamtsystemauslegung, wenn eine Zugleistung angestrebt wird, die mit konventionellen oder parallelen Hybridarchitekturen vergleichbar ist.

Akzeptanz bei OEMs und Marktrelevanz

Mit mehr als drei Jahrzehnten erprobtem Einsatz in Serienfahrzeugen stellen Power-Split-Systeme eine der weltweit etabliertesten Hybride dar. Sie werden bei zahlreichen OEMs eingesetzt, darunter vor allem Toyota und Lexus sowie in ausgewählten Anwendungsbereichen bei Mazda und Ford.

Diese langjährige Marktpräsenz unterstreicht den Reifegrad und die Robustheit der Architektur, insbesondere in Segmenten mit Fokus auf Effizienz und Komfort.

Bosch Mobility-Perspektive

Wie im vorigen Abschnitt dargestellt, profitieren Power-Split-Architekturen besonders von der gemeinsamen Optimierung von Elektromotoren, Wechselrichtern und der Rückgewinnung von Bremsenergie innerhalb des Technologie-Stacks von Bosch Mobility, der Kompetenzen in den Bereichen Antriebssystem, Elektrifizierung und Bremsen vereint.

Die Leistungsfähigkeit dieser Systeme wird maßgeblich durch das Zusammenspiel mehrerer Elektromotoren, Wechselrichter und des Verbrennungsmotors bestimmt und erfordert eine präzise Koordination von Energieströmen und Betriebsstrategien. Mit der Systemexpertise und dem Komponentenportofolio von Bosch Mobility kann dieses Zusammenspiel ganzheitlich optimiert werden und stellt so einen effizienten Betrieb über alle Fahrbedingungen hinweg, bei gleichzeitig hohem Fahrverhaltensniveau, sicher.

Gleichzeitig lassen sich typische Konflikte in dieser Architektur durch intelligentes Systemdesign sowie Integrationskonzepte wirksam lösen. Der Bedarf an mehreren Elektromotoren und Leistungselektronik lässt sich durch modulare und skalierbare Komponentenlösungen reduzieren, wodurch kosteneffiziente Implementierungen ohne Leistungseinbußen realisiert werden. Darüber hinaus ermöglichen fortschrittliche Regelungsstrategien und Kalibrierungsansätze ein verbessertes Fahrverhalten, indem wahrnehmbare eCVT-Effekte reduziert werden und sich das Fahrzeugverhalten näher an den Erwartungen von Kundinnen und Kunden ausrichtet.

Zudem spielen die Auslegung des Temperatursteuerungssystems und intelligentes Temperaturmanagement eine Schlüsselrolle dabei, den Betriebsbereich von Power-Split-Architekturen zu erweitern. Durch die Optimierung des thermischen Verhaltens im Antriebssystem und bei elektrifizierten Komponenten ermöglicht Bosch Mobility eine verbesserte Leistungsfähigkeit unter höheren Lastbedingungen, einschließlich Anwendungen mit erhöhten Anhängelasten oder anhaltend hohem Leistungsbedarf.

In Verbindung mit integrierten Bremssystemfunktionen, die eine effiziente Energierückgewinnung und sanfte Übergänge unterstützen, stellt dieser bereichsübergreifende Ansatz eine ausgewogene Systemleistung in Bezug auf Effizienz, Komfort und Robustheit sicher.

Bosch Mobility kombiniert Best-in-Class-Komponenten mit tiefgreifender Systemintegrationskompetenz, um Power-Split-Architekturen bereitzustellen, die auf skalierbare Effizienz optimiert sind, ohne das Fahrverhalten im praktischen Alltagseinsatz zu beeinträchtigen.

3.3
Serielle/parallele Topologien

Serielle/parallele Hybridarchitekturen kombinieren Eigenschaften sowohl serieller als auch paralleler Hybridsysteme und ermöglichen abhängig von den Fahrbedingungen einen flexiblen Betrieb. In dieser Topologie kann das Fahrzeug entweder rein elektrisch angetrieben werden, wobei der Verbrennungsmotor als Generator fungiert, oder über eine direkte mechanische Verbindung zwischen Motor und Rädern bei eingekuppelter Klauenkupplung. Durch die „Dual-Mode-Fähigkeit“ kann das System dynamisch zwischen überwiegend elektrischem und motorunterstütztem Fahrbetrieb wechseln.

In vielen Ausführungsformen ist die Architektur eng an BEV-Designprinzipien angelehnt, einschließlich der Integration einer Unterbodenbatterie, während der Verbrennungsmotor als reichweitenverlängerndes oder leistungsunterstützendes Element erhalten bleibt.

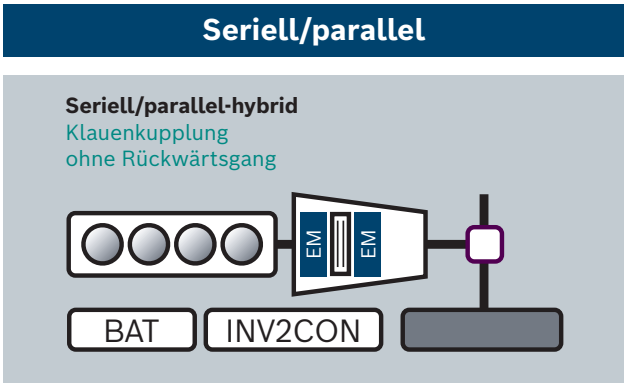


Abbildung 4: Seriell/parallele Referenztopologie

Vorteile und Einsatzszenarien

Eine zentrale Stärke serieller/paralleler Architekturen ist die Fähigkeit, sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Geschwindigkeiten eine hohe Effizienz zu erzielen. Im innerstädtischen Fahrbetrieb bei niedrigen Geschwindigkeiten ist der Effizienzvorteil hauptsächlich auf die Verschiebung des freien Betriebspunkts des Verbrennungsmotors im seriellen Betriebsmodus zurückzuführen. Im Langstrecken-Autobahnbetrieb erzeugt hingegen der Parallelmodus aufgrund seiner hohen mechanischen Effizienz einen Vorteil für den Betrieb des Verbrennungsmotors bei hoher Last. Zusätzlich kann das System bei niedrigen Geschwindigkeiten und im Stadtverkehr im rein elektrischen Modus betrieben werden und ermöglicht damit ein Fahrerlebnis vergleichbar mit batterieelektrischen Fahrzeugen, einschließlich sanfter und spontaner Beschleunigung.

Die Architektur zeichnet sich durch ein hohes Maß an Systemintegration aus, was eine kompakte Bauweise und vereinfachte Antriebssystemkonfigurationen ermöglicht. In vielen Fällen kann das Getriebe auf eine feste Übersetzung in Kombination mit einer Klauenkupplung reduziert werden, wodurch Elemente wie Drehmomentwandler oder Rückwärtsgang entfallen.

Diese Eigenschaften machen das Konzept besonders geeignet für:

- „Electric First“-Einsatzszenarien, bei denen ein BEV-ähnliches Erlebnis gewünscht ist
- Anwendungen, die eine erweiterte Reichweite mit schnellem Tanken über Kraftstoff erfordern
- Fahrzeuge mit höheren Anforderungen an die Zugfähigkeit, insbesondere in mehrgängigen, DHT-basierten Implementierungen

Die Möglichkeit, elektrisches Fahren mit motorbasierter Stromerzeugung zu kombinieren, bietet zudem Flexibilität in Märkten, in denen die Ladeinfrastruktur noch lückenhaft ist. Bei Ausstattung mit einer zusätzlichen eAchse sind auch Allradanwendungen möglich.

Nachteile und technische Einschränkungen

Der zentrale Nachteil serieller/paralleler Architekturen liegt in ihrer Systemkomplexität, insbesondere durch die Notwendigkeit von zwei elektrischen Hochleistungsmotoren und den entsprechenden Wechselrichtersystemen. Dies erhöht sowohl die Systemkosten als auch den Integrationsaufwand im Vergleich zu einfacheren Hybridkonfigurationen.

Darüber hinaus stellt die Notwendigkeit, mehrere Betriebsmodi – elektrisch, seriell und parallel – zu managen, höhere Anforderungen an Regelungsstrategien und Systemkalibrierung, insbesondere um nahtlose Übergänge zwischen den Modi sicherzustellen.

Akzeptanz bei OEMs und Marktrelevanz

Serielle/parallele Hybridsysteme finden in globalen Märkten zunehmend Verbreitung, insbesondere in Anwendungen, die elektrische Fahreigenschaften mit erweiterter Reichweitenfähigkeit kombinieren sollen.

Wesentliche Umsetzungen finden sich bei OEMs wie BYD, Honda und Mitsubishi und spiegeln die wachsende Relevanz dieser Architekturen sowohl in Pkw als auch in auf Elektrisierung ausgerichteten Plattformen wider.

Bosch Mobility-Perspektive

Aufbauend auf den in den vorigen Abschnitten beschriebenen Fähigkeiten zur bereichsübergreifenden Systemintegration profitieren serielle/parallele Architekturen besonders von einer koordinierten Regelung mehrerer Antriebsmodi und Energieströme sowie von einem präzisen Zusammenspiel zwischen Verbrennungsmotor, elektrischem Antrieb und Getriebe.

Die zentrale Herausforderung dieser Systeme liegt im Management der Übergangsmodi zwischen elektrischem, seriellem und parallelem Betrieb, was sich direkt auf Effizienz und das vom Kunden wahrgenommene Fahrverhalten auswirkt. Bosch Mobility begegnet dieser Herausforderung durch fortschrittliche Betriebsstrategien und Kalibrierungskompetenz und ermöglicht so reibungslose und zuverlässige Übergänge unter allen Fahrbedingungen, bei gleichzeitiger optimaler Nutzung jedes Betriebsmodus.

Darüber hinaus lässt sich die inhärente Systemkomplexität – bedingt durch mehrere elektrische Hochleistungskomponenten – durch integriertes Systemdesign und Modularisierungsansätze wirksam beherrschen, was skalierbare und kosteneffiziente Implementierungen über Fahrzeugsegmente hinweg zulässt.

Wie bei anderen Hybridarchitekturen spielt die Integration des Bremssystems eine zentrale Rolle, um das Rekuperationspotenzial zu maximieren und das Fahrzeugverhalten bei Moduswechseln zu stabilisieren. Dies trägt zu einem gleichmäßigen und vorhersehbaren Fahrerlebnis bei, insbesondere im überwiegend elektrischem Betrieb.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der systemorientierte Ansatz von Bosch Mobility ermöglicht, dass serielle/parallele Architekturen ihr Potenzial voll ausschöpfen – indem sie BEV-ähnliche Fahreigenschaften mit hoher Effizienz und erweiterter Reichweite kombinieren. Gleichzeitig mindern sie die Komplexität, die typischerweise mit multimodalen Hybridsystemen verbunden ist.

3.4
REEV-Topologien

Architekturen für Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung stellen eine Hybridtopologie dar, bei welcher der elektrische Antrieb der Primärantrieb ist, während der Verbrennungsmotor ausschließlich als bordseitiger Energiegenerator fungiert. In dieser Konfiguration besteht keine direkte mechanische Verbindung zwischen Motor und Rädern; stattdessen funktioniert das Fahrzeug als serieller Hybrid, wobei der elektrische Antrieb die Fahrzeugdynamik bestimmt.

REEV-Systeme basieren typischerweise auf von BEV abgeleiteten Plattformen und verbinden Unterbodenbatterielayouts mit elektrischen Antriebssystemen, ergänzt durch eine kompakte Verbrennungsmotoreinheit, die eher auf Energieerzeugung als auf Antrieb ausgelegt ist. Neben reinen Serien-REEV-Konzepten bieten neue Varianten wie die sogenannte P1.5-Topologie in Kombination mit einer separaten eAchse eine limitierte Allradantriebsfunktion.

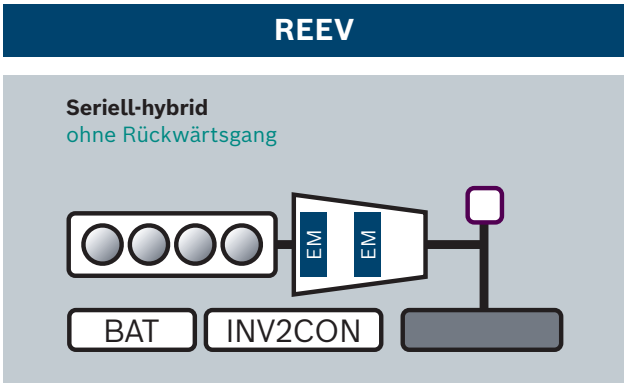


Abbildung 5: REEV-Referenztopologie

Vorteile und Einsatzszenarien

Ein entscheidender Vorteil von REEV-Architekturen ist ihre Fähigkeit, ein vollständig elektrisches Fahrerlebnis zu ermöglichen – einschließlich sanfter Beschleunigung und hoher Effizienz bei niedrigen Geschwindigkeiten – und gleichzeitig Reichweitenbegrenzungen durch bordseitige Energieerzeugung zu beseitigen. Dies führt zu hoher Effizienz im Stadtverkehr und bei niedrigen Geschwindigkeiten, wo der elektrische Betrieb dominiert. Die Architektur profitiert von starken Designsynergien mit BEV-Plattformen, einschließlich der Nutzung standardisierter elektrischer Antriebskomponenten und der Batterieintegration. Dies ermöglicht eine kompakte Bauweise und reduziert die mechanische Komplexität, da zentrale Antriebssystemelemente wie Mehrganggetriebe, Kupplungen, Drehmomentwandler und Rückwärtsgänge nicht mehr erforderlich sind. Darüber hinaus kann der Verbrennungsmotor deutlich vereinfacht werden, da er unter stärker kontrollierten und begrenzten Betriebsbedingungen arbeitet und primär zur Energieerzeugung dient.

Typische Einsatzszenarien umfassen:

- „Electric First“-Fahrzeuge mit erweiterter Reichweite, die BEV-Fahreigenschaften mit Flexibilität beim Tanken kombinieren
- Märkte oder Kundensegmente, in denen die Ladeinfrastruktur noch im Aufbau ist, die Nachfrage nach elektrischem Fahren jedoch hoch bleibt
- Anwendungen, die eine geringe Entwicklungskomplexität durch Übernahme von BEV-Plattformen priorisieren
- Große, schwere Fahrzeuge mit hohen Reichweitenanforderungen (z. B. große SUVs oder Vans)

Damit sind REEV-Architekturen besonders attraktiv in Regionen, in denen Kundinnen und Kunden das elektrische Fahrerlebnis schätzen, ohne vollständig von der Ladeinfrastruktur abhängig zu sein.

Nachteile und technische Einschränkungen

REEV-Systeme erfordern zwei Elektromotoren mit hoher Leistung und entsprechende Wechselrichtersysteme, was zu erhöhten Systemkosten und einer höheren Komplexität beiträgt.

Bei höheren Geschwindigkeiten und unter dauerhaften Lastbedingungen kann die Architektur eine geringere Effizienz aufweisen, da Energie vom Kraftstoff in Strom und anschließend wieder in mechanischen Antrieb umgewandelt werden muss. Dies führt zu einem höheren Kraftstoffverbrauch bei Fahrten auf der Autobahn im Vergleich zu parallelen Hybridarchitekturen.

Darüber hinaus sind Zugfähigkeit und Effizienz unter hoher Last typischerweise geringer, was auf das Fehlen einer direkten mechanischen Verbindung zwischen Motor und Rädern zurückzuführen ist.

Da die Systemleistung drastisch sinken kann, wenn die Batterie leer ist, muss der Kompromiss zwischen der installierten Leistung von Verbrennungsmotor und Generator sowie der Batteriegröße sorgfältig abgewogen werden.

Akzeptanz bei OEMs und Marktrelevanz

REEV-Architekturen gewinnen zunehmend an Relevanz, insbesondere in Märkten mit starker Nachfrage nach elektrischem Fahren in Kombination mit Reichweitenflexibilität. Die OEMs Li Auto, Leapmotor, XPeng, Mazda, VW Group und RAM haben dies implementiert. Dies verdeutlicht die zunehmende Verbreitung dieses Konzepts sowohl im Pkw-Bereich als auch in Segmenten für leichte Nutzfahrzeuge.

Die Architektur ist besonders häufig in Regionen anzutreffen, in denen die Kundennachfrage nach elektrischem Fahrerlebnis auf Grenzen der Infrastruktur trifft, was ihre Rolle als Übergangslösung auf dem Weg zur vollständigen Elektrifizierung untermauert.



Bosch Mobility-Perspektive

Aufbauend auf den in den vorigen Abschnitten beschriebenen Fähigkeiten zur bereichsübergreifenden Systemintegration profitieren REEV-Architekturen besonders von einer ganzheitlichen Koordination von elektrischem Antrieb, Energieerzeugung und Batteriemanagement, da die Gesamtleistung des Systems stark durch die Effizienz der Energieumwandlung und die Betriebsstrategie bestimmt wird.

Eine zentrale Herausforderung von REEV-Systemen liegt in der reduzierten Effizienz bei höheren Geschwindigkeiten und unter dauerhaften Lastbedingungen, bei denen mehrere Energieumwandlungsschritte auftreten. Bosch Mobility begegnet dem durch erstklassige Effizienz in elektrifizierten Antriebssystemkomponenten, einschließlich Doppelinverter und moderner Wechselrichtertechnologien wie selbst entwickelten Lösungen auf Siliziumkarbid-Basis, die eine hocheffiziente Energieumwandlung über einen breiten Betriebsbereich ermöglichen. Dies trägt direkt zu einer verbesserten Systemeffizienz bei, insbesondere in Autobahnfahrszenarien. Darüber hinaus verbessern spezifische Maßnahmen zur Steigerung des thermischen Wirkungsgrads des Motors – wie optimierte Betriebspunkte und die Auslegung des Verbrennungssystems – die Gesamtsystemeffizienz weiter. Das gilt besonders während des dauerhaften Generatorbetriebs.

Zudem sind die Systemdimensionierung und die Optimierung der Betriebsstrategie auf Systemebene entscheidend, um Batteriekapazität, Generatorleistung und die Gesamtleistung des Fahrzeugs in Einklang zu bringen.

Bosch Mobility nutzt die Systemexpertise, um optimale Auslegungen und Regelungsstrategien zu definieren, und stellt so ein zuverlässiges und gleichmäßige Fahrzeugverhalten selbst unter anspruchsvollen Bedingungen, z. B. bei niedrigem Batterieladezustand oder hoher Leistungsanforderung, sicher.

Darüber hinaus erfordert das Zusammenspiel zwischen Verbrennungsmotor und elektrischem Antriebssystem ein sorgfältiges Management, um ein optimales Geräusch-, Vibrations- und Rauigkeitsverhalten und hohen Fahrkomfort sicherzustellen. Durch die koordinierte Steuerung von Generatorbetrieb und elektrischem Antrieb ermöglicht Bosch Mobility ein gleichmäßiges und ausgewogenes Systemverhalten, erhält die erwarteten elektrischen Fahreigenschaften und minimiert zugleich Störungen durch den Reichweitenverlängerer.

Wie bei anderen Hybridarchitekturen unterstützen integrierte Bremssystemfunktionen eine effiziente Energierückgewinnung und ein stabiles Fahrzeugverhalten und stärken damit die Gesamtsystemeffizienz und -konsistenz.

Insgesamt ermöglicht die Kombination aus hocheffizienten Komponenten, Systemdesignkompetenz und fortschrittlichen Regelungsstrategien von Bosch Mobility, dass REEV-Architekturen unter realen Betriebsbedingungen ein überzeugendes Gleichgewicht zwischen elektrischem Fahrerlebnis, Effizienz und Robustheit bieten.

04
Fazit/Zusammenfassung

Der globale Übergang hin zu elektrifizierten Antriebssystemen schreitet schnell voran, verläuft jedoch je nach Region, Einsatzszenario und regulatorischem Umfeld unterschiedlich. Wie dieses Paper dargestellt hat, werden Hybridtechnologien mittelfristig weiterhin eine strukturelle Rolle spielen, indem sie die Lücke zwischen konventionellen Antriebssystemen und vollständig elektrischer Mobilität schließen. In einigen Märkten werden sie auch langfristig bestehen bleiben. Die Vielfalt an Hybridkonzepten und -topologien spiegelt den Bedarf an maßgeschneiderten Lösungen wider, statt an einer einzigen übergeordneten Architektur.

Gleichzeitig erhöht die zunehmende regionale Differenzierung die Komplexität von Antriebsentwicklung und Industrialisierung deutlich. Die Verwaltung eines breiten marktübergreifenden Architekturportfolios erfordert erheblichen technischen Aufwand, Plattformanpassungen und die Koordination der Lieferketten. In diesem Kontext werden skalierbare und modulare Lösungen, die über OEMs und Regionen hinweg entwickelt werden, zu einem zentralen Effizienzhebel, wobei die Zusammenarbeit mit global aufgestellten Systemlieferanten zu einer zunehmend attraktiven Alternative gegenüber rein internen Ansätzen wird.

In diesem Umfeld ist Bosch Mobility in besonderer Weise positioniert, um OEMs mit einem umfassenden und skalierbaren Technologieportfolio über alle wesentlichen Hybridarchitekturen hinweg zu unterstützen – von P2-, P3- und DHT-Systemen über Power-Split und seriellen/parallelen Architekturen bis hin zu REEV-Konzepten. Wie dargestellt, bietet Bosch Mobility relevante Komponenten und Systemlösungen über die gesamte Hybridlandschaft hinweg, einschließlich Elektromotoren, Wechselrichter, eAchsen, Leistungselektronik, Verbrennungsmotorsystemen und Komponenten für die Fahrzeugsteuerung. Dies ermöglicht einen konsistenten und modularen Ansatz in der Entwicklung hybrider Systeme, unabhängig von der gewählten Topologie.

Die Position von Bosch Mobility im Leitmarkt China ist besonders stark – sowohl als lokaler Partner für chinesische OEMs als auch als globales Entwicklungszentrum. Bis heute hat Bosch mehr als 25 Millionen Komponenten für elektrische Fahrzeuge produziert und plant allein 2026 über 7 Millionen Elektrifizierungskomponenten und -systeme zu liefern. In China liefert Bosch an mehr als 30 Kunden Lösungen für das elektrische Fahren. Diese Größenordnung wird durch kontinuierliche Verbesserungen auf Komponentenebene ergänzt: Bei Elektromotoren wurde eine rund 50 % höhere Leistungsdichte (bis zu ~16 kW/kg) und Effizienzgewinne von bis zu 30 % (z. B. <1 kWh/100 km) erreicht, während optimierter Materialeinsatz und Integrationskonzepte das Gewicht und die Systemkosten deutlich reduzieren. Diese Fähigkeiten ermöglichen Bosch, Lösungen „in China für China“ zu entwickeln und gleichzeitig OEMs dabei zu unterstützen, mit ihrem Portfolio global zu expandieren.



Abbildung 6: Bosch Mobility – Komponentenübersicht

ECUs (Electronic Control Units) / VCUs (Vehicle Control Units)

Was Lösungen über alle Topologien hinweg letztlich voneinander unterscheidet, ist die Fähigkeit, in der Praxis auftretende Konflikte konsistent zu bewältigen – von der Fahrbarkeit und Moduswechseln bis hin zur Effizienz unter Last und den Kosten der Elektrifizierung. Dies zeigt sich deutlich in konkreten Anwendungen: optimierter Motorstart und Drehmomentkoordination in P2- und P3-Systemen, stabiles Umschalten der Betriebsmodi in seriellen/parallelen Architekturen, kosteneffiziente Systemlayouts in Power-Split-Konzepten sowie die Aufrechterhaltung hoher Effizienz in REEV selbst bei dauerhaftem Fahren auf der Autobahn. Um dieses Leistungsniveau zu erreichen, sind nicht nur leistungsstarke Komponenten erforderlich, sondern auch ein tiefgreifendes Verständnis dafür, wie Antriebssysteme, Elektrifizierung und Fahrzeugsysteme unter realen Fahrbedingungen zusammenwirken.

Dieses Systemverständnis spiegelt sich unmittelbar darin wider, wie Bosch OEMs bei der Entwicklung und Industrialisierung von Hybridantrieben unterstützt.

Bosch Mobility agiert als Entwicklungspartner über den gesamten Lebenszyklus hybrider Systeme hinweg und setzt dabei auf eine breite Wissensbasis, die auf statistischen Flottendaten von Fahrzeugen aus allen globalen Regionen basiert. Diese Daten werden mit realen Parametern wie lokalen Klimabedingungen und Kundennutzungsmustern (z. B. Lade- und Parkverhalten) kombiniert. Dies ermöglicht die Erstellung hochrealistischer Einsatzprofile, die als Grundlage für frühe Entscheidungen zur Antriebssystemarchitektur dienen.

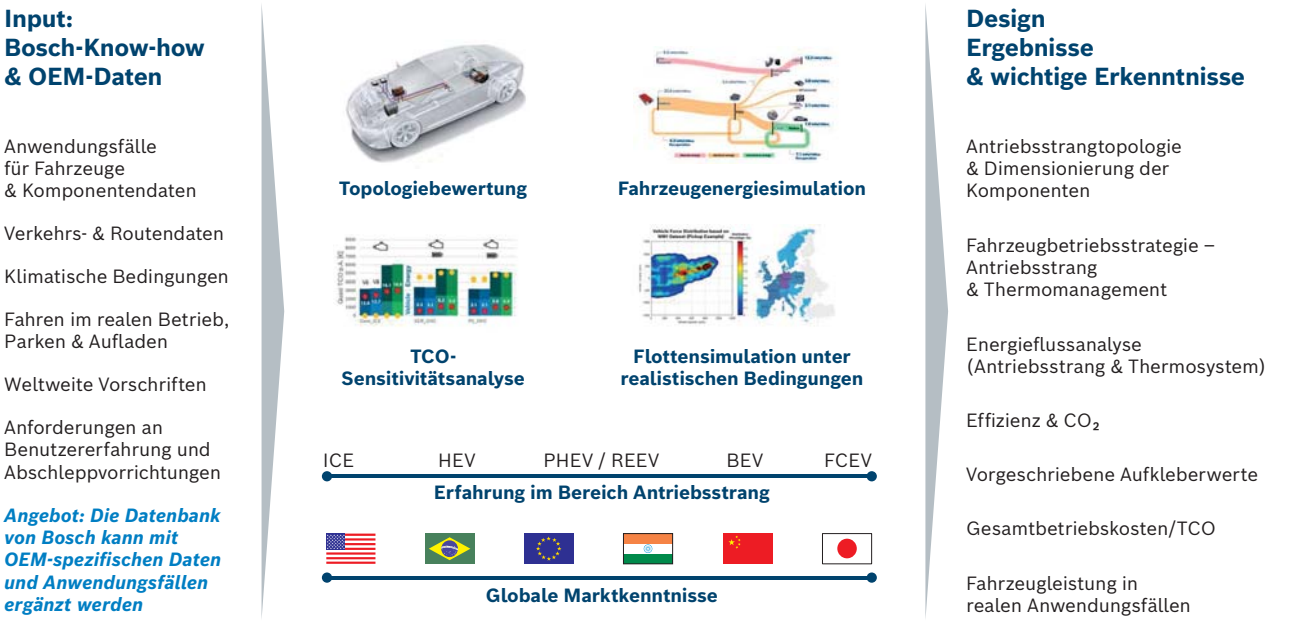


Abbildung 7: Lösungen zur Analyse von Antriebsstrangsystemen

TCO (Total cost of ownership)/UX (User experience)/FCEV (Fuel Cell EV)

Auf dieser Basis setzt Bosch eine Expertise in Fahrzeug-, Energie- und Antriebssystemsimulationen ein, um optimale Hybridkonzepte zu identifizieren. Dies umfasst eine präzise Komponentendimensionierung für spezifische Fahrzeugsegmente, Kundengruppen und regionale Anforderungen. Darüber hinaus entwickelt Bosch fortschrittliche Steuerungs- und Betriebsstrategien, um Effizienz, Emissionen, Geräusche, Vibrationen, Rauigkeit und Lebensdauer der Bauteile in Einklang zu bringen. Parallel dazu werden Konflikte auf Systemebene – wie Kosten, Bauweise und Gesamteffizienz – ganzheitlich bewertet, um ein einheitliches und anwendungsspezifisches Systemdesign zu gewährleisten.

Dieser holistische Ansatz reicht von der Konzeptdefinition bis zur detaillierten Komponentenspezifikation, Kalibrierung und vollständigen Systemintegration und ermöglicht somit schnellere Entwicklungszyklen und reduziert die Gesamtkomplexität der Integration.

Ein praktisches Beispiel für diesen Systemansatz zeigt sich bei der Einhaltung zukünftiger Emissionsanforderungen. Durch den Einsatz intelligenter Hybridsystemsteuerungen – z. B. in Kombination mit Lösungen wie dem Rapid Catalyst Heater (RCH) – ermöglicht Bosch ein aktives Temperaturmanagement des Abgasnachbehandlungssystems, sodass es innerhalb seines effizientesten Betriebsfensters bleibt. Dies erlaubt OEMs, strenge Emissionsziele durch ein optimiertes Systemdesign zu erreichen, das auch den Einsatz kostengünstigerer Katalysatormaterialien umfasst.

Auf diese Weise übersetzt Bosch das Systemverständnis in greifbare Vorteile auf Fahrzeugebene und unterstützt OEMs bei der Entwicklung der nächsten Generation effizienter, robuster und kostengünstiger Hybridfahrzeuge.

Bosch Mobility bündelt dies als Technologiepartner für OEMs mit vertikaler Integration von der Halbleiter- bis zur Systemebene sowie einer globalen Entwicklungs- und Fertigungspräsenz. Bosch setzt regionale Anforderungen in skalierbare Lösungen um und unterstützt gleichzeitig alle wesentlichen OEMs über Segmente und Märkte hinweg. Durch Skaleneffekte und die bereichsübergreifende Expertise trägt Bosch zur Etablierung von Industriestandards und zur Realisierung flexibler Multi-Energie-Plattformen bei. Zudem kann Bosch OEMs dabei unterstützen, sich an die veränderte Nachfrage bei ICE-, Hybrid- und elektrifizierten Antriebssystemen, anzupassen. Dies trägt auch dazu bei, Produktstrategien risikoärmer zu gestalten, da skalierbare Lösungen über mehrere Energiepfade hinweg das Risiko bei Marktschwankungen und unsicheren Technologieeinführungen reduzieren.

In diesem Umfeld unterstützt Bosch Mobility OEMs dabei, Hybridsysteme schneller, mit geringerer Komplexität und zu wettbewerbsfähigen Kosten auf den Markt zu bringen, während Leistung und Zuverlässigkeit über alle Anwendungen hinweg erhalten bleiben.

Mit Blick nach vorn sind Hybridantriebe nur ein Teil einer umfassenderen Transformation auf Fahrzeugebene. Weitere Fortschritte werden sich aus bereichsübergreifenden Innovationen – von integrierter Fahrzeugbewegungsregelung und prädiktivem Energiemanagement bis hin zu softwaredefinierten Funktionen – ergeben, die das Zusammenspiel zwischen Antriebs-, Brems- und Fahrwerksystemen in Echtzeit optimieren. Bosch Mobility ist in diesen Bereichen bereits aktiv und nutzt sein Systemverständnis, um zusätzliche Effizienz, Performance und Kundennutzen über das Antriebssystem hinaus zu erschließen.

Letztlich wird der Erfolg dieses Wandels nicht durch eine einzelne Technologie entschieden, sondern durch die Fähigkeit, die richtigen Technologien in ein schlüssiges, skalierbares System für den jeweiligen Markt zu integrieren.



Impressum

Robert Bosch GmbH

Robert-Bosch-Platz 1
70839 Gerlingen-Schillerhöhe

Deutschland

Mehr Information auf unserer Website
www.bosch-mobility.com

Bosch Mobility bei LinkedIn
www.linkedin.com/showcase/bosch-mobility/

Kontaktieren Sie uns

Unser Expertenteam freut sich darauf, Sie mit seinem Fachwissen dabei zu unterstützen, mehr über die Zukunft der Mobilität zu erfahren.

contact@bosch.com

Edition: 2026-08-15