

---

WHITEPAPER

# Nachhaltige Verkehrslösungen

Elektrifizierung von Antriebssträngen  
in schweren Nutzfahrzeugen im  
Transportwesen und in der Schifffahrt



# Zeitnahe Verbesserungsbedarf bei Energieeffizienz und der Senkung der Emissionen

Mehr als 25 Prozent des weltweiten Energieverbrauchs und fast 30 Prozent der weltweiten Kohlendioxidemissionen entfallen auf die Beförderung von Personen, Gütern und Rohstoffen.<sup>1,2</sup> Die erste Sorge gilt, allein aufgrund ihrer Zahl, zumeist den Pkw. Aber auch vom nicht schienengebundenen Personen- und Güterverkehr – Busse, Fähren, schwere Nutzfahrzeuge – geht eine erhebliche Belastung aus. In Europa beispielsweise haben Lkw und Busse zwar nur einen Anteil von 5 Prozent am Verkehrsaufkommen, verursachen aber rund 25 Prozent der Fahrzeugbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>3</sup> Dieselmotoren tragen außerdem erheblich zur Feinstaubbelastung bei, die für Menschen gesundheitsschädigend sein kann.

In Anbetracht der dringenden Notwendigkeit zur Reduzierung unserer Umweltbelastung, der schwankenden Brennstoffpreise und der unsicheren Brennstoffversorgung, ist der Umstieg auf ein nachhaltiges Transportkonzept zur Senkung von Emissionen und Energieverbrauch für Unternehmen von entscheidender Bedeutung. Um einen irreversiblen Klimawandel zu verhindern, so hat der Zwischenstaatliche Sachverständigenrat für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) berechnet – müssen wir die derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 um 43 Prozent reduzieren.<sup>4</sup> Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt Regierungen, unverzüglich Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität zu ergreifen, darunter die Einführung von

strengeren Abgasnormen und die Modernisierung des öffentlichen Personennahverkehrs.

Die Elektrifizierung von öffentlichen Verkehrsmitteln wie Bussen hat sich bei der Senkung von Emissionen bereits als wirksam erwiesen. Die notwendige Technologie ist ausgereift und erfreut sich zunehmender Beliebtheit. In diesem Whitepaper beschäftigen wir uns mit der Frage, wie sich die fortgesetzte Nutzung fossiler Brennstoffe auf die Gesellschaft auswirken wird, und welche konkreten Lösungen die Elektrifizierung von Antriebssträngen in schweren Nutzfahrzeugen, im Transportwesen und in der Schifffahrt bietet.



# Energieverbrauch und Emissionen durch schwere Nutzfahrzeuge

Dieselbetriebene Baumaschinen wie Bagger, Krane und Bulldozer verursachen zusammengenommen schätzungsweise rund 400 Megatonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr. Das entspricht in etwa 1,1 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Bagger mit einem Gewicht von über 10 Tonnen sind dabei erschreckenderweise für fast 46 Prozent dieser Emissionen verantwortlich.<sup>5</sup> Dieselfahrzeuge verursachen jedoch noch andere schädliche Abgase und Feinstaub. In den USA zum Beispiel entfallen auf Baumaschinen geschätzte 32 Prozent der NOx-Emissionen aus beweglichen Quellen, die Smogbildung verursachen und Asthma oder andere Erkrankungen verschlimmern können.<sup>6</sup> In Großbritannien werden rund 8 Prozent der berufsbedingten Krebserkrankungen in der Baubranche direkt auf Dieselabgase zurückgeführt.<sup>7</sup>

Im Untertagebau arbeiten Maschinen in engen, geschlossenen Räumen, wo die Ansammlung von Abgasen wie CO<sub>2</sub> und NOx sehr schnell zu gefährlichen Situationen für die Bergleute führen kann. Deshalb müssen in Bergwerken, in denen dieselbetriebene Fahrzeuge zum Einsatz kommen, komplexe Lüftungssysteme die Dieselabgase absaugen, um die Atemluft in den Arbeitsbereichen sicher zu machen. Diese Lüftungssysteme werden zwar elektrisch betrieben, tragen dafür aber zum Gesamtenergieverbrauch des Bergwerks bei.

Aufgrund dieser Umwelt- und Gesundheitsproblematik wurden in vielen Branchen – zum Beispiel in der Schifffahrt, in der Materialförderung und im Bergbau – bereits große Kraftanstrengungen unternommen, um Fahrzeugemissionen zu reduzieren. Im Bergbau geht dabei der Internationale Rat für Bergbau und Metalle (International Council on Mining and Metals – ICMM) voran, der sich verpflichtet hat, bis spätestens 2050 das ehrgeizige Ziel von Netto-Null-Treibhausgasemissionen zu erreichen.<sup>8</sup>

Die Elektrifizierung wird dabei eine zentrale Rolle spielen. Und obwohl die Elektrifizierung von Betriebsfahrzeugen in vielen Branchen noch relativ neu ist, kann sie, wie weiter unten geschildert, eine effektive und machbare Lösung sein.



Der Bergbau will bis spätestens 2050 Netto-Null-Treibhausgasemissionen erreichen.

### Energieverbrauch und Emissionen durch den Straßen-, Schienen- und Schiffsverkehr

Auf den Personen- und Güterverkehr entfallen rund 25 Prozent des weltweiten Energieverbrauchs.<sup>9</sup> Der Landtransport erfolgt überwiegend per Straße und Schiene, aber auch kleine bis mittelgroße Seeschiffe, beispielsweise Fähren, sind problematisch. Auf den Luftverkehr geht dieses Whitepaper nicht ein.

#### Straßenverkehr

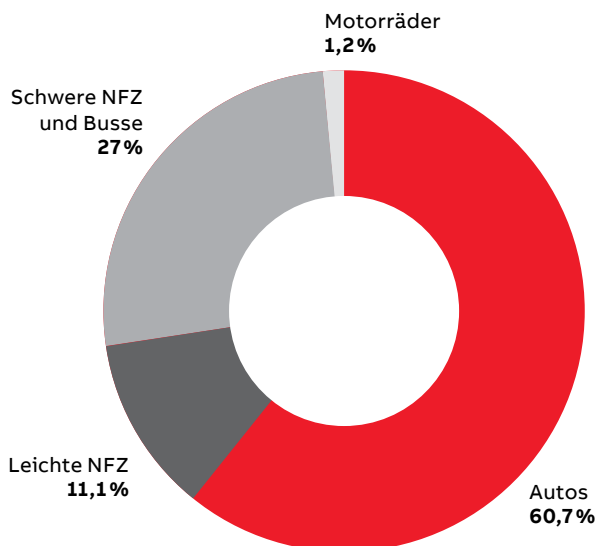
Die Emissionen im Straßenverkehr werden zwar überwiegend durch Autos verursacht, aber auch Busse und schwere Nutzfahrzeuge tragen einen erheblichen Teil dazu bei. In der EU zum Beispiel sind schwere Nutzfahrzeuge und Busse für 27 Prozent der Emissionen verantwortlich.<sup>10</sup> Nicht anders als bei schweren Nutzfahrzeugen und -maschinen, wirken sich die Dieselabgase von Transportfahrzeugen negativ auf Klima und Gesundheit aus. Nach Angaben der WHO ist die Luftqualität weltweit schlecht, und rund 99 Prozent der Weltbevölkerung atmen Luft, deren Verschmutzung über den von ihr empfohlenen Grenzwerten liegt.<sup>11</sup>

Da die meisten Nahverkehrslinien in dicht bevölkerten und verkehrsreichen urbanen Regionen betrieben werden, ist die Auswirkung von Dieselabgasen auf die Luftqualität und die öffentliche Gesundheit in vielen Städten ein spürbares Problem. Außerdem sind Dieselmotoren sehr laut und erzeugen erhebliche Vibrationen, was sich ebenfalls auf Gesundheit und Wohlbefinden auswirkt und zu kardiovaskulären Erkrankungen und Schlafstörungen führen kann.<sup>12</sup>

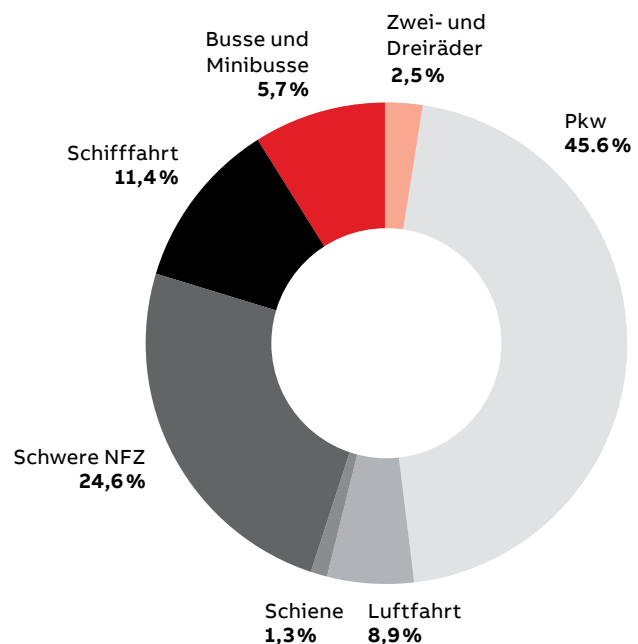
#### Schieneverkehr

Die Beförderung per Schiene ist sehr viel effizienter als die Beförderung per Straße. Obwohl 9 Prozent des weltweiten Personenverkehrs und 7 Prozent des Güterverkehrs über die Schiene laufen, entfallen nur 3 Prozent des Energieverbrauchs im Verkehr auf Schienenfahrzeuge.<sup>13</sup> Selbst wenn sie mit fossilen Brennstoffen – im Allgemeinen mit Diesel – betrieben werden, sind Schienenfahrzeuge im Durchschnitt zwölf Mal effizienter als Autos (je Fahrgastkilometer) und acht Mal effizienter als Lkw (je Tonne Fracht).<sup>15</sup> Weltweit werden noch immer viele Strecken mit Dieselloks bedient, weil es schwierig ist, entlegene Gegenden mit der notwendigen elektrischen Infrastruktur auszustatten.

CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Straßenverkehr in der EU (2019)<sup>10</sup>



Weltweite CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Verkehr nach Teilsektoren (2020)<sup>14</sup>



### Schiffsverkehr

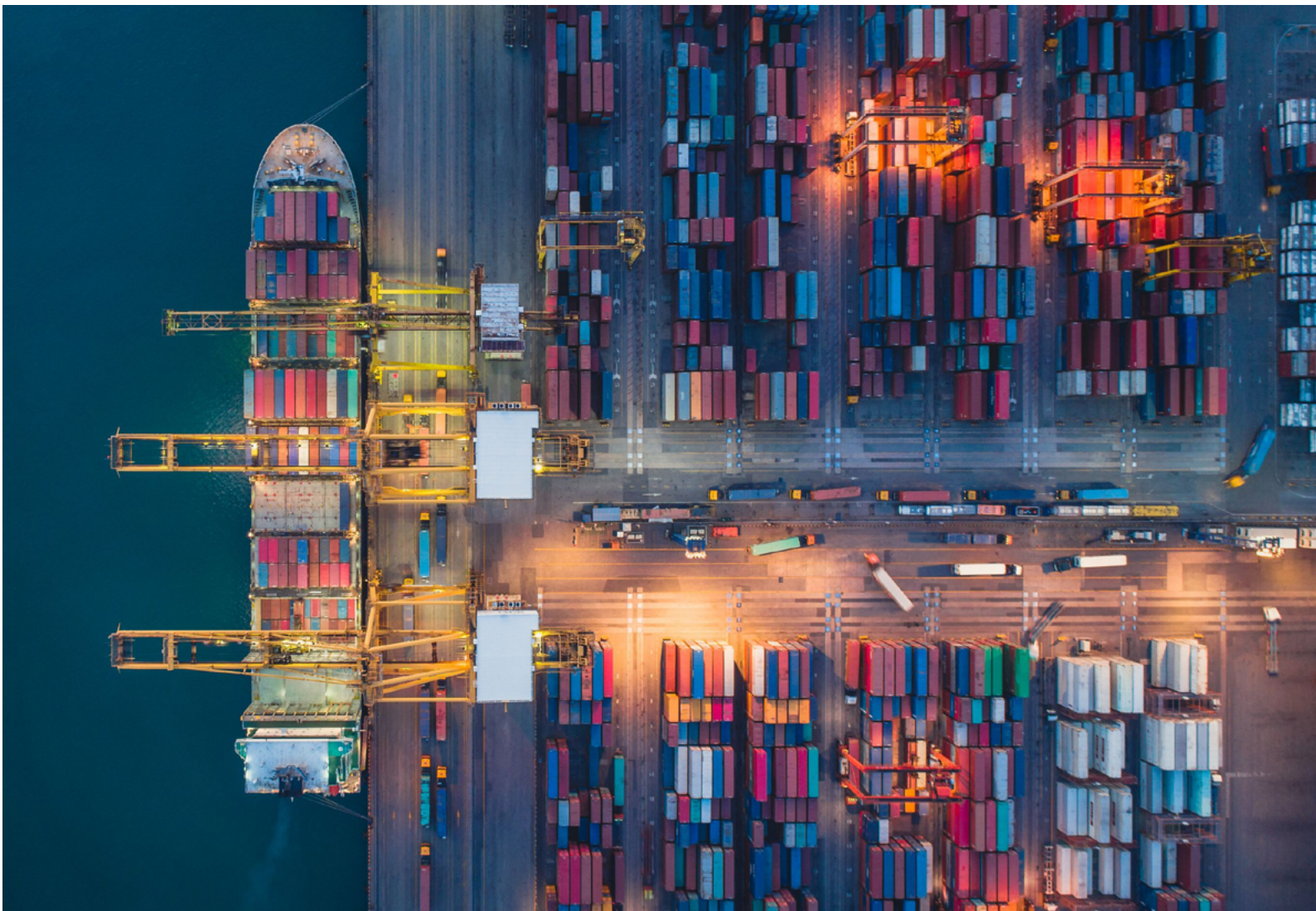
Eine weitere wesentliche Quelle für Treibhausgasemissionen und ein großer Energieverbraucher ist die Fahrgast- und Frachtschifffahrt. Die internationale Seeschifffahrt und die Binnenschifffahrt in der EU sind verantwortlich für 3,6 Prozent der gesamten verkehrsbedingten Emissionen. Die schiffsfahrtsbedingten Treibhausgasemissionen haben in den vergangenen 20 Jahren um 32 Prozent zugenommen. Einen so rapiden Anstieg gab es sonst nur noch in der Luftfahrt. Die Schiffsemissionen werden bis 2050 voraussichtlich um 50 bis 250 Prozent zunehmen und dann möglicherweise 17 Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen ausmachen.<sup>16,17</sup> Das liegt im Wesentlichen daran, dass so gut wie alle diese Schiffe mit Dieselmotoren betrieben werden. Angesichts dieser Prognose bekommt die Verbesserung der Energieeffizienz und der Nachhaltigkeit des Seeverkehrs zentrale Bedeutung.

Der Gütertransport per Schiff ist jedoch immer noch effizienter als der Straßen- oder der Luftgütertransport und erzeugt auch weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen. Denn obwohl 85 Prozent der internationalen Frachten per Schiff befördert werden, entfallen nur 2-3 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die Frachtschifffahrt. Zum Vergleich: Der Transport per Straße verursacht mehr als 50 Prozent aller Emissionen aus dem handelsbezogenen Güterverkehr.<sup>18,19</sup>

Inzwischen sind die Ineffizienzen und die mit Dieselabgasen verbundenen Risiken allgemein bekannt, und die Suche nach effizienteren und nachhaltigeren Alternativen gewinnt zunehmend an Dringlichkeit. Es laufen bereits zahlreiche Initiativen zur Förderung der Dekarbonisierung des Verkehrs, darunter die Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität der europäischen Kommission, die eine Verringerung der verkehrsbedingten Emissionen um 90 Prozent bis 2050 zum Ziel hat.<sup>20</sup>

Bei Landfahrzeugen haben sich elektrische Antriebe als ein wirksames Mittel zur Reduzierung der Emissionen und zur Verbesserung der Effizienz erwiesen. Auch in der Marineindustrie lässt sich die Effizienz mit vollelektrischen Antrieben verbessern, die für kleine bis mittelgroße Schiffe bereits verfügbar sind.

Die vollständige Elektrifizierung größerer Schiffe ist schwieriger. Hier wird jedoch nach neuen, nachhaltigeren Treibstoffen gesucht. Erforscht werden zum Beispiel Biotreibstoffe wie Bioethanol oder E-Fuels – synthetische Kohlenwasserstoffe – die unter Einsatz erneuerbarer Rohstoffe und erneuerbarer Energie produziert werden. Zudem bieten Unternehmen wie ABB Technologien zur Verbesserung der Effizienz und zur Reduzierung des Treibstoffverbrauchs an. So kann beispielsweise das Antriebssystem Azipod® von ABB den Treibstoffverbrauch im Vergleich zu einem herkömmlichen Wellenantrieb um bis zu 20 Prozent senken.<sup>21,22</sup>



# Die Stromversorgung von Elektrofahrzeugen

An Stelle von Flüssigkraftstoffen oder Gas verwenden elektrisch angetriebene Fahrzeuge Strom als primäre Energiequelle. Ihr Betrieb erfordert eine Infrastruktur zur direkten Versorgung mit Strom oder zum Aufladen mitgeführter Batterien.

Während die Infrastruktur für den schienengebundenen Verkehr bereits gut ausgebaut ist, befindet sich die Ladeinfrastruktur für Straßenverkehr und Schifffahrt noch im Aufbau, deren Installation aber rasche Fortschritte macht. In der Industrie ist die Lage sehr viel uneinheitlicher. In manchen Branchen kommen elektrisch betriebene schwere Arbeitsmaschinen mit der entsprechenden Infrastruktur bereits zum Einsatz, in anderen Sektoren steckt das Konzept noch in den Kinderschuhen.

Schwere Nutzfahrzeuge, Verkehrssysteme und Seeschiffe können auf verschiedene Weise mit Strom versorgt werden, beispielsweise über Oberleitungen, mit wiederaufladbaren Batterien oder mit einer Kombination von beidem. Auch dieselektische Hybrid-Lösungen sind möglich.

## Oberleitungsbetrieb / Elektrische Oberleitungssysteme

Fahr- oder Oberleitungen verlaufen direkt über den Fahrzeugen, die sie mit Strom versorgen. Die Fahrzeuge verbinden sich dazu über einen sogenannten Stromabnehmer mit der Fahrleitung. Obwohl dieser E-Fahrzeugtyp nur auf Strecken mit Oberleitungen eingesetzt werden kann, haben sich Oberleitungszüge und O-Busse im öffentlichen Nahverkehr und im Güterverkehr bereits bewährt.

Oberleitungszüge sind in vielen Ländern ein vertrauter Anblick – schließlich sind sie bereits seit über 100 Jahren im Einsatz – und können schwere Lasten sehr effizient befördern.

Ein großer Vorteil von Oberleitungen ist, dass sie die großen Mengen an Strom liefern können, die für den Betrieb sehr schwerer Fahrzeuge, zum Beispiel Lokomotiven oder sogar Muldenkipper, notwendig sind. In den letzten Jahren wurden Oberleitungen versuchsweise zur Stromversorgung von schweren Lkw im Tagebau eingesetzt.

Anm.: Bei Eisenbahnen, Straßenbahnen und O-Bussen wird von Fahr- oder Oberleitungen gesprochen, während bei schweren Arbeitsfahrzeugen die Begriffe "elektrisches Oberleitungssystem" oder „Trolley-System“ üblich sind.

## Batteriebetrieb

Mit fortschreitender Entwicklung von Ladeinfrastrukturen und -technologien kommen in jüngerer Zeit in einer Reihe von Städten vermehrt Verkehrsmittel zum Einsatz, die mit wiederaufladbaren Batterien betrieben werden. Die Anforderungen an diese Batterien sind bei Industrie- und Transportfahrzeugen oder Schiffsanwendungen jedoch andere, als bei Elektro- oder Hybrid-Pkw. Die Batterien für diese größeren Fahrzeuge müssen sehr viel mehr Strom liefern, für den Dauerbetrieb geeignet sein und wiederholten hohen Ladezyklen standhalten. So ist beispielsweise ein öffentliches Verkehrsmittel wie der Bus täglich 16 bis 18 Stunden im Einsatz, während ein Pkw in der Regel nicht mehr als 2-3 Stunden am Tag genutzt wird. Energiespeichersysteme (ESS) mit der neuen leistungsstarken Lithium-Ionen-Batterietechnologie, wie das BORDLINE®Energy Storage System (ESS) von ABB, wurden speziell für die Erfordernisse von Schwerfahrzeugen entwickelt.

Batteriebetriebene Fahrzeuge benötigen eine eigene Ladeinfrastruktur. Es sind bereits verschiedene Ladetechnologien im Einsatz, darunter Plug-in-Ladestationen, Oberleitungsladestationen, Streckenladung über Oberleitungen und Nutzung des vom Dieselmotor generierten Stroms bei Hybridsystemen. Bei manchen Fahrzeugen kann die Batterie auch herausgenommen, ausgetauscht und im Depot aufgeladen werden.



ABB hat mit Hilfe von eMine™, einem zielführenden Ansatz für Methoden und integrierte Lösungen, eine effiziente elektrische Infrastruktur für die Versorgung mehrerer Bergbaufahrzeuge in der Aitik-Mine des Betreibers Boliden AB in Schweden entworfen und installiert. Die Strecke ist etwa 700 Meter lang, und Boliden rechnet mit einer Senkung des jährlichen Dieselverbrauchs um rund 830 m<sup>3</sup> sowie mit einer Reduzierung der transportbedingten Treibhausgasemissionen um bis zu 80 Prozent auf den Strecken, auf denen die Technologie installiert werden kann.

### Kombinierter Oberleitungs-/Batteriebetrieb

Es werden auch immer häufiger Züge, Straßenbahnen und O-Busse eingesetzt, die sowohl über Oberleitungen als auch über Batterien mit Strom versorgt werden. Diese Fahrzeuge fahren im Oberleitungsbetrieb auf entsprechend ausgestatteten Strecken und können dort, wo keine Oberleitungen verfügbar sind, auf Batteriebetrieb umschalten. Auf diese Weise können Verkehrsbetriebe die Reichweite ihrer Fahrzeugflotten über die Grenzen der Oberleitungen hinaus ausweiten. Auch Stadtbusstrecken können mit Hilfe dieser hybriden Technologie ausgebaut werden, so dass elektrische Busse überall dort, wo es kein Schienennetz gibt, für die wachsende Stadtbevölkerung eine echte Alternative zum Auto werden.

Moderne Systeme wie das BORDLINE® ESS von ABB für O-Busse nutzen den Oberleitungsbetrieb zum Aufladen der Batterien während der Fahrt. Im Durchschnitt erlaubt ein Kilometer Fahrt im Oberleitungsbetrieb einen Kilometer Fahrt ohne Oberleitung, so dass sich die Reichweite des Fahrzeugs ohne Oberleitung um 50 Prozent erhöht.<sup>23</sup>

Bei modernen Systemen werden die Fahrzeugbatterien im Oberleitungsbetrieb während der Fahrt aufgeladen.

### Dieselektrischer Hybridantrieb

Dieselektrische Hybridfahrzeuge können mit Diesel- und mit Elektromotoren fahren. Je nach Fahrzeugtyp erfolgt die Stromversorgung über Oberleitungen oder Batterien oder aber der Dieselmotor generiert den Strom.

Der dieselektrische Hybridantrieb spielt insbesondere beim Schienenverkehr eine wichtige Rolle, weil ein großer Teil der Züge dort, wo keine Oberleitungen zur Verfügung stehen, immer noch mit Dieselmotoren betrieben wird. In Europa beispielsweise sind 100 Prozent der Nahverkehrsschienennetze aber nur 60 Prozent der Fernstreckennetze elektrifiziert,<sup>24</sup> was daran liegt, dass die geringe Verkehrsdichte auf diesen Strecken eine Elektrifizierung oft unwirtschaftlich macht. S-Bahnen mit dieselektrischem Hybridantrieb zum Beispiel können im Stadtgebiet elektrisch fahren und außerhalb der Stadtgrenzen wieder auf Dieselbetrieb umschalten.

Hybride Antriebssysteme sind auch eine attraktive Option für Seeschiffe. Bei kleinen und mittelgroßen Schiffen kommen dieselektrische Antriebsstränge bereits zum Einsatz, für größere Schiffe werden derzeit neue Arten hybrider Systeme entwickelt. So werden beispielsweise Superkondensatoren und verschiedenen Typen von Brennstoffzellen – darunter alkalische Brennstoffzellen, Protonenaustauschmembran- und Wasserstoff-Brennstoffzellen – auf ihre Eignung zur gemeinsamen Verwendung in elektrischen Antriebssystemen untersucht.<sup>25</sup>



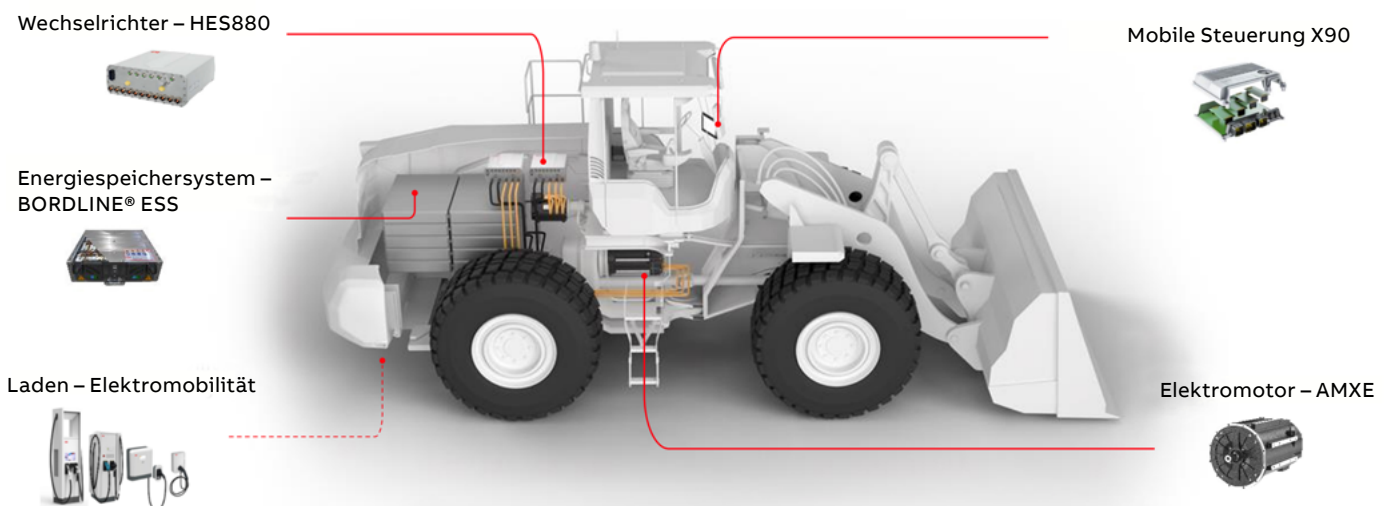
O-Busse, die sowohl im Oberleitungs- als auch im Batteriebetrieb fahren können, kommen immer häufiger zum Einsatz.

# Elektrische Antriebe im Überblick

Elektrische Antriebe umfassen verschiedene Schlüsselkomponenten wie einen Elektromotor, der Strom in Bewegung umsetzt, und einen Antriebsumrichter/-wechselrichter, der die Spannung und Frequenz des Stroms regelt, mit dem der Motor versorgt wird. Je nach Stromquelle kommen weitere Komponenten hinzu. Batteriebetriebene Fahrzeuge benötigen Batterien und Ladebuchsen, während für oberleitungsbetriebene Fahrzeuge DC/DC-Wandler erforderlich sind.

—

## Die Komponenten eines batteriebetriebenen elektrischen Radladers



### Elektromotoren

Elektromotoren für Industrie- oder Transportfahrzeuge müssen robust und besonders leistungsstark sein und eine längere Lebensdauer haben als kleinere Motoren beispielsweise in Pkw. Sie müssen in der Regel Fahrzeuge mit einem Gewicht von zehn oder mehr Tonnen bewegen und über Stunden im Dauerbetrieb arbeiten. Deshalb müssen sie ein hohes Drehmoment liefern und über ein breites Lastspektrum effizient arbeiten. Außerdem müssen sie für die verschiedensten Witterungsverhältnisse und Temperaturen sowie für extreme Arbeitsumgebungen geeignet und gegen Stöße und Vibrationen unempfindlich sein. Eine lange und produktive Nutzungsdauer wird ebenfalls von ihnen erwartet.

Da dieser Motortyp im Schienenverkehr schon seit langem zum Einsatz kommt, ist die notwendige Technologie bereits

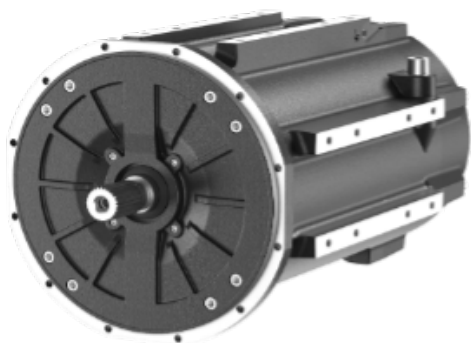
—

Elektromotoren müssen ein hohes Drehmoment liefern und über ein breites Lastspektrum effizient arbeiten.

ausgereift und erprobt, so dass sie problemlos und effizient auch für schwere Nutzfahrzeuge genutzt werden kann.

Die Motoren der Baureihe AMXE® von ABB zum Beispiel sind kompakte Permanentmagnet-Synchronmotoren für hoch-effiziente Fahrtriebe und Hilfsbetriebe, die mit den geeigneten Längen, Wicklungen und Spannungen für die benötigte Leistung konfiguriert werden können.





—  
ABB AMXE®-Motor für schwere Fahrzeuge

### Traktionswechselrichter

Der Traktionswechselrichter wandelt die von der Stromquelle bereitgestellte Eingangsspannung in die vom Fahrzeug benötigte variable Ausgangsspannung und -frequenz um. Da dieser Prozess auch alle anderen Komponenten des Antriebsstrangs betrifft, ist die Wahl eines effizienten Traktionsumrichters von entscheidender Bedeutung. Die BORDLINE® Compact Converter (Kompaktumrichter) von ABB zum Beispiel gehören zu den effizientesten Traktionsumrichtern für Verkehrsmittel wie O-Busse und Triebzüge, die der Markt zu bieten hat. Mit ihnen lassen sich Traktionstransformator und Motoren so optimieren, dass die Verluste im Antriebsstrang deutlich reduziert werden. In der Praxis bedeutet dies, dass Energieverbrauch und Kosten einer typischen S-Bahn um bis zu 20 Prozent gesenkt werden können.<sup>26</sup>

Ein weiteres Beispiel sind die mobilen Antriebssysteme HES880 Mobile Drive von ABB für schwere Arbeitsmaschinen, die vergleichbare Effizienzvorteile bieten und ebenfalls für rauh Arbeitsbedingungen und schweren Betrieb ausgelegt sind.

### Regenerative Bremssysteme

Obwohl Elektromotoren in der Regel eingesetzt werden, um elektrische Energie in Bewegung umzuwandeln, können sie, kombiniert mit dem passenden Traktionsumrichter/-wechselrichter, in regenerativen Bremssystemen auch genutzt werden, um Strom zu generieren. Solche Systeme gewinnen die kinetische Energie des Fahrzeugs während des Bremsvorgangs zurück.

Ein sich bewegendes Fahrzeug besitzt eine kinetische Energie, und je schwerer das Fahrzeug, desto größer seine kinetische Energie bei gleicher Geschwindigkeit. Zum Fahren eines Elektrofahrzeugs wird Energie in Form von Strom zu den Motoren geleitet, die dann drehen und die Räder bewegen. Beim regenerativen Bremsen funktioniert dieses System umgekehrt: Die Bewegung der Räder wird genutzt, um die Motoren zu drehen, die dann Strom erzeugen. Der so gewonnene Strom kann in einer mitgeführten Batterie gespeichert werden. Bei einem oberleitungsbetriebenen Fahrzeug kann er auch in das Stromnetz zurückgespeist und gespeichert oder anderen Fahrzeugen zur Verfügung gestellt werden. Beim regenerativen Bremsen wird in den Motoren ein Magnetfeld erzeugt und damit ein Widerstand aufgebaut, um das Fahrzeug zu verlangsamen und nutzbare elektrische Energie zu generieren. Beim mechanischen Bremsen dagegen wird die durch Bremscheiben oder Bremsbeläge erzeugte Reibung genutzt, und die dabei entstehende Energie geht als Wärme verloren. Deshalb können regenerative Bremssysteme die Energieeffizienz von Fahrzeugen verbessern. Solche Systeme kommen bereits in vielen Straßen- und Schienenfahrzeugen zum Einsatz und reduzieren dort Energieverbrauch und Kosten. Sie finden auch immer häufiger Anwendung in elektrischen schweren Nutzfahrzeugen.



—  
E-Bus mit Antriebstechnologie von ABB in Zürich.

# Die Treiber für den Aufbau einer nachhaltigen Transportflotte

Unternehmen, die Energieverbrauch und Kosten senken wollen, sind gut beraten, ihren gesamten Betrieb zu überprüfen, um mögliche Ineffizienzen in allen Nutzungsphasen – Transport, Leerlauf, Logistik und Einsatz vor Ort – zu identifizieren. Das hilft ihnen, zu bestimmen, welche Fahrzeuge, Schiffe und Maschinen am besten für den Betrieb mit einem elektrischen Antriebsstrang oder Ähnliches geeignet sind. Unternehmen wie ABB verfügen über die nötige Erfahrung, um andere bei Elektrifizierungsvorhaben beraten zu können – unabhängig davon, ob zunächst nur ein Betriebsfahrzeug oder gleich die ganze Fahrzeugflotte elektrifiziert werden soll.

Die Energieeffizienz kann manchmal schon mit relativ einfachen Mitteln verbessert werden, zum Beispiel durch Schulung von Bedienern in der effizienten Aufgabenerledigung und im wirtschaftlichen Betrieb der Maschinen. Dieser Ansatz gilt gleichermaßen für die Bediener im Werk und für das Management – Energieeffizienz ist eine Frage der Entscheidung.

Moderne elektrische Antriebe machen diese Entscheidung einfacher. Die Nutzung von Strom anstelle fossiler Brennstoffe für den Antrieb von Fahrzeugen kann die Energieeffizienz deutlich verbessern und Emissionen drastisch senken. Bei Betrieb im optimalen Lastbereich können Diesel- und Benzinmotoren Wirkungsgrade von 45 beziehungsweise von 33 Prozent erreichen. Elektromotoren dagegen erzielen in der Regel einen Wirkungsgrad von rund 95 Prozent.<sup>27,28</sup> Traktionsumrichter/-wechselrichter können Drehzahl und Drehmoment eines Elektromotors auch direkt regeln, so dass keine Energie durch Reibung und Wärme verloren geht, wie es bei den für Verbrennungsmotoren erforderlichen Getrieben und Kupplungen der Fall ist. Die Elektrifizierung bietet neben Effizienzgewinnen noch weitere Vorteile für Unternehmen, Bediener und Umwelt.

## Verbesserte Energieeffizienz

Die Energieeinsparungen und Effizienzgewinne bei einem elektrisch angetriebenen Fahrzeug oder Schiff sind abhängig von der Anwendung und der eingesetzten Technologie. Bei Industrie- und Transportfahrzeugen sowie bei Seeschiffen lassen sich jedoch selbst dann erhebliche Verbesserungen erzielen, beispielsweise wenn das Fahrzeug oder Schiff nicht vollelektrisch ist. Wenn ein dieselelektrisch angetriebener Walzenverdichter mit mitgeführter Batterie mit einer regenerativen Bremse ausgerüstet wird, kann die Bremsenergie zurückgewonnen und gespeichert werden. Diese Energie kann dann vom Elektromotor genutzt werden, um Bedarfsspitzen zu decken, was wiederum bedeutet, dass der Dieselmotor kleiner sein und der Kraftstoffverbrauch damit um bis zu 30 Prozent gesenkt werden kann.<sup>29</sup>



**Durch Schulung von Bedienern in der effizienten Nutzung von Maschinen lassen sich bis zu 30 Prozent Kraftstoff einsparen.<sup>30</sup>**

Wird der Dieselmotor alternativ zur Stromerzeugung eingesetzt, kann er im Dauerbetrieb in seinem effizientesten Bereich betrieben werden, während der Umrichter/Wechselrichter und der Elektromotor variable Lasten bewältigen. Bei so ausgerüsteten großen Baumaschinen konnte der Kraftstoffverbrauch um bis zu 20 Prozent reduziert werden. Und wenn eine solche Maschine an Stelle eines mechanischen mit einem elektrischen Antriebsstrang und einem On-Board-Energiespeicher ausgerüstet wird, können Berechnungen zufolge Kraftstoffeinsparungen von bis zu 30 Prozent erzielt werden.<sup>31</sup>

Schwere Arbeitsmaschinen mit Hydrauliksystemen können mit elektrischen Pumpen für die dezentrale Hydraulik ausgerüstet werden. Bei dezentralen Hydrauliksystemen ist die Hydraulik in Arbeitsbereiche unterteilt, zum Beispiel in die Hydraulik für Antriebe, für Ausleger und für Löffel. Das bedeutet, dass die Pumpen nicht durchgängig alle Systeme versorgen müssen. Da die Hydraulikpumpen weniger arbeiten müssen, wird Energie gespart. Bei vollelektrischen Verkehrsmitteln wie Oberleitungsbussen dagegen kann ein modernes On-Board-Energiespeichersystem wie BORDLINE® ESS von ABB die Effizienz der regenerativen Bremsung verbessern und Einsparungen von bis zu 15 Prozent gegenüber Systemen ermöglichen, die den Strom ins Netz zurückspeisen.<sup>32</sup>

Diesel- und Benzinmotoren können Wirkungsgrade von 45 bzw. 33 Prozent erreichen. Elektromotoren dagegen erzielen in der Regel einen Wirkungsgrad von rund 95 Prozent.<sup>27,28</sup>

### Reduzierte Haltungs- und Betriebskosten

Die Betriebskosten von Elektrofahrzeugen sind im Durchschnitt um 40 bis 60 Prozent geringer als bei entsprechenden Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Zurückzuführen ist dies hauptsächlich auf den verbesserten Wirkungsgrad vom Tank zum Rad, den reduzierten Kraftstoffverbrauch und den geringeren Wartungsbedarf. Auch wenn die Anfangsinvestitionen für ein Elektrofahrzeug höher sein mögen, sind die Gesamtbetriebskosten über seine Nutzungsdauer voraussichtlich geringer. Berechnungen zufolge liegen zum Beispiel die Gesamtbetriebskosten eines batteriebetriebenen elektrischen Schwerfahrzeugs um rund 20 Prozent unter denen einer Maschine mit Verbrennungsmotor.<sup>33</sup>

### Reduzierte Emissionen

Elektrofahrzeuge, die mit Strom aus erneuerbaren Quellen wie Sonne oder Wind betrieben werden, erzeugen weder CO<sub>2</sub>-, NOx- oder sonstige Emissionen noch Feinstaub. Selbst wenn sie Strom aus konventionellen Kraftwerken nutzen, erzeugen sie insgesamt nur wenig, in der Umgebung des Fahrzeugs überhaupt keine Emissionen oder Verunreinigungen.

Ersetzt man beispielsweise den Dieselmotor in einem 24-Tonnen-Bagger durch einen elektrischen Antriebsstrang von ABB – bestehend aus Batterie, AMXE-Motor und Frequenzumrichter HES880 – lassen sich jährlich 48 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen einsparen.<sup>34</sup>

### Höhere Produktivität

Elektrofahrzeuge können die Produktivität mancher Anwendungen verbessern. Das liegt daran, dass Elektromotoren effizienter sind und mehr Leistung an die Räder abgeben. Besonders vorteilhaft ist dies bei Schwerfahrzeugen, beispielsweise im Bergbau, die schwere Lasten bergauf befördern – hier leistet jede Energieeinheit mehr nutzbare Arbeit pro Tonne, und das Fahrzeug kann bei unverminderter Sicherheit schneller fahren. Wenn die Fahrzeuge zudem mit



Elektrofahrzeuge können die Betriebskosten um bis zu **40 - 60%** senken<sup>33</sup>

einem regenerativen Bremssystem ausgerüstet sind, können sie bei der Fahrt bergab erhebliche Mengen an Energie zurückgewinnen, was den Energieverbrauch pro Tonne weiter senkt.

### Einfacher und sicherer im Betrieb

Da elektrisch betriebene Systeme sofort auf Eingaben des Bedieners reagieren, geben sie ihm eine bessere, präzisere Kontrolle über schweres Gerät und ein besseres Gefühl dafür, was die Maschine macht. Das vereinfacht die Bedienung. Herkömmliche, mit einem Verbrennungsmotor betriebene Hydrauliksysteme reagieren dagegen immer leicht zeitverzögert, was ihre Bedienung etwas komplizierter und weniger präzise macht.

### Verminderter Lüftungs- und Kühlungsbedarf

Alle Verbrennungsmotoren erzeugen Abgase und Wärme. Die Abgase werden durch den Auspuff ausgestoßen, und die Motorabwärme wird über Kühler und Lüfter an die Umgebung abgeführt. In geschlossenen Räumen, beispielsweise in Bergwerken, müssen Abgase und Wärme jedoch mit Hilfe von Lüftungs- und Kühlsystemen auch aus dem Arbeitsbereich abgeführt werden. Auf den Betrieb dieser Systeme können bis zu 40 Prozent der Energiekosten eines Bergwerks entfallen.<sup>35</sup>

Elektrofahrzeuge dagegen erzeugen keine Abgase und entwickeln sehr viel weniger Wärme als Dieselmotoren. Dadurch kann sich der Kühlungs- und Lüftungsbedarf reduzieren, und damit auch der Energieverbrauch und die damit verbundenen Kosten. Es werden auch weniger Lüftungsschächte benötigt, was wiederum geringere Baukosten bedeutet.



Viele verschiedene Bergbaufahrzeuge können elektrifiziert werden.

Quelle: Epiroc

### Geringere Geräuschentwicklung und Vibrationen

Große Dieselmotoren sind sehr laut und erzeugen starke Vibrationen. Wegen des Lärms müssen Arbeiter oft einen Gehörschutz tragen, und die Vibrationen können Ermüdung verursachen. Außerdem können Anlieger durch Lärm und Vibrationen gestört werden. Um diese Belastung zu minimieren, sind die Arbeitszeiten in bebauten Gebieten streng reguliert.

Elektromotoren sind viel geräuschärmer und erzeugen deutlich weniger Vibrationen, was ihre Bedienung sehr viel weniger ermüdend macht. Elektrisch betriebene Maschinen können so wenig Störungen verursachen und so leise sein, dass sie selbst nachts und sogar in dicht besiedelten Gebieten arbeiten können. Damit verlängert sich auch ihre produktive Arbeitszeit.

#### ERFOLGSGESCHICHTE



### Nasta elektrifiziert schwere Baumaschinen mit Antriebssystemen von ABB

Die norwegische Nasta AS ist spezialisiert auf den Verkauf, die Umrüstung und die Aufarbeitung von dieselbetriebenen Baumaschinen der Marke Hitachi. Das Unternehmen baut beispielsweise Bagger für den Batteriebetrieb oder den direkten Kabelanschluss um. Ein solcher Umbau umfasst den Einbau von ABB-Antriebskomponenten wie Elektromotoren und Frequenzumrichter, eines Energiemanagementsystems, einer Batterie- und Ladelösung sowie eines Stromanschlusses.

Die Elektrifizierung von Schwerfahrzeugen bietet unbestreitbare Vorteile. Ein dieselbetriebener 24-Tonnen-Bagger verbraucht in der Regel rund 18'000 Liter Diesel pro Jahr und erzeugt dabei etwa 48 Tonnen Kohlendioxidemissionen. Nach der Umrüstung fallen diese CO<sub>2</sub>-Emissionen ebenso weg wie Schwefeloxidemissionen (SO<sub>x</sub>), und die Maschinen sind sehr viel geräuschärmer. Das ist gut für die Umwelt, für die Arbeiter auf der Baustelle und für die Menschen, die in der Nähe leben oder arbeiten. Von den Maschinenführern hat Nasta zudem die Rückmeldung bekommen, dass die elektrifizierten Maschinen beim Baggern sehr viel schneller ansprechen.

#### ERFOLGSGESCHICHTE



### Züricher Busse werden mit ABB-Technologien nachhaltiger

Energieeffiziente Antriebslösungen und Energiespeichersysteme von ABB helfen städtischen Verkehrsbetrieben auf dem Weg zur emissionsfreien Mobilität.

Elektrobusse mit Antriebstechnologien von ABB sind deutlich nachhaltiger als herkömmliche, dieselbetriebene Fahrzeuge. Sie sind bereits in vielen europäischen Städten im Einsatz, und die Linie 83 der Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) fährt inzwischen vollständig elektrisch.

Die neuen Batterie-Trolleybusse sind oberleitungs- und batteriebetrieben. Während der Fahrt an bestehenden Fahrleitungen wird das Energiespeichersystem auf dem Fahrzeugdach aufgeladen. Die Möglichkeit der dynamischen Aufladung des Energiespeichers garantiert eine außerordentliche Flexibilität und ist insbesondere für Städte interessant, die über ein umfangreiches Oberleitungsnetz verfügen und ihr Verkehrsnetz ausbauen wollen.

# Fazit

Auch wenn Industrie- und Transportfahrzeuge ebenso wie Seeschiffe überwiegend noch mit Diesel betrieben werden, machen Elektrifizierungslösungen schnelle Fortschritte. Elektrische Antriebe mit Stromversorgung über Oberleitungen und Batterien sowie dieselektrische Hybridantriebe haben sich in Schwerfahrzeugen wie Bussen, O-Bussen und Zügen bereits bewährt und ihre Effizienz und Kostenvorteile bewiesen. Die Technologie und das Know-how aus diesen Bereichen werden inzwischen zunehmend auch für schwere Nutzfahrzeuge, im Transportwesen und in der Schifffahrt genutzt. Dank der Fortschritte bei der Elektrifizierung rücken energieeffizientere, emissionsärmere schwere Nutzfahrzeuge in greifbare Nähe.



1. U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook 2016, Executive summary, World delivered energy use by sector, Seite 13; [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)
2. <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions#transportation>
3. „Electrification of Heavy Duty Vehicles“, Statement von Eurelectric, September 2017, Seite 1; [https://www.eurelectric.org/media/2161/electrification\\_of\\_heavy\\_duty\\_vehicles-2017-030-0588-01-e.pdf](https://www.eurelectric.org/media/2161/electrification_of_heavy_duty_vehicles-2017-030-0588-01-e.pdf)
4. Pressemitteilung des IPCC, 4. April 2022; <https://www.ipcc.ch/2022/04/04/ipcc-ar6-wgii-pressrelease/>
5. <https://www.electricvehiclesresearch.com/articles/26187/electric-construction-machines-vital-for-greener-construction?stv1=1%3A410309%3A20716>
6. PROCEEDINGS OF THE IEEE , Vol. 109, No. 3, März 2021, Seite 280; <https://ieeexplore.ieee.org/document/9337910>
7. <https://www.electricvehiclesresearch.com/articles/26187/electric-construction-machines-vital-for-greener-construction?stv1=1%3A410309%3A20716>
8. „CLIMATE CHANGE STATEMENT“ des ICMM, Oktober 2021; <https://www.icmm.com/en-gb/news/2021/net-zero-commitment>
9. U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook 2016, Seite 131; [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)
10. Europäische Kommission, Statistisches Taschenbuch 2020, EU-Verkehr in Zahlen, Seite 157; <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/da0cd68e-1fdd-11eb-b57e-01aa75ed71a1>
11. 99 % der Weltbevölkerung atmen Luft, deren Verschmutzung über den empfohlenen Grenzwerten liegt; <https://www.weforum.org/agenda/2022/04/poorer-nations-lag-behind-higher-income-countries-in-air-quality-standards-who/>
12. <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2018/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>
13. IEA, Rail, Tracking report, November 2021; <https://www.iea.org/reports/rail>
14. <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2021>
15. IEA-Bericht über die Zukunft der Schiene (The Future of Rail. Opportunities for energy and the environment), 2019, Seite 19; [https://iea.blob.core.windows.net/assets/fb7dc9e4-d5ff-4a22-ac07-ef3ca73ac680/The\\_Future\\_of\\_Rail.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/fb7dc9e4-d5ff-4a22-ac07-ef3ca73ac680/The_Future_of_Rail.pdf)
16. Europäische Kommission, „Verringerung der Emissionen aus dem Seeverkehr“; [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-shipping-sector\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-shipping-sector_en)
17. Schnurr and Walker, Dalhousie University, Marine Transportation and Energy Use, 2019; [https://www.researchgate.net/publication/335403999\\_Marine\\_Transportation\\_and\\_Energy\\_Use](https://www.researchgate.net/publication/335403999_Marine_Transportation_and_Energy_Use)
18. “The Carbon Footprint of Global Trade”, OECD/ITF, 2015, Seite 8; <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/cop-pdf-06.pdf>
19. Europäische Kommission, „Electrification of the Transport System“, Studien und Berichte 2017, Seite 10; [https://ec.europa.eu/newsroom/horizon2020/document.cfm?doc\\_id=46372](https://ec.europa.eu/newsroom/horizon2020/document.cfm?doc_id=46372)
20. IEA, Trucks and Busses, Tracking Report, November 2021; <https://www.iea.org/reports/trucks-and-buses>
21. ABB Generations 2021, Future focus, Towards sustainable success, Fuel cells in commercial marine applications, Seite 186; [https://library.e.abb.com/public/b48197614a6b304cc1257a8a003c3c43/ABB%20Generations\\_23%20Hybrid%20marine%20electric%20propulsion.pdf](https://library.e.abb.com/public/b48197614a6b304cc1257a8a003c3c43/ABB%20Generations_23%20Hybrid%20marine%20electric%20propulsion.pdf)
22. <https://new.abb.com/news/detail/68041/electrified-thinking-redefines-shipping>
23. Basierend auf Berechnungen und Messungen von ABB.
24. Europäische Kommission, „Electrification of the Transport System“, Studien und Berichte 2017, Seite 13; [https://ec.europa.eu/newsroom/horizon2020/document.cfm?doc\\_id=46372](https://ec.europa.eu/newsroom/horizon2020/document.cfm?doc_id=46372)
25. ABB Generations 2021, Future focus, Towards sustainable success, Fuel cells in commercial marine applications, Seite 186; [https://library.e.abb.com/public/b48197614a6b304cc1257a8a003c3c43/ABB%20Generations\\_23%20Hybrid%20marine%20electric%20propulsion.pdf](https://library.e.abb.com/public/b48197614a6b304cc1257a8a003c3c43/ABB%20Generations_23%20Hybrid%20marine%20electric%20propulsion.pdf)
26. Basierend auf Berechnungen und Messungen von ABB.
27. [https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel\\_engine#:~:text=The%20highest%20diesel%20engine%20efficiency,two%2Dstroke%20watercraft%20diesel%20engines.](https://en.wikipedia.org/wiki/Diesel_engine#:~:text=The%20highest%20diesel%20engine%20efficiency,two%2Dstroke%20watercraft%20diesel%20engines.)
28. Jorge Martins, Francisco P. Brito, Delfim Pedrosa, Vítor Monteiro, João L. Afonso, Real-Life Comparison Between Diesel and Electric Car Energy Consumption, in Grid Electrified Vehicles: Performance, Design and Environmental Impacts, S. 209-232, Nova Science Publishers, New York, 2013, Seite 5; ISBN 978-1-62808-839-7; <https://core.ac.uk/download/pdf/55627041.pdf>
29. CECE und CEMA, „Optimising our industry 2 reduce emissions“, Broschüre 2018, Seite 29; <https://www.cece.eu/stream/cececo2booklet-1.3.pdf>
30. CECE und CEMA, „Optimising our industry 2 reduce emissions“, Broschüre 2018, Seite 26; <https://www.cece.eu/stream/cececo2booklet-1.3.pdf>
31. CECE und CEMA, „Optimising our industry 2 reduce emissions“, Broschüre 2018, Seite 12; <https://www.cece.eu/stream/cececo2booklet-1.3.pdf>
32. Basierend auf Berechnungen und Messungen von ABB.
33. McKinsey & Company Report, “Harnessing momentum for electrification in heavy machinery and equipment“, Mai 2019, Seite 13; [https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Automotive\\_and\\_Assembly/Our\\_Insights/Harnessing\\_momentum\\_for\\_electrification\\_in\\_heavy\\_machinery\\_and\\_equipment/Harnessing\\_momentum\\_for\\_electrification\\_in\\_heavy\\_machinery\\_and\\_equipment.pdf](https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Automotive_and_Assembly/Our_Insights/Harnessing_momentum_for_electrification_in_heavy_machinery_and_equipment/Harnessing_momentum_for_electrification_in_heavy_machinery_and_equipment.pdf)
34. Basierend auf ABB Kundenerfahrung.
35. EY, „The future of electrified vehicles in mining“, Bericht 2019, „Mine electrification and Decarbonization“, Seite 3



—  
Weitere Informationen erhalten Sie von Ihrer  
ABB-Vertretung oder im Internet:

**[new.abb.com/motors-generators/de/elektromobilitaet](https://new.abb.com/motors-generators/de/elektromobilitaet)**