



BERICHT OKTOBER 2020

# **POSITIONSPAPIER „ELEKTRISCHE MASCHINE – STATUS QUO, AUSBLICK UND HANDLUNGSBEDARFE FÜR DIE DEUTSCHE WIRTSCHAFT“**

**ARBEITSGRUPPE 4**  
SICHERUNG DES MOBILITÄTS-  
UND PRODUKTIONSSTANDORTES,  
BATTERIEZELLPRODUKTION,  
ROHSTOFFE UND RECYCLING,  
BILDUNG UND QUALIFIZIERUNG



# NPM

Nationale Plattform  
Zukunft der Mobilität





# INHALT

<b>EXECUTIVE SUMMARY</b>	<b>4</b>
<b>1 HINTERGRUND UND VORGEHENSWEISE</b>	<b>7</b>
<b>2 DAS WERTSCHÖPFUNGSNETZWERK ZUR PRODUKTION ELEKTRISCHER MASCHINEN: STATUS QUO UND HANDLUNGSFELDER</b>	<b>9</b>
Betrachtung entlang der Wertschöpfungstiefe (spaltenweise)	9
Rohstoffe und Werkstoffe	9
Komponenten und Hauptbauteile	9
Antriebssystem und Anwendung	10
Recycling	11
Betrachtung entlang der Wertschöpfungsinhalte (zeilenweise)	11
Wissenschaftliche Basis	11
Entwicklungs- und Produktions-Know-how	12
Marktzugang	12
Personalakquise und -entwicklung	12
Bestehende und aufzubauende Investitionsbasis	12
Geschäftsmodelle und Investitionsbereitschaft	13
Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit	13
<b>3 HANDLUNGSBEDARFE</b>	<b>14</b>
Seltene Erden und Permanentmagnete	14
Recycling	14
<b>4 FAZIT</b>	<b>16</b>
<b>5 ANHANG</b>	<b>17</b>
Glossar und Abkürzungsverzeichnis	17
<b>IMPRESSUM</b>	<b>18</b>

# EXECUTIVE SUMMARY

- Die Ausgangslage und das Entwicklungspotenzial der deutschen und europäischen Industrie können für diese Kernkomponente des Antriebsstrangs von E-Fahrzeugen insgesamt positiv eingeschätzt werden.
- Die Unternehmen in Deutschland verfügen über einen großen Erfahrungsschatz aus der konventionellen Antriebstechnik in Kombination mit jahrzehntelanger Entwicklungs- und Produktionserfahrung bei elektrischen Maschinen für andere Anwendungen.
- Die in Deutschland bestehende Investitions- beziehungsweise Anlagenbasis für die aktuellen Bedarfe entlang der Wertschöpfungskette elektrischer Maschinen ist weitestgehend als sehr gut einzuschätzen. Für die Produktion elektrischer Maschinen für xEV kann das gewachsene Netzwerk der deutschen Automobilindustrie zum Großteil weiterhin genutzt werden. Etablierte Partnerschaften und optimierte Lieferketten können bestehen bleiben.
- Die bestehende Personalbasis kann aufgrund der fachlichen Nähe zu konventionellen Industriebereichen problemlos für die meisten Wertschöpfungsschritte rund um die elektrische Maschine qualifiziert werden.
- Um die Vorreiterrolle der deutschen Automobilindustrie bei elektrischen Maschinen auch zukünftig zu sichern, die Wettbewerbsfähigkeit weiter auszubauen und die Nachhaltigkeit zu stärken, bestehen punktuell Handlungs- beziehungsweise Optimierungsbedarfe entlang der Wertschöpfungskette für einzelne Rohstoffe und Komponenten, insbesondere in Bezug auf die Versorgungssicherheit bei Seltenen Erden und Seltene-Erden-Permanentmagneten sowie auf das Recycling der elektrischen Maschinen.
- Der Großteil der Roh- und Werkstoffe für die Produktion elektrischer Maschinen kann durch bereits etablierte Wertschöpfungsnetzwerke und Lieferketten beschafft werden. Für wenige Spezialwerkstoffe, wie zum Beispiel Flächenisolierstoffe mit hoher Wärmebeständigkeit, bestehen punktuelle Abhängigkeiten aufgrund von Patenten und Investitionsvorsprüngen ausländischer Unternehmen. Die Produktion dieser Werkstoffe in Europa sollte gefördert werden.
- Im Bereich der zentralen Komponenten nimmt die deutsche Industrie für die Bauteile des klassischen Maschinenbaus eine Technologieführerrolle ein. Für die Entwicklung und Produktion der Komponenten Elektrobleche, Leiter beziehungsweise Wicklungen in Stator und Rotor, Verguss- beziehungsweise Füllmaterialien und Isolation ist Deutschland im weltweiten Wettbewerb auf Augenhöhe. Vereinzelt Aufholbedarfe bestehen etwa zu asiatischen Preisführern für die Produktion von Elektroblechen. Hier sind unter anderem Investitionen in moderne, leistungsfähige Anlagen erforderlich. Bei zunehmendem Volumen von elektrischen Maschinen für Automobilanwendungen ist ein Ausbau der vorhandenen Investitionsbasis notwendig, um den Automatisierungsgrad zu erhöhen.

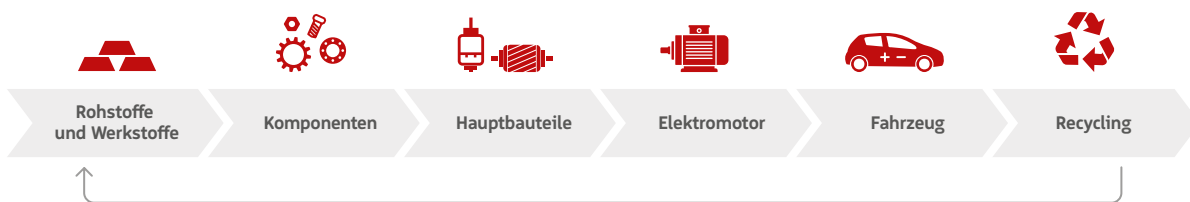
- Die Lage für die Versorgung mit Seltenen Erden und Seltene-Erden-Permanentmagneten ist als kritisch einzustufen. Es besteht eine weltweite Abhängigkeit von chinesischen Lieferanten. Die Versorgung muss etwa über die Erschließung von Rohstoffabbaugebieten außerhalb von China, verstärktes Recycling von Seltenen Erden aus alten elektrischen Maschinen und den Ausbau der europäischen Produktion von Permanentmagneten in Europa gesichert werden. Zudem müssen alternative beziehungsweise disruptive Technologien weiter erforscht werden, die ohne oder mit erheblich weniger Seltenen Erden die gleiche Magnetwirkung erzielen und damit den Rohstoffbedarf reduzieren. Im Hinblick auf die wissenschaftliche Basis sowie das Entwicklungs- und Produktions-Know-how haben asiatische Wettbewerber einen Vorsprung, den es aufzuholen gilt. Unter Berücksichtigung des Bedarfes an höherer Leistungsklassen für schwere LKW, Bahn, Luft- und Schiffsverkehr ist der Forschungsbereich in Richtung neue Architekturen der Elektromotoren zu verstärken. Skalierung aus dem Automobilbereich sind nicht ohne weiteres zielführend, insbesondere mit Hinblick auf Optimierungskriterien Bauraum und Gewicht.
- Grundlegender Handlungsbedarf besteht auf dem Gebiet des Recyclings elektrischer Maschinen. Für das Recycling der metallischen Bestandteile können das Know-how aus anderen Industrien übertragen und bestehende Anlagen verwendet werden. Für das Recycling von Seltenen-Erden-Magneten ist das Know-how in Deutschland prinzipiell vorhanden, es existieren jedoch keine Recyclinganlagen mit nennenswerten recycelten Mengen. Um die Nutzung von Sekundärrohstoffen aus elektrischen Maschinen zu ermöglichen, müssen die Anlagekapazitäten ausgebaut werden. Ganzheitliche Konzepte für die Kreislaufführung mit einem Fokus auf einen möglichst hohen Automatisierungsgrad sollten entwickelt werden. Einheitliche europäische Vorgaben und Regeln sowie entsprechende Zertifizierungsmöglichkeiten müssen geschaffen und etabliert werden. Gezielte Wirtschafts- und Wissenschaftsförderung zu innovativen Recyclingverfahren muss intensiviert werden. Die rechtzeitige Qualifizierung der Personalbasis für kommende Aufgaben im Recycling, insbesondere im Bereich der Permanentmagnete, muss gefördert und sichergestellt werden.

# EXECUTIVE SUMMARY

- With regard to this key drivetrain component of electric vehicles, the starting position and the development potential of the German and European industries can be described as positive.
- Businesses in Germany have got a wealth of experience in conventional drive technology, combined with decades of experience in developing and manufacturing electric machines for other applications.
- The existing investment base in Germany for the current needs along the value chain for electric machines can largely be considered to be very good. For the most part, the evolved network of the German automotive industry can be continued to be used for the production of electric machines for xEV. Established partnerships and optimised supply chains can remain.
- Due to technical similarities with conventional industry sectors, existing employees can easily be trained for most of the value added steps in the context of electric machines.
- In order to further secure the leading role of the German automotive industry in the area of electric machines, to continue to develop its competitiveness and to strengthen its sustainability, there is a need for targeted action and/or optimisation at various points along the value chain for individual raw materials and components, in particular with regard to the security of supply for rare earths and rare-earth permanent magnets as well as the recycling of electric machines.
- The lion share of the raw and processed materials required for the production of electric machines can be procured via established value networks and supply chains. For some special materials, e.g. high-temperature resistant surface insulating materials, there are specific dependencies due to patents and investment advantages of foreign companies. The production of these materials in Europe is to be supported.
- In the area of key components, the German industry plays a prominent role for elements of traditional mechanical engineering. In terms of development and production of components such as electrical sheets, conductors or winding in the stator and the rotor, casting or filling materials and insulation, Germany is competing on an equal footing internationally. In isolated cases, there is a need to catch up e.g. with Asian price leaders for the production of electrical sheets. This requires, among other things, investment in modern, high-performance equipment. As the volume in electric machines for automotive applications increases, the existing investment basis needs to be expanded in order to achieve a higher level of automation.
- The situation for the supply of rare earths and rare-earth permanent magnets can be classed as critical. There is a worldwide dependency on Chinese suppliers. The supply is to be secured through exploitation of mining regions outside of China, increased recycling of rare earths from old electric machines and the expansion of the European production of permanent magnets within Europe. Moreover, alternative or disruptive technologies that achieve the same magnetic effect without or with far fewer rare earths and hence substantially reduce the need for raw materials are to be explored further. When it comes to the scientific basis as well as development and production expertise, Asian competitors have an advantage which must be caught up on. Taking into account the need for higher power classes for heavy trucks, rail, air and ship traffic, research on new architectures of electric motors should be intensified. Scaling from the automotive sector is not necessarily effective, especially with regard to optimization criteria such as installation space and weight.
- Decisive action is needed in the area of recycling electric machines. In terms of recycling metal components, the expertise from other industries can be transferred and existing facilities used. With regard to recycling rare-earth magnets, the know-how is there in principle in Germany, but there are no recycling plants with significant recycled volume. In order to enable the use of secondary raw materials from electric machines, plant capacities need to be expanded. Holistic concepts for circulation with a focus on the maximum level of automation are to be developed. Consistent European guidelines and regulations as well as relevant certification options need to be created and established. Targeted economic and academic support for innovative recycling methods needs to be stepped up. Timely training of employees for future tasks in recycling, especially in the area of permanent magnets, is to be supported and secured.

# 1 HINTERGRUND UND VORGEHENSWEISE

- Die elektrische Maschine stellt neben der Traktionsbatterie und der Leistungselektronik, die im ersten Bericht der Arbeitsgruppe eingehend betrachtet wurden, einen zentralen Baustein des Antriebsstrangs von Elektrofahrzeugen dar.
- Der vorliegende Bericht vermittelt einen Überblick zur Wettbewerbslage der deutschen Industrie im Bereich der elektrischen Maschine. Hierzu wurde im Rahmen der Fokusgruppe Wertschöpfung der AG 4 eine qualitative Analyse entlang des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks elektrische Maschine vorgenommen.
- Betrachtet wurden die einzelnen Elemente der Wertschöpfung, von den benötigten Rohstoffen über die Herstellung der Komponenten und der Hauptbauteile bis hin zu deren Anwendung im Antriebssystem für BEV, PHEV und FCEV, abschließend mit dem Recycling nach Ende der Lebenszeit der elektrischen Maschine. Der Betrachtungsumfang ist auf Traktions-E-Maschinen-Konzepte für Automotive-Anwendungen begrenzt.



- Bewertet wurde für jedes der genannten Wertschöpfungselemente, wie das deutsche Wertschöpfungsnetzwerk in Hinblick auf die einzelnen Wertschöpfungsinhalte, von der wissenschaftlichen Basis über das Know-how, Investitionsbasis und -bereitschaft sowie Marktzugänge bis hin zu Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit im internationalen Vergleich aufgestellt ist.



- Im ersten Zwischenbericht, der die Netzwerke zur Produktion von Leistungselektronik, Li-Ion-Batterien und verbrennungsmotorischen Antriebssträngen analysierte, wurde darauf hingewiesen, dass dringende Handlungsbedarfe für zwei der drei zentralen Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs, Traktionsbatterie und Leistungselektronik, bestehen. Marktführer insbesondere im asiatischen Raum verfügten in diesen

Bereichen bereits über einen erheblichen Erfahrungsvorsprung, den es etwa über F&E in disruptiven Technologien, die Erhöhung der Software- und Systemkompetenz oder den grundlegenden Aufbau einer Produktion im industriellen Maßstab aufzuholen gelte.

- Für die Antriebsstrangproduktion für konventionelle Antriebe hingegen wurde die Spitzenposition des Wirtschaftsstandorts herausgestellt. Diese beruht auf einem gewachsenen Netzwerk aus einer Vielzahl unterschiedlichster Unternehmen – von multinationalen Konzernen bis zu kleinen und mittelständischen Unternehmen.
- In den Bereichen Leistungselektronik und insbesondere Batterie(-zell-)produktion müssen teils ganz neue Wertschöpfungsnetzwerke begründet und Lieferketten neu erschlossen werden. Für die Produktion elektrischer Maschinen für xEV hingegen kann das gewachsene Netzwerk der deutschen Automobilindustrie zum Großteil weiterhin genutzt werden. Etablierte Partnerschaften und optimierte Lieferketten können bestehen bleiben.
- Die Ausgangslage und das Entwicklungspotenzial der deutschen und europäischen Industrie kann für diese Kernkomponente des Antriebsstrangs von E-Fahrzeugen somit insgesamt positiv eingeschätzt werden. Dennoch zeigt die Detailanalyse, dass punktuell Handlungs- beziehungsweise Optimierungsbedarfe entlang der Wertschöpfungskette für einzelne Rohstoffe und Komponenten und deren Recycling bestehen.



# 2 DAS WERTSCHÖPFUNGS- NETZWERK ZUR PRODUKTION ELEKTRISCHER MASCHINEN: STATUS QUO UND HANDLUNGSFELDER

## BETRACHTUNG ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSTIEFE (SPALTENWEISE)

### ROHSTOFFE UND WERKSTOFFE

Zur Produktion elektrischer Maschinen werden hauptsächlich die Werkstoffe Aluminiumguss, verschiedene Stahllegierungen, Kupfer, spezielle Kunststoffe als Isolations- und Füllmaterial und Harze eingesetzt. Der Bezug der benötigten Rohstoffe wie Metall-Erze und Erdöl erfolgt über die in konventionellen Industriezweigen bereits vorhandenen Lieferantennetzwerke. Bei der Weiterverarbeitung der Rohstoffe profitiert das Wertschöpfungsnetzwerk elektrische Maschine von der wissenschaftlichen Basis und dem Entwicklungs- sowie Produktions-Know-how etablierter Industrien. In Deutschland vorhandene Forschungsinstitute und Entwicklungsstandorte für Werkstoff- und Materialwissenschaften gelten im weltweiten Wettbewerb als führend. Die Angebotslage ist gut und vielfältig. Es bestehen größtenteils keine Abhängigkeiten von einzelnen Anbietern beziehungsweise Ländern. Punktuelle Abhängigkeiten aufgrund von Patenten und Investitionsvorsprüngen ausländischer Unternehmen bestehen bei wenigen Spezialwerkstoffen, wie zum Beispiel Flächenisolierstoffen mit hoher Wärmebeständigkeit.

Für die permanenten Synchron-Maschinen werden insbesondere Neodym-Eisen-Bor-Magnete benötigt. Hierfür werden Neodym, Terbium und Dysprosium, Metalle aus der Gruppe der Seltenen Erden, verwendet. Ein Großteil, circa 96 %, der Seltenen Erdenmetalle wird in China und Japan gefördert, wodurch beide Länder verstärkt Investitionen in Wissenschaft und Forschung tätigen. Dies führt zu einem bereits merklichen (zum Beispiel bei Patentanmeldungen) und mittelfristig zunehmenden Know-how-Rückstand Deutschlands im weltweiten Vergleich, speziell gegenüber China. Die daraus entstehende weltweite Abhängigkeit von China birgt das Risiko wettbewerbsbeeinflussender exportpolitischer Instrumente (zum Beispiel Ausfuhrzölle).

### KOMPONENTEN UND HAUPTBAUTEILE

Die Komponenten Gehäuse, Welle, Lager und Lagerschild fallen in den Bereich des klassischen Maschinenbaus, in dem Deutschland hinsichtlich wissenschaftlicher Basis, Entwicklungs- und Produktions-Know-how sowie vorhandener Lieferantennetzwerke und Marktzugang im weltweiten Vergleich eine Technologieführerrolle einnimmt. Produktionsanlagen und -kapazitäten der konventionellen Antriebstechnik können für diese Komponenten adaptiert werden.

Bei den weiteren Komponenten wie Elektrobleche, Leiter beziehungsweise Wicklungen in Stator und Rotor, Vergussbeziehungsweise Füllmaterialien und Isolation ist Deutschland im weltweiten Wettbewerb ebenfalls gut aufgestellt. Hinsichtlich wissenschaftlicher Basis und Produktionsbeziehungsweise Entwicklungs-Know-how im Wertschöpfungsnetzwerk E-Maschine ist die deutsche Industrie international auf Augenhöhe. Punktuell besteht für wenige Technologien Aufholbedarf. Beispielsweise sind japanische Hersteller Technologieführer bei einzelnen Wickeltechnologien. Asiatische Produzenten von Elektroblechen zählen im weltweiten Vergleich zu den Preisführern ohne Qualitätsdefizite. Diese weltweit starke Position wurde durch konsequente Investitionen in moderne, leistungsfähige Anlagen erreicht.

Der größte Aufholbedarf bei den Komponenten elektrischer Maschinen besteht bei den permanenterregten Synchron-Traktionsmaschinen aufgrund der Notwendigkeit der Permanentmagnete auf Basis Seltener Erden im Rotor. In einigen Bereichen ist die wissenschaftliche Basis in asiatischen Ländern der deutschen Forschung voraus (zum Beispiel sparsamerer Einsatz Seltener Erden bei gleicher Magnetwirkung). Asiatische Konzerne beteiligen sich intensiv an Forschungsprojekten, wodurch im Vergleich zu Deutschland bessere finanzielle Voraussetzungen für die Forschung vorliegen. Folgerichtig sind auch im Bereich Entwicklungs- und Produktions-Know-how asiatische Hersteller von Permanentmagneten der weltweiten Konkurrenz voraus. Speziell bei größeren Stückzahlen ist die deutsche Industrie auf asiatische Lieferanten angewiesen, weil diese das beste Preis-Leistungs-Verhältnis im weltweiten Vergleich anbieten können. Das vergleichsweise geringe Angebot an Lieferanten für Permanentmagneten führt zur Unsicherheit bei der Bedarfsdeckung und großen Preisschwankungen für die deutsche Automobilindustrie.

In der Entwicklung und Produktion beziehungsweise Fertigung der Hauptbauteile Rotor, Stator und Gehäuse ist die deutsche Industrie im internationalen Vergleich in einer Spitzenposition. In Bezug auf Produktions- und Entwicklungs-Know-how zählt Deutschland aufgrund der großen Entwicklungs- und Produktionserfahrung bei elektrischen Maschinen für sonstige Anwendungen (Industrieanlagen, Haushaltsgeräte, ...) als Technologieführer. Bei den OEMs und Zulieferern existiert eine starke wissenschaftliche Basis bestehend aus weltweit führenden Forschungsinstituten und eigenen Forschungs- sowie Prototypenzentren. Gerade deutsche OEMs besitzen einen sehr guten Marktzugang und auch ihre Zulieferer gehören zu den führenden Anbietern im europäischen Binnenmarkt. Bei der Fertigung des Gehäuses lassen sich das Know-how und die Produktionsanlagen aus der in Deutschland traditionell starken konventionellen Antriebstechnik adaptieren. Verfahrenstechnisch sind asiatische Firmen den europäischen jedoch punktuell voraus. Das Marktangebot von Anlagen für zum Beispiel Rotor- und Stator-Verguss oder Imprägnierung ist vergleichsweise gering. Es kommt zum Teil zu Engpässen bei den Anlagenlieferanten.

## ANTRIEBSSYSTEM UND ANWENDUNG

Bei der Anwendung der elektrischen Maschine und ihrer Integration in die Fahrzeuge wird bei der Betrachtung zwischen hochintegrierten elektrischen Antriebssystemen (eATS) in BEV, PHEV sowie FCEV und Getriebe-E-Maschinen für Inline-PHEV unterschieden. Der in diesen Systemen integrierte Inverter wird im Wertschöpfungsnetzwerk E-Maschine nicht weiter betrachtet, sondern ist Gegenstand der Analyse zur Leistungselektronik.

Für eATS zählt die deutsche Industrie in allen betrachteten Bereichen zu den Technologieführern. Eine starke wissenschaftliche Basis zeigt sich in den intensiven Forschungsbemühungen zur Erhöhung der Leistungsdichte und Effizienz der eATS. Das benötigte Integrations- und Industrialisierungs-Know-how für die Entwicklung und Produktion von eATS ist bei deutschen OEMs und Zulieferern im internationalen Vergleich als führend zu bewerten.

Bei den Hybridgetrieben für Inline-PHEV-Anwendungen ist die deutsche Industrie ebenfalls vergleichsweise gut aufgestellt. Leichte Defizite im Bereich der wissenschaftlichen Basis und des Entwicklungs-Know-hows gegenüber dem weltweiten Wettbewerb begründen sich aus der kritischen Auseinandersetzung mit PHEVs als Übergangstechnologie und der dadurch beeinflussten strategischen Ausrichtung von Forschung und Entwicklung mehr in Richtung rein batterieelektrischer Antriebe.

Japanische Firmen sind aufgrund ihres höheren Erfahrungsschatzes auf dem Gebiet der Hybridgetriebe-Technologie weltweit führend.

## RECYCLING

Beim Recycling elektrischer Maschinen muss zwischen dem Recycling der Seltenen Erden in permanenterregten Synchron-Maschinen und den sonstigen Bestandteilen unterschieden werden. Bei den sonstigen Bestandteilen ist Deutschland in puncto Wissenschaft und Know-how mit dem internationalen Wettbewerb auf Augenhöhe. Insbesondere beim Recycling der metallischen Bestandteile ist das Know-how aus anderen Industrien für die elektrische Maschine leicht übertragbar und bereits vorhandene Anlagen können für den Recyclingprozess verwendet werden. Einige in elektrischen Maschinen verwendete Harze (Duroplaste) und Elastomere sind aufgrund ihrer Eigenschaften kaum recycelbar. Insgesamt ist der Recyclinganteil (ohne Downcycling) bei elektrischen Maschinen vergleichsweise gering und in Europa sind ganzheitliche Kreisläufe bisher nicht vorhanden. Ursache für den geringen Recyclinganteil sind die unter den bisher geltenden politischen Rahmenbedingungen vorherrschenden Geschäftsmodelle der OEMs (Zero-Cost-Verträge mit Autoverwertern). Durch die stetige Anpassung der Nachhaltigkeitsstrategie der OEMs beziehungsweise die zunehmend strenger werdenden politischen Vorgaben wird der Recyclingprozess voraussichtlich insgesamt aufwendiger und kostenintensiver.

Beim Recycling von Seltenen-Erden-Magneten besteht in Deutschland insbesondere gegenüber China und Japan erheblicher Aufholbedarf. Prinzipiell ist das Know-how zum Recyceln dieser Magnete in Deutschland vorhanden, allerdings existieren keine Recyclinganlagen mit nennenswerten recycelten Mengen. Asiatische Wettbewerber haben aufgrund größerer recycelter Mengen einen deutlichen Erfahrungsvorsprung. Elektrische Maschinen werden zum Ende ihrer Lebenszeit häufig in Gänze geschreddert, was das Recyceln der Permanentmagnete unwirtschaftlich macht. Die Trennung der Magnete von den restlichen Materialien ist aufgrund ihrer Anziehungs- beziehungsweise Abstoßungskraft sehr aufwendig und schwer automatisierbar. Sollte in der Zukunft das Recyceln von Seltenen Erden aufgrund politischer Regelungen verpflichtend werden, sind die dafür benötigten Anlagen in Deutschland nicht vorhanden. Diesbezüglich besteht akuter Handlungsbedarf.

## BETRACHTUNG ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSINHALTE (ZEILENWEISE)

### WISSENSCHAFTLICHE BASIS

Die wissenschaftliche Basis in Deutschland ist in der gesamten Wertschöpfungstiefe elektrischer Maschinen als weltweit führend bis gut zu bewerten. Insbesondere in den Wissenschaftsdisziplinen der Metallverarbeitung, Maschinenbau und hochintegrierter mechatronischer Systeme ist Deutschland im weltweiten Wettbewerb auf der Spitzenposition. Aufholbedarf besteht auf dem Gebiet der Seltenen Erden und den daraus hergestellten Permanentmagneten sowie deren Recycling. Weitestgehend auf Augenhöhe, aber nicht führend ist die deutsche Industrie bei Innovationen von Leiter- und Wickeltechnologien, Verguss- und Isolationsmaterialien und den als Übergangstechnologie gehandelten Hybridgetrieben. Bei hohen Leistungsklassen (hoher kW und MW-Bereich) ist für mobile Anwendungen die Erschließung neuer Architekturen und evtl. Technologien (Supraleitung) zur erfolgreichen Teilnahme an der Elektro / Hybrid Technologie erforderlich. Die Optimierungskriterien unterscheiden sich vor allem mit Blick auf Bauraum, Gewicht, Arbeitstemperatur, Hochlaufzeit von den bisher gut bekannten Kraftwerks - Generatoren. Für Spezialanwendungen wurden bereits Erfolge erzielt auf die es aufzubauen gilt.

## ENTWICKLUNGS- UND PRODUKTIONS-KNOW-HOW

Beim Entwicklungs- und Produktions-Know-how ist die deutsche Automobilindustrie im weltweiten Vergleich bei elektrischen Maschinen weitestgehend Technologieführer.

Dabei profitieren die Unternehmen in Deutschland von der großen Erfahrung aus der konventionellen Antriebstechnik in Kombination mit jahrzehntelanger Entwicklungs- und Produktionserfahrung bei elektrischen Maschinen für andere Anwendungen (Industrieanlagen, Haushaltsgeräte, ...). Ähnlich wie in der wissenschaftlichen Basis besteht auch beim Entwicklungs- und Produktions-Know-how Aufholbedarf in Hinblick auf die Seltenen Erden und die daraus hergestellten Permanentmagnete. Insbesondere bei größeren Stückzahlen sind asiatische Magnethersteller den europäischen Lieferanten bedeutend voraus. Leichte Kostenvorteile der asiatischen Wettbewerber sind aufgrund günstigerer Produktionsbedingungen und konsequenter Investitionen in moderne Anlagen bei den Komponenten Elektrobleche und Leiter/Wicklungen zu bemerken.

## MARKTZUGANG

Der Marktzugang deutscher OEMs für Komponenten und Bauteile elektrischer Maschinen ist im weltweiten Vergleich sehr gut. Bei den Roh- und Werkstoffen profitieren deutsche Unternehmen von den bereits etablierten Lieferantennetzwerken des konventionellen Antriebs. Das Angebot bei den meisten Komponenten- und Subkomponenten ist gut und vielfältig. Vereinzelt bestehen aufgrund von Patenten beziehungsweise Investitionsrückständen Abhängigkeiten von wenigen Lieferanten, wie beispielsweise bei wärmebeständigen Flächenisulationsstoffen. Eine Ausnahme stellt der Zugang zu Permanentmagneten dar. Sowohl bei der Rohstoffgewinnung der Seltenen Erden als auch bei der Herstellung der Magnete ist China weltweit maßgebend. Die Abhängigkeit von China führt zu Unsicherheiten bei der Versorgung und einer schwer prognostizierbaren Preisentwicklung.

## PERSONALAKQUISE UND -ENTWICKLUNG

Die Situation bei der Personalplanung und Personalentwicklung im Wertschöpfungsnetzwerk E-Maschine ist im weltweiten Vergleich in Deutschland als sehr gut zu bewerten. Sowohl im Bereich Fachexperten als auch im direkten und indirekten Produktionsbereich gelingt es, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus den konventionellen Bereichen für neue Aufgaben zu motivieren und umzuschulen (Informations- und Schulungsaufwand notwendig). Das Wertschöpfungsnetzwerk elektrische Maschine ist gegenüber anderen Komponenten im E-Antrieb im Vorteil, weil eine fachliche Nähe zu konventionellen Industriebereichen besteht. Die Studien- und Ausbildungslandschaft ist in Deutschland absolut auf Augenhöhe oder sogar besser einzustufen als der weltweite Wettbewerb (duales Ausbildungssystem). Herausforderungen, das richtige Personal zu finden, bestehen bei einzelnen sehr spezialisierten Qualifikationen wie zum Beispiel Sicherheitsverantwortlichen in der Entwicklung oder Instandhaltungsingenieurinnen und -technikern für die Produktionsanlagen. Einhergehend mit dem generellen Aufholbedarf beim Thema Recycling Seltener-Erden-Magnete ist die Personalbasis in Deutschland auf diesem Gebiet im weltweiten Vergleich insbesondere gegenüber Asien als rückständig zu bewerten.

## BESTEHENDE UND AUFZUBAUENDE INVESTITIONSBASIS

Die in Deutschland bestehende Investitionsbasis für aktuelle Bedarfe entlang der Wertschöpfungskette elektrischer Maschinen ist weitestgehend als sehr gut einzuschätzen. Im Bereich der Komponenten lassen sich für Grundgehäuse, Welle, Lager und Lagerschild die Kapazitäten aus der konventionellen Motorentechnik verwenden. Für

Elektrobleche, Leiter, Wicklungen sowie Isolation sind die Kapazitäten durch die Mischung etablierter Lieferanten der Industrie (auch aus E-Maschinen-Fertigung für sonstige Anwendungen) und neu aufkommender Lieferanten groß und vielfältig. Quantität und Qualität der Investitionsbasis gelten im weltweiten Vergleich als führend. Bei den Elektroblechen kann es aufgrund der weltweit großen Nachfrage bei vergleichsweise geringem Angebot vereinzelt zu Engpässen kommen, die bisher aber nicht als kritisch einzustufen sind. Akute Investitionsbedarfe bestehen auf dem Gebiet der Seltenen-Erde-Magnete und deren Recycling. In der Rohstoffgewinnung, Herstellung und beim Recycling ist die asiatische Industrie (hauptsächlich China) Deutschland signifikant voraus. Das Angebot für Permanentmagnete beschränkt sich weitestgehend auf wenige chinesische Lieferanten. Daraus entstehen Versorgungsunsicherheiten und Abhängigkeiten.

Für das Hauptbauteil Gehäuse ist die bestehende Investitionsbasis als sehr gut zu bewerten, weil hier Technologien sowie Anlagen aus der konventionellen Motorentchnik adaptiert werden können. Bei dem Zusammenbau von Rotor und Stator besteht leichter Aufholbedarf gegenüber den asiatischen Herstellern bei der Verfahrenstechnik, wie zum Beispiel Verguss und Imprägnierung. Dort kommt es teils zu Engpässen bei den Anlagenlieferanten. Insgesamt ist die bestehende Investitionsbasis für den Rotor- und Stator-Zusammenbau im weltweiten Vergleich als gut zu bewerten.

Bei zunehmendem Volumen von elektrischen Maschinen für Automobilanwendungen ist ein Ausbau der vorhandenen Investitionsbasis notwendig, um den Automatisierungsgrad zu erhöhen. In der gesamten Industrie sind in Deutschland ein systematischer Strukturwandel und eine kontinuierliche Technologiebefähigung zu beobachten. Aktuell besteht keine Gefahr, die prognostizierten Stückzahlen in Zukunft nicht bewältigen zu können. Im weltweiten Vergleich sind die deutschen und europäischen Anlagenbauer bei der Qualität führend, während asiatische Anlagenbauer bei geringerer Qualität schneller und größerer Stückzahlen anbieten können.

## **GESCHÄFTSMODELLE UND INVESTITIONSBEREITSCHAFT**

Nahezu alle Lieferanten und Hersteller in der deutschen Automobilindustrie zeigen große Investitionsbereitschaft auf dem Gebiet der elektrischen Maschinen. Geschäftsmodelle sind hier im Vergleich zur konventionellen Antriebstechnik teilweise sogar günstiger, da der Wettbewerb vornehmlich bei starker Spezialisierung und hohem Integrationsgrad noch nicht vollständig vorhanden ist und die Investitionsaufwände auf Stückzahlpreise umgelegt werden können. Europäische Lieferanten sind bei den Autobauern weltweit sehr gefragt. Auf dem Gebiet des Recyclings elektrischer Maschinen ist die Investitionsbereitschaft aufgrund unattraktiver Geschäftsmodelle zurückhaltend. Insbesondere das Recycling der Permanentmagnete ist aufgrund des großen Demontageaufwands nicht lukrativ. Asiatische Recyclingfirmen sind den europäischen Firmen aufgrund größerer recycelter Mengen und geringeren Kosten voraus.

## **NACHHALTIGKEIT UND UMWELTVERTRÄGLICHKEIT**

Bei der Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit im Wertschöpfungsnetzwerk elektrische Maschine ist die deutsche Industrie im weltweiten Vergleich als führend zu bewerten. Es werden Technologiekonsortien geschaffen, um eine vollständig nachhaltige Wertschöpfungskette zu etablieren. Nachhaltigkeitsstandards werden etabliert und die Transparenz der Lieferkette ist im weltweiten Vergleich am größten. Der Grad der Nutzung von Sekundärmaterialien, um geschlossene Kreisläufe zu schaffen, ist aktuell noch gering und noch nicht weitreichend etabliert. Es gibt jedoch Pilotprojekte, um vorhandene Potenziale zu heben. Trotz der vergleichsweise geringen Nutzung von Sekundärmaterialien ist die deutsche Industrie im weltweiten Vergleich in einer Vorreiterrolle.

## 3 HANDLUNGSBEDARFE

Auf Basis der Analyse wurden Handlungsbedarfe für Deutschland und Europa identifiziert, um die Vorreiterrolle der deutschen Automobilindustrie bei elektrischen Maschinen auch zukünftig zu sichern, die Wettbewerbsfähigkeit weiter auszubauen und die Nachhaltigkeit zu stärken. Diese Handlungsempfehlungen richten sich sowohl an die Politik, die Industrie als auch an die Wissenschaft, die durch geeignete regulatorische Maßnahmen und zielgerichtete Zusammenarbeit einen signifikanten Vorteil für Europa schaffen können.

### SELTENE ERDEN UND PERMANENTMAGNETE

Die Abhängigkeit von China bei Metallen der Seltenen Erden für ein wesentliches Anwendungsfeld Permanentmagneten erfordert Maßnahmen in zwei Stoßrichtungen:

#### 1) Sicherung der Versorgung mit Seltenen-Erden-Magneten

- Lieferketten müssen nachhaltig stabilisiert und die Gefahr wettbewerbsbeeinflussender politischer Eingriffe reduziert werden.
- Eine Etablierung von wettbewerbsfähigen Rohstoffabbaugebieten außerhalb Chinas (Australien, Kanada, Grönland) ist wünschenswert.
- Die europäische Produktion von Permanentmagneten aus den Primär- und verstärkt Sekundärrohstoffen muss ausgebaut werden.
- Das Recycling von Seltenen Erden aus elektrischen Maschinen mit Permanentmagneten muss massiv ausgebaut werden, um Deutschland und Europa von den Primärmaterialien unabhängiger zu machen. Hierfür sind größere Materialmengen und deren Logistik ebenso notwendig wie Recyclingtechnologien und -prozesse sowie einheitliche Vorgaben zum Recycling der Permanentmagnete aus elektrischen Maschinen. Für einen ganzheitlichen Ansatz müssen Demontage und Recycling der Magnete bereits bei der Entwicklung berücksichtigt werden.

#### 2) Bedarf an Seltenen-Erden-Magneten mittel- und langfristig reduzieren, Wissenschaft und Know-how verbessern

- Intensivierung der Forschung an alternativen beziehungsweise disruptiven Technologien, die ohne oder mit erheblich weniger Seltenen Erden die gleiche Magnetwirkung erzielen.
- Verstärkte Investitionen in Forschung, um den Rückstand im Bereich Wissenschaft und Know-how gegenüber asiatischen Ländern aufzuholen.

### RECYCLING

Generell gibt es auf dem Gebiet des Recyclings elektrischer Maschinen Handlungsbedarf. Aktuell werden elektrische Maschinen ohne vorherige Zerlegung geschreddert, wodurch viele Materialien nicht mehr wiederaufbereitet werden können. Die Nutzung von Sekundärrohstoffen ist bei elektrischen Maschinen insbesondere im Vergleich zum klassischen Motorenbau bisher gering und muss ausgebaut werden. Dafür werden ganzheitliche Ansätze benötigt, in denen Demontage, Materialtrennung, Aufbereitung und Wiederverwendung der Materialien bereits in der Entwicklung berücksichtigt werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass ein Großteil der Prozessschritte beim Recyceln der Maschinen vollautomatisiert ablaufen kann, um sich gegenüber Niedriglohnländern zu behaupten und den

Materialkreislauf innerhalb Europas zu gewährleisten. Vor dem Recycling sollte im Sinne der ganzheitlichen Betrachtung immer auch die Frage der Wiederaufarbeitung oder funktionalen Weiternutzung gestellt werden.

Es müssen in Europa einheitliche Vorgaben und Regeln für das Recycling entwickelt und etabliert werden, ohne dass dabei die Wettbewerbsfähigkeit Europas im internationalen Vergleich beeinträchtigt wird. Die Nachverfolgbarkeit und Transparenz im Hinblick auf Herkunft und Produktionsbedingungen der verwendeten Materialien müssen erhöht werden. Verbindliche Vorgaben zu Rückgewinnungsraten der verschiedenen Werkstoffe als Sekundärwertstoffe schaffen Planungssicherheit und Unabhängigkeit gegenüber Ländern, in denen die Vorkommen für Primärrohstoffe liegen.

Um das Recycling in nennenswerten Mengen zu ermöglichen, müssen die dafür benötigten Anlagen massiv ausgebaut werden. Außerdem müssen entsprechende Zertifizierungsmöglichkeiten geschaffen werden (Qualitätskennzeichnung als Kaufargument), um die Bereitschaft der Industrie für die Nutzung von Sekundärwertstoffen zu erhöhen. Gezielte Wirtschafts- und Wissenschaftsförderung zu innovativen Recyclingverfahren muss intensiviert werden.

Rechtzeitige Qualifizierung der Personalbasis für kommende Aufgaben im Recycling, insbesondere im Bereich der Permanentmagnete, muss gefördert und sichergestellt werden.

Weitere Aufholbedarfe, die punktuell bei der Bewertung des Wertschöpfungsnetzwerks im internationalen Vergleich identifiziert wurden, sind unter anderem:

- Förderung der Herstellung und Produktion von Spezialwerkstoffen in Deutschland und Europa, wie zum Beispiel Flächenisulationsstoffe Wärmeklasse H
- Investitionen in moderne, leistungsfähige Anlagen zur Produktion von Elektroblechen, um den Vorsprung der asiatischen Marktführer aufzuholen.

Bei zunehmendem Volumen von elektrischen Maschinen für Automobilanwendungen ist ein Ausbau der vorhandenen Investitions- und Anlagenbasis notwendig, um den Automatisierungsgrad zu erhöhen.

## 4 FAZIT

Die Analyse des Wertschöpfungsnetzwerks E-Maschine zeigt, dass Deutschland und Europa in den meisten Bereichen der Wertschöpfungskette elektrische Maschine für xEV aufgrund des großen Erfahrungsschatzes aus der konventionellen Antriebstechnik in Kombination mit jahrzehntelanger Entwicklungs- und Produktionserfahrung bei elektrischen Maschinen für andere Anwendungen bereits eine Spitzenposition einnehmen oder auf Augenhöhe mit dem internationalen Wettbewerb sind. Das umfangreiche Know-how und das leistungsfähige Netzwerk aus etablierten Partnerschaften und optimierten Lieferketten können für den Großteil der Wertschöpfungsschritte weiterhin genutzt werden. Um die Vorreiterrolle der deutschen Automobilindustrie bei elektrischen Maschinen auch zukünftig zu sichern, die Wettbewerbsfähigkeit weiter auszubauen und die Nachhaltigkeit zu stärken, bestehen jedoch einige zentrale Handlungsbedarfe.

So müssen insbesondere Maßnahmen ergriffen werden, um die Abhängigkeit von China bei Metallen der Seltenen Erden für Permanentmagnete zu verringern. Die Versorgung mit Seltenen-Erden-Magneten muss gesichert, der Bedarf an Seltenen-Erden-Metallen reduziert und der Vorsprung in Forschung und Entwicklung aufgeholt werden. Zudem wird ein ganzheitliches Recyclingkonzept benötigt, das die Nutzung von Sekundärrohstoffen aus der elektrischen Maschine fördert. Einheitliche europäische Vorgaben und Regeln sowie entsprechende Zertifizierungsmöglichkeiten für recycelte Materialien müssen geschaffen und etabliert werden. Anlagen für das Recycling von Seltenen Erden aus elektrischen Maschinen müssen ausgebaut werden. Gezielte Wirtschafts- und Wissenschaftsförderung zu innovativen Recyclingverfahren muss intensiviert werden. Die rechtzeitige Qualifizierung der Personalbasis für kommende Aufgaben im Recycling, insbesondere im Bereich der Permanentmagnete, muss gefördert und sichergestellt werden.

Mit steigenden Produktionsvolumen muss die bestehende Investitionsbasis erweitert werden, um den Automatisierungsgrad bei der Produktion von elektrischen Maschinen zu erhöhen. Da in der gesamten deutschen Industrie ein systematischer Strukturwandel und eine kontinuierliche Technologiebefähigung beobachtet werden kann und die Investitionsbereitschaft auf dem Gebiet der elektrischen Maschinen groß ist, wird keine Gefahr gesehen, die prognostizierten Stückzahlen in Zukunft nicht bewältigen zu können.





# 5 ANHANG

## GLOSSAR UND ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BEV – Battery Electric Vehicle (Batterieelektrisches Fahrzeug)

eATS – Elektrischer Antriebsstrang

FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles (Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug)

F&E – Forschung und Entwicklung

OEM – Original Equipment Manufacturer (Erstausrüster)

PHEV – Plugin Hybrid Electric Vehicle (Plug-in-Hybrid-elektrisches Fahrzeug)

xEV – Fahrzeuge mit Elektromotor / Elektrofahrzeuge

# IMPRESSUM

## Verfasser

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität  
Arbeitsgruppe 4 – „Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes,  
Batteriezellproduktion, Rohstoffe und Recycling, Bildung und Qualifizierung“,  
Fokusgruppe Strategische Personalplanung und -entwicklung

Berlin, Oktober 2020

## Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

## Redaktionelle Unterstützung

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften  
ifok GmbH

## Satz und Gestaltung

ifok GmbH

## Lektorat

Nikola Klein e-squid text konzept lektorat

Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) ist per Kabinettsbeschluss von der Bundesregierung eingesetzt und wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur federführend koordiniert.

Sie arbeitet unabhängig, überparteilich und neutral. Alle Berichte spiegeln ausschließlich die Meinungen der in der NPM beteiligten Expertinnen und Experten wider.



# **NPM**

**Nationale Plattform  
Zukunft der Mobilität**

