

# ACTUATE - Präsentation

Fortbildung für sicheres, wirtschaftliches  
Fahren elektrisch betriebener Fahrzeuge  
- Straßenbahn -



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

actuate



# Wem nützt das „eco driving“?

**Eine wirtschaftliche Fahrweise bedeutet nicht nur die tatsächliche Einsparung von Energie.**

## ■ Dem Fahrer

- fährt entspannter, nicht gestresst
- weniger krankheitsanfällig, weniger Unfälle

## ■ Dem Fahrgast

- fühlt sich sicherer, weil er die Gelassenheit des Fahrers am Fahrstil spürt

## ■ Dem Fahrzeug und der Infrastruktur

- Es entsteht weniger Verschleiß, die Antriebsaggregate werden sorgfältiger behandelt und teure Infrastruktur weniger belastet.



## Wem nützt das „eco driving“?

### ■ Der Umwelt

- Es entstehen weniger Emissionen.

### ■ Dem Unternehmen

- Durch eine wirtschaftliche Fahrweise kann nach den Erfahrungen beim ACTUATE-Partner Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB, DE) eine (zusätzliche und nicht technisch basierende) Reduzierung des Fahrstromverbrauches von ca. 3 Prozent erreicht werden. Eine Beispielrechnung für die LVB: Bei einem Fahrstromverbrauch von etwa 60 GWh pro Jahr ist mit einer Einsparung von ca. 1,8 GWh für Leipzigs Tramflotte zu rechnen. Finanziell wäre das eine Einsparung von etwa 210.000 € pro Jahr für die LVB.



# Basiswissen



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

actuate



## Einflussfaktoren auf die wirtschaftliche Fahrweise bei Bus und Bahn:

- Fahrweise des Fahrers
- bewusstes Verwenden von Nebenverbrauchern (Klimaanlage, Heizung)
- Linienführung, Verkehrsdichte und Besetzung
- Rollanteil bewusst nutzen
- verwendete Software der elektronischen Steuerung



**Eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit erreicht man nicht durch vereinzelt hohe Fahrgeschwindigkeiten, sondern durch eine gleichmäßige Fahrweise!**



## Wo lässt sich Energie sparen?

Zu hoher Energieverbrauch auf der Strecke!

Gründe können sein:

- Stress
- unsaubere und unüberlegte Fahrweise
- „Spielen“ mit dem Sollwertgeber
- zu lange Beschleunigung
- Zu geringer Rollanteil



## Ideale Fahrweise in der Ebene



- ✓ Kräftig und gleichmäßig beschleunigen (Fahrgastkomfort beachten)
- ✓ Fahrzeug so lange wie möglich rollen lassen
- ✓ Gemütlich und gleichmäßig abbremsen



## Faktoren die den Bremsweg beeinflussen

- Fahrgeschwindigkeit
- die Schienenverhältnisse
- die Streckenverhältnisse
- Art und Anzahl der eingesetzten Bremsen
- die Besetzung / Ladung des Fahrzeugs
- Eigenschaften des Fahrzeuges

**Verdoppelt man die Geschwindigkeit, vervierfacht sich der Bremsweg.**



## Motoren bei Straßenbahnen

Fremderregter Gleichstrommotor  
mit (Chopper) → Tatra



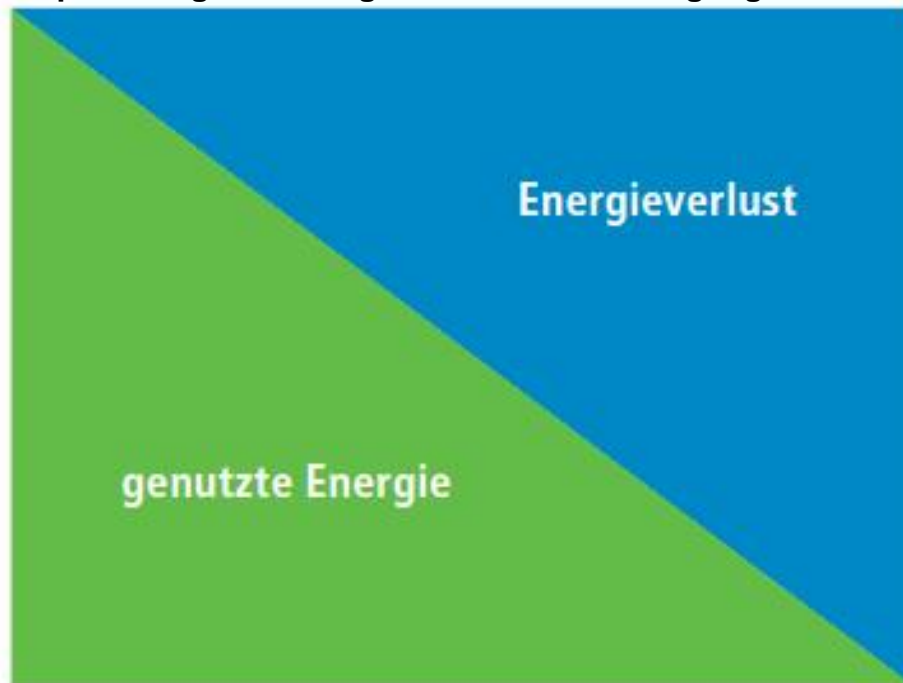
Drehstromasynchronmotor  
→ NGT 6 (Leoliner),  
NGT 12 (XXL)

**Beispiel: Alle Leipziger Fahrzeuge können Bremsstrom zurück speisen! (Rekuperation = Nutzbremse):  
67% (abends) - 98% (im Berufsverkehr) der zurückgespeisten Energie werden genutzt!**



## Wichtiger als die Motoren ist die Steuerung für den Energieverbrauch

Energieverlust einer Widerstandssteuerung bei optimaler gleichmäßiger hoher Beschleunigung

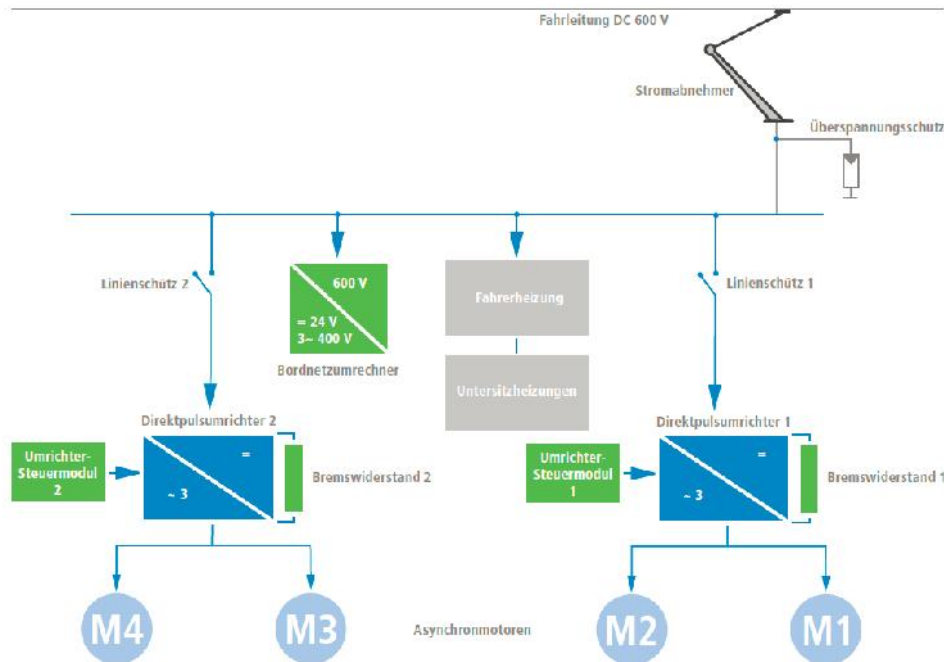


Am unwirtschaftlichsten ist zweifellos die Widerstandssteuerung.  
50% der aufgenommenen Energie werden selbst bei optimaler Fahrweise in Wärme umgewandelt und vernichtet.

Rückspeisung gibt es hier nicht!



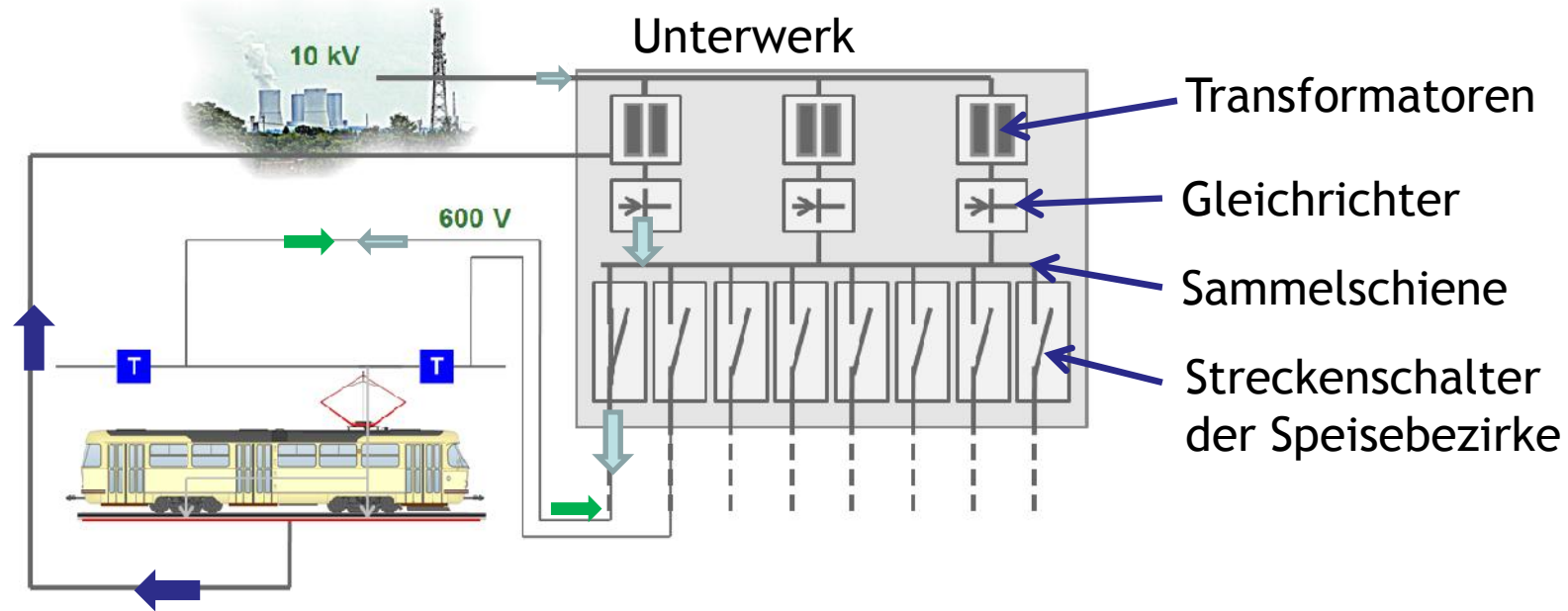
## Wichtiger als die Motoren ist die Steuerung für den Energieverbrauch



Die in Neufahrzeugen üblichen IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) und Chopper- Steuerungen sind sehr effizient. Hier wird nur soviel Strom aufgenommen, wie der Motor verarbeitet. Doch wieviel Strom der Motor verarbeiten soll, wird durch den Fahrer bestimmt. denn er bestimmt mit dem Sollwertgeber oder Fahrpedal die Stromaufnahme und beim Bremsen die Zeitdauer und Intensität der Rückspeisung.



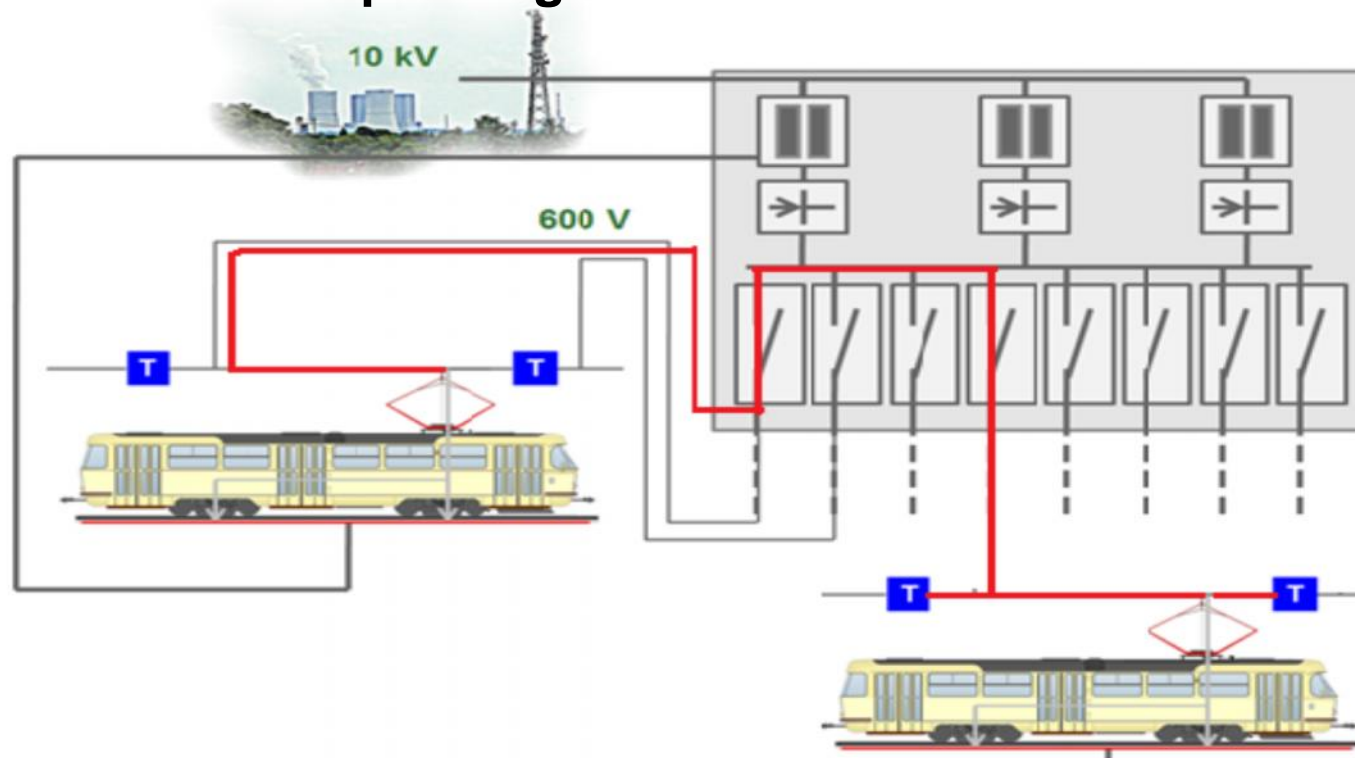
## Einfacher Stromverlauf



Vom Kraftwerk kommen 10kV Wechselstrom zum Unterwerk. Dieser Strom wird auf 600V transformiert, gleichgerichtet und führt auf eine Sammelschiene, von welcher die einzelnen Speisebezirke abzweigen.

Nach der Verrichtung im Fahrzeug wird der Strom über Rückleitungskabel zurückgeleitet (Reststrom).

## Stromverlauf mit Rückspeisung



Bei der Rückspeisung (Rekuperation) wird der nicht benötigte Strom vom Fahrzeug in die Fahrleitung zurück gespeist.

Der zurück gespeiste Strom geht auf die Sammelschiene, so dass er von allen Fahrzeugen genutzt werden kann, die den Strom von der Sammelschiene dieses Unterwerkes beziehen.

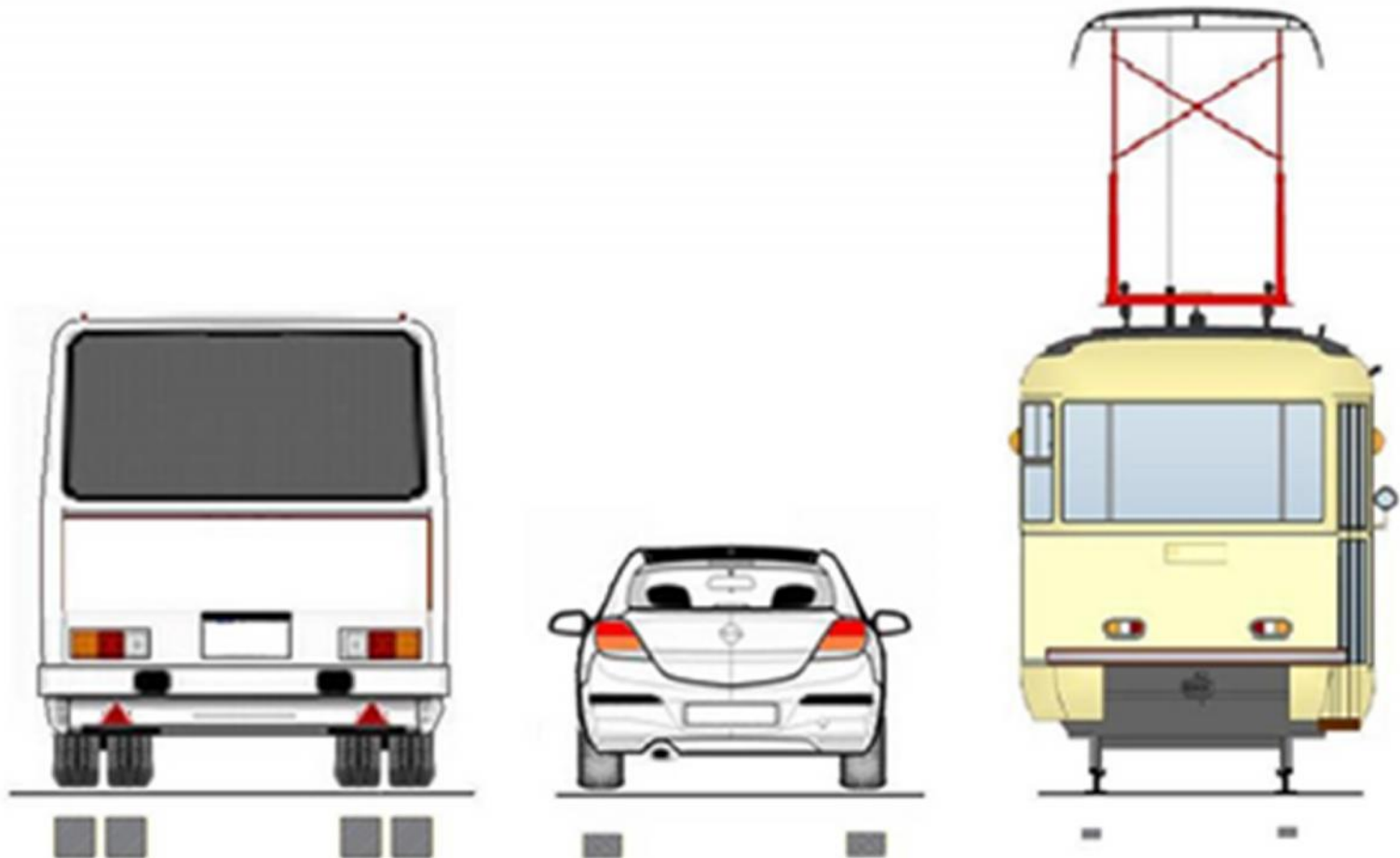
## Fahrdynamik: Zwischenmedien

**Die Kräfte zwischen Rad und Schiene (Haftzugkraft) hängen ab von:**

- ◆ Den Materialeigenschaften
  - ▶ Stahl auf Stahl
- ◆ Dem Zwischenmedium
  - ▶ Verschmutzungen, abgeriebenes Material, Oxidschichten, Laub, Sand, Schnee
- ◆ Gesamtzugkraft des Fahrzeuges
  - ▶ muss stets kleiner oder maximal gleich groß sein als die Haftzugkraft
- ◆ Der Flächenpressung
  - ▶ Auflage der Lauffläche des Rades auf der Fläche des Schienenkopfes → Haftgewicht



## Fahrdynamik: Rollreibung



## Fahrzeugtechnik: Gleichstrommotor mit Nutzbremse

- ➔ Bei einer **elektromotorischen Bremse**, oder auch elektrischen Generatorbremse , häufig auch generatorische Bremse genannt, wird der Antriebsmotor beim Abbremsen als Generator verwendet.
- ➔ Es wird Energie zurück in das Stromnetz (Fahrleitung) gespeist. In manchen Bahnen wird auch die Heizung mit dem erzeugten Strom gespeist oder die Batterie geladen. Hierzu sind jedoch Zusatzaggregate erforderlich.
- ➔ Dieser Vorgang wird Rekuperation genannt, die entsprechenden Bremsen auch als Rekuperationsbremsen bezeichnet.  
(recuperare = lateinisch „wiedererlangen“, „wiedergewinnen“ )



# Praktisches Fahren



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

actuate



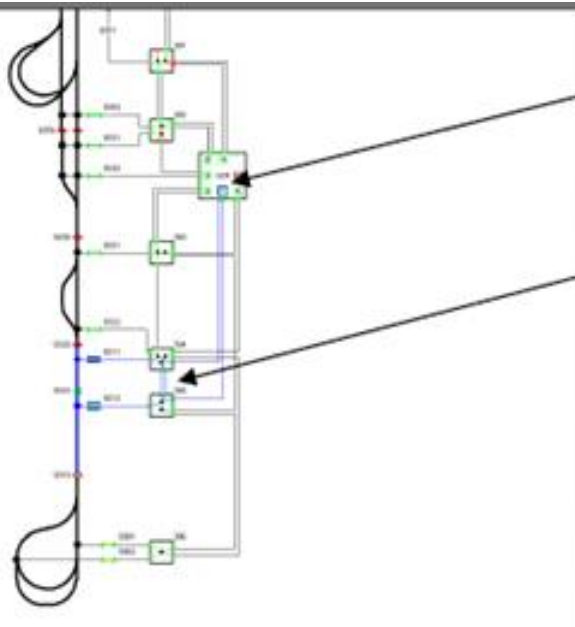
## Hinweise zum praktischen Teil des Trainings

- Auswahl einer „realen“ Fahrtenroute/ Linie für praktischen Teil (möglichst realistische Rahmenbedingungen schaffen, z.B. Bus im aktuellen Linienbetrieb folgen), um möglichst realitätsnah Anfahren, Halten und Abfahren an Bushaltestellen zu simulieren)
- Festlegen einer bestimmten Reihenfolge der Fahrer/innen
- Energiemessung der Fahrt vorbereiten
- Anwendung des „normalen Fahrstils“ (Vorher-Fahrt)
- Für „Nachher-Fahrt“ möglichst gleiche Fahrtroute und gleiche Reihenfolge der Fahrer ermöglichen
- Fahrweise mit Einbezug der im Theorieteil vermittelten Informationen während Nachher-Fahrt vermitteln
- erneute Energiemessung zur Vergleichbarkeit möglicher Energieverbrauchs-reduzierung gegenüber Vorher-Fahrt ermöglichen



## Verbrauchserfassung vor und nach der Schulung

1. Messung von Einzelfahrten im definierten Streckenabschnitt
2. Messung einer Linie im definierten Streckenabschnitt
3. Individuelle Bewertung der Fahrweise durch Beobachter



Messung im Unterwerk am Streckenabgang;  
Strom- und Spannungsmessung mit  
Leistungsberechnung

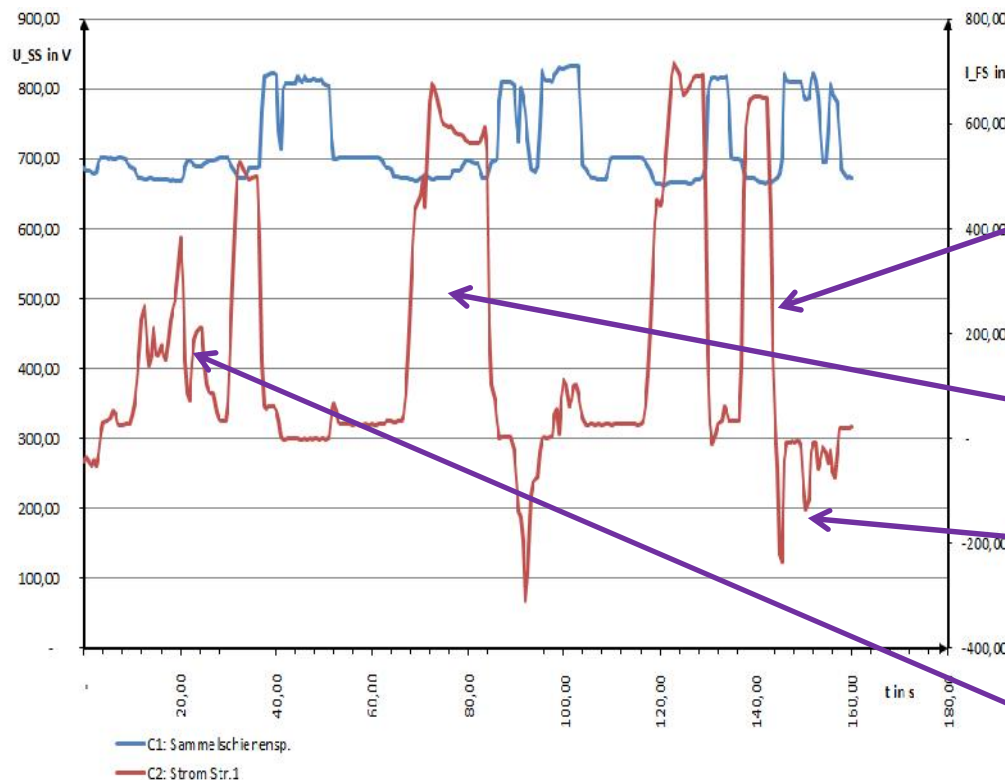
### **Nebenbedingungen:**

eingleisige Strecke mit Signalisierung  
keine zusätzlichen Nebenverbraucher  
teilweise Straßenbenutzung mit MIV  
Haltestellen



## Energieverbrauchsmessung

Messung mit ungeschultem Personal → keine optimale Stromkurve durch eine unruhige, stressige Fahrweise → Sollwertgeber wird laufend bewegt!



= schlechtes Fahrverhalten

Vom Beschleunigen direkt  
in die Bremse

Langes Beschleunigen

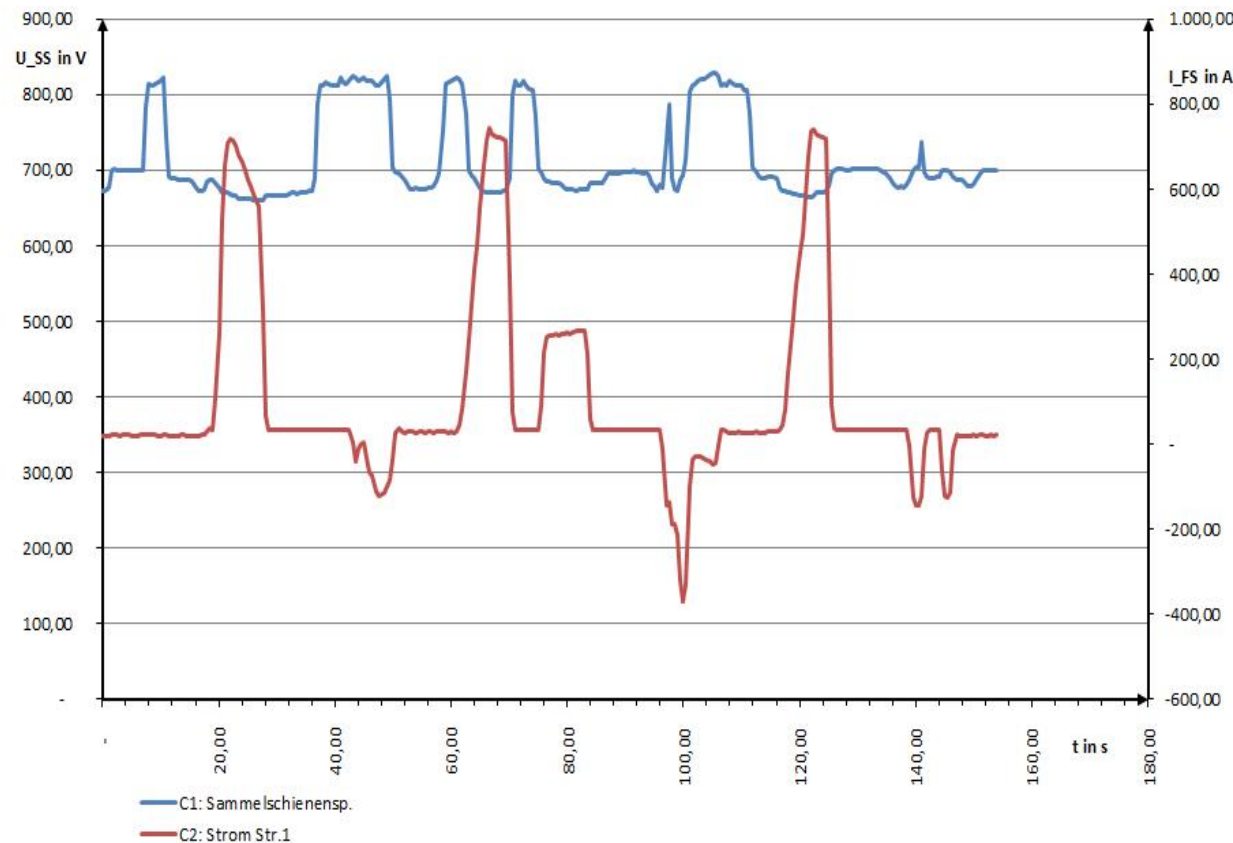
Bremsen mit Rückspeisung

Ungleichmäßiges, langes und  
unausgeglichenes Beschleunigen



## Energieverbrauchsmessung

Messung mit geschulten Personal → Ideale Stromkurve durch eine ruhige, einfache Fahrweise



= gutes Fahrverhalten

3 x kurze und kräftige Beschleunigungen und eine Zwischenbeschleunigung

3 Bremsungen mit Rückspeisung

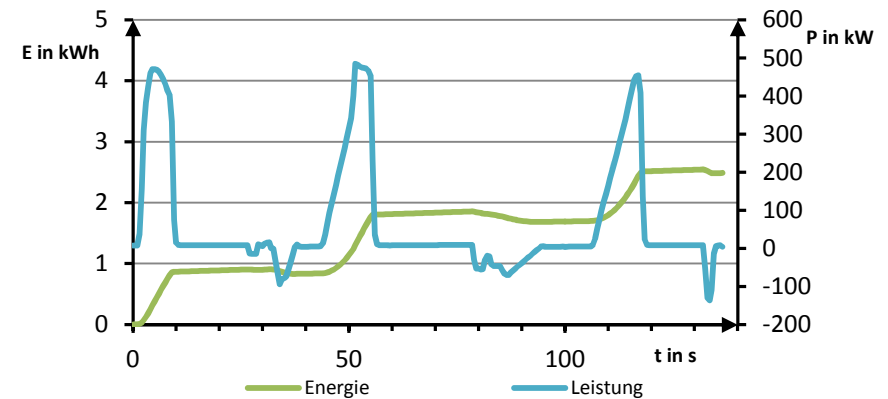
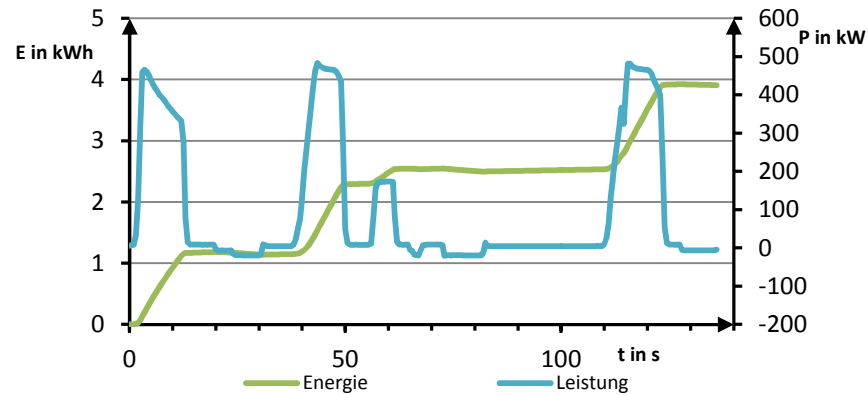
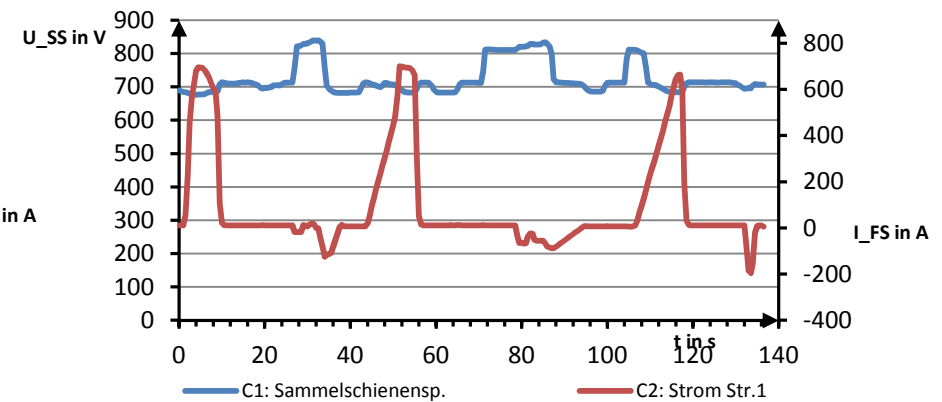
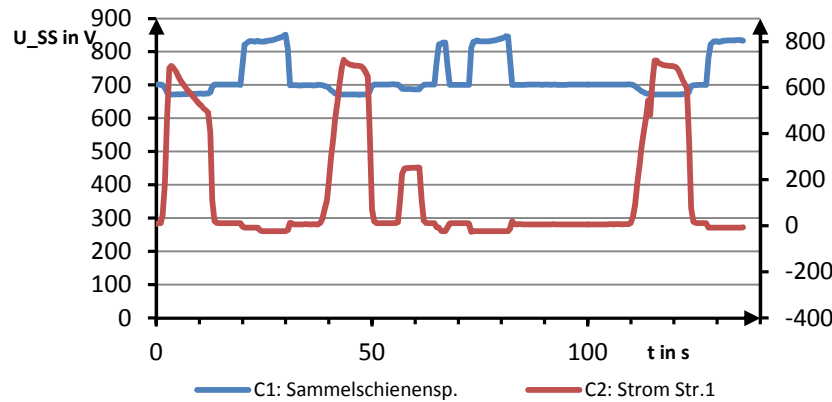


## Ergebnisse der Energiemessungen in Leipzig

Tram Evaluation  
T4D/T4D/NB4 = Tatra  
mit Beiwagen von  
Bombardier



## Tram Evaluation T4D/T4D/NB4 vor und nach den Trainings



## Tram Evaluation

Energieverbrauch T4D/T4D/NB4

## Vergleich

	<b>kWh</b>	<b>kWh/km</b>	<b>t/s</b>
Vor dem Training	3,98	4,55	137
Nach dem Training	2,49	2,98	138
Effekt	-44,5%		+0,7%



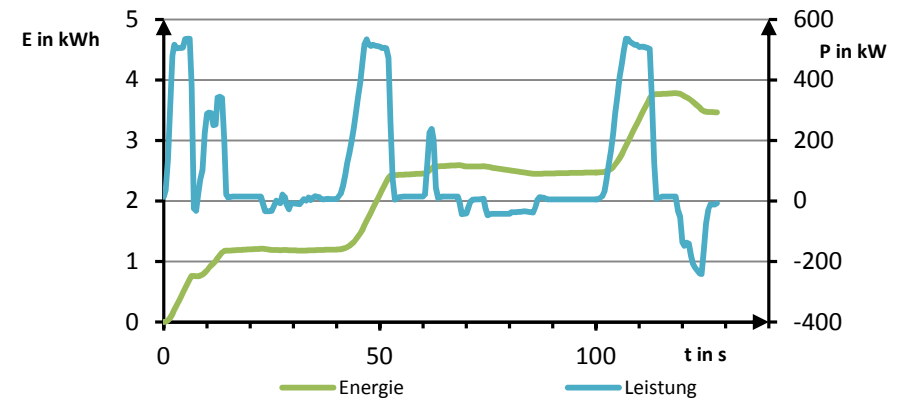
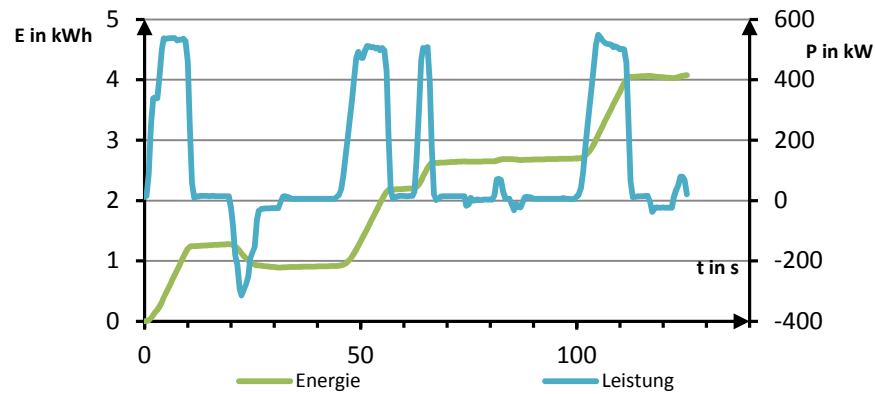
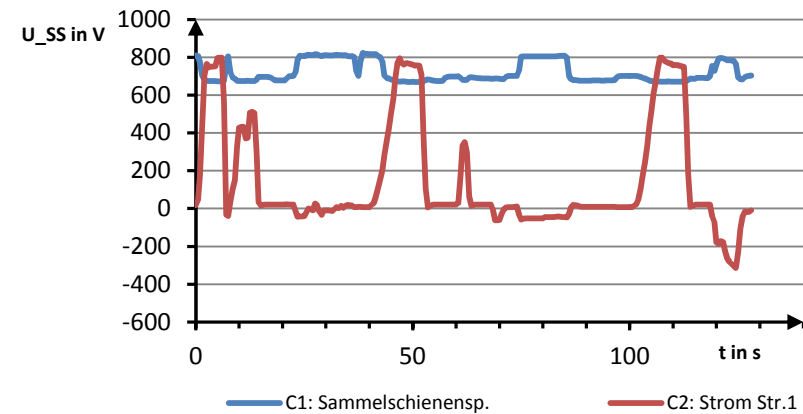
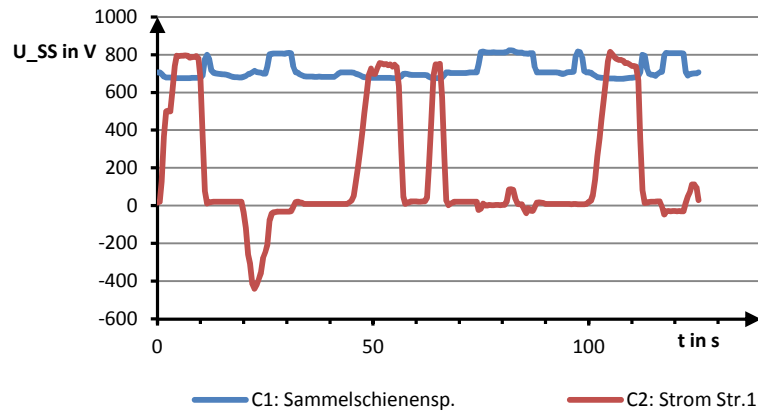
## Tram Evaluation NGT12 Bombardier Classic



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



## Tram Evaluation NGT12 vor und nach den Trainings



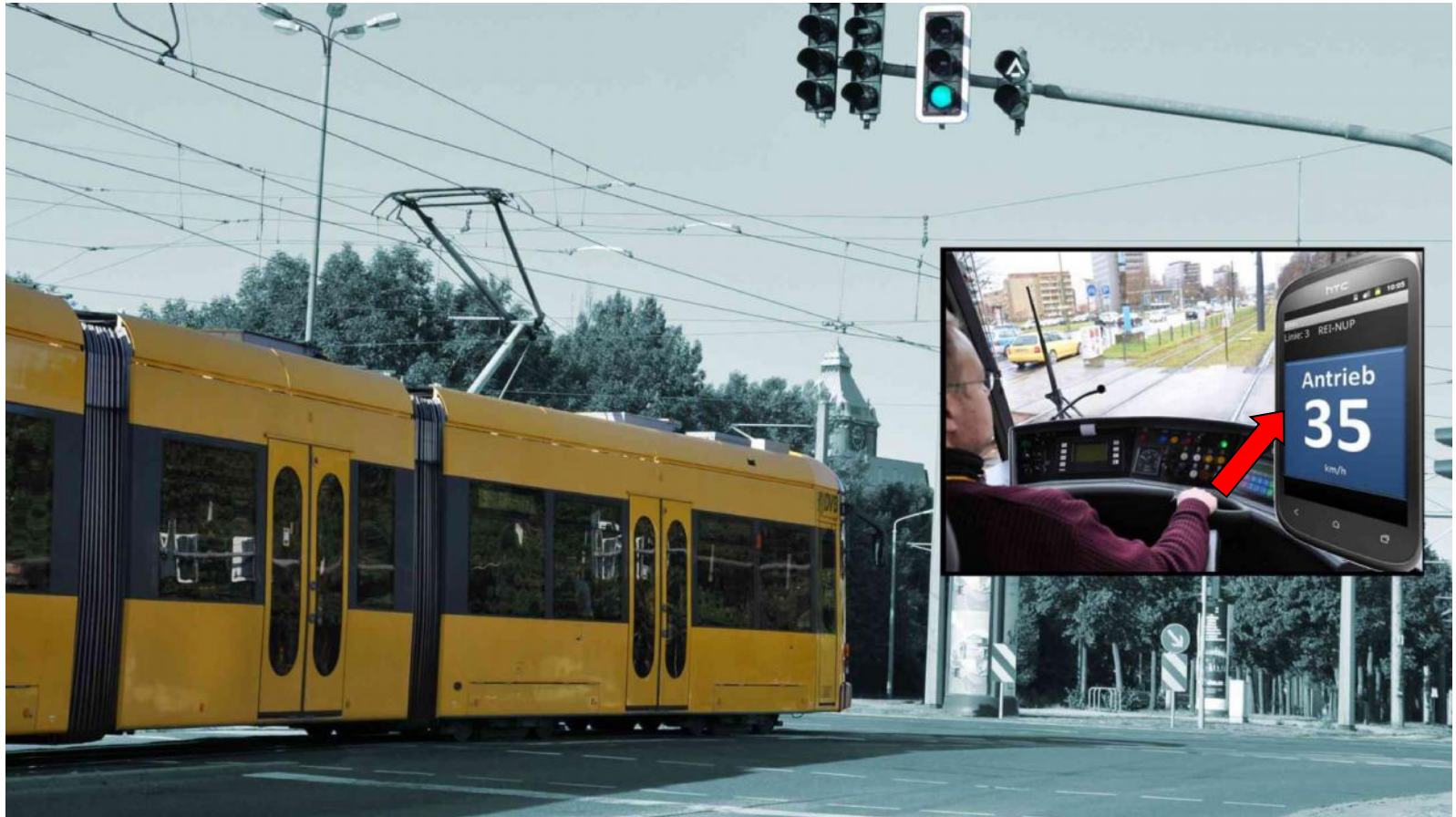
## Tram Evaluation

### Energieverbrauch NGT12 Bombardier Classic Vergleich

	<b>kWh</b>	<b>kWh/km</b>	<b>t/s</b>
Vor dem Training	4,02	4,60	127 s
Nach dem Training	3,48	3,98	128 s
Effekt	-14,5%		+0,8%



## Auch neue Technik lässt sich nutzen, sie gibt die Fahrweise wie ein Linienprotokoll vor!



## Die 6 goldenen Regeln für eine energiesparende Fahrweise!

- Fahrzeug langsam und gleichmäßig beschleunigen
- Dabei die Haftreibung beachten
- Bei Erreichen der gewollten Geschwindigkeit in Nullstellung gehen und das Fahrzeug rollen lassen
- Immer vorausschauend fahren
- Rechtzeitig mit der Bremsung beginnen
- Gleichmäßig bremsen



# Sicherheitsaspekte bei Straßenbahnen



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

actuate



# Verhalten bei Entgleisung

- Grundsatz Sichern- Retten- Melden
- Unverzüglich Stromabnehmer abziehen , Wagen ausschalten,
- dann erst Fahrgäste aussteigen lassen
- vor Verlassen der Bahn Warnweste anziehen
- Türen per Hand aufdrücken und Fahrgäste aussteigen lassen
- Fahrzeug nach allen Seiten absichern
- Wenn Fahrzeug im Profil anderer Gleise betroffen steht, sind diese besonders abzusichern
- Verkehrsleitstelle verständigen und auf Unfallhilfswagen der Werkstatt (zum Eingleisen) abwarten
- Ist Fahrzeug eingegleist- ohne Fahrgäste mit maximal 20 km/h zum Betriebshof



# Verhalten bei Fahrleitungsschäden

- Grundsatz: Sichern – Retten – Melden
- Stelle mit herabhängenden Fahrleitungsteilen weiträumig absichern
- Keinesfalls berühren (Gleichstrom → Gefahr des Festklebens)
- Alle herabhängenden Fahrleitungsteile sind als spannungsführend zu betrachten, obwohl im Regelfall der Automat im Unterwerk bei Fahrleitungsschäden und fällt die Strecke automatisch abschaltet
- das Berühren herabhängender Teile ist verboten
- Verkehrsleitstelle verständigen
- Sollte die Fahrspannung im Ausnahmefall nicht abschalten, geschieht dies unverzüglich über die Energiezentrale per Fernabschaltung



# Fahrspannungsausfall durch Überlastung

- Möglichst mit vorhandenem Schwung zum nächsten Streckentrenner rollen (im nächsten Abschnitt könnte noch Strom fließen)
- Erster Wagen lässt Stromabnehmer angelegt, folgende Wagen ziehen Stromabnehmer ab (wegen nichtabschaltbaren Nebenverbrauchern)
- Verkehrsleitstelle verständigen
- Kommt Strom wieder, fährt erster Wagen mit niedriger Anfahrstufe bis zum nächsten Streckentrenner
- Ist dieser dort folgen in gleicher Weise nacheinander die anderen Fahrzeuge



# ACTUATE



**Danke für Ihre Aufmerksamkeit!**



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

actuate

