

ECOTRAM

Evaluierung von Energiesparmaßnahmen bei Straßenbahnen unter realen Betriebsbedingungen

Dipl.-Ing G. Richter



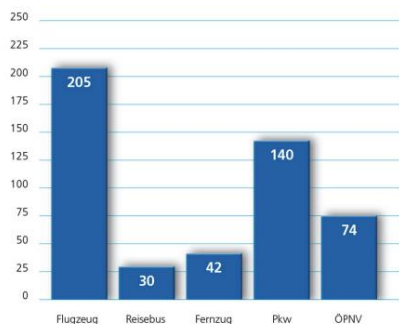
Dipl.-Ing. Dr. W. Struckl



Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

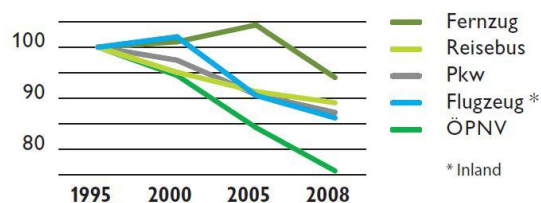
Energiebedarf im Personenverkehr

Spezifische CO₂-Emissionen für den Personenverkehr in g/Pkm, Flugzeug (nur Inland)



ifeu 2011, Datenbank Umwelt & Verkehr (Bezugsjahr 2010)
Grafik: Allianz pro Schiene

Spezifischer Energiebedarf im Personenverkehr
Index 1995 = 100



Spezifischer Energiebedarf im Personenverkehr Deutschland 2008, bundesweiter Durchschnitt. Quelle: ifeu, Datenbank Umwelt & Verkehr 2010

Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

Wieviel Energie wird für die Klimatisierung einer Straßenbahn benötigt?

Wie kann diese gesenkt werden?



Foto: Wiener Linien

Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Forschungsprojekt „EcoTram“ 2010 bis 2014



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

► Phase 1

- Messung des Energieverbrauchs an der Straßenbahn "Ulf"
- Identifikation von möglichen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz der HKL

► Phase 2

- Entwicklung der gewählten Maßnahmen
- Integration in das Fahrzeug
- Überprüfung im Klima-Wind-Kanal und auf der Strecke

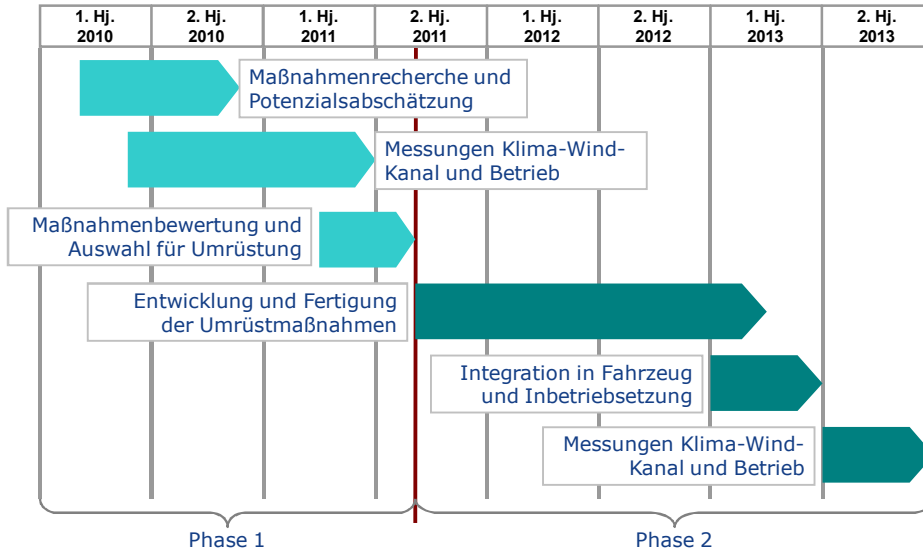


Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Projektzeitplan - Grobstruktur



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

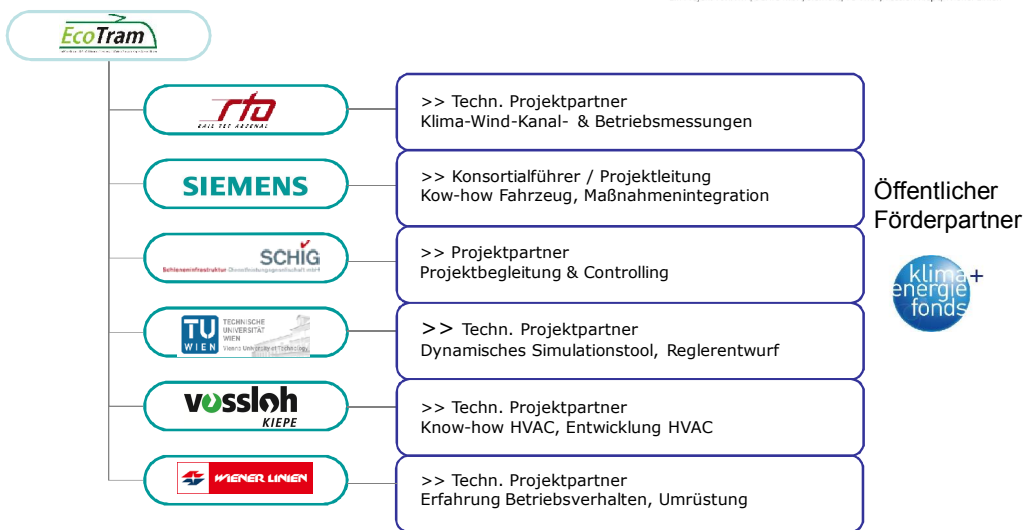


Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Partner: Kompetenz aus jeder Perspektive



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

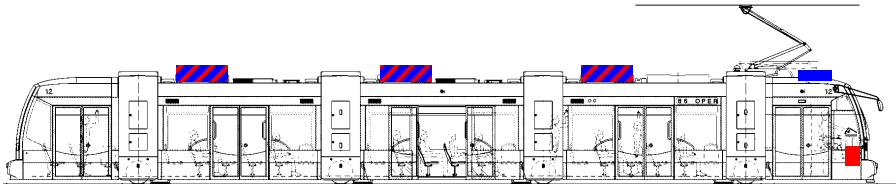


Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Klimageräte des Fahrzeugs „ULF A1“



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien



Elektrische Versorgung:	24 VDC (Kontroller)
	3x400 VAC (Lüfter, Kompressor)
	600 VDC (Heizregister)
Heizleistung:	22 kW
Kälteleistung:	11,5 kW
Frischluft:	1400 m ³ /h
Größe:	max. 1700 x 1400 x 495 mm
Gewicht:	ca. 270 kg



Quelle: VKA



Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Messungen im Klima-Wind-Kanal



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

- ▶ Messung der elektrischen Leistungsaufnahme der drei Fahrgastraum-Klimageräte
- ▶ Rampenversuche in einem Temperaturbereich von +0 bis +28 °C mit einem Gradienten von 3 K/h, Variation der Randbedingungen wie Sonnensimulation und Besetzungssimulation und stationäre Versuche
- ▶ Ermittlung von k-Wert, Wärmekapazität und Luftmengen
- Leistungsaufnahme der Klimageräte in Abhängigkeit von der Außentemperatur



Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Messungen im Betrieb bei den Wiener Linien



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

► Juni 2010 bis September 2011

- 6039 Stunden Messung
- > 5 GB Messdaten
- 59.435 km
- 113 MWh gesamt Energieverbrauch
- 32 MWh Energie für Klimageräte



Quelle: Google

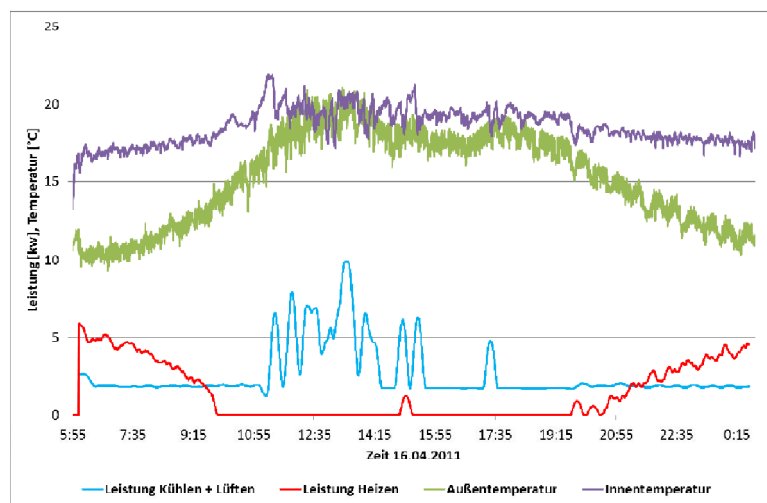


Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Leistungsaufnahme an einem typischen Frühlingstag



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

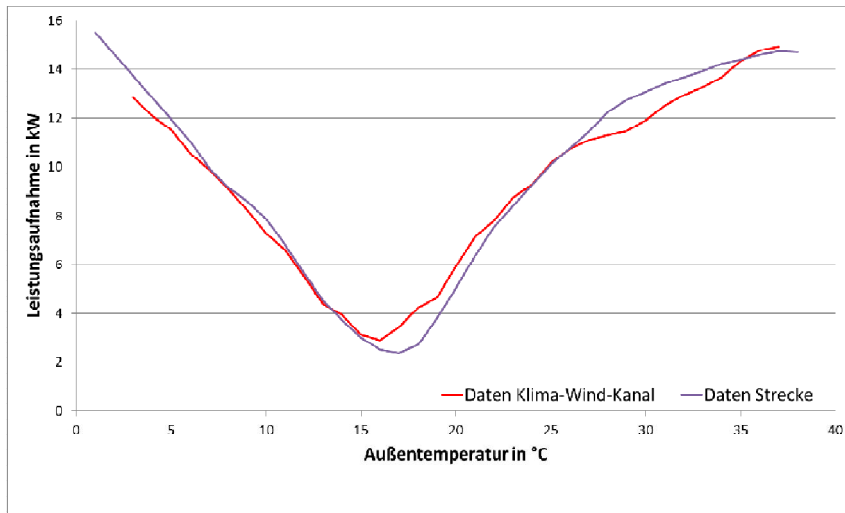


Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Leistungsaufnahme der 3 Klimageräte



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

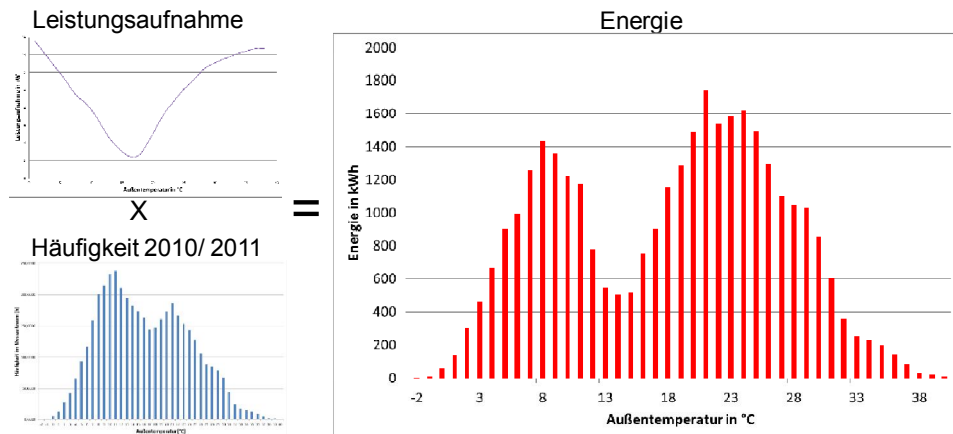


Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Berechnung des Jahresenergieverbrauchs



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien



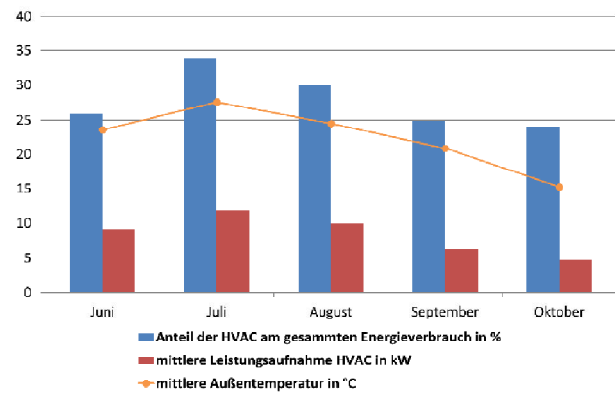
Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Energieverbrauch der Klimageräte – Ulf A1



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

- ▶ Bis zu 1/3 der gesamten Energie werden für die Klimatisierung der Straßenbahn benötigt.
- ▶ Die durchschnittliche Leistungsaufnahme beträgt 7,7 kW
- ▶ Ca. 32.500 kWh pro Fahrzeug und Jahr



Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

EcoTram Phase 2 2011 bis 2014



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien



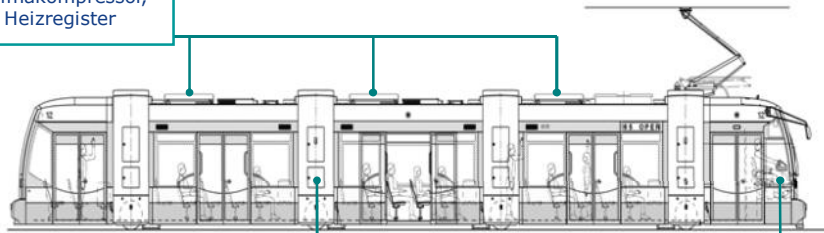
Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Umgesetzte Maßnahmen:



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

Energieeffizientes HVAC:
Wärmepumpe, frequenz-
variabler Klimakompressor,
stufenloses Heizregister



Modifikationen am Fahrzeug:
Besetzungsabhängige
Frischlufthmenge,
Sonnenschutzfolien

Energieeffiziente Regelung:
Modell-Prädiktiver Regler



Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Energieeffizientes Klimagerät



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

- ▶ Variable Frischluftmenge durch drehzahlgesteuertem Umlüfter und zusätzliche Frischluftklappe
- ▶ Nutzung der Kälteanlage als Wärmepumpe mit frequenzvariablem Kompressor
- ▶ Stufenloses Heizregister, verschleißfrei mit Halbleitern
- ▶ COP der Wärmepumpe von 4,22 im günstigsten Fall

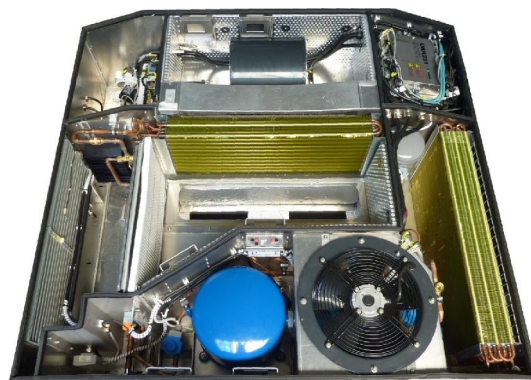


Foto: VKA



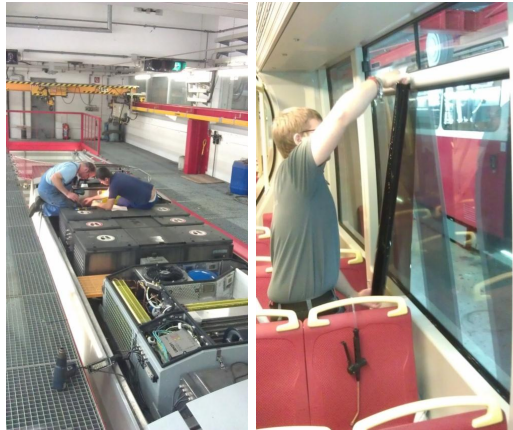
Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Änderungen am Fahrzeug



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

- ▶ Adaption der Stromversorgung und des Umrichters
- ▶ Besetzungsabhängige Steuerung der Frischluftmenge über CO2-Sensoren
- ▶ Beklebung der Fenster mit Sonnenschutzfolien.



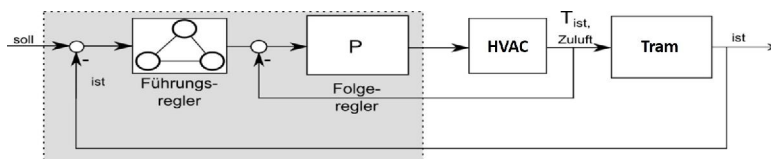
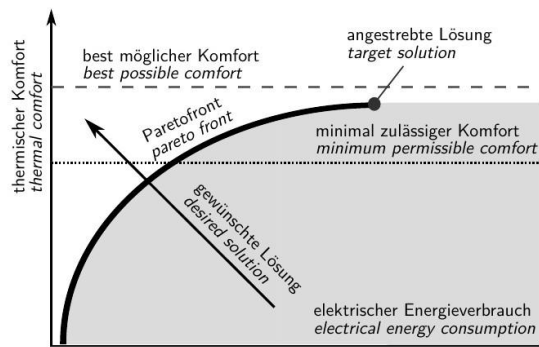
Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Modell-prädiktiver Regler



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

- ▶ Der Führungsregler berechnet die notwendige Heiz- bzw. Kühlleistung
- ▶ Der anschließender Folge-regler wählt, aus einem Kennfeld den sparsamsten Schaltzustand
- ▶ 1,2 Mio. statt 72 Schaltzustände



Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

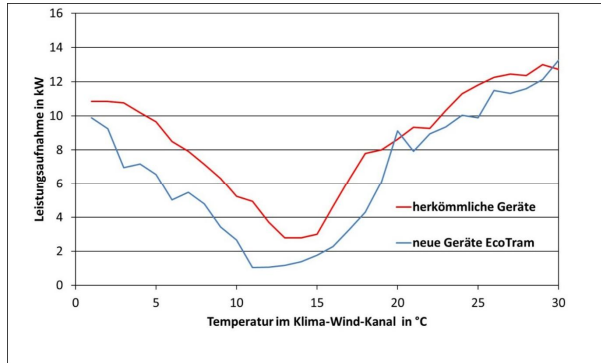
Quelle: TU Wien

26 % Einsparung im Klima-Wind-Kanal



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

- ▶ Berechnung der Einsparung anhand der Wetterdaten 2010/11 bezogen auf der HKL System gegen über dem des Serienfahrzeugs ULF A1
- ▶ Auf Basis eines angenommenen Besetzungsgrads und Sonneneinstrahlung ist ein objektiver Vergleich möglich



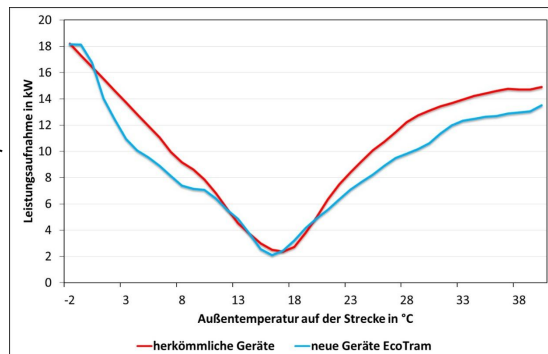
Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Einsparung der Klimageräte im Betrieb Juli 2013 – Mai 2014



Ein Projekt von: RTA, SCHIG mbH, Siemens, TU Wien, Vossloh Kiepe, Wiener Linien

- ▶ Die Zuverlässigkeit der Wärmepumpe konnte bewiesen werden
- ▶ Bei einem Energieverbrauch der Klimageräte je Fahrzeug und Jahr von 32500 kWh ergeben sich 4225 kWh/Jahr bei 13 % Einsparung (Einfamilienhaushalt)
- ▶ Vergleichbarkeit im Betrieb ist durch viel unterschiedliche Randbedingungen schwierig



Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Zusammenfassung



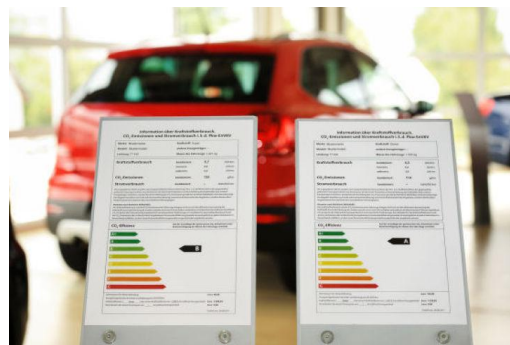
1. Mit modernen Klimageräten kann Energie für die Klimatisierung von Schienenfahrzeugen eingespart werden.
2. Viele Maßnahmen können bei der Neuentwicklung von Klimageräten und Fahrzeugen einfach und wirtschaftlich umgesetzt werden.
3. Entwicklungspotenzial bietet die Auslegung des Kältekreislaufs für die Nutzung als Wärmepumpe und die Möglichkeit, die Klimaanlage mit neuen Methoden zu regeln.

Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014

Kein Verfahren zur Messung des Energieverbrauchs vorhanden



- ▶ Schwierige Bewertung von Sparmaßnahmen
- ▶ Keine genormten Vergleichsmöglichkeiten bei der Beschaffung von Neufahrzeugen



Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Dipl.-Ing G. Richter



Dipl.-Ing. Dr. W. Struckl



Richter, Rail Tec Arsenal; Dr. Struckl, Siemens; 9/2014