



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

ESEA

Institut für Energiesysteme  
und Elektrische Antriebe

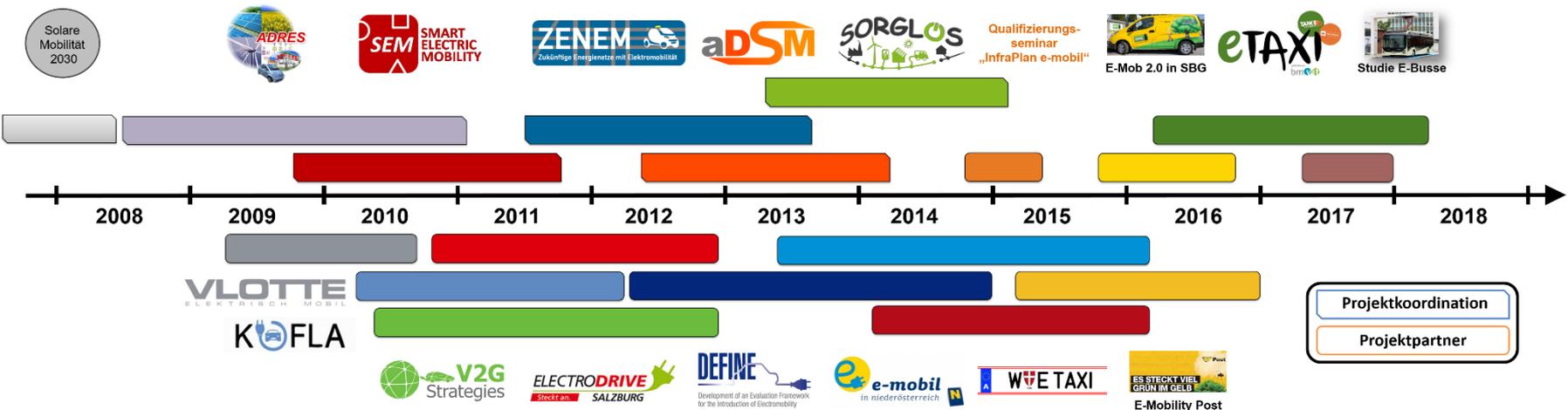
# Energetische Bewertung von Elektro-Bussen und daraus ableitbare Handlungsempfehlungen für den öffentlichen Verkehr

Dominik Fasthuber  
TU-Wien

Energieinnovation 2018 – Session G2,  
14.-16.02.2018, Graz

- Vorstellung: Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe - AG Elektrische Anlagen
- Studie: Einsatzmöglichkeiten von E-Bussen im Linienbetrieb
- Methodik der energetischen Bewertung
- Ergebnisse und Erkenntnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

Derzeitige Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe Elektrische Anlagen (Institut ESEA, TU Wien) zum Thema „Elektromobilität“:



- Studie: Einsatzmöglichkeiten von E-Bussen im Linienbetrieb
  - Im Auftrag des Amtes der NÖ Landesregierung
  - In enger Kooperation mit KollegInnen der VOR GmbH, der Elektromobilitätsinitiative NÖ (ecoplus) und der NÖ.Regional.GmbH
  
- AN-Team:
  - HERRY Consult GmbH (Projektleitung)
  - TU Wien – Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe
  - VerkehrsConsulting OG

- Überblick über die aktuelle Marktsituation zum Einsatz von E-Bussen (inkl. Wasserstoff, exkl. Hybrid) im Linienverkehr erstellen
  
- Informationen der Studie sollen u.a. als Basis für zukünftige Ausschreibungen im ÖV-Bereich dienen.
  - VOR-Region (Wien, Niederösterreich und Burgenland):
  - 891 Bus-Linien
  - ~ 65 Mio.-Bus-km je Jahr (Quelle: VOR GmbH, 2017)
  
- Laufzeit: Anfang April 2017 – Anfang Dezember 2017

- Technologie der Fahrzeuge und der zum Einsatz notwendigen Infrastruktur.
  
- Rahmenbedingungen für den Einsatz von E-Bussen und Besonderheiten bei der (Umlauf-)Planung eines E-Busbetriebes.
  - Stadtbus: Citybuslinien in der Stadt Baden
  - Regionallinie: Linie 364 Mödling-Gruberau /  
Linie 365 Mödling-Heiligenkreuz–Alland und  
Linie 221 Flugh. Wien-Münchendorf
  - Expresslinie: Wieselbus – Linie H / Wr. Neustadt – St. Pölten
  
- Begleitung des Pilotprojektes Wr. Neustadt



- Energetische Bewertung über Berechnung des Gesamtfahrwiderstandes mit Hilfe eines einfachen Längsdynamikmodells.
  
- Fahrwiderstände und ein hinterlegtes GPS-Profil ermöglichen folgende Aussagen:
  - Aussage über einen Umlauf
    - Aussagen über Traktionsleistung und die benötigte Energie
  - Hochrechnung eines Umlaufes auf einen ganzen Betriebstag
    - Dimensionierung der notwendigen Batteriegröße (Kapazität)
    - Dimensionierung der daraus resultierenden Ladeinfrastrukturparameter

- Luftwiderstand  $F_L$ , Rollwiderstand  $F_R$ , Steigungswiderstand  $F_{St}$  und Beschleunigungswiderstand  $F_B$  bilden die Fahrwiderstandskraft  $F_W$ .

- $$F_W = F_R + F_L + F_{St} + F_B$$

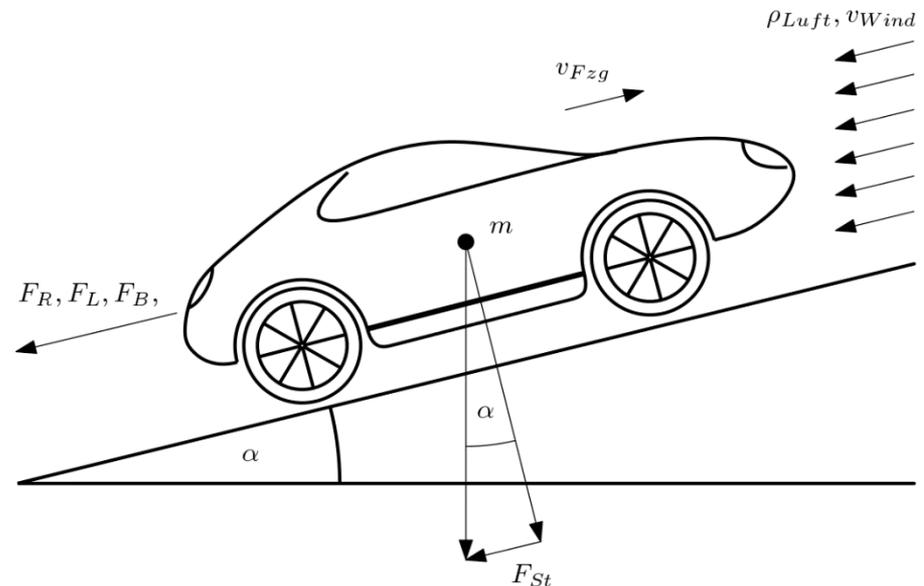
- $F_R = m * g * \cos \alpha * f_R$

- $F_L = \frac{\rho}{2} * c_W * A * v^2$

- $F_{St} = m * g * \sin \alpha$

- $F_B = e_i * m * a$

- $$P_{AN} = F_{AN} * v = -F_W * v$$

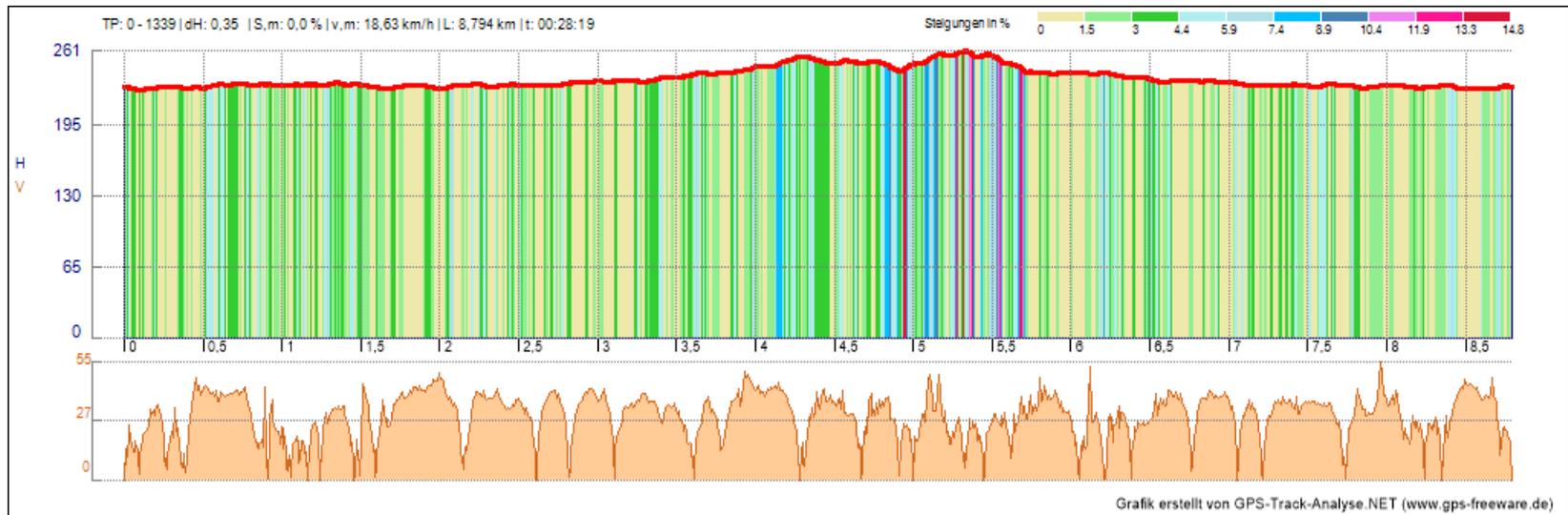


- Gleichbleibende Parameter:

Fahrzeugmasse = 14.000 kg	Effizienz des Antriebsstrangs = 0,9
Personenanzahl = 20 à 80 kg	Rekuperationseffizienz = 0,8
Breite = 2,55 m	Rollwiderstands-Beiwert $f_R = 0,01$
Höhe = 3,298 m	Massenfaktor $e_i = 1,3$
Nebenverbraucher = 5 bzw.15 kW	Strömungswiderstand $c_W = 0,66$

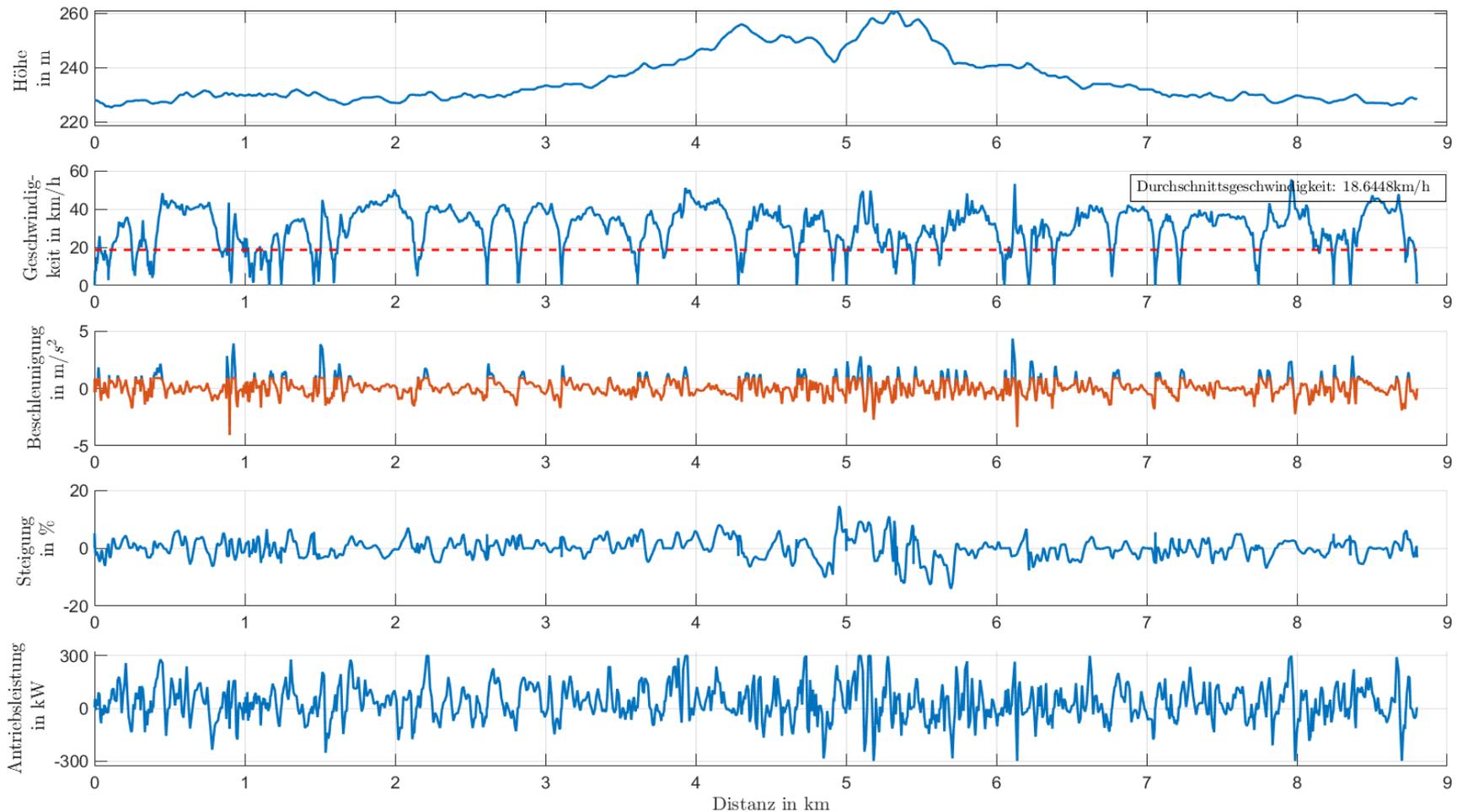
- Hinreichend gute Abschätzung trotz einiger Vereinfachungen und Messunsicherheiten im GPS-Profil.
- Berücksichtigung der saisonalen Unterschiede durch Variation der (konstant angenommenen) Nebenverbraucher.

- Die Stadtbuslinie A in Baden:
  - Länge von 8,8 km pro Umlauf
  - Dauer von 28 Minuten
  - Durchschnittsgeschwindigkeit von 18,6 km/h
  - Höhenmeter: 113 m auf- und abwärts (Start = Ziel)

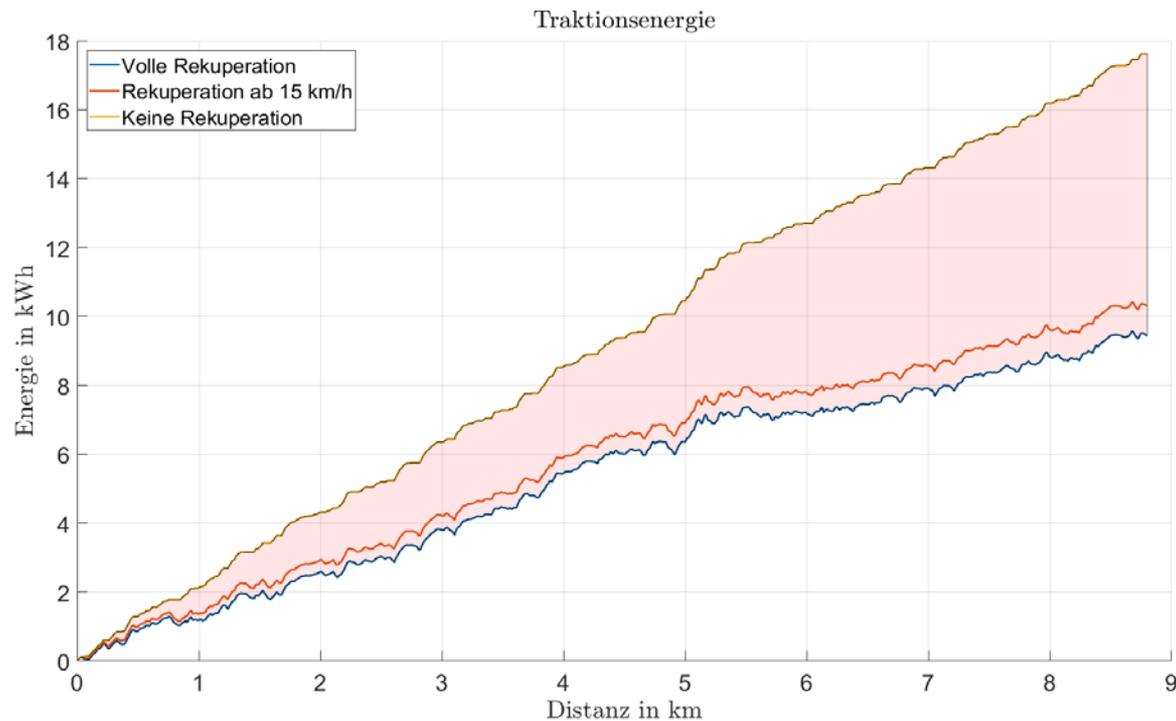


## ■ Die Stadtbuslinie A in Baden:

- Beschränkung der maximalen Beschleunigung (orange)

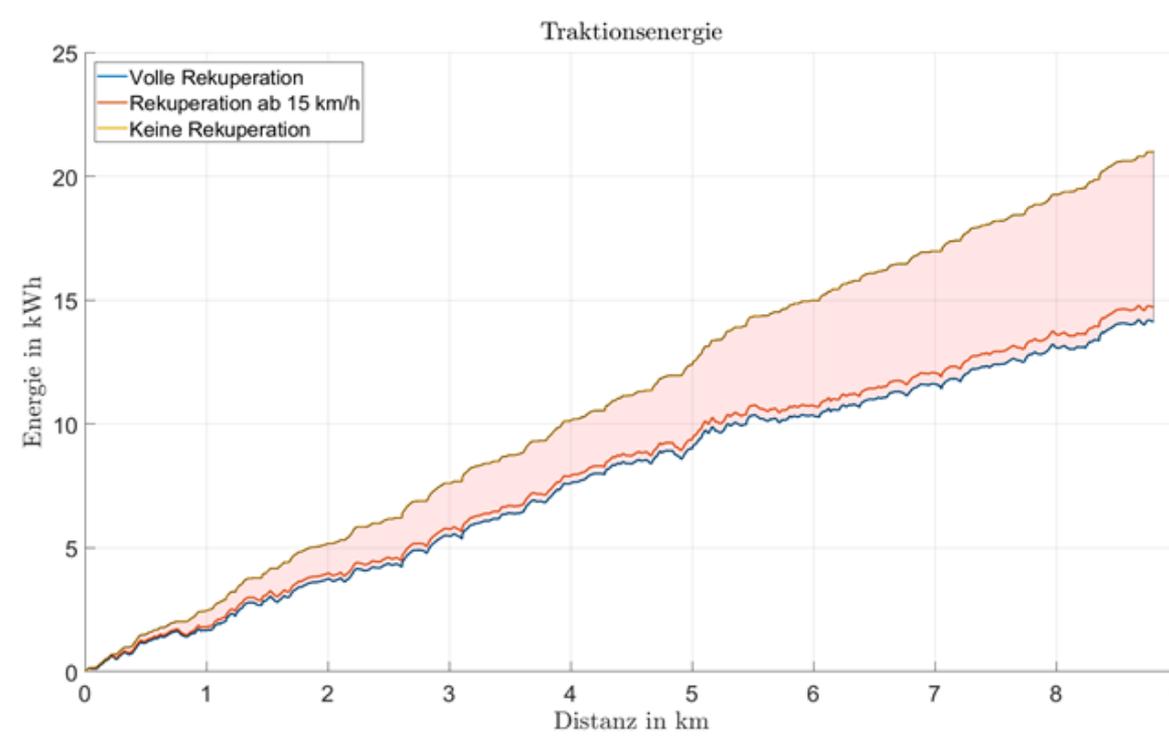


- Die Stadtbuslinie A in Baden:
  - Verlauf der Traktionsenergie bei keiner, voller und beschränkter Rekuperation (ab 15 km/h).



Konstanter Nebenverbrauch von 5 kW

- Die Stadtbuslinie A in Baden:
  - Verlauf der Traktionsenergie bei keiner, voller und beschränkter Rekuperation (ab 15 km/h).



Konstanter Nebenverbrauch von 15 kW

## ■ Die Stadtbuslinie A in Baden:

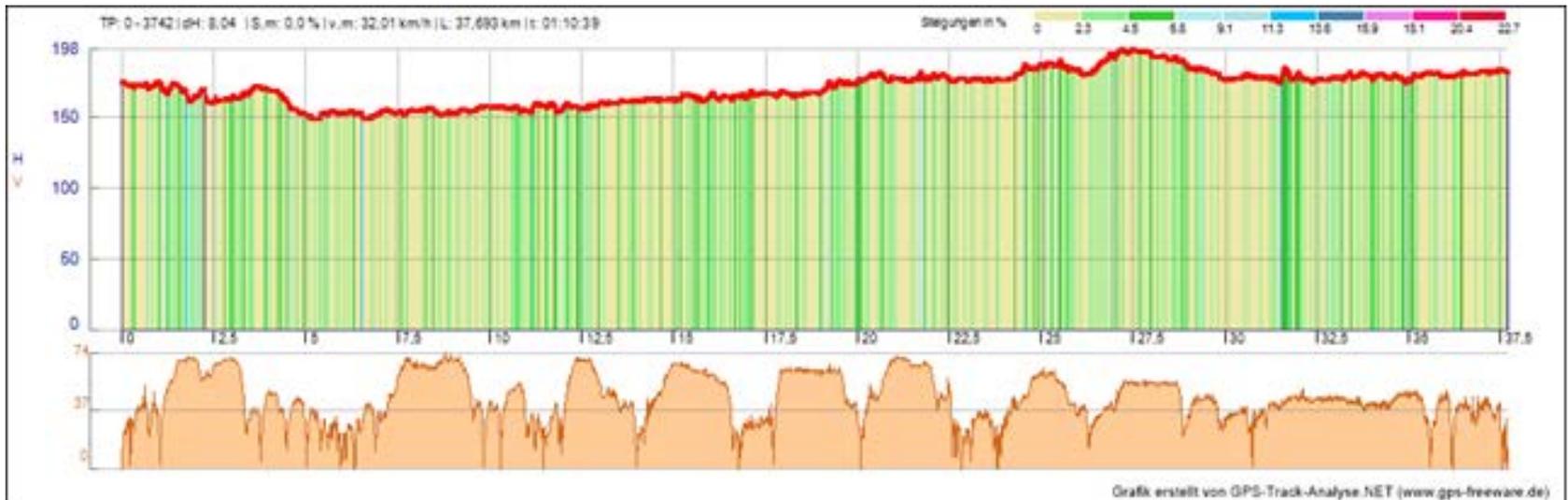
		Nebenverbraucher = 5 kW	Nebenverbraucher = 15 kW
Elektrischer Verbrauch	Volle Rekuperation	107,4 kWh/100 km	161,0 kWh/100 km
	Rekuperation ab 15 km/h	117,4 kWh/100 km	167,8 kWh/100 km
	Keine Rekuperation	200,3 kWh/100 km	238,9 kWh/100 km
Energie-Verbrauch bzw. Zugewinn	E_OUT_max	17,6 kWh	21,0 kWh
	E_IN_max	-8,2 kWh	-6,9 kWh

## ■ Vergleich mit Umsetzungsprojekt in Berlin:

Messfahrt	1	2	3	4
Durchschnittsgeschwindigkeit (km/h)	13,00	14,10	14,00	17,30
Nebenverbraucher (kW)	16,30	4,95	15,08	7,72
Gemessener Verbrauch (kWh/km)	1,99	1,16	1,82	1,21
Simulierter Verbrauch (kWh/km)	2,07	1,21	1,91	1,31
Abweichung (%)	4	4	5	8

A. W. Kunith, *Elektrifizierung des urbanen öffentlichen Busverkehrs: Technologiebewertung für den kosteneffizienten Betrieb emissionsfreier Bussysteme*, Springer-Verlag, 2017.

- Die Regionallinie 221: Flughafen Wien – Gramatneusiedl – Moosbrunn – Münchendorf:
  - Länge von 8,8 km pro Umlauf
  - Dauer von 28 Minuten
  - Durchschnittsgeschwindigkeit von 32,0 km/h
  - Höhenmeter: 438 m aufwärts und 430 m abwärts

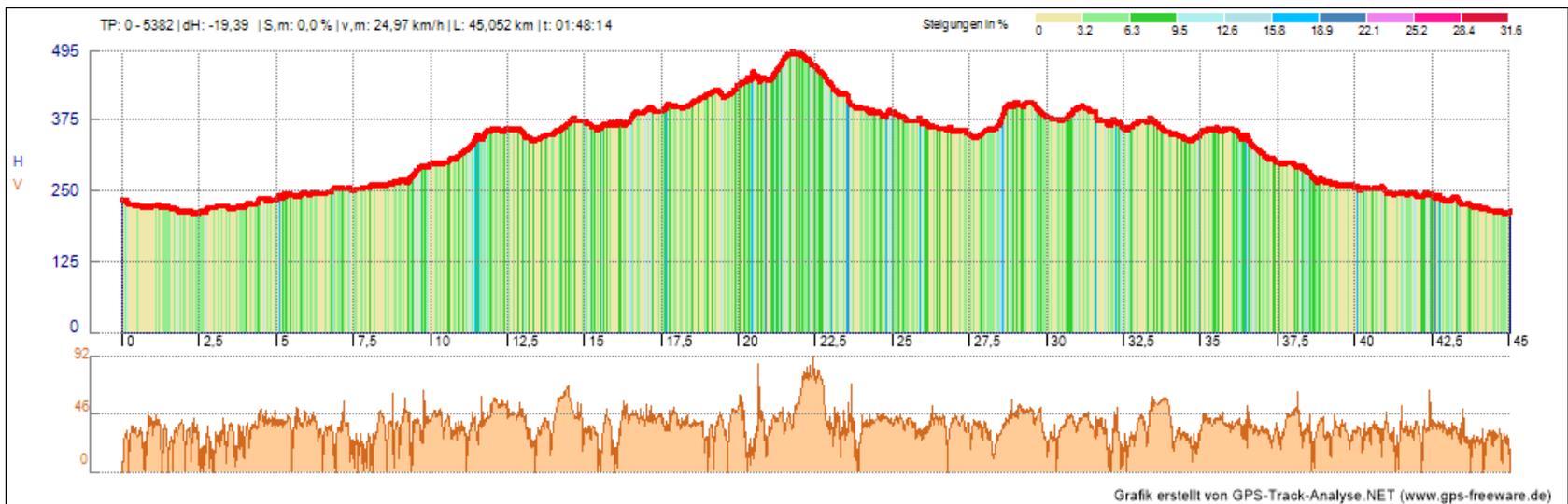


## ■ Die Regionallinie 221:

		Nebenverbraucher = 5 kW	Nebenverbraucher = 15 kW
Elektrischer Verbrauch	Volle Rekuperation	102,5 kWh/100 km	133,7 kWh/100 km
	Rekuperation ab 15 km/h	104,9 kWh/100 km	135,3 kWh/100 km
	Keine Rekuperation	152,9 kWh/100 km	174,9 kWh/100 km
Energie-Verbrauch bzw. Zugewinn	E_OUT_max	57,6 kWh	66,0 kWh
	E_IN_max	-19,0 kWh	-15,6 kWh

- Höhere Durchschnittsgeschwindigkeit als Citybuslinie
- Weniger Stop & Go → Längere Fahrtabschnitte
- Hochgerechneter Tagesumlauf würde eine Kapazität von ca. 300kWh bedeuten.
- Hohe Ausdehnung des Umlaufs bedeutet vielfältige Errichtungsmöglichkeiten der Ladeinfrastruktur.

- Die Regionallinie 364: Mödling – Hinterbrühl – Sittendorf – Gruberau:
  - Länge von 45,1 km pro Umlauf
  - Dauer von 48 Minuten
  - Durchschnittsgeschwindigkeit von 25,0 km/h
  - Höhenmeter: 1016 m aufwärts und 1035 m abwärts

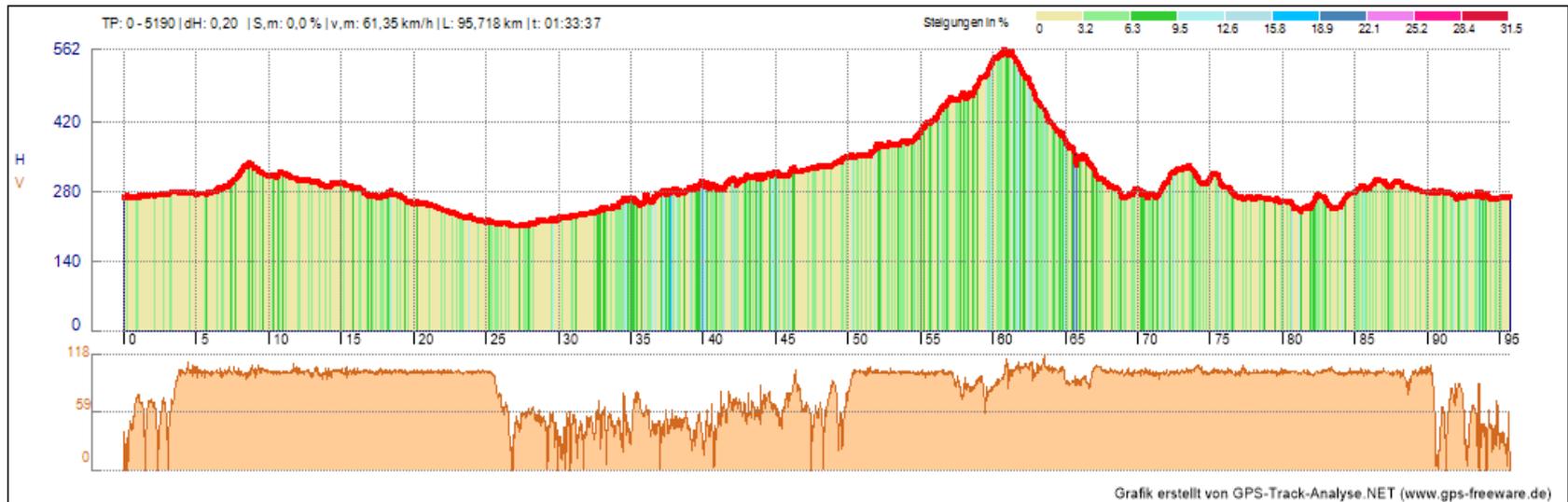


## ■ Die Regionallinie 364:

		Nebenverbraucher = 5 kW	Nebenverbraucher = 15 kW
Elektrischer Verbrauch	Volle Rekuperation	110,2 kWh/100 km	150,2 kWh/100 km
	Rekuperation ab 15 km/h	114,8 kWh/100 km	153,4 kWh/100 km
	Keine Rekuperation	208,4 kWh/100 km	236,0 kWh/100 km
Energie-Verbrauch bzw. Zugewinn	E_OUT_max	94,0 kWh	106,4 kWh
	E_IN_max	-44,3 kWh	-38,6 kWh

- Großer Streubereich im Durchschnittsverbrauch
- Hügeliges Streckenprofil zeigt hohes Rekuperationspotential auf

- Expresslinie: Wieselbus – Linie H (Wiener Neustadt – Baden – St. Pölten):
  - Länge von 95,7 km pro Umlauf
  - Dauer von 93 Minuten
  - Durchschnittsgeschwindigkeit von 61,4 km/h
  - Höhenmeter: 1753 m aufwärts und 1753 m abwärts



## ■ Expresslinie Wieselbus – Linie H :

		Nebenverbraucher = 5 kW	Nebenverbraucher = 15 kW
Elektrischer Verbrauch	Volle Rekuperation	123,4 kWh/100 km	139,6 kWh/100 km
	Rekuperation ab 15 km/h	124,7 kWh/100 km	140,6 kWh/100 km
	Keine Rekuperation	191,6 kWh/100 km	202,7 kWh/100 km
Energie-Verbrauch bzw. Zugewinn	E_OUT_max	183,5 kWh	194,1 kWh
	E_IN_max	-65,4 kWh	-60,4 kWh

- Elektrobuseinsatz nur bedingt geeignet
- Hoher Energieverbrauch aufgrund von hoher Geschwindigkeit
- Maximale Höchstgeschwindigkeit der meisten Hersteller auf 80 km/h begrenzt

- Was haben wir gelernt?
  - eBus-Angebot bereits sehr gut → wird zukünftig noch besser
  - Elektrobusse müssen anhand ihres (vorher teilweise bekannten) Einsatzzweckes ausgewählt werden
  - Anschaffungskosten der E-Busse (derzeit) doppelt so hoch
  - Wirtschaftliche Darstellbarkeit vs. Einsatzbereiche (Stadtbereich: geringe/re Fahrleistungen)
  - (derzeitige) Umlaufpläne genau betrachten → Adaptierungen möglich?
- Lade-Infrastruktur:
  - Die Kosten für die Ladeinfrastruktur auf die Busse umzulegen, ist im Moment nicht wirtschaftlich darstellbar
  - Wer baut und bezahlt die notwendige Infrastruktur?
  - Wer betreibt diese Infrastruktur?

- Kostenfreier Download der Marktübersicht unter:
- <http://ebusse.mobiltaetsmanagement.at>

**HERRY**  
Verkehrsanalyse • Beratung • Forschung

Startseite Ökologische Betriebsberatung klimaaktiv mobil Beratung Sprintspartraining Mobilitätsmanagement Netzwerk Kontakt

**Hinweis**  
You must provide at least one recipient email address

**Download der Broschüre „Marktübersicht Elektrobusse“**  
Nach klick auf "Absenden" werden Sie automatisch zur Marktübersicht Elektrobusse weitergeleitet

**Pflichtfeld \***

Vorname: \*

Nachname: \*

Unternehmen: \*

E-Mail-Adresse: \*

Telefonnummer

Bitte informieren Sie mich per Mail über (eventuell) zukünftige Überarbeitungen der Broschüre „Marktübersicht Elektrobusse“:

Bitte informieren Sie mich per Mail über Fördermöglichkeiten von E-Bussen und der dazugehörigen Lade-Infrastruktur:

Sicherheitscode bitte eingeben: \*

**Abschicken**





TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

ESEA

Institut für Energiesysteme  
und Elektrische Antriebe

## Kontakt:

**DI Dominik Fasthuber**

*Projektassistent*

*Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe*

*E: [fasthuber@ea.tuwien.ac.at](mailto:fasthuber@ea.tuwien.ac.at)*

*T: +43 1 58801 370 112*

*W: [www.ea.tuwien.ac.at](http://www.ea.tuwien.ac.at)*