



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

SCALE-UP
E-DRIVE

Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

Hartha, 25. September 2025

Agenda

Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

01	Begrüßung und Sicherheitsunterweisung 09:00 Uhr	04	Kaffeepause 11:00 Uhr
02	Integrierte Antriebssysteme im Überblick 09:30 Uhr	05	Produktionstechnologien im Vergleich 11:30 Uhr
03	Praxiseinblick „Demontage eines E-Antriebs“ 10:15 Uhr	06	Praxiseinblick „Vergleich aktueller Motoren“ 12:15 Uhr
07	Abschlussdiskussion, Feedback und Rundgang 13:30 Uhr		

Agenda

Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

01	Begrüßung und Sicherheitsunterweisung 09:00 Uhr	04	Kaffeepause 11:00 Uhr
02	Integrierte Antriebssysteme im Überblick 09:30 Uhr	05	Produktionstechnologien im Vergleich 11:30 Uhr
03	Praxiseinblick „Demontage eines E-Antriebs“ 10:15 Uhr	06	Praxiseinblick „Vergleich aktueller Motoren“ 12:15 Uhr
07	Abschlussdiskussion, Feedback und Rundgang 13:30 Uhr		

Vernetzungsprojekt ScaleUp eDrive

Transformations-Hub für elektrischer Antriebe

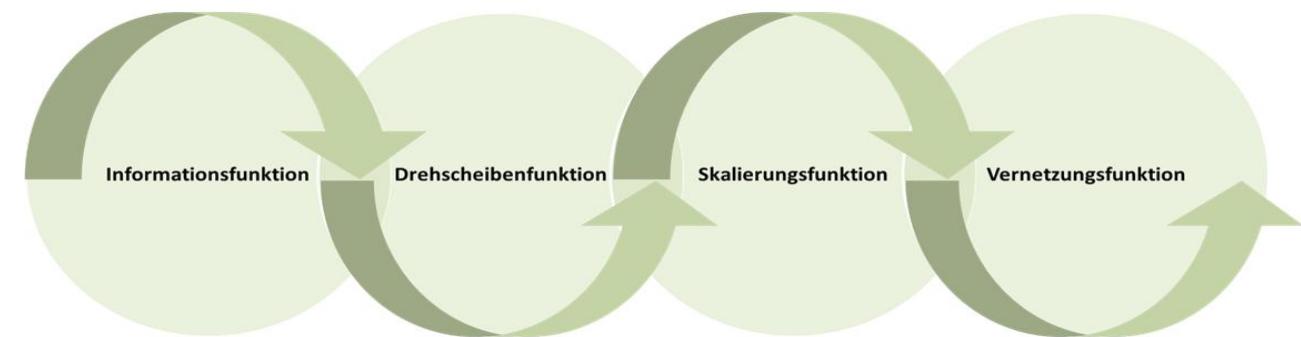
SCALE-UP
E-DRIVE

Herausforderung

- **Bis 2030 werden** in der Automobilindustrie aufgrund der Umstellung weg von verbrennungsmotorischen hin zu elektrischen Antrieben bis zu **200.000 Arbeitsplätze entfallen**.
- Vor allem **kleine und mittelständische Unternehmen** (KMU) mit hohem technologischen Know-How in Spezialanwendungen von Verbrennungskraftmaschinen **drohen bei der laufenden Transformation den Anschluss zu verpassen**.
- Es gilt insbesondere **KMU** durch die Aktivitäten des Hubs **zielgerichtet** bei der Transformation zu **unterstützen**.

Lösungsansätze & Ziele

- **Übergeordnetes Ziel** des Transformationshubs ScaleUp eDrive ist es, aktuelle Trends und Brancheninformationen aufzubereiten und sie den Akteuren der Value Chain elektrischer Antriebe zugänglich zu machen.
- **Aufgabe des PEM** ist es **wesentliche Erkenntnisse** aus Industrie und Forschung **für ein breites Publikum aufzubereiten** und interaktiv und praxisorientiert zu vermitteln
- Zusätzlich werden in **innovativen Formaten** neue und bestehende **Akteure der Wertschöpfungskette vernetzt** und zentrale Fragestellungen gemeinsam adressiert



Projektpartner



SCALE-UP
E-DRIVE

Zuwendungsgeber

BMWK

Laufzeit

01.01.2023 –
31.12.2025

Projektträger

VDI | VDE | IT

Förderkennzeichen

16THB0006E

Vorstellung Production Engineering of E-Mobility Components (PEM)

Produktionstechnik ist ein Forschungsschwerpunkt der RWTH Aachen



Production Engineering of E-Mobility Components

2014 gegründet

107 Vollzeitstellen: 75 Forschende, 32 Beschäftigte in Technik & Verwaltung*

130+ studentische Hilfskräfte*

Neuer Hauptstandort im „Avantis European Science and Business Park“

700 m² Büroflächen und 2.000 m² Produktionsfläche

an der RWTH Aachen

1870 gegründet

Höchster Drittmittelanteil in Deutschland

Eine von 11 Exzellenzuniversitäten

10.250 Beschäftigte**, 47.269 Studierende***

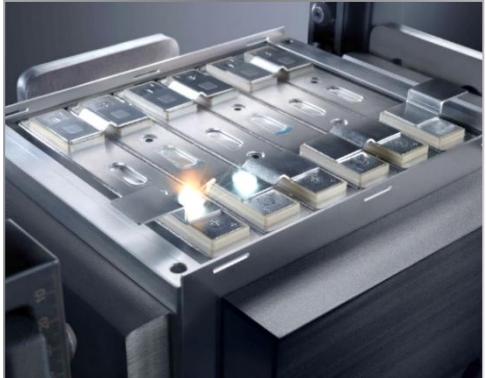
70+ Institute im Maschinenbau

*Stand: September 2022; **offizielle Statistik 2021; ***Stand: Wintersemester 2021/2022

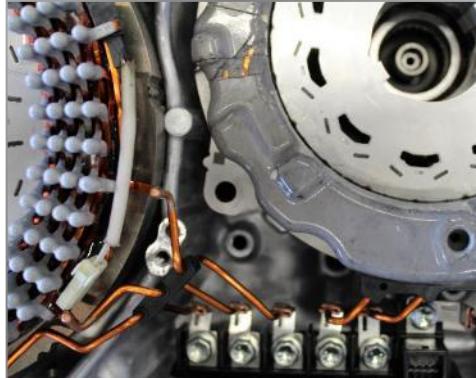
Vorstellung Production Engineering of E-Mobility Components (PEM)

Unsere Kernbereiche

Schlüsselkomponenten



Batterie



Elektroantrieb



Brennstoffzelle

Integration



Nutzfahrzeuge

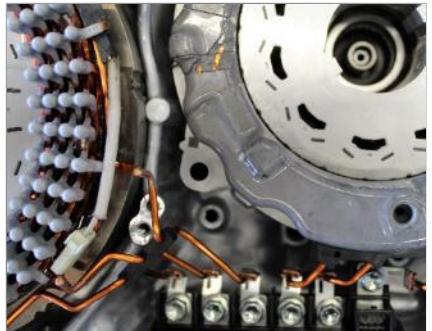
Wir entwickeln wegweisende **Produkte** zur nachhaltigen Herstellung elektrifizierter Antriebsstränge



Wir konzentrieren uns auf **Produktionsprozesse** und **Innovationen** für eine kosteneffiziente Realisierung dieser Produkte

Vorstellung Production Engineering of E-Mobility Components (PEM)

Unser Kernbereich „Elektroantrieb“



Elektroantrieb

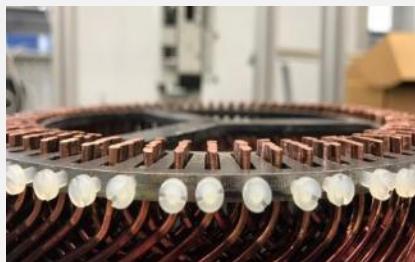


SCALE-UP
E-DRIVE

Unsere langfristige Mission

Wir leisten einen Beitrag zur **wirtschaftlichen, variantenflexiblen, zukunftsgewandten und nachhaltigen Produktion des elektrischen Antriebs** und untersuchen **Fragestellungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette** – vom **Halbzeug** bis hin zum **fertigen Antrieb** und vom **Einzelprozess** bis hin zur ganzheitlichen Betrachtung **prozessübergreifender Wirkzusammenhänge**.

Unsere Schwerpunktaktivitäten in der Gruppe „Electric Drive Production“



Prototyping von Rotoren und Statoren

- Aufbau von Statoren und Rotoren als Funktionsmuster in kleinen Stückzahlen
- Prozessentwicklung und -umsetzung und Testing im Laborumfeld



Machbarkeitsstudien & Validierung

- Parameterentwicklung und Versuchsdurchführung
- Vergleich von Einzelkomponenten und -prozessen mit aktuellen am Markt verfügbaren Produkten



Produktionsplanung und -optimierung

- Produktions(konzept)planung & Anforderungsmanagement
- Prozess- und Layoutplanung
- Kostenanalyse und -planung
- Wertschöpfungsanalysen



Anlaufsupport & Ursachenanalyse

- Lieferantenmanagement
- Trouble Shooting, Fehlerursachen- und Interdependenzenanalysen
- Koordination von Anlagenumbauten

Agenda

Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

01	Begrüßung und Sicherheitsunterweisung 09:00 Uhr	04	Kaffeepause 11:00 Uhr
02	Integrierte Antriebssysteme im Überblick 09:30 Uhr	05	Produktionstechnologien im Vergleich 11:30 Uhr
03	Praxiseinblick „Demontage eines E-Antriebs“ 10:15 Uhr	06	Praxiseinblick „Vergleich aktueller Motoren“ 12:15 Uhr
07	Abschlussdiskussion, Feedback und Rundgang 13:30 Uhr		



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

SCALE-UP
E-DRIVE

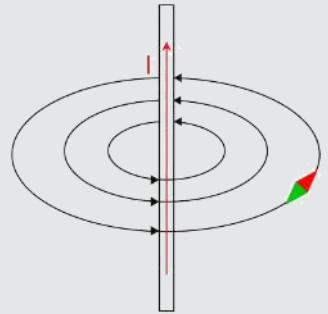
Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

Integrierte Antriebssysteme im Überblick

Hartha, 25. September 2025

Grundlagen des Elektromagnetismus

Stromdurchflossener Leiter



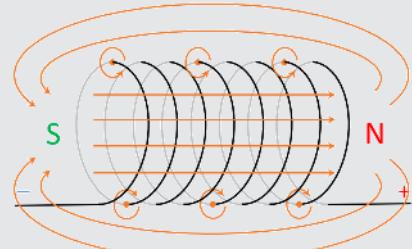
$$B = \mu_0 \frac{1}{2\pi r} * I$$



Stromdurchflossener Leiter

- Fließt Strom durch einen Leiter, bildet sich ein konzentrisches Magnetfeld um den Leiter
- Da Magnetfeldlinien in konzentrischen Kreisen um den Leiter verlaufen, weisen sie keinen Pol auf
- Magnetische Flussdichte B ist direkt proportional mit Stromstärke im Leiter I und wird vom Material über die magnetische Feldkonstante μ beeinflusst

Magnetfeld einer Leiterspule



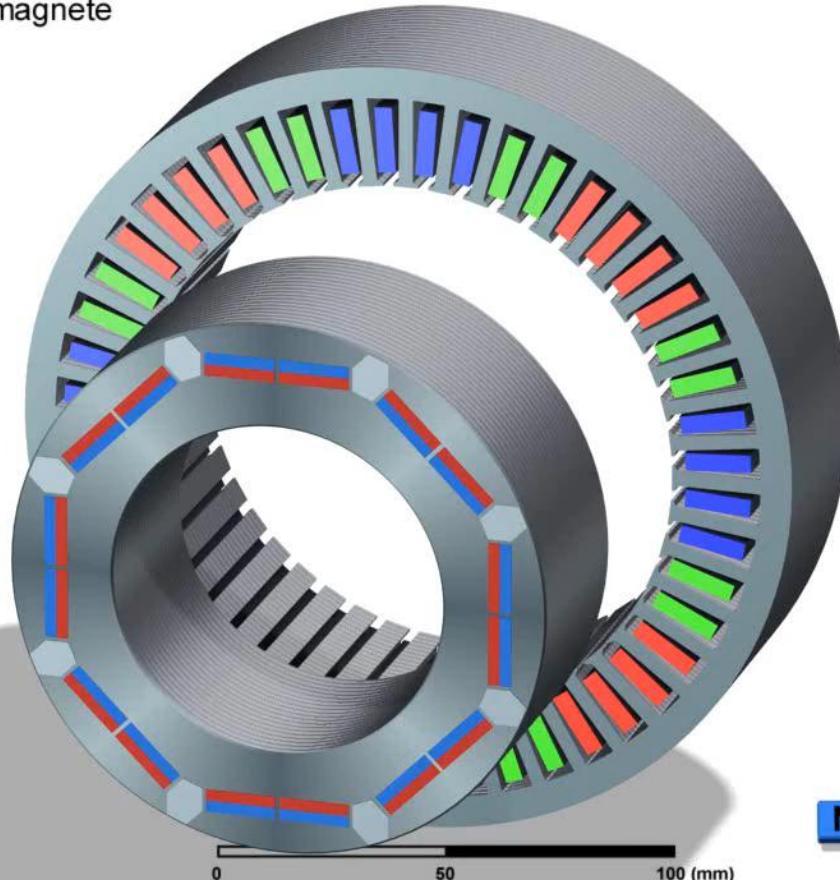
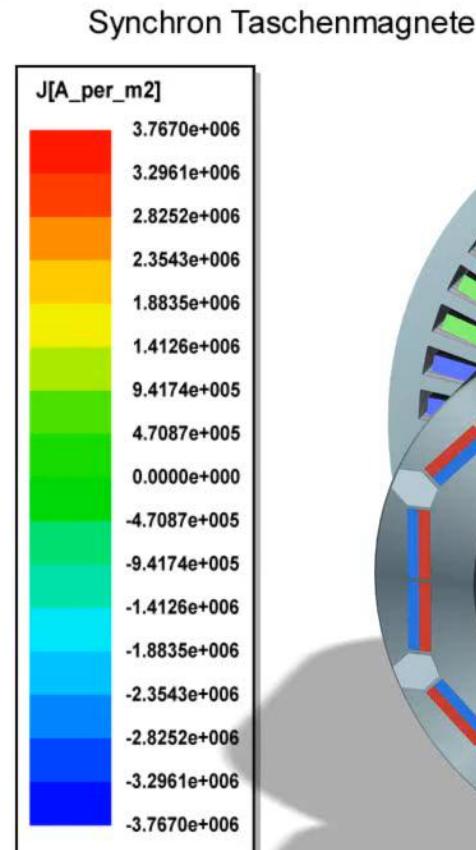
$$B = \mu_0 \frac{I * N}{l}$$



Magnetisches Feld einer Leiterspule

- Durch kreisförmige Anordnung des Leiters können Feldlinien gelenkt werden, sodass sich Pole ausbilden
- Flussdichte B steigt mit der Windungsdichte n an, die von der Windungszahl N über die Länge der Spule l bestimmt wird

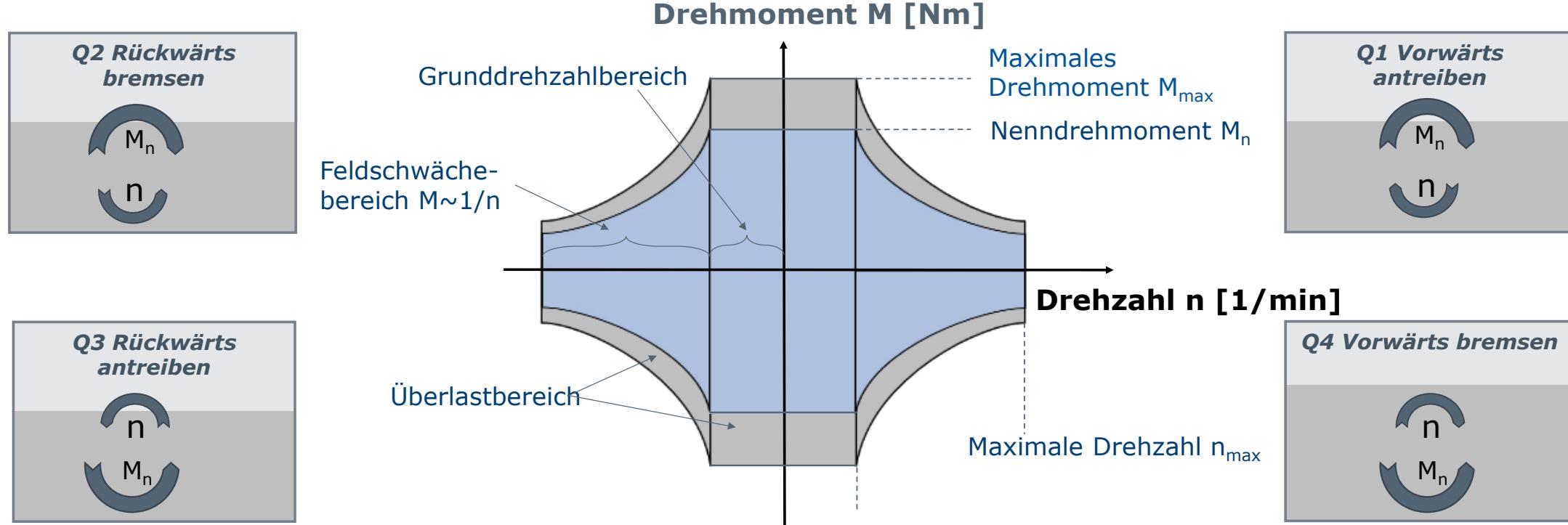
Funktionsweise eines permanenterregten Synchronmotors



Videoquelle: Kessler

Bewegungsrichtung: Vorwärts und Rückwärts

Aus den vier Quadranten ergeben sich verschiedene Betriebsmodi elektrischer Maschinen



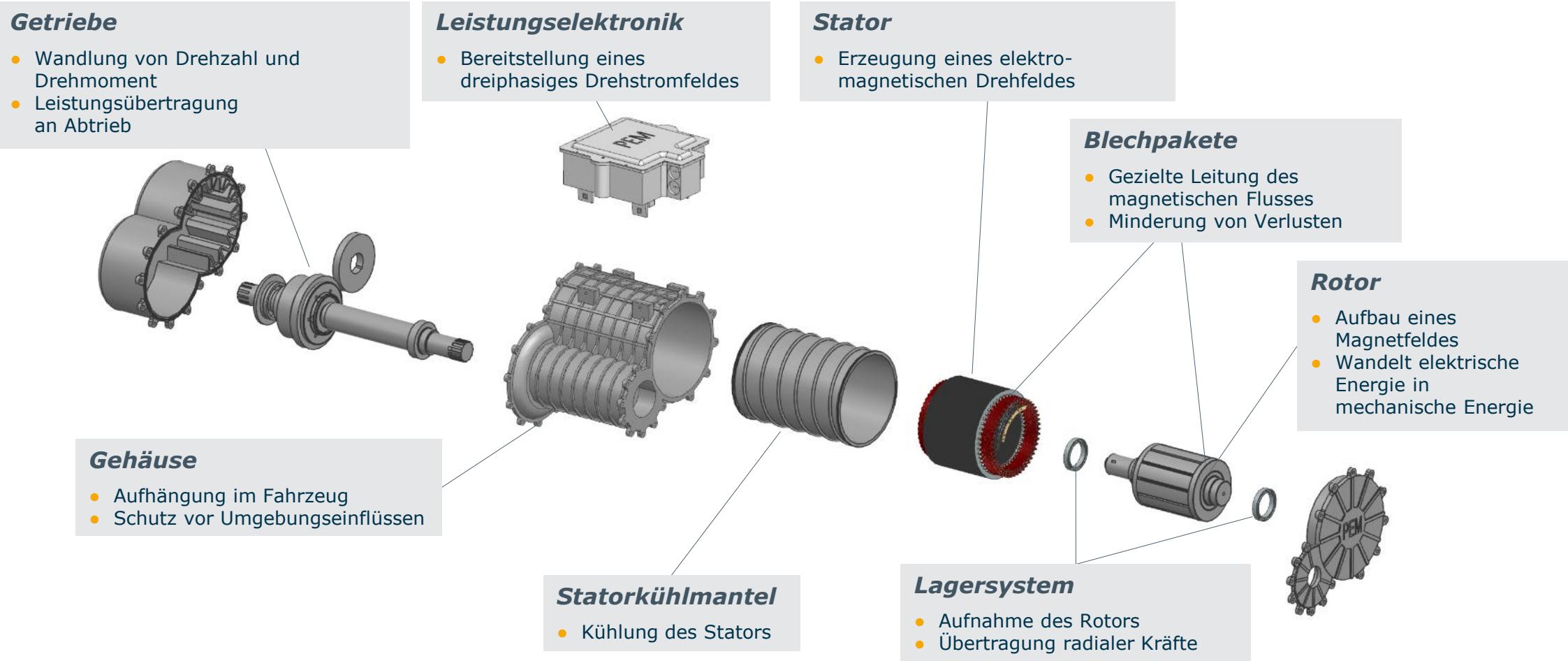
Verschiedene Betriebsarten führen zur Steuerung von Fahrtrichtung, Geschwindigkeitsänderung und Bremsung durch Umpolung. Für die Rückwärtsfahrt ist somit kein schaltbares Getriebe erforderlich.

Quelle: Eckstein L.: Longitudinal Dynamics of Vehicles, 2014

Relevante Motortopologien im Kontext der Elektromobilität

SCALE-UP
E-DRIVE

Generische Produktarchitektur und Funktion eines Elektromotors



Der Rotor ist die differenzierende Baugruppe des Elektromotors

Permanenterregter Synchronmotor



- Vorteile in Effizienz und Leistungsdichte gegenüber ASM und FSM bei höheren Kosten
- Geringer Bauraum befähigt zur Anwendung in Hybridfahrzeugen

Asynchronmotor



- Vollst. abschaltbar (im Gegensatz zu PSM) macht „Segeln“ energieeffizient möglich, da Schleppverluste entfallen
- Geringere Einzelkosten als PSM/FSM

Fremderregter Synchronmotor



- Aufgrund der geringen Kosten und der einfachen Konstruktion besonders geeignet für die Anwendung in kostenempfindlichen Fahrzeugklassen

Synchronreluktanzmotor



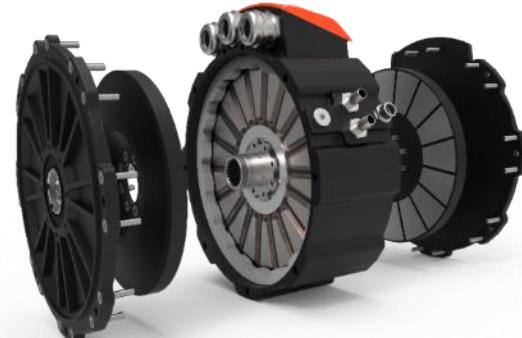
- Rotor ohne Kupfer oder Permanentmagnete ist kostengünstig herstellbar
- Kein Rastmoment
- Robust gegenüber hohen Temperaturen
- Wirkprinzip wird oft mit klassischer PSM kombiniert

Geschalteter Reluktanzmotor



- Rotordesign ermöglicht hohe Drehzahlen
- Kostengünstige und unkomplizierte Fertigung durch konzentrierte Wicklung und simples Design

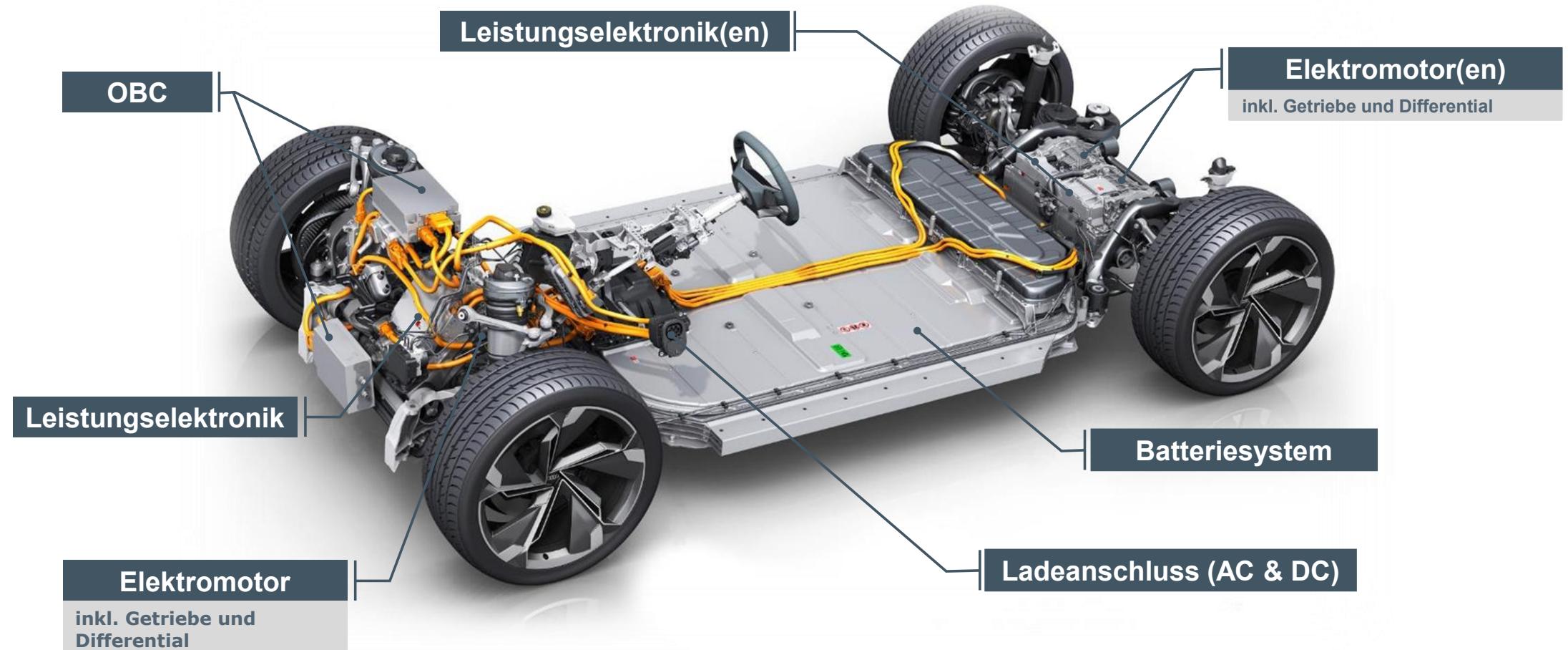
Axialflussmotor



Grundaufbau des elektrischen Antriebsstrangs

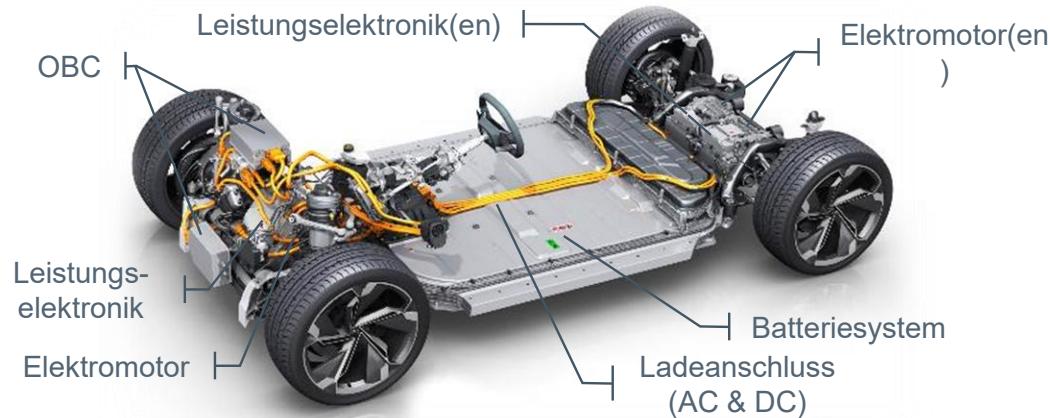
SCALE-UP
E-DRIVE

Beispiele für elektrifizierte Antriebsstränge



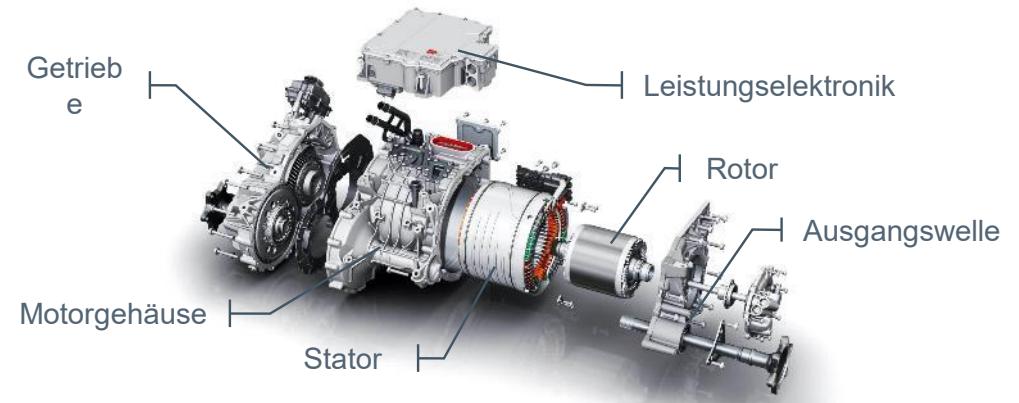
Integrierte Antriebseinheiten als Stand der Technik

Modulare Elektrofahrzeug-Plattformen



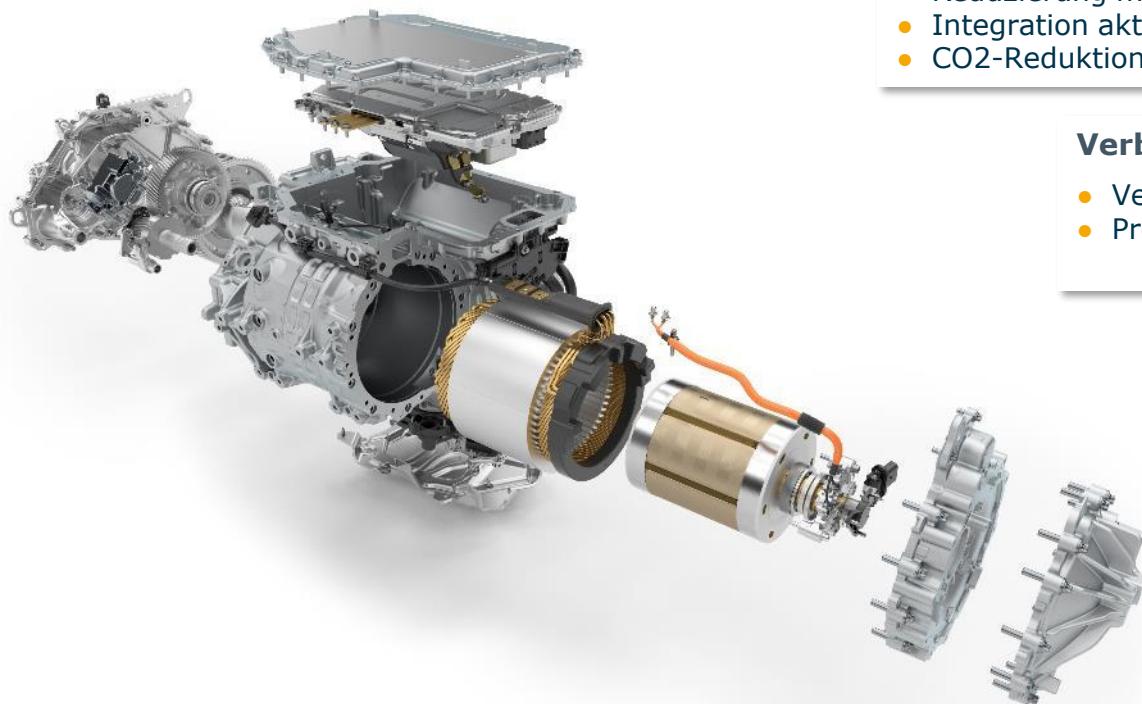
- Strategie zur Senkung von Kosten und Entwicklungszeiten durch Einsatz eines Baukastens für mehrere Fahrzeuge
- Skalierbarkeit und Flexibilität sind die Hauptziele, wobei Motor, Batterie und Radabstand die wichtigsten Variabilitätsfaktoren darstellen
- Beispiele:
 - Volkswagen: MEB
 - GM: Global EV-Plattform
 - Hyundai: E-GMP

Integrierte Antriebsstrangsysteme



- Zentralisierung der verschiedenen Komponenten in einer geometrisch kompakten Einheit
- Trend zur Konzentration von Komponenten innerhalb eines Gehäuses und geschlossenem Antrieb an den Rädern oder Substitution der mechanischen Achse
- Das reduzierte Volumen des integrierten Antriebsstrangs unterstützt den Trend von herkömmlichen Fahrzeugarchitekturen und -eigenschaften zu neuen Fahrzeug- und Mobilitätskonzepten

Ziele der Integration der Komponenten im elektrischen Antriebsstrang



Höhere Effizienz

- Reduzierung mechanischer Komponenten erhöhen die Effizienz des Antriebsstrangs
- Integration aktiver Kühlkreisläufe erhöht die Effizienz des Gesamtsystems
- CO2-Reduktion in der Produktion

Verbesserte Fahreigenschaften

- Verbesserte Fahrdynamik durch Drehmoment-Verteilung (torque vectoring)
- Programmierbare Fahrmodi

Reduzierung von Kosten und Gewicht

- Bauraum- und Gewichtsreduzierung
- Reduzierung des Gewichts des Kabelbaums
- Reduzierte Anzahl von Teilen und Schnittstellen

Höhere Skalierbarkeit und Modularität

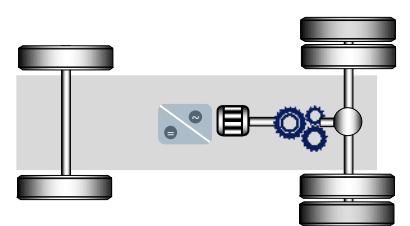
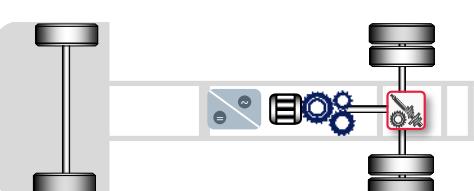
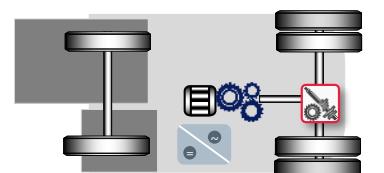
- Mehrfachanwendung
- Reduzierung der Engineering-Durchlaufzeit
- Gestaltungsfreiheit durch Volumenreduzierung

Das reduzierte Volumen des integrierten Antriebsstrangs unterstützt den Wechsel von konventionellen Fahrzeugarchitekturen und -eigenschaften hin zu neuen Fahrzeug- und Mobilitätsanwendungen

Elektrifizierung weiterer Mobilitätsbereiche

SCALE-UP
E-DRIVE

Ähnliche Antriebsstrukturen mit übereinstimmenden Komponenten

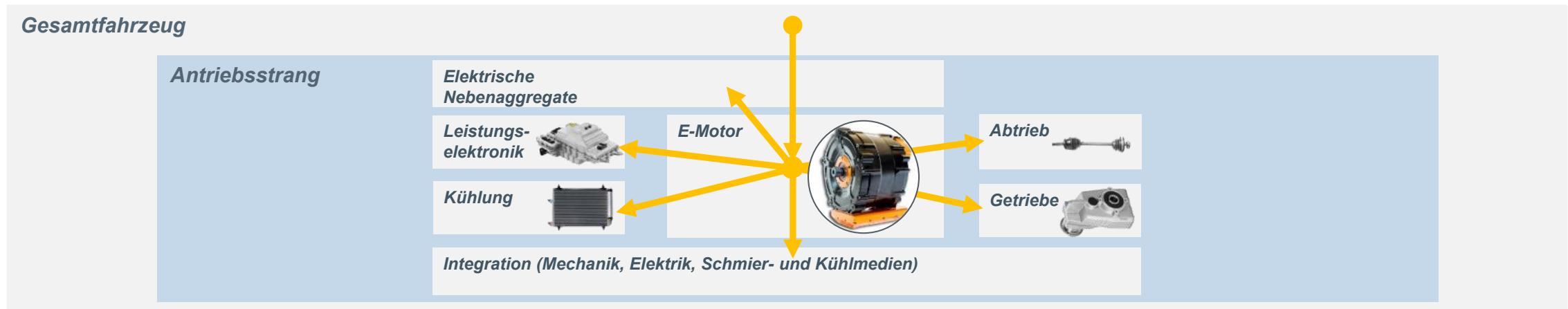
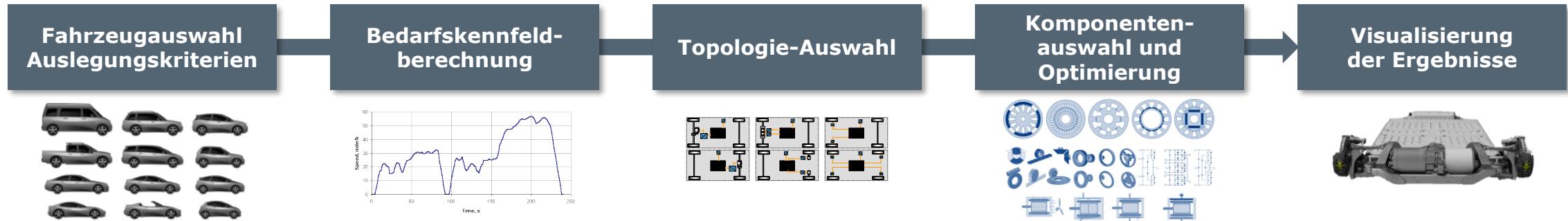
	Sektor	Klasse	Leistungsbereich (kW)	Beispiel
Landwirtschaft z.B.: eTraktor	 	Compact Utility Farm Custom	<45 <100 <350 <850	
Transport z.B.: eTruck	 	>3,5t 7,5t 18t 40t	<90 <200 <300 <500	
Baumaschine z.B.: Bagger	 	6t 10t 10t – 45t >45t	<50 <70 <200 <3000	

Bildquellen: eTraktor, Isuzu, Volvo, alke, TM4, DMS

Gesamtfahrzeugintegration

SCALE-UP
E-DRIVE

Fahrzeugintegration von Elektromotoren



Das reduzierte Volumen des integrierten Antriebsstrangs unterstützt den Wechsel von konventionellen Fahrzeugarchitekturen und -eigenschaften hin zu neuen Fahrzeug- und Mobilitätsanwendungen.

Anforderungen an den elektrischen Antriebsstrang

SCALE-UP
E-DRIVE

Die spezifischen Anforderungen an LKW und PKW unterscheiden sich in vier Dimensionen



Dauerlastfähigkeit

- Bei hoher Fahrzeugmasse Geschwindigkeit am Hang größerer Einfluss auf Leistungsbedarf als Höchstgeschwindigkeit auf ebener Strecke.



Überlastdauer

- Beschleunigungsleistung muss mit steigender Fahrzeugmasse länger bereitgestellt werden, sodass leistungsstärkere Kühlung benötigt wird



Lebensdauer

- Häufiges Ausnutzen der Betriebsgrenzen und erschwerte Betriebsbedingungen reduzieren Lebensdauer der Komponenten



Regelungstechnik & Energiemanagement

- heterogene Fahrmodi mit verschiedenen Energiequellen bedingen regelungs- und konstruktionstechnischen Aufwand



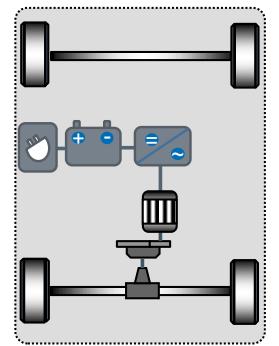
Integration der verschiedenen Antriebsstrangkonfigurationen

Zentralmotor

Einfache Bauweise

Unkomplizierte Integration

Eignet sich vor allem für Umrüstung von konventionellen Antriebssträngen

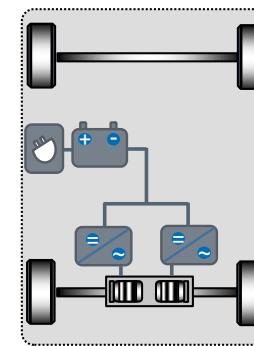


E-Achse: Radnahmotoren

Einzel- oder Doppelmotorvarianten erhältlich

Ressourcen- und kosteneffiziente Entwicklung und Produktion

Vereinfachte Integration durch Purpose Design

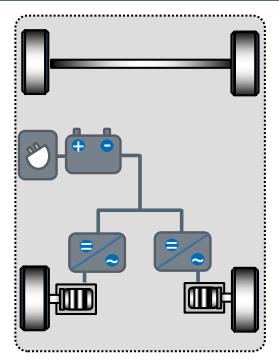


Radnabenmotoren

Dedizierte Motoren für Antriebsräder

Mehr Freiheiten beim Design des Autos

Motoren sind Teil der ungefederten Masse und werden hohen mech. Belastungen ausgesetzt

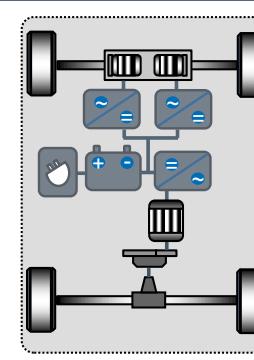


Splitachse

Variable Achslastverteilung mit intelligenter Betriebsstrategie kombiniert

Wahlfreiheit aus mehr als einem Motortyp

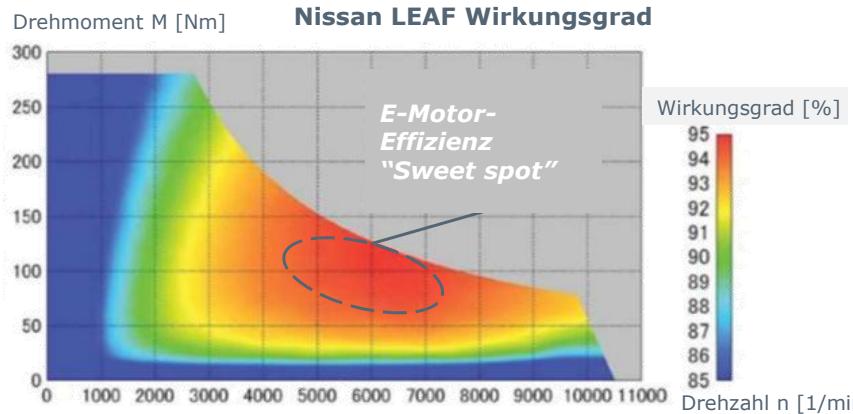
Komplizierte und kostenintensive Integration



Die Wahl aus verschiedenen Topologien bietet zahlreiche Möglichkeiten, einen elektrischen Antriebsstrang auszulegen sowie zu produzieren.

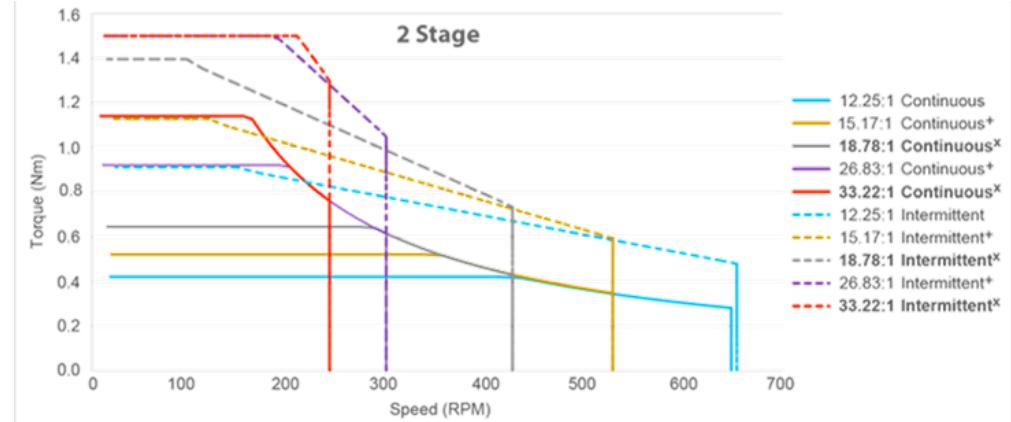
Ziele und Vorteile des Untersetzungsgetriebes

Aufgabe des Untersetzungsgetriebes



- Wirkungsgrad des E-Motors sinkt bei niedrigen sowie hohen Geschwindigkeiten (insb. bei kleinem M / kleinem n ist er ineffizient → Start-Stop-Verkehr bei Stadtfahrten)
- Jeder Motor hat einen "Sweet Spot" (höchster Wirkungsgrad), oft im mittleren Drehmoment- und Drehzahlbereich
- Überdimensionierter Motor zur Kompensation erforderlich

Vorteile des Untersetzungsgetriebes im E-Fahrzeug



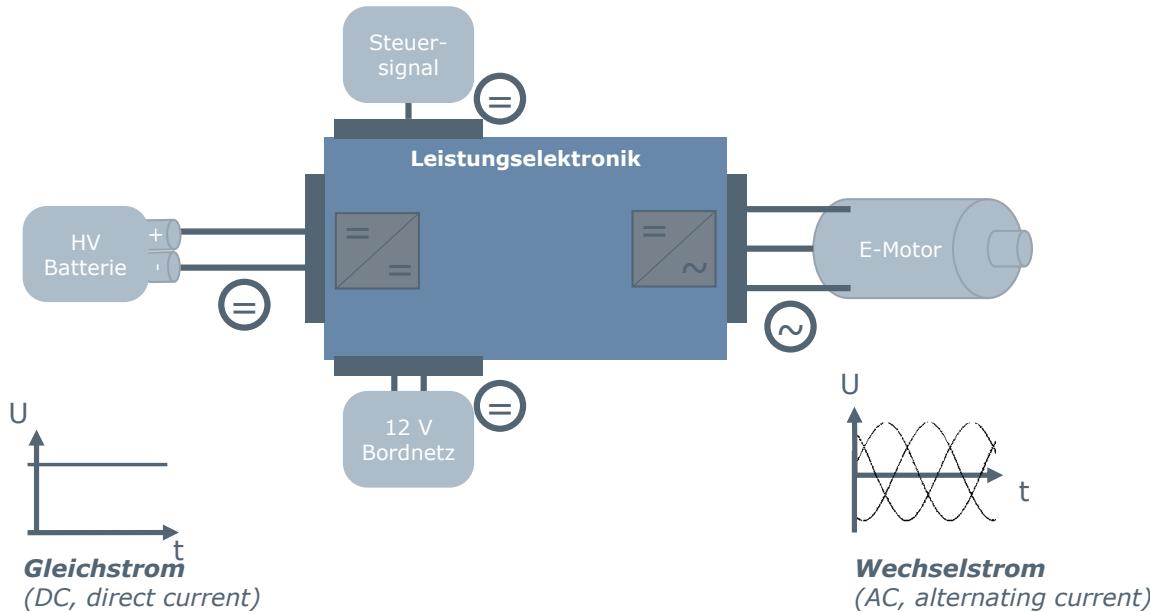
- Durch Untersetzungsgetriebe lassen sich folgende Vorteile realisieren:
 - Sanfterer Start
 - Bessere Steigfähigkeit (besonders gut für Frachtanwendungen)
 - Schnellere Beschleunigung
 - Höhere Geschwindigkeit
 - Bis zu 10% Effizienzsteigerung

Das reduzierte Volumen des integrierten Antriebsstrangs unterstützt den Wechsel von konventionellen Fahrzeugarchitekturen und -eigenschaften hin zu neuen Fahrzeug- und Mobilitätsanwendungen.

Quelle: Motor Design Ltd

Aufbau und Aufgaben der Leistungselektronik

Schematische Darstellung der Einbindung



Hauptaufgaben der Leistungselektronik

- Bereitstellung von Wechselstrom für den E-Motor sowie Bereitstellung eines elektronischen Zwischenkreises (zur Kopplung verschiedener elektrischer Netze)
- Wandlung und Glättung der innerhalb des elektrischen Antriebsstrangs auftretenden Spannungen bzw. Spannungsspitzen
- Kommunikation mit der Fahrzeugsteuerung (Empfang und Umsetzung der Steuersignale)

Wandler innerhalb der Leistungselektronik

- **DC/DC-Wandler (Gleichspannungswandler)**
Elektrisches Bauteil, das die Gleichspannung der Batterie in eine Gleichspannung mit verändertem Spannungsniveau (höher oder niedriger) für das interne 12V-Bordnetz umwandelt
- **DC/AC-Wandler (Wechselrichter)**
Elektrisches Bauteil, das die Gleichspannung der HV-Batterie in eine dreiphasige Wechselspannung umwandelt, die je nach empfangenen Steuersignalen unterschiedlich ausgeprägt sein kann

Das reduzierte Volumen des integrierten Antriebsstrangs unterstützt den Wechsel von konventionellen Fahrzeugarchitekturen und -eigenschaften hin zu neuen Fahrzeug- und Mobilitätsanwendungen.

Quelle: Emadi 2005 (Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives); Querom 2020 (Leistungselektronik im Elektroauto)



Danke für ihre Aufmerksamkeit!

Hartha, 25. September 2025



M.Sc., M.Sc.
David Drexler



+49 (0) 152 21 730752



d.drexler@pem.rwth-aachen.de

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**SCALE-UP
E-DRIVE**



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

SCALE-UP
E-DRIVE

Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha Kühlsystemen in elektrischen Antrieben

Hartha, 25. September 2025

Notwendigkeit von Kühlsystemen in elektrischen Antrieben



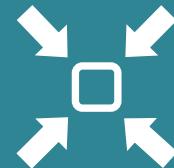
Verbesserung der Spitzenleistung

Die Spitzen- und **Dauerleistung** von Motoren wird durch die **thermische Belastbarkeit** verschiedener Motorkomponenten **begrenzt**. **Erhöhte Motortemperaturen** führen zum Beispiel zu einem **vorzeitigen Ausfall** der Isolationssysteme.



Wirkungsgrad des Motors

Der **elektrische Widerstand** von **Kupfer** hat einen **positiven Temperaturkoeffizienten**, d. h. je **höher** die **Motortemperatur**, desto **höher** der **Wicklungswiderstand** und desto **geringer** der **Wirkungsgrad** des **Motors**.



Downsizing

Eine **Verkleinerung** des Motoreinbauraums bei gleicher Ausgangsleistung führt zu einer **kleineren Oberfläche**, die für die Wärmeabfuhr zur Verfügung steht, und **erfordert daher ein leistungsfähigeres Kühlsystem**.

Ein **effizientes Kühlsystem** bildet die Grundlage für **leistungsstarke, effiziente** und **kostenreduzierte Elektromotoren**.

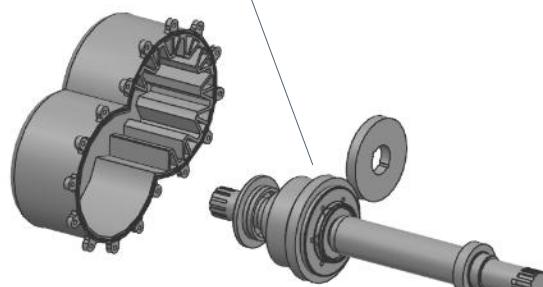
Relevante Motortopologien im Kontext der Elektromobilität

SCALE-UP
E-DRIVE

Generische Produktarchitektur und Funktion eines Elektromotors

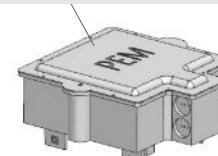
Getriebe

- Wandlung von Drehzahl und Drehmoment
- Leistungsübertragung an Abtrieb



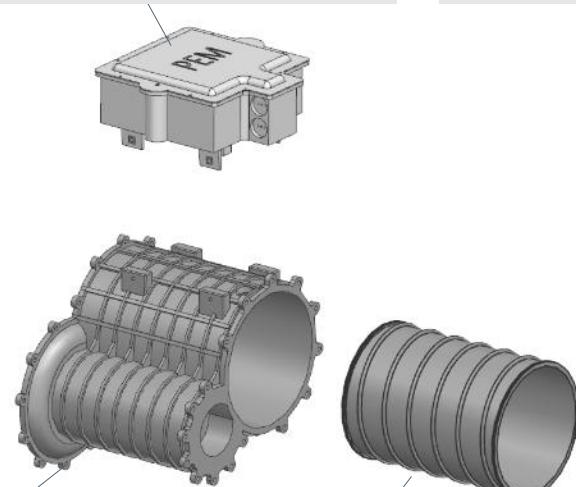
Leistungselektronik

- Bereitstellung eines dreiphasiges Drehstromfeldes



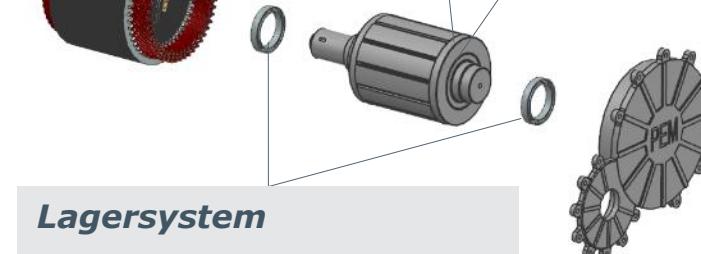
Stator

- Erzeugung eines elektromagnetischen Drehfeldes



Blechpakete

- Gezielte Leitung des magnetischen Flusses
- Minderung von Verlusten



Gehäuse

- Aufhängung im Fahrzeug
- Schutz vor Umgebungseinflüssen

Statorkühlmantel

- Kühlung des Stators

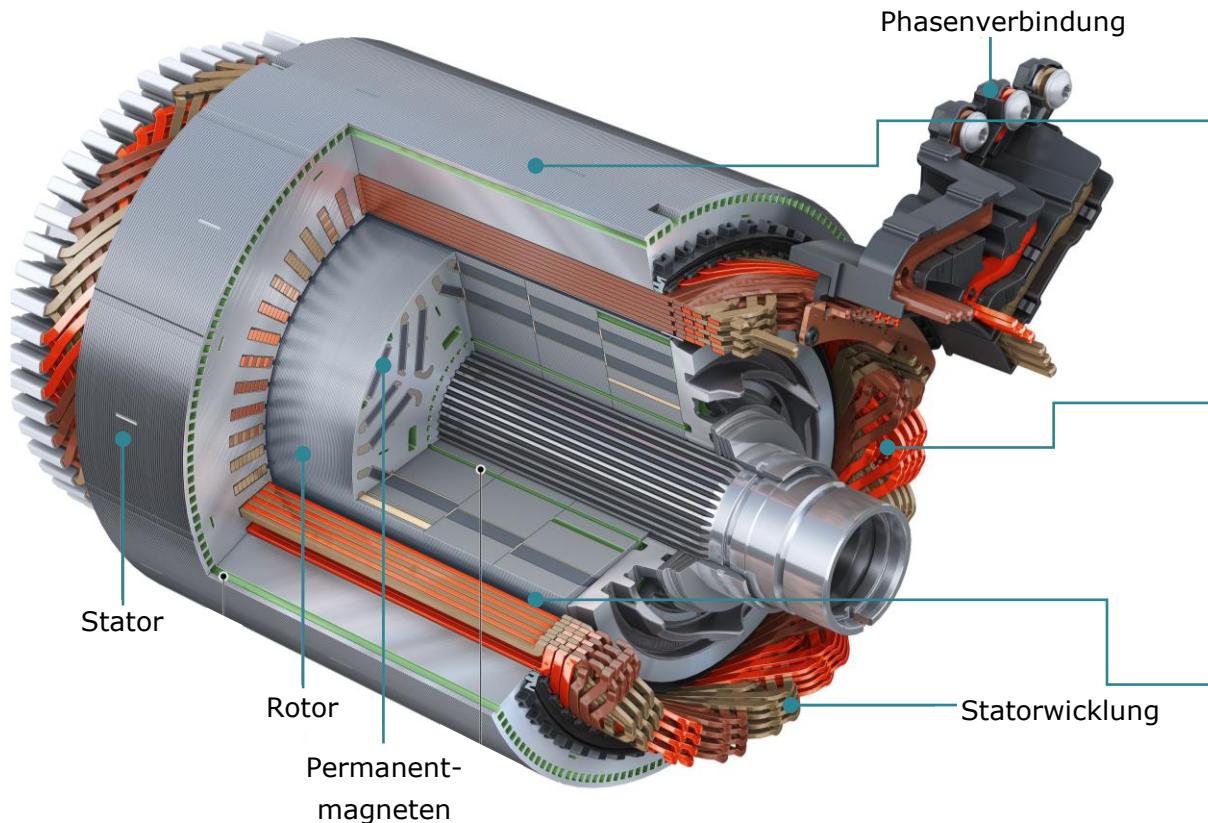
Rotor

- Aufbau eines Magnetfeldes
- Wandelt elektrische Energie in mechanische Energie

Lagersystem

- Aufnahme des Rotors
- Übertragung radikal Kräfte

Wärmequellen in elektrischen Traktionsantrieben



Eisenverluste

- Treten in den Statorlamellen auf und sind von der Drehzahl abhängig
- Unterteilt in Hysterese, Wirbelstrom und zusätzliche Verluste
- Erzeugen von Wärme in den allen gebleachten Komponenten

Ohmsche Verluste

- Treten in den stromführenden Leitern aufgrund ihres elektrischen Widerstands auf
- Abhängig von dem spezifischen elektrischen Widerstand des Materials, der Länge und der Querschnittsfläche

Zusätzliche Verluste

- Reibungsverluste in den Lagern zur Aufnahme der Rotorwelle
- Belüftungsverluste im Luftspalt
- Abhängig von der Drehzahl sowie der Form des Rotors

Da **ein erheblicher Teil** der **Motorverluste** auf die **Statorwicklungen** entfällt, ist eine **effektive Kühlung** der Wicklung für den **effizienten** Betrieb von **Elektromotoren** **entscheidend**.

Quelle: Audi Mediacenter

Aktuelle Statorkühlkonzepte

SCALE-UP
E-DRIVE

Meistverkauftes BEV in Europa, USA und China in Q1 2025

Europa 

Modell	Stückzahl in Q1 2025
Tesla Model Y	15.164
Tesla Model 3	12.500
VW ID.4	7.675
VW ID.7	7.438
Kia EV3	7.173
Renault 5	6.996
Skoda Enyaq	6.865
VW ID.3	6.384
BMW iX1	6.126
Audi Q6 e-tron	5.701

Quelle: pwc; JATO; CARSCOOPS

China 

Modell	Stückzahl in Q1 2025
Geely (Geome) Xingyuan	89.215
Wuling Hongguang EV	86.946
Tesla Model Y	81.889
BYD-Möwe	79.094
Xiaomi SU7	75.869
Tesla Model 3	52.718
Xpeng Mona M03	47.130
Geely Panda	42.792
BYD Yuan Plus	39.839
Wuling Bingo	38.228

USA 

Modell	Stückzahl in Q1 2025
Tesla Model Y	64.051
Tesla Model 3	52.520
Ford Mustang Mach-E	11.607
Chevrolet Equinox	10.329
Honda Prolog	9.561
Hyundai IONIQ 5	8.611
VW ID.4	7.663
Ford F-150 Lightning	7.187
BMW i4	7.125
Tesla Cybertruck	6.406

Aktuelle Statorkühlkonzepte

SCALE-UP
E-DRIVE

Meistverkauftes BEV in Europa, USA und China in Q1 2025

Europa 

Modell	Stückzahl in Q1 2025
Tesla Model Y	15.164
Tesla Model 3	12.500
VW ID.4	7.675
VW ID.7	6.558
Kia EV3	6.558
Renault	6.558
Skoda Enyaq	6.865
VW ID.3	6.384
BMW iX1	6.126
Audi Q6 e-tron	5.701

Quelle: pwc; JATO; CARSCOOPS

China 

Modell	Stückzahl in Q1 2025
Geely (Geome) Xingyuan	89.215
Wuling Hongguang EV	86.946
Tesla Model Y	81.889
Tesla Model S	32.718
Xpeng Mona M03	47.130
Geely Panda	42.792
BYD Yuan Plus	39.839
Wuling Bingo	38.228

USA 

Modell	Stückzahl in Q1 2025
Tesla Model Y	64.051
Tesla Model 3	52.520
Ford Mustang Mach-E	11.607
Ford F-150 Lightning	10.329
Hyundai IONIQ5	9.561
VW ID.4	8.611
VW ID.3	7.663
Ford F-150 Lightning	7.187
BMW i4	7.125
Tesla Cybertruck	6.406

Welche Statorkühlkonzepte werden in den meistverkauften BEVs in Europa, China und den USA im Q1 2025 eingesetzt?

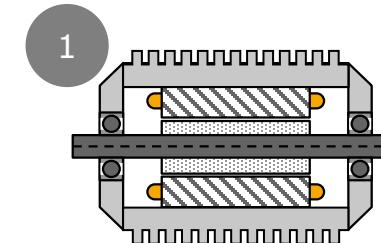
Aktuelle Statorkühlkonzepte

Luftgekühltes Statorgehäuse

Beschreibung der Technologie

- Das Gehäuse ist mit einer Rippenstruktur entlang des gesamten Mantels ausgestattet
- Zwischen benachbarten Rippen werden Luftkanäle gebildet, durch die die Umgebungsluft strömt
- Die Wärme des Motors wird über die Kühlrippen an die Umgebung abgeleitet

Schematische Skizze der Technologievarianten



Finn-Struktur
am Gehäuse

Qualitative Bewertung¹

Leistung der Kühlung	1	2	3	4	5
Betriebskosten	1	2	3	4	5
Produktionskosten	1	2	3	4	5
Technischer Integrationsaufwand	1	2	3	4	5

1 - 1 = niedrig / 5 = hoch;

Produktbeispiele



Wuling Hong Guang Mini EV

Aktuelle Statorkühlkonzepte

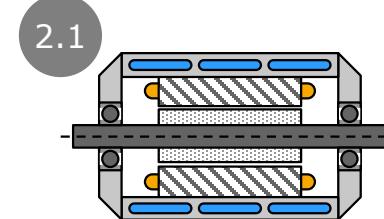
SCALE-UP
E-DRIVE

Wassermantelkühlung

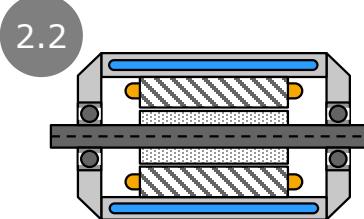
Beschreibung der Technologie

- Gehäuse oder ein separater Kühlmantel ist mit Kühlkanälen ausgestattet
- Kühlmittel fließt durch Kanäle und absorbiert die von der Wicklung auf das Blechpaket übertragene Wärme
- Kühlkanäle verlaufen spiralförmig oder axial um den Stator

Schematische Skizze der Technologievarianten



Spiralförmige
Kühlkanäle



Axiale
Kühlkanäle

Qualitative Bewertung¹

Leistung der Kühlung	1	2	3	4	5
Betriebskosten	1	2	3	4	5
Produktionskosten	1	2	3	4	5
Technischer Integrationsaufwand	1	2	3	4	5

Produktbeispiele



VW ID.3 (APP310)²

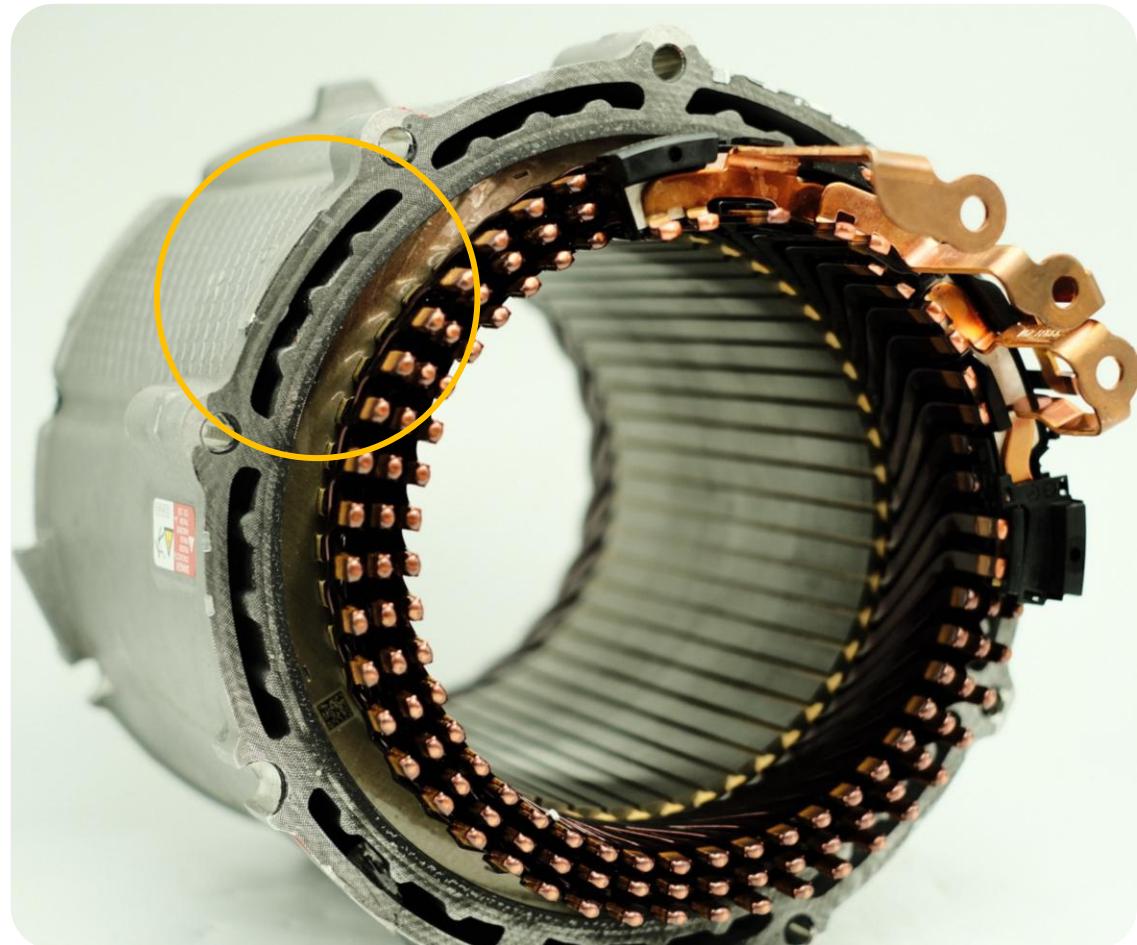


BMW iX1, i4 (5te Generation)³

1 - 1 = niedrig / 5 = hoch; 2 - Benchmarking-Studie PEM RWTH; 3 - BMW Group

Aktuelle Statorkühlkonzepte

Wassermantelkühlung – DeepDive VW APP310



- Zur Kühlung der Statorwicklung und des Statorblechpaket wird Wasser durch Kühlkanäle gepumpt, die axial zur Drehachse im Gehäuse verlaufen
- Die Verbindung zwischen den benachbarten Kühlkanälen wird durch Aussparungen in der Seitenwand gewährleistet
- Die Kühlkanäle sind axial durch die beiden Lagerschilde verschlossen
- Um die Dichtheit zu gewährleisten, wird zwischen Lagerschild und Gehäuse eine Dichtungsmasse aufgetragen
- Das Kühlmittel wird auch über die Lagerschilde dem Kühlmantel zu- und abgeführt

Quelle: Benchmarking-Studie PEM RWTH

Aktuelle Statorkühlkonzepte

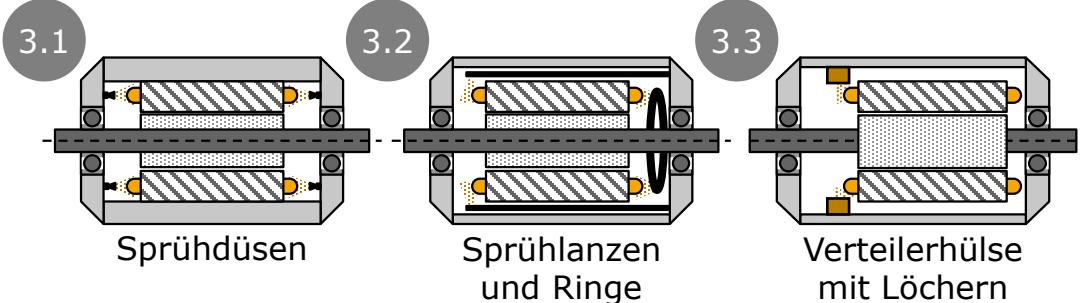
SCALE-UP
E-DRIVE

Direkte Wickelkopfkühlung

Beschreibung der Technologie

- Das Öl wird mit Sprühdüsen, Ringen, Lanzen oder Hülsen auf die Statorwicklung gesprührt
- Das gespritzte Öl wird im Inneren des Gehäuses aufgefangen
- Die Wärme wird über einen Wärmetauscher abgeleitet und das Öl wird in den Kühlkreislauf zurückgeführt

Schematische Skizze der Technologievarianten



Qualitative Bewertung¹

Leistung der Kühlung	1	2	3	4	5
Betriebskosten	1	2	3	4	5
Produktionskosten	1	2	3	4	5
Technischer Integrationsaufwand	1	2	3	4	5

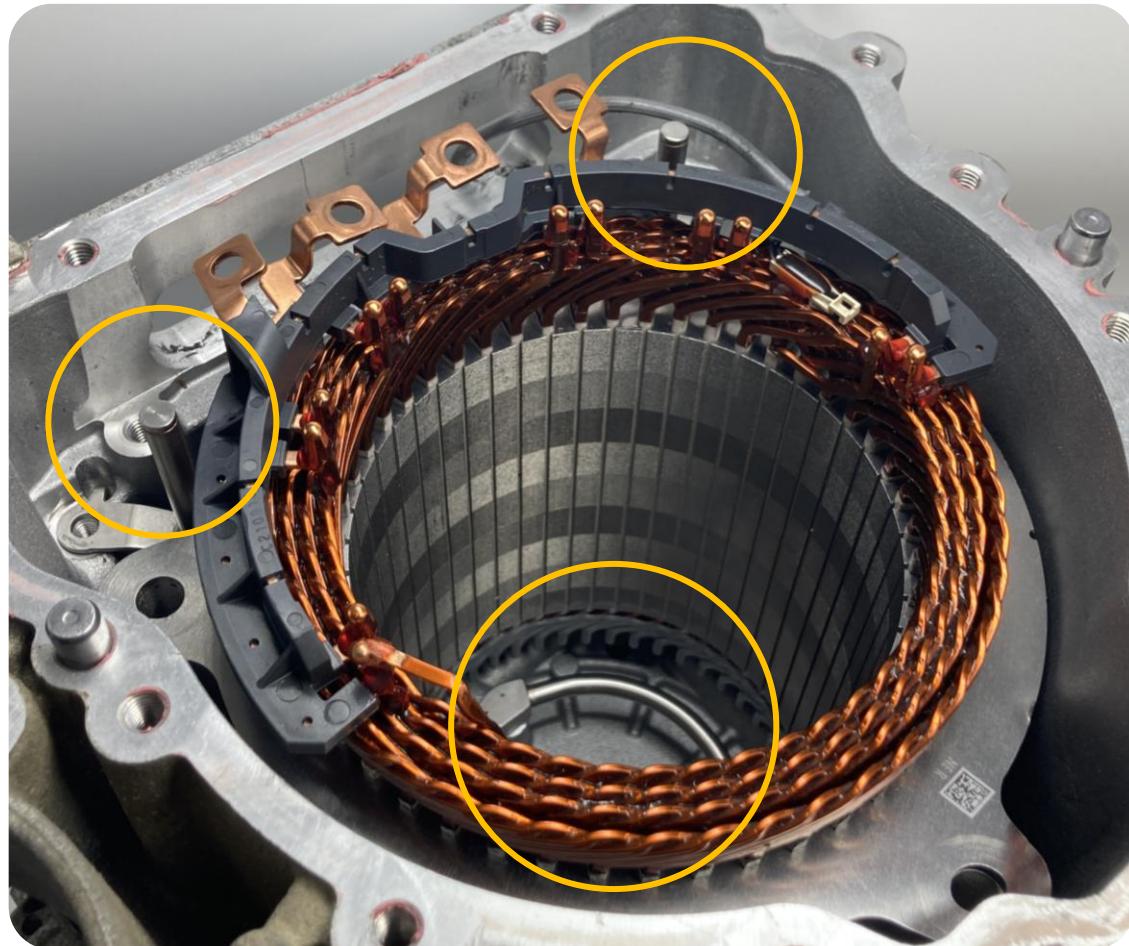
Produktbeispiele



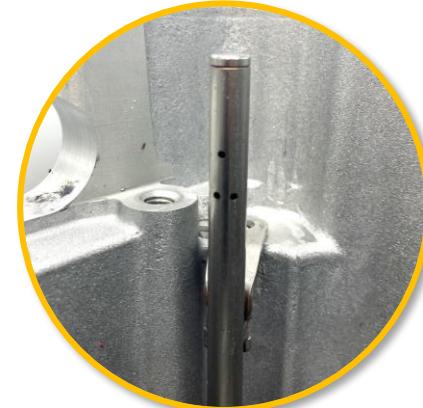
1 - 1 = niedrig / 5 = hoch; 2 - Benchmarking-Studie PEM RWTH; 3 - The Autopian; 4 - Marklines/ Munro & Associates

Aktuelle Statorkühlkonzepte

Direkte Wickelkopfkühlung – DeepDive: Hyundai E-GMP-Plattform



Quelle: Benchmarking-Studie PEM RWTH



- Der Stator ist mit Schrauben am Gehäuse befestigt
- Links und rechts der Phasenanschlüsse befinden sich zwei Kühllanzen, die von der Unterseite des Gehäuses bis zum Wickelkopf reichen
- Die Kühllanzen haben oben und unten kleine Löcher, durch die Öl auf die beiden Wickelköpfe (Biege- und Schweißseite) gesprührt wird
- Zusätzlich zu den Kühllanzen wird das Kühlmittel von der Innenseite des Stators über einen Sprühring auf die Wicklung (Schweißseite) aufgebracht
- Ähnlich wie bei den Lanzen ist der Ring ein dünnes Rohr mit kleinen Löchern

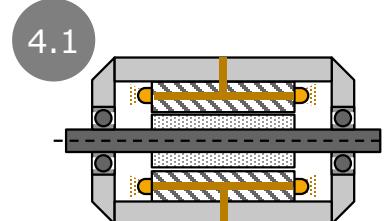
Aktuelle Statorkühlkonzepte

Direkte Wickelkopf- und Blechpaketkühlung

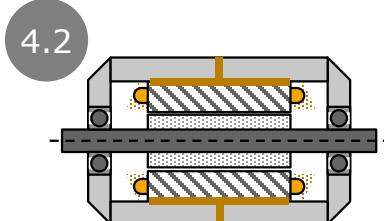
Beschreibung der Technologie

- Öl wird über Kühlkanäle im Blechpaket auf die Wicklung gesprührt
- Blechpaket wird durch den Öl-Durchfluss gekühlt
- Die Kühlkanäle können an der Außenkante des Blechpaketes (4.2) oder im Bereich der Zähne (4.1) angeordnet sein
- Funktionsintegration der Kühlung in das Statorblechpaket

Schematische Skizze der Technologievarianten



Sprüh-Schlitzte
in Statorzähnen



Sprüh-Schlitzte
im äußeren Bereich des
Blechpaketes

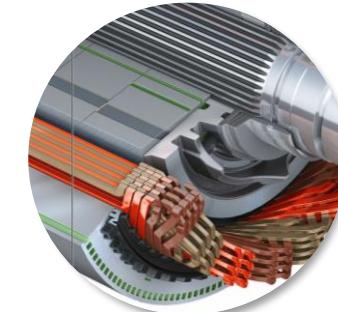
Qualitative Bewertung¹

Leistung der Kühlung	1	2	3	4	5
Betriebskosten	1	2	3	4	5
Produktionskosten	1	2	3	4	5
Technischer Integrationsaufwand	1	2	3	4	5

Produktbeispiele



Tesla Model 3/ Y/ Cyber Truck²

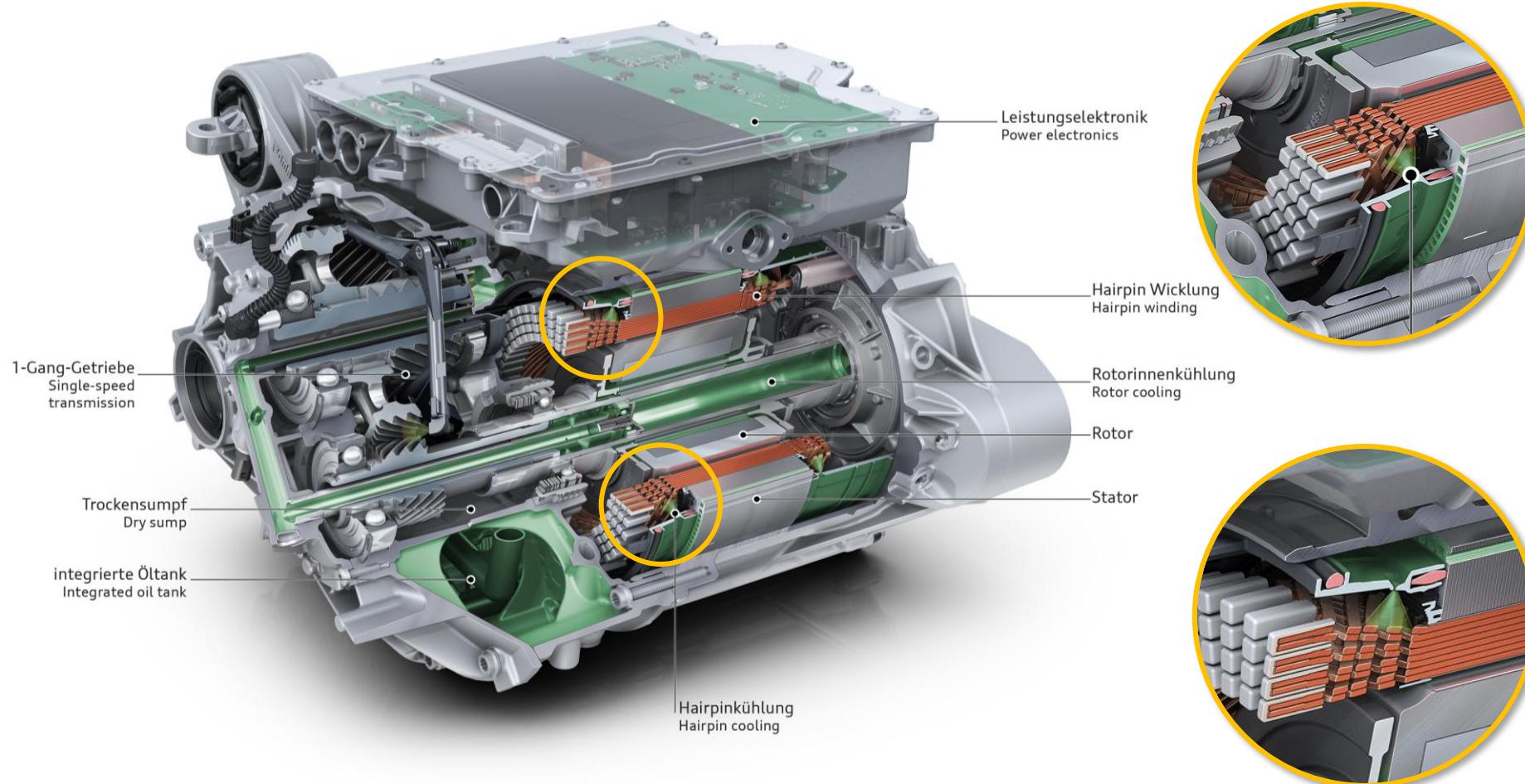


Audi Q6 e-tron (PPE-Plattform)³

1 - 1 = niedrig / 5 = hoch; 2 - Benchmarkingstudie PEM RWTH; 3 - AUDI AG

Aktuelle Statorkühlkonzepte

Direkte Wickelkopf- und Blechpaketkühlung – DeepDive: Audi Q6 e-tron (PPE-Plattform)



Quelle: AUDI AG

- Kühlmittel wird durch Aussparungen im Außenbereich des Statorblechpaket in Richtung Nutauslass transportiert und in Kammer gesammelt
- Kammer wird durch Hülse gebildet, die zum Gehäuse und dem Statorblechpaket abgedichtet ist
- Hülse verläuft um den gesamten Wickelkopf der Statorwicklung
- Hülse ist in regelmäßigen Abständen mit kleinen Düsen versehen, die die axiale Strömung des Kühlmittels im Statorblechpaket in eine radiale Strömung in Richtung des Wickelkopfes umwandeln

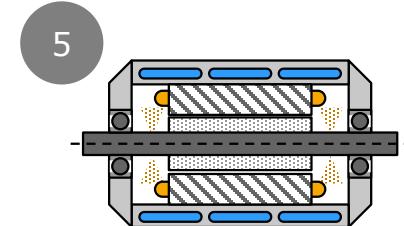
Aktuelle Statorkühlkonzepte

Wassermantel- und direkte Wickelkopfkühlung

Beschreibung der Technologie

- Direkte Wickelkopfkühlung und Wasserkühlmantel mit parallelen, separaten Kühlkreisläufen
- Der Wassermantel wickelt sich spiralförmig um den Stator und das Öl wird durch Löcher in der rotierenden Rotorwelle auf die Statorwicklung und den Rotor gesprührt
- Die physikalische Trennung der Medien erfordert eine komplexe Konstruktion und gegebenenfalls die doppelte Anzahl von Pumpensystemen

Schematische Skizze der Technologievarianten



Axialer Kühlmantel im Gehäuse und Sprühdüsen in Rotorwelle

Qualitative Bewertung¹

Leistung der Kühlung	1	2	3	4	5
Betriebskosten	1	2	3	4	5
Produktionskosten	1	2	3	4	5
Technischer Integrationsaufwand	1	2	3	4	5

1 - 1 = niedrig / 5 = hoch; 2 - Volkswagen

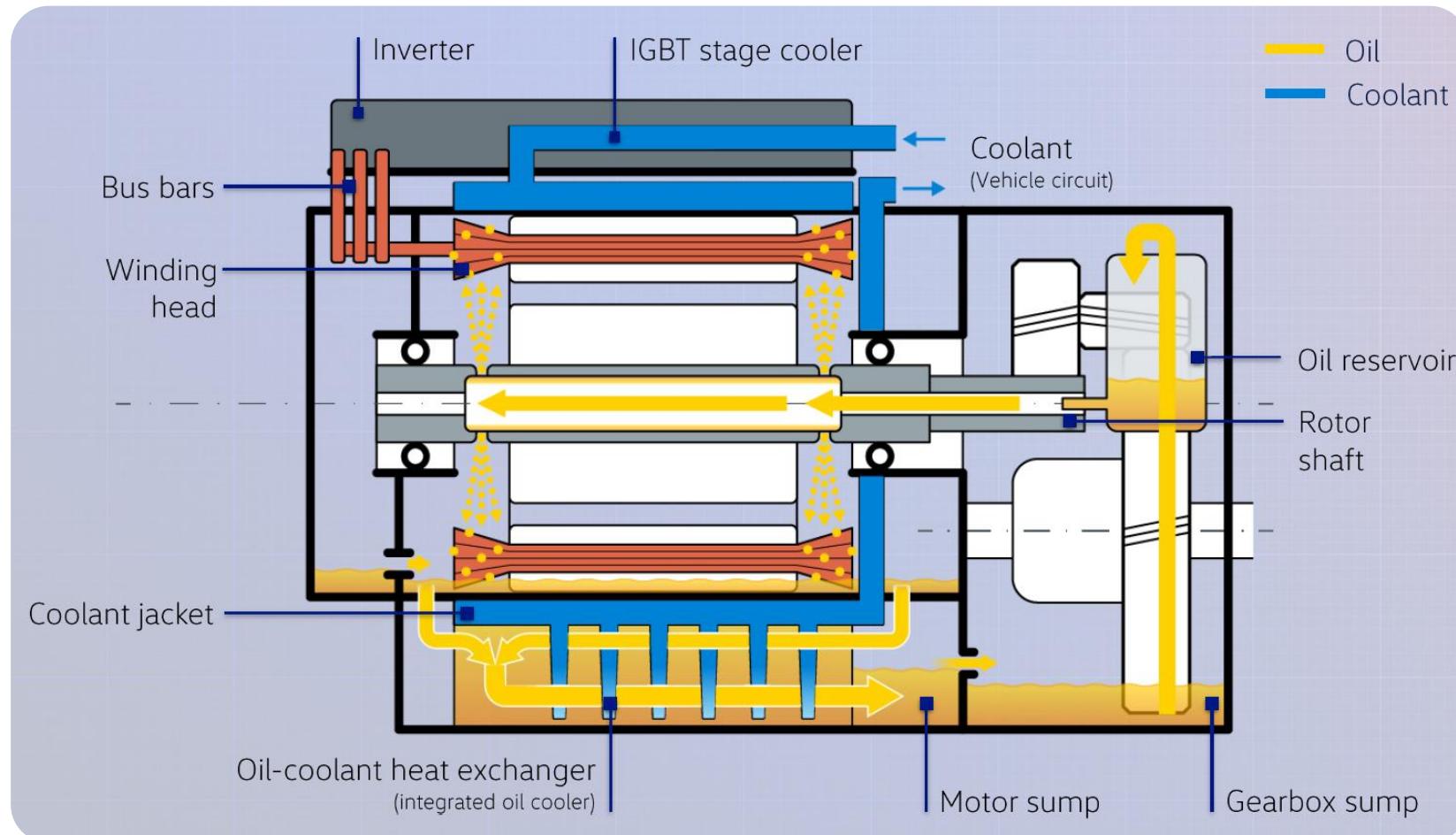
Produktbeispiele



VW ID.4 , ID.7, Skoda Enyaq (APP550)²

Aktuelle Statorkühlkonzepte

Wassermantel- und direkte Wickelkopfkühlung – DeepDive: Volkswagen APP550 (MEB-Plattform)



Quelle: Volkswagen - APP550 (MEB-Plattform)

- Das Getriebeöl wird über einen im Getriebe integrierten Pumpmechanismus in die Rotorhohlwelle gepumpt
- Rotorhohlwelle hat in Höhe der beiden Wicklungsenden Aussparungen, durch die das Öl auf die Wicklung gesprührt wird
- Von der Wicklung wird das erhitze Öl in ein Wärmetauscher-Labyrinth geleitet, wo die Wärme an den Wasserkühlkreislauf übertragen wird
- Der Wasserkühlkreislauf dient der Mantelkühlung
- Magnet im Öl-Sumpf filtert metallischen Abrieb aus dem Getriebe

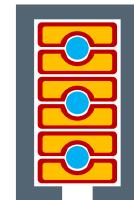
Zukünftige Statorkühlkonzepte

Nächster Entwicklungsschritt in der Stator-Kühltechnik: Direkte Nut-Kühlung

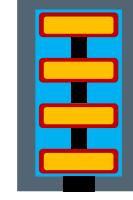
Beschreibung der Technologie

- Das Kühlmittel wird durch die Statornut geleitet und umgibt die Wicklung vollständig
- Die gesamte Nut kann mit Kühlmittel gefüllt oder es können ein oder mehrere Kühlkanäle in der Nut platziert werden
- Der Kühlkanal kann durch die Form der Leiter oder durch einen separaten Kühlschlauch oder -rohr gebildet werden

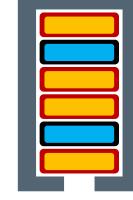
Schematische Skizze der Technologievarianten



Kühlkanal gebildet durch Leiterform



Fluten der gesamten Statornut

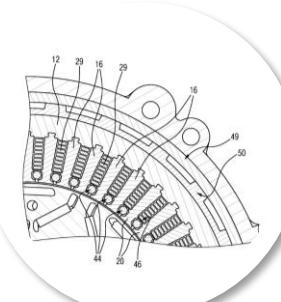


Kühlkanal gebildet durch Rohrelement

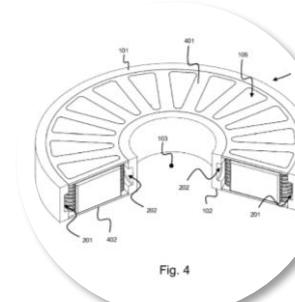
Qualitative Bewertung¹

Leistung der Kühlung	1	2	3	4	5
Betriebskosten	1	2	3	4	5
Produktionskosten	1	2	3	4	5
Technischer Integrationsaufwand	1	2	3	4	5

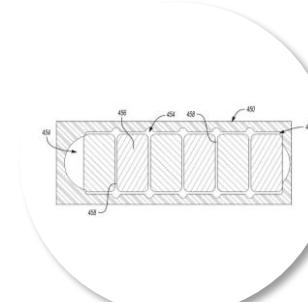
Produktbeispiele



Vitesco



Magnax BV

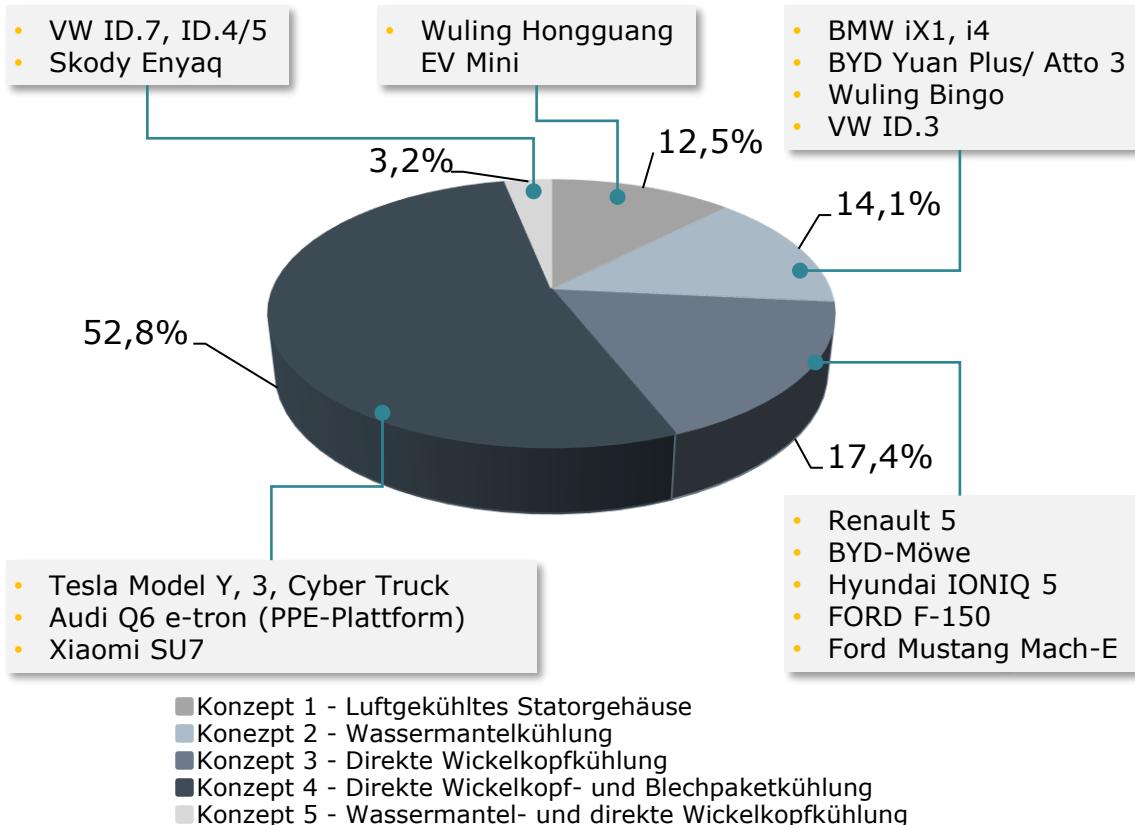


Ford

Marktverteilung der Statorkühlkonzepte

Analyse der meistverkauften BEV in Europa, USA und China Q1 2025

Anteil des jeweiligen Kühlkonzepts am gesamten betrachteten Marktvolume



- Luftgekühlte Elektroantriebe in Micro-/A-Segmentfahrzeugen, aber nur für geringere Leistungsanforderungen geeignet
- Wassermantelkühlung wird nach wie vor hauptsächlich in Fahrzeugen eingesetzt, bei denen die Luftkühlung nicht mehr ausreichend ist
- Direktwicklungskühlung setzt sich in Asien und auch in Fahrzeugmodellen europäischer Hersteller zunehmend durch
- Komplexe Kühlsysteme, wie z. B. "Wassermantel- und direkte Wickelkopfkühlung" und "Direkte Wickelkopf- und Blechpaketkühlung" werden zunehmend eingesetzt
- Das Statorkühlkonzept "Direkte Wickelkopf- und Blechpaketkühlung" ist das im Rahmen dieser Studie am häufigsten verwendete
- Die Funktionsintegration der Kühlung in das Statorblechpaket führt zu erhöhten Dichtigkeitsanforderungen

* - Von der Bewertung ausgeschlossen, da keine Informationen zur Kühltechnik ermittelt werden konnten: Chevrolet Equinox, Honda Prologue, Geely (Geome) Xingyuan, Xpeng Mona M03, Geely Panda



Danke für ihre Aufmerksamkeit!

Hartha, 25. September 2025



M.Sc., M.Sc.
David Drexler



+49 (0) 152 21 730752



d.drexler@pem.rwth-aachen.de

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**SCALE-UP
E-DRIVE**

Agenda

Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

01	Begrüßung und Sicherheitsunterweisung 09:00 Uhr	04	Kaffeepause 11:00 Uhr
02	Integrierte Antriebssysteme im Überblick 09:30 Uhr	05	Produktionstechnologien im Vergleich 11:30 Uhr
03	Praxiseinblick „Demontage eines E-Antriebs“ 10:15 Uhr	06	Praxiseinblick „Vergleich aktueller Motoren“ 12:15 Uhr
07	Abschlussdiskussion, Feedback und Rundgang 13:30 Uhr		

Agenda

Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

01	Begrüßung und Sicherheitsunterweisung 09:00 Uhr	04	Kaffeepause 11:00 Uhr
02	Integrierte Antriebssysteme im Überblick 09:30 Uhr	05	Produktionstechnologien im Vergleich 11:30 Uhr
03	Praxiseinblick „Demontage eines E-Antriebs“ 10:15 Uhr	06	Praxiseinblick „Vergleich aktueller Motoren“ 12:15 Uhr
07	Abschlussdiskussion, Feedback und Rundgang 13:30 Uhr		

Agenda

SCALE-UP
E-DRIVE

Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

01	Begrüßung und Sicherheitsunterweisung 09:00 Uhr	04	Kaffeepause 11:00 Uhr
02	Integrierte Antriebssysteme im Überblick 09:30 Uhr	05	Produktionstechnologien im Vergleich 11:30 Uhr
03	Praxiseinblick „Demontage eines E-Antriebs“ 10:15 Uhr	06	Praxiseinblick „Vergleich aktueller Motoren“ 12:15 Uhr
07	Abschlussdiskussion, Feedback und Rundgang 13:30 Uhr		



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

SCALE-UP
E-DRIVE

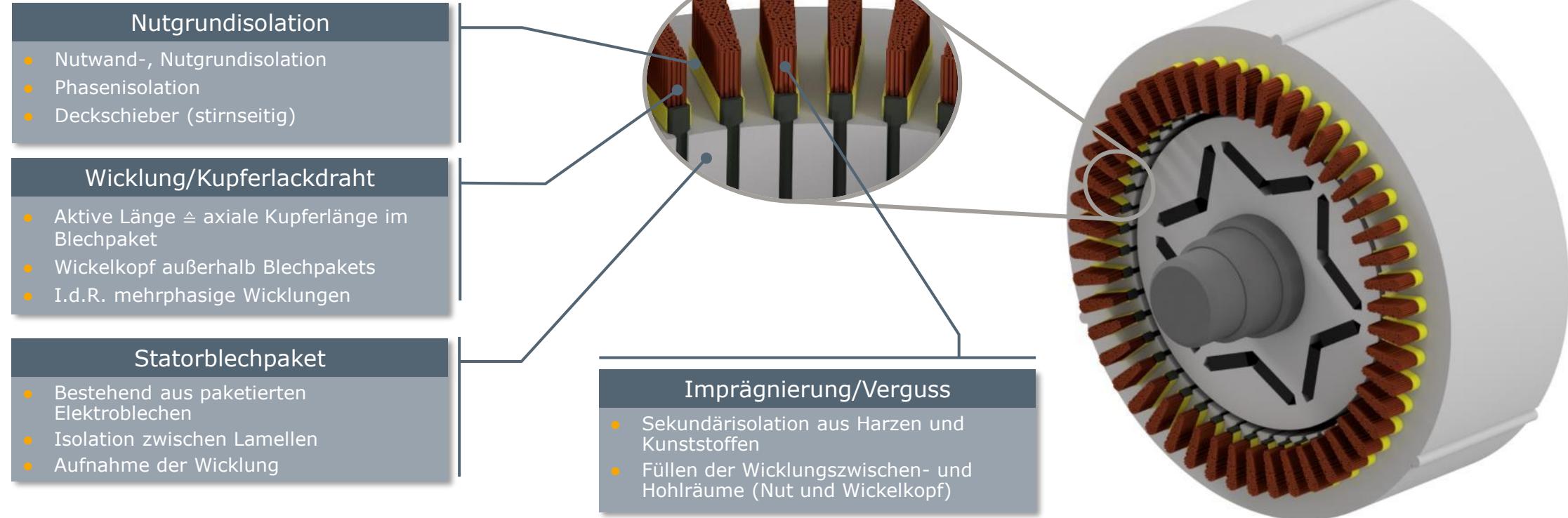
Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

Wickeltechnologien im Vergleich

Hartha, 25. September 2025

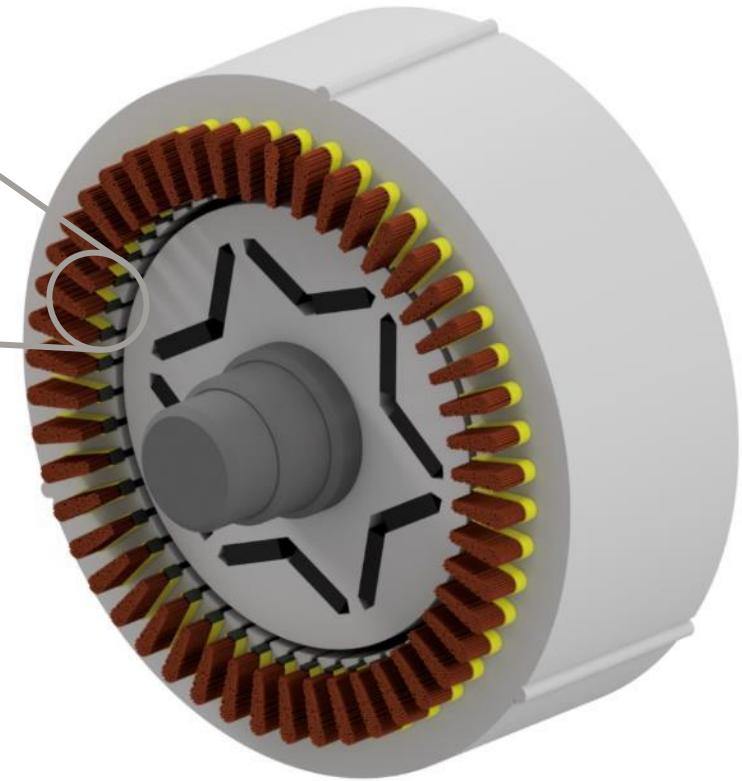
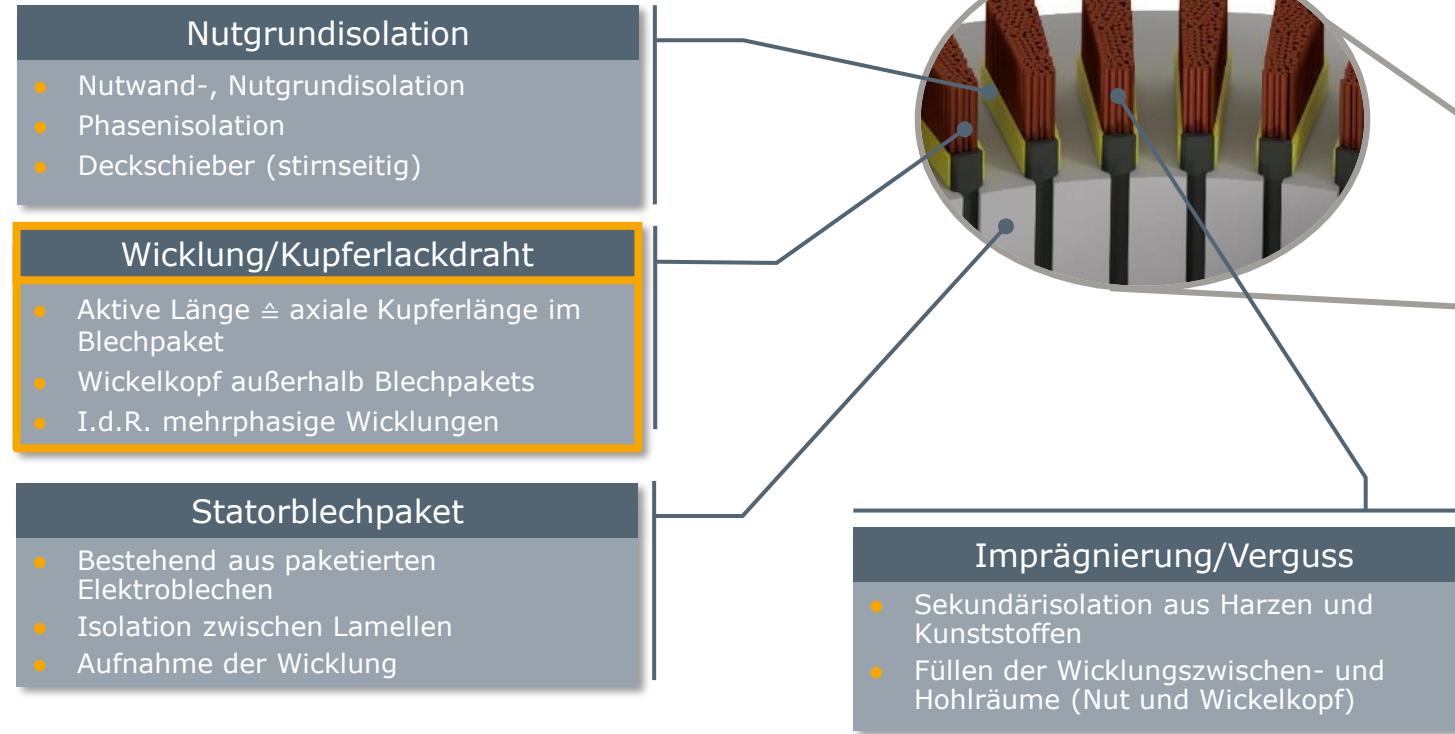
Grundlegende Wicklungsterminologie

Recap: Grundlegender Statoraufbau



Grundlegende Wicklungsterminologie

Recap: Grundlegender Statoraufbau



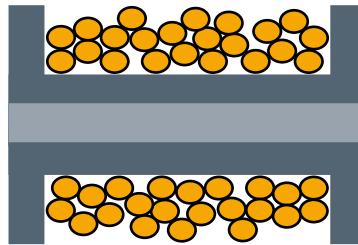
Wickeltechnologien im Vergleich

SCALE-UP
E-DRIVE

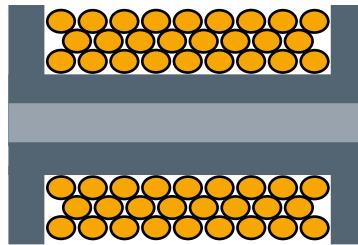
Grundlegende Wicklungsterminologie

Wicklungsschemata

Wilde Wicklung

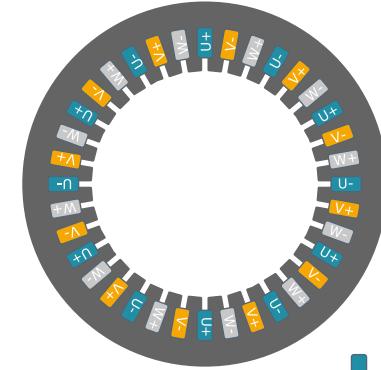


Orthozyklische Wicklung

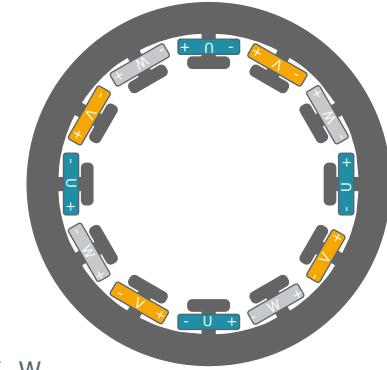


Wicklungstypen

Verteilte Wicklung



Konzentrierte Wicklung



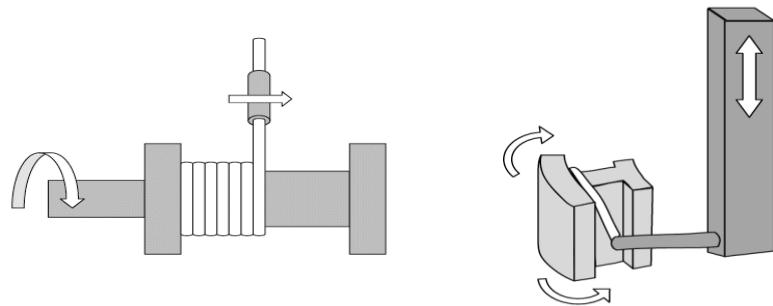
■ ■ ■ Phasen U, V, W

	Wilde Wicklung	Orthozyklische Wicklung
Mechanischer Füllfaktor	0,65 – 0,75	~0,91
Elektrische Eigenschaften	Schwankend	Konstant
Wärmeleitfähigkeit	Gering	Gut
Mechanische Stabilität	Gering	Hoch

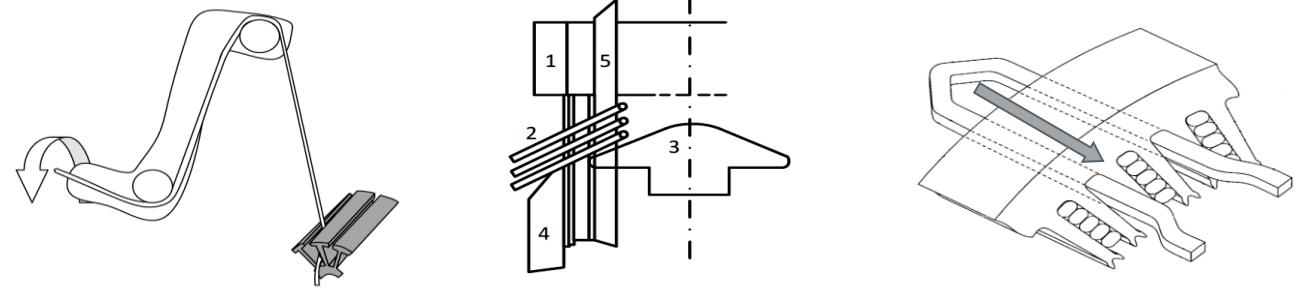
	Verteilte Wicklung	Konzentrierte Wicklung
Drehmomentdichte	↑	↓
Drehmomentwelligkeit	↓	↑
Wickelkopfhöhe	↑	↓
Kupfer- und Wicklungsverlust	↓	↑

Aktuelle Wickelverfahren – Übersicht

Direkte Wickelverfahren



Indirekte Wickelverfahren



Linearwickeln
<ul style="list-style-type: none"> Rotation des Formkörpers Lineare Drahtverteilung Orthozyklische Drahtverlegung möglich
<ul style="list-style-type: none"> + Kurze Taktzeit und gute Parallelisierbarkeit + Orthozyklische Drahtablage
<ul style="list-style-type: none"> - Nur für konzentrierte Wicklung

Nadelwickeln
<ul style="list-style-type: none"> Direktes Wickeln des Drahtes mittels Nadel Platz für Nadeldurchfahrt berücksichtigen
<ul style="list-style-type: none"> + Hohe Flexibilität + Definierte Drahtführung + Paralleles Wickeln mehrerer Drähte
<ul style="list-style-type: none"> - Füllfaktor begrenzt - Hohe Drahtbelastung

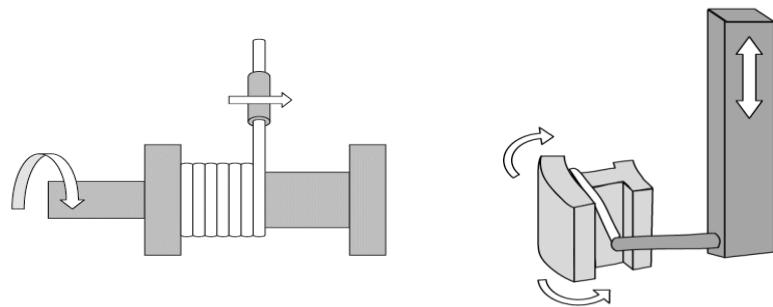
Flyerwickeln
<ul style="list-style-type: none"> Rotierender Flyer um feststehenden Formkörper Abwurf des Drahtes
<ul style="list-style-type: none"> + Kurze Taktzeit + Relativ variantenflexibel
<ul style="list-style-type: none"> - Bei direktem Wickeln nur konzentrierte und wilde Wicklung möglich - Niedrige Kupferfüllgrad

Flyerwickeln & Einziehen
<ul style="list-style-type: none"> Externes Spulenwickeln und einziehen mit speziellem Werkzeug
<ul style="list-style-type: none"> + Verteilte Wicklung möglich + Hohe Kupferfüllgrade
<ul style="list-style-type: none"> - Lange Taktzeiten - Hohe Drahtbeanspruchung - Breiter Wickelkopf - Hohe Anlageninvestitionen

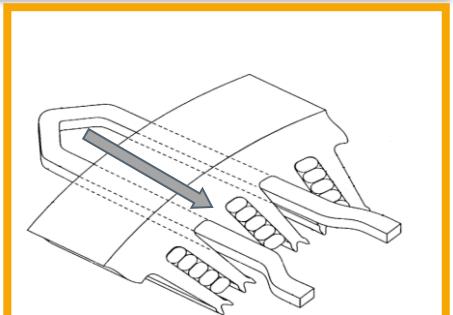
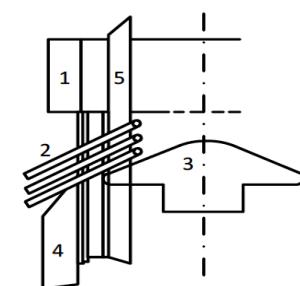
Flachdrahttechnologie
<ul style="list-style-type: none"> Externes Biegen mit automatisiertem Einsticken Bielen und Schweißen zur Kontaktierung
<ul style="list-style-type: none"> + Hohe Kupferfüllgrade + Gute Automatisierbarkeit
<ul style="list-style-type: none"> - Aufwändige Prozesstechnik - Geringe Flexibilität

Aktuelle Wickelverfahren – Übersicht

Direkte Wickelverfahren



Indirekte Wickelverfahren



Linearwickeln

- Rotation des Formkörpers
- Lineare Drahtverteilung
- Orthozyklische Drahtverlegung möglich
- + Kurze Taktzeit und gute Parallelisierbarkeit
- + Orthozyklische Drahtablage
- Nur für konzentrierte Wicklung

Nadelwickeln

- Direktes Wickeln des Drahtes mittels Nadel
- Platz für Nadeldurchfahrt berücksichtigen
- + Hohe Flexibilität
- + Definierte Drahtführung
- + Paralleles Wickeln mehrerer Drähte
- Füllfaktor begrenzt
- Hohe Drahtbelastung

Flyerwickeln

- Rotierender Flyer um feststehenden Formkörper
- Abwurf des Drahtes
- + Kurze Taktzeit
- + Relativ variantenflexibel
- Bei direktem Wickeln nur konzentrierte und wilde Wicklung möglich
- Niedrige Kupferfüllgrad

Flyerwickeln & Einziehen

- Externes Spulenwickeln und einziehen mit speziellem Werkzeug
- + Verteilte Wicklung möglich
- + Hohe Kupferfüllgrade
- Lange Taktzeiten
- Hohe Drahtbeanspruchung
- Breiter Wickelkopf
- Hohe Anlageninvestitionen

Flachdrahttechnologie

- Externes Biegen mit automatisiertem Einsticken
- Biegen und Schweißen zur Kontaktierung
- + Hohe Kupferfüllgrade
- + Gute Automatisierbarkeit
- Aufwändige Prozesstechnik
- Geringe Flexibilität

Wickeltechnologien im Vergleich

SCALE-UP
E-DRIVE

Flachdrahttechnologie



Wirtschaftlichkeit

- Hohe Automatisierbarkeit
- Hohe Skalierbarkeit
- Reduzierte Kosten



Serientechnologie



Prozessfähigkeit

- Keine stochastische Wicklung
- Deterministische Montageprozesse
- Deterministische Schweißprozesse



Prozesse Automobilindustrie



Wickeldesign

- Zunehmender Leiterquerschnitt
- Hohe Stromstärken möglich
- Erhöhter Skin- und reduzierte Proximity-Effect
- Gleichbleibende Flexibilität



Drehmomentstarke Motoren



Technologische Reife

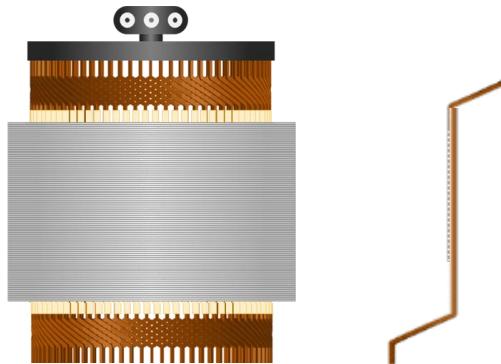
- Industrialisierung weiterhin im Gange
- Hohes wirtschaftliches und technologisches Potenzial
- Produktionstechnik als Enabler für die Produktentwicklung



Austausch entlang Wertschöpfung

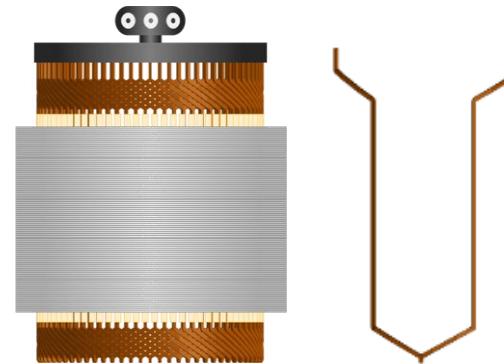
Flachdrahttechnologie – Übersicht

I-Pin



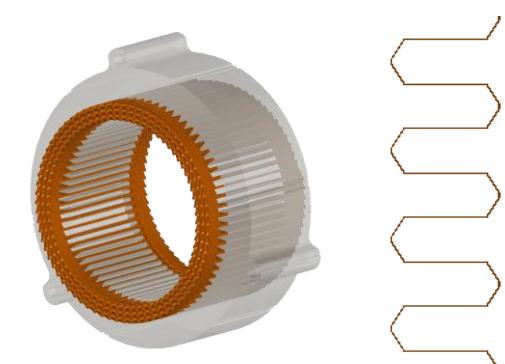
- Beidseitig geschränkt und verschweißte Wicklung (2x Lead-Site)
- + Aufgrund beidseitiger großer Oberfläche erhöhte Kühlmöglichkeit
- + Entfall kostenintensiver Biege- und Twistvorgänge
- + Hohe Technologiereife
- Beidseitig erhöhte Wickelkopfhöhe
- Hohe Anzahl an Schweißpunkten

U-Hairpin



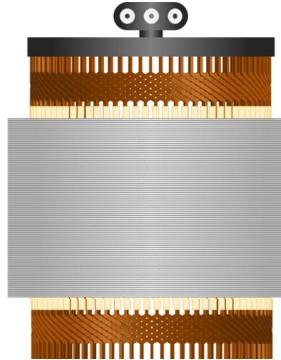
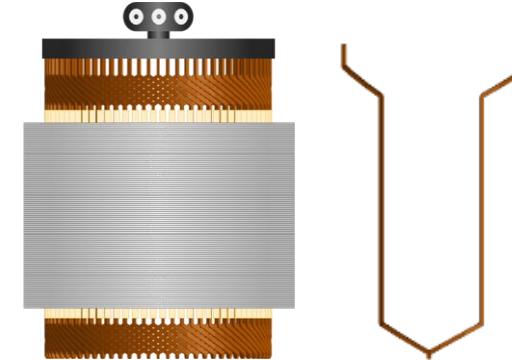
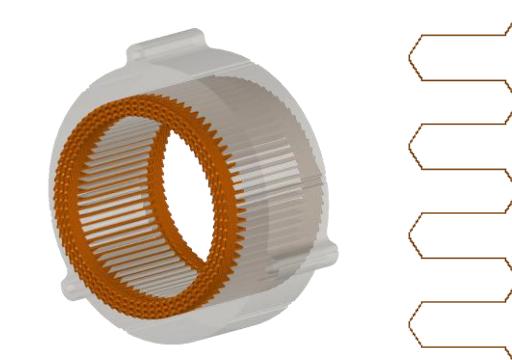
- Einseitig geschränkt und verschweißte Wicklung (1x Lead-Site)
- Gegenüberliegende Wickelkopf mit End-turn/geschlossener Seite des Hairpins
- + Geringe Wickelkopfhöhe auf End-Turnseite
- + Ermöglicht komplexe Wickelschemata
- + Reduzierte Schweißpunktanzahl
- + Hohe Technologiereife
- Komplexe Biege- und Twistvorgänge

Kontinuierliche Hairpinwicklung



- Kont. Wicklung mit einseitig, teilweise verschweißter Wicklung (1x Lead-Site)
- Gegenüberliegende Wickelkopf mit End-turn/geschlossener Seite des Hairpins
- + Beidseitig geringe Wickelkopfhöhe
- + Deutliche Reduktion der Anzahl an Schweißpunkten
- Erhöhte Verluste durch Nutöffnungsdesign
- Komplexität der Biege- / Montagevorgänge

Flachdrahttechnologie – Übersicht

I-Pin	U-Hairpin	Kontinuierliche Hairpinwicklung
 <ul style="list-style-type: none">• Beidseitig geschränkt und verschweißte Wicklung (2x Lead-Site)+ Aufgrund beidseitiger großer Oberfläche erhöhte Kühlmöglichkeit+ Entfall kostenintensiver Biege- und Twistvorgänge+ Hohe Technologiereife- Beidseitig erhöhte Wickelkopfhöhe- Hohe Anzahl an Schweißpunkten	 <ul style="list-style-type: none">• Einseitig geschränkt und verschweißte Wicklung (1x Lead-Site)• Gegenüberliegende Wickelkopf mit End-turn/geschlossener Seite des Hairpins+ Geringe Wickelkopfhöhe auf End-Turnseite+ Ermöglicht komplexe Wickelschemata+ Reduzierte Schweißpunktanzahl+ Hohe Technologiereife- Komplexe Biege- und Twistvorgänge	 <ul style="list-style-type: none">• Kont. Wicklung mit einseitig, teilweise verschweißter Wicklung (1x Lead-Site)• Gegenüberliegende Wickelkopf mit End-turn/geschlossener Seite des Hairpins+ Beidseitig geringe Wickelkopfhöhe+ Deutliche Reduktion der Anzahl an Schweißpunkten- Erhöhte Verluste durch Nutöffnungsdesign- Komplexität der Biege- / Montagevorgänge

Wickeltechnologien im Vergleich

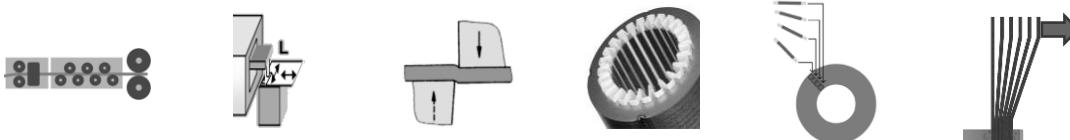
SCALE-UP
E-DRIVE

Flachdrahttechnologie – I-Pin

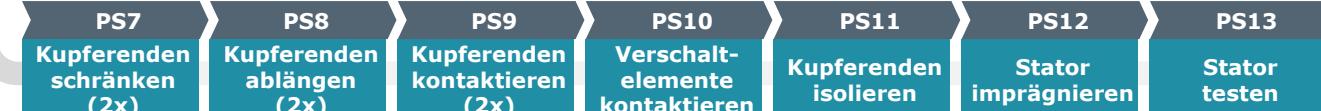
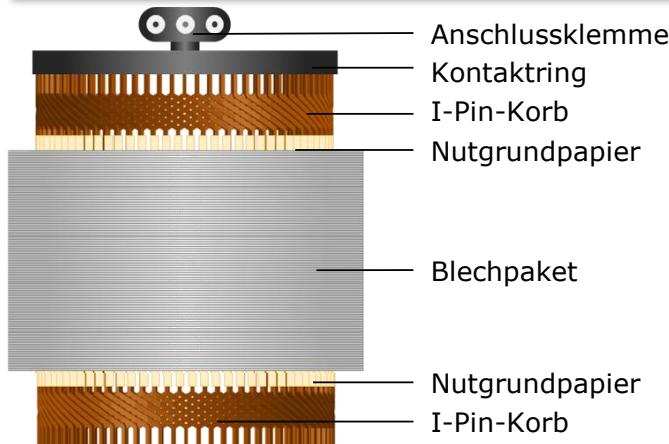
Geometrie eines I-Pins



Generische Prozesskette der I-Pin-Technologie



Ausbau eines I-Pin-Stators

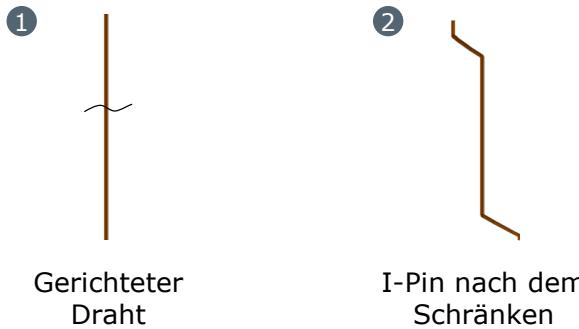


Wickeltechnologien im Vergleich

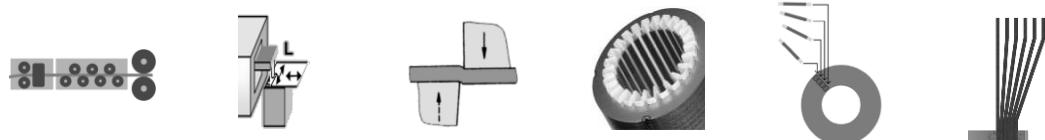
SCALE-UP
E-DRIVE

Flachdrahttechnologie – I-Pin

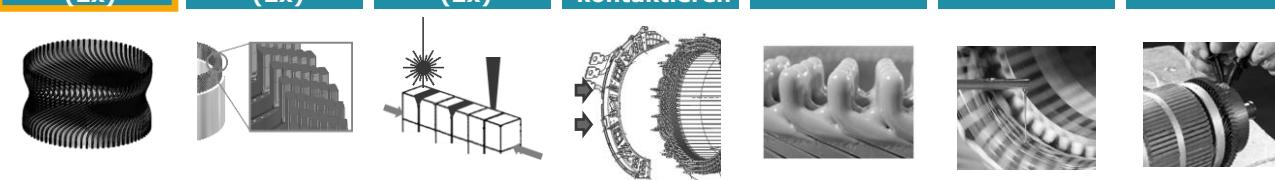
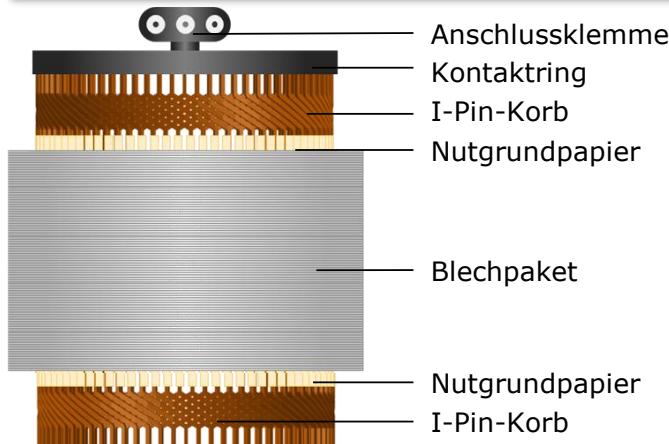
Geometrie eines I-Pins



Generische Prozesskette der I-Pin-Technologie

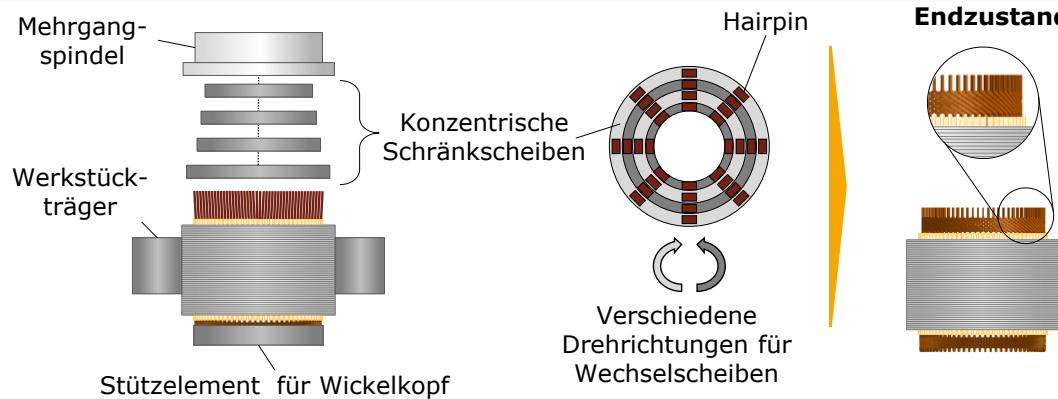


Ausbau eines I-Pin-Stators



Flachdrahttechnologie – I-Pin

PS7 – Kupferenden schränken



Prozessbeschreibung und -informationen

- Kupferenden werden lagenweise tangential umgeformt und in endgültige Form gebracht
- Überlagerung von rotatorischer und translatorischer Werkzeugbewegung
- Ziel ist, die zu kontaktierenden Kupferenden parallel zueinander auszurichten, was eine S-förmige Schränkgeometrie bedingt
- Gegebenenfalls werden Stützelemente am gegenüberliegenden Wickelkopf verwendet, um der axialen Hubkraft des Biegevorgangs entgegenzuwirken

Zielsetzung und Qualitätsmerkmale

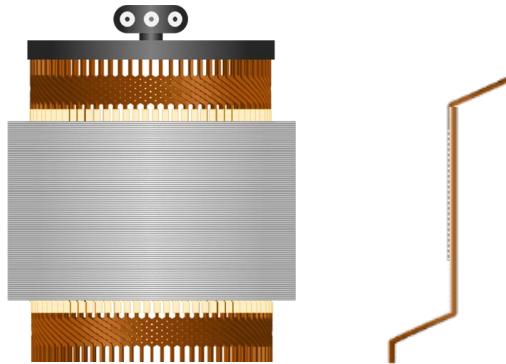
- Kreuzweise Anordnung der Hairpin-Enden am Boden des Stators gemäß dem Schaltplan
- Qualitätsmerkmale an den Prozess stellen hierbei folgende Eigenschaften dar:
 - Form- und Lagetoleranzen der Kupferenden
 - Keine Beschädigung der Leiterisolation
 - Keine Beschädigung der Nutisolation
 - Höhentoleranz

Wickeltechnologien im Vergleich

SCALE-UP
E-DRIVE

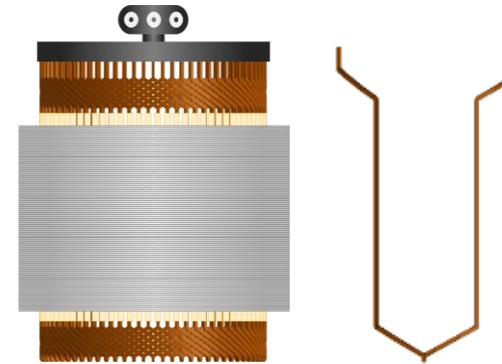
Flachdrahttechnologie – Übersicht

I-Pin



- Beidseitig geschränkt und verschweißte Wicklung (2x Lead-Site)
- + Aufgrund beidseitiger großer Oberfläche erhöhte Kühlmöglichkeit
- + Entfall kostenintensiver Biege- und Twistvorgänge
- + Hohe Technologiereife
- Beidseitig erhöhte Wickelkopfhöhe
- Hohe Anzahl an Schweißpunkten

U-Hairpin



- Einseitig geschränkt und verschweißte Wicklung (1x Lead-Site)
- Gegenüberliegende Wickelkopf mit End-turn/geschlossener Seite des Hairpins
- + Geringe Wickelkopfhöhe auf End-Turnseite
- + Ermöglicht komplexe Wickelschemata
- + Reduzierte Schweißpunktanzahl
- + Hohe Technologiereife
- Komplexe Biege- und Twistvorgänge

Kontinuierliche Hairpinwicklung



- Kont. Wicklung mit einseitig, teilweise verschweißter Wicklung (1x Lead-Site)
- Gegenüberliegende Wickelkopf mit End-turn/geschlossener Seite des Hairpins
- + Beidseitig geringe Wickelkopfhöhe
- + Deutliche Reduktion der Anzahl an Schweißpunkten
- Erhöhte Verluste durch Nutöffnungsdesign
- Komplexität der Biege- / Montagevorgänge

Wickeltechnologien im Vergleich

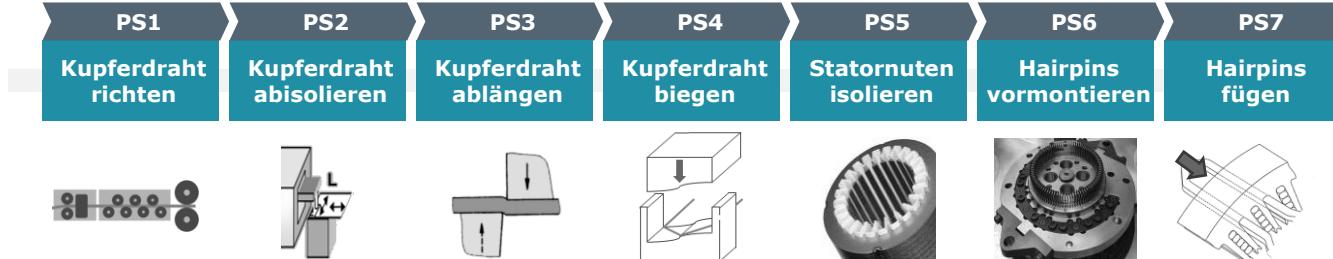
SCALE-UP
E-DRIVE

Flachdrahttechnologie – U-Hairpin

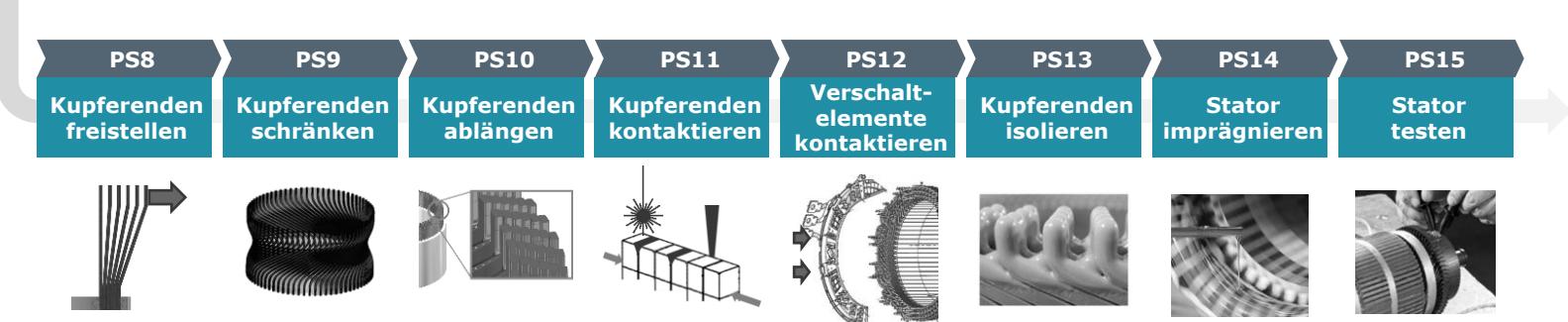
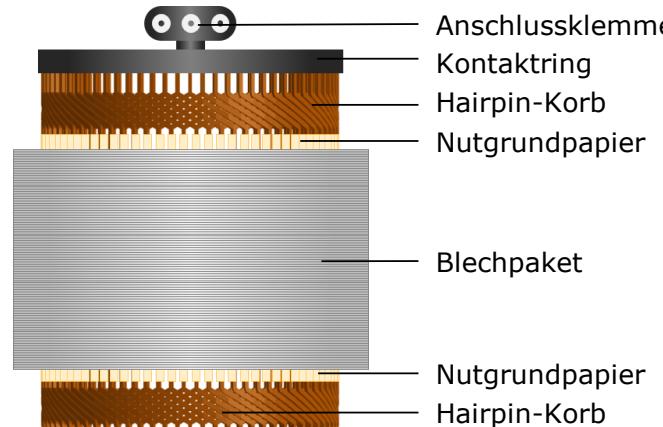
Geometrie eines U-Hairpins



Generische Prozesskette der U-Hairpin-Technologie



Ausbau eines Hairpin-Stators



Wickeltechnologien im Vergleich

SCALE-UP
E-DRIVE

Flachdrahttechnologie – U-Hairpin

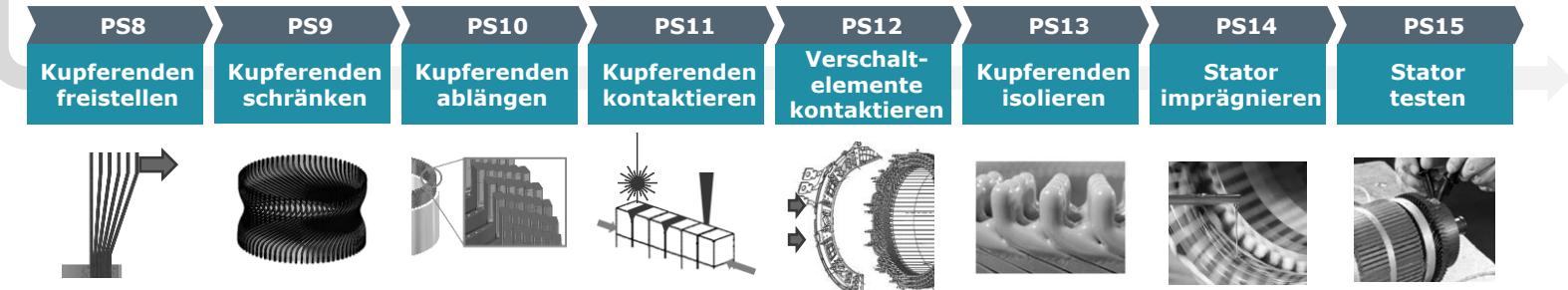
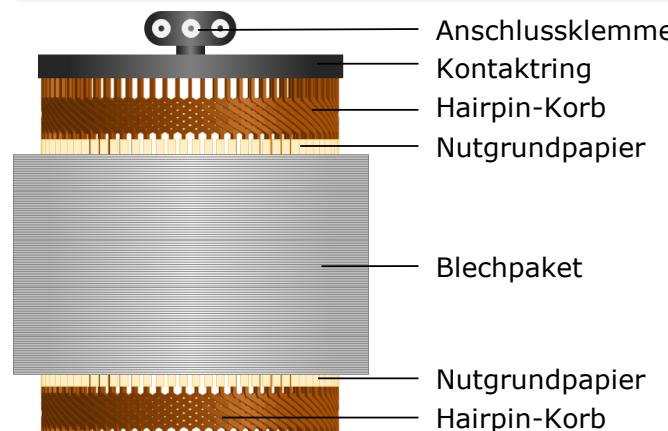
Geometrie eines U-Hairpins



Generische Prozesskette der U-Hairpin-Technologie



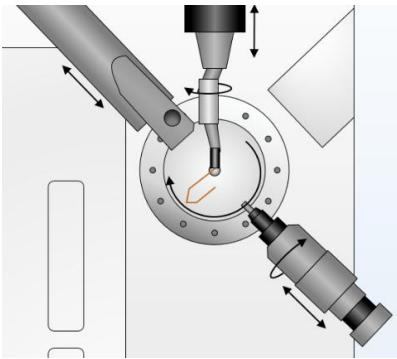
Ausbau eines Hairpin-Stators



Flachdrahttechnologie – U-Hairpin

PS4 – Kupferdraht biegen

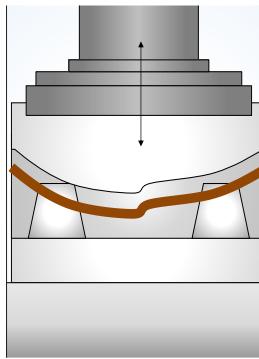
CNC-Biegen



Prozessbeschreibung und -informationen

- Unterscheidung zwischen dem 2D- und dem 3D-Biegen
- Die Kupferdrähte müssen dreidimensional gebogen werden, um im Stator verschiedene Lagen untereinander verbinden zu können
- Der gesamte Formgebungsprozess der Kupferdrähte kann dabei ein- oder mehrstufig erfolgen (integrierte bzw. spezialisierte Anlagen)
- Verfahrensalternativen mit Einfluss auf Qualität/ Variantenflexibilität
- Formtoleranzen sind entscheidend für Prozesssicherheit der weiteren Prozesse sowie für die Kompaktheit des Wickelkopfes
- Hohes Prozessentwicklungs- und Innovationspotenzial

Gesenkbiegen

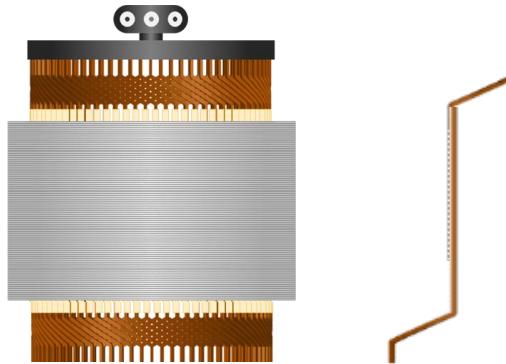


Zielsetzung und Qualitätsmerkmale

- Erzeugen einer U- und 3D-Form durch plastische Formänderung, so dass zwei Beine und eine Endwicklung (Endturn) entstehen
- Qualitätsmerkmale an den Prozess stellen hierbei folgende Eigenschaften dar:
 - Form-, Winkel- und Lagetoleranzen (Absolut-Position/ Verdrehung, Öffnungswinkel)
 - Keine Isolationsschäden oder Änderung der Isolationsdicke am Außenradius
 - Querschnittsänderung/ Eigenspannungszustand
 - Wiederholgenauigkeit (Ergebnistreuung)

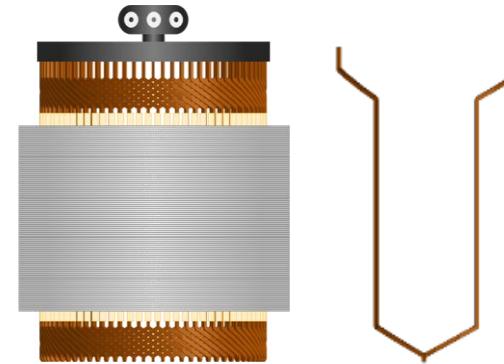
Flachdrahttechnologie – Übersicht

I-Pin



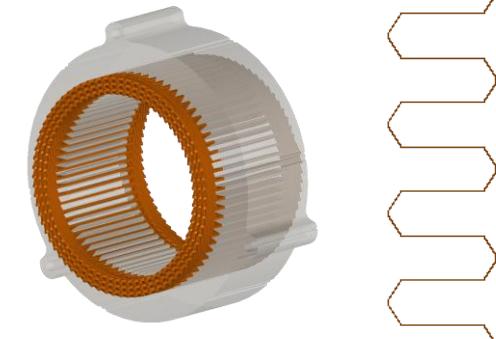
- Beidseitig geschränkt und verschweißte Wicklung (2x Lead-Site)
- + Aufgrund beidseitiger großer Oberfläche erhöhte Kühlmöglichkeit
- + Entfall kostenintensiver Biege- und Twistvorgänge
- + Hohe Technologiereife
- Beidseitig erhöhte Wickelkopfhöhe
- Hohe Anzahl an Schweißpunkten

U-Hairpin



- Einseitig geschränkt und verschweißte Wicklung (1x Lead-Site)
- Gegenüberliegende Wickelkopf mit End-turn/geschlossener Seite des Hairpins
- + Geringe Wickelkopfhöhe auf End-Turnseite
- + Ermöglicht komplexe Wickelschemata
- + Reduzierte Schweißpunktanzahl
- + Hohe Technologiereife
- Komplexe Biege- und Twistvorgänge

Kontinuierliche Hairpinwicklung



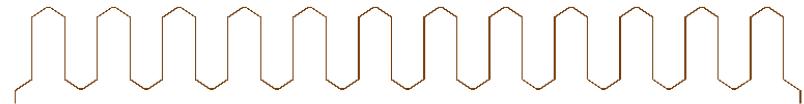
- Kont. Wicklung mit einseitig, teilweise verschweißter Wicklung (1x Lead-Site)
- Gegenüberliegende Wickelkopf mit End-turn/geschlossener Seite des Hairpins
- + Beidseitig geringe Wickelkopfhöhe
- + Deutliche Reduktion der Anzahl an Schweißpunkten
- Erhöhte Verluste durch Nutöffnungsdesign
- Komplexität der Biege- / Montagevorgänge

Wickeltechnologien im Vergleich

SCALE-UP
E-DRIVE

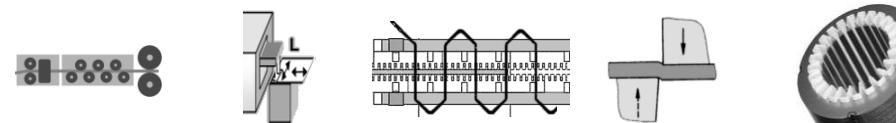
Flachdrahttechnologie – Kontinuierliche Hairpinwicklung

Darstellung eines Einzeldrahtes

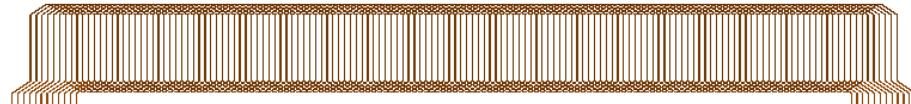


Generische Prozesskette der kont. Hairpinwicklung

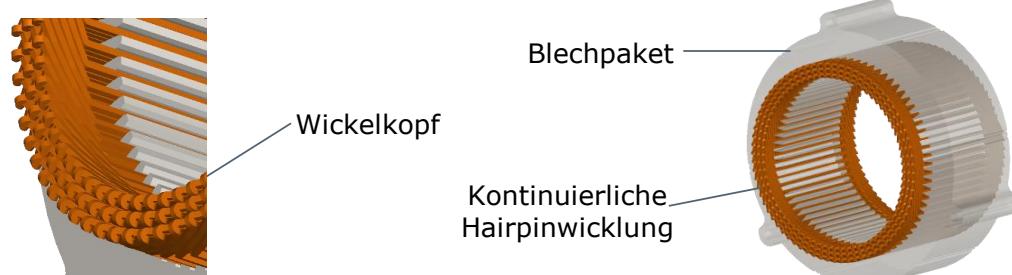
- PS1 Kupferdraht richten
- PS2 Kupferdraht abisolieren
- PS3 Matte wickeln und formen
- PS4 Kupferdraht ablängen
- PS5 Statornuten isolieren



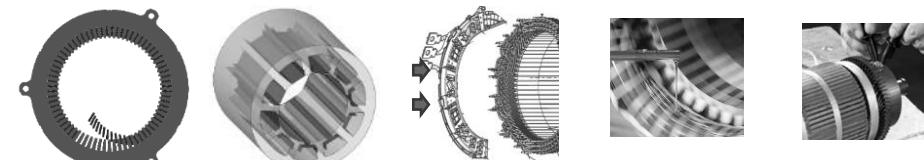
Darstellung einer gewickelten oder geschichteten Matte



Stator mit kontinuierlicher Hairpinwicklung



- PS6 Matte einbringen
- PS7 Deckschieber einbringen
- PS8 Drahtenden verschalten
- PS9 Stator imprägnieren
- PS10 Stator testen

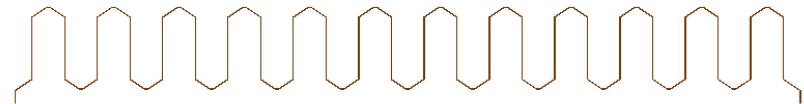


Wickeltechnologien im Vergleich

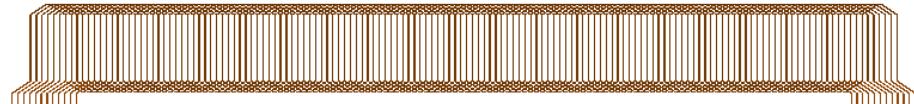
SCALE-UP
E-DRIVE

Flachdrahttechnologie – Kontinuierliche Hairpinwicklung

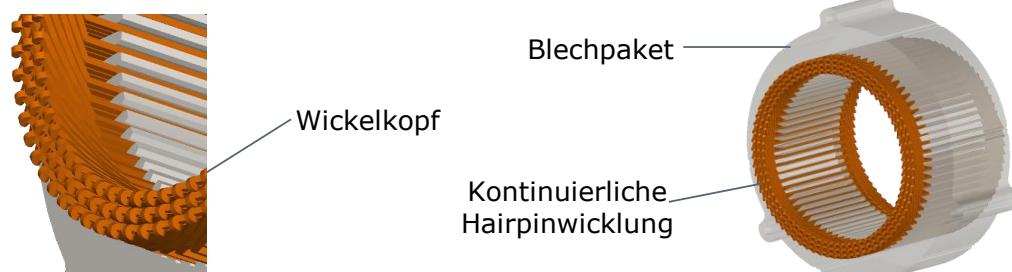
Darstellung eines Einzeldrahtes



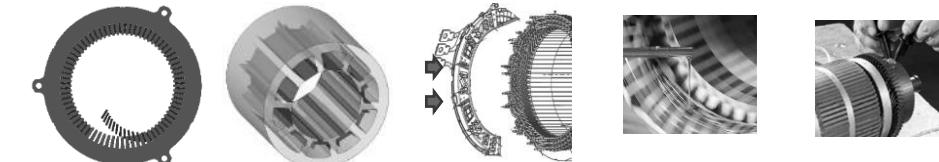
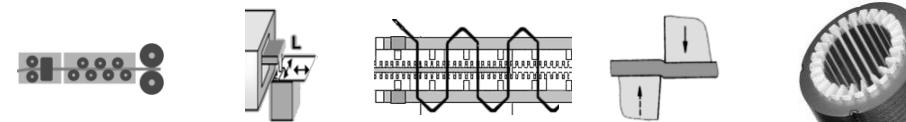
Darstellung einer gewickelten oder geschichteten Matte



Stator mit kontinuierlicher Hairpinwicklung

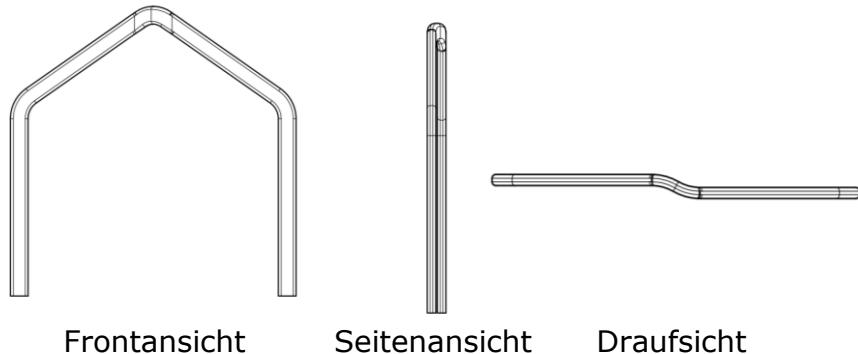


Generische Prozesskette der kont. Hairpinwicklung



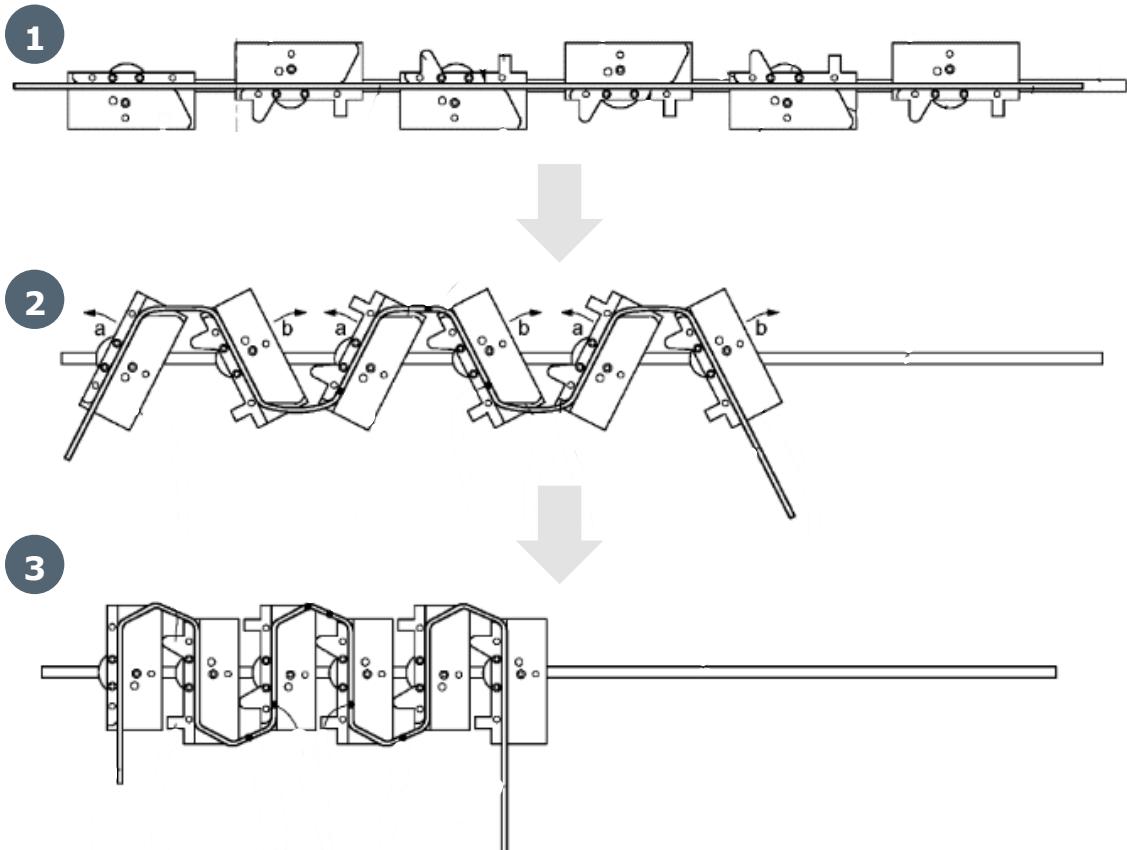
Flachdrahttechnologie – Kontinuierliche Hairpinwicklung

PS4 – Kupferdraht biegen - Flachwickeltechnik



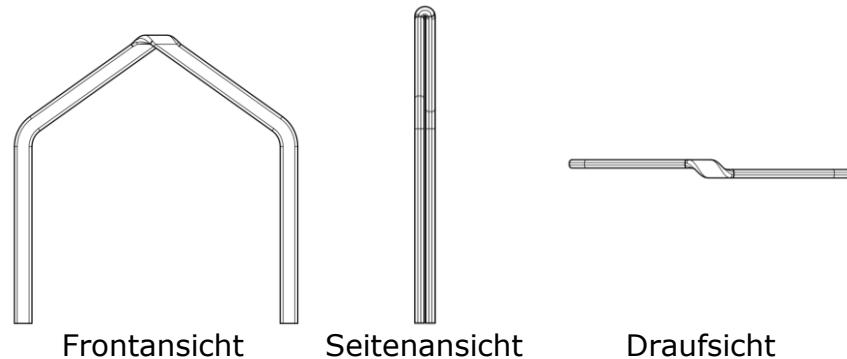
Prozessbeschreibung und -informationen

- Drahtindividuelles 2D-/ 3D-Biegen eines Mäandermusters & ggf. 3D-Formen der Kopfform
- Durch reine Biegebelastung geringere Prozesskräfte und Drahtbelastungen gegenüber der Wellenwicklung
- Assemblierung der Einzeldrähte zur Wicklungsmatte durch Stapeln oder Verweben
- Stapeln prozesstechnisch einfacher als Verweben, weist jedoch elektromagnetische Nachteile auf



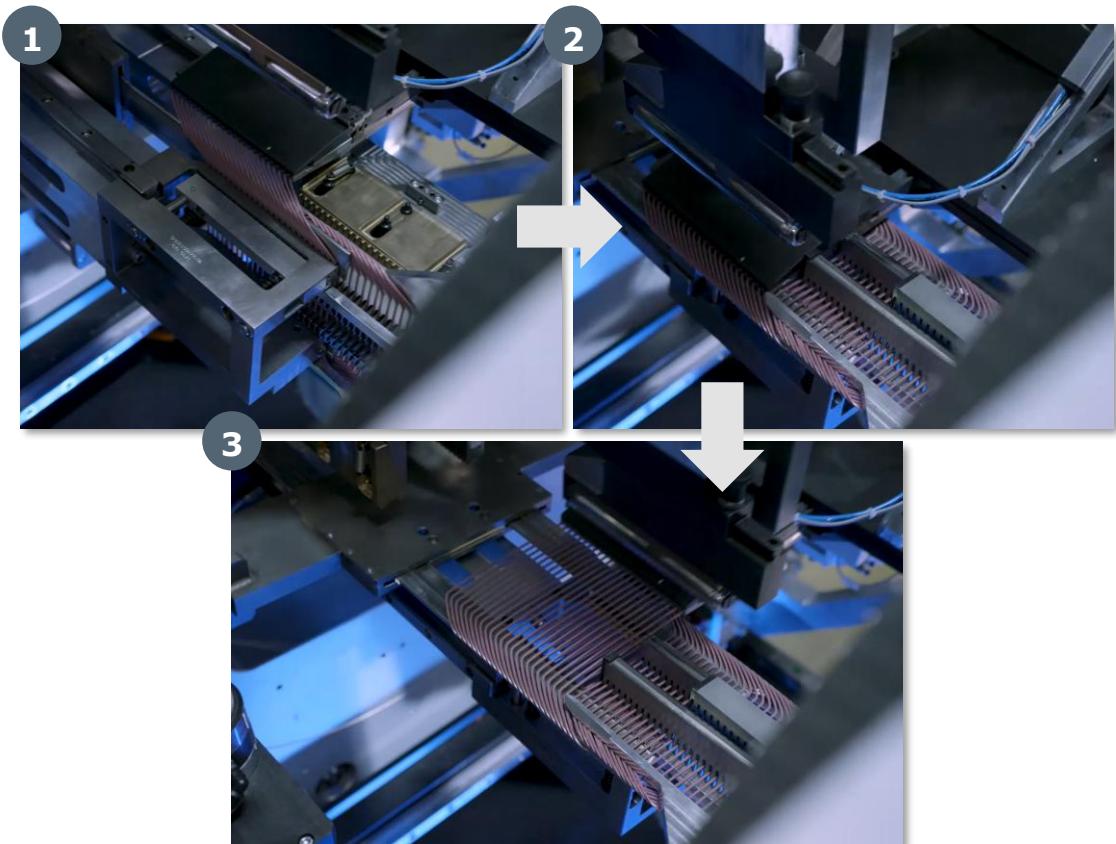
Flachdrahttechnologie – Kontinuierliche Hairpinwicklung

PS4 – Kupferdraht biegen - Schwertwickeltechnik



Prozessbeschreibung und -informationen

- Wicklung mehrerer paralleler Drähte um rotierendes Wickelschwert mit Hilfe einer sich translatorisch bewegenden Drahdüse
- Vergleichbar mit einem Linearwickelprozess mit translatorisch verfahrender Drahdüse
- Durch Überlagerung der Biege- und Torsionsbeanspruchung ergibt sich eine hohe Belastung für den Draht und die Isolationsschicht
- Kein Verweben oder Stapeln der Matte notwendig
- Anschließende Entformung und Verpressung der Drahtmatte





Danke für ihre Aufmerksamkeit!

Hartha, 25. September 2025



M.Sc.
Tim Franitza

📞 +49 (0) 1628 935127
✉️ t.franitza@pem.rwth-aachen.de

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**SCALE-UP
E-DRIVE**



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

SCALE-UP
E-DRIVE

Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

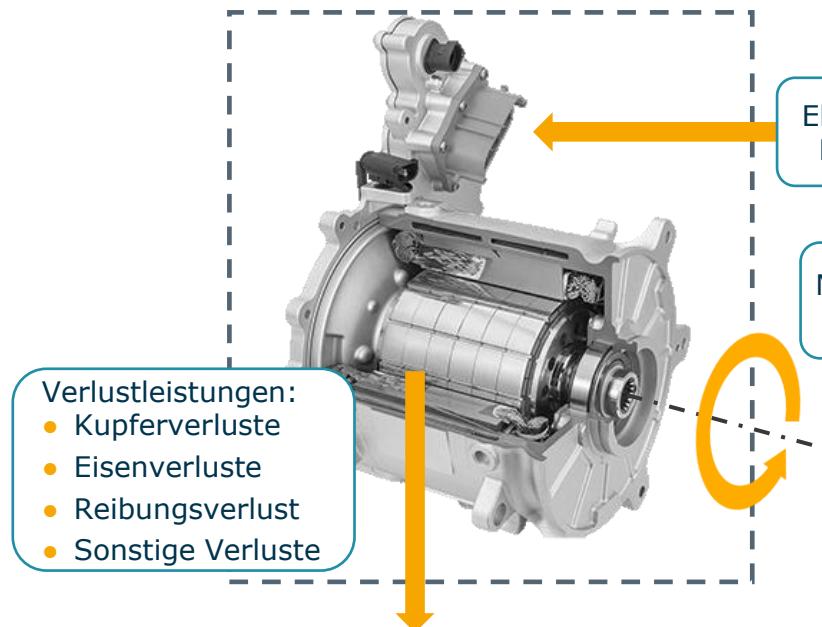
Grundlagen Statorisolation

Hartha, 25. September 2025

Motivation für Isolationssysteme

Leistungsbilanz eines Elektromotors

Elektrische Leistung wird in mechanische Leistung und Verlustleistung umgewandelt



Aufgaben und Funktionen der Statorisolationssysteme



Trennung elektrischer Potentiale

Isolierung der Statorwicklung gegenüber dem geerdeten Statorblechpaket



Abführung von Verlustwärme

Effektive Abführung von Verlustwärme aus den Statorwicklungen, um eine Überhitzung bzw. Schädigung von Komponenten zu vermeiden



Fixierung und Schutz der Komponenten

Mechanische Fixierung der Wicklungen und sonstiger Komponenten sowie Schutz vor ambienten Belastungen

Die Statorisolationssysteme haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit, Effizienz und Lebensdauer eines Elektromotors - die anforderungsgerechte Auslegung ist unerlässlich

Statorisolationssysteme

Recap: Grundlegender Statoraufbau

Nutgrundisolation

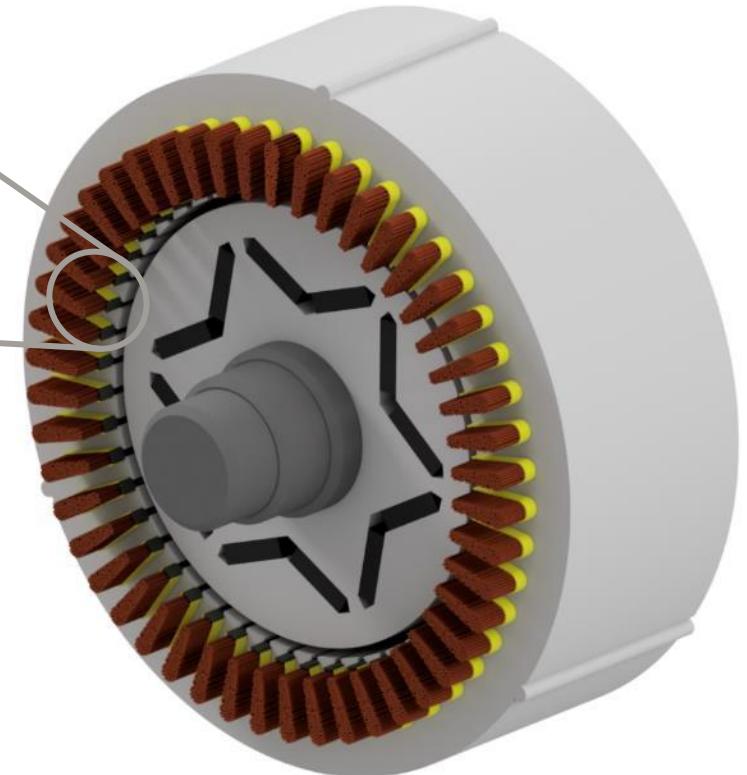
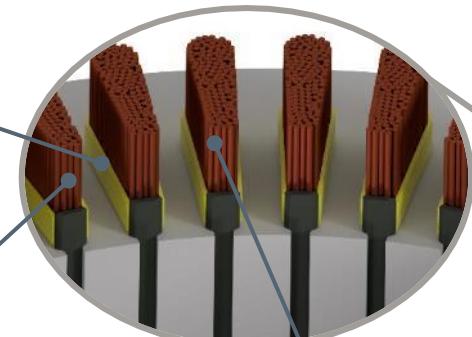
- Nutwand- und Nutgrundisolation mit stirnseitigem Deckschieber
- Trennung der isolierten Wickeldrähte vom Erdpotential des Statorblechpaketes
- Phasen-Erde Isolation

Drahtisolation

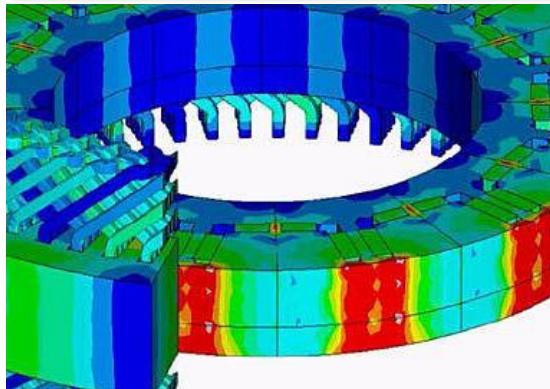
- Trennung der einzelnen Kupferdrähte bzw. Leiterstäbe innerhalb eines Leiterbündels voneinander
- Leiter-Leiter Isolation

Imprägnierung und Verguss

- Sekundärisolation aus Harzen und Kunststoffen zum Füllen der Wicklungzwischen- und Hohlräume im Nutbereich und im Wickelkopf
 - Mechanische Fixierung der Wicklungen
 - Optimierung der Isolations- und Wärmeleiteigenschaften des Isolationssystems



Anforderungen an elektrische Isolationsmaterialien in der Traktionsanwendung

Elektrisch	Mechanisch	Thermisch	Ambiente
			

- Isolationsmaterialien sollten einen hohen spezifischen Widerstand sowie eine hohe Durchschlagsfestigkeit aufweisen
- Funktionen sind hierbei das Verhindern eines Stromflusses sowie das Trennen elektrischer Potentiale

- Während der Motorherstellung kommt es bspw. durch die Formgebung oder durch Werkzeugkontakt zu mechanischen Beanspruchungen
- Im Betrieb wird die Isolation zudem bspw. durch Reibung oder Vibration belastet

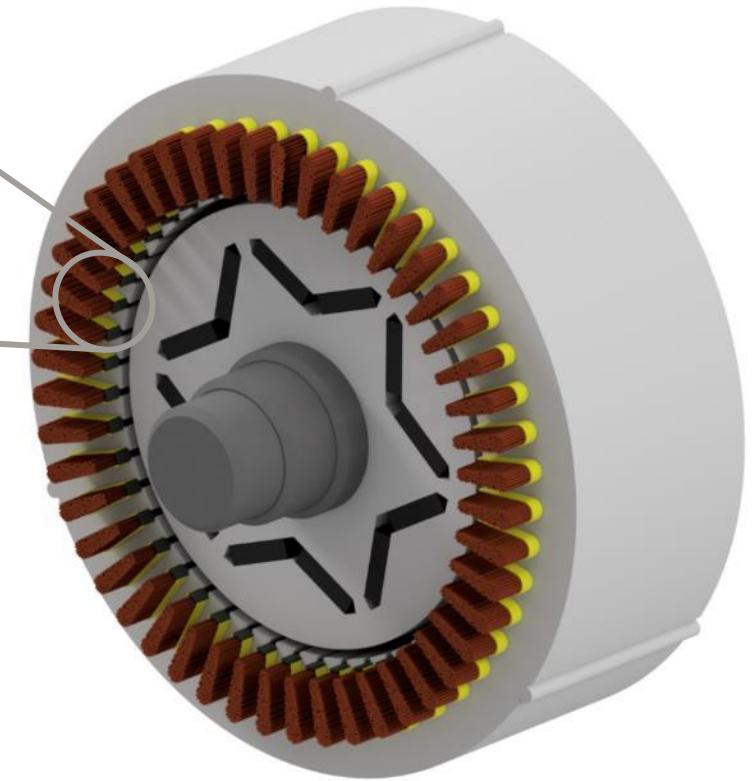
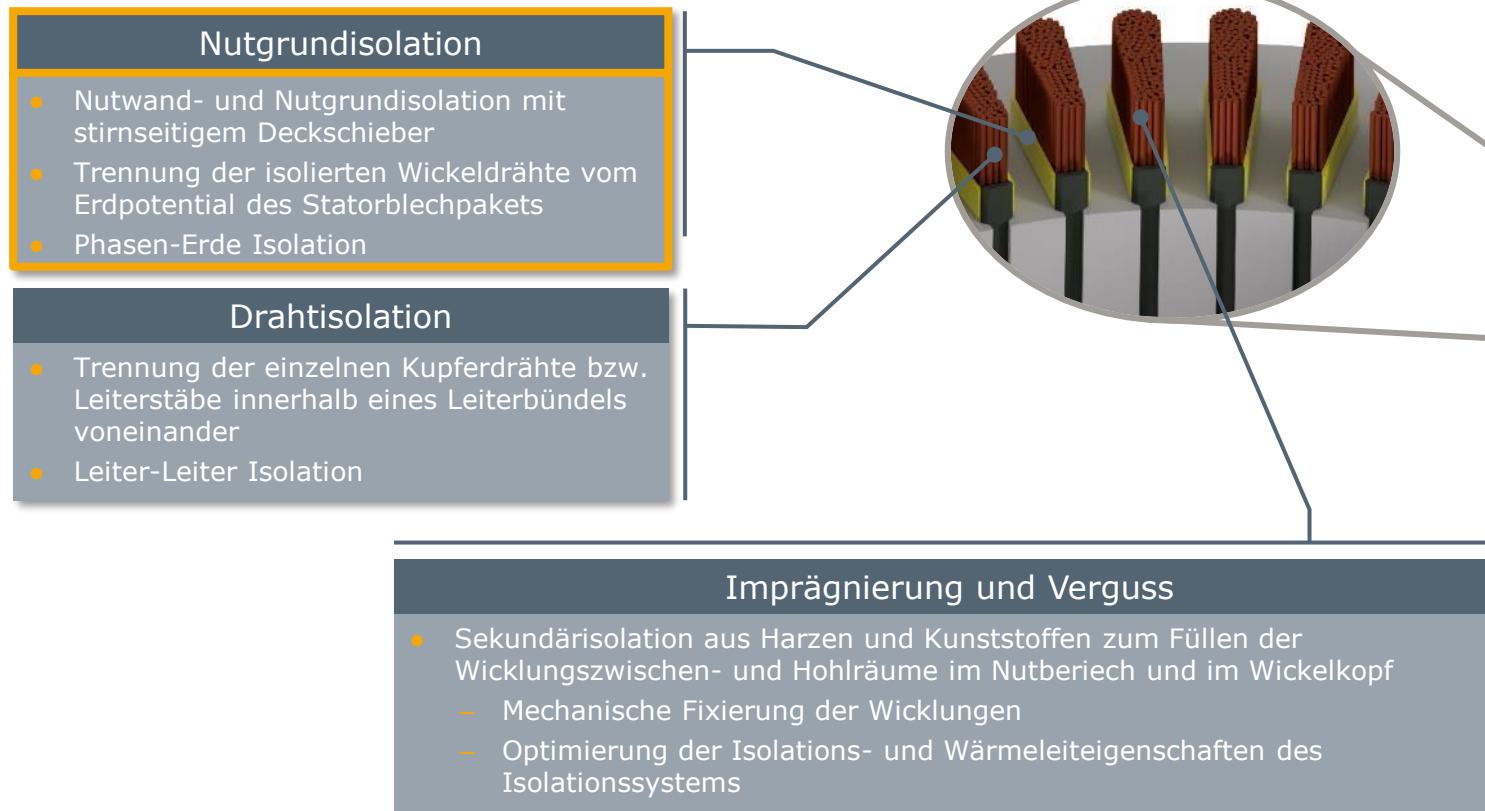
- Je nach Betriebspunkt und Umgebungstemperatur kann die Motortemperatur zwischen -30°C und 180°C schwanken
- Diese Temperaturschwankungen und die damit einhergehenden Spannungen sind hauptverantwortlich für Alterungsscheinungen der Isolationsmaterialien

- Umgebungsfaktoren können je nach Intensität und Dauer der Exposition erhebliche Auswirkungen auf die Laufzeit haben
- Hierzu zählen bspw. Feuchtigkeit oder Temperatur

Die Isolationssysteme müssen den Schutz des Motors vor den internen und externen Belastungen sicherstellen und robust gegen diese ausgelegt sein, um ein frühzeitiges Ausfallen des Motors auszuschließen

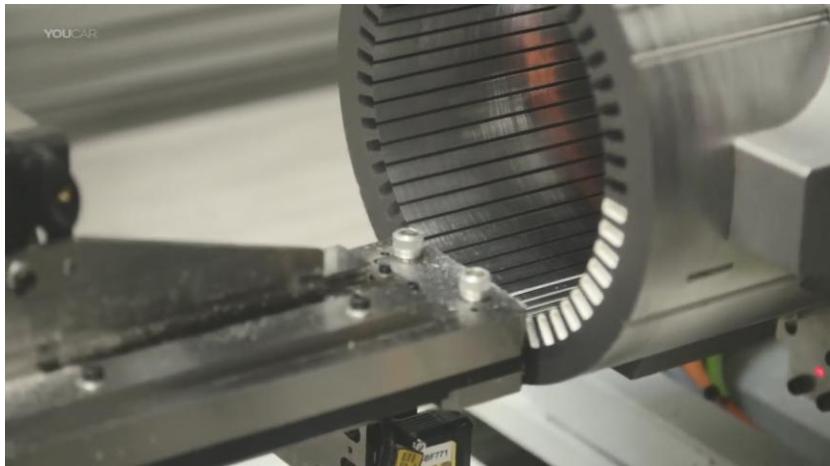
Statorisolationssysteme

Recap: Grundlegender Statoraufbau



Nutgrundisolation – Flächenisolation

Produktbeispiel



Eigenschaften

- Am weitesten verbreitetste Isolierstoffgruppe
- Gute Isoliereigenschaften bei gleichzeitig geringen Materialkosten
- Keine Einschränkungen für axiale Länge des Stators
- Lufteinschlüsse zwischen Nutisolation und Stator können minimiert, aber nicht vermieden werden
 - Verminderte Wärmeleitung
- Gefahr, dass Isolierstoff während der Auskleidung oder während des Wickelprozesses/ dem axialen Einschieben der Wicklung beschädigt wird
- Wandstärken zwischen 100 bis 650 µm

Prozesskette

1

Schneiden



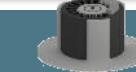
2

Formen



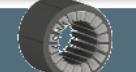
3

Umhüllen



4

Entfernen



- Zuschnitte aus Rollenmaterial, Bögen oder Tafeln
- Längs- oder Querschneiden

- Umbördeln
- Prägen
- Falzen
- Biegen
- Wickeln

- Auskleidung der zu isolierenden Oberfläche
- Einschießen oder Einlegen des Isolationsmaterials

- Entfernung von nicht erwünschten Überständen
- Kürzung
- Überlappendendes Umlegen

Nutgrundisolation – Flächenisolation

Diskrete Materialien	Flexible Laminate	Beschichtete Materialien
<ul style="list-style-type: none">Isolationsstoffe werden entweder direkt für die Nutauskleidung verwendet oder mehrschichtig verarbeitetSelbes Material ein oder mehrlagigInsbesondere organische Stoffe wie Papiere aus Aramid sowie Kunststofffolien aus preiswertem Polyester oder leistungsstarkem Polyimid	<ul style="list-style-type: none">Verbinden (Kaschieren oder Kalandrieren) von zwei oder mehreren Schichten unterschiedlicher diskreter FlächenisolierstoffeAnpassung der Dicke, Stabilität und der Eigenschaften entsprechend der elektrischen und thermischen Anforderungen	<ul style="list-style-type: none">Die Beschichtung von Flächenisolierungen mit Zusatzstoffen dient neben der Optimierung des Isoliervermögens auch der Verarbeitbarkeit beim Isolieren selbstFrikitionsbeschichtungen bzw. Pressure Sensitive Adhesives erhöhen die Haftung zwischen Nutgrundisolation und Statorblechpaket

Isolationseigenschaften verschiedener Flächenisolierstoffe

Produkt	Nomex 410	ELAN-Film HT180	NMN	NKN	Acuflex® GHG
Produktart	Aramidpapier	PET-Folie	PET-Laminat	PI-Laminat	PI-Glasfaserweben
Nenndicke [µm]	180	190	210	200	180
Temperaturklasse	R:220 °C	H:180 °C	F:155 °C	R:220 °C	R:220 °C
Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]	0,14	0,19	0,2	0,2	0,38
Spannungsdurchlagsfestigkeit [kV/mm]	15	75	25	40	77

Statorisolationssysteme

Recap: Grundlegender Statoraufbau

Nutgrundisolation

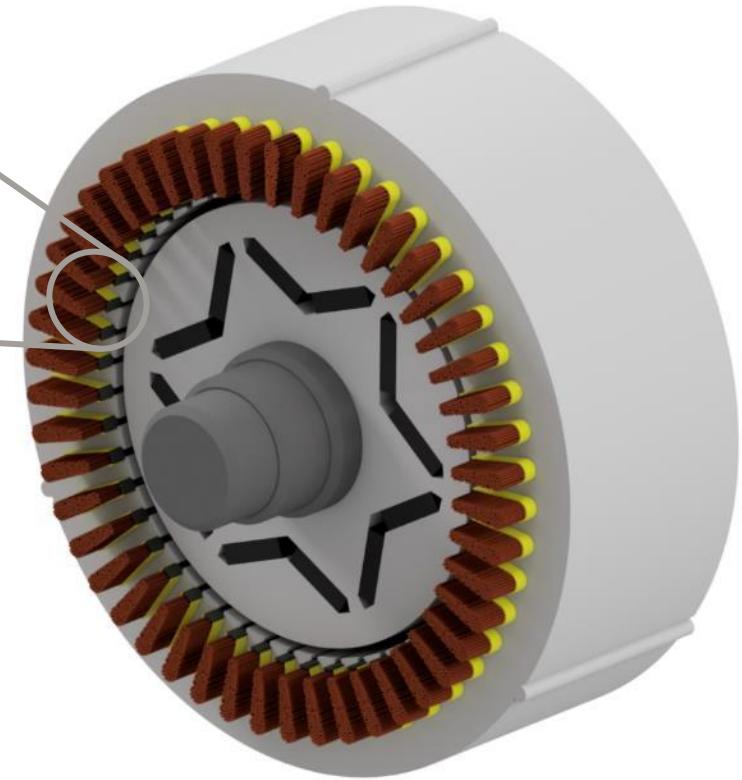
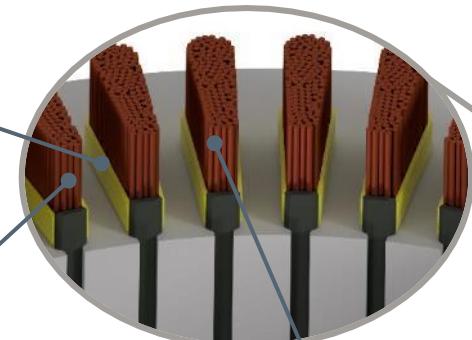
- Nutwand- und Nutgrundisolation mit stirnseitigem Deckschieber
- Trennung der isolierten Wickeldrähte vom Erdpotential des Statorblechpaketes
- Phasen-Erde Isolation

Drahtisolation

- Trennung der einzelnen Kupferdrähte bzw. Leiterstäbe innerhalb eines Leiterbündels voneinander
- Leiter-Leiter Isolation

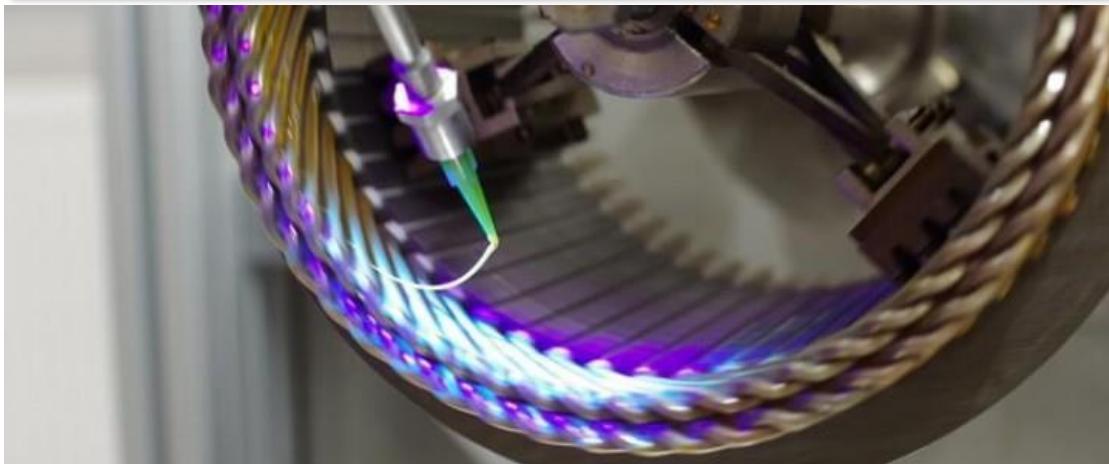
Imprägnierung und Verguss

- Sekundärisolation aus Harzen und Kunststoffen zum Füllen der Wicklungzwischen- und Hohlräume im Nutbereich und im Wickelkopf
 - Mechanische Fixierung der Wicklungen
 - Optimierung der Isolations- und Wärmeleiteigenschaften des Isolationssystems



Sekundärisolation

Imprägnieren



Kupferenden isolieren



- Imprägnierung steigert Effizienz und erhöht die Lebensdauer
 - Optimierung der elektrischen Isolierung durch zusätzliches isolierendes Material im Stator
 - Bessere Wärmeleitung durch (teils) vollständiger Füllung des Stators und Schließung von Zwischenräumen (Luft)
 - Verstärkende Struktur fixiert die Wicklungen und Isolationselemente und schützt vor äußeren Belastungen schützt
- Eingesetzt bei Runddraht-, Hairpin- oder Wellenwicklungen

- Gezieltes aufbringen von Isolationsmaterial im Bereich der Kupferenden nach dem Schweißvorgang
- Dient primär der elektrischen Leiter-Leiter Isolation und der Leiter-Blechpaket Isolation
- Durch gezieltes auftragen des Materials ergeben sich reduzierte Kosten
- Wird primär bei U-Hairpin sowie I-Pin eingesetzt

Sekundärisolation

Imprägnieren



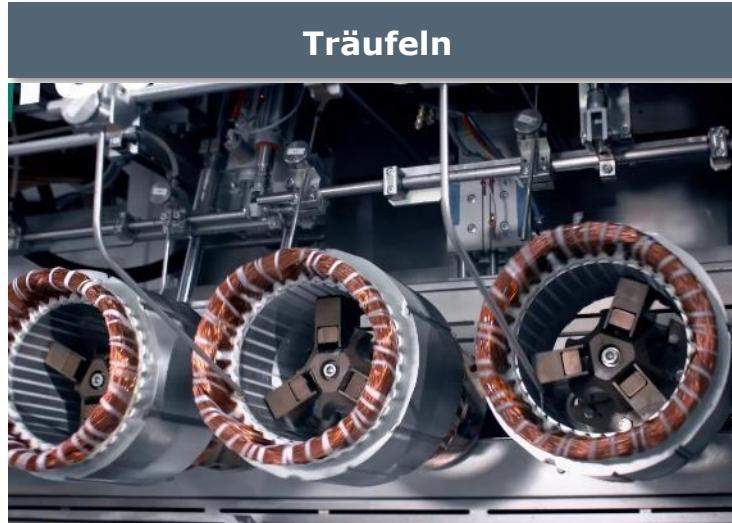
Kupferenden isolieren



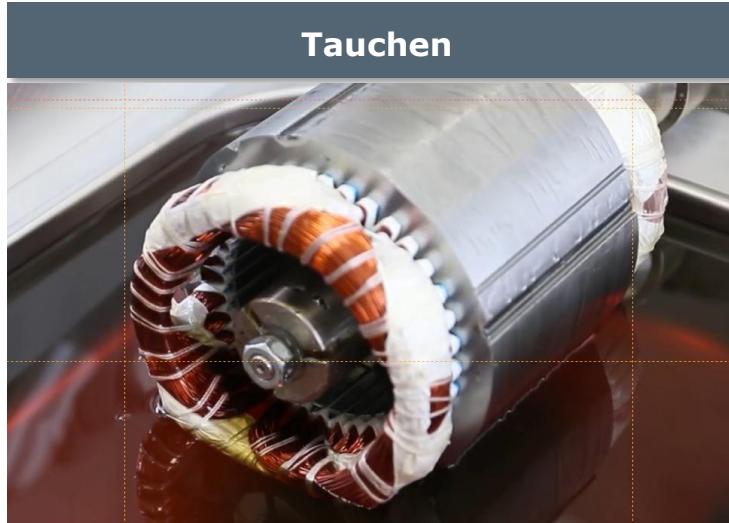
- Imprägnierung steigert Effizienz und erhöht die Lebensdauer
 - Optimierung der elektrischen Isolierung durch zusätzliches isolierendes Material im Stator
 - Bessere Wärmeleitung durch (teils) vollständiger Füllung des Stators und Schließung von Zwischenräumen (Luft)
 - Verstärkende Struktur fixiert die Wicklungen und Isolationselemente und schützt vor äußeren Belastungen schützt
- Eingesetzt bei Runddraht-, Hairpin- oder Wellenwicklungen

- Gezieltes aufbringen von Isolationsmaterial im Bereich der Kupferenden nach dem Schweißvorgang
- Dient primär der elektrischen Leiter-Leiter Isolation und der Leiter-Blechpaket Isolation
- Durch gezieltes auftragen des Materials ergeben sich reduzierte Kosten
- Wird primär bei U-Hairpin sowie I-Pin eingesetzt

Imprägnierung



- Applikation des Materials an mit beheizten Düsen auf rotierenden Stator
- Harz durchdringt Nut aufgrund des Kapillareffektes (Hoher Füllfaktor im Wickelkopf, geringer in Nut)
- Aushärten des Harzes durch Heißluft
- ✚ Geringe Nacharbeit notwendig
- ✚ Hoher Harzfüllfaktor
- ✚ Hohe Automatisierbarkeit



- Vollständiges/ teilweises Eintauchen des Stators in vorgeheiztes Harzbad
- Aushärten des Harzes durch Widerstandserwärmung, Heißluft oder UV-Bestrahlung
- ✚ Einfache Anlagetechnik
- ✚ Hohe Prozessstabilität
- Nacharbeit durch auf Funktionsstellen



- Einsatz von Über-/ Unterdruck eingesetzt, um Statoren mit Harz zu versiegeln
- Stator wird in Druckkammer platziert, vorgewärmt und mit Harz durchflutet
- Unterdruck in Kammer reduziert Luft und Feuchtigkeit im Stator
- ✚ Hohe Füllfaktor (speziell am Nutgrund)
- Aufwendiges Verfahren und insbesondere für große Statoren geeignet

Sekundärisolation

Imprägnieren



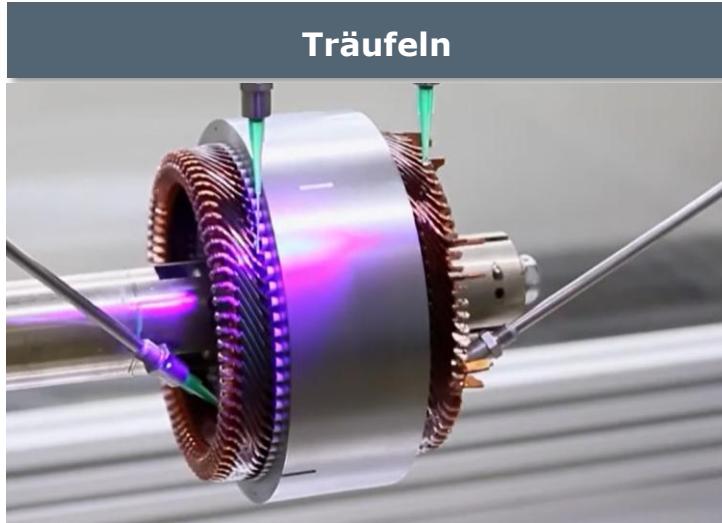
- Imprägnierung steigert Effizienz und erhöht die Lebensdauer
 - Optimierung der elektrischen Isolierung durch zusätzliches isolierendes Material im Stator
 - Bessere Wärmeleitung durch (teils) vollständiger Füllung des Stators und Schließung von Zwischenräumen (Luft)
 - Verstärkende Struktur fixiert die Wicklungen und Isolationselemente und schützt vor äußeren Belastungen schützt
- Eingesetzt bei Runddraht-, Hairpin- oder Wellenwicklungen

Kupferenden isolieren



- Gezieltes aufbringen von Isolationsmaterial im Bereich der Kupferenden nach dem Schweißvorgang
- Dient primär der elektrischen Leiter-Leiter Isolation und der Leiter-Blechpaket Isolation
- Durch gezieltes auftragen des Materials ergeben sich reduzierte Kosten
- Wird primär bei U-Hairpin sowie I-Pin eingesetzt

Kupferenden isolieren



- Applikation von Isolationspulver durch Positionierung des erwärmten Stators im Sinterbecken
- Pulver wird durch Luftdruck über Öffnungen im Boden in das Becken geleitet und haftet an den erwärmten Drahtenden
- + Eignet sich für flexible Bauteilgeometrie
- Ggf. Nacharbeit erforderlich
- Exakte Material- und Prozessparameter erforderlich

- Applikation des Materials an mit beheizten Düsen auf rotierenden und vorgeheizten Stator
- Durch Kapillareffekt bildet sich homogene Isolationsschicht entlang der zu Kupferenden
- Aushärten des Harzes auf Heizstrecke
- + Präzise steuerbarer Prozess
- + Keine Harzrückstände an den Anlagen
- + Geringer Materialbedarf
- Komplexe Prozessparameter

- Stator wird in spritzgussähnlichen Verfahren vollständig/ teil ummantelt
- Dichtkern drückt Vergussmaterial in Nuten und sorgt so für lunkerfreien Verguss
- + Gute Wärmeleitfähigkeit
- + Materialschonend und energiesparend durch Aushärtung bei niedrigen Temperaturen
- Geringe Flexibilität für unterschiedliche Statorgeometrien, da Werkzeug für Spritzgussanwendung notwendig

Statorisolationssysteme

Recap: Grundlegender Statoraufbau

Nutgrundisolation

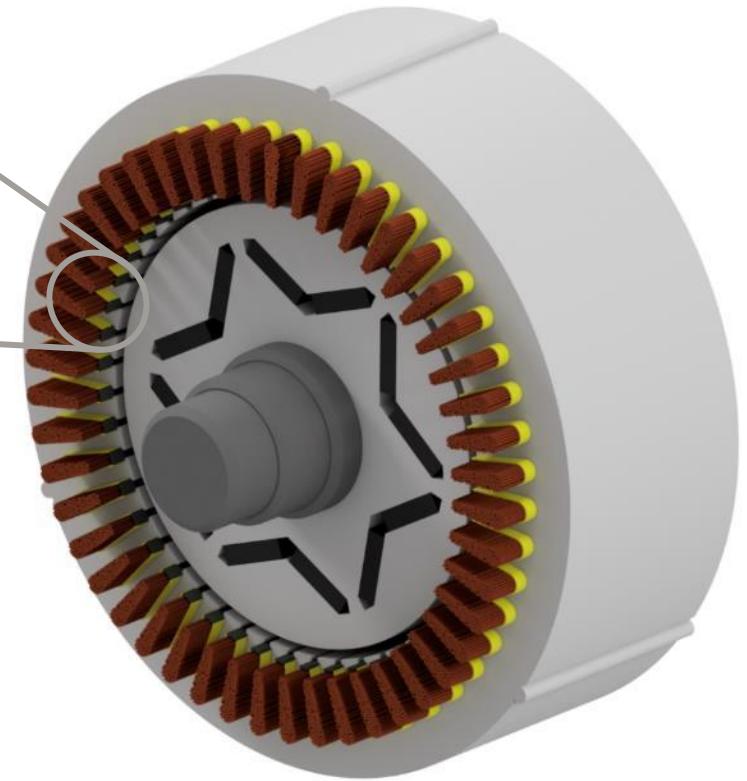
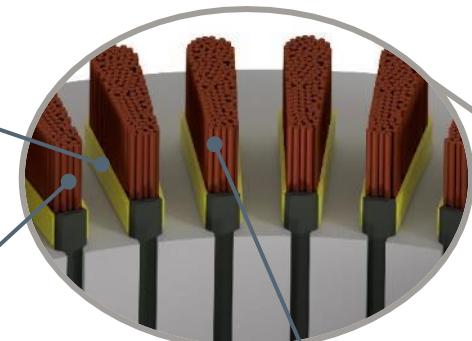
- Nutwand- und Nutgrundisolation mit stirnseitigem Deckschieber
- Trennung der isolierten Wickeldrähte vom Erdpotential des Statorblechpaketes
- Phasen-Erde Isolation

Drahtisolation

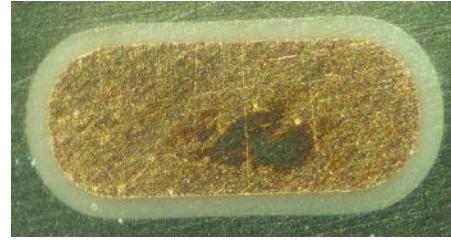
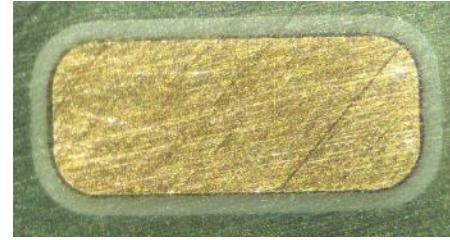
- Trennung der einzelnen Kupferdrähte bzw. Leiterstäbe innerhalb eines Leiterbündels voneinander
- Leiter-Leiter Isolation

Imprägnierung und Verguss

- Sekundärisolation aus Harzen und Kunststoffen zum Füllen der Wicklungzwischen- und Hohlräume im Nutbereich und im Wickelkopf
 - Mechanische Fixierung der Wicklungen
 - Optimierung der Isolations- und Wärmeleiteigenschaften des Isolationssystems

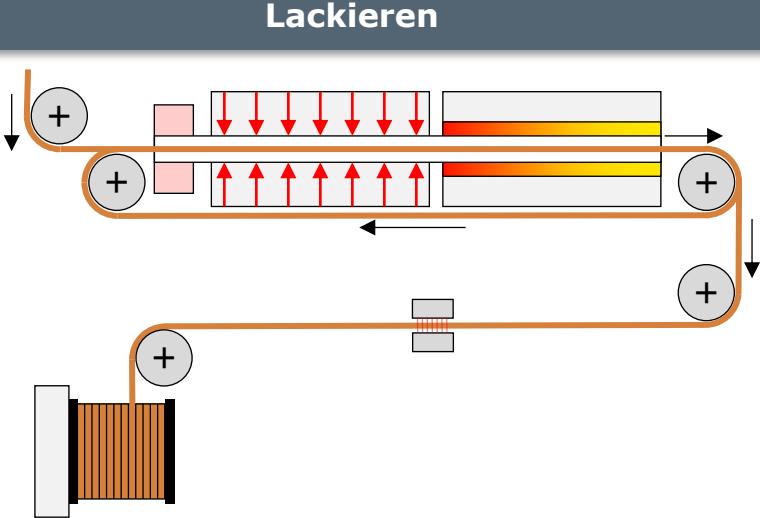


Drahtisolation

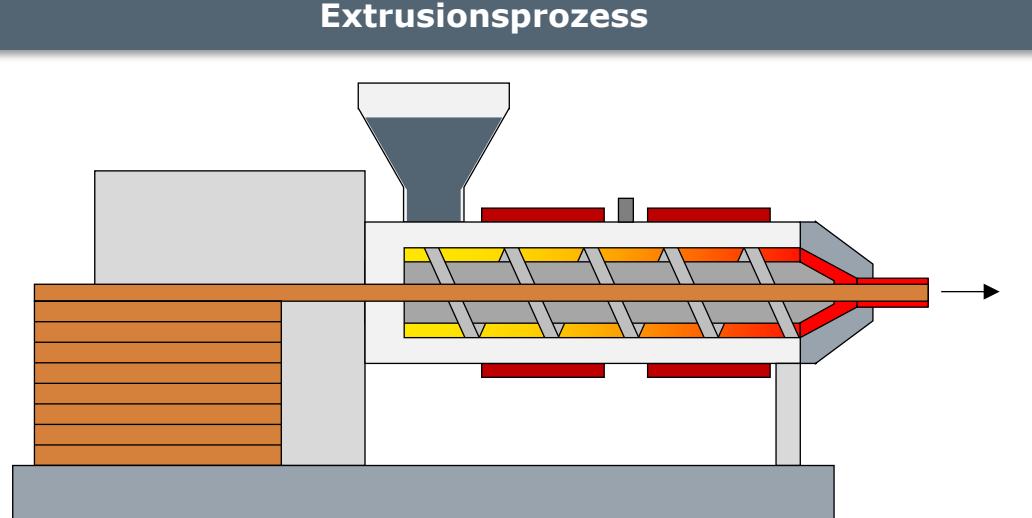
Beschreibung		Exemplarischer Aufbau			
<ul style="list-style-type: none">• Trennung der einzelnen Kupferdrähte bzw. Leiterstäbe innerhalb eines Leiterbündels• Ausführung der Isolation (Material, Schichtstärke, etc.) richtet sich nach Anwendungsanforderungen (Betriebsspannung, Betriebsstrom, Wickelschemata, .etc.)• Maßgebliche Eigenschaften bilden unter anderem Durchschlagsfestigkeit, die Oberflächengüte und die Adhäsion der Isolation am Leiterkern• Norm von Wickeldrähte / Isolation sind nach DIN EN 60851		 			
		PEEK isolierter Flachdraht			
		PEEK-PAI isolierter Flachdraht			
Isolationseigenschaften gängiger Isolationsstoffe					
Produkt	Polyurethan	Polyether-etherketone	Polyimide	Polyamideimide	Polyesterimide
Haftkraft auf Metallen	Gut	Durchschnittlich	Durchschnittlich	Gut	Durchschnittlich
Gleiteigenschaften	Durchschnittlich	Gut	Gut	Durchschnittlich	Durchschnittlich
Durchschlagsfestigkeit [kV/mm]	24	19 – 73	56	25	23
Temperaturstabilität [°C]	180	250	240	260	180
Mechanische Festigkeit [MPa]	400	3500	2300	4500	2000

Drahtisolation

Lackieren



Extrusionsprozess



- Der Lack wird mittels Düsen (größere Lackmengen) oder Filz (kleinere Lackmengen) auf den Draht aufgetragen
- Anschließend durchläuft der Draht eine Heizstrecke, auf der die Lösungsmittel verdampft werden
- Je nach gewünschter Isolationsdicke kann der Draht den Schritt des Lackauftragens mehrmals durchlaufen
- Anschließend kühl der Draht ab und der Lack härtet aus
- Vor dem Aufwickeln auf die Rolle wird der Draht hinsichtlich Schäden untersucht

- Granulat des jeweiligen Isolationsmaterials wird in einer Heizschnecke erhitzt und plastifiziert
- Die Schnecke fördert das Schmelzgut in Richtung Extruder
- Am Extruder wird der Kupferdraht, welcher die gesamte Extrusionsmaschine durchläuft, mit dem Kunststoff überzogen
- Anschließend wird die Extrusionsschicht abgekühlt und ausgehärtet
- Im Zuge der Extrusion besteht die Möglichkeit mehrere unterschiedliche Isolationsmaterialschichten übereinander zu extrudieren



Danke für ihre Aufmerksamkeit!

Hartha, 25. September 2025



M.Sc.
Tim Franitza



+49 (0) 1628 935127



t.franitza@pem.rwth-aachen.de

Gefördert durch:
 Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**SCALE-UP
E-DRIVE**

Agenda

Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

01	Begrüßung und Sicherheitsunterweisung 09:00 Uhr	04	Kaffeepause 11:00 Uhr
02	Integrierte Antriebssysteme im Überblick 09:30 Uhr	05	Produktionstechnologien im Vergleich 11:30 Uhr
03	Praxiseinblick „Demontage eines E-Antriebs“ 10:15 Uhr	06	Praxiseinblick „Vergleich aktueller Motoren“ 12:15 Uhr
07	Abschlussdiskussion, Feedback und Rundgang 13:30 Uhr		

Agenda

SCALE-UP
E-DRIVE

Demontage-Seminar Elektromotoren in Hartha

01	Begrüßung und Sicherheitsunterweisung 09:00 Uhr	04	Kaffeepause 11:00 Uhr
02	Integrierte Antriebssysteme im Überblick 09:30 Uhr	05	Produktionstechnologien im Vergleich 11:30 Uhr
03	Praxiseinblick „Demontage eines E-Antriebs“ 10:15 Uhr	06	Praxiseinblick „Vergleich aktueller Motoren“ 12:15 Uhr
07	Abschlussdiskussion, Feedback und Rundgang 13:30 Uhr		

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



M.Sc., M.Sc.
David Drexler



+49 (0) 152 21 730752



d.drexler@pem.rwth-aachen.de



M.Sc.
Tim Franitza



+49 (0) 1628 935127



t.franitza@pem.rwth-aachen.de



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**SCALE-UP
E-DRIVE**