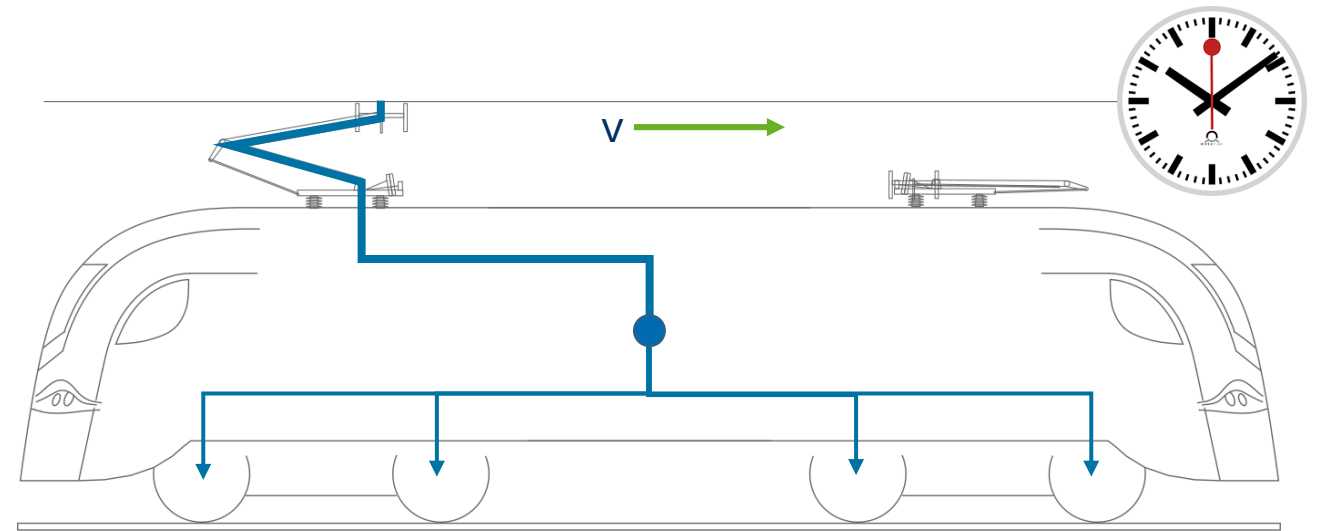
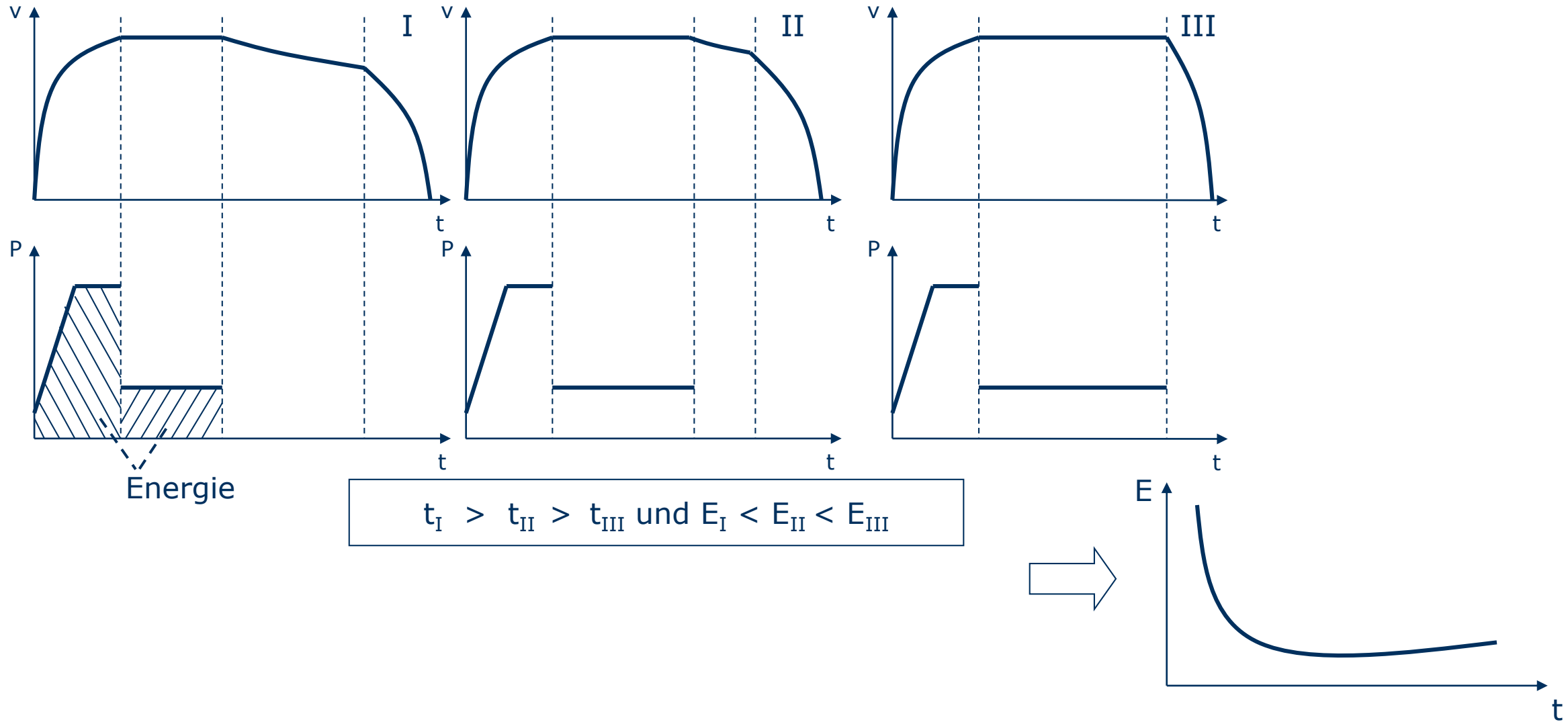


# Vorlesungsinhalte

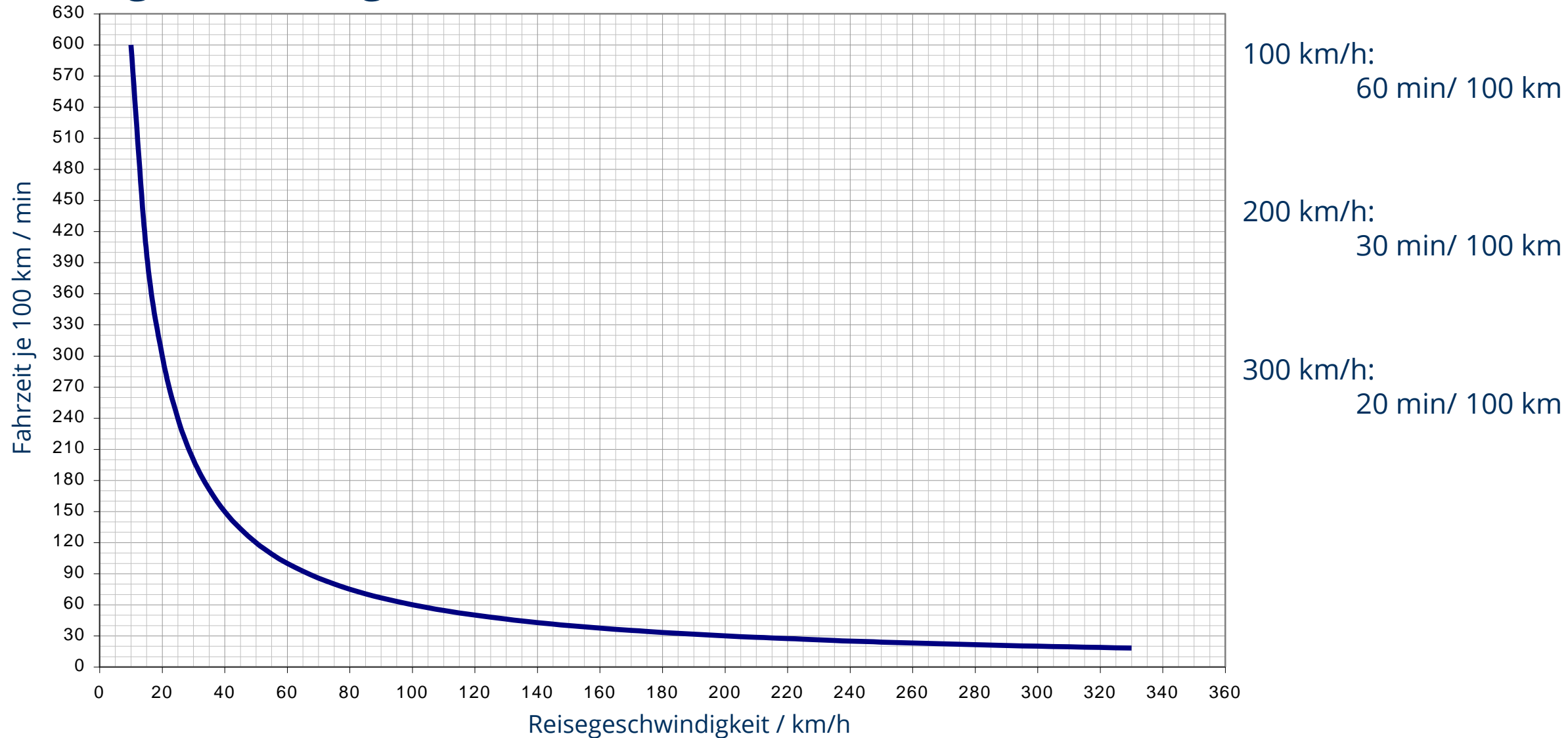
- 0 Einführung
- 1 Grundlagen
- 2 Fahrwiderstandskräfte
- 3 Antriebskräfte
- 4 Bewertung des Traktionsvermögens
- 5 Leistungs- und Energiebedarf
- 6 Betrachtungen zu Energie und Fahrzeit**
- 7 Grundlagen der Fahrzeitberechnung
- Rechnerpraktikum Zugfahrtsimulation



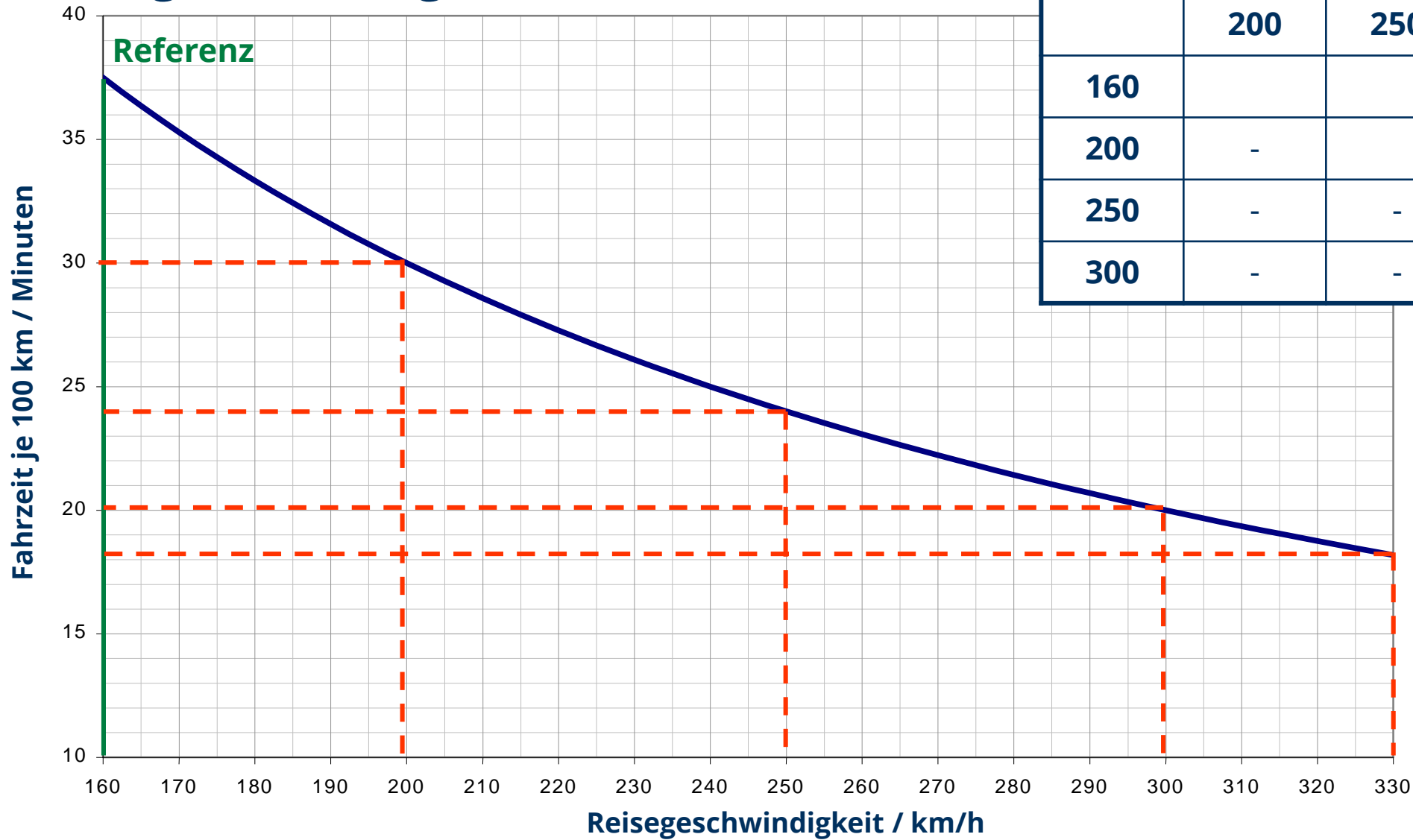
# Grundzüge des Energiesparenden Fahrens



# Reisegeschwindigkeit und Reisezeit I



# Reisegeschwindigkeit und Reisezeit II



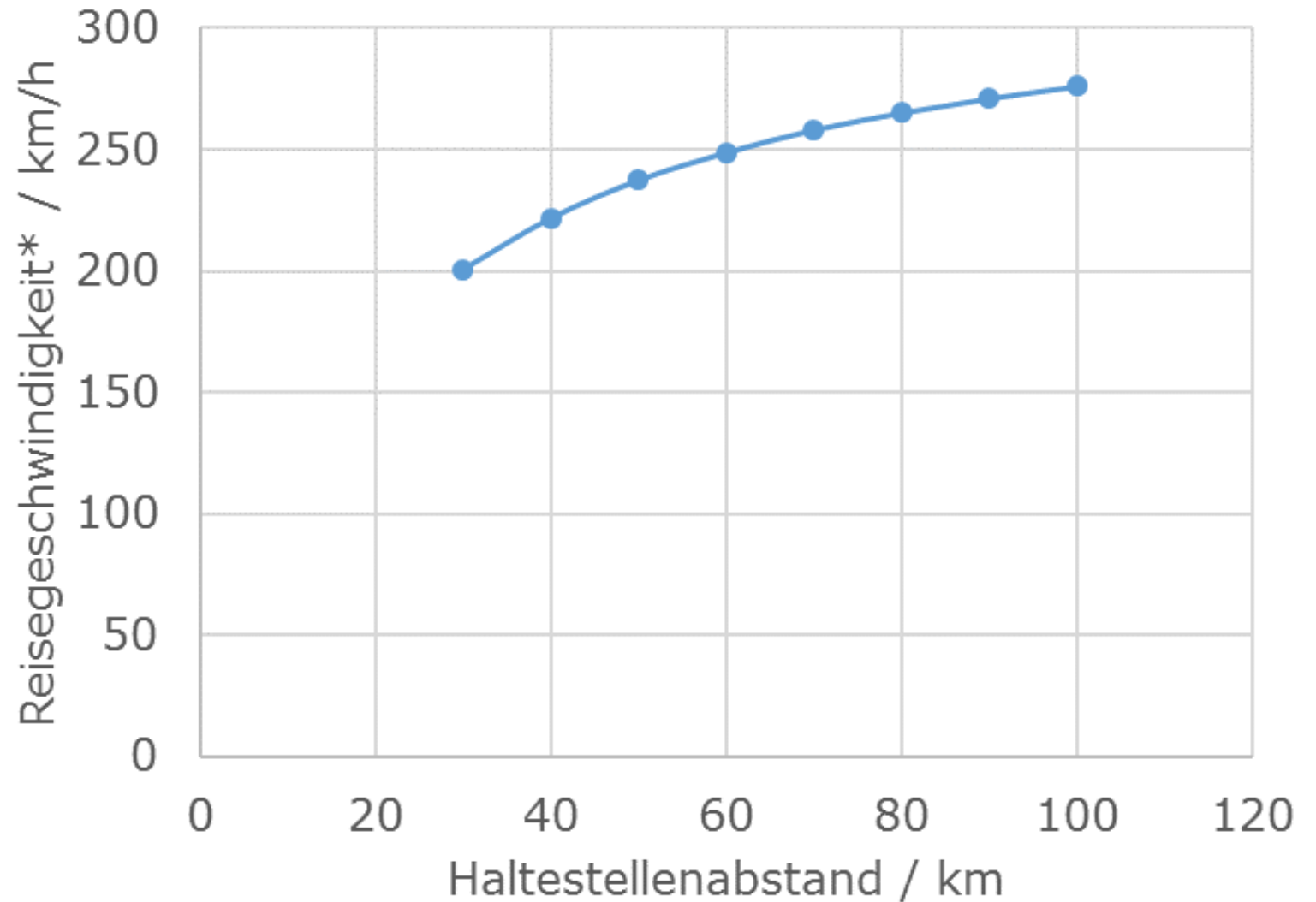
	200	250	300	330
160				
200	-			
250	-	-		
300	-	-	-	

# Reisegeschwindigkeit und Haltestellenabstand

## \*Randbedingungen:

ideales Fahrspiel aus

- Beschleunigung unter Ausnutzung der maximalen Anfahrzugkraft und Treibradleistung
- Beharrung bei  $v_{\max} = 300$  km/h (sofern möglich)
- Bremsung mit  $0,5 \text{ m/s}^2$  (Betriebsbremsung)
- ebene Strecke
  
- Variation des Haltestellenabstandes



# Energiebedarf an den Treibrädern (ICE 3)

## Fahrzeit und Energie ICE 3

100 km/h:

60 min/100 km  
360 kWh/100 km

-30 min (50%)  
+570 kWh (258 %)

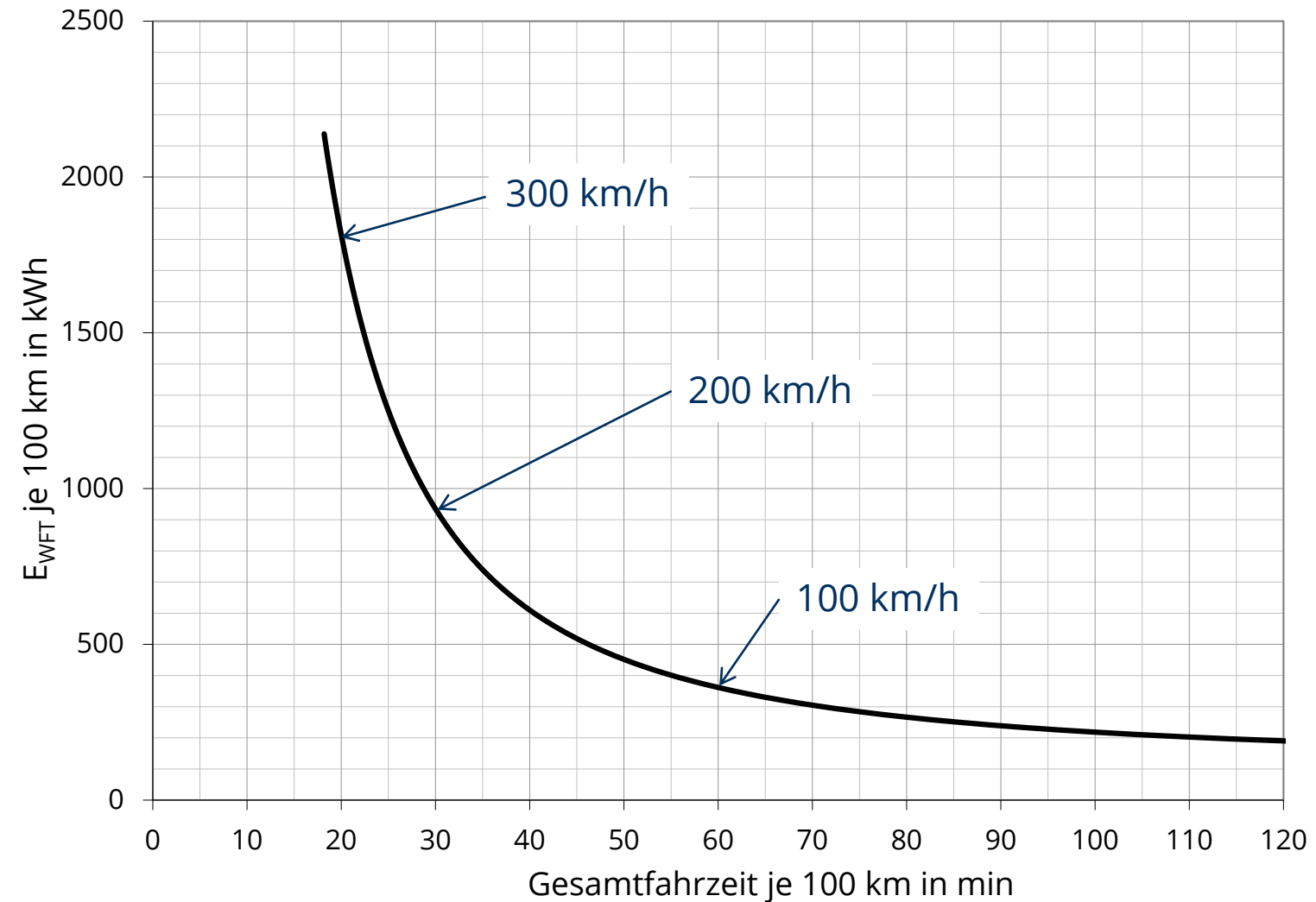
200 km/h:

30 min/100 km  
930 kWh/100 km

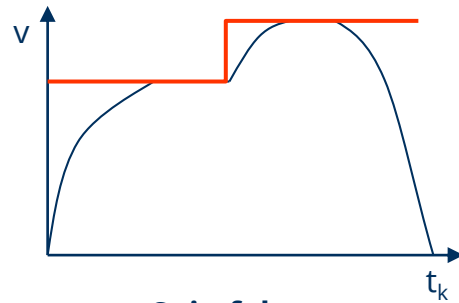
-10 min (67%)  
+910 kWh (198 %)

300 km/h:

20 min/100 km  
1840 kWh/100 km

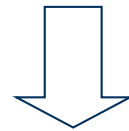


# Fahrplankonstruktion (Prinzip)



**Spitzfahrt -**  
Vorausrechnung der  
kürzesten Fahrzeit

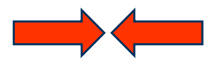
Regelzuschlag  
+  
Sonderzuschläge = Fahrplan-Fahrzeit (Soll-Fahrzeit)



Anwendung der  
Energiesparenden  
Fahrweise

kurzfristige Langsamfahrstellen  
verlängerter Fahrgastwechsel  
außerplanmäßige Halte  
Zwangsbremungen

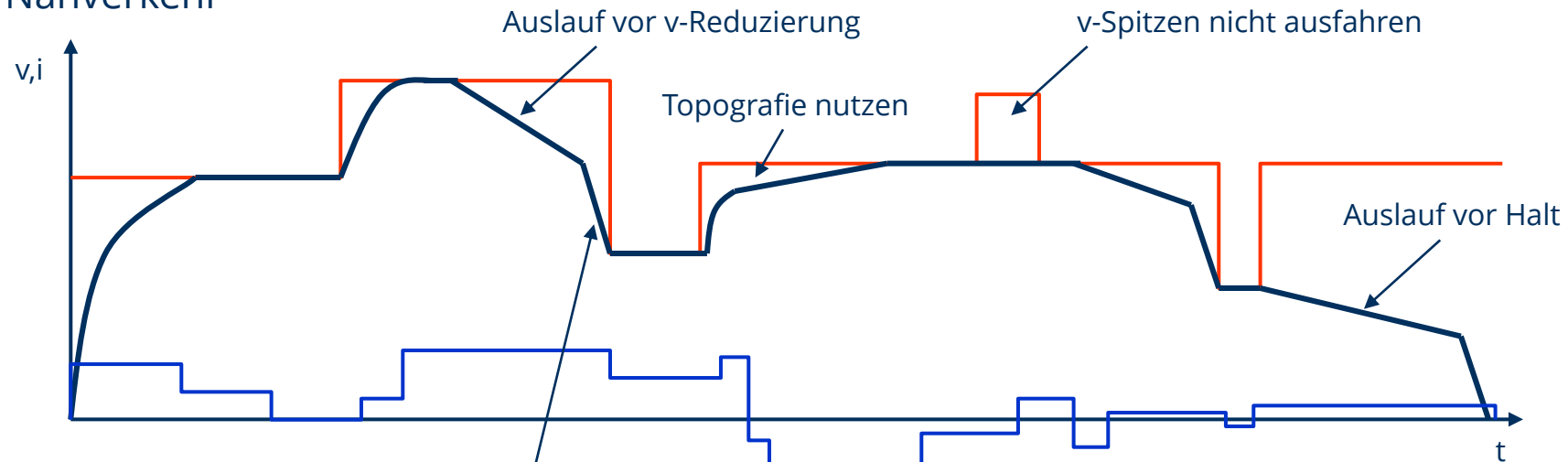
Traktionsenergie sparen



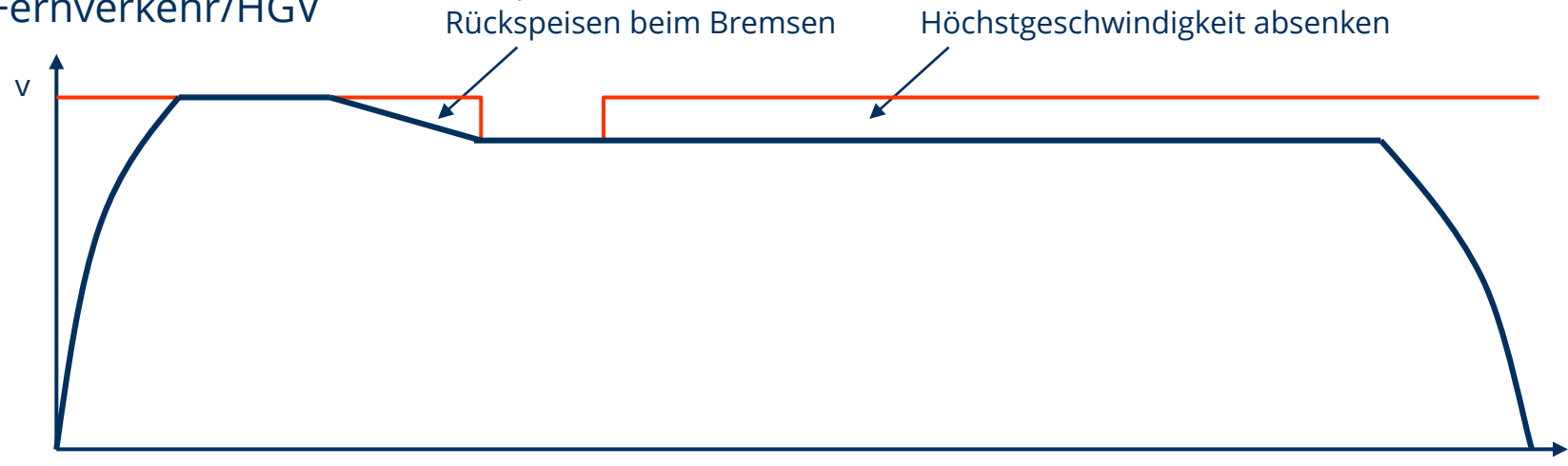
Fahrplan einhalten

# Energiesparendes Fahren – betriebliche Eingriffsmöglichkeiten

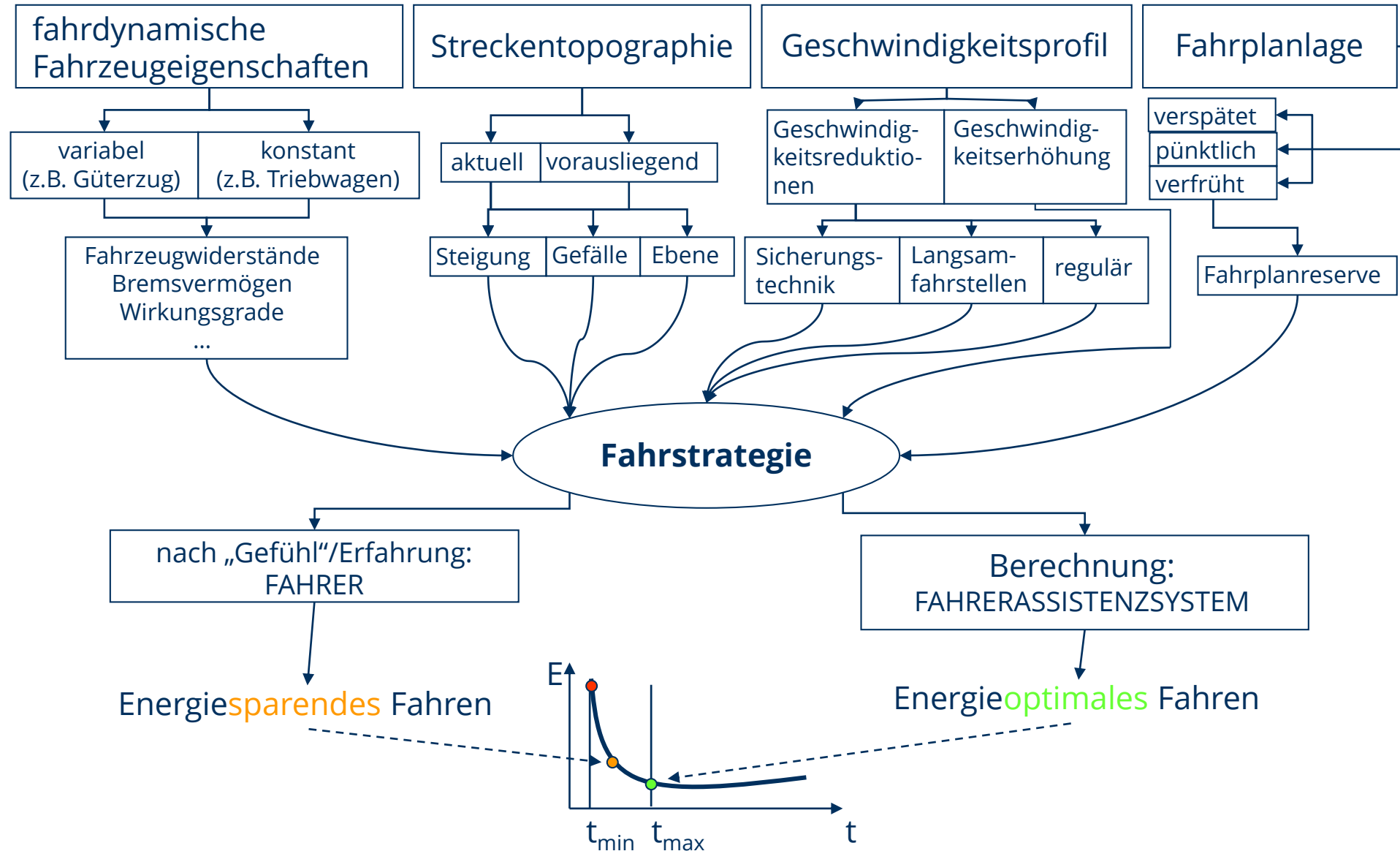
Nahverkehr



Fernverkehr/HGV



# Energiesparendes Fahren – Fahrstrategie und Einflussfaktoren



# Energiesparen 1:

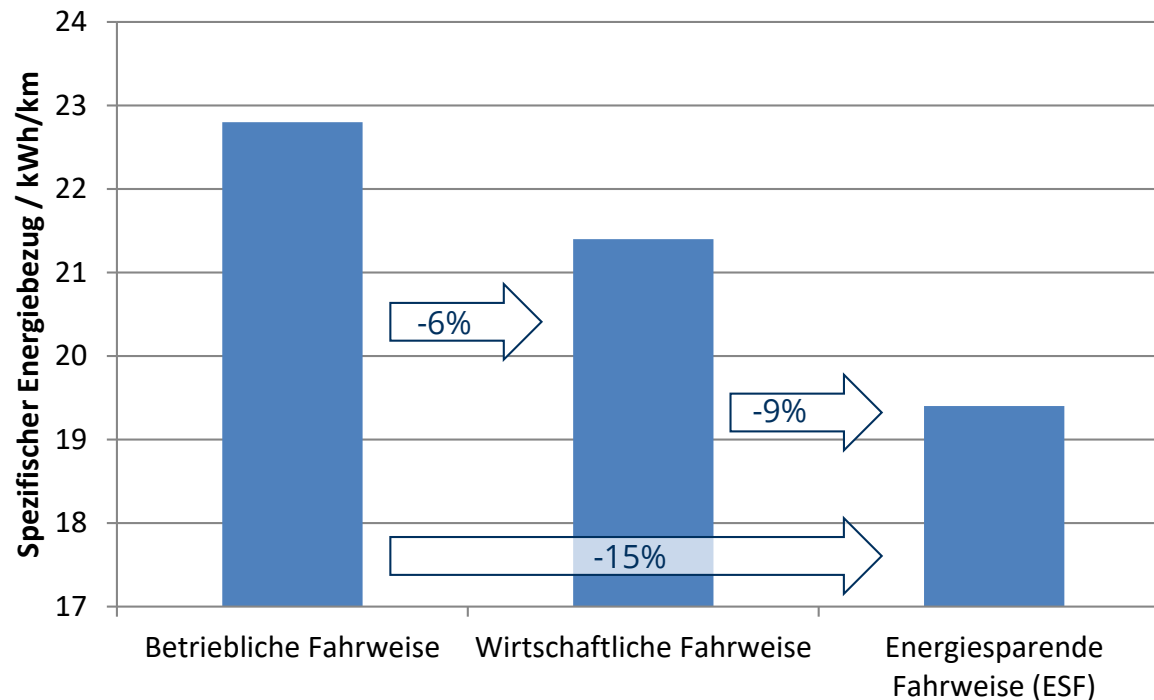
## Empirische Analyse gemessener Energiebezüge der ICE 1 – Flotte der DB

Quelle: Lehmann, EB Elektrische Bahnen, 7/2007, S. 397 ff.



BR 401  
(ICE 1)

Analyse von 5092 Fahrten (1996/1997):



©Jens Hauptert

ZusiDisplay -> Buchfahrplan

12102 Fahrplan gültig! La-Daten für 01.05.1987! 01.05.1987 14:55:14

ab km 326,4: 90 km/h Nächster Halt: Mönchehof

km	La	Esig	Asig	Obervellmar	Bksig	Bk Ksl-Harlesh Hp	Kassel Hbf
100	334,0	334,0	337,5	337,5	337,7	338,4	341,2
110	341,5	342,4	344,0	344,0	344,6	345,2	
60	345,2						

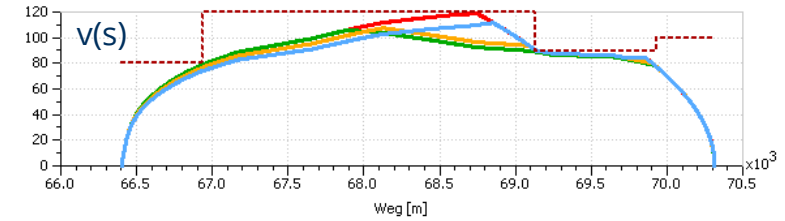
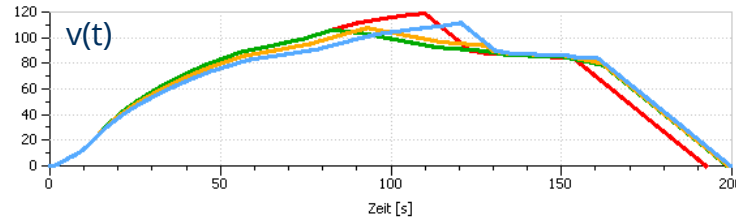
Ort: RW / r 600 A A 78 -0,4 m ESF -0 kWh -0 kWh

Zug: FSD LaD LaT LW GW Ze G

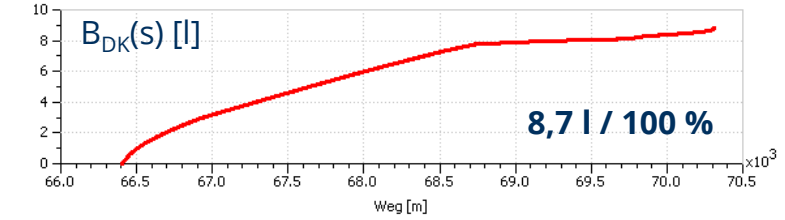
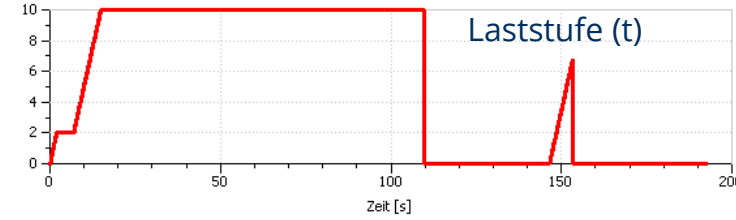
# Energiesparen 2 Fahrzeugbedienung



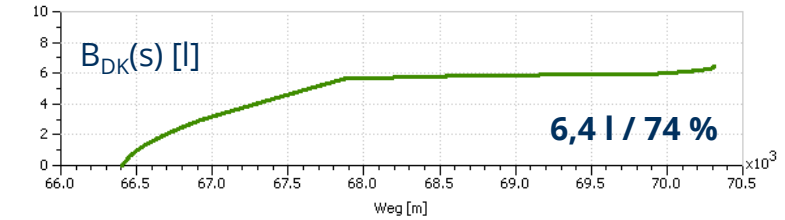
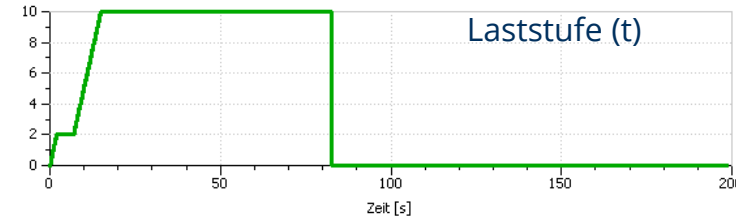
BR 612



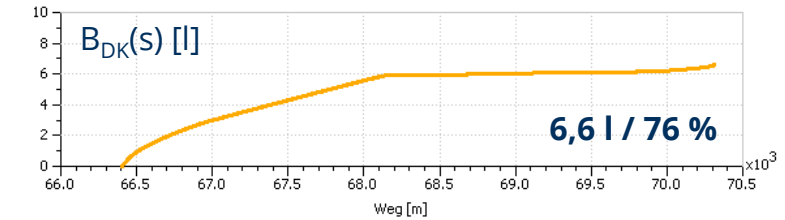
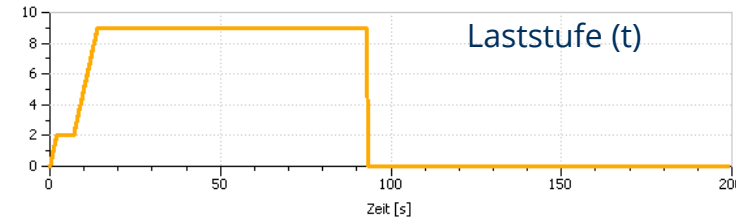
Vergleich der  
simulierten  
Fahrspiele



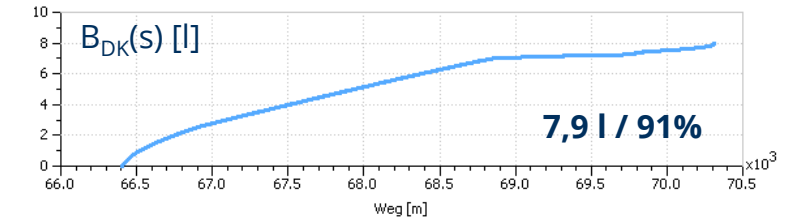
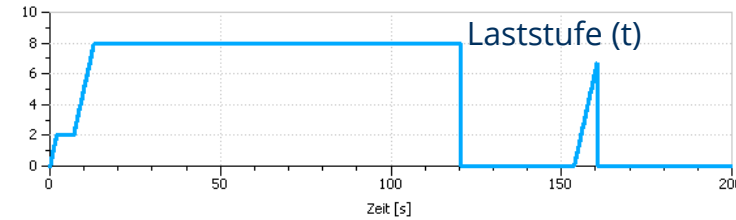
Strategie 1:  
Spitzfahrt



Strategie 2:  
Energiesparend  
mit maximaler  
Traktionsleistung



Strategie 3:  
Energiesparend  
mit 90%  
Traktionsleistung



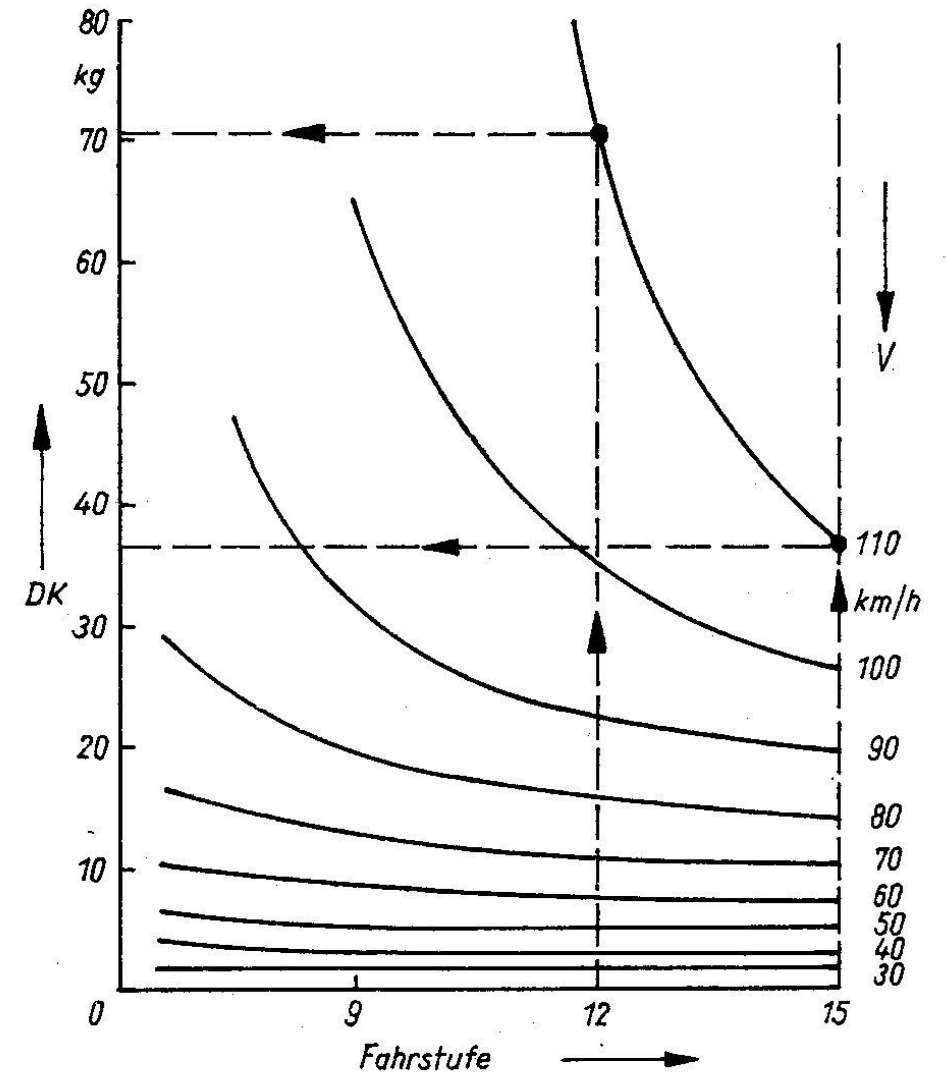
Strategie 4:  
Energiesparend  
mit 80%  
Traktionsleistung

# Energiesparen 3 - Fahrzeugbedienung



## Beispiel BR 232

Verdopplung (!) des Kraftstoffverbrauches für einen Beschleunigungsvorgang bei ungünstig gewählter Fahrstufe



**Bild 1** DK-Verbrauch für die Beschleunigungsphase (Anfahren) in Abhängigkeit der Fahrstufenstellung  
BR 132 Zugmasse = 400 t

# Energiesparen 4: Analyse des Flottenenergiebedarfes der Virgin Pendolino

Installation von Elektroenergiezählern und Protokollierung des gesamten Energiebedarfes im Betrieb

Erkenntnisse und Maßnahmen:

- durchschnittlicher wegbezogener Energiebezug: 14,5 kWh/km
- Rückspeisequote: 17%
- Schwankungen des Energiebezuges von vergleichbaren Fahrten (gleiche Strecke): 10%

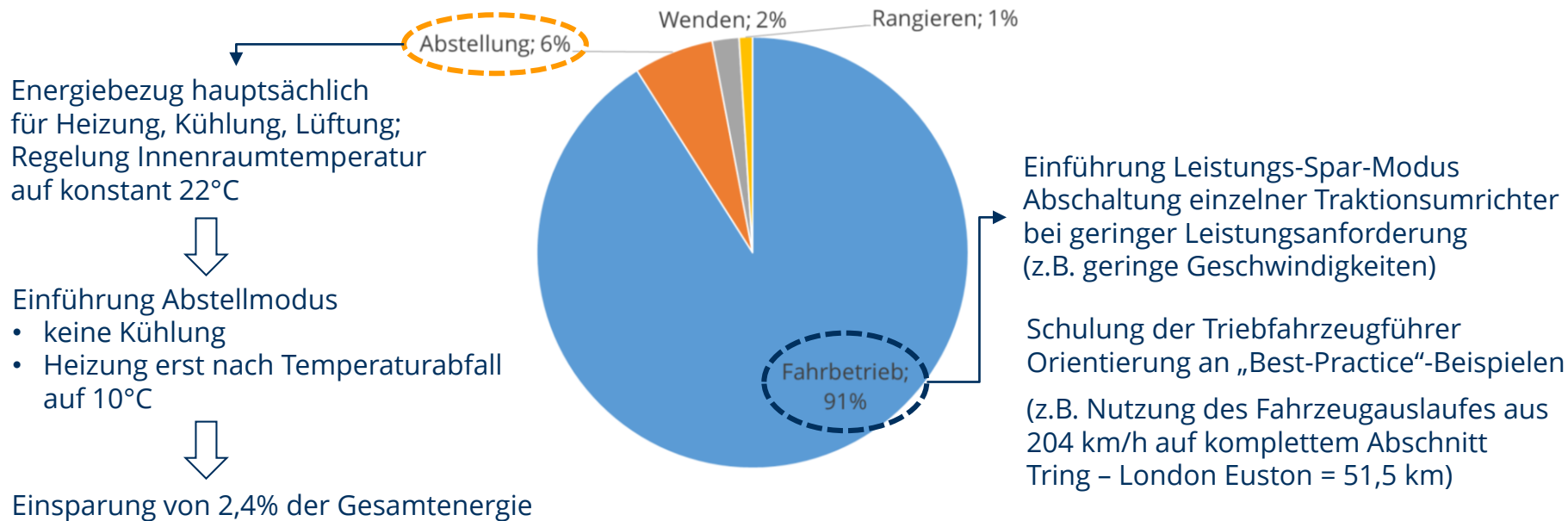


class 390 „Virgin Pendolino“

Quelle:

J. Evans:  
"Energy monitoring on the Virgin Pendolino trains"  
IET Conference on Railway Traction Systems (RTS 2010), Birmingham, 2010, pp. 1-5,  
doi: 10.1049/ic.2010.0023

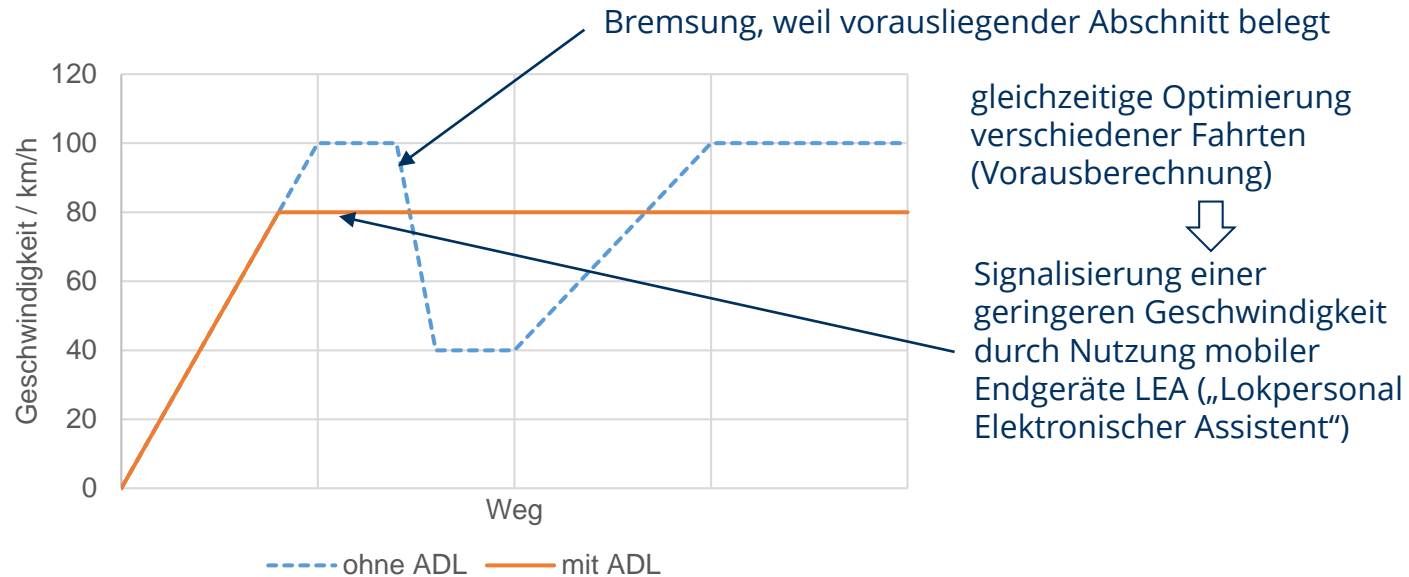
Anteile der Betriebsphasen an der gesamten Energieaufnahme



# Energiesparen 5: Adaptive Zuglenkung (ADL) bei den SBB

Grundgedanke: Vermeidung von Bremsungen bzw. Zughalten bei der Lösung von Trassenkonflikten

Effekt: minimaler Gesamtenergiebedarf bei maximaler Streckenkapazität



Einsparpotentiale für typische Züge:



Fernverkehr: ca. 19 kWh



Nahverkehr: ca. 2 kWh  
(hohe Rückspeisequote)



Güterverkehr: ca. 64 kWh

Quelle:  
Schranil, Steffen und Grossenbacher, Peter:  
"Energieeffizienz in der Bahnproduktion",  
Eisenbahntechnische Rundschau (ETR),  
Bd. 65, Heft 9/2016, S. 152-157