



Bundesministerium  
für Verkehr und  
digitale Infrastruktur

# Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie und Steigerung der Energieeffizienz im öffentlichen Personennahverkehr

Ergebnisse des Forschungsprojektes



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	Das Forschungsprojekt	5
<b>2</b>	Der Energieeffizienz- und der Klimaschutzvorteil des ÖPNV heute	7
<b>3</b>	Die Entwicklung ohne besondere Maßnahmen	9
<b>4</b>	Argumente für eine aktive Klimapolitik	11
<b>5</b>	Maßnahmen - Linienbusse	12
<b>6</b>	Maßnahmen - Straßen-, Stadt- und U-Bahnen	16
<b>7</b>	Der Effekt - Energieszenarien	21
<b>8</b>	Konkrete Schritte heute	25
<b>9</b>	Zusammenfassung	27
<b>10</b>	Praxisbeispiele	28
<b>11</b>	Wo finde ich weiterführende Informationen?	37
<b>12</b>	Impressum	39



# 1 Das Forschungsprojekt

Das Energiekonzept der Bundesregierung aus dem Jahre 2010 benennt auch für den Verkehrssektor in Deutschland ehrgeizige Ziele. So soll unter anderem dessen Endenergieverbrauch im Zeitraum 2005 bis 2050 um 40% zurückgehen. Ergänzend gilt das sektorübergreifende Ziel, die Treibhausgasemissionen im Zeitraum 1990 bis 2020 um 40% sowie im Zeitraum 1990 bis 2050 um 80 – 95% zu reduzieren.

Bereits heute ist der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) eine energieeffiziente und klimafreundliche Verkehrsart. Damit jedoch der Verkehrssektor seine eigenen Ziele erreicht, sowie angemessen zum Erreichen der Klimaschutzziele der Bundesregierung insgesamt beiträgt, ist auch der ÖPNV aufgefordert, seine Energieeffizienz weiter zu erhöhen und seine Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Verstärkt wird der Handlungsdruck durch die EU-Gesetzgebung zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen: Diese bewirkt, dass der Umweltvorteil des ÖPNV gegenüber dem Pkw-Verkehr geringer wird.

## Wie ist die Ausgangslage? Wer kann was tun?

Diese Broschüre stellt die wesentlichen Ergebnisse eines Forschungsvorhabens dar, das im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung zunächst untersuchte, wie groß derzeit der Klimaschutz- und der Energieeffizienzvorteil des ÖPNV gegenüber dem Pkw-Verkehr ist und wie er sich bis zum Jahr 2050 entwickeln wird. Der Schwerpunkt lag dabei auf zwei Fragen: Wie lassen sich die Energieeffizienz und der Anteil erneuerbarer Energien beim ÖPNV steigern? Und welches Potential weisen die verschiedenen Maßnahmen auf? Hierauf aufbauend wurde untersucht, welche Beiträge Bund, Länder und Kommunen, Verbände, Aufgabenträger und die Verkehrsunternehmen für einen noch energieeffizienteren und klimafreundlichen ÖPNV leisten können und welche Arten von Kooperation wünschenswert wären.

In Abgrenzung zu anderen Forschungsvorhaben des BMVI wurde dabei der Bereich der Elektromobilität, mit Batterien oder Brennstoffzellen als alleiniger Energiequelle, nicht im Einzelnen betrachtet, sondern nur in den Szenarien als Einflussgröße berücksichtigt. Detaillierte Informationen hierzu finden sich unter [www.now-gmbh.de](http://www.now-gmbh.de).

Statistiken, Erhebungen des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) sowie Daten des Verkehrsemissionsmodells „Transport Emission Modell“ (TREMOMOD), ergänzt durch eigene Rechenmodelle sowie Erkenntnisse aus Interviews mit 13 Verkehrsunternehmen und aus einem Workshop, auch mit Herstellern und Verbänden, flossen in die Studie ein.

Ergänzt wird die Untersuchung durch Praxisbeispiele, die exemplarisch zeigen, dass ÖPNV-Unternehmen schon heute konkrete Maßnahmen für mehr Energieeffizienz und Klimaschutz ergreifen, um einen Beitrag zum Erreichen der Ziele zu leisten.



## 2 Der Energieeffizienz- und der Klimaschutzvorteil des ÖPNV heute

### ÖPNV-Nutzung ist „klassischer“ Umweltschutz

Die Umweltschutzvorteile des ÖPNV sind weithin bekannt: niedrigere Schadstoffbelastung der Luft, weniger Lärm und geringerer Flächenverbrauch. Für eine Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr auf öffentliche Verkehrsmittel sprechen aber auch die im Vergleich zum Pkw höhere Energieeffizienz und die niedrigeren Treibhausgasemissionen des ÖPNV.

Erreicht wurden diese Vorteile in den letzten beiden Jahrzehnten vor allem durch effizientere Nebenaggregate (z. B. Heizung und Beleuchtung), betriebliche Maßnahmen der Verkehrsunternehmen, (z. B. Fahrertrainings und Optimierungen des Fahrzeugeinsatzes), sowie die Modernisierung der Fuhrparks. Verstärkt kommen Linienbusse mit neuen, energieoptimierten Schaltprogrammen und modernen Motoren zum Einsatz, bei den Bahnen hat sich die nunmehr verbreitete Rückspeisung der Bremsenergie und der Trend zu größeren Fahrzeugen ausgewirkt. Oft wird auch durch eine höhere Fahrdratspannung der im Fahrdrat fließende Strom verringert, was die Stromleitungsverluste senkt. Allerdings gibt es auch gegenläufige Trends, die erzielte Einsparerfolge teilweise wieder zunichte machen, z. B. die Tendenz zur Klimatisierung der Fahrzeuge, oder – bei den Linienbussen – effizienzmindernde strengere Grenzwerte für die lokalen Luftschadstoffe.

Dennoch sind in Summe betrachtet die Minderungen des Endenergieverbrauches bzw. die Steigerungen der Energieeffizienz erheblich. Dies zeigt auch der Vergleich mit den erreichten Werten bei den Pkw

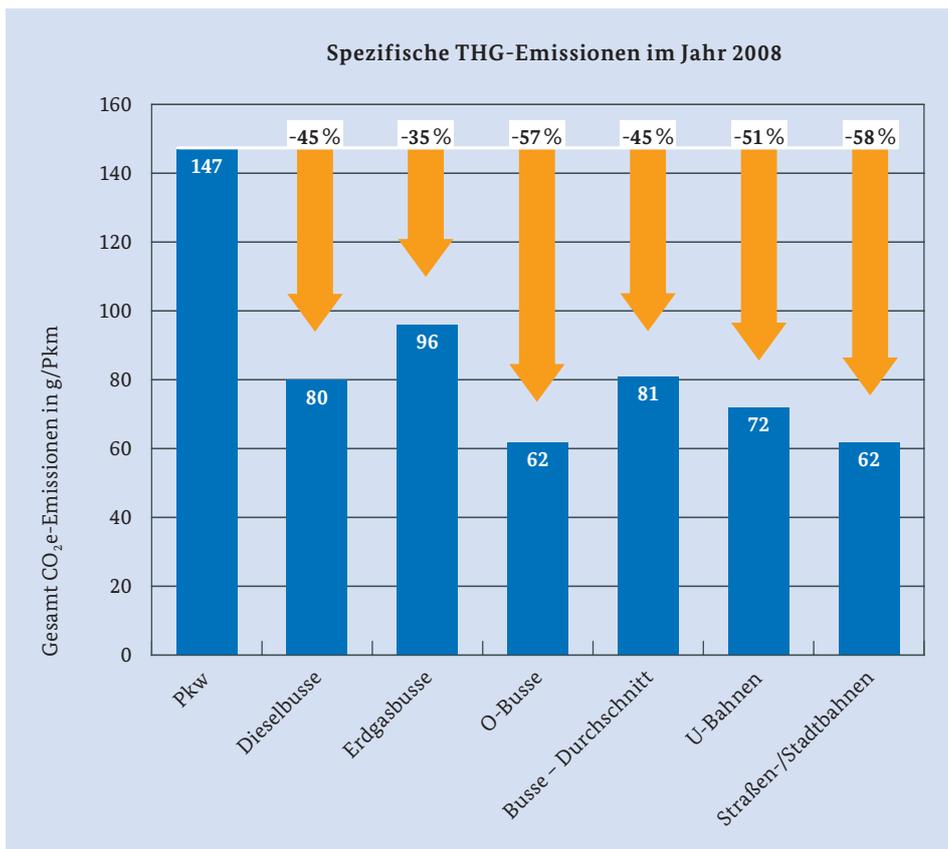
Minderung des Endenergieverbrauches Erreichter Stand 1990 - 2008 pro Platz-Kilometer	
Linienbusse (inkl. Erdgas- und O-Busse)	- 15 %
Straßen- und Stadtbahnen	- 13 %
U-Bahnen	- 19 %
<b>zum Vergleich Pkw</b>	<b>- 13 %</b>

Noch stärker als der Endenergieverbrauch sind beim ÖPNV in den letzten Jahrzehnten die Treibhausgas-Emissionen zurückgegangen. Dabei konnten die ÖPNV-Unternehmen vor allem von einer verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, einer Modernisierung des Kraftwerksparks sowie einer verbesserten Kraftstoffqualität profitieren.

**Emissionen sinken sogar überproportional**

Minderung der CO <sub>2</sub> -Äquivalent- Emissionen Erreichter Stand 1990 - 2008 pro Platz-Kilometer	
Linienbusse (inkl. Erdgas- und O-Busse)	- 25 %
Straßen- und Stadtbahnen	- 47 %
U-Bahnen	- 51 %
<b>zum Vergleich Pkw</b>	- 20 %

Damit ergeben sich für die klimarelevanten Emissionen im Bezugsjahr 2008, als Ausgangspunkt für die weiteren Betrachtungen, die folgenden Vorteile des ÖPNV gegenüber dem Pkw-Verkehr. Herstellung und Transport der Energieträger wurden dabei berücksichtigt.



### 3 Die Entwicklung ohne besondere Maßnahmen

Wie wird sich die Energieeffizienz beim ÖPNV weiterentwickeln, wenn die Unternehmen nur solche Maßnahmen umsetzen, die sich aus der Flottenmodernisierung zwangsläufig ergeben bzw. die nur kurze Amortisationszeiträume aufweisen? Als Referenzszenario wird ein Fortschreiben dieser Praxis unterstellt, langfristig wirksame Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz oder des Anteils erneuerbarer Energien werden hier nicht angenommen. Auch zusätzliche Impulse, wie z. B. eine staatliche Förderung alternativer Antriebs- und Kraftstoffkonzepte, bleiben unberücksichtigt. Dies hat unter anderem zur Folge, dass Diesel-Hybridbusse bis 2030 nur eine Nischenerscheinung bleiben.

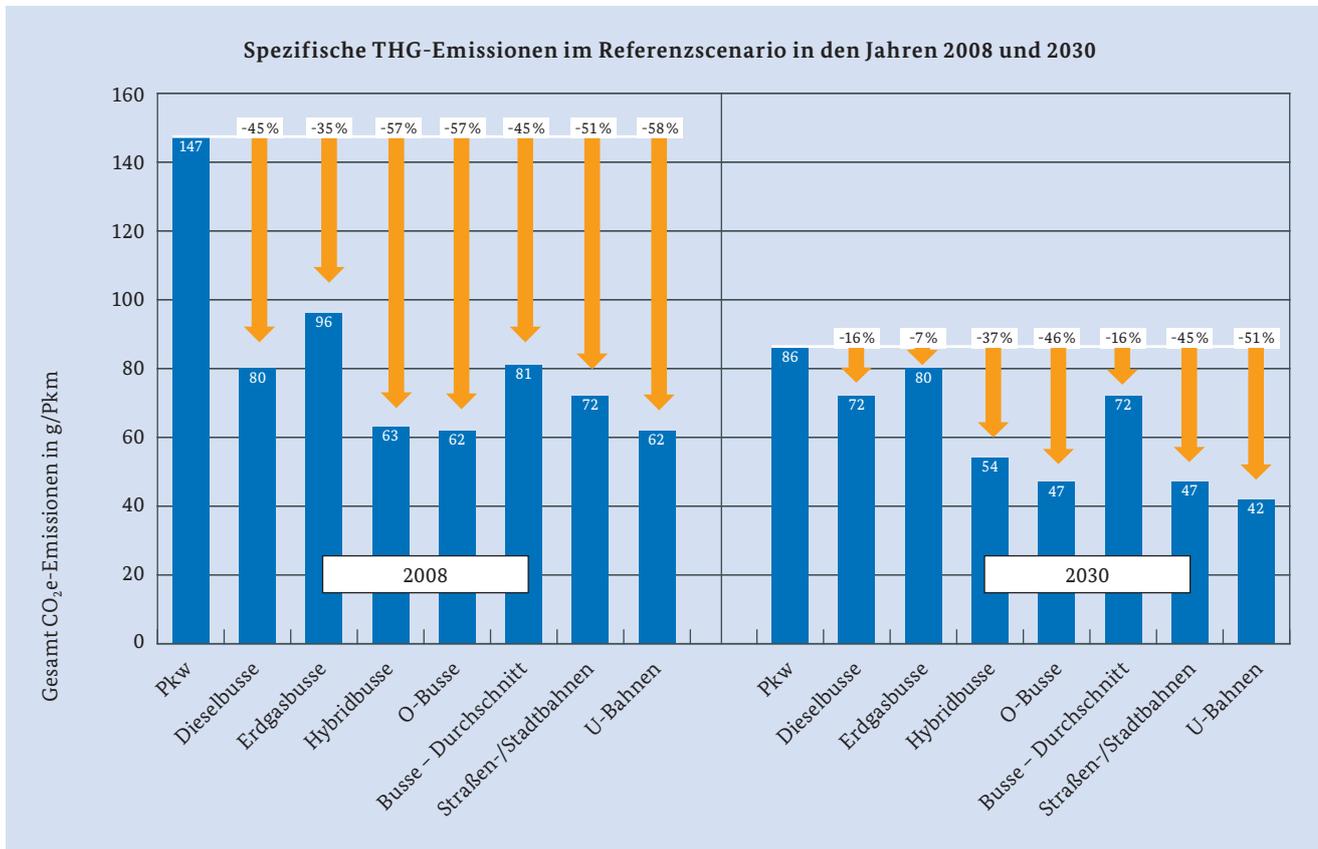
In diesem Szenario steigt für alle Verkehrsmittel des ÖPNV die Energieeffizienz bis 2030 stetig an. Jedoch fällt der Effekt geringer aus als bei den Pkw, weil diese zur Einhaltung der EU-Flottengrenzwerte bis zu den Jahren 2015 und 2020 ihre Effizienz deutlich verbessern müssen.

Minderung des Endenergieverbrauches Referenzszenario 2008 - 2030 pro Platz-Kilometer	
Linienbusse	- 9 %
Straßen- und Stadtbahnen	- 5 %
U-Bahnen	- 3 %
<b>zum Vergleich Pkw</b>	<b>- 39 %</b>

Minderung der CO <sub>2</sub> -Equivalent- Emissionen Referenzszenario 2008 - 2030 pro Platz-Kilometer	
Linienbusse	- 10 %
Straßen- und Stadtbahnen	- 31 %
U-Bahnen	- 29 %
<b>zum Vergleich Pkw</b>	<b>- 41 %</b>

Bei den Treibhausgas-Emissionen profitieren die Verkehrsunternehmen vom vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien für die Stromproduktion. Bei den Kraftstoffen ist die Beimischung von Biokraftstoff berücksichtigt.

Werden die Verhältnisse im Bezugsjahr 2008 mit den Ergebnissen des Referenzszenarios für das Jahr 2030 verglichen ergibt sich folgendes Bild:



Der Vorteil des ÖPNV gegenüber dem Pkw bleibt somit insbesondere bei den Straßen-, Stadt- und U-Bahnen bis zum Jahr 2030 bestehen, der Vorsprung der Busse wird jedoch deutlich kleiner.

## 4 Argumente für eine aktive Klimapolitik

### Eigene Maßnahmen der Verkehrsunternehmen sind notwendig

Obwohl den Verkehrsunternehmen ihr Umweltvorteil gegenüber dem Pkw zumindest bis 2030 auch ohne wesentliche eigene Anstrengungen erhalten bleibt – zum Nulltarif ist dies nicht zu haben. Der erwartete Preisanstieg bei Kraftstoffen kann durch die nur mäßigen Effizienzsteigerungen dieses Szenarios ebenso wenig kompensiert werden wie durch die berücksichtigte erhöhte Verkehrsleistung.

### Klimaschutz ist auch wirtschaftlich vernünftig

Die Energiepreissteigerungen – in den Szenarien wird bis 2030 inflationsbereinigt von moderaten 10% für den Fahrstrom und 32% für Dieselmotorkraftstoff ausgegangen – führen für die ÖPNV-Unternehmen, die keine weiteren Maßnahmen ergreifen, zu Mehrausgaben, die sich im Zeitraum 2012 bis 2030 auf 1,3 Mrd. Euro aufsummieren. Davon entfallen allein 940 Mio. € auf die Mehrkosten für Kraftstoff. Dies zeigt: Die ÖPNV-Unternehmen sollten den Weg zu mehr Energieeffizienz einschlagen, schon allein um die Energiepreissteigerungen aufzufangen. Zusätzliche Maßnahmen sind ein Gebot der wirtschaftlichen Vernunft, auch wenn, wie später ausführlicher diskutiert wird, dafür in einigen Fällen längere Amortisationszeiträume in Kauf genommen werden müssen.

Jedoch sprechen noch zwei weitere Argumente für eine aktivere Klimastrategie der Verkehrsunternehmen:

### Klimaschutz gehört zur Marke „ÖPNV“

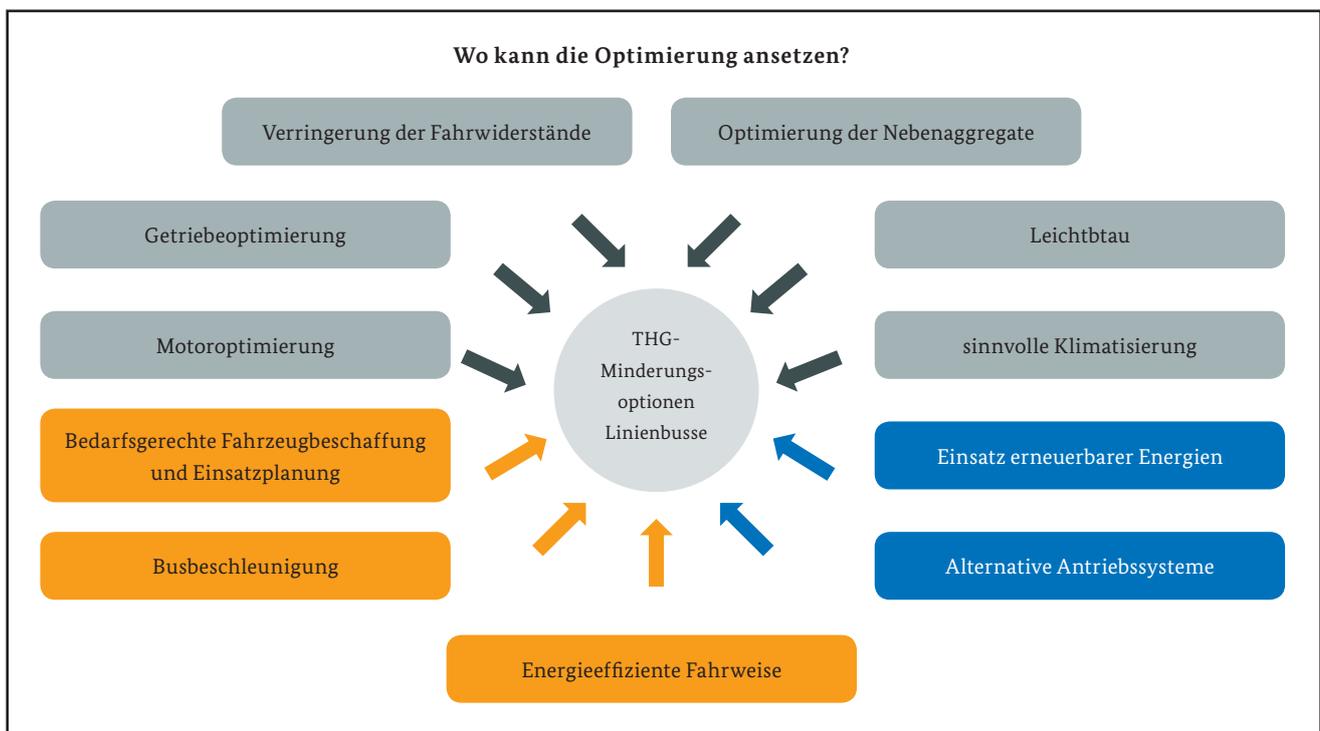
Zunächst: Klimafreundlichkeit gehört zur Kernwahrnehmung der „Marke“ ÖPNV. Die Kunden erwarten, dass er sich dem Wettbewerb stellt, wenn sich die Mitbewerber weiterentwickeln. Kunden in diesem Sinne sind nicht nur Fahrgäste, sondern auch Aufgabenträger und Kommunen, die über die Vergabe von Geldern für den ÖPNV zu entscheiden haben.

### Auch der Beitrag des ÖPNV ist Teil der Energiewende

Und außerdem: Effizienzsteigerungen und der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien sind die Kernelemente der Energiewende. Mit erneuerbaren Energien kann aber der Endenergiebedarf auf dem heutigen Niveau nicht gedeckt werden. Daher muss die Nachfrage deutlich gesenkt werden. Dazu muss auch der ÖPNV seinen Beitrag leisten.

# 5 Maßnahmen - Linienbusse

Die Verkehrsunternehmen können die Energieeffizienz des Busverkehrs durch fahrzeugtechnische oder betriebliche Maßnahmen erhöhen. Jedoch kommen diese nicht alle gleichzeitig oder für jeden Betrieb gleichermaßen in Frage. Erst die Berücksichtigung der jeweiligen Spezifika eines Unternehmens führt zu einem optimal zusammengestellten Maßnahmenkatalog.



## Fahrzeugseitige Maßnahmen

Motoroptimierung				
Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller

Große Effizienzpotentiale von 5 bis mittelfristig 15% bei den Dieselnissen werden von den Herstellern durch die Verbesserung von Motor und Getriebe erwartet.

Durch die Wahl von Motoren mit niedrigerer Leistung („Downsizing“) bei der Beschaffung von Fahrzeugen lässt sich der Kraftstoffverbrauch senken.

Bei den Motoren handelt es sich heute um LKW-Motoren, die nicht am Einsatz im ÖPNV orientiert sind. Alleine mit einer Optimierung der Motormanagement-Software (Chiptuning) konnte in der Praxis der Dieserverbrauch um über 10% gesenkt werden. Bereits ab Werk optimierte Motoren werden gefördert, wenn es zum Einsatzprofil von Stadtbussen passende normierte Fahrzyklen gibt, die Verbrauchsangaben besser vergleichbar machen.

Weitere Maßnahmen sind: geringere bewegte Masse im Motor, reduzierte Reibung, optimierte Einspritzpumpen und Ventile und effizientere Verbrennung. Dabei gilt es, den Konflikt zu lösen, wie der Kraftstoffverbrauch verringert und gleichzeitig die anspruchsvollen Luftschadstoffgrenzwerte für NO<sub>x</sub> und Feinstaub eingehalten werden können. Eine wichtige Rolle spielt dabei zukünftig eine weiter verbesserte Abgasaufbereitung.

Getriebeoptimierung				
Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller

Des Weiteren können die Fahrzeughersteller bei Linienbussen die Reibung in Getriebe und Antriebswelle verringern und verbesserte Schaltprogramme sowie eine höhere Anzahl der Gänge (automatische 8-Gang-Schaltung) einführen. Adaptive Schaltprogramme, die eine geländeabhängige, intelligente Schaltung ermöglichen, können außerdem dafür sorgen, dass stets der verbrauchsgünstigste Gang verwendet wird. Diese Schaltprogramme reagieren flexibel auf die Verkehrssituation und ermöglichen Einsparungen von durchschnittlich 5 %.

Leichtbau				
Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller

Einen großen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch hat das Fahrzeugleergewicht. Es lässt sich durch den Einsatz von Leichtbaukomponenten und Materialien wie beispielsweise hochfesten Stählen, Sandwichkonstruktionen, Aluminium- und Glasfaserelementen reduzieren, der Kraftstoffverbrauch kann so um bis zu 10% sinken. Dabei muss sichergestellt werden, dass die Lebensdauer der Fahrzeuge und die Geräuschemissionen den bisherigen Anforderungen entsprechen.

Verringerung der Fahrwiderstände				
Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller

Die Verringerung der Fahrwiderstände (Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften, Verwendung von niedrigviskosen synthetischen Leichtlaufölen und rollwiderstandsoptimierten Leichtlaufreifen) zeigt in der Praxis nur geringere Einsparpotentiale (max. 3 %).

Optimierung der Nebenaggregate				
Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller

Die Nebenaggregate, wie Pumpen für Wasser und Öl, Luftpresser für den Türbetrieb, die Federung einschließlich Kneeling oder Servopumpen, können einen hohen Anteil von bis zu 30% am Gesamtverbrauch von Linienbussen haben. Eine bedarfsgerechte Steuerung, wie sie derzeit nur begrenzt möglich ist, ließe sich durch die Elektrifizierung dieser Aggregate erreichen, wodurch sich langfristig Kraftstoffeinsparungen von 3 bis 5 % erzielen lassen. Weitere Potentiale erschließen energieeffiziente Lichtmaschinen, deren Wirkungsgrad sich von heute etwa 50 % auf über 80 % steigern lässt.

**Sinnvolle Klimatisierung**

<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

Der Anteil klimatisierter Linienbusse mit zwangsläufig höherem Kraftstoffverbrauch stieg in den vergangenen Jahrzehnten stark an (1993 5 % der neuen Linienbusse, 2008 bereits 64%). Hier bietet die Elektrifizierung ein Kraftstoffminderungspotential von rund 5 % – durch kleinere und leichtere Aggregate sowie die Möglichkeit bedarfsgerechter Regelungskonzepte.

**Bedarfsgerechter Betrieb und optimierte Anlagen verringern Mehrverbrauch für Klimatisierung**

Eine weitere Möglichkeit zur Minderung der Treibhausgas-Emissionen könnte sich in Zukunft durch den Einsatz alternativer Anlagen ergeben, die zudem den Betrieb als Wärmepumpe ermöglichen.

**Alternative Antriebssysteme**

<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

Neben dem Einsatz von sparsamen konventionellen Dieselnissen kann die Energieeffizienz durch alternative Antriebssysteme erhöht werden. Hybridbusse sind mit Energiespeichern (z. B. Lithium-Ionen-Batterien oder Hochleistungskondensatoren) ausgestattet, die die Rückgewinnung der Bremsenergie ermöglichen und dadurch – wegen des häufigen Bremsens und Anfahrens – besonders für den städtischen Linienverkehr im ÖPNV geeignet sind.

**Der nächste Schritt bei Hybridbussen: Marktreife**

In Demonstrationsvorhaben und Praxistests konnten mit Hybridbussen deutliche Kraftstoffersparungen um 20 % und mehr realisiert werden. Aber nicht überall schnitten die Busse so gut ab, geringere Verbrauchsminderungen und höhere Ausfallzeiten zeigen: volle Serienreife haben Hybridbusse noch nicht erreicht. Um die Einsparpotentiale weiter zu erhöhen und die Fahrzeuge zur Marktreife zu führen, ist eine koordinierte weitere Förderung durch die Politik nötig – auch um die derzeitig sehr hohen Zusatzkosten zu senken. Langfristig wird ein Einsparpotential von 30 % gesehen.

**Besonders effizient und klimafreundlich: Oberleitungsbusse**

Bereits heute fahren Oberleitungsbusse auf deutschen Straßen sehr energieeffizient und rein elektrisch. Der weiteren Verbreitung dieser Fahrzeuge stehen jedoch hohe Investitionskosten in die Infrastruktur entgegen. Das Problem eines vermeintlich nachteilig beeinflussten Stadtbildes dürfte sich dann wesentlich verringern, wenn zukünftig Energiespeicher in den Fahrzeugen ein teilweise oberleitungsfreies Fahren ermöglichen.

**Betriebliche Maßnahmen**

**Energieeffiziente Fahrweise**

<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

Eine energieeffiziente Fahrweise lässt den Kraftstoffverbrauch signifikant sinken. Dies zeigen die unterschiedlichen Kraftstoffverbräuche verschiedener Fahrer bei sonst gleicher Linie und Verkehrssituation. Technische Lösungen, wie beispielsweise eine automatische Beschleunigung, greifen zwar in die Autonomie der Fahrer ein, könnten nach Einschätzung der Verkehrsunternehmen aber langfristig große Einsparungen von bis zu 15 % ermöglichen.

**Energieeffiziente Fahrweise reduziert Kraftstoffverbrauch um bis zu 15 %**

**Bedarfsgerechte Fahrzeugbeschaffung und Einsatzplanung**

<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

**Bedarfsgerechter  
Fahrzeugeinsatz:  
Feintuning lohnt sich**

Durch eine bedarfsgerechte Fahrzeugbeschaffung und -einsatzplanung kann dafür gesorgt werden, dass beispielsweise auf steigungsarmen Linien keine übermotorisierten Fahrzeuge unterwegs sind. In den Zwischenbereich von technischen und betrieblichen Maßnahmen fällt der Einsatz von Anhängerzügen statt Gelenkbussen. Die Morgenspitze könnte so mit einer größeren Kapazität bedient werden, bei geringerer Auslastung wird der Anhänger abgekoppelt.

**Langfristige Aus-  
schreibungen ermög-  
lichen Investitionen  
in Klimaschutz**

Durch eine langfristige Vergabe durch die Aufgabenträger kann es den Verkehrsunternehmen erleichtert werden, in energieeffizientere Fahrzeuge zu investieren, da sie deren Einsatz vorausschauender planen können und sich entsprechende Mehrkosten in einem längeren Zeitraum amortisieren können.

**Busbeschleunigung**

<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

Eine Beschleunigung des ÖPNV durch die städtischen Verwaltungen, etwa mit Bus-Vorrangschaltungen, kann die Anzahl der Starts und Stopps und damit den Kraftstoffverbrauch verringern. Eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit steigert auch die Attraktivität des ÖPNV, was sich in höheren Fahrgastzahlen und damit niedrigeren spezifischen Verbräuchen niederschlagen kann.

**Einsatz erneuerbarer Energien****Verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien**

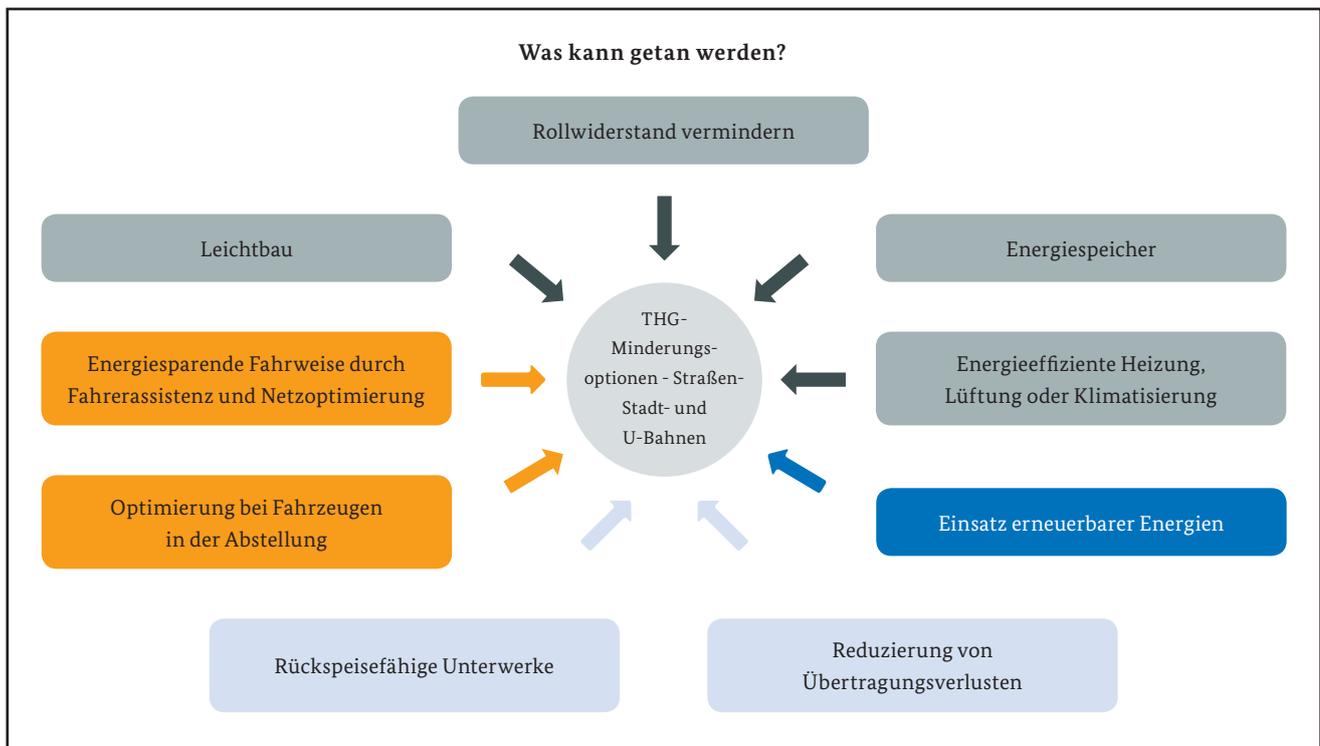
<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

Der Anteil erneuerbarer Energien, also die Beimischung von Biokraftstoffen sowie, wenn Batteriebusse zum Einsatz kommen, der Anteil von Strom aus regenerativen Quellen im deutschen Strommix, wird unabhängig vom Engagement der Verkehrsunternehmen weiter steigen. Ab 2018 wird durch beigemischte Biokraftstoffe eine Treibhausgasreduzierung von mindestens 60 % im Vergleich zum konventionellen Diesel erreicht. Beim Strom ist selbst im ungünstigsten Fall eine Treibhausgasreduzierung pro verbrauchter Kilowattstunde von 26 % bis 2030 möglich.

Die Reinbetankung von Biokraftstoffen bringt aufgrund der zurückgefahrenen Befreiung von der Mineralölsteuer in den letzten Jahren Zusatzkosten, die für die meisten ÖPNV-Unternehmen derzeit inakzeptabel sind. Seit dem Aufkommen der „Tank oder Teller“-Debatte um Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion sprechen auch Marketingargumente gegen den Einsatz von Biokraftstoffen. Diese Situation dürfte sich mittelfristig durch Biokraftstoffe der 2. Generation, die aus Biomasse-Reststoffen, schnellwachsenden Hölzern etc. gewonnen werden, wieder ändern. In naher Zukunft sind diese Kraftstoffe jedoch keine Option.

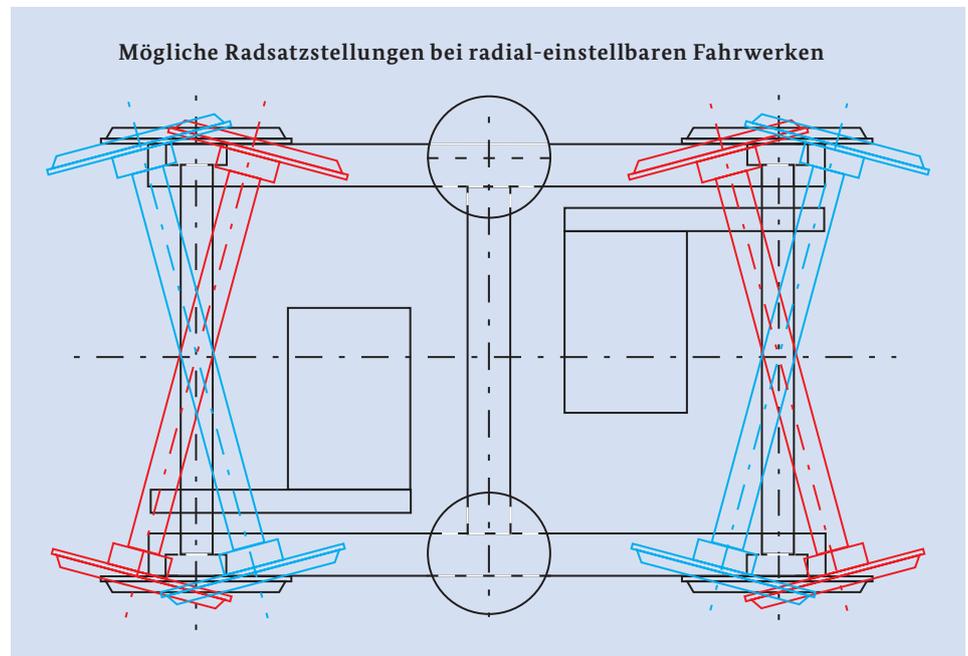
## 6 Maßnahmen – Straßen-, Stadt- und U-Bahnen

Konkrete Maßnahmen, um den Energieverbrauch von elektrisch betriebenen Verkehrsmitteln zu senken und damit ihre Energieeffizienz zu steigern, betreffen die Fahrzeuge selbst, die Infrastruktur und den Betrieb der Bahnen. Auch hier gilt: Nicht alle Maßnahmen sind pauschal für jedes Unternehmen sinnvoll, sondern müssen individuell ausgewählt und kombiniert werden.



## Fahrzeugseitige Maßnahmen

Rollwiderstand vermindern				
Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller



Der Rollwiderstand beschreibt die Reibungsverluste an der Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene. Verstärkt tritt er in Kurven auf. Ein geringer Rollwiderstand führt zu niedrigerem Energieverbrauch, aber auch geringerem Verschleiß an Rad und Schiene.

Verkleinern lässt sich der Rollwiderstand durch radial-einstellbare Fahrwerke, die sich dem Kurvenverlauf, wie in der Abbildung schematisch dargestellt, anpassen. Farblich gekennzeichnet ist, wie zwei Radsätze, jeweils bestehend aus zwei Rädern und der sie verbindenden Radsatzwelle, ihre Position zueinander im Streckenverlauf ändern: parallel bei Geradeausfahrt (schwarz), einander zugewandt in einer Kurve (rot, blau).

Das geschieht entweder aktiv, beispielsweise durch die Ansteuerung von Hydraulikzylindern, oder passiv, z. B. durch mechanische Kopplung der Radsätze mittels sogenannter Kreuzanker.

Der Effekt ist signifikant: Bei einem durchschnittlichen Straßenbahnnetz innerhalb einer deutschen Großstadt (pro Linie von je ca. 10 km Länge 10-15 ausgeprägte Kurven und zwei Wendeschleifen/Kehranlagen) lassen sich dadurch jährlich 2% des Gesamt-Energiebedarfes eines Verkehrsunternehmens einsparen.

Energiespeicher				
Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller

Auch Energiespeicher auf Fahrzeugen oder entlang der Strecke erhöhen die Energieeffizienz. Sie ermöglichen die Zwischenspeicherung der Bremsenergie von Fahrzeugen und verringern die Verluste für die Energieleitung durch lokale Nutzung auftretender Energiespitzen beim Bremsen.

Je nach örtlicher Gegebenheit ist die ortsfeste oder die fahrzeugseitige Variante sinnvoller: im Bereich von Steigungsabschnitten eher der ortsfeste, im Stop-and-Go-Umfeld einer Innenstadt ohne feste Bremsensatzpunkte eher ein fahrzeuggebundener Speicher, auch trotz des Nachteils des zusätzlichen Gewichtes, das bewegt werden muss.

Speicher lohnen sich vor allem dann, wenn die Bremsenergie nicht unmittelbar abgenommen wird, sich also zu wenig andere Fahrzeuge in Reichweite eines bremsenden Fahrzeuges befinden. Der Effizienzgewinn aus Energiespeicherung und Verringerung der Leitungsverluste kann unter günstigen Umständen bis zu 28 % des Fahrstromverbrauchs betragen, besteht unter realen Bedingungen aber nur aus der Differenz zwischen dem Angebot an verfügbarer Bremsenergie und deren anderweitiger Nutzung ohne Speicherung.

**Bremsenergie speichern, wo sie nicht unmittelbar abgenommen werden kann**

Leichtbau				
Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller

Auch bei den Bahnen beeinflusst das Gewicht den Energieverbrauch. Durch Metall-Mischbauweisen, die auf Grund von modernen Fügeverfahren möglich werden, und durch die Verwendung von hoch- und höchstfesten Stählen für besonders belastete Bauteile lassen sich Schienenfahrzeuge leichter gestalten. In den für das Forschungsprojekt durchgeführten Interviews zeigten sich attraktive Potentiale: Pro Tonne eingesparte Fahrzeugmasse kann der Traktionsenergiebedarf um ca. 2,5 % bei Straßenbahnen und 0,2 % bei U-Bahn-Fahrzeugen gesenkt werden.

**Leichtbau spart bis zu 2,5 % des Traktionsenergiebedarfs**

Energieeffiziente Heizung, Lüftung oder Klimatisierung				
Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller

Beim klimaschonenden Heizen, Lüften und Kühlen von Schienenfahrzeugen muss zunächst die Sollwertvorgabe, also die gewünschte Innenraumtemperatur, auf den Prüfstand. Dabei ist es sinnvoll, die Fahrzeug-Innentemperatur innerhalb einer vorgegebenen Spanne so nah wie möglich an der Außentemperatur zu orientieren. Indem die Außentemperatur, sowie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft im Innenraum gemessen werden, lässt sich eine bedarfsgerechte Steuerung des Frischluftbedarfs und der umgewälzten Luftmenge realisieren.

**Durch Wärmerückgewinnung und Wärmepumpen können bis zu 5 % des Gesamt-Fahrstromverbrauchs eingespart werden**

Auch der Einsatz von Wärmerückgewinnung und die Nutzung von Wärmepumpen senkt den Energieverbrauch. Im Vergleich zu aktuellen Fahrzeugen sind Minderungen von 5 % bezogen auf den Gesamt-Fahrstromverbrauch möglich.

## Infrastrukturseitige Maßnahmen

### Rückspeisefähige Unterwerke

<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

Eine Alternative zu den schon erwähnten ortsfesten Speichern ist die mit geringerem Investitionsaufwand mögliche Realisierung rückspeisefähiger Gleichrichter-Unterwerke. Unterwerke wandeln den Wechselstrom aus dem allgemeinen Netz in Gleichstrom um, wie er zum Betrieb von Straßen-, Stadt- und U-Bahnen verwendet wird. Unterwerke, die in der Lage sind, Strom ins Netz zurückzuspeisen, benötigen einen gesteuerten Gleichrichter mit aufwändigerer Ausrüstung. Das allgemeine Netz mit seiner Vielzahl von Verbrauchern wird dann zum Abnehmer der Energie, eine Speicherung ist damit unnötig.

Bisher gibt es im ÖPNV noch keine rückspeisefähigen Unterwerke, sondern nur solche mit ortsfestem Speicher. Auf Seiten der Energieversorger ist das Interesse, Strom aus Rückspeisung zu kaufen, eher gering. Dieser Konflikt wurde im Bereich der erneuerbaren Energien durch die Festschreibung des Einspeisepreises durch die Bundesregierung angegangen. Hier ist die Politik gefragt, bessere Rahmenbedingungen zu schaffen.

### Reduzierung von Übertragungsverlusten

<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

Um die Fahrstromversorgung effizienter zu gestalten und die Leistungsverteilung zu optimieren, bieten sich mehrere Maßnahmen an. Da die ohmschen Verluste eines Stromleiters proportional zum fließenden Strom sind, sollte die Netzspannung so hoch wie möglich gewählt werden. Daneben ist eine Erhöhung des wirksamen Leitungsquerschnitts für die Übertragung der Energie durch sinnvolle Verbindung von Fahrleitungsbereichen (Vermaschung, Kopplung) zu empfehlen.

## Betriebliche Maßnahmen

### Energiesparende Fahrweise durch Fahrerassistenz und Netzoptimierung

<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

Assistenzsysteme zur Unterstützung des Fahrpersonals verringern den Stromverbrauch eines einzelnen Fahrzeugs. Aber der Stromverbrauch für die Traktion lässt sich auch netzweit optimieren: Das Fahrverhalten aller Fahrzeuge in einem Netzabschnitt bis hin zu Abfahrzeitpunkt bzw. Bremskurve kann beispielsweise durch Beeinflussung der Geschwindigkeit aufeinander abgestimmt werden, um unnötiges Abbremsen und erneutes Anfahren zu vermeiden. Vom übrigen Verkehr gänzlich unabhängige Bahnen (U-Bahnen) oder zumindest solche mit abschnittsweise eigenen Gleisen erzielen den größten Einspar-Effekt. Er liegt zwischen 10 und 15 % der Traktionsenergie.

**15 % weniger Traktionsenergie durch energiesparende Fahrweise**

**Optimierung bei Fahrzeugen in der Abstellung**

<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

Im Unterschied zum Pkw verbrauchen Straßen-, Stadt- und U-Bahnfahrzeuge bisher in der Regel auch im abgestellten Zustand signifikant Energie, nach Abschätzungen ca. 7% des Fahrstroms, hauptsächlich für Beheizung, Beleuchtung oder durch Wandlungsverluste von Umrichtern im Leerlauf.

**7 % des Fahrstromverbrauchs für abgestellte Bahnen**

Wie beim Standby-Betrieb im privaten Bereich helfen hier oft schon organisatorische Maßnahmen. Zusätzlich lässt sich durch einfache technische Änderungen die an älteren Fahrzeugen oft noch vorhandene Kopplung notwendiger Standby-Funktionen mit energieintensiven Verbrauchern wie Licht oder Heizung trennen. Im Winter können Fahrzeuge in Kalthallen statt auf Freigleisen abgestellt werden: Die Wärmemenge innerhalb der Fahrzeuge nach Betriebsende reicht oft ohne zusätzliche Beheizung aus.

Die Erwärmung des Fahrgastraumes kurz vor Abfahrt ebenso wie die Abschaltung am Abend kann über eine Betriebshofsteuerung erfolgen und ist damit nicht den Unwägbarkeiten eines vielerorts noch praktizierten Ein- und Ausschaltens „per Hand“ unterworfen.

Schließlich können die Fahrzeuge in der Betriebspause in der Regel ganz vom Fahrdraht bzw. der Stromschiene getrennt werden. Ein verbleibender minimaler Energiebedarf wird aus der Batterie gedeckt. So werden zusätzlich die Leerlaufverluste an den Umrichtern vermieden.

Insgesamt lässt sich im Bereich der Fahrzeugabstellung meist mit geringem Aufwand der Stromverbrauch erheblich senken. Um die gleichen Einsparpotentiale an anderer Stelle zu realisieren, müsste deutlich mehr investiert werden.

**Einsatz erneuerbarer Energien**

**Ausbau des Anteils erneuerbarer Energien**

<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

Wollen die Verkehrsunternehmen über den ohnehin wachsenden Anteil erneuerbarer Energien im Strommix hinaus verstärkt Strom aus regenerativen Quellen einsetzen und so aktiv zum Klimaschutz beitragen, müssen sie mit deutlich höheren Ausgaben rechnen. Kurzfristig können sie zertifizierten Ökostrom nutzen. Das schlägt derzeit mit zusätzlich 1 bis 5 €-Cent pro Kilowattstunde Strom zu Buche – Mehrkosten, die dauerhaft anfallen und sich im Gegensatz zu Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen nicht amortisieren. Beziehen Verkehrsunternehmen Ökostrom aus bestehenden Kraftwerken, so führt dies zu einer Veränderung des eigenen Strommixes, nicht aber des Strommixes insgesamt.

**ÖPNV profitiert vom zunehmenden Anteil erneuerbarer Energien im Strommix und in Kraftstoffen**

Gemeinsam mit dem Stromproduzenten können die Verkehrsunternehmen auf eine langfristige Umstellung der Stromzusammensetzung auf erneuerbare Energieträger hinwirken und den Anteil der erneuerbaren Energien im Versorgermix erhöhen. Dadurch lassen sich, je nach Technologie, deutliche Minderungen erreichen, mit Offshore-Windkraft z. B. von über 95%. Kurzfristig führt diese Option zu deutlichen Mehrkosten. Bei zukünftig sinkenden Gestehungskosten für Strom könnte sie langfristig jedoch kosteneffizient sein.

**Eine Umstellungsstrategie gemeinsam mit einem Versorger kann sich langfristig rechnen**

## 7 Der Effekt - Energieszenarien

Wie gezeigt können die Verkehrsunternehmen die Energieeffizienz durch Maßnahmen erhöhen, die die Fahrzeuge, die Infrastruktur oder das Fahren und die Instandhaltung betreffen. Zusätzlich lässt sich durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien der Klimavorteil steigern.

Zwar kommen nicht alle genannten Maßnahmen gleichzeitig oder für jeden Betrieb gleichermaßen in Frage, und erst die Berücksichtigung der jeweiligen Spezifika eines Unternehmens führt zu einem optimal zusammengestellten Maßnahmenkatalog. Trotzdem lassen sich Szenarien entwickeln, die von einem durchschnittlichen Maßnahmenmix ausgehen.

Welcher Effekt lässt sich damit erzielen?

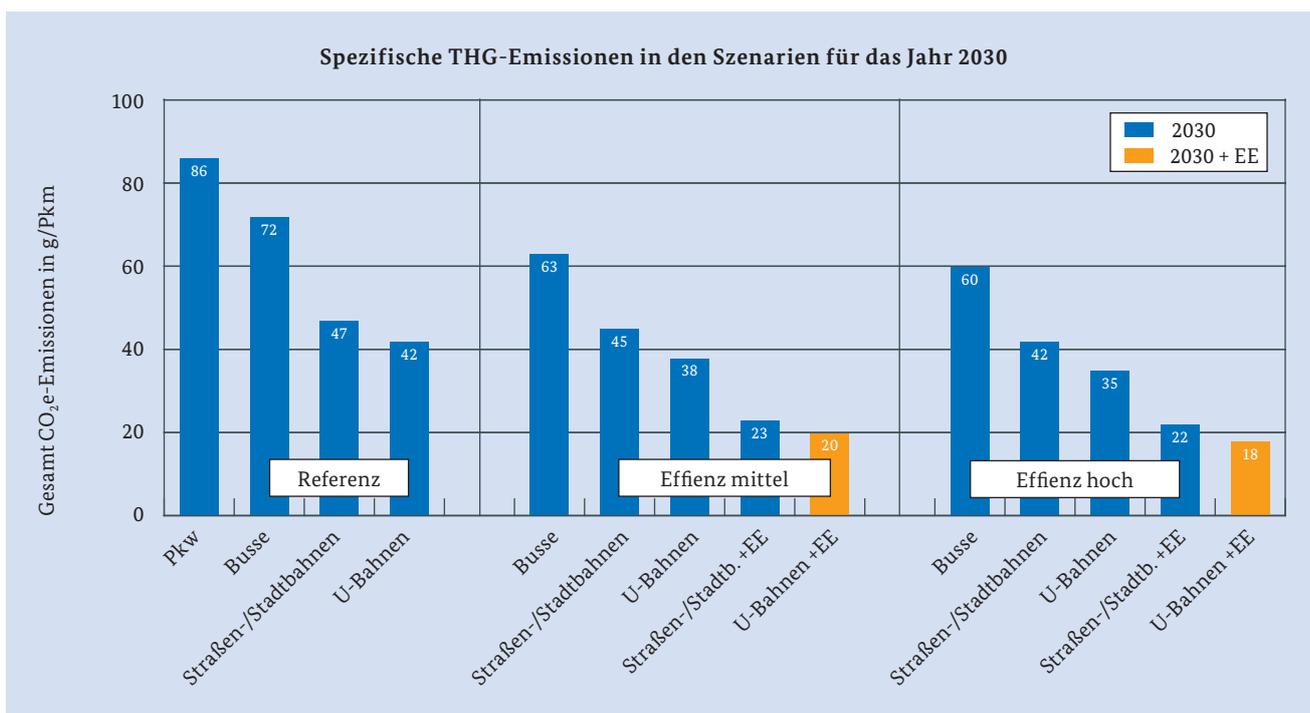
Um diese Frage zu beantworten, wurden im Forschungsprojekt zwei unterschiedliche Szenarien untersucht und mit dem schon erwähnten Referenzszenario verglichen:

Zum einen das Szenario „Effizienz mittel“: Ökonomisch sinnvoll umfasst es alle Maßnahmen, deren Investitionskosten sich innerhalb der Lebens- bzw. Nutzungsdauer sicher amortisieren.

Zum anderen das Szenario „Effizienz hoch“: Ökonomisch grenzwertig bzw. förderbedürftig nimmt es zusätzlich Maßnahmen auf, die sich mit einem gewissen Risiko rechnen. Durch gezielte Förderprogramme können effiziente Technologien wie z. B. Hybridbusse schneller im Markt eingeführt und weiterentwickelt werden.

### Die nähere Zukunft

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis, zunächst hochgerechnet bis zum Jahr 2030:



Zu erkennen ist: Auch wenn die Effizienzgewinne des Pkw aufgrund staatlicher Vorgaben groß sein werden – die Verkehrsmittel des ÖPNV kann er in Sachen Klimaschutz nicht einholen. Die spezifischen Treibhausgas-Emissionen können durch Umsetzung klimabewusster Maßnahmen beim ÖPNV weiter gesenkt werden. Beispielsweise können durch den verstärkten Einsatz von effizienten Hybridbussen über eine Million Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente eingespart werden. Der Klimavorteil gegenüber dem Pkw wird somit nicht nur aufrechterhalten, sondern weiter abgesichert.

**Bis 2030 kann der Vorsprung vor dem Pkw mit entsprechenden Maßnahmen gehalten werden**

### **Die Perspektive**

Gibt es bis 2030 noch konkrete Prognosen, so birgt der Zeitraum darüber hinaus bis zur Perspektive für das Jahr 2050 große Unsicherheiten hinsichtlich der weiteren Entwicklung und der damit verbundenen weiteren Energieeffizienz- und Klimaschutzpotentiale im ÖPNV.

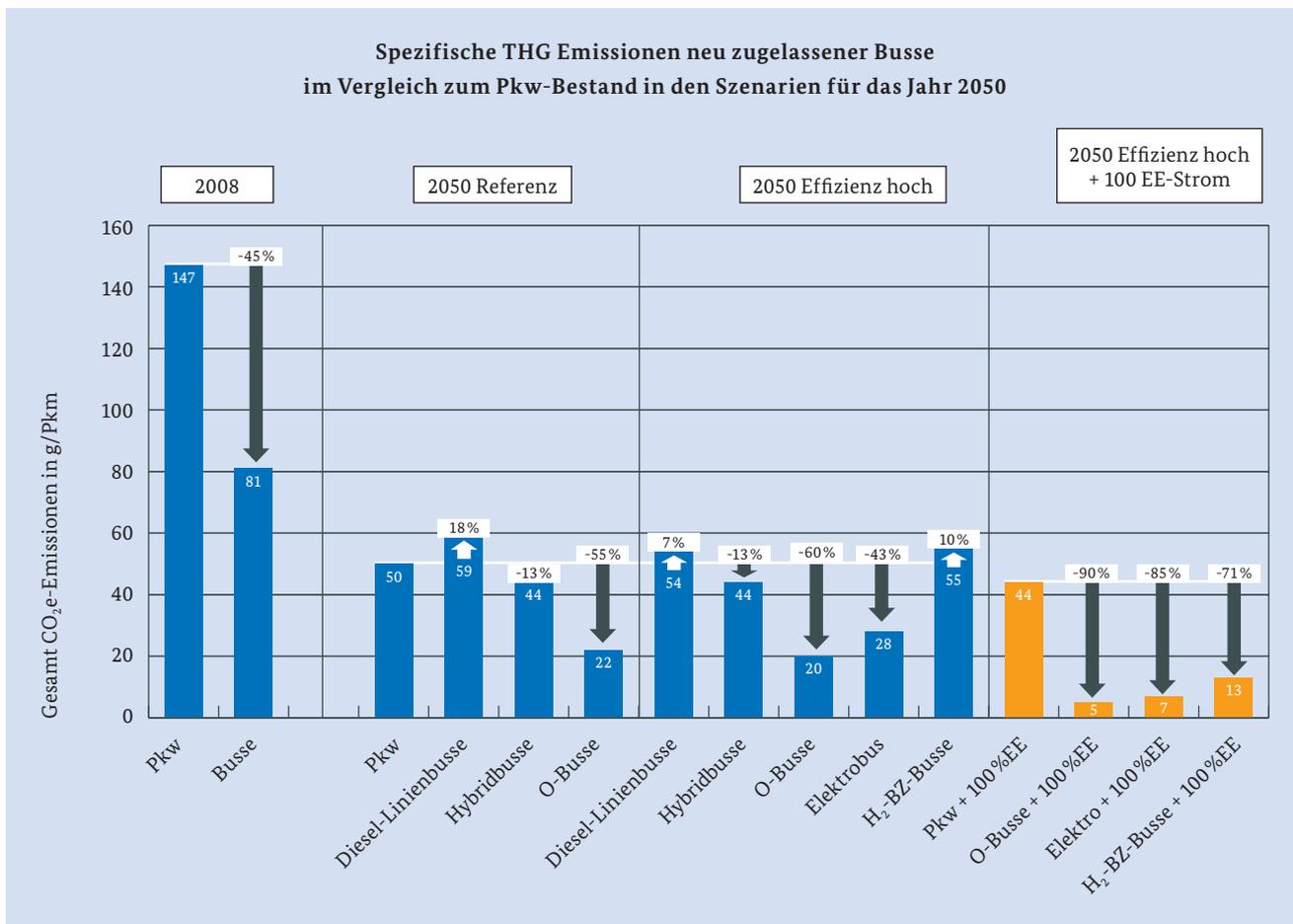
Was wird also aus dem Klimavorteil des ÖPNV bis 2050?

Für diesen Blick in die Zukunft wurden zwei Szenarien entwickelt. Ein Referenzszenario geht von weiteren leichten Effizienzsteigerungen aus, der ÖPNV unternimmt aber keine aktiven Klimaschutzanstrengungen. Das geschieht erst im zweiten Szenario („Effizienz hoch“), das auch weitergehende Maßnahmen bei den Bahnen umsetzt (wie z. B. optimierte Rückspeisung) und zur Orientierung Energieverbräuche und Emissionen von Linienbussen mit alternativen Antrieben ermittelt. Auch wurde hier betrachtet, wie sich der Bezug von Ökostrom auswirkt.

### **Linienbusse**

Alternativ angetriebene Linienbusse, batterieelektrisch oder mit Brennstoffzellen, werden den Markt dominieren. Die verfügbaren Biokraftstoffe werden voraussichtlich vorrangig in anderen Bereichen, etwa im Güter- und Luftverkehr, eingesetzt und stehen dem ÖPNV somit nur eingeschränkt zur Verfügung. Deshalb wurde für die Betrachtung bis 2050 eine Beimischungsquote von lediglich 20% unterstellt. Die Treibhausgas-Emissionen des elektrisch betriebenen ÖPNV werden auch ohne aktive Klimaschutzmaßnahmen durch die Verkehrsunternehmen weiter sinken, da sich der Treibhausgaseffekt des Stroms verringern wird. Durch eine zunehmende Elektrifizierung würde auch der Busbereich an dieser Entwicklung teilhaben.

Doch auch die Emissionen der Pkw werden sich durch einen wachsenden Anteil von Plug-in-Hybrid-, Wasserstoff- und batterieelektrischen Fahrzeugen im Bestand deutlich verringern.



**Im Busbereich kann der Klimavorteil bis 2050 verloren gehen**

Die Ergebnisse für neu zugelassene Linienbusse: Ihren Klimavorteil gegenüber den Pkw dürften die Dieselbusse bis 2050 verlieren, und auch bei den Hybridbussen beträgt er nur noch 13%. Deutlich besser, mit einer Minderung von 55%, schneiden die Oberleitungsbusse ab.

Im Effizienzzenario werden Linienbusse durch Technologietransfer aus dem Pkw-Bereich und aktive Klimaschutzmaßnahmen wie z. B. eine koordinierte Förderung zur Marktreife zunehmend elektrifiziert – und profitieren damit von den höheren Anteilen erneuerbarer Energien im Strommix. Die Elektrobusse behalten hier ihren Klimavorteil mit -43% weitgehend. Für die Wasserstofffahrzeuge hängen die Emissionen stark von den Bereitstellungspfaden (hier angenommen: Elektrolyse) und zukünftig erzielbaren Wirkungsgraden der Brennstoffzellen ab.

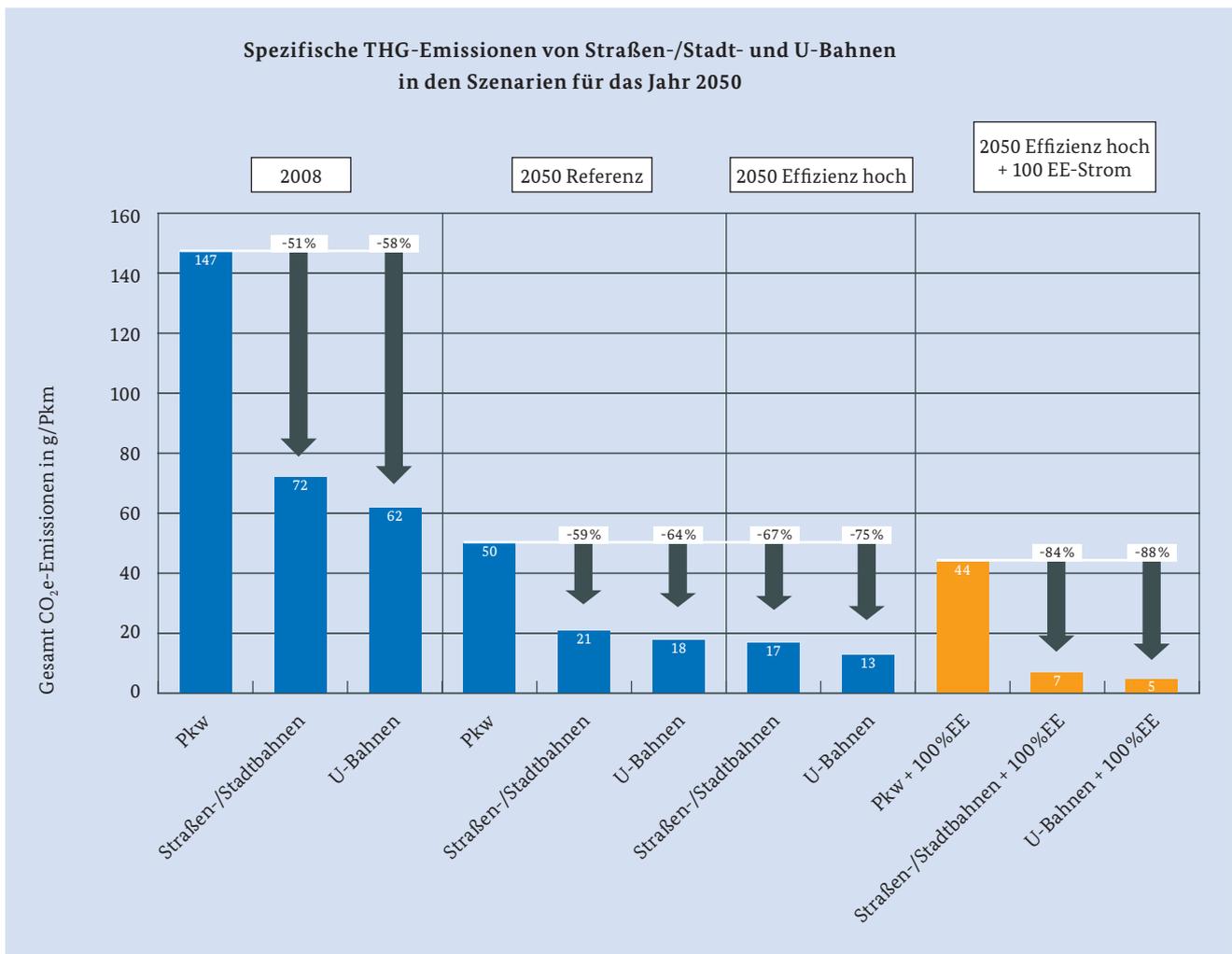
Werden Oberleitungsbusse mit 100% erneuerbaren Energien betrieben, lassen sich mit 90% die höchsten Minderungen gegenüber den Pkw erzielen.

Ohne weitere Klimaschutzanstrengungen liegen die gesamten Treibhausgas-Emissionen der Linienbusse im Jahr 2050 um 30% unter denen aus 2008. Geht man für das „Effizienzzenario hoch“ von 50% Elektrobusen aus, lassen sich gegenüber 2008 rund zwei Drittel der gesamten Emissionen im Linienbusbereich einsparen.

**Straßen-, Stadt- und U-Bahnen**

Bei den Straßen-, Stadt- und U-Bahnen kann bis 2050 der Klimavorteil weiter ausgebaut werden – sogar ohne weitere Klimaschutzanstrengungen, allein durch leichte Effizienzverbesserungen und aufgrund des sich verbessernden Strommixes. Dass die Verkehrsunternehmen zum aktiven Klimaschutz auch durch eine signifikante Verbrauchsminderung beitragen können, zeigt das Effizienzscenario. Bezogen auf die gesamten Treibhausgas-Emissionen des klassischen elektrischen ÖPNV sinken die Emissionen im Referenzscenario gegenüber 2008 um 64%. Würden die Verkehrsunternehmen mittelfristig auf die Stromversorgung der angeschlossenen Stadtwerke einwirken und ausschließlich erneuerbar erzeugten Strom beziehen, lägen die Treibhausgas-Emissionen sogar bei bis zu 88% unter denen der Pkw.

**Straßen-, Stadt- und U-Bahnen können Klimavorteil bis 2050 ausbauen**



**Fazit**

Auch im Jahr 2050 können Straßen-, Stadt- und U-Bahnen, die Klassiker der Elektromobilität, ihren Klimavorteil halten und durch geeignete Maßnahmen sogar ausbauen. Die Linien-Dieselbusse hingegen rutschen auf einen hinteren Platz, es sei denn, sie werden aktiv weiterentwickelt. Vor allem die zunehmende Elektrifizierung, in ihren unterschiedlichen technologischen Optionen angepasst an die örtlichen Gegebenheiten, kann hier ab 2030 eine wichtige Rolle spielen. In städtischen Regionen weisen Oberleitungsbusse die beste Klimabilanz auf. Sie könnten durch neue Entwicklungen wie das teilweise oberleitungsfreie Fahren eine Renaissance erleben.

## 8 Konkrete Schritte heute

### Welche Hindernisse blockieren?

Viele Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz sind bekannt und oft auch schon erprobt worden. Trotzdem werden sie in der Praxis nicht eingesetzt. Woran liegt das? Welche Hindernisse stehen ihrer Umsetzung im Weg? In Interviews und Workshops mit Verkehrsunternehmen, Herstellern und Verbänden konnten einige wesentliche Hemmnisse identifiziert werden:

#### Hemmnisse im ÖPNV

##### Fehlende Standards:

Ohne verpflichtende Verbrauchsmessung auf Basis eines Standards lässt sich die Effizienz von Schienenfahrzeugen/Linienbussen bei der Beschaffung nicht vergleichen

##### Beitrag der Kunden:

mangelndes Verständnis für Notwendigkeit höherer Preise für noch besseren Klimaschutz; wachsende Komfort-Ansprüche führen zu steigenden Emissionen

##### Mehrkosten durch erneuerbare Energien:

ÖPNV-Unternehmen unter hohem Kostendruck können verstärkten Einsatz teurer erneuerbarer Energien ohne steuerliche Vergünstigungen nicht finanzieren

##### Beschränkter finanzieller Handlungsspielraum:

Trotz Rentabilität einer Maßnahme fehlt das Budget für Anfangsinvestitionen



##### Zielkonflikte:

konkurrierende Emissionsminderungsziele (z.B. Abgasstandards/ lokal vs. Energieeffizienz/global) und Antriebskonzepte (Gas-/Erdgas-/ Diesel-Hybrid-, Brennstoffzellen-, vollelektrischer Bus) verhindern Ausschöpfung von Effizienzpotentialen und Konzentration auf Optimierung eines Konzepts

##### Amortisation:

Aufgrund hoher Investitionskosten innovativer Fahrzeugkonzepte oder zu kurz gewählter Laufzeiten von Verkehrsträgern ist eine Amortisation innerhalb der Nutzungsdauer nicht erreichbar

##### Informationsdefizite:

Fehlende Informationen zu ihren Hauptenergieverbrauchern und Energiesparpotentialen erschweren Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen bei ÖPNV-Unternehmen

##### Marktreife:

Den Sprung in die Praxis schaffen technische Innovationen zur Steigerung der Energieeffizienz des ÖPNV (z.B. rückspeisefähige Unterwerke als Teil eines "Smart Grid") nur mit gezielter Förderung durch Pilot- und Demonstrationsvorhaben

Es ist nicht immer aufwändig, die aufgeführten Hemmnisse zu überwinden. So ließen sich beispielsweise Informationsdefizite zur ökonomischen und ökologischen Effizienz der Energiesparmaßnahmen kurzfristig beseitigen. Eine grundsätzliche Voraussetzung ist jedoch, dass die einzelnen Akteure – Politik, Aufgabenträger sowie die Unternehmen selbst – gemeinsam versuchen, Lösungen zu finden. Auch Klimaschutzpolitik ist Teamarbeit.

Akteur	Konkrete Handlungsmöglichkeit	Kurzbeschreibung	Umsetzungszeitraum
Politik	• Finanzielle Förderung von Effizienztechnologien	Forschungs- und Demonstrationsprojekte fördern und damit die Einführung von Energieeffizienztechniken beschleunigen  In Demonstrationsvorhaben erfolgreiche Effizienztechnologien mit Anreizprogrammen unterstützen und zur Marktreife bringen	kurz- bis mittelfristig  kurz- bis mittelfristig
	• Standards setzen	Entwicklung von vergleichbaren Normverbrauchswerten voranbringen  Flottengrenzwerte für den Busbereich etablieren	kurz- bis mittelfristig  mittelfristig
	• Richtungsentscheidungen treffen	Förderung durch politische Richtungsvorgaben hinsichtlich der Bereiche Energieeffizienz und Biokraftstoffe kanalisieren	kurzfristig
Aufgabenträger	• Energieeffizienz stärker in Ausschreibungen verankern	Nachhaltigkeitsaspekte bei Ausschreibungen stärker gewichten  Ausschreibungen hinsichtlich Vermeidung von Leerfahrten optimieren	kurzfristig  kurzfristig
	• Anreizsysteme zur Energieeffizienz etablieren	Energieeffizienz durch Bonus- bzw. Maluszahlungen fördern	kurzfristig
	• Rahmenbedingungen verbessern	Wettbewerbsfähigkeit des ÖPNV durch verlässliche und längerfristige Vergabe sicherstellen	mittel- bis langfristig
VDV	• Austausch zu Klimaschutz fördern	Internetbasierten Leitfaden mit Best-Practice-Beispielen aufbauen  Workshops und Seminare für Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen durchführen	kurzfristig  kurzfristig
	• Klimaschutzziel für den VDV	Für die Unternehmen des ÖPNV eine Klimabilanz publizieren, einheitliche Bewertungskriterien einführen und verbindliche Klimaschutzziele entwickeln	langfristig
ÖPNV-Unternehmen	• Maßnahmen umsetzen	Maßnahmenkonzept (Kapitel 5 und 6) entwickeln und umsetzen	kurz- bis mittelfristig
	• Lebenszykluskostenanalysen von Effizienzmaßnahmen	Lebenszykluskosten über die volle Nutzungsdauer bei allen Investitionsentscheidungen betrachten	kurzfristig
	• Sensibilisierung der Fahrgäste	Die spezifischen THG-Emissionen pro Fahrt auf dem Ticket angeben und Hintergrundinformationen zur Berechnung bereitstellen	kurzfristig
	• Grüne Produkte entwickeln	Umweltbewussten ÖPNV-Kunden ein hochwertiges Klimaschutzticket anbieten	kurz- bis mittelfristig

## 9 Zusammenfassung

### Unsichere Rahmenbedingungen hemmen Entscheidungen

Klimaschutz im ÖPNV ist eine Herausforderung, der sich die Verkehrsunternehmen stellen, die sie aber nicht allein bewältigen können. Wachsender wirtschaftlicher Druck, höhere Kundenansprüche, die den Energieverbrauch eher vergrößern (z. B. Klimatisierung), die Unsicherheit, welche Mittel zur Förderung des öffentlichen Verkehrs zukünftig zur Verfügung stehen, und dazu ein steigender Finanzbedarf zur Erneuerung der bestehenden Infrastruktur – all das schränkt den Handlungsspielraum der ÖPNV-Unternehmen für Investitionen in energieeffiziente Technologien und erneuerbare Energien ein.

### Für die Unternehmen kann sich aktiver Klimaschutz rechnen

Zwar bleibt den ÖPNV-Unternehmen auch ohne eigene Anstrengungen ihr Klimavorteil gegenüber dem Pkw erhalten. Die steigenden Energiepreise werden sie jedoch stärker belasten, Passivität wird sie viel Geld kosten. Setzen sie hingegen auf eine aktive Klimaschutzpolitik und führen konsequent energieeffiziente Fahrzeuge und energiesparende Technologien ein, können sie die energiebedingten Mehrkosten kompensieren.

### Alle Akteure ziehen an einem Strang

Zahlreiche konkrete Hemmnisse blockieren eine aktivere Rolle der ÖPNV-Unternehmen: Mangelnde Informationen, ein beschränkter finanzieller Handlungsspielraum, zu lange Amortisationszeiten, aufwändige Technologieentwicklungen, konkurrierende Ziele, fehlende Standards, und Kunden, die höhere Preise für mehr Klimaschutz zunächst ablehnen. Um hier etwas zu bewirken, müssen alle Akteure – Politik, Aufgabenträger, Verbände, Verkehrsunternehmen und Hersteller – zusammenarbeiten.

Die Politik muss neuen Technologien über Pilot- und Demonstrationsvorhaben hinaus den Weg in den Markt ebnen, durch klare Förderkonzepte, Anschlussprogramme und zusätzliche finanzielle Unterstützung, die die Mehrkosten der Fahrzeuge reduzieren. Helfen kann die Politik aber auch durch klare Zielvorgaben und Standards (z. B. für die Ermittlung von Normverbräuchen von Linienbussen). Aufgabenträger müssen Energieeffizienz und erneuerbare Energien stärker in ihre Ausschreibungen aufnehmen und dort ökologisch kontraproduktive Kriterien vermeiden. Der VDV muss mithelfen, Informationsdefizite in Sachen Klimaschutz abzubauen.

Energieeffizienz und erneuerbare Energien ermöglichen die Energiewende. Dazu trägt der ÖPNV mit Linienbussen, Straßen-, Stadt- und U-Bahnen schon heute signifikant bei. Diesen Beitrag kann er in der Zukunft noch ausbauen. Die Mittel dazu sind keine fernen Utopien, sondern konkrete Maßnahmen, die alle Beteiligten entschlossen ergreifen müssen.

# 10 Praxisbeispiele

## Konkrete Strategie zur Umstellung auf elektrisches Fahren

Bremer Straßenbahn AG



Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller
---------------------	---------	----------------	-----	------------

**Kurzbeschreibung:**

Im Jahr 2026 sollen alle 50 Solo- und 170 Gelenk-Busse rein elektrisch fahren. Dieses Ziel ist für die BSAG ein wesentlicher Meilenstein auf dem Weg zum integrierten Verkehrsdienstleister für umweltfreundliche Elektromobilität in Bremen. Um es zu erreichen werden bereits ab 2016 nur noch elektrisch angetriebene Fahrzeuge beschafft, die keine fossilen Brennstoffe mehr tanken.



**Erfahrungen:**

Bereits seit 1997 werden Hybridfahrzeuge erprobt, seit 2009 gibt es rein elektrisch fahrende Pkw als Betriebsfahrzeuge. Die Werkstätten werden seit langem gemeinsam für die Instandhaltung von Bussen und Straßenbahnen genutzt. Im Innenstadtbereich fahren Busse in großem Umfang auf der Infrastruktur der Straßenbahnen (Möglichkeit zur Energieübertragung).

Die Beschaffungsstrategie ist umfassend und auf Minderung des Technologierisikos angelegt (z. B. Auswahl passender Linien für heute verfügbare Batteriekapazitäten, Batterieleasing). Auch unorthodoxe Lösungen z. B. der Einsatz von Oberleitungsbussen, wo andere Technologien noch nicht marktreif sind (Gelenkbusse auf langen Linien), werden untersucht.

**Ergebnisse:**

Elektrisch betriebene Busse müssen stärker als dieselbetriebene Fahrzeuge als Teil eines Systems zusammen mit der Infrastruktur gesehen werden (z. B. punktuelle Energieübertragung), ein Umstand der beispielsweise für Straßenbahnen schon immer galt.

Global betrachtet ist Elektromobilität im Stadtbusbereich bereits heute Realität. In Deutschland ist gut beraten, wer seine Beschaffung frühzeitig darauf einstellt.

**Ansprechpartner:**

Yusuf Demirkaya, Unternehmensentwicklung/Strategie/Projektmanagement  
 Flughafendamm 12, 28199 Bremen  
 YusufDemirkaya@bsag.de

## Hallenabstellung von Bussen ohne Anschluss an Versorgungssysteme

moBiel GmbH



<b>Verkehrsunternehmen</b>	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller
----------------------------	---------	----------------	-----	------------

### Kurzbeschreibung:

Eine Busabstellung ohne Wärme-, Luft- oder Ladestromversorgung wird in Bielefeld auf dem Betriebshof Sieker praktiziert. Die dort stationierten 30 Solobusse und 50 Gelenkbusse werden bereits seit 1977 in einer Halle in 18 Strängen abgestellt. Die Halle ist über Ventilatoren belüftet und wird frostfrei gehalten.



### Erfahrungen:

Stadtbusse können oft während der Fahrt ihre Batterien nicht ausreichend nachladen. Dies trifft nicht für moBiel zu, weil jeder Bus 2 bis 3 Lichtmaschinen parallel für die Energieversorgung betreibt. Ein negativer Einfluss auf die Lebensdauer der Motoren – die Busse sind durchschnittlich 12 Jahre im Einsatz – ist nicht zu erkennen.

Die Dichtigkeit des Druckluftsystems im Bus wird durch regelmäßige Wartung gewährleistet; die Fahrzeuge können nach kurzer Inbetriebnahme abfahren.

Bei Betriebsbeginn sind die Busse erst einsetzbar, wenn ausreichender Bremsdruck vorliegt. Die Inbetriebnahmezeit der elektrischen Systeme im Fahrzeug erfolgt gleichzeitig zur Druckluftbefüllung und benötigt ca. 5 bis 10 Min., dies gilt auch nach mehrtägiger Abstellung.

Die Busse sind innerhalb von wenigen Minuten nach Abfahrt warm. Obwohl einige Fahrzeuge direkt am Betriebshof in den Fahrgastbetrieb gehen, sind Beschwerden nicht bekannt.

### Ergebnisse:

Die langjährige Erfahrung zeigt: Die Abstellung von Stadtbussen ohne Anschluss an Versorgungssysteme ist möglich und wirkt sich weder auf die Lebensdauer, noch auf die Verfügbarkeit oder auf den Fahrgastkomfort signifikant negativ aus. Bei nur geringem Mehraufwand bei der Instandhaltung entfallen Investitionskosten, und hohe Verluste im Leitungsnetz (insbesondere durch Leckagen bei Druckluft und Wärme) werden vermieden.

### Ansprechpartner:

Dirk Oberhokamp, Leiter Arbeitsvorbereitung Fahrzeuge  
 Otto-Brenner-Straße 242, 33604 Bielefeld  
 dirk.oberhokamp@mobiell.de

## CO<sub>2</sub> als Kältemittel in Klimaanlage von Stadtbussen

Berliner Verkehrsbetriebe



Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller
---------------------	---------	----------------	-----	------------

**Kurzbeschreibung:**

Die Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) betreiben seit Mai 2010 sieben Busse mit umweltfreundlichen CO<sub>2</sub>-Klimaanlagen. CO<sub>2</sub> als Kältemittel hat zwischenzeitlich seine Praxistauglichkeit gezeigt und ist um ein Vielfaches umweltverträglicher als das bislang verwendete Kältemittel R134a.



**Erfahrungen:**

Das im Vergleich zum natürlichen CO<sub>2</sub> um den Faktor 1430 klimaschädlichere chemische Kältemittel R134a (Tetrafluorethan) kann ersetzt werden. Die Kühlleistung ist gleichwertig bei höherem Wirkungsgrad, was außerdem Kraftstoffeinsparungen im Fahrbetrieb ermöglicht. Die Sicherung der Betriebsstabilität für die mit vierfach höherem Druck (120 bar) betriebenen CO<sub>2</sub>-Anlagen konnte durch technische Anpassungen erreicht werden. Der Test in Zusammenarbeit mit dem Hersteller wird 2013 fortgesetzt, um die bisherigen positiven Erkenntnisse abzusichern und die zukünftig generelle Ausstattung der Busflotte mit dieser Technik, auch unter Aufwand-Nutzen-Aspekten, zu ermöglichen.

**Ergebnisse:**

Die Umrüstung auf CO<sub>2</sub>-Klimaanlagen verdeutlicht in besonderer Weise, wie die Attraktivität des ÖPNV-Angebotes gestärkt und seine Umweltwirkung gleichermaßen optimiert werden kann.

Der Berliner Test von CO<sub>2</sub>-Klimaanlagen im Busbetrieb bestätigt deren Praxistauglichkeit und trägt zur Serientauglichkeit dieser umweltfreundlichen Technik bei, die der BVG perspektivisch die jährliche Vermeidung von bis zu 7.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ermöglichen kann.

**Ansprechpartner:**

Minh Thuy Truong, Sachgebietsleiter Fahrzeugtechnik,  
 Unternehmensbereich Omnibus VBO-F4  
 Holzmarktstraße 15-17, 10179 Berlin  
 minh.truong@bvg.de

## Modellprojekt optimierte Hybridbusse

Hamburger Hochbahn AG



Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller
---------------------	---------	----------------	-----	------------

### Kurzbeschreibung:

Die bekanntesten Innovationsträger der Hamburger Hochbahn AG auf dem Bussektor sind ihre Brennstoffzellenbusse. Mit mehr als 900 Fahrzeugen ist das Unternehmen einer der größten Stadtbus-Betreiber in Deutschland. Doch auf dem Weg zu ihrem Ziel, ab 2020 nur noch emissionsfreie Busse anzuschaffen, erprobt das Unternehmen, als Entwicklungspartner der Industrie, seit März 2011 unter anderem auch eine Flotte von inzwischen 27 zweiachsigen, optimierten Parallel-Hybridbussen.



### Erfahrungen:

Begonnen wurde mit zwei angemieteten Bussen in 2011, es folgten 10 Fahrzeuge ein Jahr später. Im August 2013 wurden, nach guten Erfahrungen in der Erprobung, weitere 15 Fahrzeuge gekauft.

Die Busse werden eingesetzt bei den Hochbahn-Tochterunternehmen Jasper und Süderelbe Bus GmbH (SBG), sowohl im Vorortverkehr als auch im Stadtbuseinsatz.

Ausgestattet mit einem Parallel-Hybridantrieb fahren die Busse rein elektrisch an, wenn die Batterie voll geladen ist. Im Schwerlastbetrieb unterstützt der elektrische Antrieb den Dieselmotor, dieser kann dadurch kleiner dimensioniert werden. Nebenaggregate wie Lenkhilfspumpe, Kompressor und Klimaanlage arbeiten elektrisch. Ein ausgefeiltes Antriebs-/Lade-Management sorgt für optimale Betriebsbedingungen des Antriebssystems und der Batterie.

Hervorzuheben ist die außerordentlich hohe Verfügbarkeit der Flotte.

### Ergebnisse:

Bezogen auf die gesamte Flotte von 27 Fahrzeugen unterschiedlichen Alters und den Mix unterschiedlicher Betriebsbedingungen wurden im Erprobungszeitraum von bis zu 2,5 Jahren Verbrauchsreduzierungen von durchschnittlich mehr als 20% festgestellt, verglichen mit dem Verbrauch von Dieselmotoren der neuesten Generation.

### Ansprechpartner:

Jens-Michael May, Geschäftsführer Jasper GmbH  
 Mühlendamm 86, 22087 Hamburg  
 may@jasper.de

## Einsatz von BusZügen

bei der **infra fürth verkehr gmbh**



<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

BusZüge sind eine flexible Fahrzeugkombination, bestehend aus einem zweiachsigen Zugfahrzeug und einem Personenanhänger. Bei einer Fahrzeuglänge von bis zu 23 Metern wird eine maximale Kapazität von ca. 160 Sitz- und Stehplätzen erreicht.



Ökonomisch hat sich der Einsatz von drei BusZügen rentiert: Es konnten ca. 80.000 € p.a. eingespart werden, die Amortisationszeit betrug zwei Jahre. Ökologisch vorteilhaft ist der bedarfsorientierte Einsatz. Hürden für den Einsatz von BusZügen sind das aufwändige Zulassungsverfahren und die notwendige Haltestellenlänge.

**Ansprechpartner:**

Klaus Dierregsweiler-Grünsfelder, Bereichsleiter Verkehrsbetrieb  
 Leyher Straße 69, 90763 Fürth  
 klaus.dierregsweiler@infra-fuerth.de

## Einsatz von Leichtbaubussen

bei den **Stadtwerken Schweinfurt**



<b>Verkehrsunternehmen</b>	<b>Politik</b>	<b>Aufgabenträger</b>	<b>VDV</b>	<b>Hersteller</b>
----------------------------	----------------	-----------------------	------------	-------------------

In Schweinfurt werden 13 VDL Ambassador (Euro V EEV, 12m) mit einem Leergewicht von nur ca. 9 Tonnen (gegenüber ca. 11,5 Tonnen vergleichbarer Stadtbusse) eingesetzt. Ihr Dieselverbrauch liegt im Schweinfurter Stadtbusverkehr mit ca. 31 l/100 km mehr als 17% unter dem des zweitbesten EEV-Stadtbusses bzw. mehr als 25% unter dem der Euro III Stadtbusse.



Es sind keinerlei betriebliche und technische Probleme aufgetreten.

**Ansprechpartner:**

Dipl- Ing. Ulrich Lapp  
 Bodenschwingstraße 1, 97421 Schweinfurt  
 u.lapp@stadtwerke-sw.de

## Chip-Tuning für effizientere Bus-Motoren

bei den Verkehrsbetrieben Hamburg-Holstein AG



Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller
---------------------	---------	----------------	-----	------------

Die Serienmotoren werden durch die Firma Econo-  
mymax GmbH für die tatsächlichen Einsatzbedin-  
gungen der Fahrzeuge optimiert.

Der Dieserverbrauch konnte um bis zu 12% gesenkt  
werden. Die VHH konnte mittlerweile über 500 Fahr-  
zeuge ausrüsten lassen.



Tests des TÜV Nord (IFM) und Feldversuche lieferten keine Indizien für mögliche Probleme  
wie erhöhten Verschleiß oder Düsenverkokung. Zur Absicherung gegen mögliche Schäden  
aus der Umrüstung sind die Fahrzeuge versichert.

### Ansprechpartner:

Torsten Höfges,  
Curslacker Neuer Deich 37, 21029 Hamburg  
torsten.hoefges@vhhbus.de

## Einsatz von Energiespeichersystemen für die U-Bahn

bei der VAG Verkehrs-Aktiengesellschaft



Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller
---------------------	---------	----------------	-----	------------

Energiespeichersysteme nehmen nicht verwertbare  
kinetische Bremsenergie auf, speichern sie und  
geben sie zeitversetzt wieder ab. Der Einsatz von Doppel-  
schichtkondensatoren bei der VAG ermöglicht hohe  
Spitzenleistung mit großer Lade-/Entladedynamik.

Die realistischen Energieeinsparpotentiale liegen un-  
serer Erfahrung nach bei 30-60 kWh/h. Abhängig sind  
diese Werte primär vom aktuellen Fahrplan und der Netztopologie.



### Ansprechpartner:

Robert Lepper, Abteilungsleiter FA-EF,  
Energie- und Fördertechnik  
Geschäftsbereich Fahrweg,  
Fürther Str. 140, 90429 Nürnberg  
robert.lepper@vag.de

## Erhöhung der Fahrdraht-Nennspannung von 600 V auf 750 V

Bochum-Gelsenkirchener Straßenbahnen Aktiengesellschaft



Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller
---------------------	---------	----------------	-----	------------

### Kurzbeschreibung:

Im Netz der BOGESTRA sind täglich bis zu 123 Fahrzeuge der Baujahre 1975/1976 bis 2007 ff. im Einsatz. Im Jahr 2011 wurde die Fahrdraht-Nennspannung von 600 auf 750 V erhöht. Damit wurden die Energieübertragungsverluste im gesamten System vermindert. Gleichzeitig wurde die Rückspeisespannung der Fahrzeuge von 720 V bei 600 V Leerlaufspannung auf 900 V bei 750 V Leerlaufspannung erhöht und so ein deutlich höheres Rückspeisepotential erreicht.



### Erfahrungen:

Die Umstellung auf 750 V Leerlaufspannung zeigte in der Praxis keine negativen Auswirkungen auf das Bahnstrom-Versorgungssystem inklusive der Verbraucher, die aus ihm versorgt werden. Durch die schon vorhandene Vermaschung der Fahrleitung konnte die rückgespeiste Energie optimal im Netz zur Verfügung gestellt werden.

In einem langfristig angelegten Programm wurden alle Unterwerke zur Bahnstrom-Erzeugung seit 1965 für die Umstellung auf 750 V vorgerüstet. Die Behandlung älterer Fahrzeugserien erforderte Sonderlösungen: Ein kleineres Teilnetz wurde zunächst ausgespart, die obere Spannungsgrenze (Bremsspannung) auf +20% limitiert. Einige historische Fahrzeuge mussten umgebaut werden (Bordnetzversorgung).

Die erforderliche Prüfung der elektrischen Komponenten auf Spannungsfestigkeit lässt sich in die laufende Instandhaltung integrieren. Sie kann, insbesondere bei älteren Komponenten, fehlende Zertifikate ersetzen.

### Ergebnisse:

Im Vergleich der ersten Quartale 2010 und 2011 ergab sich ein Einsparpotential von 10% (Einflüsse von Schwankungen infolge Heizbedarf, Flottenstruktur und Angebotsänderungen berücksichtigt). Die Erhöhung der Nennspannung ist auch ohne Vorliegen von Idealbedingungen (Unterwerke und Fahrzeuge komplett vorgerüstet) mit überschaubarem Mehraufwand realisierbar und ermöglicht signifikante Verbrauchsminderungen.

### Ansprechpartner:

Jörg Filter, Geschäftsbereichsleiter Infrastruktur und Fahrzeuge  
 Universitätsstraße 58, 44789 Bochum  
 joerg.filter@bogestra.de

## Komplettabschaltung von Schienenfahrzeugen bei der Abstellung

Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main GmbH



Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller
---------------------	---------	----------------	-----	------------

### Kurzbeschreibung:

Alle 365 in den letzten 20 Jahren beschafften Straßen- und U-Bahnen werden bei der VGF in der Betriebspause generell mit abgesenktem Stromabnehmer komplett ausgeschaltet abgestellt. Für Altfahrzeuge gelten Sonderlösungen. Die Abstellung erfolgt überwiegend im Freien. Lediglich ein Frostschutz (5 °C) ist aktiv. Unter 0 °C greifen in zwei Stufen betriebliche Regelungen.



### Erfahrungen:

Durch die Jahrzehnte lange Praxis ist das Unternehmen vom Handling her auf die Bedingungen einer Komplettabschaltung eingestellt. Klare Vorgaben zur Fahrzeugabstellung und eine Winterdienstanweisung regeln den Handlungsrahmen.

Unter 0°C werden die Fahrzeuge mit/vor Betriebsbeginn eingeschaltet, Fahrgastraum und Fahrerkabine werden vorgeheizt. Die Akzeptanz beim Fahrpersonal ist durch die geübte Praxis gegeben. Die Fahrzeuge erreichen in der Regel ca. 15 Minuten nach Einschaltung die erste Haltestelle mit Fahrgästen. Komfort-Beschwerden traten bisher nur vereinzelt auf. Dem Hauptkritikpunkt „kalte Kunststoffbezüge der Sitzpolster“ wurde durch eine Neuausrichtung auf Stoffsitze die Basis entzogen.

Bei Außentemperaturen unter -5°C werden die Fahrzeuge tagesscharf durchgängig nicht ausgeschaltet, weil das Aufheizen zu lange dauern würde.

### Ergebnisse:

Der Vergleich des Fahrstromverbrauches bei Nachttemperaturen unter -5 °C mit dem Standardverbrauch ergibt: In der kalten Zeit werden ca. 10% des Fahrstromes für abgestellte Fahrzeuge aufgewendet (BMVBS 2013). Damit ist das Einsparpotential bei anderen Abstellkonzepten skizziert.

Die Abstellung komplett ausgeschalteter Fahrzeuge ist technisch möglich und bis 0°C problemlos. Bei Temperaturen bis -5 °C bleibt mit Vorheizdienst die Komfort-Einbuße akzeptabel. Bei tieferen Temperaturen ist eine Abschaltung nicht sinnvoll.

### Ansprechpartner:

Hans-Jürgen Poths, Leiter Straßen- und U-Bahn-Betriebswerkstätten  
Kurt-Schumacher-Straße 8, 60311 Frankfurt am Main  
h.poths@vgf-ffm.de

## Abschalten von Unterwerks-Transformatoren in Schwachlastzeiten

bei der Rheinbahn AG



Verkehrsunternehmen	Politik	Aufgabenträger	VDV	Hersteller
---------------------	---------	----------------	-----	------------

Unterwerke zur Bahnstrom-Erzeugung sind für den Spitzenbedarf ausgelegt und daher oft mit mehr als einem Transformator ausgestattet. Diese werden bei der Rheinbahn in Düsseldorf seit 1987 mittels Fernsteuertechnik bedarfsgerecht zeitweise zu- oder abgeschaltet, um unnötige Verluste im Standby-Betrieb zu vermeiden. Im Fall der Rheinbahn entsprechen die Standby-Verluste insgesamt dem Leistungsbedarf von 350 Einfamilienhäusern (200 kW).



Es ergibt sich ein Einsparpotential bei den Standby-Verlusten von 17%, ohne betriebliche Einschränkungen bei geringem Mehraufwand für Fernsteuerung und Instandhaltung.

### Ansprechpartner:

Rheinbahn AG Unternehmenskommunikation  
 Hansaallee 1, 40549 Düsseldorf  
 Unternehmenskommunikation@rheinbahn.de

# 11 Wo finde ich weiterführende Informationen

## Internetseiten:

[www.ecorails.eu](http://www.ecorails.eu)

Entscheidungshilfen zur Einbindung von Energieeffizienz- und Umweltkriterien in Vergabeprozessen des Schienenpersonennahverkehrs  
Technologiestiftung Berlin 2011.

[www.gemis.de](http://www.gemis.de)

Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS 4.8). PC-Rechenmodell zur Berechnung der Umweltauswirkungen von Energiesystemen; entwickelt vom Öko-Institut und vom Internationalen Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS). Das PC-Programm kann kostenlos heruntergeladen werden.

[www.hamburg-consult.de](http://www.hamburg-consult.de)

Homepage Hamburg-Consult GmbH

[www.hbefa.net](http://www.hbefa.net)

Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1, Februar 2010.  
INFRAS Bern u. a. im Auftrag der Umweltbundesämter von Deutschland, der Schweiz und Österreich sowie weiterer Länder.

[www.oeko.de](http://www.oeko.de)

Homepage Öko-Institut e.V.

[www.renewability.de](http://www.renewability.de)

Projektseite des Forschungsvorhabens Renewability- Stoffstromanalyse – Nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030.

[www.tu-berlin.de](http://www.tu-berlin.de)

Homepage der Technischen Universität Berlin

[www.vdv.de](http://www.vdv.de)

Homepage Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V.

## Literatur:

Nachhaltiger Nahverkehr – Beiträge des ÖPNV zum Umwelt- und Klimaschutz,  
Band 1+2 Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), 2010.

Strategische Optimierung von Linienbusflotten  
Ralph Pütz, Alba Fachverlag, 2010.

Positionspapier Klimakompensation: Harthan, R.; Brohmann, B.; Fritsche, U.R.;  
Grießhammer, R.; Seebach, D.; Positionspapier des Öko-Institutes; 2010.

Kostenloser Download unter:

<http://www.oeko.de/oekodoc/1011/2010-071-de.pdf>

Umweltnutzen von Ökostrom - Vorschlag zur Berücksichtigung in Klimaschutzkonzepten  
Diskussionspapier von ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Öko-  
Institut e.V.; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH und Ö-Quadrat, 2008.

Kostenloser Download unter:

<http://www.oeko.de/oekodoc/1012/2008-072-de.pdf>

Vergleichende betriebliche Messung zur Bestimmung des Energieverbrauchs von  
Klimaanlagen mit Luft und R134a als Kältemittel

Dipl. Phys. M. Meister, ZEVrail, 10/2012.

Fahrdynamik des Schienenverkehrs

Dietrich Wende, Vieweg+Teubner, 2003.

## 12 Impressum

### Herausgeber:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur  
Referat UI 41 – Energie und Klimaschutz, Bauen und Verkehr  
Invalidenstraße 44, 10115 Berlin, Deutschland

### Auftragnehmer:

Hamburg-Consult  
Gesellschaft für Verkehrsberatung und  
Verkehrsmanagement mbH  
Spohrstraße 6, 22083 Hamburg, Deutschland

Öko-Institut e.V. – Büro Berlin  
Bereich Infrastruktur und Unternehmen  
Schicklerstraße 5-7, 10179 Berlin, Deutschland

### in Kooperation mit:

Technische Universität Berlin  
Fakultät V – Institut für Land- und Seeverkehr  
Fachgebiet Schienenfahrzeuge, Sekr. SG 14  
Salzufer 17-19, 10587 Berlin, Deutschland

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. (VDV)  
Kamekestrasse 37 – 39, 50672 Köln

### Autoren:

Dr. Jürgen Kappus (HC)  
Andrea Klußmann (HC)  
Moritz Mottschall (Öko-Institut)  
Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht (TU)  
Patrick Eschweiler (TU)

### Redaktionelle Bearbeitung:

Christine Persitzky  
Freie Journalistin  
Adlermatte 22, CH-3127 Mühlethurnen, Schweiz

### Grafische Bearbeitung:

Schroeter und Berger  
Sebastian Helm & Maximilian Sauerbier GbR,  
Richardstr. 31, 12043 Berlin, Deutschland

Januar 2014

Das dieser Broschüre zugrunde liegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung. Sie wird kostenfrei abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.

