zvei
electrifying ideas



Antrieb 2035

Digitale Transformation und KI-gestützte Innovationen in der Antriebstechnik

Evolution der Antrieb 2030-Thesen aus dem Jahr 2020

Verband der Elektro- und Digitalindustrie

Inhalt

1 Ausgangsbasis Antrieb 2035 5

2 Rückblick auf die Ausgangsbasis Antrieb 2030 6

3 Motivation 7

4 Methodik 7

5 Thesen Antrieb 2035 8

These I: **Applikationssoftware liegt für Standard-Antriebsanwendungen als App in der Cloud.** 9

These II: **Ein Edge Device übernimmt die Antriebssteuerung für ein oder mehrere Antriebe.** 10

These III: **Horizontale Integration: Teilnehmer der Wertschöpfungskette interagieren nahtlos.** 11

These IV: **Rolle der Virtuality: AR, VR, MR.** 12

These V: **Plug, Work & Optimization durch den Antrieb.** 13

These VI: **„EIN“ Feldbus für OT- und IT-Anforderungen und Industrie 4.0-Sprache.** 14

These VII: **Auslegung von Antrieben: Erfahrungsbasierte Auslegung, vom Engineering bis zum Pricing.** 15

These VIII: **KI über den Lebenszyklus hinweg beim Antriebshersteller.** 16

These IX: **KI-basierte Fehlersuche und Services.** 17

These X: **Informationsmodell für den Digitalen Produktpass (DPP).** 18

6 Geschäftsmodelle und Wertschöpfungskette Antrieb 2035 19

7 Zusammenfassung 21

Referenzen

[1] ZVEI e. V. (2020): Whitepaper Antrieb 2030 – Zwölf Thesen. Link

[2] ZVEI e. V. (2026): Künstliche Intelligenz für industrielle Systeme. Link

[3] ZVEI e. V. (2018): Antrieb 4.0 – Vision wird Realität. Link

[4] Plattform Industrie 4.0. Link

[5] ZVEI e. V. (2025): Vom Automatisieren zum Agieren. Link

[6] OPC Foundation Unified Architecture. Link

[7] ZVEI e. V. (2026): AAS in der Antriebstechnik. Link

[8] Plattform Industrie 4.0 – Manufacturing-X. Link

Executive Summary

Wie Digitalisierung, künstliche Intelligenz, Nachhaltigkeit und regulatorische Anforderungen die Antriebstechnik bis 2035 prägen können

Die elektrische Antriebstechnik steht bis zum Jahr 2035 vor tiefgreifenden Veränderungen. Digitale Technologien, künstliche Intelligenz (KI), steigende Anforderungen an Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz sowie weitere regulatorische Rahmenbedingungen verändern Produkte, Prozesse und Geschäftsmodelle gleichermaßen. Gleichzeitig gewinnt die Fähigkeit, Daten über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg bereitzustellen und zu nutzen, zunehmend an Bedeutung. Die elektrische Antriebstechnik nimmt hierbei eine Schlüsselrolle ein, da sie in zahlreichen Anwendungen die Verbindung zwischen physischer Wertschöpfung und digitaler Informationswelt herstellt.

Antrieb 2035 beschreibt ein mögliches Zukunftsbild der Antriebstechnik. Es zeigt auf, welche technologischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Entwicklungen für Hersteller elektrischer Antriebe und deren Kunden bis zum Jahr 2035 besonders relevant werden können. Dabei werden sowohl Chancen als auch Herausforderungen betrachtet, die sich aus der fortschreitenden Digitalisierung, der steigenden Vernetzung und der Transformation hin zu nachhaltigeren Wertschöpfungsmodellen ergeben.

Grundlage der Analyse ist eine kritische Überprüfung der im White Paper *Antrieb 2030* formulierten Annahmen und zwölf Thesen [1]. Sechs Jahre nach deren Veröffentlichung zeigt sich, dass sich zahlreiche Entwicklungen bestätigt haben, während andere durch neue technologische Möglichkeiten oder veränderte Rahmenbedingungen überholt wurden. Insbesondere Themen wie KI, Datenmanagement, Digitaler Produktpass (DPP), Cybersicherheit, Interoperabilität und datenbasierte Geschäftsmodelle haben deutlich an Bedeutung gewonnen. Die Gegenüberstellung von *Antrieb 2030* und der neuen Ausgangsbasis für 2035 ermöglicht es, Kontinuitäten und Veränderungen systematisch einzuordnen.

Im Zentrum dieses White Papers stehen wieder zehn Thesen für die Antriebstechnik 2035. Diese Thesen ermöglichen es, komplexe Entwicklungen in prägnanter Form zu strukturieren, unterschiedliche Zukunftseinflüsse miteinander zu verknüpfen und strategische Diskussionen anzuregen. Sie stellen keine Prognosen im engeren Sinn dar, sondern beschreiben plausible Entwicklungsrichtungen, die auf Expertenwissen, industriellen Erfahrungen und aktuellen technologischen sowie regulatorischen Trends basieren. Für Unternehmen bieten sie einen Orientierungsrahmen, um zukünftige Chancen und Risiken frühzeitig zu erkennen und eigene Strategien zu reflektieren. Die Thesen aus *Antrieb 2030* wurden im Rahmen des ZVEI-Arbeitskreises *Industrie 4.0 Elektrische Antriebe* bewertet, weiterentwickelt und um neue Themenfelder ergänzt.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die elektrische Antriebstechnik bis 2035 zunehmend von einer primär hardwareorientierten Komponente zu einem intelligenten, vernetzten und datengetriebenen Systembaustein entwickelt. Die Wettbewerbsfähigkeit von Herstellern wird künftig nicht allein durch Produkteigenschaften bestimmt, sondern verstärkt durch Software, Daten, Interoperabilität, digitale Services und die Fähigkeit, regulatorische Anforderungen effizient umzusetzen. Gleichzeitig eröffnen neue Technologien und Geschäftsmodelle zusätzliche Potenziale für Effizienz, Nachhaltigkeit und Kundennutzen.

Fazit

Die Zukunft der Antriebstechnik wird maßgeblich durch das Zusammenspiel von Digitalisierung, KI, Nachhaltigkeit und regulatorischen Anforderungen geprägt. Die in diesem White Paper entwickelten Thesen liefern einen Orientierungsrahmen, um technologische, regulatorische und wirtschaftliche Entwicklungen einzuordnen. Die Ableitung konkreter strategischer Entscheidungen bleibt den einzelnen Unternehmen vorbehalten.

Hinweis

Dieses White Paper ist eine fachliche Diskussions- und Orientierungshilfe. Es beschreibt mögliche technologische, regulatorische und wirtschaftliche Entwicklungsrichtungen der elektrischen Antriebstechnik bis ins Jahr 2035. Es enthält keine verbindlichen technischen Vorgaben, keine Empfehlungen für ein abgestimmtes Marktverhalten, keine Aussagen zu unternehmensindividuellen Strategien und keine Vorgaben zu Preisen, Geschäftsmodellen, Investitionen, Beschaffungs- oder Vertriebsentscheidungen. Entsprechende Entscheidungen liegen ausschließlich im Ermessen der jeweiligen Unternehmen.

1 Ausgangsbasis Antrieb 2035

Sechs Jahre nach der Veröffentlichung des White Papers *Antrieb 2030* [1] hat sich das Umfeld der elektrischen Antriebstechnik deutlich verändert. Viele der damals beschriebenen technologischen Entwicklungen haben inzwischen eine hohe Reife erreicht oder sind bereits in industriellen Anwendungen etabliert. Gleichzeitig sind neue externe Rahmenbedingungen entstanden, die die zukünftige Ausrichtung der Antriebstechnik maßgeblich prägen.

Die Digitalisierung industrieller Systeme ist im Jahr 2026 kein visionäres Ziel mehr, sondern fester Bestandteil moderner Produktions- und Serviceprozesse. Elektrische Antriebe sind zunehmend vernetzt, liefern kontinuierlich Betriebs- und Zustandsdaten und werden als integraler Bestandteil digitaler Systeme betrachtet. Konzepte wie Industrial Internet of Things (IIoT), Edge- und Cloud-Computing sowie digitale Zwillinge haben sich als zentrale Wegbereiter etabliert. Die Fähigkeit, große Datenmengen in Echtzeit zu erfassen, zu analysieren und über System- und Unternehmensgrenzen hinweg bereitzustellen, ist zu einer Schlüsselanforderung geworden.

Parallel dazu hat Industrielle KI erheblich an Bedeutung gewonnen [2]. KI-basierte Verfahren werden zunehmend eingesetzt, um Antriebssysteme zu parametrieren, zu überwachen, zu optimieren und Serviceprozesse zu unterstützen. Dabei verschiebt sich der Fokus von rein regelungs- und komponentennahen Funktionen hin zu system- und lebenszyklusübergreifenden Anwendungen, etwa im Engineering, in der Inbetriebnahme, im Betrieb und im Service. Industrielle KI wird damit zu einem zentralen Element der zukünftigen Wertschöpfung rund um elektrische Antriebe.

Mit der zunehmenden Vernetzung und Anwendung KI-basierter Verfahren wächst zugleich die Bedeutung eines strukturierten Datenmanagements. Daten werden nicht mehr ausschließlich für den lokalen Betrieb genutzt, sondern bilden die Grundlage für digitale Services, Optimierungskonzepte und neue Geschäftsmodelle. Standardisierte Informationsmodelle, Interoperabilität zwischen Informationstechnologie (IT) und Betriebstechnologie (*engl*. Operational Technology, OT) sowie Fragen der Datenhoheit, -sicherheit und -governance rücken in den Mittelpunkt. Die Fähigkeit, Daten über den gesamten Lebenszyklus eines Antriebssystems konsistent zu erfassen und nutzbar zu machen, wird zu einer strategischen Kernkompetenz.

Auch die Geschäftsmodelle rund um elektrische Antriebe befinden sich im Wandel. Produktorientierte Modelle werden zunehmend durch nutzungs-, leistungs- und serviceorientierte Ansätze ergänzt. Konzepte wie Everything-as-a-Service (XaaS), datenbasierte Services oder softwaregetriebene Zusatzfunktionen gewinnen in der Praxis an Bedeutung. Die Trennung zwischen Produkt, Software und Service wird dabei zunehmend unscharf. Der digitale Kundennutzen rückt stärker in den Fokus als der reine Produktverkauf.

Ein wesentliches Merkmal der Ausgangsbasis von *Antrieb 2035* ist die Vielzahl an regulatorischen Rahmenbedingungen, die unmittelbaren Einfluss auf die Digitalisierung der Antriebstechnik haben. Europäische und internationale Regelwerke adressieren zunehmend Themen wie Nachhaltigkeit, Cybersicherheit sowie Datenzugang und -transparenz über den gesamten Produktlebenszyklus. Diese Regulierungen wirken als starker Treiber für digitale Informationsbereitstellung, standardisierte Datenmodelle und durchgängige Dokumentation und erhöhen zugleich die Anforderungen an Antriebshersteller, Zulieferer, Maschinen- und Anlagenbauer, Systemintegratoren und Anwender.

Darüber hinaus ist das Umfeld der Antriebstechnik stärker denn je von geopolitischen Unsicherheiten und strukturellen Abhängigkeiten geprägt. Handelsbarrieren, Exportkontrollen, fragmentierte Märkte und eine stärkere Regionalisierung von Liefer- und Wertschöpfungsketten beeinflussen strategische Entscheidungen. Digitale Transparenz, Resilienz von Systemen und flexible Organisations- und IT-Strukturen gewinnen vor diesem Hintergrund weiter an Bedeutung.

Insgesamt ist die Ausgangsbasis im Jahr 2026 durch eine Verschiebung von technologischen Visionen hin zu konkreten Umsetzungs- und Transformationsfragen gekennzeichnet. Digitalisierung, Datenmanagement, KI-Einsatz und neue Geschäftsmodelle sind keine isolierten Innovationen mehr, sondern eng miteinander verknüpfte Gestaltungsfelder, die maßgeblich die zukünftige Entwicklung der elektrischen Antriebstechnik bestimmen.

2 Rückblick auf die Ausgangsbasis Antrieb 2030

Die Ausgangsbasis des White Papers *Antrieb 2030* [1] bildet das im Kontext von Industrie 4.0 entwickelte Verständnis des elektrischen Antriebs als digital integrierte Industrie 4.0-Komponente. Aufbauend auf der Vision Antrieb 4.0 [3] sowie der Plattform Industrie 4.0 [4] wird der elektrische Antrieb nicht mehr als isolierte mechatronische Einheit betrachtet, sondern als eindeutig identifizierbares, vernetztes Systemelement innerhalb durchgängiger industrieller Wertschöpfungsprozesse.

Zentral ist dabei die Vorstellung, dass jedes ausgelieferte Antriebssystem eine eindeutige digitale Identität besitzt. Diese Identität beschreibt den real existierenden physischen Antrieb als Instanz mit eindeutig klassifizierten Merkmalen, Funktionen und Zuständen. Im engeren Sinne umfasst dies klassische Typenschild- und Konfigurationsdaten, im weiteren Sinne jedoch sämtliche Informationen, die von unterschiedlichen Akteuren entlang der Wertschöpfungskette, vom Zulieferer und Hersteller über den Maschinen- und Anlagenbauer und Systemintegrator hin zum Anwender, benötigt werden. Der physische Antrieb wird dadurch zur Industrie 4.0-Komponente.

Die Grundlage für diesen Ansatz bildet eine durchgängige Standardisierung von Daten, Semantik und Kommunikation. Der Datenaustausch zwischen den beteiligten Marktteilnehmern erfolgt über normierte, maschinenlesbare Informationsmodelle und standardisierte Kommunikationsprotokolle. Als Referenzarchitektur dient das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0), das die Einordnung von Funktionen, Daten und Schnittstellen über den gesamten Lebenszyklus ermöglicht. Eine besondere Rolle kommt hierbei der Verwaltungsschale (*engl*. Asset Administration Shell, AAS) zu, die als digitales Abbild der jeweiligen Antriebsinstanz fungiert und deren Merkmale anderen Systemen strukturiert bereitstellt.

Zur Harmonisierung der Datenmodelle wird auf international etablierte Klassifikationssysteme zurückgegriffen. Diese ermöglichen es, dass unterschiedliche IT-, OT- und Plattformtechnologien die Informationen eindeutig interpretieren und weiterverarbeiten können. Der Antrieb wird damit zu einem kooperationsfähigen Asset, das sich nahtlos in digitale Ökosysteme integrieren lässt.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil der Ausgangsbasis ist die Abbildung des gesamten Lebenszyklus eines Antriebssystems. Die betrachteten Anwendungsfälle reichen von der Planung und Auslegung über Engineering, Inbetriebnahme und Betrieb bis hin zu Service, Asset-Management und Rückbau. Beispielhaft werden automatisierte Inbetriebnahmeprozesse genannt, bei denen Antriebe, Maschinen und weitere Assets ihre Daten gegenseitig austauschen, sowie Asset-Management-Anwendungen, in denen digitale Zwillinge auf Basis standardisierter Merkmalsdaten gepflegt werden.

Für die Kooperationsfähigkeit von Antrieben ist der Grad der Kompatibilität entscheidend. Dieser wird in *Antrieb 2030* in Anlehnung an die Norm IEC 61804-2 beschrieben und umfasst sowohl eine Daten- und Kommunikationsebene als auch eine Performance-Ebene. Erst das Zusammenspiel dieser Ebenen ermöglicht die Austauschbarkeit und flexible Integration von Antriebssystemen in vernetzten Industrie 4.0-Szenarien.

Insgesamt beschreibt die Ausgangsbasis des White Papers *Antrieb 2030* den Übergang von klassisch isolierten Antriebskomponenten hin zu standardisierten, interoperablen und datengetriebenen Systemen, die als aktive Teilnehmer digitaler Wertschöpfungsnetzwerke agieren. Diese konzeptionelle Grundlage bildet das Fundament für die zwölf in *Antrieb 2030* entwickelten Thesen und stellt den technologischen Referenzrahmen für weiterführende Betrachtungen dar.

3 Motivation

Mit dem White Paper *Antrieb 2035* wird die im Jahr 2020 veröffentlichte Vision *Antrieb 2030* [1] konsequent weitergeführt. Während *Antrieb 2030* primär auf die Chancen der Digitalisierung, neuer Geschäftsmodelle und vernetzter Wertschöpfungsketten fokussierte, ist die Ausgangsbasis sechs Jahre später durch eine deutlich höhere Umsetzungsreife, aber auch durch neue externe Rahmenbedingungen geprägt.

Technologische Entwicklungen wie KI, Cloud- und Edge-Computing sowie digitale Zwillinge haben den Übergang von Visionen zu realen industriellen Anwendungen beschleunigt. Gleichzeitig ist die Antriebstechnik heute stärker denn je von regulatorischen, geopolitischen und gesellschaftlichen Einflüssen betroffen. Diese wirken nicht mehr nur indirekt auf Produkte, sondern adressieren explizit Daten, Software, Lebenszyklen und Geschäftsmodelle.

Vor diesem Hintergrund verfolgt *Antrieb 2035* eine erweiterte Zielsetzung: Nicht allein die technologische Entwicklung des elektrischen Antriebs steht im Fokus, sondern dessen Rolle als digitales, datengetriebenes und nachhaltiges Systemelement innerhalb industrieller Ökosysteme. Elektrische Antriebe entwickeln sich zunehmend von mechatronischen hin zu cyber-physischen Systemkomponenten, deren Wertschöpfung sich auch über Software, Daten, Services und Plattformen realisiert.

Das White Paper *Antrieb 2035* versteht sich daher als strategischer Orientierungsrahmen für Hersteller, Zulieferer, Maschinen- und Anlagenbauer, Systemintegratoren, Anwender, Wissenschaft und Verbände. Es adressiert bewusst keine kurzfristigen Trends, sondern strukturelle Veränderungen bis ins Jahr 2035, die Wettbewerbsfähigkeit, Resilienz und Nachhaltigkeit der Antriebsindustrie maßgeblich beeinflussen werden.

4 Methodik

Die Erarbeitung von *Antrieb 2035* erfolgte im ZVEI-Arbeitskreis *Industrie 4.0 Elektrische Antriebe* unter Beteiligung von Industrie und Wissenschaft. Methodisch baut das White Paper auf dem Ansatz von *Antrieb 2030* auf [1], wurde jedoch gezielt weiterentwickelt, um der gestiegenen Komplexität Rechnung zu tragen. Zentrales Element bleibt die thesenbasierte Vorgehensweise, mit der zukünftige Entwicklungen strukturiert, diskutierbar und vergleichbar gemacht werden. Hierfür erfolgte im Jahr 2025 eine systematische Bewertung[1] der ursprünglichen zwölf Thesen aus *Antrieb 2030* unter den beteiligten Antriebsherstellern hinsichtlich:

- der **Relevanz**,
- der erwarteten **technologischen Reife** und **industriellen Umsetzbarkeit**,
- der **Priorisierung** und
- neuer **Thesenvorschläge** für *Antrieb 2035*.

Thesen mit geringer Umsetzungswahrscheinlichkeit oder geringer Relevanz wurden konsolidiert oder aufgelöst, während neue Thesen zu den Themen KI, Datenmanagement und DPP ergänzt wurden. Dadurch spiegeln die zehn Thesen von *Antrieb 2035* den aktuellen Stand industrieller Realität wider.

Zur Beschreibung der technologischen Ausprägungen wird die morphologische Analyse aus *Antrieb 2030* fortgeführt. Diese erlaubt es, komplexe Systementwicklungen entlang definierter Merkmalsräume strukturiert darzustellen, ohne sich auf konkrete Produktlösungen festzulegen. Die morphologischen Matrizen sind für alle Thesen einheitlich aufgebaut. Die Auswahl der jeweils relevanten Merkmalsausprägungen erfolgt qualitativ auf Basis von Experteneinschätzungen. Ziel ist die Beschreibung plausibler Entwicklungsräume für Antriebssysteme bis 2035 und nicht die Ableitung technischer Vorgaben, Mindestanforderungen oder konkreter Produktentwicklungen.

Ergänzend zur technologischen Betrachtung integriert *Antrieb 2035* erstmals regulatorische und ökonomische Einflussfaktoren als gleichwertige Treiber. Themen wie Nachhaltigkeit, Zirkularität, Datensouveränität und Cybersicherheit werden nicht als isolierte Einzelaspekte behandelt, sondern als querschnittliche Anforderungen, die alle Thesen und Geschäftsmodelle beeinflussen.

Das White Paper *Antrieb 2035* erhebt ausdrücklich keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder deterministische Vorhersagen. Es versteht sich als Diskussions- und Arbeitsgrundlage, die Industrie, Wissenschaft und Verbände dabei unterstützt, technologische Entwicklungen einzuordnen, Handlungsfelder zu identifizieren und mögliche Entwicklungsrichtungen bis 2035 zu untersuchen.

[1] Die Bewertung erfolgte ausschließlich auf aggregierter, qualitativer Ebene. Unternehmensindividuelle sowie sonstige wettbewerblich sensible Informationen wurden nicht erhoben, ausgetauscht oder dokumentiert.

5 Thesen Antrieb 2035

Die in Tabelle 1 dargestellten und im Folgenden beschriebenen zehn Thesen (römische Ziffern) bilden den inhaltlichen Kern des White Papers *Antrieb 2035*. Sie beschreiben zentrale Entwicklungsrichtungen der elektrischen Antriebstechnik bis zum Jahr 2035 und leiten sich aus der Verbindung technologischer Reife, industrieller Umsetzungserfahrungen sowie veränderter externer Rahmenbedingungen ab.

Ausgangspunkt ist eine kritische Reflexion der zwölf in *Antrieb 2030* formulierten Thesen (arabische Ziffern). Sechs Jahre nach deren Veröffentlichung zeigt sich, dass einige der damaligen Annahmen an Bedeutung gewonnen und bereits Eingang in die industrielle Praxis gefunden haben, während andere Entwicklungen hinter den Erwartungen zurückgeblieben sind oder durch neue technische und regulatorische Treiber überlagert wurden. Vor diesem Hintergrund wurden die ursprünglichen Thesen ab dem Jahr 2025 überprüft und zielgerichtet weiterentwickelt.

Die hier vorgestellten zehn neuen Thesen verstehen sich nicht als Prognose konkreter Produkte oder Lösungen, sondern beschreiben mögliche Entwicklungsrichtungen der elektrischen Antriebstechnik bis 2035. Sie dienen als Orientierungsrahmen für Industrie, Wissenschaft und Verbände, um Entwicklungen einzuordnen, Handlungsfelder zu diskutieren und möglicherweise relevante Themenfelder für Wettbewerbsfähigkeit, Resilienz und Nachhaltigkeit der Antriebstechnik bis 2035 zu beschreiben. Neben der Weiterentwicklung digitaler Architekturen und softwarebasierter Funktionen adressieren sie insbesondere den zunehmenden Einsatz von KI, datengetriebene Services, neue Anforderungen an Interoperabilität sowie regulatorisch motivierte Informationspflichten, etwa im Kontext des DPP.

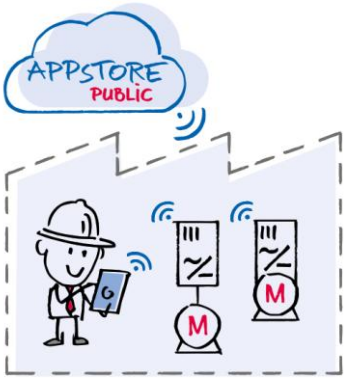
Gleichzeitig wurden einzelne Thesen aus *Antrieb 2030* bewusst konsolidiert oder nicht weiterverfolgt, sofern sie entweder in andere Themen integriert wurden oder aus heutiger Sicht keine ausreichende industrielle Relevanz für den Betrachtungszeitraum bis 2035 besitzen. Ergänzt werden diese durch neue Thesen, die den Übergang von digital-unterstützten zu daten- und KI-gestützten Wertschöpfungsmodellen reflektieren.

Tabelle 1: Thesen aus Antrieb 2035 (römische Ziffern) auf Basis der Thesen aus Antrieb 2030 (arabische Ziffern) mit zugrundeliegenden Änderungen

These *Antrieb 2035*	These *Antrieb 2030*	Titel	*Antrieb 2030* zu *Antrieb 2035*
I	1	Applikationssoftware liegt für Standard-Antriebsanwendungen als App in der Cloud.	
II	2	Ein Edge Device übernimmt die Antriebssteuerung für ein oder mehrere Antriebe.	
	3	Rechenleistung zur Antriebssteuerung wird in der Cloud bereitgestellt.	*Inhalt in These I überführt*
	4	Trennung von HW und SW – Softwareunternehmen für Antriebstechnik.[2]	*Inhalt in These I überführt*
III	5	Horizontale Integration: Teilnehmer der Wertschöpfungskette interagieren nahtlos.	
	6	Micropayments: Datenpunkte oder Informationen in Geschäftsmodellen umgesetzt.	*Inhalt in Kapitel 6 überführt*
	7	Geschäftsmodelle: Pay-per-Use, Verrechnung per Einheit XaaS.	*Inhalt in Kapitel 6 überführt*
IV	8	Rolle der Virtuality: AR, VR, MR.[3]	
	9	3-D-Druck von Antrieben.	*These entfällt*
V	10	Plug, Work & Optimization durch den Antrieb.	
VI	11	„EIN“ Feldbus für OT- und IT-Anforderungen und Industrie 4.0-Sprache.	
VII	12	Auslegung von Antrieben: Erfahrungsbasierte Auslegung, vom Engineering bis zum Pricing.	
VIII		KI über den Lebenszyklus hinweg beim Antriebshersteller.	*Neue These*
IX		KI-basierte Fehlersuche und Services.	*Neue These*
X		Informationsmodell für den Digitalen Produktpass (DPP).	*Neue These*

[2] Hardware (HW) und Software (SW).
[3] Erweiterte Realität (*engl*. Augmented Reality, AR), virtuelle Realität (*engl*. Virtual Reality, VR) und gemischte Realität (*engl*. Mixed Reality, MR).

These I:
Applikationssoftware liegt für Standard-Antriebsanwendungen als App in der Cloud.



Vision
Unsere Vision ist eine softwaredefinierte Antriebstechnik als integraler Bestandteil der Software Defined Industry (SDI) [vgl. 5]. Antriebe entwickeln sich von isolierten Hardwarekomponenten zu intelligenten, vernetzten Akteuren eines digitalen Ökosystems. In dieser Vision können cloud- und edgebasierte Plattformkonzepte Standard-Antriebsanwendungen über offene Schnittstellen bereitstellen und lokale Rechenleistung für Echtzeit- und Sicherheitsfunktionen ergänzen.

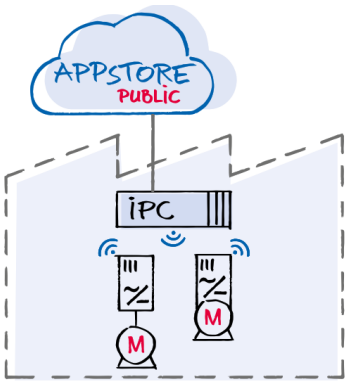
Kurzbeschreibung
Cloud- und edgebasierte Plattformkonzepte können die Verwaltung von Antrieben unterstützen, indem sie Firmware, Parameter und Sicherheitsprofile zentral über sichere, standardisierte Protokolle und Datenmodelle verwalten. Kunden profitieren von einem durchgängig konsistenten, zentral pflegbaren System, das Komplexität reduziert und Aktualisierungen sowie Erweiterungen erheblich vereinfacht. Eine Schlüsselrolle hierbei spielt KI, die z. B. den Energieverbrauch und auftretende Belastungsspitzen optimiert, was zu signifikanten Einsparungen in energieintensiven Anlagen führt. Mithilfe von KI werden Regelparameter dynamisch an Lastwechsel, Materialchargen oder Prozesszustände angepasst, ganz ohne menschliches Eingreifen. Dies steigert die Prozessqualität, reduziert den Ausschuss und optimiert die Antriebsnutzung über die gesamte Lebensdauer.
Die zugrundeliegende Hybridarchitektur gewährleistet, dass sicherheitskritische und echtzeitrelevante Funktionen weiterhin lokal im Antrieb ablaufen. Die Cloud übernimmt dabei Analyse, Optimierung und langfristige Strategien. Dies kann Sicherheits- und Verfügbarkeitsanforderungen unterstützen. Durch offene APIs und herstellerübergreifende Interoperabilität entwickeln sich cloud- und edgebasierte Plattformkonzepte zu einem umfassenden Ökosystem. Sie verbinden nahtlos unterschiedliche Antriebsfabrikate, Sensorik, Edge Devices und übergeordnete Systeme wie das Produktionsleitsystem (*engl.* Manufacturing Execution System, MES) oder die Unternehmensressourcenplanung (*engl.* Enterprise Resource Planning, ERP). Für den Kunden bedeutet dies weniger Abhängigkeit von einzelnen Herstellern und eine vereinfachte Integration in bestehende IT-Landschaften, was zusätzliche Flexibilität und Zukunftssicherheit schafft.

Herausforderungen
- **Interoperabilität**: SW und HW verschiedener Hersteller müssen nahtlos zusammenarbeiten.
- **Marktakzeptanz**: Anwender müssen Vertrauen in cloudbasierte Anwendungen und digitale Betriebsmodelle entwickeln.
- **Verantwortlichkeiten**: Zuständigkeiten zwischen HW-, SW-, und Serviceanbietern sind festzulegen.
- **Geschäftsmodelle**: Neue Lizenz- und Abrechnungsmodelle müssen wirtschaftlich und transparent gestaltet werden.
- **Systemintegration**: Die Einbindung in bestehende IT-Systeme, wie z. B. ERP oder MES, sollte je nach Anwendung einfach möglich sein.
- **Konnektivität**: Cloudbasierte Anwendungen erfordern eine dauerhaft verfügbare und sichere Datenverbindung.

Morphologische Matrix

	Merkmal	Leistungsklassen				
Connectivity	Auflösung	Bei Bedarf	Batch	Echtzeit		
	Vernetzung	one2one	one2many	many2many		
	Datenrate	Niedrig (kB/s)	Mittel (MB/s)	Hoch (GB/s)		
Data Processing	Rechenleistung	Am Objekt	Am Standort (Edge)	In der Cloud		
	Digitalisierung	Modellierung	Simulation			
Process Execution	Control	Information	Event	Selbststeuernd		
	Optimierung	Von extern	Selbst			
Traceability	Identifikation	Produkt	Modul	Bauteil		
	Lokalisierung	Global	Areal	Gebäude	Raum	Arbeitsplatz
Serviceability	Sensorik	Einzelsensor	Sensor-Cluster	Vernetzte Sensorik		
	Teilprozess	Entwicklung	Produktion	Distribution	Nutzung	Recycling

These II:
Ein Edge Device übernimmt die Antriebssteuerung für ein oder mehrere Antriebe.



Vision
Unsere Vision ist eine Antriebsarchitektur, in der ein Edge Device die Applikationssteuerung eines oder mehrerer Umrichter übernimmt. Standard-Antriebsanwendungen werden aus einer Cloud-Bibliothek auf das Edge Device geladen und herstellerübergreifend für unterschiedliche Antriebe nutzbar gemacht.

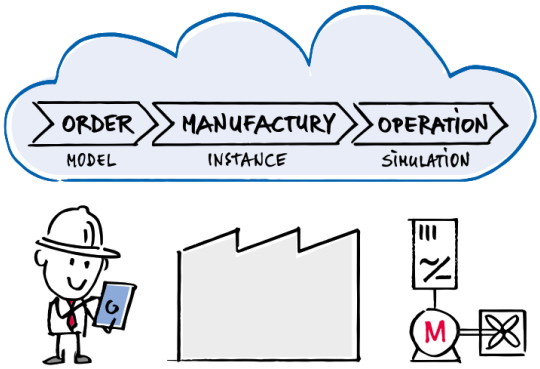
Kurzbeschreibung
In heutigen Anwendungen hat jeder einzelne Antrieb die Steuerung auf einem Controller, welcher ab Werk verbaut ist. In bestimmten Anwendungsszenarien können Edge Devices künftig zusätzliche Steuerungsfunktionen übernehmen, wodurch sich die Aufgabenverteilung zwischen Antrieb, Steuerung und übergeordneten Systemen verändern kann. Dies kann insbesondere zwei Vorteile bieten: zum einen eine ausreichende Rechenleistung für einen oder mehrere Umrichter und die Applikationssoftware aus der heutigen speicherprogrammierbaren Steuerung und zum anderen eine Konnektivität an die Cloud. Dadurch kann der Kunde den Materialeinsatz verringern und hat gleichzeitig die Möglichkeit zu Cloud-Bibliotheken verbunden zu sein, die Updates und Anwendungen zur Verfügung stellen. Der Funktionsumfang, der lokal im Antrieb verbleibt, kann je nach Anwendung, Echtzeitanforderung, Sicherheitsanforderung und Herstellerkonzept unterschiedlich ausgestaltet sein. Das Edge Device übernimmt die Verwaltung, die Autorisierung sowie das User-Management und dient als Kommunikations-Frontend. Hohe Datenraten sind notwendig, wenn das Edge Device sich mit der Cloud verbindet.

Herausforderungen
- **Kompatibilität**: Edge Devices müssen herstellerübergreifend mit unterschiedlichen Antriebssystemen zusammenarbeiten.
- **Marktakzeptanz**: Neue Rollen von Plattformanbietern und Systemintegratoren müssen vom Markt akzeptiert werden.
- **Geschäftsmodelle**: App-Stores und digitale Plattformen benötigen geeignete Vergütungs- und Lizenzmodelle.
- **Verantwortlichkeiten**: Die Haftung bei Fehlfunktionen zwischen den beteiligten Akteuren ist im Einzelfall zu prüfen.
- **Plattformökosystem**: Der Nutzen hängt von einer ausreichenden Anzahl verfügbarer Anwendungen ab.
- **Echtzeitfähigkeit**: Die Datenkommunikation sollte je nach Anwendung hohe Performance und kurze Reaktionszeiten gewährleisten.

Morphologische Matrix

	Merkmal	Leistungsklassen				
Connectivity	Auflösung	Bei Bedarf		Batch		Echtzeit
	Vernetzung	one2one		one2many		many2many
	Datenrate	Niedrig (kB/s)		Mittel (MB/s)		Hoch (GB/s)
Data Processing	Rechenleistung	Am Objekt		Am Standort (Edge)		In der Cloud
	Digitalisierung	Modellierung			Simulation	
Process Execution	Control	Information		Event		Selbststeuernd
	Optimierung	Von extern			Selbst	
Traceability	Identifikation	Produkt		Modul		Bauteil
	Lokalisierung	Global	Areal	Gebäude	Raum	Arbeitsplatz
Serviceability	Sensorik	Einzelsensor		Sensor-Cluster		Vernetzte Sensorik
	Teilprozess	Entwicklung	Produktion	Distribution	Nutzung	Recycling

These III:
Horizontale Integration: Teilnehmer der Wertschöpfungskette interagieren nahtlos.



Vision

Unsere Vision ist eine vollständig vernetzte, intelligente und agile industrielle Wertschöpfungskette. Alle Teilnehmenden, von Lieferanten über Hersteller bis zu Logistikern und Endkunden, interagieren in Echtzeit und medienbruchfrei digital. Durch diese horizontale Integration werden nicht nur Maschinen und Anlagen vernetzt, sondern auch Lieferanten und Kunden direkt eingebunden. Daten aus Antrieben werden so über die gesamte Wertschöpfungskette verfügbar und können neue, datengetriebene Geschäftsmodelle ermöglichen.

Kurzbeschreibung

Eine nahtlose digitale Interaktion in der industriellen Wertschöpfungskette zeichnet sich durch Interoperabilität aus, die durch standardisierte Schnittstellen einen mühelosen Datenaustausch zwischen Systemen wie ERP, MES, Produktlebenszyklusmanagement (*engl.* Product Lifecycle Management, PLM) oder Lieferkettenmanagement (*engl.* Supply Chain Management, SCM) ermöglicht. Gemeinsame Datenmodelle und Semantik gewährleisten dabei ein einheitliches Verständnis aller Datenobjekte, um Missverständnisse effektiv zu vermeiden.
Ein weiterer Kernpunkt ist der Echtzeit-Datenaustausch von Informationen wie Bestellungen, Produktionsstatus oder Lagerbeständen, der schnelle Reaktionen und fundierte Entscheidungen ermöglicht. Zudem können Geschäftsprozesse über Unternehmensgrenzen hinweg digitalisiert und automatisiert werden, wodurch integrierte Abläufe entstehen. Ein robustes Sicherheitskonzept mit Verschlüsselung und Vertrauensmechanismen ist unerlässlich, um die Integrität und Vertraulichkeit der Daten zu gewährleisten. Schließlich können Cloud-basierte Plattformen den Austausch und die Verarbeitung von Daten erleichtern, Skalierbarkeit bieten und die Kollaboration entlang der gesamten Wertschöpfungskette unterstützen.

Herausforderungen

- **Heterogene IT-Landschaften:** Unterschiedliche, historisch gewachsene IT-Systeme erschweren die Kommunikation und Integration.
- **Interoperabilität:** Uneinheitliche Datenformate und Schnittstellen erschweren die Interoperabilität.
- **Datensicherheit und Vertrauen:** Hohe Anforderungen an Sicherheit und Vertrauen beim Austausch sensibler Daten.
- **Organisatorische und kulturelle Barrieren:** Silodenken und Widerstand gegen Veränderungen erschweren das Teilen von Daten und Prozessen.
- **Mangelnde digitale Kompetenzen:** Fehlendes Know-how im Umgang mit digitalen Technologien.
- **Kosten und Investitionen:** Erhebliche finanzielle und personelle Investitionen für Implementierung und Schulung.
- **Komplexität der Wertschöpfungskette:** Globale, komplexe Ketten mit vielen Akteuren unterschiedlicher Digitalisierungsreife.
- **Datenqualität und -governance:** Sicherung hoher Datenqualität über Unternehmensgrenzen hinweg.
- **Rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen**: Beachtung von Datenschutz und Compliance.

Morphologische Matrix

	Merkmal	Leistungsklassen				
Connectivity	Auflösung	Bei Bedarf		Batch		Echtzeit
	Vernetzung	one2one		one2many		many2many
	Datenrate	Niedrig (kB/s)		Mittel (MB/s)		Hoch (GB/s)
Data Processing	Rechenleistung	Am Objekt		Am Standort (Edge)		In der Cloud
	Digitalisierung	Modellierung			Simulation	
Process Execution	Control	Information		Event		Selbststeuernd
	Optimierung	Von extern			Selbst	
Traceability	Identifikation	Produkt		Modul		Bauteil
	Lokalisierung	Global	Areal	Gebäude	Raum	Arbeitsplatz
Serviceability	Sensorik	Einzelsensor		Sensor-Cluster		Vernetzte Sensorik
	Teilprozess	Entwicklung	Produktion	Distribution	Nutzung	Recycling

These IV:
Rolle der Virtuality: AR, VR, MR.





Vision
Unsere Vision ist eine Antriebstechnik, in der Virtualisierungen des Antriebssystems den Anwender über die gesamte Wertschöpfung hinweg unterstützen. Je nach Anwendungsfall kommen virtuelle Realität[4] (*engl*. Virtual Reality, VR), erweiterte Realität[5] (*engl*. Augmented Reality, AR) und gemischte Realität[6] (*engl*. Mixed Reality, MR) zum Einsatz, um Prozesse sicherer und schneller durchzuführen.

Kurzbeschreibung
Durch die Verfügbarkeit digitaler Simulationsmodelle und KI lassen sich bereits in den ersten Phasen einer Anlagenplanung virtuelle Antriebsstränge und Produktionen einfach und schnell zusammenstellen. Mit wenigen Klicks kann durch VR die Produktion in voller Funktionalität räumlich erfahren und gefahrenlos getestet und optimiert werden. Neben der Beschleunigung der Planung und der Produktion bietet VR ideale Bedingungen für Schulungen und den Vertrieb.
In der Inbetriebnahme, im Service und bei Recycling spielen AR und MR ihre Stärken aus. In Brillen eingeblendete Informationen unterstützen mit situationsbedingten Handlungsempfehlungen. Bei Bedarf schaltet sich der Remotesupport auf das Display hinzu und ergänzt den integrierten KI-Support. Je nach Umgebung sind geeignete Schutzbrillenvarianten zu verwenden.

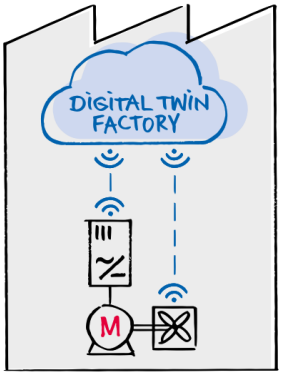
Herausforderungen
- **Verfügbarkeit von Simulationsmodellen:** Es werden durchgängige digitale Zwillinge bestehend aus 3D-Modell-Informationen und Simulationsmodellen für alle Bau- und Anlagenteile benötigt.
- **VR:**
  - Verknüpfung der virtuellen Modelle mit den Simulationsmodellen der Anlage.
  - KI-unterstützte virtuelle Produktion in der simulierten Umgebung.
- **AR und MR:**
  - Verfügbarkeit geeigneter Brillen für den industriellen Alltag bei tragbaren Kosten.
  - Bereitstellung ausreichender dezentraler Rechenleistung im Feld bzw. durch eine schnelle drahtlose Datenverbindung in die Edge oder Cloud.
- **Investitionssicherheit:** Tragfähige Geschäftsmodelle erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass Produkte längerfristig am Markt verfügbar sind und weiterentwickelt werden. Während VR eher bei der Lösung komplexer Probleme unterstützt, spielen AR und MR ihre Stärken im Alltag aus.

Morphologische Matrix

	Merkmal	Leistungsklassen				
Connectivity	Auflösung	Bei Bedarf		Batch		Echtzeit
	Vernetzung	one2one		one2many		many2many
	Datenrate	Niedrig (kB/s)		Mittel (MB/s)		Hoch (GB/s)
Data Processing	Rechenleistung	Am Objekt		Am Standort (Edge)		In der Cloud
	Digitalisierung	Modellierung			Simulation	
Process Execution	Control	Information		Event		Selbststeuernd
	Optimierung	Von extern			Selbst	
Traceability	Identifikation	Produkt		Modul		Bauteil
	Lokalisierung	Global	Areal	Gebäude	Raum	Arbeitsplatz
Serviceability	Sensorik	Einzelsensor		Sensor-Cluster		Vernetzte Sensorik
	Teilprozess	Entwicklung	Produktion	Distribution	Nutzung	Recycling

[4] VR: Komplett in einer digitalen Welt; die Realität wird ausgeblendet.
[5] AR: Digitale Schicht über der Realität.
[6] MR: Digitale und reale Objekte existieren zusammen im selben Raum.

These V:
Plug, Work & Optimization durch den Antrieb.



Vision
Unsere Vision ist eine automatisierte Inbetriebnahme und Optimierung von Antriebssystemen durch KI-Systeme. Komponenten und Gesamtsysteme werden auf Basis natürlicher Sprache, digitaler Modelle und Betriebsdaten parametriert, angepasst und kontinuierlich optimiert.

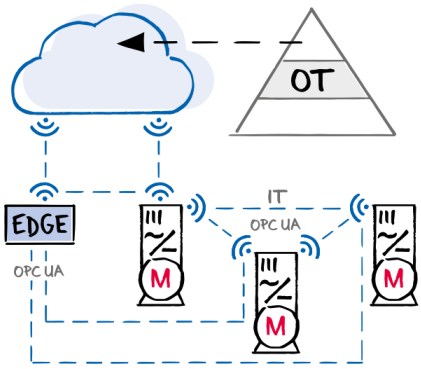
Kurzbeschreibung
Mithilfe von KI-Systemen, insbesondere großen Sprachmodellen (*engl.* Large Language Model, LLM), werden Komponenten parametriert und Prototypen von Gesamtsystemen virtuell entwickelt. Entwickler beschreiben das Antriebsproblem in natürlicher Sprache, woraufhin die KI automatisiert die benötigten Parametersätze für die Komponenten generiert, noch bevor das physische System in Betrieb genommen wird. Die KI kann Systemänderungen selbstständig vornehmen, sich dynamisch an das reale Laufzeitverhalten anpassen und den erforderlichen Code für Programmierungen oder Regelalgorithmen eigenständig erzeugen, sog. „Vibe-Coding“. Dadurch wird der Bedarf an Expertenwissen für die Inbetriebnahme und die Optimierung reduziert, da dieses Wissen in herstellerspezifischen oder herstellerunabhängigen, sich selbstlernenden LLMs hinterlegt ist. Das Gesamtsystem wird so kontinuierlich optimiert, was Produktivität und Energieeffizienz steigert, während gewonnene Erkenntnisse in die Entwicklung neuer Produktionssysteme einfließen.

Herausforderungen
- **Digitalisierung:** Standardisierte Bereitstellung von Modellparametern in herstellerunabhängigen Formaten, z. B. mit der AAS.
- **Interoperabilität:** Sicherstellung der Kompatibilität und Kommunikation von Komponenten über den gesamten Lebenszyklus.
- **Partizipation:** Gerechte Verteilung der durch Optimierungsalgorithmen erzielten Produktivitäts- und Energieeffizienzgewinne.
- **Kompetenzaufbau:** Entwicklung von Expertenwissen für den Einsatz und die Implementierung von KI-Systemen.
- **Cybersicherheit:** Minimierung erhöhter Sicherheitsrisiken durch die Vernetzung mit KI-Systemen.
- **Schutz geistigen Eigentums und Datensouveränität:** Wahrung von Eigentumsrechten und Kontrolle über verwendete Daten.
- **Rechtliche Haftung:** Klärung der Verantwortlichkeiten bei Fehlfunktionen oder mangelndem Expertenwissen bei der Inbetriebnahme.

Morphologische Matrix

	Merkmal	Leistungsklassen				
Connectivity	Auflösung	Bei Bedarf	Batch	Echtzeit		
	Vernetzung	one2one	one2many	many2many		
	Datenrate	Niedrig (kB/s)	Mittel (MB/s)	Hoch (GB/s)		
Data Processing	Rechenleistung	Am Objekt	Am Standort (Edge)	In der Cloud		
	Digitalisierung	Modellierung	Simulation			
Process Execution	Control	Information	Event	Selbststeuernd		
	Optimierung	Von extern	Selbst			
Traceability	Identifikation	Produkt	Modul	Bauteil		
	Lokalisierung	Global	Areal	Gebäude	Raum	Arbeitsplatz
Serviceability	Sensorik	Einzelsensor	Sensor-Cluster	Vernetzte Sensorik		
	Teilprozess	Entwicklung	Produktion	Distribution	Nutzung	Recycling

These VI:
„EIN“ Feldbus für OT- und IT-Anforderungen und Industrie 4.0-Sprache.



Vision
Unsere Vision ist eine Antriebstechnik, in der unterschiedliche IT-/OT-Kommunikationslösungen über offene Standards, konsistente Informationsmodelle und sichere Schnittstellen interoperabel zusammenwirken. Offene Standards ermöglichen sichere, deterministische und plattformübergreifende Datenströme für Echtzeit- und Nicht-Echtzeit-Anwendungen.

Kurzbeschreibung
Solche Architekturen können eine herstellerneutrale, offene und sichere Automatisierungsumgebung unterstützen, in der alle Komponenten, von Sensoren bis zu Cloud-Anwendungen, über gemeinsame Informationsmodelle und moderne Kommunikationsstandards integriert sind. Determinierte, echtzeitfähige Datenflüsse werden z. B. durch OPC UA [6] über Time Sensitive Networking (TSN) ermöglicht und decken vielfältige Kommunikationsszenarien ab. Umfassende Sicherheitsmechanismen nach dem Prinzip Security-by-Design gewährleisten den Schutz über den gesamten Lebenszyklus. Die Architektur steigert die Flexibilität bei der Systemgestaltung, beschleunigt die Anwendungsentwicklung und schafft Transparenz durch durchgängige Datenverfügbarkeit. Sie integriert Edge-Analytik, KI-Optimierungen und Cloud-Anbindung, bietet klare Migrationspfade für bestehende Systeme und nutzt moderne Wireless-Technologien für flexible Produktionsumgebungen, um offene, interoperable Industrie 4.0-Ökosysteme zu fördern.

Herausforderungen
- **Standardisierung und Semantik:** Weiterentwicklung offener Informationsmodelle (z. B. OPC UA) und Sicherstellung konsistenter Semantik über Herstellergrenzen hinweg.
- **Determinismus und Skalierbarkeit:** Gewährleistung deterministischer Latenzen und Synchronisation über große Anlagen hinweg (TSN-Architekturen).
- **Sicherheit und Vertrauen:** Ganzheitliche Security-by-Design-Strategien, Zero-Trust und Schutz vor KI-gesteuerten Angriffsvektoren.
- **Migrationspfade:** Sanfte Transition bestehender OT-Systeme zu Ethernet-basierten, offenen Ökosystemen mit minimalen Ausfallzeiten.
- **Ökosystem-Management und Zertifizierung:** Harmonisierte Zertifizierungen, Interoperabilitätstests und Governance-Modelle für ein offenes Industrie-Ökosystem.
- **Sicherheit von sicherheitskritischen Funktionen:** Abgrenzung und Kompatibilität von Safety-Features in IT-/OT-Umgebungen mit offenen Standards.
- **Integration von KI und IIoT:** Skalierbare Datennutzung, Edge-KI, Datenschutz und Compliance in einer offenen Architektur.

Morphologische Matrix

	Merkmal	Leistungsklassen				
Connectivity	Auflösung	Bei Bedarf		Batch		Echtzeit
	Vernetzung	one2one		one2many		many2many
	Datenrate	Niedrig (kB/s)		Mittel (MB/s)		Hoch (GB/s)
Data Processing	Rechenleistung	Am Objekt		Am Standort (Edge)		In der Cloud
	Digitalisierung	Modellierung			Simulation	
Process Execution	Control	Information		Event		Selbststeuernd
	Optimierung	Von extern			Selbst	
Traceability	Identifikation	Produkt		Modul		Bauteil
	Lokalisierung	Global	Areal	Gebäude	Raum	Arbeitsplatz
Serviceability	Sensorik	Einzelsensor		Sensor-Cluster		Vernetzte Sensorik
	Teilprozess	Entwicklung	Produktion	Distribution	Nutzung	Recycling

These VII:
Auslegung von Antrieben: Erfahrungsbasierte Auslegung, vom Engineering bis zum Pricing.



Vision
Unsere Vision ist eine sichere, effiziente und ökonomisch optimierte Auswahl von Antriebssträngen auf Basis individueller Anwendungsanforderungen. Erfahrungswerte aus dem realen Betrieb fließen in die Auslegung ein und ermöglichen eine kontinuierliche Optimierung bei Erstausrüstern (*engl*. Original Equipment Manufacturer, OEM) und Betreibern. Geeignete Komponenten können auf digitalen Plattformen recherchiert und als Grundlage für unternehmensindividuelle Beschaffungsentscheidungen bewertet werden.

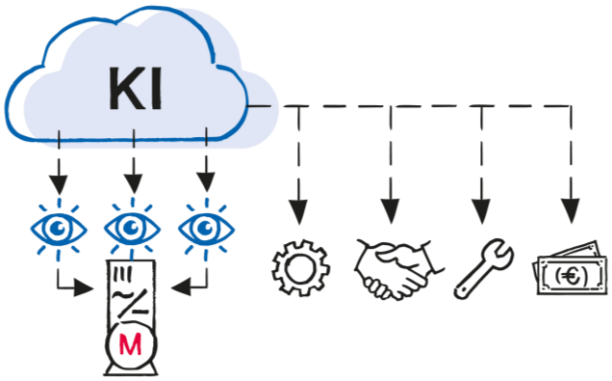
Kurzbeschreibung
Die bisher voneinander getrennten Auslegungstools unterschiedlicher Anbieter arbeiten heute zusammen, um aus Last- und Bewegungsanforderungen optimal passende Antriebssysteme aus Einzelkomponenten zu konfigurieren. Liegen Erfahrungswerte aus früheren, identischen Anwendungen vor, fließen reale Betriebsdaten in eine iterative Optimierung des Auslegungsprozesses ein. Gleichzeitig ermöglicht die Berücksichtigung von Umgebungs-, Integrations- und Einbaubedingungen, Komponenteninformationen aus unterschiedlichen Quellen strukturiert zu berücksichtigen und technische Auswahlentscheidungen zu unterstützen.
Für Standardanwendungen und bestehende Maschinen- oder Anlagenkonzepte kann dieser Prozess vollständig automatisiert werden. Mit steigender Anwendungs- und Lieferkettenkomplexität dienen die erstellten Auslegungen als belastbare Grundlage für effizientes Engineering und eine optimierte Beschaffung.

Herausforderungen
- **Neutrale Plattform:** Es muss gewährleistet sein, dass der Datenaustausch sicher, standardisiert und souverän erfolgt. Die Teilnehmer behalten jederzeit die Kontrolle über die Daten.
- **Produkt- und Anlagendaten:** Hersteller, OEMs und Betreiber müssen ihre eigenen Daten in der Plattform einstellen, um einen Mehrwert zu erhalten. Gerade bei Herstellern könnte das eine Änderung des Geschäftsmodells erfordern.
- **Reale Betriebsdaten:** Für die Optimierung eines konkreten Antriebssystems im Feld werden reale Betriebsdaten benötigt. Diese müssen geteilt werden können ohne Produktionsdaten (z. B. Stückzahlen) zu kompromittieren.

Morphologische Matrix

	Merkmal	Leistungsklassen				
Connectivity	Auflösung	Bei Bedarf	Batch	Echtzeit		
	Vernetzung	one2one	one2many	many2many		
	Datenrate	Niedrig (kB/s)	Mittel (MB/s)	Hoch (GB/s)		
Data Processing	Rechenleistung	Am Objekt	Am Standort (Edge)	In der Cloud		
	Digitalisierung	Modellierung	Simulation			
Process Execution	Control	Information	Event	Selbststeuernd		
	Optimierung	Von extern	Selbst			
Traceability	Identifikation	Produkt	Modul	Bauteil		
	Lokalisierung	Global	Areal	Gebäude	Raum	Arbeitsplatz
Serviceability	Sensorik	Einzelsensor	Sensor-Cluster	Vernetzte Sensorik		
	Teilprozess	Entwicklung	Produktion	Distribution	Nutzung	Recycling

These VIII:
KI über den Lebenszyklus hinweg beim Antriebshersteller.



Vision
Unsere Vision ist ein Antriebshersteller, bei dem KI den gesamten Lebenszyklus eines Antriebssystems unterstützt, von Entwicklung und Vertrieb über Applikation und Service bis hin zu Abrechnung und internen Prozessen. Dadurch werden Effizienz, Wissensnutzung und Innovationsgeschwindigkeit gesteigert.

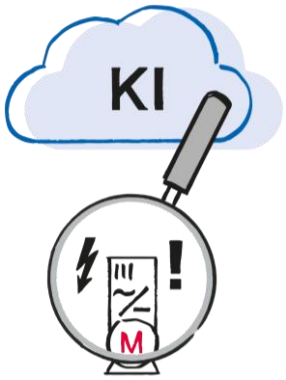
Kurzbeschreibung
Im Umfeld eines Antriebsherstellers vernetzt KI Entwicklungs-, Vertriebs- und Serviceprozesse als lernendes Assistenzsystem, das Daten und Erfahrungswissen kombiniert, um Entscheidungen vorzubereiten und Routineaufgaben zu automatisieren. Im Service greifen Mitarbeitende über KI-gestützte Wissensdatenbanken auf Erfahrungswissen zu, wodurch Kundenanfragen in Echtzeit analysiert und passende Lösungen vorgeschlagen werden, was Reaktionszeiten verkürzt und Supportabteilungen entlastet. Im Rechnungswesen automatisiert KI die Auswertung von Belegen, erstellt Buchungsvorschläge und integriert sich nahtlos in ERP-Systeme, um Prozesse zu beschleunigen und Fehler zu reduzieren. In der Entwicklung generiert KI mittels „Vibe-Coding“ automatisch Code für Regelalgorithmen und Simulationen, verbessert die Softwarequalität und beschleunigt Entwicklungszyklen. Im Vertrieb analysiert KI historische Kundendaten, erkennt Muster und schlägt passende Zusatzprodukte vor, wodurch Cross- und Upselling-Potenziale entstehen. In der Applikation parametrisiert die KI Komponenten, simuliert Systemverhalten und erzeugt optimierte Regelalgorithmen, wobei sie sich durch kontinuierliche Rückkopplung aus realen Betriebsdaten eigenständig verbessert und die Qualität zukünftiger Anwendungen steigert.

Herausforderungen
- **Datenverfügbarkeit und -qualität:** Sicherstellung konsistenter, strukturierter und zugänglicher Daten über alle Unternehmensbereiche hinweg.
- **Integration bestehender Systeme:** Harmonisierung von ERP, rechnergestütztem Konstruieren (*engl.* Computer-Aided Design, CAD), Simulationen und Kundenbeziehungsmanagement (*engl.* Customer Relationship Management, CRM) für KI-gestützte Workflows.
- **Datensicherheit und Compliance:** Schutz sensibler Daten und Einhaltung rechtlicher Vorgaben (z. B. Datenschutz).
- **Akzeptanz und Schulung:** Aufbau von Know-how und Vertrauen im Umgang mit KI-Systemen bei Mitarbeitenden.
- **Erklärbarkeit der KI:** Sicherstellung nachvollziehbarer Entscheidungsgrundlagen, besonders in sicherheitsrelevanten Prozessen.
- **Schutz geistigen Eigentums und Haftung:** Klärung der Rechte an KI-generierten Inhalten und Verantwortlichkeiten bei Fehlern.

Morphologische Matrix

	Merkmal	Leistungsklassen				
Connectivity	Auflösung	Bei Bedarf		Batch		Echtzeit
	Vernetzung	one2one		one2many		many2many
	Datenrate	Niedrig (kB/s)		Mittel (MB/s)		Hoch (GB/s)
Data Processing	Rechenleistung	Am Objekt		Am Standort (Edge)		In der Cloud
	Digitalisierung	Modellierung			Simulation	
Process Execution	Control	Information		Event		Selbststeuernd
	Optimierung	Von extern			Selbst	
Traceability	Identifikation	Produkt		Modul		Bauteil
	Lokalisierung	Global	Areal	Gebäude	Raum	Arbeitsplatz
Serviceability	Sensorik	Einzelsensor		Sensor-Cluster		Vernetzte Sensorik
	Teilprozess	Entwicklung	Produktion	Distribution	Nutzung	Recycling

These IX:
KI-basierte Fehlersuche und Services.



Vision
Unsere Vision ist eine Fehlersuche, Diagnose und Inbetriebnahme von Antriebssystemen, die umfassend durch KI unterstützt wird. Lernende Systeme, natürliche Sprachschnittstellen und kontinuierliche Optimierungsansätze können dazu beitragen, Stillstandzeiten zu reduzieren, Serviceprozesse effizienter zu gestalten und die Systemverfügbarkeit zu verbessern.

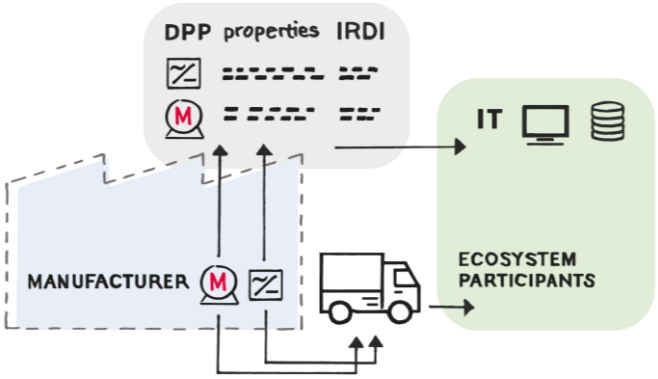
Kurzbeschreibung
KI unterstützt Anwender, Servicetechniker und Entwickler dabei, Fehler in Antriebssystemen schneller zu erkennen, zu analysieren und zu beheben. Über eine intuitive, sprachbasierte Benutzeroberfläche lassen sich komplexe Fehlerbilder einfach beschreiben, woraufhin die KI auf umfangreiche Wissensbestände zugreift und geeignete Maßnahmen bis hin zur unterstützten oder, sofern technisch und rechtlich abgesichert, automatisierten Behebung vorschlägt. Durch kontinuierlich trainierte Sprachmodelle entsteht ein digitaler Experte, der über klassische Dokumentationen hinausgeht und natürlichsprachliche Such- und Diagnoseanfragen präzise beantwortet.
Beispielsweise übernehmen KI-Systeme während der Inbetriebnahme automatisierte Parametrierungen, prüfen Konfigurationen und empfehlen optimierte Einstellungen. Sie erkennen potenzielle Fehlerquellen im Voraus und verkürzen damit Inbetriebnahmezeiten deutlich. Im laufenden Betrieb identifizieren sie Anomalien, korrelieren sie mit bekannten Mustern und leiten selbstständig Handlungsempfehlungen oder Korrekturen ab. In Verbindung mit autonomen Optimierungsfunktionen können KI-Systeme Parameter dynamisch anpassen, um Fehlerursachen direkt zu beseitigen, und verbessert damit Diagnose- und Reparaturstrategien kontinuierlich weiter.

Herausforderungen
- **Datenverfügbarkeit und -qualität:** Erfassung und Strukturierung großer Mengen an Betriebs-, Diagnose- und Servicedaten für das Training der KI-Modelle.
- **Sprachverarbeitung und Domänenspezialisierung:** Entwicklung branchenspezifischer Sprachmodelle, die Fachbegriffe und Systemlogiken präzise verstehen.
- **Integration in bestehende Systemarchitekturen:** Sicherstellung der Kompatibilität zwischen KI-Modulen, Antriebsreglern und Servicetools.
- **Automatisierte Handlungssicherheit:** Gewährleistung, dass KI-generierte Maßnahmen technisch sicher und nachvollziehbar sind.
- **Cybersicherheit und Datenschutz:** Schutz sensibler Betriebsdaten vor unbefugtem Zugriff und Manipulation.
- **Rechtliche Haftung und Verantwortlichkeit:** Klärung von Zuständigkeiten bei automatisierter Fehlerbehebung und Systemeingriffen.

Morphologische Matrix

	Merkmal	Leistungsklassen				
Connectivity	Auflösung	Bei Bedarf		Batch		Echtzeit
	Vernetzung	one2one		one2many		many2many
	Datenrate	Niedrig (kB/s)		Mittel (MB/s)		Hoch (GB/s)
Data Processing	Rechenleistung	Am Objekt		Am Standort (Edge)		In der Cloud
	Digitalisierung	Modellierung				Simulation
Process Execution	Control	Information		Event		Selbststeuernd
	Optimierung	Von extern				Selbst
Traceability	Identifikation	Produkt		Modul		Bauteil
	Lokalisierung	Global	Areal	Gebäude	Raum	Arbeitsplatz
Serviceability	Sensorik	Einzelsensor		Sensor-Cluster		Vernetzte Sensorik
	Teilprozess	Entwicklung	Produktion	Distribution	Nutzung	Recycling

These X:
Informationsmodell für den Digitalen Produktpass (DPP).



Vision
Unsere Vision ist ein zugänglicher DPP für industrielle Produkte, der relevante Produktinformationen digital und maschinenlesbar bereitstellt. Er unterstützt die Konformität mit regulatorischen Anforderungen und ermöglicht den strukturierten Austausch und die Nutzung von Produktdaten über den Lebenszyklus und neue Geschäftsmodelle hinweg.

Kurzbeschreibung
Ein möglicher Ansatz besteht darin, den DPP methodisch beispielsweise auf Basis des Informationsmodells der AAS und des ZVEI-DPP4.0-Konzepts [7] umzusetzen. Dabei können Teilmodell-Templates der Industrial Digital Twin Association (IDTA) zum Einsatz kommen, wobei die Semantik der Merkmale innerhalb der Teilmodelle in ECLASS[7] und/oder nach der IEC 61360 CDD ausgeführt werden könnte. Der DPP wird vom Hersteller des Produkts herausgegeben und der digitale Zugriff könnte beispielsweise über einen ID-Link nach IEC 61406-1 erfolgen. Weiterhin könnte der DPP in verschiedenen Dateninfrastrukturen gehostet und im Lebenszyklus eines Produkts fortgeschrieben werden.
Während der DPP eine regulatorische Vorgabe der ESPR und des European Product Act (EPA) zur transparenten Information für bestimmte Produktgruppen darstellt, kann er auch als Chance begriffen werden: Der DPP kann potenziell als strukturierte Informationsquelle dienen und den interoperablen Datenaustausch erleichtern, wenn er beispielsweise als Informationsmodell der AAS ausgestaltet und um weitere regulatorische Informationen sowie Anwenderinformationen ergänzt wird, die Nutzende während des gesamten Lebenszyklus bei unterschiedlichen Anwendungsfällen unterstützen.

Herausforderungen
- **Inhaltliche Qualität seitens Hersteller/Herausgeber:** Es muss sichergestellt werden, dass die Hersteller die Semantik und Datenformate korrekt einhalten, um die Verlässlichkeit der Informationen im DPP zu gewährleisten.
- **Lesbarkeit des ID-Links:** Die physische Ausprägung des ID-Links, beispielsweise als gedruckter QR-Code, kann mechanisch beschädigt werden, was den Zugriff auf den DPP erschwert oder unmöglich macht.
- **Cybersicherheit:** Die herstellerseitigen Angaben im DPP müssen vor unbefugtem Zugriff, Manipulation und Cyberangriffen geschützt werden, da sie sensible Produktinformationen enthalten.
- **Fälschungssicherheit:** Es ist entscheidend, Mechanismen zu implementieren, die die Echtheit und Integrität des DPP garantieren, um Fälschungen und betrügerische Angaben zu verhindern.

Morphologische Matrix

	Merkmal	Leistungsklassen				
Connectivity	Auflösung	Bei Bedarf	Batch	Echtzeit		
	Vernetzung	one2one	one2many	many2many		
	Datenrate	Niedrig (kB/s)	Mittel (MB/s)	Hoch (GB/s)		
Data Processing	Rechenleistung	Am Objekt	Am Standort (Edge)	In der Cloud		
	Digitalisierung	Modellierung	Simulation			
Process Execution	Control	Information	Event	Selbststeuernd		
	Optimierung	Von extern	Selbst			
Traceability	Identifikation	Produkt	Modul	Bauteil		
	Lokalisierung	Global	Areal	Gebäude	Raum	Arbeitsplatz
Serviceability	Sensorik	Einzelsensor	Sensor-Cluster	Vernetzte Sensorik		
	Teilprozess	Entwicklung	Produktion	Distribution	Nutzung	Recycling

[7] Die ECLASS-Produktklasse für elektrische Antriebe ist die 27-02.

6 Geschäftsmodelle und Wertschöpfungskette Antrieb 2035

Elektrische Antriebe stehen in den nächsten Jahren nicht nur vor technologischen Transformationen, sondern werden auch tiefgreifenden Veränderungen in den zugrundeliegenden Geschäftsmodellen erfahren. Abbildung 1 fasst die wesentlichen, heute bereits sichtbaren Entwicklungen anschaulich zusammen.

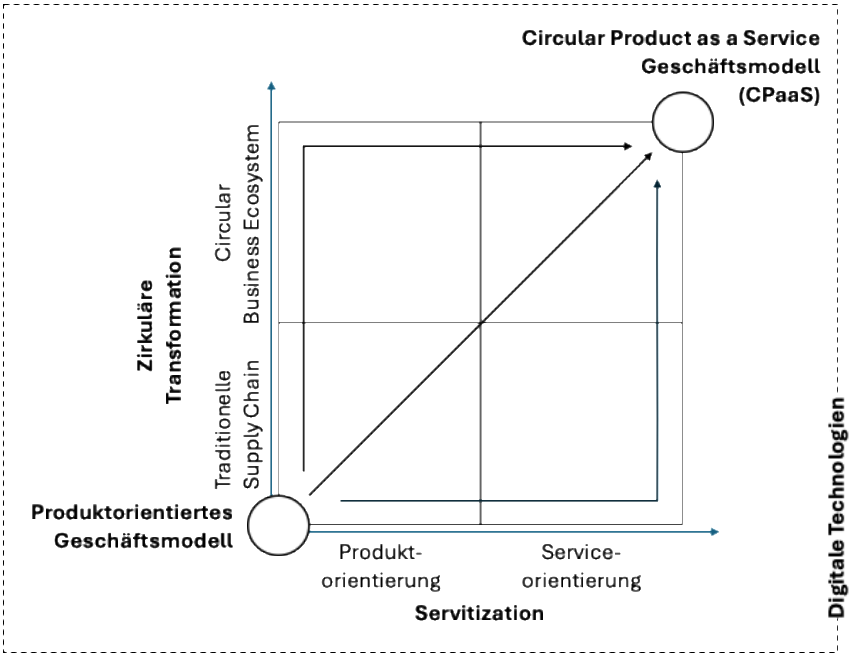


Abbildung 1: Transformationsprozess von produktorientierten zum CPaaS-Geschäftsmodell. Bildquelle: Eigene Darstellung.

Ausgangspunkt ist das traditionelle Geschäftsmodell, bei dem elektrische Antriebe als Produkte vermarktet werden. Das Produkt selbst ist der Werteträger, zusätzliche Mehrwertdienstleistungen wie z. B. Ersatzteilversorgung, Wartung und Beratung ergänzen das Angebot. Den Endpunkt der Entwicklung bildet das Circular-Product-as-a-Service (CPaaS)-Geschäftsmodell, bei dem ein für zirkuläre Wertschöpfungsprozesse gestaltetes Produkt als Service vermarktet wird. Abbildung 1 zeigt mit Servitization einerseits und zirkulärer Transformation andererseits zwei sich ergänzende Entwicklungen auf.

Nach rechts dargestellt ist der im Maschinen- und Anlagenbau zunehmend fortschreitende Servitization-Prozess. In Produkt-Service-Systemen tritt das Produkt zunehmend in den Hintergrund, der Service rückt in den Fokus. Die Differenzierung gegenüber dem Wettbewerb erfolgt zunehmend über Dienstleistungen. Für Services werden traditionelle Versorgungsketten für physische Produkte um Business Ecosystems erweitert und bilden so ein größeres Ganzes. Product-as-a-Service (PaaS)-Geschäftsmodelle markieren hier den Endpunkt der Entwicklung. Die Governance innerhalb des Wertschöpfungssystems liegt beim Serviceanbieter. Die Rolle des Serviceanbieters kann hierbei vom Antriebshersteller selbst oder aber auch von einem Partnerunternehmen im Wertschöpfungsnetzwerk übernommen werden.

Nach oben ist die zirkuläre Transformation dargestellt. Hier geht es primär darum, traditionelle, linear ausgerichtete und nach dem „take, make, waste“-Prinzip funktionierende Versorgungsketten in kreislaufartige Strukturen zu verwandeln. Die Differenzierung gegenüber dem Wettbewerb erfolgt hierbei über die Steigerung der ökologischen Nachhaltigkeit einerseits und die Erhöhung der Resilienz der Wertschöpfungssysteme, insbesondere im Hinblick auf die Sicherstellung der Materialverfügbarkeit, andererseits. Um traditionelle Versorgungsketten zu Kreisläufen zu schließen, werden ebenfalls Business Ecosystems benötigt, in denen unterschiedliche R-Strategien wie z. B. Repair, Refurbishment und Remanufacturing umgesetzt werden können. Die Governance des so erweiterten Wertschöpfungssystems verbleibt hierbei zunächst beim Produkthersteller selbst, kann allerdings auch hier durch einen weiteren Partner im Business Ecosystem übernommen werden.

Aus Abbildung 1 wird deutlich, dass digitale Technologien als Enabler für Servitization und Nachhaltigkeitstransformation verstanden werden müssen. Smarte Produkte, unternehmensübergreifende Datenräume, moderne Mobilkommunikationstechnologien wie 5G oder 6G für die Realisierung von Konnektivität und KI spielen eine wesentliche Rolle für den Aufbau von Datenökosystemen, in denen unterschiedliche Akteure des Business Ecosystems datengetriebene Lösungen für das Design, die Implementierung, den Betrieb und

die Optimierung von CPaaS-Lösungen entwickeln und anbieten können. Der DPP mit seinen statischen, durch den Produkthersteller vorgegebenen Informationen und dynamischen, im Laufe des Produktlebenszyklus in unterschiedlichen Kontexten entstehenden Daten, kann hierbei als die Komponente des Gesamtsystems verstanden, welche die einzelnen Akteure miteinander verbindet. Die einzelnen Bausteine für das digitale Ökosystem stehen teilweise bereits zur Verfügung beziehungsweise werden im Forschungsprogramm Manufacturing X der Bundesregierung entwickelt [8].

Vier Gründe sprechen für die Transformation des PaaS- in das CPaaS-Geschäftsmodell:

- **Kosteneinsparung:** Die Reduktion des Einsatzes natürlich vorkommender Ressourcen und die damit verbundene deutlich geringere Anfälligkeit gegenüber möglichen Ressourcenengpässen reduzieren Kosten im Wertschöpfungsprozess.
- **Minderung des CO_2-Fußabdrucks:** Die mit der Implementierung der Circular Economy verbundene zusätzliche Reduktion des CO_2-Fußabdrucks hilft bei der Erreichung von Klimazielen und reduziert die Abhängigkeit von Carbon Credits.
- **Resilienz:** Die mit der Circular Economy verbundene höhere Materialverfügbarkeit reduziert die Abhängigkeit von Unternehmen mit besserem Zugriff auf natürliche Ressourcen und steigert damit die Resilienz von Supply Chains.
- **Wertschöpfungspotenziale:** Serviceorientierte und zirkuläre Geschäftsmodelle können zusätzliche Wertschöpfungspotenziale eröffnen, deren konkrete wirtschaftliche Bedeutung vom jeweiligen Unternehmen, Marktumfeld und Angebot abhängt.

Die Transformationspfade vom PaaS-Geschäftsmodell hin zur CPaaS-Lösung können sehr unterschiedlich sein. Zum einen besteht die Möglichkeit, das produktbezogene Geschäftsmodell in einem ersten Schritt um Aspekte der Circular Economy zu ergänzen und erst in einem zweiten Schritt das PaaS-Geschäftsmodell umzusetzen. Zum zweiten können Unternehmen zunächst einen Schritt in Richtung PaaS gehen und sich auf dieser Basis in einem zweiten Schritt in Richtung Circular Economy bewegen. Drittens besteht die Möglichkeit, beide Transformationen gleichzeitig anzugehen. Welche Variante im Einzelfall geeignet ist, hängt von der jeweiligen Unternehmensstrategie, dem Produktportfolio, dem Marktumfeld und den verfügbaren Ressourcen ab. Eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg des Transformationsprozesses ist allerdings ein Perspektivenwechsel innerhalb der Industrie von einer „inside-out“ zu einer „outside-in“-Logik. Insbesondere der DPP sollte unternehmens- und lebenszyklusübergreifend gedacht werden. In bestimmten Anwendungsfällen kann eine stärkere Serviceorientierung die bisherige Produktorientierung ergänzen. Neben der Weiterentwicklung der Technologie selbst können produktlebenszyklusübergreifende, datengetriebene Geschäftsmodelle unternehmensindividuell und gegebenenfalls in Kooperation mit geeigneten Partnern weiterentwickelt werden.

7 Zusammenfassung

Die elektrische Antriebstechnik befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel. Während im White Paper *Antrieb 2030* vor allem die Digitalisierung und Vernetzung elektrischer Antriebe im Mittelpunkt standen, erweitert *Antrieb 2035* diese Perspektive um die Themen KI, datengetriebene Wertschöpfung, digitale Ökosysteme und Nachhaltigkeit. Viele der im Jahr 2020 formulierten Entwicklungen sind inzwischen Realität oder befinden sich in der industriellen Umsetzung. Gleichzeitig entstehen neue Anforderungen, die die Rolle des elektrischen Antriebs in industriellen Systemen grundlegend verändern.

Die zehn Thesen von *Antrieb 2035* verdeutlichen, dass sich elektrische Antriebe zunehmend von einer einzelnen Hardwarekomponente zu einem intelligenten, softwaredefinierten und vernetzten Systembaustein entwickeln. Cloud- und Edge-Architekturen, interoperable Datenräume, KI-gestützte Engineering- und Serviceprozesse sowie standardisierte Informationsmodelle schaffen die Grundlage für neue Anwendungen, höhere Effizienz und eine engere Integration in digitale Wertschöpfungsnetzwerke. KI wird dabei nicht nur im Betrieb von Antriebssystemen eingesetzt, sondern unterstützt zunehmend Entwicklung, Auslegung, Inbetriebnahme, Optimierung und Service.

Gleichzeitig gewinnen Daten als zentrale Ressource an Bedeutung. Die Fähigkeit, Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg strukturiert bereitzustellen, auszutauschen und auszuwerten, wird zu einem wesentlichen Wettbewerbsfaktor. Offene Schnittstellen, standardisierte Datenmodelle und interoperable Informationssysteme ermöglichen eine stärkere horizontale und vertikale Integration über Unternehmensgrenzen hinweg. Der DPP und die AAS könnten sich dabei zu wichtigen Bausteinen eines durchgängigen digitalen Ökosystems entwickeln.

Neben den technologischen Entwicklungen verändern sich auch die Geschäftsmodelle der Branche. Produktorientierte Ansätze werden zunehmend um digitale Dienstleistungen, datenbasierte Services und serviceorientierte Wertschöpfungsmodelle erweitert. Gleichzeitig gewinnen Aspekte der Kreislaufwirtschaft, Ressourceneffizienz und Resilienz an Bedeutung. Digitale Technologien, KI und standardisierte Produktinformationen bilden die Grundlage für neue Formen der Zusammenarbeit innerhalb industrieller Ökosysteme und ermöglichen langfristig die Entwicklung zirkulärer Geschäftsmodelle bis hin zu CPaaS-Konzepten.

Mit *Antrieb 2035* zeigt der ZVEI-Arbeitskreis *Industrie 4.0 Elektrische Antriebe* mögliche Entwicklungsrichtungen für die kommenden Jahre auf. Die vorgestellten Thesen verstehen sich nicht als Prognosen, sondern als Orientierungsrahmen für Industrie, Wissenschaft und Verbände. Sie sollen dazu beitragen, technologische Entwicklungen zu bewerten, Diskussionen anzuregen und die zukünftige Rolle der elektrischen Antriebstechnik in einer zunehmend digitalen und KI-gestützten Industrie einzuordnen.

Abkürzungen

AAS	Asset Administration Shell (*dt*. Verwaltungsschale)
AR	Augmented Reality (*dt*. erweiterte Realität)
CAD	Computer-Aided Design (*dt*. rechnergestütztes Konstruieren)
CPaaS	Circular-Product-as-a-Service
CRM	Customer Relationship Management (*dt*. Kundenbeziehungsmanagement)
DPP	Digitaler Produktpass (*engl*. Digital Product Passport)
EPA	European Product Act
ERP	Enterprise Resource Planning (dt. Unternehmensressourcenplanung)
HW	Hardware
IDTA	Industrial Digital Twin Association
IIoT	Industrial Internet of Things
IT	Informationstechnologie (*engl*. Information Technology)
KI	Künstliche Intelligenz (*engl*. Artificial Intelligence, AI)
LLM	Large Language Model (*dt*. großes Sprachmodell)
MES	Manufacturing Execution System (*dt*. Produktionsleitsystem)
MR	Mixed Reality (*dt*. gemischte Realität)
OEM	Original Equipment Manufacturer (*dt*. Erstausrüster)
OT	Betriebstechnologie (*engl*. Operational Technology)
PaaS	Product-as-a-Service
PLM	Product Lifecycle Management (*dt*. Produktlebenszyklusmanagement)
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
SCM	Supply Chain Management (*dt*. Lieferkettenmanagement)
SW	Software
TSN	Time-Sensitive Networking
VR	Virtual Reality (*dt*. virtuelle Realität)
XaaS	Anything-as-a-Service

Autoren und Mitwirkende

Das White Paper wurde im ZVEI-Fachbereich Elektrische Antriebe vom Arbeitskreis *Industrie 4.0 Elektrische Antriebe* erarbeitet. Folgende Personen, Unternehmen und Institutionen waren an der Projektgruppe daran beteiligt:

- Bernd Wacker — Siemens AG
- Jürgen Dlugosch — Baumüller Nürnberg GmbH
- Martin Hankel — Bosch Rexroth GmbH
- Michael Burghardt — Danfoss GmbH
- Mikel Aguinarte — Innomotics GmbH
- Dr. Arne Linder — KOLLMORGEN Europe GmbH
- Prof. Dr. Alexander Pflaum — Fraunhofer IIS
- Dr. Maximilian Hausmann — ZVEI e. V.
- Bernhard Sattler — ZVEI e. V.

Kontakt
Dr.-Ing. Maximilian Hausmann • Fachverband Automation • Bereich Industrie
Tel.: +49 69 6302-307 • Mobil: +49 162 2664-925 • E-Mail: Maximilian.Hausmann@zvei.org

Impressum
ZVEI e. V. • Verband der Elektro- und Digitalindustrie • Amelia-Mary-Earhart-Str. 12 • 60549 Frankfurt a. M.
Lobbyregisternr.: R002101 • EU Transparenzregister ID: 94770746469-09 • www.zvei.org

Datum: 22.09.2026