

## The Road to the Future

EVs &amp; PlugIn Hybrid

Diesel Hybrid

ML 450 Hybrid

S 400 Hybrid

A 150 RSG

smart mhd

2011

2010

2009

2008

2007

Energy 3

Energy 2

Energy 1

# Die Zukunft der Antriebselektronik

## Herausforderungen, Technologien, Trends und Lösungen von Mercedes-Benz

Der Beitrag behandelt die Herausforderungen in der Fahrzeug- und Antriebselektronikentwicklung mit dem Schwerpunkt auf Verbrauchstechnologien aus der Sicht von Mercedes-Benz. Durch eine Bestandsaufnahme der aktuellen Situation sowie eine Bewertung von Produkten, Technologien, Prozessen und Organisationen für zukünftige Systeme wird ein Blick in die Zukunft eröffnet. Dabei werden Produkte der Antriebselektronik, deren Wirksamkeit für eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und eine Auswahl an Methoden und Werkzeugen zur Bewertung und Auswahl von Technologien vorgestellt. Als praktische Anwendungen werden Technologiebeispiele von Mercedes-Benz behandelt. Außerdem wird ein Ausblick auf Trends und Megatrends für die Jahre 2008 bis 2012 gegeben.

## 1 Entwicklung der Antriebselektronik

Um den Herausforderungen der Zukunft, **Bild 1**, zu begegnen, müssen die bekannten Technologien konsequent genutzt werden. Dabei ist die Umsetzung einer geeigneten Technologie- und Innovationsstrategie notwendig. Eine enge Zusammenarbeit der OEMs und der Zulieferer ist hier unabdingbar. Die erweiterten Fähigkeiten der Produkte und Systeme müssen gemeinsam bewertet, ausgestaltet und umgesetzt werden [1, 2].

## 2 Bestandsaufnahme in der Antriebselektronik

Das Moore'sche Gesetz aus der Halbleiterindustrie gilt auch für Systeme der Antriebselektronik, **Bild 2**. Die Trendkurven haben dieselben Koeffizienten mit einem Versatz auf der Implementierungszeitschiene. Neue Technologien in der Halbleitertechnik erobern den Hochtechnologiemarkt vier Jahre früher als den Konsumgütermarkt. Der Übergang in die Automotive-Qualifikation erfordert weitere vier Jahre, sodass die Technologiekurven auf der Zeitebene um zirka acht Jahre versetzt sind [3, 4].

Es kann zudem davon ausgegangen werden, dass die bereits erreichten Weiterentwicklungsstufen in der Hochtechnologie und in der Konsumgüter-Technologie noch mindestens eine weitere Dekade auch in die Automobiltechnologie übernommen werden.

Beispielsweise konnte durch die gesteigerte Leistungsfähigkeit der Antriebselektroniksysteme in der Vergangenheit über sechs Produktgenerationen hinweg eine wesentliche Verringerung der Emissions- und Verbrauchswerte von Kraftfahrzeugen erreicht werden. Dies führte zu folgenden im deutschen Straßenverkehr erzielten Emissions-Reduktionen:

- CO-Emissionen um 90 %
- HC-Emissionen um 90 %
- NO<sub>x</sub>-Emissionen um 80 %
- Partikel-Emissionen um 90 %
- CO<sub>2</sub>-Emissionen um 15 %, bei einer gleichzeitig gestiegenen Verkehrsleistung um 15 %.

Unterstützt durch die Effekte des Moore'schen Gesetzes und der konsequenten Umsetzung jeweils verfügbarer Elektrik-Elektronik-Technologien haben

die deutschen OEMs und deren Zulieferer hier verantwortlich und nachhaltig entschieden und Technologien mit hoher Wirksamkeit entwickelt und in den Markt eingeführt [5].

In der bevorstehenden Produktepoche werden bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Emissionsstufen die wesentlichen Aktivitäten auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen konzentriert werden. Hierbei ist es unerlässlich, die Trends und Megatrends in den neuen Technologien den erweiterten Systemfähigkeiten zuzuordnen sowie Rechenleistung und Systemfähigkeiten zu skalieren und gegebenenfalls zu priorisieren. Die Fähigkeiten, die die deutschen OEMs und deren Zulieferer auf diesen Gebieten entwickelt haben, werden auch weiterhin für die Zukunftsfähigkeit der deutschen Produkte entscheidend sein.

## 3 Bewertungen von Produkten und Technologien

Ein Blick auf die Produkte und Technologien der Antriebselektronik, **Bild 3**, zeigt einerseits die Vielfalt, andererseits die bereits erreichte Durchdringung des Antriebsstrangs mit elektronischen Technologien. Dieser Trend hin zur Elektronik und Mechatronik wird sich fortsetzen und mit hoher Wahrscheinlichkeit sogar verstärken. Technologie- und Wachstumsfelder sind hier [6]:

- neue Abgassensorik und Aktuatorik
- Leistungselektroniken und alternative Antriebe

## Die Autoren



Dipl.-Ing. Jürgen Schenk ist Centerleiter für Antriebselektronik und Leiter der strategischen Hybridprojekte in der Mercedes-Benz Pkw-Entwicklung der Daimler AG in Sindelfingen.



Dipl.-Ing. Oliver Vollrath ist Leiter des Projektes S-Klasse Hybrid in der Mercedes-Benz Pkw-Entwicklung der Daimler AG in Sindelfingen.



Bild 1: Weltweite Trends und Herausforderungen

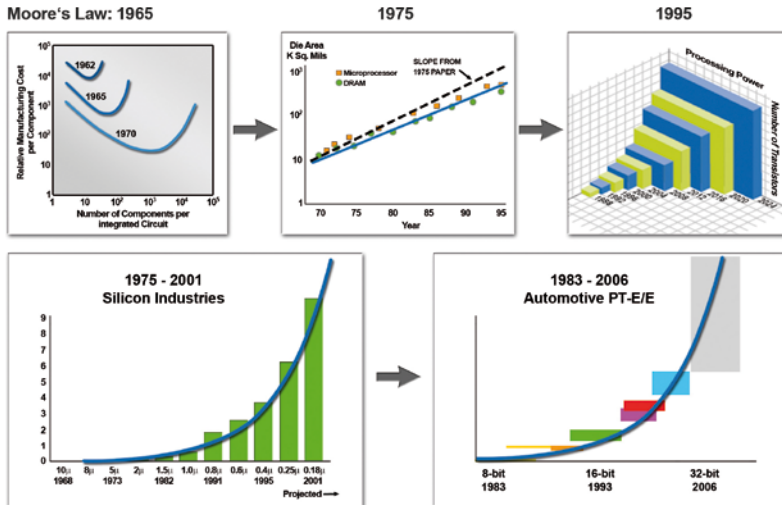


Bild 2: Das Moore'sche Gesetz

- elektrische Energiespeicher und Energiemanagementsoftware
- neue Prozessorgenerationen bis hin zu Dual-Cores
- neue Architekturen und Vernetzungssysteme
- Funktions- und Softwareentwicklung mit neuen Arbeitsmodellen
- Antriebsdiagnose, On- und Off-board-Diagnose.

4 Prozesse bei zukünftigen Systemen

Zur Auswahl der am besten geeigneten Technologien sind mehrere Bewertungsmethoden und ein nachgelagerter Integrationsprozess notwendig. Zwei Bewertungstools werden im Folgenden vorgestellt.

4.1 Das Wirksamkeitsdiagramm

Zur Bewertung von Produkten und Systemen hat sich das sogenannte Kosten-Effizienz-Diagramm, Bild 4, als wirkungsvolles Werkzeug bewährt [7]. Hier wird die Auswirkung der Technologien auf die Kraftstoffverbrauchseinsparung den Herstellkosten gegenübergestellt. Da sich viele Maßnahmen zur Reduktion der Kraftstoffkosten erst nach mehr als drei Jahren amortisieren, kann mit dem klassischen Ansatz Kostenaufwand gegen Erlös als alleiniges Entscheidungsmerkmal jedoch nicht mehr argumentiert werden. Vielmehr muss zusätzlich eine umfangreiche Bewertung durchgeführt werden, die

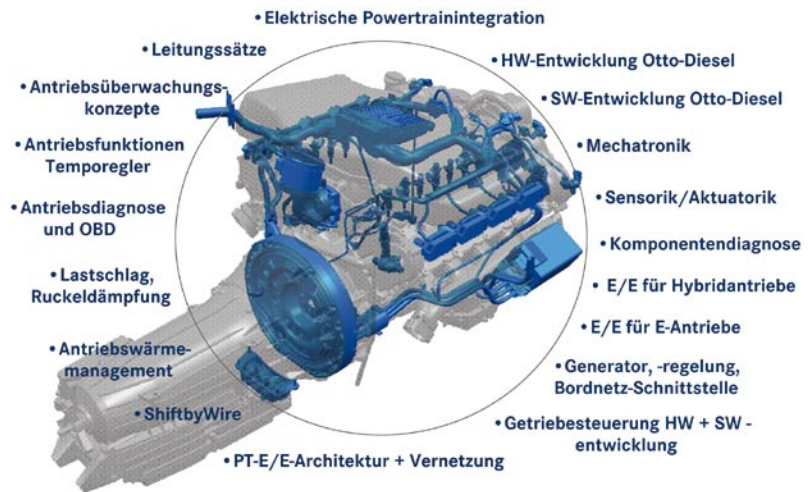
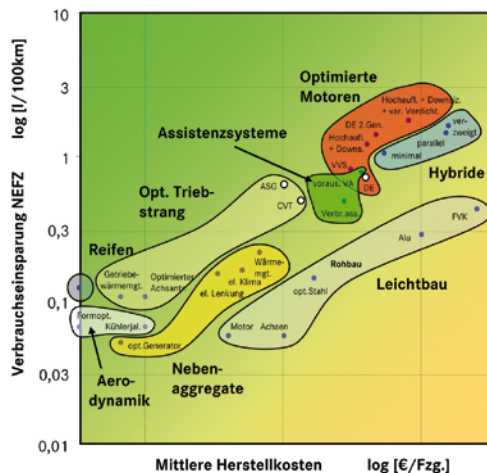


Bild 3: Produkte der Antriebselektronik



Mehr als 60 % der Verbrauchsmaßnahmen mit einer Amortisationszeit unter 6 Jahren sind Triebstrangtechnologien! Ein Großteil davon ist durch Antriebselektronik befähigt! Weitere 30 % der Massnahmen sind durch die Fahrzeug E/E befähigt.

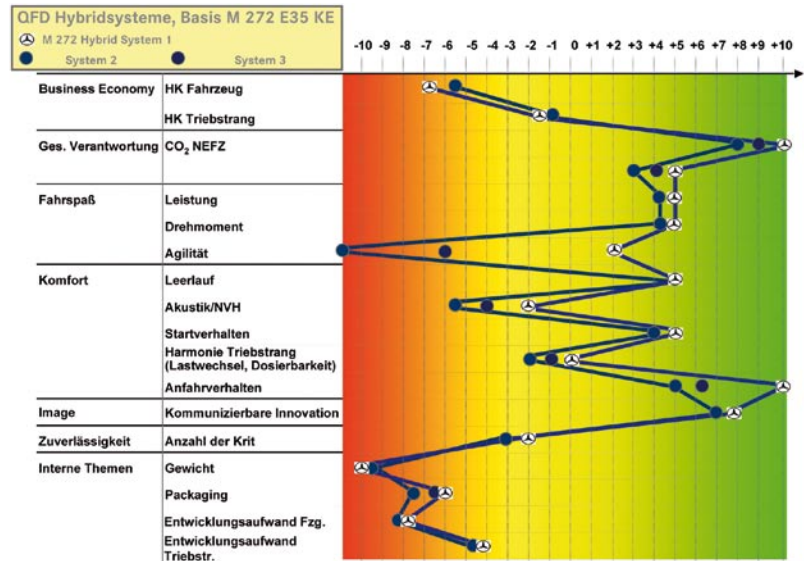
Bild 4: Wirksamkeitsdiagramm von Verbrauchseinsparung zu Herstellkosten

## 5 Standardisierte Entwicklungssysteme

Zur Implementierung neuer Technologien und Systeme sind standardisierte Entwicklungsprozesse notwendig, die mit allen Entwicklungsbeteiligten synchronisiert werden müssen. Ein nachgelagerter standardisierter Produktionsprozess ist eine weitere unabdingbare Voraussetzung. In der Zukunft werden geschlossene Prozessketten zur Anwendung kommen, die den gesamten Produktlebenszyklus und die Produkt-Erneuerungs-Prozesse umfassen, **Bild 6**. Hauptherausforderungen sind eine schnelle Anknüpfung an Kundenwünsche und Rückmeldungen vom Markt. Eine permanente Berücksichtigung der Märkte, der Wettbewerber und der gesellschaftlichen Bedürfnisse muss sichergestellt werden. Parallel sind Innovationszyklen bei den Technologiepartnern einzubeziehen.

In der Projektvorbereitungsphase kann ein erfolgreicher Projektaufsatz durch eine Standardisierung und einen objektorientierten Entwurf der Haupttechnologien unterstützt werden, **Bild 7**. In der Antriebselektronik sind hier Hauptthemen: Architektur, Topologie, Funktionen, Steuergeräte und Komponenten. Organisatorisch wird das Vorgehen durch einen Lead-Engineering-An-

satz unterstützt. Neuprojekte werden mit festgelegten Wiederverwendungsquoten ausgerüstet, Neuentwicklungen mit einem methodisch unterstützten Prozess themenorientiert aufgesetzt und in einem wiederholbaren Prozess in die Projekte eingesteuert. So kann höchste Qualität bei gleichzeitiger Erneuerung der Produktpalette kosteneffizient durch Innovationen und Evolutionen sichergestellt werden.



**Bild 5:** House of Quality

## 6 Neue Produkte und Roadmap to the Future

Mit den zuvor genannten Vorbereitungen und Bewertungen kann nun der Pfad in die Zukunft beschrieben werden, nämlich zu jeder Zeit das richtige Produkt mit den zu Kunden- und Markterfordernissen passenden Eigenschaften bereitzustellen, **Bild 8**. Die Antriebselektronik ist dabei unverzichtbar

# Ventilhauben- module



Diese und weitere Produkte und Dienstleistungen von Spezial-Anbietern finden Sie direkt unter [www.BranchenIndex.de](http://www.BranchenIndex.de)

Die B2B-Suchmaschine für Industrie und Wirtschaft

und zwar sowohl für die heutigen CO<sub>2</sub>-reduzierten Antriebe als auch für solche, die mit regenerativen Kraftstoffen betrieben werden. Dies gilt gleichermaßen für Hybrid- und Elektrofahrzeuge [8]. Auch die nächste Stufe der Antriebstechnologien (beispielsweise Hybridantriebe und reine Elektroantriebe) ist ohne Elektronik, Sensoren, Aktuatoren, Funktionen, Softwareentwicklung, Vernetzung und passende Verkabelungstechnologien nicht mehr zu erreichen. Elektroniken werden dabei den Antriebsstrang nicht mehr nur durchdringen, sondern vielmehr dessen eigentlichen Kern darstellen. Spannende und herausfordernde Zeiten stehen den Ingenieuren der Zulieferer und Fahrzeughersteller bevor, aber auch hochattraktive Zeiten, mit vielen Gestaltungschancen, Arbeitsangeboten und Zukunftssicherheit.

Die erste Stufe der Performancesteigerung der Antriebselektronik-Technologien ab 2008 werden wir bei Mercedes-Benz nutzen, um in unserer sogenannten „Energiemanagementwelle 1“ weitere CO<sub>2</sub>-Technologien umzusetzen. Zusätzlich werden erste Hybridantriebe unser Antriebsportfolio bereichern, **Bild 9**. Der „S400 BlueHybrid“ wurde Anfang Oktober auf der Pariser Mondial de l'Automobile vorgestellt. Hierbei konzentrieren wir uns auf ein Set von Basistechnologien [9, 10], deren Einzelbausteine in einer zweiten Generation mit der zuvor beschriebenen Prozess- und Produktordnung durch eine Standardisierung weiterentwickelt werden. Außerdem werden in den Jahren 2009 bis 2015 zusätzliche Hybrid- und Fahrtechnologien auf elektrisch-elektronischer Basis eingeführt.

7 Zusammenfassung und Ausblick

**Bild 10** zeigt die Trends und Megatrends, die für die Antriebselektronik bestimmend sind: Neue Bussysteme mit höherer Performance und mehr Systemvernetzung werden eingeführt, dazu elektrische Fahrantriebe von Hybriden über reine E-Fahrzeuge bis hin zum Brennstoffzellenfahrzeug. Die Digitale Signalverarbeitung sowie Komponenten, Module, Systeme und Systemcluster werden zu neuen Standards. Beglei-

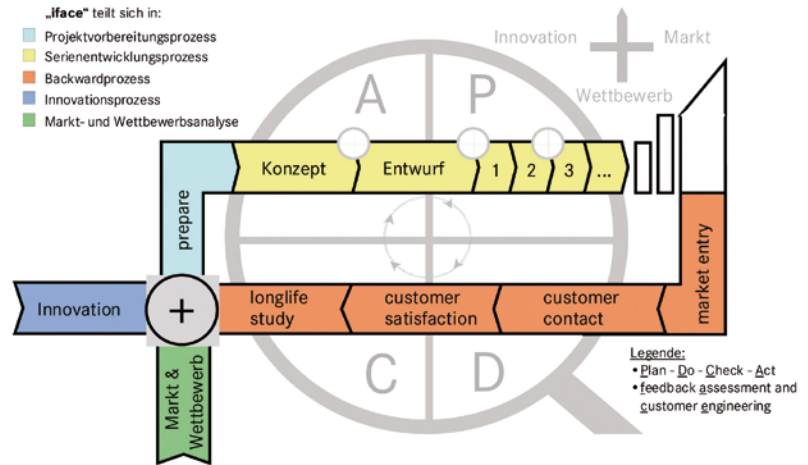


Bild 6: Lifecycle-Prozess der Antriebselektronik

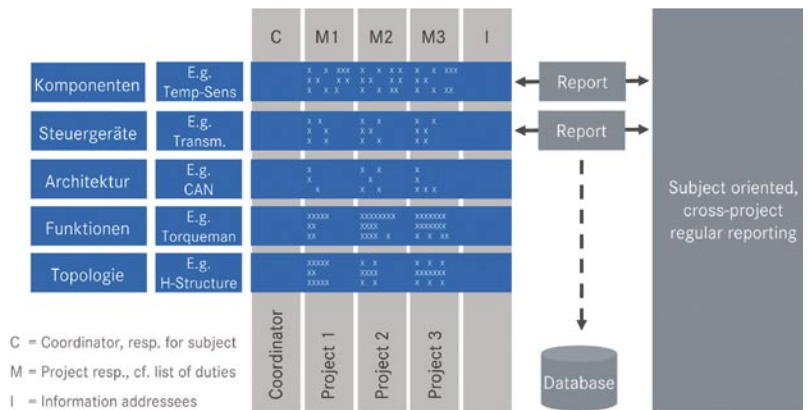


Bild 7: Standardisierung, Objektorientierung und Aufbauorganisation

tend werden unterstützende Prozesse und Methoden, wie präventives Qualitätsmanagement, DFSS (Design for Six Sigma) und Reifegrad-Kennzahlensysteme, weiterentwickelt.

Die Antriebssteuerung wird zur Antriebsregelung erweitert. SW-Eigenentwicklung, -Standardisierung und -Wiederverwendung verändern die heutigen Geschäftsmodelle. Die Umsetzung von

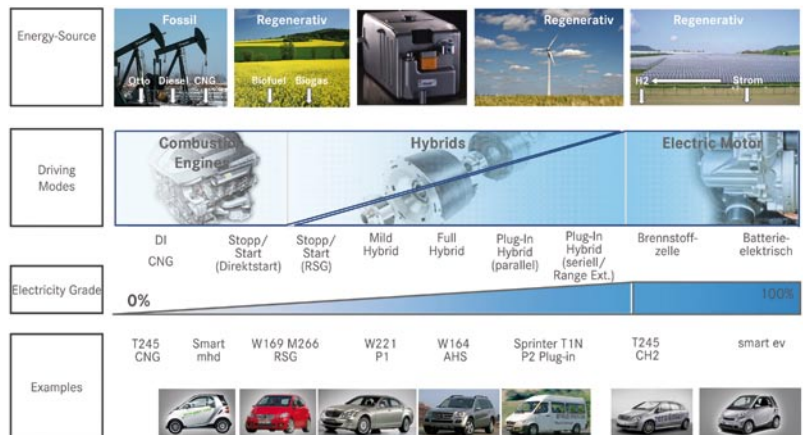


Bild 8: Schritte in die Zukunft, von alternativen Kraftstoffen bis zum emissionsfreien Verkehr

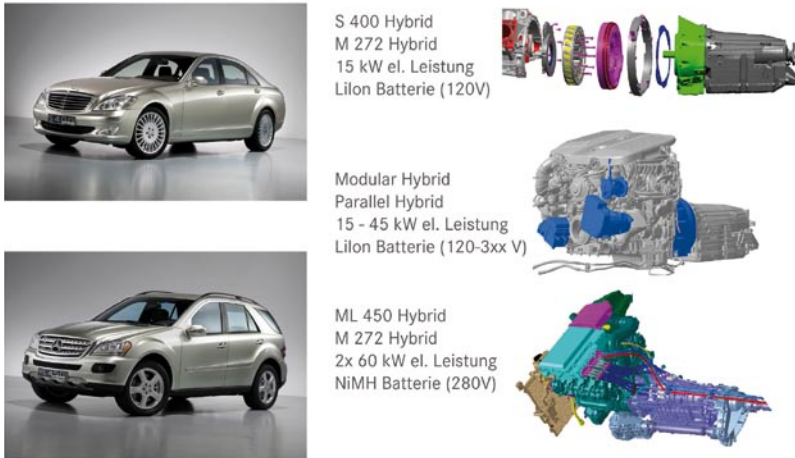


Bild 9: Hybrid-Produktoffensive

Technologien wird durch modulare und skalierbare Prozesse beschleunigt werden. Die Zukunftsgestaltung findet in Netzwerken mit Wissensmanagern und Lead-Ingenieuren statt. Die Verknappung von Experten führt zum „Wettkampf um Talente“, den derjenige gewinnen wird, der die attraktivsten Produkte, Prozesse und Jobangebote aufzuweisen hat.

Ein Lieferantenmanagement mit Mega-Lieferanten und Newcomern definiert den neuen Markt. Kooperationen mit Hochschulen und Expertenpools werden etabliert. Es kommt zu Wettbewerbssituationen zwischen OEMs, Mega-Lieferanten und Expertenpools.

Und: Das Moore'sche Gesetz gilt auch weiterhin. In der Zeit nach 2015

wird es weitere Technologieentwicklungen geben, bei denen die Antriebselektronik eine noch bedeutendere Rolle spielen wird als heute. Technologien, Prozesse und Fähigkeiten werden weiter verbessert werden. Die Herausforderung besteht also darin, nicht nur die Produkte, sondern auch die Prozesse und die Organisation weiterzuentwickeln.

Die Zukunft der Antriebselektronik hat begonnen und der Kreis derer, die sich damit beschäftigen, wird weiter steigen. Wir bei Mercedes-Benz sind gut darauf vorbereitet und haben die richtigen Technologieprojekte, modulare geschlossene Prozessketten und Organisationsmodelle am Start.

## Literaturhinweise

- [1] Mikulic, L.: Pkw-Dieselmotoren im Wettstreit mit Hybrid-Konzepten. Vortrag, ÖVK, Österreich, 2005
- [2] Mikulic, L.: Die Zukunft des Automobils, Anforderungen an den PKW-Powertrain. Vortrag, Universität Karlsruhe, 2005
- [3] Intel: Silicon Innovation, Fueling New Solutions for the Digital Planet. USA, 2005
- [4] Moore, G. E.: Lithography and the Future of Moore's Law. 1995 (Intel)
- [5] Schenk, J.: Antriebselektronik als Enabler zukünftiger Verbrauchstechnologien, 12. Internationaler Fachkongress Automobil-Elektronik, Ludwigsburg, 2008
- [6] Schenk, J.: Antriebselektronik als ... (wie unter [5] zitiert)
- [7] Pfahl, S.; Schenk, J.: Herausforderungen und Lösungsansätze zukünftiger Antriebstechnologien für Pkw. Studiengang für Fahrzeugtechnik / Automotiv Engineering, FH Joanneum, Graz, Österreich, 2005
- [8] Reindl, N.; Wörner, S.: Durchgängige E/E-Architekturkonzeption – vom Standard-Antrieb bis BlueHybrid. 12. Internationaler Fachkongress Automobil-Elektronik, Ludwigsburg, 2008
- [9] Mohrdieck, C.; Portmann, D.; Truckenbrodt, A.: Are Plug-In-Hybrids the Future? [Sind Plug-In-Hybrids die Zukunft?] Speech, AVL Symposium Engine and Environment, Graz, Austria, 2007
- [10] Antony, P.; Armstrong, N.; Bitsche, O.; Schenk, J.; Vollrath, O.: Hybrid im Premiumsegment – Szenarien und Lösungen von Mercedes-Benz. Wiener Motoren-symposium, Österreich, 2008

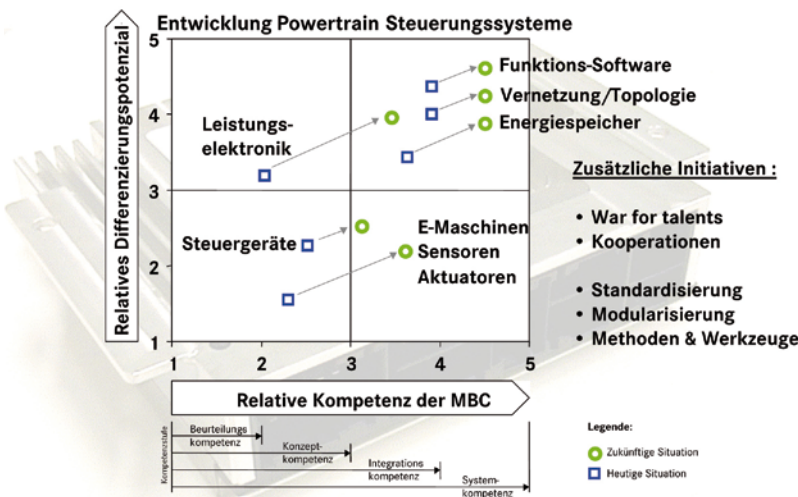


Bild 10: Trends und Megatrends in der Antriebselektronik von 2008 bis 2015