

---

WHITE PAPER

# Transporteffizienz steigern

Vorteile und Chancen des beschleunigten  
Übergangs zu nachhaltigem Verkehr



# Mehr Menschen und Güter mit weniger Energie **befördern**

Der Transport ist ein wichtiger und wesentlicher Bestandteil unseres Lebens. Zugleich sucht die Welt nach Lösungen, die den Verzicht auf fossile Brennstoffe möglich machen und zur Senkung der Emissionen beitragen. Deshalb brauchen wir saubere und nachhaltigere Arten der Beförderung.

## Schienerverkehr und Effizienz

Bei energieeffizienter Beförderung denken wir oft zuerst an Elektro- oder Hybridfahrzeuge und nur selten an den Massentransport. Dabei kommen elektrische Bahnen seit über 100 Jahren zum Einsatz und sind eines unserer effizientesten Verkehrsmittel. Selbst mit fossilen Brennstoffen betriebene Züge sind noch deutlich energieeffizienter als Pkw oder Lkw. Tatsächlich gehen nur 3% des weltweiten Energieverbrauchs auf das Konto der Bahn, über die immerhin 9% des weltweiten Personenverkehrs und 7% des Güterverkehrs laufen.<sup>1</sup>

Schienerfahrzeuge sind aus verschiedenen Gründen sehr energieeffizient, insbesondere wegen des hocheffizienten Antriebsstrangs und des sehr geringen Rollwiderstands von Metallrädern auf Metallschienen, und natürlich, weil sie große Mengen an Personen und Gütern transportieren können. Sie sind im Durchschnitt zwölf Mal effizienter als Autos (je Fahrgastkilometer) und acht Mal effizienter als Lkw (je Tonne Fracht).<sup>2</sup>

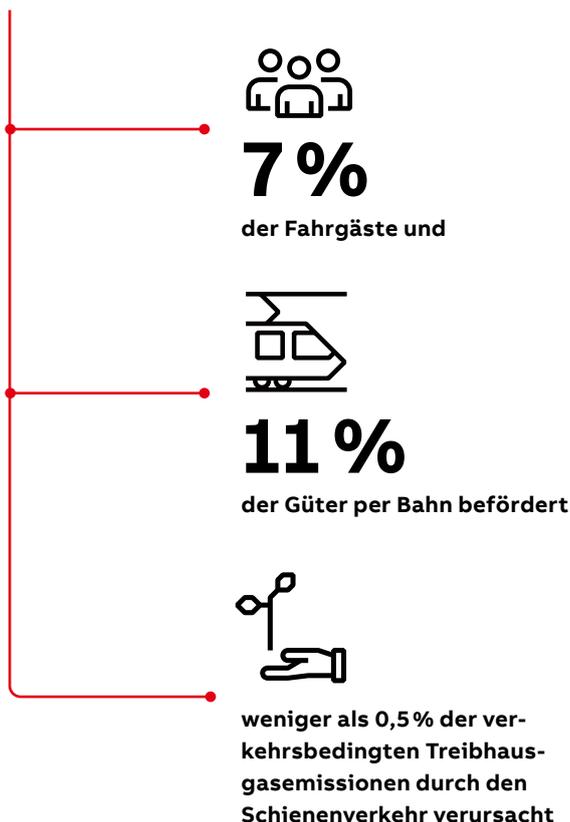


Dank technologischer Entwicklungen konnten die Treibhausgasemissionen von Schienenfahrzeugen kontinuierlich gesenkt und ihre Energieeffizienz immer weiter verbessert werden.<sup>3</sup> Deshalb wird der Schienenverkehr heute in vielen Regionen der Welt gefördert. Die Schienennahverkehrs- und die Hochgeschwindigkeitsinfrastrukturen wurden in den vergangenen zehn Jahren zügig ausgebaut und das Vorort- und Regionalverkehrsangebot wurde erweitert. Damit ist das Fundament für ein praktisches und umweltfreundliches innerstädtisches und zwischenstädtisches Verkehrssystem gelegt.

2021 ist das „Europäische Jahr der Schiene“. Die EU will mit dieser Initiative die Vorteile der Bahn als ein nachhaltiges, intelligentes und sicheres Verkehrsmittel hervorheben. Sie strebt die Dekarbonisierung des Verkehrs an, will den Umstieg auf die Bahn fördern und den Anteil der Schiene am Personen- und Güterverkehr erhöhen und fordert deshalb massive Investitionen in die Energieeffizienz.<sup>3</sup>

Die Bedeutung der Bahn als ein nachhaltiges und effizientes Verkehrsmittel ist jedoch nicht auf ein bestimmtes geographisches Gebiet beschränkt. In China beispielsweise schreitet der Ausbau des U-Bahn- und des Hochgeschwindigkeitsnetzes rasant voran. In den letzten zehn Jahren wurden hier mehr als 41000 Kilometer Schiene verlegt. Auch andere große Volkswirtschaften elektrifizieren ihre Schienennetze zügig, und Indien hat es sich zum Ziel gesetzt, sein U-Bahnstreckennetz in den nächsten Jahren zu verdreifachen. Russland will bis 2016 84 Milliarden Dollar in die Schiene investieren, während die USA in den kommenden acht Jahren 621 Milliarden Dollar für die Verbesserung der Infrastruktur, einschließlich der Schieneninfrastruktur, ausgeben wollen. Die

#### 2021 ist das Europäische Jahr der Schiene.<sup>4</sup> In der EU werden



weltweit verstärkten Investitionen in neue und bestehende Schienennetze machen deutlich, welche Bedeutung der Schiene sowohl bei der Infrastrukturplanung als auch bei der Planung des Übergangs zur Nachhaltigkeit zukommt.

#### Verbesserungspotenzial

Die Bahn ist, wie vorstehend beschrieben, im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln sauber und effizient. Das bedeutet aber nicht, dass es keinen Spielraum für Verbesserungen gibt. Es stellt sich also die Frage, wie wir die Effizienz des Schienenverkehrs und insbesondere der Schienenfahrzeuge verbessern können?

Eine Möglichkeit sind strengere Anforderungen an die Energieeffizienz neuer Schienenfahrzeuge. Die dafür notwendige Technologie ist heute bereits verfügbar. Bei Neuanschaffungen sollten sich Bahnbetreiber für die effizientesten verfügbaren Antriebssysteme entscheiden, auch deshalb, weil der Energieverbrauch einen erheblichen Anteil der Lebenszykluskosten eines Zuges ausmacht. Die Investition in energieeffiziente Schienenfahrzeuge treibt daher nicht nur den Übergang zur nachhaltigen Mobilität voran, sie trägt auch zur Senkung der Gesamtbetriebskosten des Betreibers bei.

Die Energieeffizienz bestehender Schienenfahrzeuge, die das Ende ihrer Lebensdauer noch nicht erreicht haben, kann durch effizientere Antriebssysteme, durch die Ausrüstung mit bordeigenen Energiespeichersystemen oder durch Senkung des Hilfsenergieverbrauchs durch intelligentes Lastmanagement und effizientere Antriebe und Hilfsbetriebe verbessert werden.

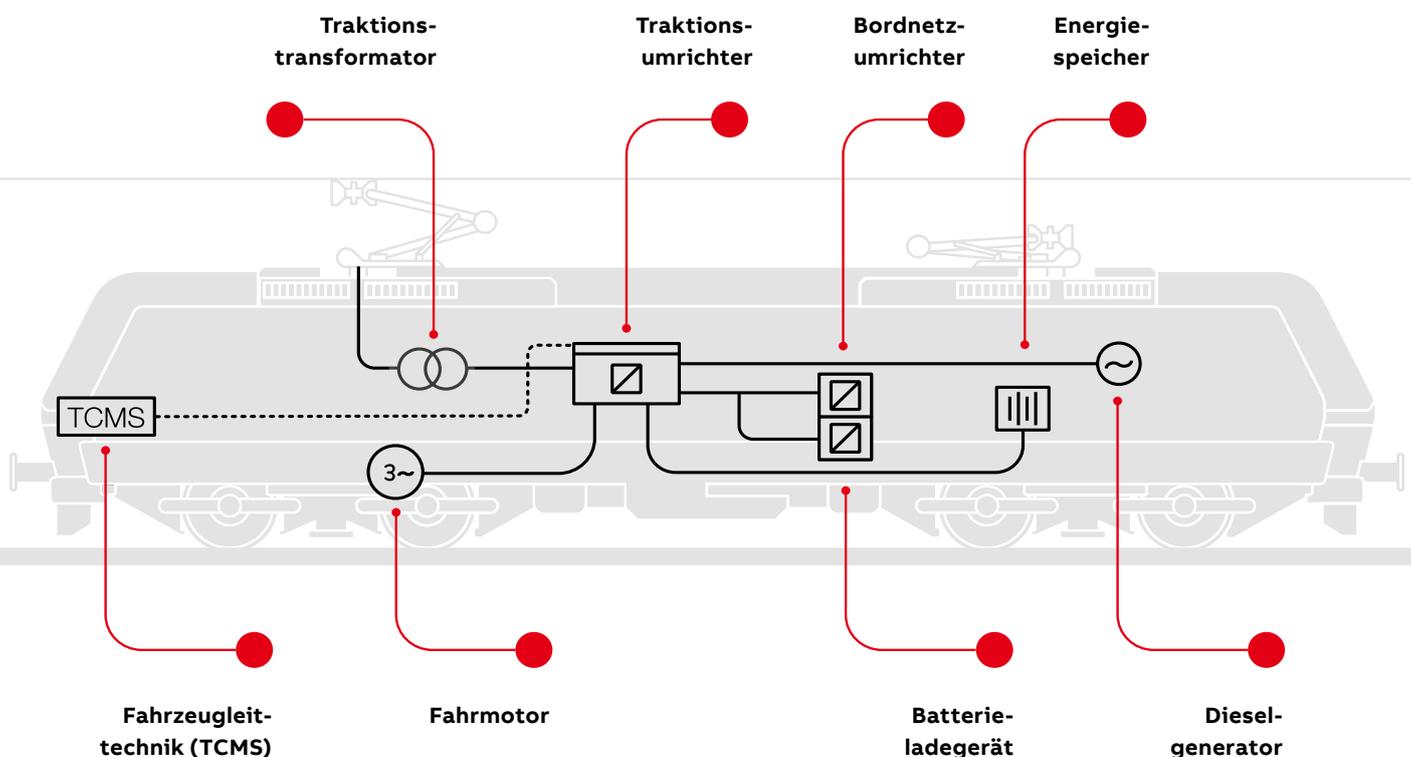
Auch die Einführung von Öko-Fahrerassistenzsystemen kann zur Senkung des Energieverbrauchs beitragen.<sup>5</sup>

Wir wollen uns einige der verfügbaren Technologien zur Verbesserung der Effizienz von Schienenfahrzeugen im Folgenden einmal genauer anschauen.

Der Verkehr ist verantwortlich für ein Viertel der europäischen Treibhausgasemissionen.<sup>6</sup>

# Effizientere Antriebssysteme

Schienenfahrzeuge werden im Allgemeinen entweder elektrisch betrieben und über Fahrleitungen mit Gleich- oder Wechselstrom versorgt, oder sie werden von fahrzeugseitigen Dieselmotoren angetrieben. Das Antriebssystem einer elektrischen Bahn umfasst einen Traktionstransformator (nur bei mit Wechselstrom betriebenen Fahrzeugen) einen Traktionsumrichter und Fahrmotoren. Bei dieselektrischen Zügen besteht das Antriebssystem aus Generatoren, Traktionsumrichtern und Fahrmotoren. Die verwendete Antriebstechnologie hat unabhängig von der Art der Stromversorgung einen erheblichen Einfluss auf die Energieeffizienz.



### Die Effizienz des Antriebsstrangs verbessern

Der Traktionsumrichter wandelt die von der Stromquelle bereitgestellte Eingangsspannung in die zur Ansteuerung der Fahrmotoren in variabler Frequenz und Spannung notwendige Ausgangsspannung um. Die Wahl des richtigen Traktionsumrichters ist deshalb von entscheidender Bedeutung, wenn der Energieverbrauch aller anderen Komponenten des Antriebsstrangs gesenkt werden soll.

Die Traktionsumrichter BORDLINE® von ABB können den Energieverbrauch einer S-Bahn um bis zu 20 % reduzieren.<sup>7</sup>

Der Antriebsstrang mit dem mehrstufigen Traktionsumrichter von ABB gehört zu den effizientesten am Markt. Die kompakten BORDLINE-Umrichter verwenden modernste IGBT-Technologie (Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode). In Kombination mit der Multilevel-Topologie, der hohen Schaltfrequenz und den „Best Efficiency Control“ (BEC) Algorithmen ermöglichen sie die Gesamtoptimierung des Traktionstransformators und der Motoren und eine deutliche Minimierung der Verluste im Antriebsstrang. Weitere Vorteile sind die verminderten Geräuschemissionen und die geringere mechanische Beanspruchung des Antriebsstrangs. Der Energieverbrauch einer typischen S-Bahn kann so um bis zu 20 % gesenkt werden, was nicht nur die Umweltbelastung vermindert, sondern auch die Betriebskosten.<sup>8</sup>

### Hybridantriebe

Auch wenn die Bahnsysteme heute weitgehend elektrifiziert sind, kommen überall dort, wo keine Oberleitungen zur Verfügung stehen, immer noch Dieselmotoren zum Einsatz. In Europa beispielsweise sind 100 % der Nahverkehrsschienenetze aber nur 60 % der Fernstreckennetze elektrifiziert. Die geringere Verkehrsdichte auf diesen Strecken macht eine Elektrifizierung oft unwirtschaftlich, weshalb es unwahrscheinlich ist, dass sie in naher Zukunft elektrifiziert werden.

Das bordeigene Energiespeichersystem kann zum Speichern der beim Bremsen zurückgewonnenen Energie genutzt werden. Die gespeicherte Energie kann dann während der Beschleunigungsphase vom Fahrzeug abgerufen oder für die Versorgung der Hilfsbetriebe während des Halts genutzt werden. Damit erübrigt sich der Einsatz des Dieselmotors, und die lokalen Emissionen werden reduziert. Außerdem genügt bei Verwendung eines bordeigenen Energiespeichers ein kleinerer Dieselmotor, der zudem häufiger bei optimaler Effizienz betrieben werden kann, weil das Energiespeichersystem als Puffer fungiert, um Lastspitzen aufzufangen.

Bei Verwendung eines Hybridsystems kann ein dieselektrischer Doppeltriebwagen seinen Energieverbrauch um **15 bis 20 % senken.**<sup>8</sup>



Bild: Stadler

Die Hybridisierung dieselektrischer Antriebe trägt zwar zur Verminderung der Umweltbelastung bei, ermöglicht aber nicht den vollständigen Verzicht auf fossile Brennstoffe. Deshalb gewinnen zwei andere Alternativen im Bahnsektor zunehmend an Bedeutung:

- a. Wasserstoff-Batterie-Hybrid-Triebzüge
- b. Batterie-Oberleitungs-Hybrid-Triebzüge

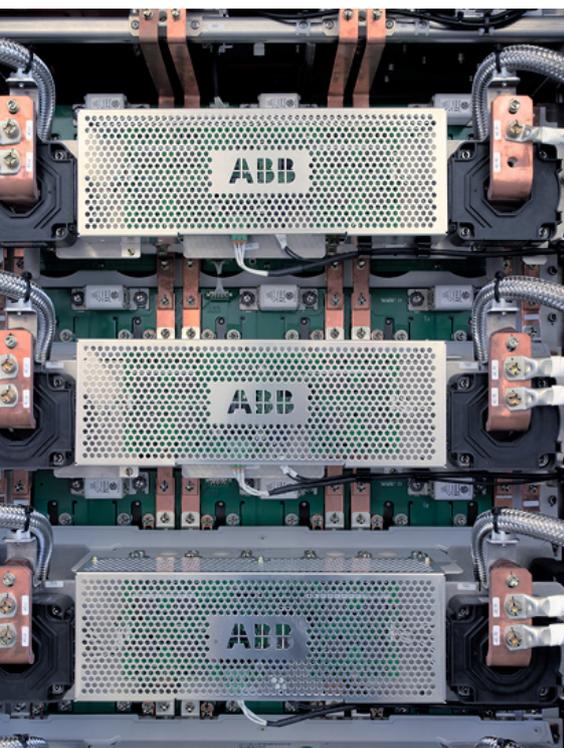
ABB liefert für beide Hybridtechnologien bereits speziell optimierte Traktionsumrichter und Traktionsbatterien.

#### **Batterien für den Massentransport**

Energiespeichersysteme werden zu einem integralen Bestandteil von elektrischen Straßen- und Schienenfahrzeugen und sind eine Schlüsseltechnologie für den Übergang zur energieeffizienten Mobilität. Der zunehmende Einsatz dieser Technologien trägt zur Dekarbonisierung des Verkehrs bei und bringt zahlreiche weitere Vorteile mit sich, wie eine höhere betriebliche Flexibilität und geringere Gesamtbetriebskosten.

An Batterien, die in öffentlichen Verkehrsmitteln zum Einsatz kommen, werden andere Anforderungen gestellt, als an Batterien für Elektroautos. Batterien für Massentransportanwendungen wie Eisenbahnen, Oberleitungsbusse oder Elektrobusse müssen eine hohe Ladekapazität haben, für den Dauereinsatz geeignet sein und wiederholten hohen Ladezyklen standhalten. Das liegt daran, dass Pkws in der Regel nicht mehr als 1-2 Stunden am Tag benutzt werden, während öffentliche Verkehrsmittel täglich 16 bis 18 Stunden im Einsatz sind. Außerdem müssen sie Sicherheitsanforderungen erfüllen, die von der Anzahl der beförderten Fahrgäste und der benutzten Infrastruktur (z. B. Tunnel oder Brücken) abhängen.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, hat ABB das BORDLINE® Energiespeichersystem (ESS) entwickelt, auf Basis einer starken neuen Lithium-Ionen-Batterietechnologie. BORDLINE® ESS wird bereits in einer Vielzahl von Schienen- und Straßenfahrzeugen eingesetzt, darunter Diesel-Hybrid-Triebzüge, leichte Schienenfahrzeuge, elektrische Triebzüge und Oberleitungsbusse.



### Oberleitungsbusse

Wie Schienenfahrzeuge, die über Oberleitungen mit Strom versorgt werden, können auch Oberleitungsbusse nur dort fahren, wo ein Oberleitungsnetz vorhanden ist. Deshalb setzen Städte auf Strecken ohne Oberleitungsinfrastruktur bisher oft Dieselsebusse ein. Die Fortschritte bei der Batterietechnologie machen es heute möglich, Oberleitungsbusse auch über die Grenzen des Oberleitungsnetzes hinaus einzusetzen – und so Luftverschmutzung, Lärmemissionen, Investitionsaufwand und Energieverbrauch zu reduzieren.

#### ANWENDUNGSBEISPIEL



### Die Vorteile des bordeigenen Energiespeichers

Die Stadt Zürich hat kürzlich die Dieselsebusse der Linie 83 durch Batterietrolleybusse mit Traktionsumrichtern, Elektromotoren und Batterietechnologie von ABB ersetzt. Wo dies möglich ist, nutzen die Trolleybusse die Oberleitungen, und wo keine Oberleitungen vorhanden sind, werden sie über ihre Batterie mit Strom versorgt. Die Batterien werden bei Normalbetrieb während der Fahrt an der Oberleitung aufgeladen. Das Batteriesystem erlaubt zudem die volle Rekuperation der Bremsenergie, wodurch im Vergleich zu herkömmlichen Oberleitungsbusen Energieeinsparungen von rund 15 % erreicht werden. Insgesamt werden durch die Umstellung von Diesel- auf Elektrofahrzeuge pro Jahr über 200 000 Liter Diesel und 540 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart.

### Retrofits

Die Fahrzeuge bestehender Bahnnetze sind zuweilen mehrere Jahrzehnte alt. Auch wenn die Antriebssysteme dieser Schienenfahrzeuge noch in Ordnung sind, hat es seit ihrer Inbetriebnahme doch gewaltige Fortschritte bei der Leistungselektronik und der Steuerungstechnik gegeben. Durch die Nach- oder Umrüstung älterer Bahnen mit modernen Komponenten wird nicht nur ihre Lebensdauer verlängert. Ein solcher Retrofit trägt auch erheblich zur Verbesserung von Effizienz und Zuverlässigkeit und somit zur Senkung der Betriebs- und Instandhaltungskosten bei. Je nach Zustand und Alter, können eine oder mehr Komponenten des Antriebsstrangs (zum Beispiel der Traktionsumrichter) zur Steigerung der Leistung umgerüstet oder neue Systeme wie das ESS nachgerüstet werden.

#### ANWENDUNGSBEISPIEL



### Modernisierung von Lokomotiven der SBB

Im Rahmen eines Modernisierungsprogramms der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) hat ABB 119 Lokomotiven mit modernen Traktionsumrichtern und Steuerungssystemen nachgerüstet. Dabei wurden die alten, weniger effizienten Traktionsumrichter mit GTO-Thyristor durch effizientere und flexiblere IGBT-Traktionsumrichter ersetzt. Es wird erwartet, dass der Energiebedarf durch die Verbesserungen um rund 27 GWh/Jahr gesenkt wird, was dem Verbrauch von 6 750 Schweizer Haushalten entspricht.<sup>7</sup>

# Fazit

## Den Weg zu mehr Effizienz weitergehen

Elektrische Bahnen sind seit über 100 Jahren im Einsatz, und die Technologie hat seither immense Fortschritte gemacht. Wir haben heute eine sehr viel stärkere und effizientere Antriebsausrüstung, mit der sich die Umweltbelastung durch Bahnen und sonstige für den Massentransport eingesetzte Fahrzeuge weiter senken lässt. Die Verstärkung und die verschiedenen Ziele und Vorschriften zur Förderung nachhaltiger, CO<sub>2</sub>-armer Lösungen treiben den Wandel und die Verbesserung im Verkehrssektor stark voran. Technologische Fortschritte werden die Branche weiter transformieren.

Die Bahnindustrie arbeitet weltweit hart daran, Effizienz- und Emissionsziele zu erreichen. Die für deutliche Verbesserungen notwendige Technologie gibt es bereits. Wir haben bei der Optimierung der Effizienz unserer Transport- und Verkehrssysteme schon viel erreicht – am Ende des Weges angekommen sind wir noch nicht.

(1) <https://www.iea.org/reports/rail>

(2) IEA-Bericht über die Zukunft der Schiene (The Future of Rail. Opportunities for energy and the environment), <https://iea.blob.core.windows.net/assets/fb7dc9e4-d5ff-4a22-ac07-ef3ca73ac680/TheFutureofRail.pdf>

(3) Informationsblatt des Verbands der europäischen Eisenbahnindustrie zum Europäischen Jahr der Schiene, <https://www.unife.org/wp-content/uploads/2021/04/Sustainability-Factsheet-February.pdf>

(4) EU Pressemitteilung „Die Reise beginnt – 2021 ist das Europäische Jahr der Schiene!“, [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip\\_20\\_2528](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_20_2528)

(5) <https://uic.org/sustainability/energy-efficiency-and-co2-emissions/>

(6) EU-Webseite zum Thema Nachhaltiger Verkehr: [https://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable\\_en](https://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable_en)

(7) Basierend auf Berechnungen von ABB

(8) Basierend auf Berechnungen und Messungen von ABB

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

**[new.abb.com/drives/de](https://new.abb.com/drives/de)**

**[new.abb.com/power-converters-inverters/traction-converters](https://new.abb.com/power-converters-inverters/traction-converters)**