



ACTUATE

Fortbildung für sicheres,
wirtschaftliches Fahren
elektrisch betriebener
Fahrzeuge

OBUS



Co-funded by the Intelligent Energy Europe
Programme of the European Union

actuate



Impressum

Konzeption und Redaktion:

DI Christian Osterer, Ing. Markus Perberschlager, Richard Moltinger

Fotos:

DI Christian Osterer; Archiv: Salzburg AG

Gestaltung:

Werbeagentur INTOUCH, supported by DECASA Kreativstudio

Stand:

Dezember 2012

Druckfehler vorbehalten.

Kontakt:

Rupprecht Consult - Forschung & Beratung GmbH

Dr. Wolfgang Backhaus

Clever Straße 13-15

50668 Köln / Germany

Tel.: +49 / 221 / 606055-19

Mail: w.backhaus@rupprecht-consult.eu

Web: www.rupprecht-consult.eu

Salzburg AG

für Energie, Verkehr und Telekommunikation

SALZBURGER Lokalbahnen

DI Christian Osterer

Plainstraße 70

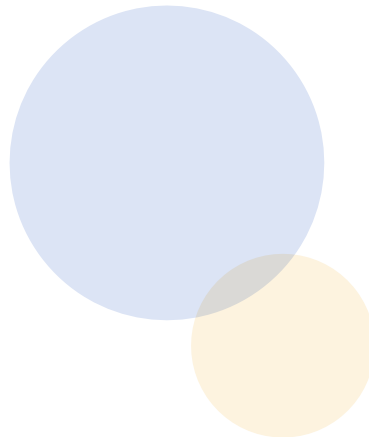
5020 Salzburg / Austria

Tel.: +43 / 662 / 4480-1500

Mail: salzbuerger_lokalbahnen@salzburg-ag.at

Web: www.slb.at

Die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Publikation liegt bei den AutorInnen. Sie gibt nicht unbedingt die Meinung der Europäischen Union wieder. Weder die EASME noch die Europäische Kommission übernehmen Verantwortung für jegliche Verwendung der darin enthaltenen Informationen.



ACTUATE

- ein Projekt zur Optimierung von Fahrverhalten zur Reduzierung des Energieverbrauchs

Im Rahmen des europäisch geförderten Projektes ACTUATE wurden Trainingsprogramme und allgemeine Bildungsmaßnahmen für das wirtschaftliche Fahren elektrisch betriebener Fahrzeugen im Ö-PNV entwickelt, getestet und erfolgreich eingeführt.

Durch die Einführung von Fortbildungen für wirtschaftliches Fahren kann das Energieeinsparpotenzial von elektrisch betriebenen Fahrzeugen wie Straßenbahnen, Hybridbussen oder Oberleitungsbussen weiter optimiert werden und somit die Wirtschaftlichkeit und die weitere Verbreitung dieser Fahrzeugtypen gefördert werden.

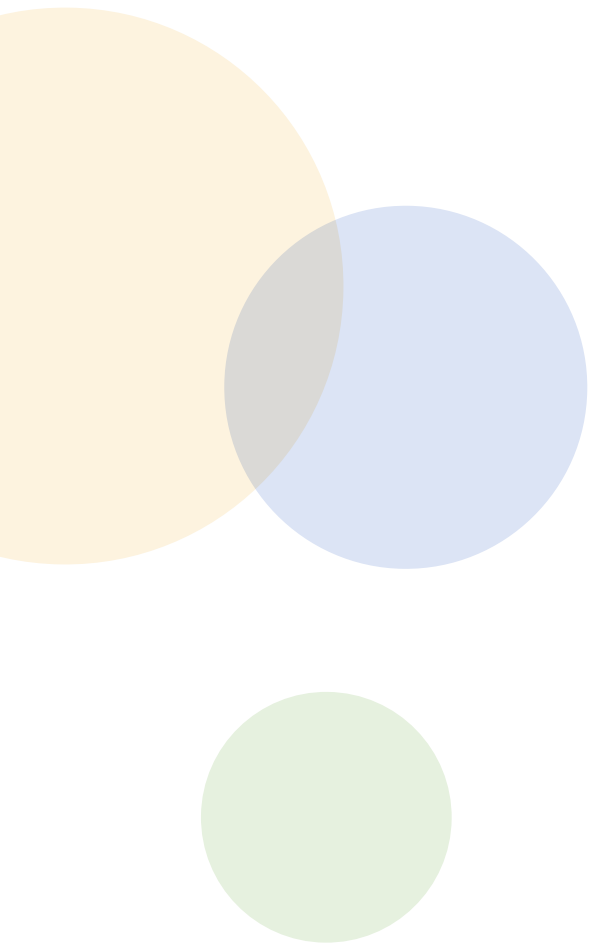
Im Projekt ACTUATE steht der Fahrer als zentraler Stellhebel für eine wirtschaftliche Fahrweise im Mittelpunkt. Begleitende Motivationskampagnen sollen sicherstellen, dass die Fahrer auch langfristig das anwenden, was sie in den Fortbildungen gelernt haben.



Ein Projekt zur Optimierung von Fahrverhalten...

- für ein sichereres und wirtschaftliches Fahren elektrisch betriebener Fahrzeuge im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)
- für eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit elektrisch betriebener Fahrzeuge im ÖPNV durch
- Entwicklung und Erprobung von Trainingsprogrammen für sicheres und wirtschaftliches Fahren
- Motivationskampagnen für Fahrer von Straßenbahnen, Oberleitungsbussen, Hybridbussen

Die vorliegende Trainingsbroschüre wurde für den Fahrzeugtyp Oberleitungsbus im Rahmen von ACTUATE entwickelt.



Inhalt

| | |
|---|----|
| 1. Einleitung | 6 |
| 1.1 Wirtschaftliches Fahren im Linienverkehr | 6 |
| 1.2 Energieträger | 7 |
| 1.3 Begriffserklärungen | 7 |
| 1.4 Fahrwiderstände | 8 |
| 1.5 Fahrzustände | 12 |
| 2. System „Obus“ | 14 |
| 2.1 Energieversorgung | 14 |
| 2.2 Fahrzeugtechnik | 16 |
| 2.3 Fahrzeuge mit Supercaps | 20 |
| 3. Wirtschaftliches Fahren mit Obussen | 22 |
| 3.1 Grundlegende Aspekte | 22 |
| 3.2 Auswirkungen des Fahrstils | 23 |
| 3.3 Energieeffizientes Bremsen mit der elektrischen Bremse | 25 |
| 3.4 Bewusstes Verwenden der Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlage | 26 |
| 3.5 Unterschiede zum wirtschaftlichen Fahren mit dieselgetriebenen Fahrzeugen | 26 |
| 4. Sicherheit | 28 |
| 4.1 Richtiges Verhalten bei Unfällen | 28 |
| 4.2 Verhalten bei technischen Störungen am Obus | 29 |
| 4.3 Abschleppen | 30 |
| 4.4 Verhalten im Brandfall | 30 |
| 4.5 Verhalten bei Entgleisung der Stromabnehmerstangen | 30 |
| 4.6 Störungen an Oberleitungsanlagen | 31 |
| 5. Durchführung der Trainings | 34 |



1. Einleitung

1.1 Wirtschaftliches Fahren im Linienverkehr

Wirtschaftliches Fahren bedeutet energieeffizientes, verschleißarmes und ökologisches Fahren. Es können für wirtschaftliches Fahren im Linienverkehr drei Gebote aufgestellt werden:

- **Gebot der Sicherheit**
Dem Gebot der Sicherheit haben sich alle weiteren Gebote unterzuordnen.
- **Gebot der Pünktlichkeit**
Pünktlichkeit ist im Linienverkehr Voraussetzung und bedeutet weder eine verfrühte, noch eine verspätete Abfahrt von einer Haltestelle.
- **Gebot der Wirtschaftlichkeit**
Wirtschaftliches Fahren bedeutet die Minimierung des Energieverbrauchs und die Schonung des Fahrzeuges unter der Beachtung der Gebote der Sicherheit und Pünktlichkeit.

Beim Fahren im Linienverkehr geht Sicherheit vor Pünktlichkeit und Pünktlichkeit vor Wirtschaftlichkeit. Die Gesetze, Dienstvorschriften und Regeln, welche zu befolgen sind, um im Linienverkehr sicher zu fahren, werden im Folgenden als bekannt vorausgesetzt.

Wirtschaftliches Fahren trägt gleichermaßen zur Schonung der Umwelt und zum stressfreieren Zurücklegen des Reiseweges für Fahrgäste und Fahrer bei und hilft dem Unternehmen die Fahrzeug- und Energiekosten durch Reduktion von Verschleiß zu senken.

| Vorteile Fahrer | Vorteile Fahrgast | Umweltschutz | Unternehmen |
|---|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| stressfreieres Fahren | stressfreier Transport | aktiver Beitrag zum Schutz der Umwelt | Reduzierung der Fahrzeugkosten |
| Arbeitsplatzsicherung durch Kostenersparnis | | | Reduzierung der Energiekosten |

Tabelle 1: Vorteile durch wirtschaftliches Fahren

Vom Fahrer beeinflussbare Einflussfaktoren zur wirtschaftlichen Fahrweise sind in den folgenden Abschnitten in grüner Farbe dargestellt, Faktoren, die in der Regel nicht vom Fahrer beeinflusst werden können, in gelber Farbe.

1.2 Energieträger

Der elektrische Antrieb von Straßenfahrzeugen gewinnt durch den hohen Wirkungsgrad von Elektromotoren stark an Bedeutung. Nicht nur der elektrische öffentliche Verkehr wird forciert, sondern auch die Entwicklungen im PKW-Sektor deuten auf vermehrten Einsatz von alternativen Antrieben hin. Neben dem reinen elektrischen Antrieb, wie etwa Obusse betrieben werden, gewinnen Hybridantriebe an Bedeutung. Die Stärke alternativer Antriebssysteme unter Nutzung elektrischer Energie ist die Möglichkeit der Rekuperation bei Bremsvorgängen zurück in die Oberleitung bzw. in mobile Energiespeicher wie Akkus oder Supercaps. Außerdem liegt der Vorteil des elektrischen Antriebes bereits in der Nutzung der Primärenergie. Verbrennungskraftmotoren werden weitgehend mit fossilen Kraftstoffen wie Benzin, Diesel oder Erdgas betrieben, welche aufwendig umgewandelt und zum Verbrauch transportiert werden müssen.

Saubere elektrische Energie kann jedoch in einem emissionsfreien Wasserkraftwerk bzw. aus Solar- oder Windenergie gewonnen und – abgesehen von geringen Leitungsverlusten – im Fahrzeug direkt in mechanische Arbeit umgewandelt werden. Elektrische Energie ist lokal immer emissionsfrei. Moderne Elektromotoren besitzen Wirkungsgrade zwischen 90 und 99 Prozent, während Dieselmotoren im Bereich idealer Drehzahl auf rund 35 Prozent kommen.

1.3 Begriffserklärungen

Um ein Verständnis für die technischen Vorgänge bei der Umwandlung von Sekundärenergie in Nutzenergie, also in die mechanische Arbeit zum Bewegen des Fahrzeuges, zu gewinnen, sollen vorweg die wichtigsten Begriffe erläutert werden:

Drehzahl

Als Drehzahl bezeichnet man das Verhältnis aus der Anzahl der Umdrehungen eines Bauteils und der dafür nötigen Zeitspanne. Die Drehzahl gibt zum Beispiel an, wie oft sich die Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors in einer Minute dreht. Die Einheit für die Drehzahl ist 1/min (U/min).



Drehmoment

Das Drehmoment (rotierende Kraft) ist eine physikalische Größe und wirkt bei Veränderung einer Drehbewegung. Das Drehmoment ist von der wirkenden Kraft und dem Abstand zwischen Drehpunkt und Kraftangriffspunkt abhängig (Drehmoment = Kraft * Normalabstand). Die Einheit des Drehmoments ist ein Newtonmeter (Einheitszeichen: Nm).

Leistung

Die Höhe des Drehmoments und die dazugehörige Drehzahl sind für die Leistung eines Verbrennungsmotors entscheidend. Denn die Leistung ist das Produkt aus Drehzahl und Drehmoment. Bei Elektromotoren wird die Leistung auch aus dem Produkt von Strom und Spannung berechnet (Leistung = Strom * Spannung). Die Leistung wird in Watt (bei größeren Motoren auch in Kilowatt) angegeben (Einheitszeichen: W bzw. kW).

Offsetleistung

Die Offsetleistung P_{Offset} ist jener Teil der Gesamtleistung, der nicht dem Antrieb dient. Es werden damit Nebenaggregate wie Steuerung, Kompressor, Licht etc. versorgt. Die Offsetleistung bestimmt den Energieverbrauch in den Stillstandsphasen und ist beim Rollen nahezu Null, da Nebenverbraucher durch die Selbsterregung des Motors mit Energie versorgt werden. Die Heizleistung wird unabhängig von der Offsetleistung berücksichtigt.

1.4 Fahrwiderstände

Fahrwiderstände wirken dauerhaft während der Bewegung eines Fahrzeuges. Die resultierende Kraft zeigt dabei immer in entgegengesetzte Richtung der Bewegung und bremst das Fahrzeug. Die zur Überwindung der Fahrwiderstände notwendige Antriebskraft des Motors wirkt sich auf den Energieverbrauch maßgeblich aus. Ein wirtschaftlicher Betrieb von Nutzfahrzeugen ist nur durch Kenntnis der Fahrwiderstände und der sie beeinflussenden Parametern möglich. Aus diesem Grund werden die Fahrwiderstände folgend erläutert.

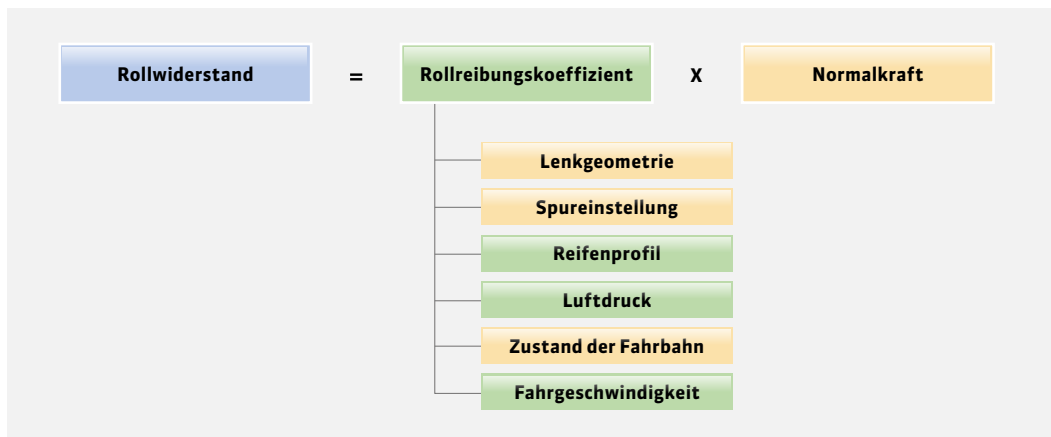
| Widerstände und Kräfte beim Fahren | | | |
|------------------------------------|---------------------|----------------|---------------------------|
| Rollwiderstand | Steigungswiderstand | Luftwiderstand | Beschleunigungswiderstand |

Tabelle 2: Fahrwiderstände

Rollwiderstand

Der Rollwiderstand ist jener Widerstand, welcher durch das Abrollen der Reifen auf der Fahrbahn entsteht. Er ist abhängig von der Masse des Fahrzeuges und dem Rollreibungskoeffizienten, welcher die Eigenschaften der Material-Paarung (Reifen und Zustand der Fahrbahn) und die Geometrie des Reifens berücksichtigt.

Beim Abrollen des Reifens wird dieser verformt. Der Großteil der Verformung ist verlustfrei elastisch und formt sich wieder zurück. Verlustbehaftete Vorgänge sind die Walkarbeit im Gummi des Reifens sowie Gleitreibungsanteile beim Abrollen der außermittigen Reifenteile und bei Kurvenfahrt und äußern sich in einer Wärmeentwicklung.



Die in Abbildung 1 genannte Normalkraft entspricht der auf einen Reifen anteilig wirkenden Fahrzeugmasse.

Abb. 1: Einflüsse auf den Rollwiderstand

Ein erhöhter Reifendruck mindert zwar den Rollwiderstand durch Reduzierung der Walkarbeit im Gummi des Reifens und der Berührfläche zwischen Reifen und Fahrbahn (Gleitreibung), hat jedoch auch negative Einflüsse auf die Haftung des Reifens auf der Fahrbahn und den Fahrkomfort des Fahrzeuges.

Zu geringer Luftdruck führt zu größerem Energieverbrauch infolge des größeren Rollwiderstands durch den Effekt der Walkarbeit. Weiters steigt der Reifenverschleiß und die Gefahr von Reifenbrand. Bei rund 85 Prozent des idealen Luftdrucks sinkt die Lebensdauer des Reifens um bereits 20 Prozent.

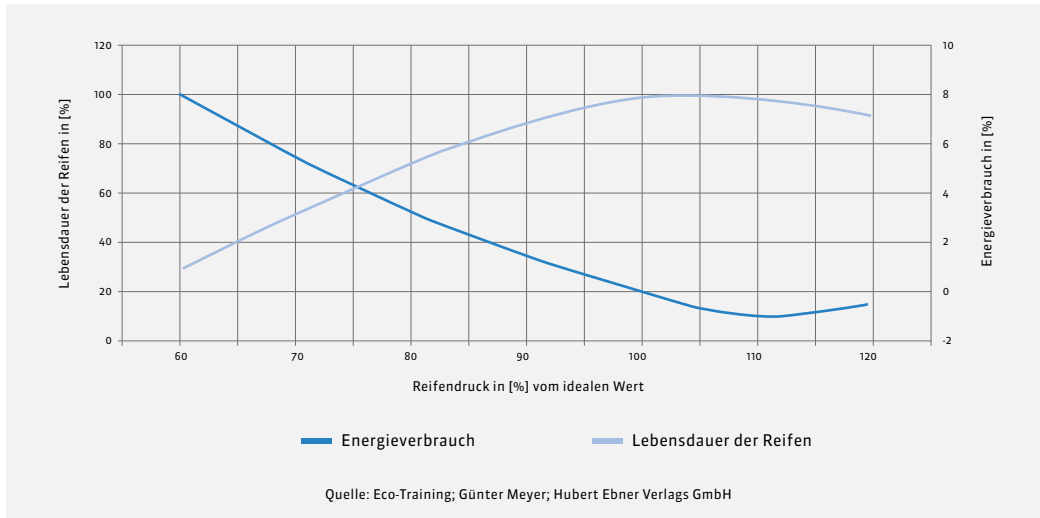


Abb. 2: Lebensdauer und Energieverbrauch in Abhängigkeit vom Luftdruck

Der Hauptunterschied zwischen Sommer- und Winterreifen in Bezug auf wirtschaftliches Fahren ist der erhöhte Energieverbrauch. Winterreifen haben durch das tiefere Profil einen höheren Rollwiderstand und bewirken einen bis zu 10% höheren Energieverbrauch.

Steigungswiderstand

Der Steigungswiderstand ist jene Kraft, die erforderlich ist, einen Höhenunterschied aufwärts zu überwinden. Der Steigungswiderstand setzt sich aus den in Abbildung 3 gezeigten Einflüssen zusammen.

$$\text{Steigungswiderstand} = \text{Fahrzeugmasse} \times \text{Erdbeschleunigung (= 9,81 m/s}^2\text{)} \times \text{Kosinus der Fahrbahnsteigung}$$

Abb. 3: Einflüsse auf den Steigungswiderstand

Luftwiderstand

Jene Kraft, die zur Verdrängung der Luft aufgewendet werden muss, wird als Luftwiderstand bezeichnet. Der Luftwiderstand ist quadratisch abhängig von der Fahrgeschwindigkeit, das heißt, dass eine Verdoppelung der Fahrgeschwindigkeit einen vierfach so großen Luftwiderstand zur Folge hat.

Weitere Einflussfaktoren sind die Querschnittsfläche des Fahrzeuges, der Luftwiderstandsbeiwert (aerodynamische Form) und die Dichte der Luft.

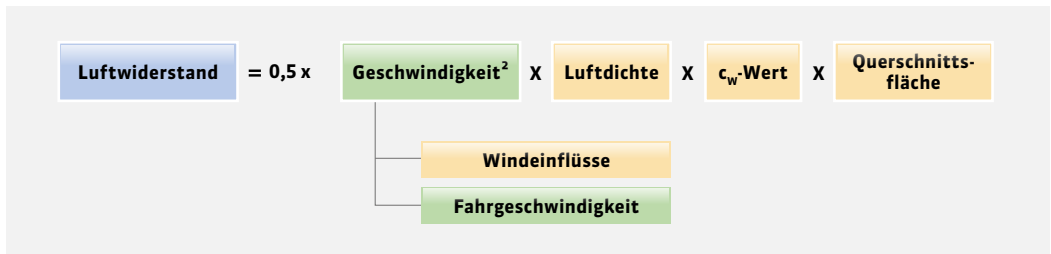


Abb. 4: Einflüsse auf den Luftwiderstand

Beschleunigungswiderstand

Die Trägheit des Fahrzeuges und der darin verbauten beweglichen Bauteile verursacht den Beschleunigungswiderstand. Das physikalische Prinzip der Trägheit besagt, dass ein mit Masse behafteter Körper in seinem Beharrungszustand verharrt, bis eine Kraft auf diesen Körper wirkt. In der Fahrzeugtechnik bedeutet dies den Einsatz von Energie zur Änderung der Geschwindigkeit. Folgende Abhängigkeiten ergeben sich beim Beschleunigungswiderstand:

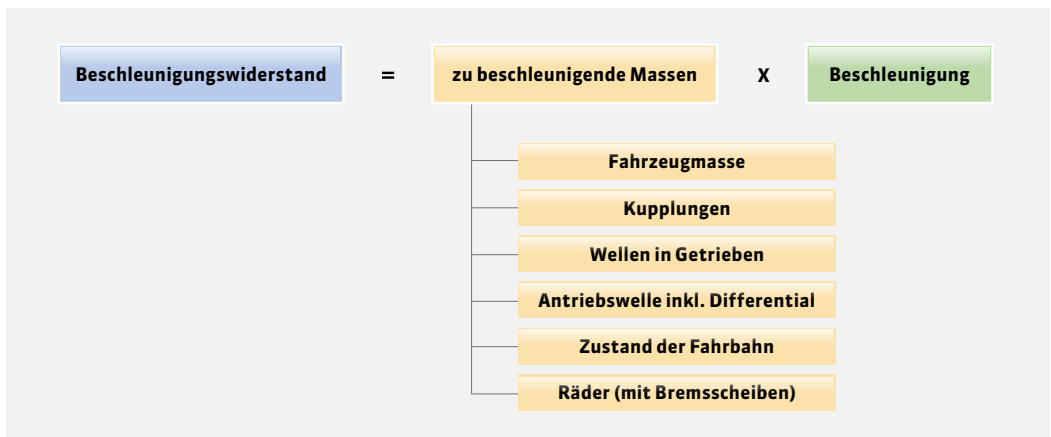


Abb. 5: Einflüsse auf den Beschleunigungswiderstand



Aus den Zusammenhängen der einzelnen Fahrwiderstände lässt sich somit zeigen, dass für einen energiesparenden Betrieb von Nutzfahrzeugen zwei wesentliche Faktoren entscheidend sind:

- **vor Fahrtantritt**
Kontrolle des Fahrzeugzustandes, insbesondere der Reifen
- **während der Fahrt**
bewusste Wahl der Fahrgeschwindigkeit

1.5 Fahrzustände

Bei der Bewegung von Fahrzeugen sind unterschiedliche Fahrzustände möglich. Gerade im Linienverkehr mit kurzen Haltestellenabständen gewinnt die Kenntnis darüber große Bedeutung, da ein unmittelbarer Einfluss auf den Energieverbrauch gegeben ist und dieser durch die richtige Wahl des Fahrstils maßgeblich beeinflusst werden kann. Folgend werden die vier erreichbaren Fahrzustände von Fahrzeugen beschrieben:

- **Beschleunigen**
Beschleunigen bedeutet durch Energieeinsatz die Fahrgeschwindigkeit zu erhöhen. Die Antriebskraft des Fahrzeuges muss dazu größer sein, als die entgegen der Bewegungsrichtung wirkenden Fahrwiderstände.
- **Beharren**
Beharren heißt die Fahrgeschwindigkeit konstant zu halten. Hier ist exakt jene Energie aufzuwenden, die den der Bewegung entgegengesetzt wirkenden Fahrwiderständen entspricht.
- **Rollen**
Durch Rollen sinkt die Fahrgeschwindigkeit. Dies liegt in den Fahrwiderständen begründet, die der Fahrzeugbewegung entgegenwirken. Beim Rollen wird keine Energie zur Vorwärtsbewegung des Fahrzeuges aufgewendet.
- **Bremsen**
Bremsen heißt die Fahrgeschwindigkeit zu verringern. Beim Obus erfolgt dies in der Regel durch die elektrische Bremse, welche einen Teil der Energie zurückgewinnen kann. Bei Bremsungen mit der mechanischen Bremse wird die gesamte Bremsenergie durch Reibung zwischen Brems Scheibe und Bremsbelag in Wärme umgewandelt und geht an die Umwelt verloren.

Die Fahrzustände können idealisiert in einem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm dargestellt werden. Dabei zeigt sich bei jenem Fahrzyklus mit Beharrungsfahrt ein trapezförmiger Verlauf der Geschwindigkeit (siehe Abbildung 6).

Geschwindigkeit

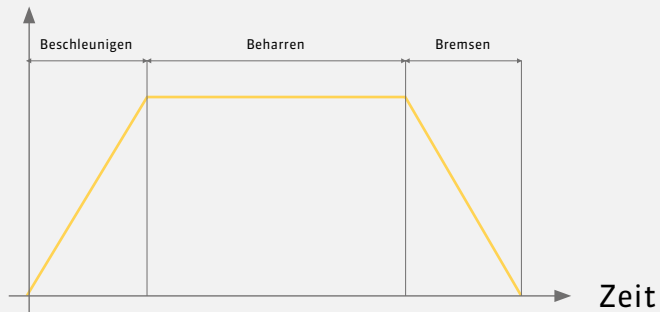
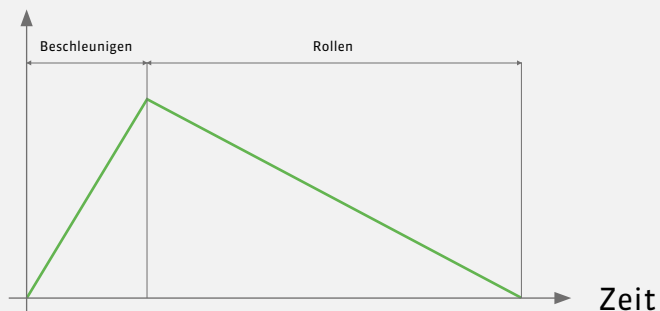


Abbildung 7 zeigt den idealisierten Fahrzyklus mit maximalem Rollanteil. Da beim Rollen keine Energie zur Bewegung des Fahrzeuges aufgewendet werden muss, gilt dieser Fahrzyklus als jener mit minimalen Energieverbrauch. Im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm ist dieser Fahrzyklus als Dreieck darstellbar.

Abb. 6: idealisierter Fahrzyklus mit Beharrung

Geschwindigkeit



Es zeigt sich somit, dass Fahrzyklen mit hohem Rollanteil am energieeffizientesten sind. In der Realität wird die Form des Fahrzyklus in den meisten Fällen an ein Viereck erinnern, da meist ein Anbremsen des nächsten Haltepunktes notwendig ist. Die Fahrzustände Beharren und Bremsen sollen jedenfalls nach Möglichkeit auf ein Minimum reduziert werden.

Abb. 7: idealisierter Fahrzyklus mit maximalem Rollanteil

2. System „Obus“

Das System „Obus“ zeichnet sich durch einen lokal emissionsfreien und nahezu geräuschlosen Betrieb aus. In den folgenden Abschnitten wird das System mit seinen Charakteristiken dargestellt.

2.1 Energieversorgung

Die Energieversorgung zum Antrieb des Fahrzeuges und zum Antrieb der Nebenverbraucher wird durch die Oberleitung sichergestellt. Der vom Energieversorgungsunternehmen gelieferte Strom wird dabei in Gleichrichterunterwerken (GU) in Gleichspannung umgewandelt und in das Oberleitungsnetz eingespeist.

Die Trennung der von unterschiedlichen Gleichrichterunterwerken versorgten Abschnitte erfolgt mittels isolierter Fahrleitungsstellen („Trenner“). Trenner älterer Bauart funktionieren mittels einfacher Isolierstrecken, weshalb an diesen Stellen kein Strom aus dem Oberleitungsnetz entnommen werden kann und der Fahrschalter des Obusses ausgeschaltet werden muss. Moderne Trenner werden als Diodentrenner ausgeführt, auf denen grundsätzlich eine Stromversorgung des Fahrzeuges gewährleistet ist. Um Komfortbeeinträchtigungen auszuschließen und die im Einsatz befindliche Technik (sowohl fahrzeug- als auch fahrleitungsseitig) zu schonen, sind auch diese Trenner nach Möglichkeit mit ausgeschaltetem Fahrschalter zu befahren.

Die Oberleitung dient jedoch nicht nur der Versorgung der Obusse mit Energie. Sie ist auch fähig, diese bei Bremsvorgängen wieder aufzunehmen und zur Energieversorgung anderer Fahrzeuge im gleichen Speiseabschnitt zu nutzen. Dieser Vorgang, Rekuperation genannt, ermöglicht eine Energierückgewinnung bei Bremsungen mit der elektrischen Bremse von bis zu 25% der kinetischen Energie des Obusses zum Zeitpunkt der Einleitung der Bremsung. Die rückgewonnene Energie wird zunächst für den Eigenbedarf der Nebenverbraucher des Obusses genutzt und überschüssige Energie zurück ins Oberleitungsnetz gespeist (siehe Abbildung 9). Erst wenn dieses nicht aufnahmefähig ist, wird überschüssige Bremsenergie in den Dachwiderständen in Wärme umgewandelt und geht dadurch an die Umwelt verloren.



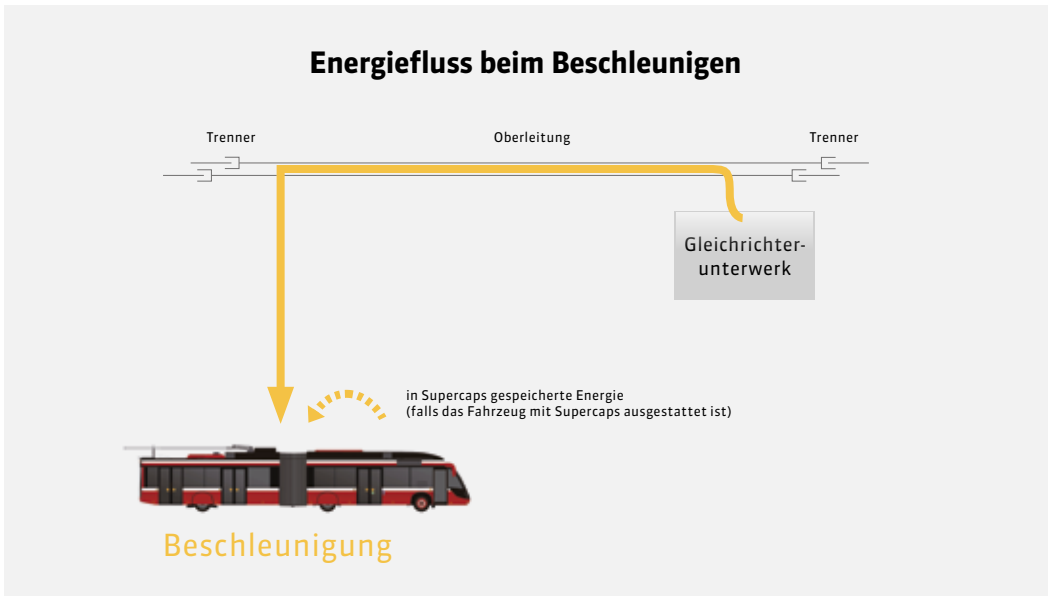


Abb. 8: Energiefluss beim Beschleunigen

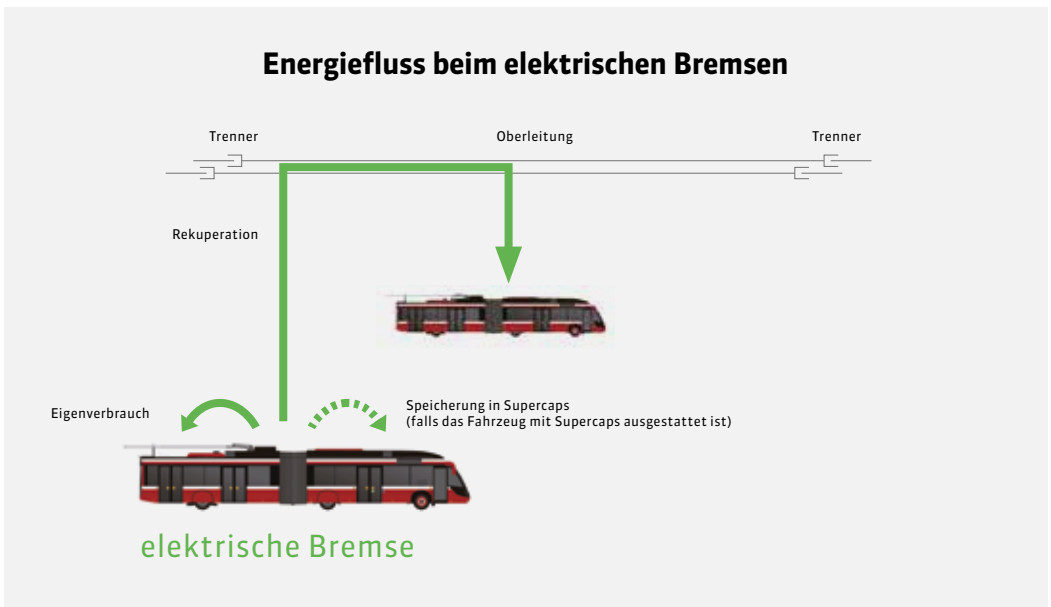


Abb. 9: Energiefluss beim elektrischen Bremsen mit überschüssiger Energie

Infolge des Strombedarfs führt jede Beschleunigung des Obusses zum Absinken der Fahrleitungsspannung und jeder Bremsvorgang mit der elektrischen Bremse zu einem Ansteigen der Fahrleitungsspannung am Obus.

Mit Supercaps ausgerüstete Obusse speichern einen Teil der während des Bremsvorganges zurückgewonnenen Energie in den Supercaps und nutzen die Energie bei nachfolgenden Beschleunigungsvorgängen. Diese Art von On-Board-Energiemanagement hilft die Infrastruktur (Gleichrichterunterwerke, Fahrleitungen etc.) zu verkleinern, weil die Schwankungen der Oberleitungsspannung während Beschleunigungen und Verzögerungen reduziert wird.



2.2 Fahrzeugtechnik

Der Strom aus der Oberleitung wird mittels der Stromabnehmer entnommen, über den Eingangsfilter, den Überspannungsableiter und den Hauptschalter zur Steuerungselektronik geführt (siehe Abbildung 10). Der Eingangsfilter dient zur Glättung des Stromes, welcher durch verschiedene äußere Einflüsse Unregelmäßigkeiten im Spannungsverlauf zeigen kann.



Der Überspannungsableiter (auch Kathodenfallableiter) dient als fahrzeugseitige Abschirmung gegenüber Überspannungen in der Oberleitung, welche teils erhebliche Energien besitzen und somit Teile der Fahrzeugelektronik zerstören können. Verursacht werden Überspannungen durch direkte oder nahegelegene Blitzeinschläge, elektromagnetische Impulse und Schaltvorgänge im Netz. Der Hauptschalter besitzt die Funktion zur galvanischen Trennung des Obusses von der Oberleitung.

Die Komponenten der Leistungs- und Steuerungselektronik sind in modernen Niederfler-Obussen im Dachgerätegehäuse untergebracht. Hierzu gehören der Direktpulsumrichter (DPU) zur Steuerung der Traktionsmotoren und der Bordnetzumrichter (BNU) für die Versorgung der elektrischen Hilfsbetriebe des Obusses. Im Dachgerätegehäuse sind in der Regel auch der Eingangsfilter und die elektrischen Schütze untergebracht. Das eingangsseitig mit der Oberleitungsspannung verbundene Dachgerätegehäuse stellt somit eine kompakte Einheit am Dach des Obusses dar. Durch die Positionierung außerhalb des Aufprallbereiches wird ein passiver Unfallschutz gewährleistet. Die für Obusse wichtige

doppelte Isolation der Hochspannung führenden Teile ist in das Dachgerätegehäuse integriert.

Der zur elektrischen Ansteuerung des Traktionsmotors dienende Direktpulsumrichter (DPU) wird direkt aus der Oberleitung über den Eingangsfilter mit Strom versorgt und erzeugt Spannungsblöcke variabler Breite zur Speisung des Antriebsmotors.

Durch dieses Verfahren, welches als Pulsweitenmodulation bezeichnet wird, kann ein Drehstromsystem variabler Spannung und Frequenz erzeugt werden, das Energie in beide Richtungen transportieren kann. Als Schaltelemente dienen IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistor), welche sich durch hohe Schaltfrequenz und geringe Verluste auszeichnen. Durch entsprechende Ansteuerungen kann mit dieser modernen Technik nahezu bis zum Stillstand elektrisch gebremst und somit ein maximaler Energierückgewinn erzielt werden.

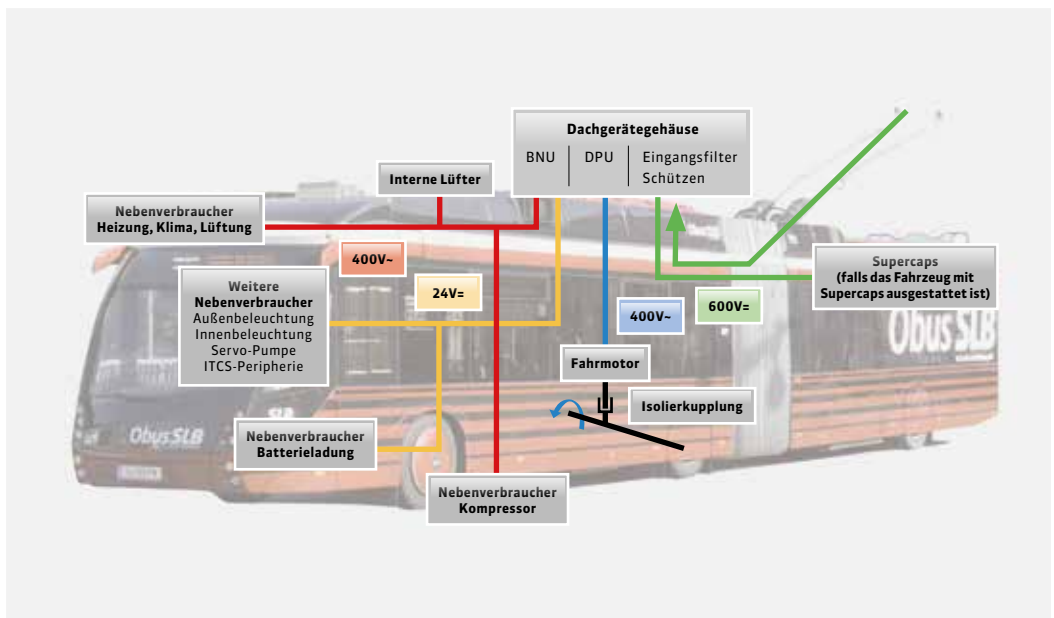


Abb. 10: Komponenten zum Betrieb und zur Steuerung eines Obusses

Die Richtungsumschaltung erfolgt in der Regel mittels den Tastern D, N und R am VDV-Fahrerplatz.



Der Bordnetzumrichter sorgt für die Stromversorgung der Nebenverbraucher. In den meisten Obussen handelt es sich um eine 24-Volt-Gleichspannungsversorgung und eine 400-Volt-Drehstromversorgung. Während der Antrieb des Kompressors über den 400-V-Drehstromausgang erfolgt, wird die Batterieladung sowie die Versorgung weiterer Nebenverbraucher wie Innen- und Außenbeleuchtung, Servo-Pumpe und die ITCS-Peripherie über den 24-Volt-Gleichspannungsausgang gewährleistet (siehe auch Abbildung 10). Alle Ausgänge sind aus Sicherheitsgründen zweifach galvanisch von dem direkt an der Fahrleitungsspannung angeschlossenen Eingang getrennt.

Die Umwandlung der elektrischen Energie aus der Oberleitung in eine mechanische Bewegungsenergie wird in Elektromotoren durch Magnetismus bewirkt. Der Elektromotor funktioniert damit erheblich einfacher und effektiver als ein Verbrennungsmotor. Er besteht aus einem (äußeren) Stator und einem (inneren) Rotor. Der Rotor ist beweglich und ringsum mit abwechselnd nach Norden oder Süden gepolten Dauermagneten bestückt. Durch die elektronische Regelung der Drehzahl mit Hilfe des Direktpuls-umrichters braucht ein Obus kein Getriebe zur Übertragung dieser Drehung. Die Richtungsumschaltung erfolgt in der Regel mittels den Tastern D, N und R am VDV-Fahrerplatz (anhängig vom Fahrzeugtyp).

In modernen Fahrzeugen werden Asynchron-Motoren eingesetzt. Die Wahl der richtigen Polanzahl ist vor allem bei der Anschaffung entscheidend, da 6-polige Motoren zwar teurer in der Anschaffung sind, 4-polige Motoren jedoch durch den kontinuierlich erforderlichen Steuerstrom zur Ermittlung der Drehrichtung des Motorankers mehr Energie verbrauchen, jedoch in der Regel bei gleicher Leistung einen kleineren Durchmesser aufweisen.

Der Antriebsmotor wird über eine formschlüssige Isolierkupplung an die Gelenkwelle angeschlossen, wodurch einerseits eine elektrische Isolierung zwischen den Hochspannung führenden Teilen und dem mechanischen Antriebsteil erreicht wird und andererseits das Antriebsmoment des Motors nahezu verlustfrei übertragen werden kann.

Überschüssige Energie aus Bremsvorgängen mit der elektrischen Bremse, welche nicht für den Eigenbedarf des Fahrzeuges benötigt wird und welche mangels Verbraucher auch nicht in die Oberleitung zurückgespeist werden kann, muss in elektrischen Bremswiderständen in Wärme umgewandelt werden. Zusätzlich erfüllen die elektrischen Bremswiderstände gemeinsam mit dem als Generator betriebenen Antriebsmotor die gesetzlichen Anforderungen an eine Dauerbremse. Der Bremswiderstand wird vom Bremschopper gesteuert, welcher im DPU integriert ist. Die elektrische Bremse ist wartungsfrei.

Elektrische Bremsungen können bis zum Stillstand durchgeführt werden. Der Fahrmotor dient dabei als Generator. Dadurch wird die mechanische Bremse nur selten benötigt und der Verschleiß des Bremsbelags deutlich reduziert. Dies bedeutet auch eine Verringerung der Standzeiten und erhöht dadurch die Verfügbarkeit des Fahrzeuges.



2.3 Fahrzeuge mit Supercaps

Superkondensatoren oder Supercaps, technisch auch als Doppelschicht-Kondensatoren bekannt, sind Kondensatoren mit einer Energiedichte, welche hundert Mal größer ist als jene von elektrolytischen Kondensatoren. Die zwei Elektroden eines Supercaps (in der Regel aus Aktiv-Kohlenstoff) sind durch einen Elektrolyten leitfähig verbunden. Durch die Porosität des Materials können große Energiemengen in einem kleinen Volumen gespeichert werden.

Supercaps werden in verschiedenen Anwendungen (z. B. Fahrzeuge, medizinische Anwendungen, verschiedene Kleingeräte) und als Ersatz für Batterien verwendet. Im öffentlichen Verkehr konzentriert sich die Anwendung als Energiespeicher auf teils oder gänzlich elektrisch betriebene Fahrzeuge wie Obusse, Hybrid- oder Elektrobusse, Straßenbahnen und andere Schienenfahrzeuge. Die Supercaps werden in der Regel auf dem Dach des Fahrzeuges untergebracht.



Vorteile beim Einsatz von Supercaps in Obussen ergeben sich aus einer hohen Rekuperationsrate von bis zu 90% bei Nutzung der elektrischen Bremse und einer operativen Gesamtenergieeinsparung von bis zu 25% je nach Topographie und Ausführung des Oberleitungsnetzes. Weiters tragen die fahrzeugseitigen Energiespeicher zu einer Verringerung der Überlastungen in Gleichrichterunterwerken bei und reduzieren die Gefahr von Lichtbögen zwischen Fahrleitungen und Stromabnehmern. Die Zuverlässigkeit von Nebenverbrauchern steigt geringfügig infolge einer kontinuierlicheren Strom- und Spannungsversorgung. Um ein Maximum an Vorteilen aus der Verwendung von Supercaps zu erzielen, muss das System entsprechend den lokalen Eigenschaften des Oberleitungsnetzes und der Topographie ausgelegt werden. Die optimale Anzahl der Supercaps hängt von den Streckeneigenschaften (Kurven, Steigungen und Geschwindigkeit) ab. Mehr im Fahrzeug installierte Supercaps bedeuten mehr Energieeinsparungen. Durch zusätzliches Gewicht steigt allerdings auch der Energieverbrauch, sodass die optimale Anzahl von Supercaps unternehmens- oder gar linienspezifisch festgelegt werden muss.

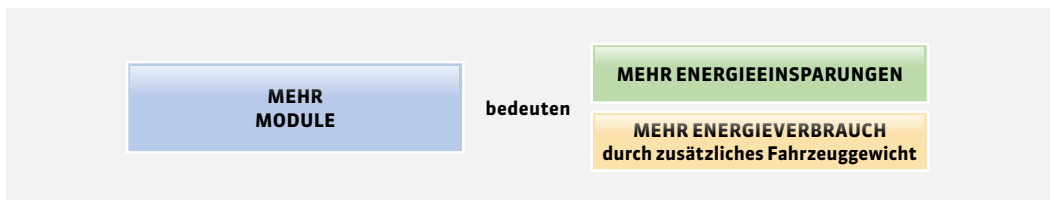


Abb. 11: Einfluss von Supercaps auf den Energieverbrauch



3. Wirtschaftliches Fahren mit Obussen

3.1 Grundlegende Aspekte

Wirtschaftliches Fahren bedeutet verbrauchsarmes, verschleißarmes und ökologisches Fahren. Es ist im Wesentlichen abhängig von folgenden Aspekten:

- vom technischen Entwicklungsstand des Obusses
- vom Fahrzeugzustand und der regelmäßigen Wartung des Obusses
- von der Linienführung, der Verkehrsdichte und der Auslastung des Obusses
- von der Fahrweise des Fahrers, insbesondere dem vorausschauenden Fahren
- vom bewussten Verwenden der Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlage

Im Linienverkehr sind das Verkehrsaufkommen, die Streckenführung (Straßenzustand und Topographie), die Auslastung des Obusses und der Fahrzeugtyp vom Fahrer nicht beeinflussbar (in Abbildung 12 gelb dargestellt). Umso mehr gewinnen die vom Fahrer beeinflussbaren Faktoren Fahrstil, vorausschauende Fahrweise und Regelung der Heizung, Klima und Lüftung, Klima und Lüftung an Bedeutung.

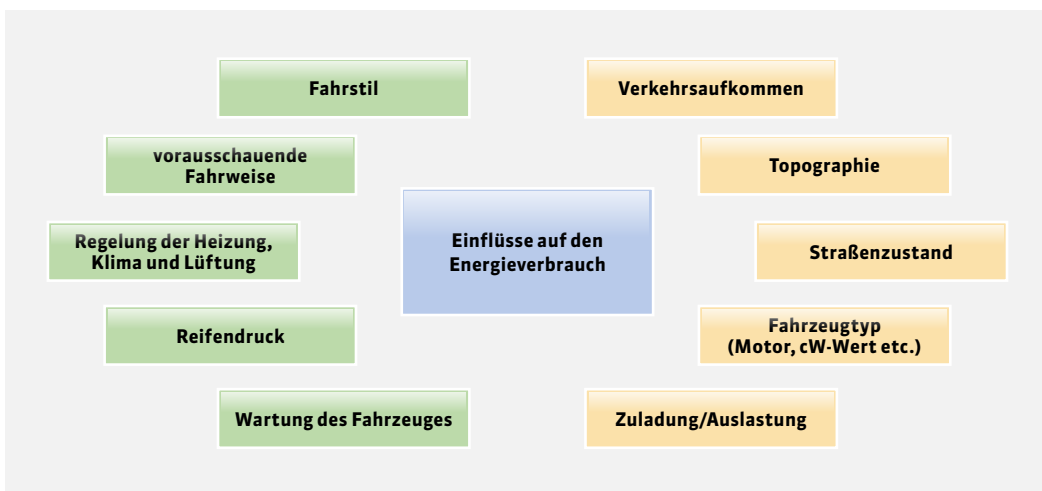


Abb. 12: Einflüsse auf den Energieverbrauch

Weiters kann der Fahrer (bzw. die Werkstätte) Reifendruck und Zustand des Fahrzeuges augenscheinlich überprüfen. Eine gute Zusammenarbeit mit Leitstelle und Werkstatt durch präzise Erläuterung von gegebenenfalls auftretenden Mängeln am Fahrzeug ist ebenso wichtig wie das Beachten der Betriebsanleitung.

3.2 Auswirkungen des Fahrstils

Die Wirtschaftlichkeit des Obusbetriebs hängt wesentlich vom Fahrstil des Fahrers ab. Es liegt in seiner Hand, dass nicht nur der sichere und pünktliche, sondern auch der energieeffiziente Transport von Fahrgästen gesichert ist.



Im Zuge von Messfahrten wurden die Einflüsse der Fahrzustände (siehe auch Abschnitt 1.5) auf den Energieverbrauch und die Oberleitungsspannung nachgewiesen. In Abbildung 13 sind die Messergebnisse dargestellt. Die beiden oberen Graphen zeigen den Geschwindigkeitsverlauf und die Beschleunigung über der Zeit. Anschließend wird der Strom und die dazu proportionale Leistung dargestellt ($\text{Leistung} = \text{Spannung} \cdot \text{Strom}$, siehe Abschnitt 1.3).

Anhand der unterschiedlichen Fahrzyklen der Messfahrt wurde festgestellt, dass:

- das Beschleunigen rasch erfolgen soll,
- das Beharren gänzlich vermieden werden soll,
- der Rollanteil unter Einhaltung des Fahrplanes möglichst hoch sein soll,
- unnötiges Bremsen vermieden werden und idealerweise nur mit der verschleißfreien elektrischen Bremse zur Rückgewinnung von Energie erfolgen soll.

Da die Versorgung der Nebenverbraucher beim Rollen durch Selbsterregung mit Energie erfolgt, soll oftmaliges und nur geringes Beschleunigen vermieden werden. Jede Betätigung des Fahr Schalters bewirkt eine Erhöhung der Offsetleistung und führt zu höherem Energieverbrauch. Bei jedem Beschleunigungsvorgang soll unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Fahrgeschwindigkeit das Ziel verfolgt werden, eine möglichst lang anhaltende Rollphase zu ermöglichen.

Für den energiesparenden Betrieb rückt somit für die Fahrzeuglenker die bewusste Wahl des Fahrstils und eine vorausschauende Fahrweise in den Vordergrund.





Hohe Rollanteile sind jedoch nur mit vorausschauender Fahrweise und gut bemessenem Abstand zum vorderen Fahrzeug möglich und bewirken nicht nur eine Energieersparnis, sondern erhöhen auch den Fahrkomfort. Vorausschauend zu fahren bedeutet gleichmäßiges Fahren ohne unnötig zu beschleunigen oder zu bremsen. Auch unnötige Anfahrvorgänge (zum Beispiel beim oftmaligen Nachrücken im Stau oder gegen eine Halt zeigende Lichtsignalanlage) können durch eine vorausschauende Fahrweise vermieden werden.

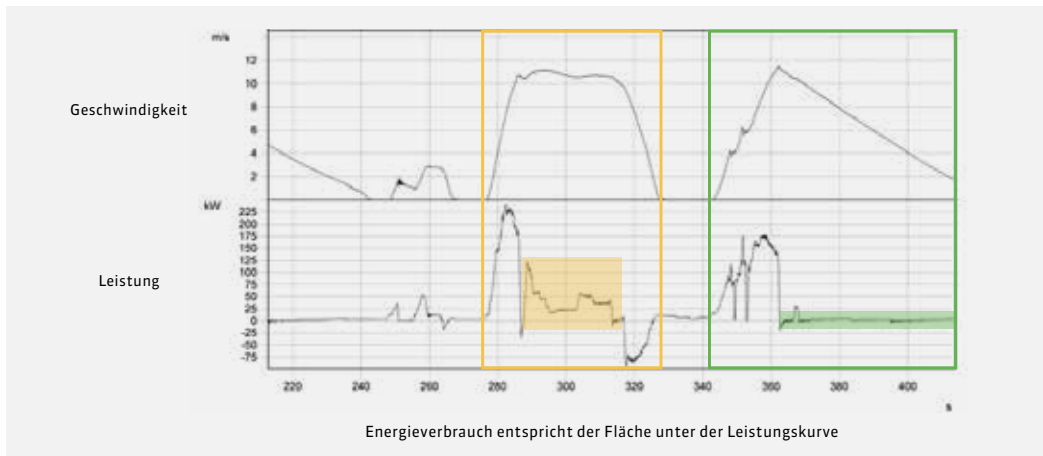


Abb. 13: reale Fahrzustände
mit Beharren (gelb) und
Rollen (grün)

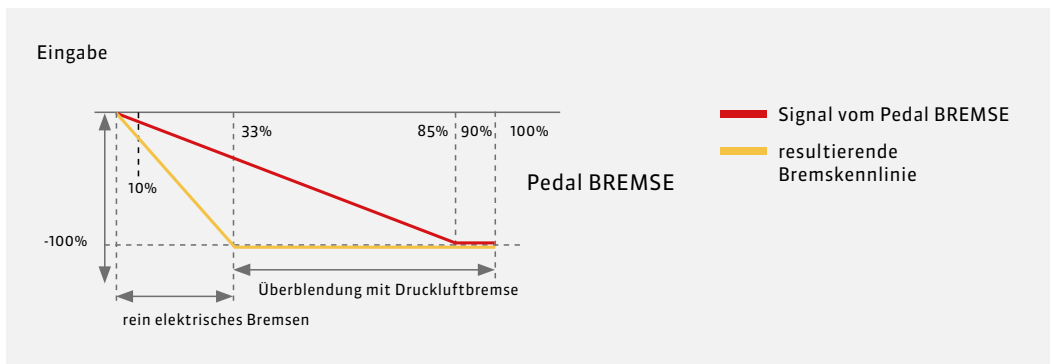
Um von der zur Verfügung stehenden Fahrplanzeit möglichst viel Rollanteil nutzen zu können, sind Haltestellenaufenthaltszeiten möglichst kurz zu halten.

Obwohl beim Bremsen mit der elektrischen Bremse Energie zurückgewonnen wird, soll die Fahrgeschwindigkeit durch vorausschauende Fahrweise entsprechend so gewählt werden, dass das Bremsen auf ein Minimum reduziert wird.

3.3 Energieeffizientes Bremsen mit der elektrischen Bremse

Bei Bremsvorgängen steht bei Obussen nach der Sicherheit eine möglichst effiziente Rückgewinnung von Bremsenergie im Vordergrund. Durch Betätigen des Bremspedals wirkt der Fahrmotor als Generator, sodass eine Rückgewinnung von Bremsenergie möglich ist. Die Regelung der elektrischen Bremse wird mit dem Bremspedal realisiert, in das auch die mechanische, mittels Druckluft betätigte, Bremse integriert ist.

Bei den meisten in Betrieb befindlichen Obussen wird bei der Betätigung des Bremspedals, in Abbildung 14 als rote Kennlinie dargestellt, zunächst nur die elektrische Bremse aktiv. Das Bremsmoment (gelbe Kennlinie) wird mit weiterer Betätigung des Bremspedals auf 100% erhöht. Nach etwa einem Drittel des Weges des Bremspedals (abhängig vom Fahrzeugtyp) bleibt die elektrische Bremse bei einer Wirkung von 100% konstant und es steigt zusätzlich mit weiterem Betätigen des Bremspedals die Wirkung der mechanischen Bremsen an. Die resultierende Wirkung des Bremspedals ist so linear und zügig ohne Stöße oder Bremsmomentänderungen.



Für das Bremsverhalten bedeutet das, dass das Bremspedal nie mehr als ein Drittel betätigt wird, um möglichst viel Bremsenergie rückzugewinnen und die mechanische Bremse zu schonen. Dennoch gilt, dass die Sicherheit im Vordergrund stehen muss.

Abb. 14: Zusammenwirken von elektrischer Bremse und Druckluftbremse

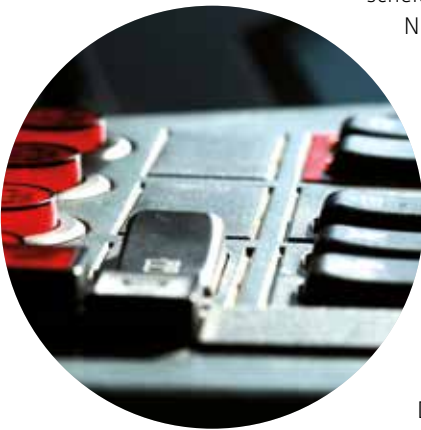


3.4 Bewusstes Verwenden der Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlage

Wird die Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlage manuell vom Fahrer gesteuert, so kann dieser durch bewusstes Verwenden einen weiteren wichtigen Teil zur Senkung des Energieverbrauchs beitragen. Eine Beheizung bzw. Kühlung soll bei offenen Fahrzeugfenstern vermieden werden.

3.5 Unterschiede zum wirtschaftlichen Fahren mit dieselgetriebenen Fahrzeugen

Elektrisch und verbrennungsmotorisch getriebene Fahrzeuge unterscheiden sich ganz wesentlich hinsichtlich wirtschaftlichem Fahren. Nicht zuletzt ist auch das zur Kraftübertragung zwischen Motor und Rädern erforderliche Getriebe ausschlaggebend für den Wirkungsgrad des gesamten Fahrzeuges.



Da Verbrennungsmotoren nur in einem begrenzten Drehzahlbereich ausreichende Drehmomente abgeben, ist im Antriebsstrang zwischen Motor und Antriebsachse ein Getriebe erforderlich. Durch dieses kann das Drehzahl- bzw. Drehmomentverhältnis zwischen Motor und Antriebsachse variiert werden. Man unterscheidet zwischen (manuellen) Schaltgetrieben und Automatikgetrieben.

Durch die formschlüssige Verbindung bei Schaltgetrieben besitzen diese höhere Wirkungsgrade als kraftschlüssige Automatikgetriebe. Dennoch werden bei Bussen für den Stadtverkehr meist Automatikgetriebe mit vier bis sechs Gängen eingesetzt, um den Fahrkomfort zu erhöhen. Formschlüssige Getriebe erfordern für den Schaltvorgang eine Unterbrechung des Antriebsstranges (Entkuppeln), während Automatikgetriebe durch den hydraulischen Wandler nicht im Antriebsstrang unterbrochen werden müssen.

Um verschiedene Geschwindigkeiten mit den jeweils günstigsten Drehzahlbereichen zu fahren, ist es notwendig, verschiedene Gänge zu schalten. Dies ermöglichen moderne Schaltgetriebe mit Vor- und Nachschaltgruppen. In Reisebussen finden sich zusätzliche Schalthilfen wie automatische Vorwahlschaltung (SVS, AS Tronic) und elektropneumatische Schaltung (EPS).



Die Schaltungen des Automatikgetriebes lassen sich über das Gaspedal beeinflussen. Nimmt der Fahrer das Gaspedal rechtzeitig zurück, schaltet das Getriebe in den nächsthöheren Gang.

Zur Erhöhung des Wirkungsgrades wird der Drehmomentwandler ab einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit überbrückt. Dies geschieht geschwindigkeits- und lastabhängig und kann zwischen 5 und 35 km/h liegen. Bis zu diesem Schaltvorgang sollte nur mit Teilgas beschleunigt werden, um die Verluste durch Schlupf zu verringern.

Bei Verbrennungsmotoren spielen auch die Emissionen eine wichtige Rolle. Diese können einerseits durch energiesparende Fahrweise und dadurch verbundener Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs reduziert werden, andererseits durch unterschiedliche Verfahren zur Abgasnachbehandlung, welche durch die schrittweise Einführung der Euro-Normen ab 1990 an Bedeutung gewann. Die geforderten maximalen Abgaswerte sind ab Einführung der Euro-4-Norm im Jahr 2006 nicht mehr ohne Abgasnachbehandlung erreichbar.

Euro-5-Grenzwerte erlauben einen maximalen Stickstoffoxid-Ausstoß (NO_x) von nur mehr 2 g/kWh und einen Partikel-Ausstoß von maximal 0,02 g/kWh.

Im Zuge einer Abgasrückführung (AGR) wird ein Teil der Abgase über ein Ventil zurück in die Luftansaugung geleitet, um mit Frischluft vermengt zu werden. Das Gemisch aus Frischluft und Abgas hat einen geringeren Sauerstoff-Anteil (O_2) und trägt somit zur Senkung der Verbrennungstemperaturen im Brennraum bei. Niedrigere Verbrennungstemperaturen führen zu einer Reduzierung von giftigen Stickoxyden (NO_x). Dem Anstieg der Bildung von Ruß und Kohlenmonoxid (CO) wird durch einen Katalysator entgegengewirkt.

Eine weitere Reduzierung der Abgaswerte wird nur durch einen SCR-Katalysator (selektiv katalytische Reduktion) bewirkt. Dem Abgas wird vor dem SCR-Katalysator Ammoniak (NH_3) in Form einer 32,5%igen, wässrigen Harnstofflösung injiziert. Diese ist als AdBlue bekannt. Durch chemische Reaktionen (Hydrolysereaktionen) entstehen Ammoniak und Wasser (H_2O). Das Ammoniak reagiert im SCR-Katalysator mit den Stickoxyden im Abgas, wodurch die NO_x -Emissionen reduziert werden. Vorteil der Abgasnachbehandlung mittels SCR-Katalysator ist, dass es zu keinen Leistungseinbußen und keinem Kraftstoffmehrerbrauch kommt.

4. Sicherheit

Das Gebot der Sicherheit steht im Vordergrund, alle anderen Faktoren sind dem Gebot der Sicherheit unterzuordnen. Eine vorausschauende Fahrweise trägt zur Sicherheit bei und reduziert Gefahren für Fahrer und Fahrgäste auf ein Minimum. Richtiges Verhalten im Falle von Störungen und Unfällen ist dennoch unerlässlich und soll in den folgenden Abschnitten in Erinnerung gerufen werden. Ziel ist, die Schäden so gering wie möglich zu halten, weitere Schäden zu vermeiden und Gefahren für Dritte zu minimieren.

4.1 Richtiges Verhalten bei Unfällen

Ist die Störung durch einen Unfall bedingt, so hat der Fahrer mit Ruhe und Besonnenheit alle Mittel anzuwenden, um die Störung zu beseitigen, Schäden zu mindern und weitere Schäden zu vermeiden. Kann eine Gefahr nicht sofort beseitigt werden, so ist die Gefahrenstelle abzusichern.

Dazu ist das Fahrzeug anzuhalten, die Warnblinkanlage einzuschalten und der Obus gegen unbefugte Inbetriebnahme und Abrollen zu sichern. Der Hauptschalter ist bei Verlassen des Obusses auszuschalten, bei Bedarf sind die Stromabnehmer abzuziehen.

Das Fahrzeug soll zum Eigenschutz nur mit angelegter Warnweste verlassen werden. Auf Freilandstraßen, Schnellstraßen und Autobahnen sind Fahrzeuglenker gesetzlich verpflichtet, bei Verlassen des Fahrzeuges eine Warnweste zu tragen.

Wird das Fahrzeug verlassen, gilt es, die Unfallstelle abzusichern. Das dazu mitzuführende Warndreieck muss den jeweiligen gesetzlichen und betrieblichen Vorgaben entsprechend aufgestellt werden.

Erst anschließend sollen sich Ersthelfer in den Gefahrenbereich begeben und Unfallbeteiligte aus dem Gefahrenbereich bringen.



Nachdem keine Gefahr für Unfallbeteiligte und Ersthelfer durch Dritte mehr besteht, ist Erste Hilfe zu leisten und Hilfe anzufordern. Die europäische Notrufnummer lautet 112 (nach Richtlinie 2002/22/EG – Universalnottendienststrichlinie) und ist auch Standard von GSM Mobiltelefonen. Die Nummer 112 wird in Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Georgien, Griechenland, Großbritannien, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Liechtenstein, Litauen, Luxemburg, Malta, Mazedonien, Montenegro, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechien, Türkei, Ukraine, Ungarn und Zypern zusätzlich zu nationalen Notrufnummern verwendet. Dabei ist es wichtig, eine möglichst detaillierte Zusammenfassung der Unfallsituation wiederzugeben.

Zur Unfallaufnahme sind Augenzeugen und Unfallbeteiligte anzuhalten und ihre persönlichen Daten (Name, Anschrift, Kontakt) aufzunehmen. Ein Unfallbericht bzw. Unfallmeldung samt Skizze des Unfallhergangs ist auszufüllen, Fotos der Unfallstelle können zur Beweissicherung hilfreich sein. Von Unfallbeteiligten sind die Versicherungsdaten (Unternehmen, Versicherungsnummer, Versicherungskarte) auszutauschen.

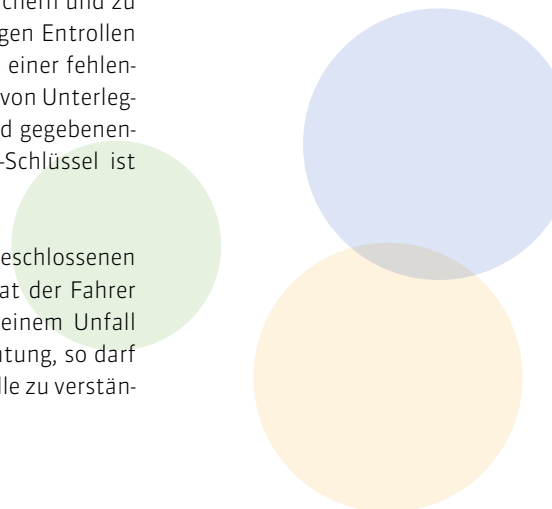
Verantwortlich für die Verständigung der notwendigen Hilfsorganisationen zur Hilfeleistung und zur Gefahrenabwendung ist die Leitstelle.

Verantwortlich für die Verständigung der Leitstelle ist der Obusfahrer des Fahrzeuges, das am Unfall bzw. an der Störung beteiligt ist oder als erstes an der Weiterfahrt behindert wird.

4.2 Verhalten bei technischen Störungen am Obus

Störungen am Obus können verschiedene Ursachen haben und unterschiedliche Maßnahmen erfordern. Muss ein Obus auf der Strecke abgestellt werden, so ist der Obus durch den Fahrer zu sichern und zu überwachen. Die Sicherung des abgestellten Obusses gegen Entrollen erfolgt durch Anziehen der Feststellbremse und, im Falle einer fehlenden oder gestörten Federspeicherbremse, durch Vorlegen von Unterlegkeilen. Weiters sind der Hauptschalter auszuschalten und gegebenenfalls die Stromabnehmer abzuziehen. Der Sperrschloss-Schlüssel ist abzuziehen und vom Fahrer an sich zu nehmen.

Im Falle von Isolationsstörungen am Obus ist noch bei geschlossenen Türen der Hauptschalter auszuschalten. Anschließend hat der Fahrer die Stromabnehmerstangen abzuziehen. Besteht nach einem Unfall der Verdacht einer Beschädigung der elektrischen Einrichtung, so darf kein Fahrversuch unternommen werden. Es ist die Leitstelle zu verständigen.



4.3 Abschleppen

Beim Abschleppen eines Obusses ist besondere Vorsicht erforderlich. In einem geschleppten Fahrzeug dürfen keine Fahrgäste befördert werden. Die Abschleppgeschwindigkeit darf die in den Gesetzen und Betriebsvorschriften festgelegte maximale Abschleppgeschwindigkeit nicht überschreiten. Am Heck des abgeschleppten Obusses ist das allgemeine Gefahrenzeichen („Im Schlepp“) anzubringen.

4.4 Verhalten im Brandfall

Wird an Bord des Obusses ein Brand festgestellt, so ist der Obus an einer geeigneten Stelle (wenn möglich außerhalb von Tunnels und Unterführungen) anzuhalten und zu sichern. Der Hauptschalter ist auszuschalten, jedoch darf der Obus keinesfalls abgerüstet oder die Bordnetzanlage (Batteriespannung) ausgeschaltet werden, da in diesem Fall Türen nicht mehr automatisch öffnen. Durch Betätigen der Türfreigabe ist den Fahrgästen das Aussteigen zu ermöglichen. Verletzte Personen sind festzustellen und aus dem Gefahrenbereich zu bringen. Durch Verständigung der Leitstelle werden die Einsatzorganisationen angefordert.

Der Fahrer hat die Stromabnehmer abzuziehen und kann mit Feuerlöschern nach Möglichkeit und Sinnhaftigkeit Löschversuche unternehmen.

4.5 Verhalten bei Entgleisung der Stromabnehmerstangen

Nach Feststellung einer Entgleisung der Stromabnehmerstangen ist unverzüglich, jedoch mit Rücksicht auf die Fahrgäste und den nachfolgenden Verkehr anzuhalten.

Die Stromabnehmerstangen, die Stromabnehmerköpfe und die Fahrleitung an der Entgleisungsstelle sind einer Sichtprüfung zu unterziehen. Es ist jedoch verboten, eine Stromabnehmerstange zu berühren, während die andere Stromabnehmerstange noch am Fahrdrabt angelegt ist. Weiters ist das Besteigen des Daches sowie das Berühren spannungsführender Fahrzeug- und Fahrleitungsteile verboten.

Vor dem Anlegen bzw. Abziehen der Stromabnehmerstangen ist der Hauptschalter auszuschalten. Bei jenen Obussen, in denen Abzugsstangen im Fahrgastraum verwahrt werden, soll die Türfreigabe nicht betätigt werden, sondern es muss die entsprechende Tür per Nothahn geöffnet werden. Damit wird eine verfrühte Freigabe der vorgewählten Türen zum Fahrgastwechsel vermieden.

Die Warnweste ist auf öffentlichen Straßen zu tragen.

Das Anlegen der Stromabnehmerstangen an die Fahrleitung darf nur mit den dafür vorgesehenen Stromabnehmer-Abzugsstangen erfolgen.

Jede Entgleisung der Stromabnehmerstangen ist unverzüglich der Leitstelle zu melden und in den Wagenpass einzutragen. Wird eine Beschädigung am Obus, der Fahrleitung oder an Dritten festgestellt, so ist neben der Meldung an die Leitstelle auch eine schriftliche Meldung zu verfassen. Stromabnehmer mit beschädigten Stromabnehmerschuhen dürfen nicht angelegt werden. Vor der Weiterfahrt sind weitere Weisungen durch die Leitstelle abzuwarten.



4.6 Störungen an Oberleitungsanlagen

Da zwischen den beiden Fahrdrähten (Plus- und Minusfahrdraht) die volle Betriebsspannung anliegen kann, ist besonders gegenüber herabhängenden Oberleitungsteilen Vorsicht geboten. Besteht für nachfolgend ankommende Verkehrsteilnehmer die Gefahr, mit herabhängenden Drähten in Berührung zu kommen, so ist der Obusfahrer des zuerst eintreffenden Obusses verpflichtet, die Gefahrenstelle entsprechend abzusichern. Eine Annäherung sowie das Berühren herabhängender Fahr- und Speiseleitungen sowie anderer damit in Verbindung stehender Drähte ohne Schutzmittel ist verboten.

Steht ein Fahrzeug mit herabhängenden Drähten in Berührung, so ist dafür zu sorgen, dass die Fahrgäste bis zum Eintreffen des Störungsdienstes unter beruhigendem Zureden im Fahrzeug verbleiben. Bricht jedoch gleichzeitig ein Brand aus, so ist über die Leitstelle eine Notabschaltung der Oberleitung zu veranlassen. Ist dies nicht möglich, so müssen die Fahrgäste zur Vermeidung von Spannungsüberschlägen (Schrittspannung!) aus dem Obus springen, und es ist dafür Sorge zu tragen, dass die Fahrbahn beim Ausstieg durch Auflegen von geeigneten Mitteln (zum Beispiel trockene Kleidung) isoliert wird.

Steht eine Person mit einer stromführenden Leitung in Berührung, darf diese nur mittels nichtleitender Gegenstände aus ihrer Lage befreit werden. Zum Wegziehen darf die Person nur an Kleidungsstücken angefasst werden. Der Helfende muss sich vorher auf einen ausreichend wirksam isolierten Belag, wie zum Beispiel eine Isoliermatte, ein Brett oder dicken trockenen Stoff, stellen. Weitere Hilfsmittel zur Entfernung des spannungsführenden Leiters können Stromabnehmer-Abzugsstangen und, wenn vorhanden, Rettungshaken aus nichtleitendem Material sein.



Verhindert ein Ausfall der Stromversorgung die Weiterfahrt, ist nach Möglichkeit die Eigengeschwindigkeit (Schwung) auszunützen und der Obus so abzustellen, dass der Straßenverkehr nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Die Stromabnehmer sind gegebenenfalls abziehen. Obusse mit Hilfsantrieb setzen ihre Fahrt mit dem alternativen System fort.

Bei wiederholten Stromunterbrechungen innerhalb kurzer Zeit ist Überlastung der Stromversorgung anzunehmen. In diesem Fall ist besonders vorsichtig und mit verminderter Geschwindigkeit zu fahren, bzw. soll das gleichzeitige Anfahren von mehreren Fahrzeugen vermieden werden. Gegebenenfalls kann die Leitstelle einzelne Abfahrtaufträge geben, um gleichzeitiges Anfahren zu vermeiden. Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlage und soweit möglich alle weiteren Nebenverbraucher sind abzuschalten.

Steht ein Fahrzeug der Oberleitungsmannschaft mit eingeschalteten, gelb blinkenden Leuchten an einer Obusanlage, so ist der Obus in ausreichendem Abstand vor dem Arbeitsfahrzeug anzuhalten. Der Fahrer des Obusses hat den Blickkontakt zur Oberleitungsmannschaft herzustellen und die Weiterfahrt erst nach erfolgter Signalabgabe durch die Oberleitungsmannschaft, eventuell anwesende Aufsichtsorgane oder über Anweisung der Leitstelle einzuleiten. Die Vorbeifahrt an der Gefährdungsstelle hat mit äußerster Vorsicht zu erfolgen. Die Geschwindigkeit darf dann erhöht werden, wenn die Stromabnehmer die Gefährdungsstelle passiert haben und es die Fahrdrathlage erlaubt.





5. Durchführung der Trainings

Das Training gliedert sich in fünf Phasen. Ziel ist es, während des Trainings einen wirtschaftlichen Fahrstil zu entwickeln und die gewonnenen Erkenntnisse im alltäglichen Linienbetrieb umzusetzen.

- **Einleitung und Funktionsweise des Systems „Obus“**
- **praktisches Fahren**
- **wirtschaftlicher Fahrstil mit einem Obus**
- **praktisches Fahren unter Beachtung der Erkenntnisse zum wirtschaftlichen Fahrstil**
- **Sicherheitsaspekte beim Lenken von Obussen**

Der Umfang der Schulung ist mit 7 Stunden bemessen.

Während der praktischen Teile wird der Energieverbrauch mit einer speziellen Software gemessen und abschließend in einem Fahrtenprotokoll dargestellt. In diesem Fahrtenprotokoll sind neben den Fahrtdaten (Länge, Dauer, Durchschnittsgeschwindigkeit) auch die Energiewerte ablesbar.

Für wirtschaftliches Fahren sind hinsichtlich des Energieverbrauchs die Werte für die gesamt aufgenommene Energie pro gefahrenem Kilometer und der Verbrauch aus dem Fahrbetrieb pro gefahrenem Kilometer ausschlaggebend.

Sinkt der Verbrauch durch die effektivere Fahrweise des Lenkers um 0,10 kWh, kommt es bei einer Fahrleistung von 5 Millionen Kilometern jährlich zu Energieeinsparungen in der Höhe von 500.000 kWh.



Name Muster
Fahrzeugnummer 308
Datum 01.06.2012

| Parameter | Zählerstand |
|--|-------------|
| Messdauert | 0,22 h |
| Distanz | 5,83 km |
| Durchschnittsgeschwindigkeit (für die Zeit, in der das Fahrzeug in Bewegung war) | 30,74 km/h |
| Gesamt aufgenommene Energie (elektrische Arbeit) aus der Fahrleitung | 10,74 kWh |
| Gesamt rückgespeiste Energie (elektrische Arbeit) in die Fahrleitung | 2,07 kWh |
| Gesamt aufgenommene Energie minus Gesamt rückgespeiste Energie | 8,67 kWh |
| Gesamt verbrauchte Energie für Antrieb | 10,07 kWh |
| Gesamt produzierte Energie von Antrieb | 3,58 kWh |
| Gesamt verbrauchte Energie für Hilfsbetriebe | 1,12 kWh |
| (Lenkung, Kompressor, Batterieladung) | |
| Gesamt verbrauchte Energie für Heizung | 0,00 kWh |
| Gesamt aufgenommene Energie pro gefahrenem Kilometer | 1,44 kWh/km |
| Gesamt rückgespeiste Energie pro gefahrenem Kilometer | 0,26 kWh/km |
| Gesamt aufgenommener Energie minus gesamt rückgespeiste Energie | 1,18 kWh/km |
| Verbrauch Fahrbetrieb pro gefahrenem Kilometer | 0,94 kWh/km |

Unterschrift _____

Drücken: 05.09.2014



Die ACTUATE Partner

Das ACTUATE Konsortium besteht aus fünf Nahverkehrsbetrieben aus **Salzburg** (Salzburg AG, Österreich), **Brno** (DPMB, Tschechische Republik, Parma (TEP S.p.A, Italien), **Leipzig** (LVB, Deutschland) und **Eberswalde** (BBG, Deutschland), die bereits elektrisch angetriebene Fahrzeuge betreiben, sowie den Leipziger Aus- und Weiterbildungsbetrieben (**LAB**), dem belgischen Busersteller **Van Hool** und **trolley:motion**, dem internationalen Verein zur Förderung innovativer, abgasfreier E-Bus-Systeme (Österreich). Das Projekt wird von der **Rupprecht Consult** GmbH (Deutschland) koordiniert.



Co-funded by the Intelligent Energy Europe
Programme of the European Union

actuate



Wirtschaftliches Fahren im Linienverkehr

3 Gebote für das Fahren im Linienverkehr

Gebot der Sicherheit

Dem Gebot der Sicherheit haben sich alle weiteren Gebote unterzuordnen.

Gebot der Pünktlichkeit

Pünktlichkeit ist im Linienverkehr Voraussetzung und bedeutet weder eine verfrühte, noch eine verspätete Abfahrt von einer Haltestelle.

Gebot der Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftliches Fahren bedeutet die Minimierung des Energieverbrauchs und die Schonung des Fahrzeuges unter der Beachtung der Gebote der Sicherheit und Pünktlichkeit

Beim Fahren im Linienverkehr geht Sicherheit vor Pünktlichkeit und Pünktlichkeit vor Wirtschaftlichkeit.



5 goldene Regeln für energieeffizientes Fahren

- das Beschleunigen soll rasch erfolgen
- das Beharren soll gänzlich vermieden werden
- der Rollanteil unter Einhaltung des Fahrplanes soll möglichst hoch sein
- unnötiges Bremsen soll vermieden werden und idealerweise nur mit der verschleißfreien elektrischen Bremse zur Rückgewinnung von Energie erfolgen
- bewusstes Verwenden der Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlage, wenn diese nicht ohnehin optimiert automatisch geregelt ist

Sicherheit

Richtiges Verhalten bei Unfällen

Der Fahrer hat mit Ruhe und Besonnenheit alle Mittel anzuwenden, um die Störung zu beseitigen, Schäden zu mindern und weitere Schäden zu vermeiden.

- Fahrzeug anhalten und Warnblinkanlage einschalten
- Fahrzeug gegen unbefugte Inbetriebnahme und mit der Feststellbremse gegen Entrollen sichern
- bei Bedarf sind die Stromabnehmer abzuziehen
- zum Eigenschutz Fahrzeug nur mit angelegter Warnweste verlassen
- Unfallstelle/Störungsstelle absichern
- Unfallbeteiligte aus dem Gefahrenbereich bringen
- Erste Hilfe leisten und Hilfe anfordern
- Unfallaufnahme, Zeugen anhalten und Datenaustausch

Verantwortlich für die Verständigung der notwendigen Hilfsorganisationen zur Hilfeleistung und zur Gefahrenabwendung ist die Leitstelle.

Verantwortlich für die Verständigung der Leitstelle ist der Obusfahrer des Fahrzeuges, das am Unfall bzw. an der Störung beteiligt ist oder als erstes an der Weiterfahrt behindert wird.

