

**Konferenz „Verkehrsökonomik und -politik“ an der TU Berlin 14./15.06.2018**

**Heinz Dörr, Arno Huss, Peter Prenninger, Yvonne Toifl**

**Antriebstechnologien und Nachhaltigkeit im Straßengüterverkehr  
Verknüpfung von Verkehrslogistik und Fahrdynamik von Nutzfahrzeugen**



**Forschungskonsortium zur Studie „EFLOG“:**



**beauftragt vom**



**finanziert durch**



## Überblick

- Projektbezug & Projektpartner
- Fahrzyklen-Simulations-Tool
- Aufbau eines Daten-Input-Modells zur Fahrzyklen-Simulation
- Verkehrslogistisches Daten-Input-Modell
- Ausgangsdaten zur Verkehrslogistik
- Modellierung der Fahrdynamik
- Fahrzyklen-Simulationen nach Nutzfahrzeugmustern & Antriebsarten
- Entwicklungsschwerpunkte für den Straßengüterverkehr
- Einsatzfähigkeit marktreifer Erdgas- oder Elektro-Nutzfahrzeuge
- Reduktionspotenziale im Vergleich der Antriebsvarianten
- Ergebnisse in verkehrslogistischer Hinsicht
- Findung der Bestantriebsvariante im logistischen Einsatz
- Was weiter?

## Projektbezug

Begleitstudie EFLOG zum *Innovationsfeld Gütermobilität* im Rahmen des *Forschungsprogrammes Mobilität der Zukunft* des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)

### Projekttitlel:

“Wirkungspotenziale der Leistungsangebote neuer Fahrzeugtechnologien für die Bedienungsangebote der Logistikdienstleister”

**Laufzeit:** 07/2013 – 10/2014

### Downloads:


[www.bmvit.gv.at/Publikationen](http://www.bmvit.gv.at/Publikationen), [www2ffg.at/Projekte](http://www2ffg.at/Projekte),  
[www.researchgate.net/Heinz Dörr](http://www.researchgate.net/Heinz_Dörr)

### Projektpartner:

## Projektpartner, Team und Aufgabenteilung

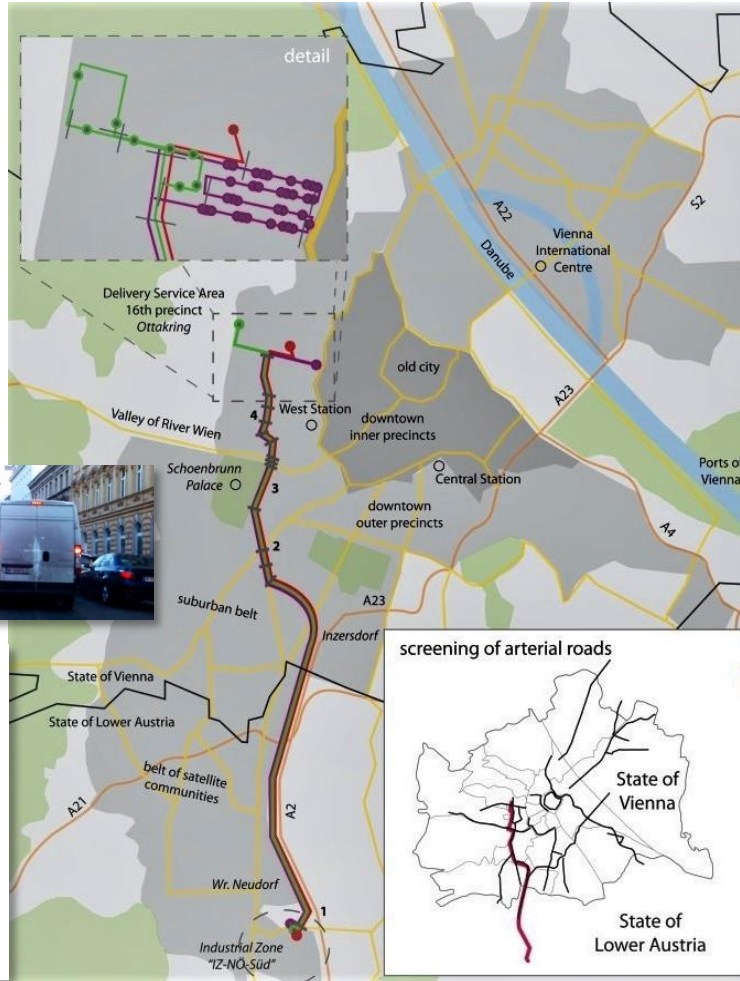
ARGE-Partner	Hauptaufgabe im Vorhaben
<b>AVL List GmbH, Graz</b> Dr. Arno Huss, Dr. Peter Prenninger, DI (FH) Rolf Albrecht	Entwicklungsstand der Fahrzeug- technologie und Simulation von Fahrzyklen
<b>ZT Dr. Heinz Dörr (arp-planning.consulting.research),                      Wien</b> DI (FH) Andreas Romstorfer MA, Yvonne Toifl BSc, Viktoria Marsch Bakk.techn.	Konsortialführer und Projektleitung, Logistikbedienung im Güterverkehr, Fahrzeugmarkt, Einordnung in das Gesamtverkehrsgeschehen
<b>Technische Universität Wien</b> <b>Department für Raumplanung</b> <b>Fachbereich Verkehrssystemplanung</b> Ass.-Prof. Dr. Bardo Hörl, DI Monika Wanjek, Claudia Berkowitsch BSc	Infrastruktur für den Güterverkehr, Netzkapazitätsermittlung, Effekte auf die Umwelt
<b>Energycomment GmbH, Hamburg</b> Dr. Steffen Bukold	Energie- und Kraftstoffmarktanalyse und Ausblick

## Zweck und Ziele der Fahrzyklen-Simulation für Nutzfahrzeuge

- ❑ Die Fahrzyklen-Simulation soll realitätsnahe, direkt vergleichbare Ergebnisse über den **Energie- bzw. Kraftstoffverbrauch** und den **Emissionsausstoß (CO<sub>2</sub>-Äquivalente)** über **alle technologisch entwickelten Antriebsarten** für **verkehrslogistische Einsatzformen im Straßennetz** erbringen und
- ❑ Erkenntnisse über die Antriebsstrategie am Nutzfahrzeugmarkt erlauben.
- ❑ Das Simulations-Tool  -Cruise sollte für die verkehrslogistische Anwendung und Ausrichtung nutzbar gemacht werden.
- ❑ Daten-Input-Anforderungen des Simulationstools waren zu eruieren.
- ❑ Der Output sollte interdisziplinär interpretierbar und für eine Indikatorensystematik operabel gemacht werden.

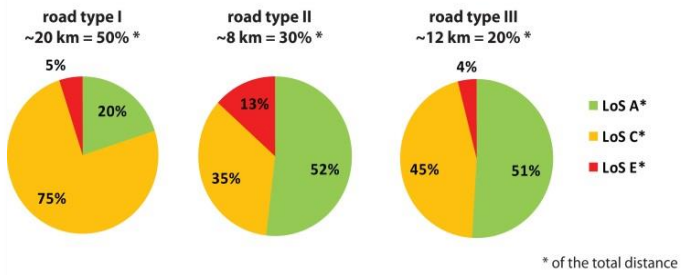
# Aufbau eines Daten-Input-Modells zur Fahrzyklen-Simulation

- ❑ Auswahl repräsentativer Referenzrouten
- ❑ Auswahl verkehrslogistischer Einsätze
- ❑ Auswahl adäquater Nutzfahrzeugmuster



- legend
- runs:
- N1-PC
  - N2-FSD
  - N3-IDS
  - stop
  - intersection
- background map:
- boundary Vienna - Lower Austria
  - downtown inner precincts within Viennese Gürtel
  - areas with high building density
  - important green areas
  - water
  - motorways
  - further high-capacity roads
- 1 A2 Exit 9 Wr. Neudorf  
 2 Altmannsdorfer Straße  
 3 Grünbergstraße  
 4 Johnstraße
- screening of arterial roads:
- shortlisted freight transport intensive used arterial roads in Vienna
  - selected arterial roads for simulation

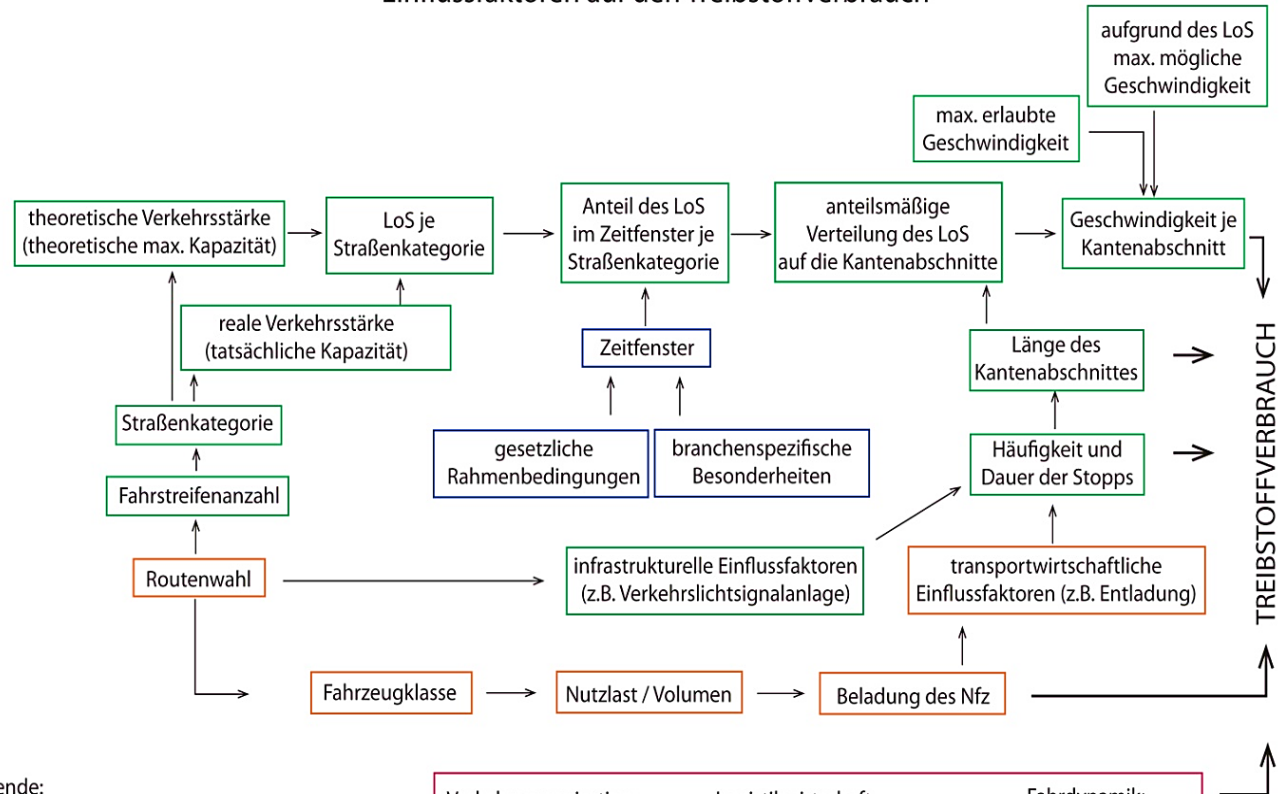
N2: LoS-split in time window 6 a.m. - 8 p.m.



# Verkehrslogistisches Daten-Input-Modell

Einflussfaktoren auf den Treibstoffverbrauch

- **Gliederung der Route in Knoten** (Stops oder Wechsel der Straßenkategorie) **und Kanten** (fahr-dynamische Charakteristik des eingesetzten Nfz)
- **Input-Schlüsseldaten:**
  - Nfz-Geschwindigkeit je Kante
  - Kanten-Lauflänge
  - Dauer der Stops
  - Fahrzeuggesamtgewicht nach Beladungszustand
- **Verknüpfung von:**
  - **Tourenzeitfenster & Verkehrszuständen** im Tagesgang (*Level of Service*)



Legende:

- infrastrukturelles Setting
- logistisches Setting
- transportwirtschaftliches Setting
- organisatorische und technologische Innovationen

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Verkehrsorganisation:</b><br>- Verkehrsflächenangebot<br>- Verkehrsflussorganisation<br>- Verkehrsregulierungen<br>- ... | <b>Logistikwirtschaft:</b><br>- Änderung der Lieferzeitfenster (Kundenintervention)<br>- Routenänderung (Abfolge der Lieferpunkte) | <b>Fahrdynamik:</b><br>- Start und Stopp<br>- Hybrideinsatz<br>- Fahrerassistenzsysteme |
|---|--|---|

## Ausgangsdaten zur Verkehrslogistik

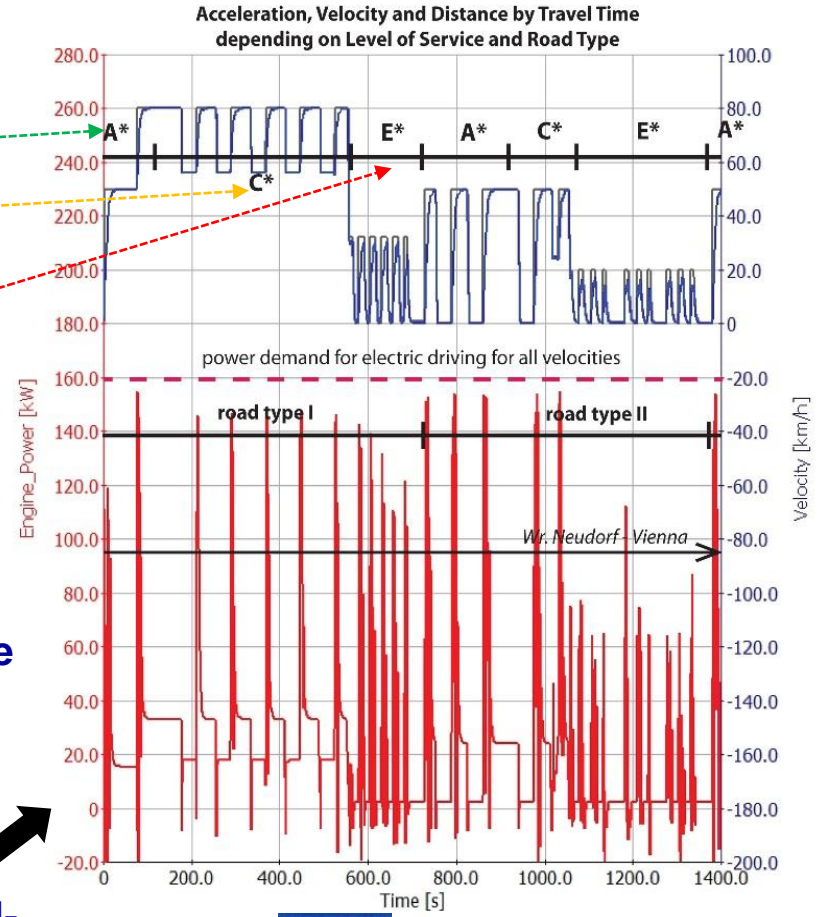
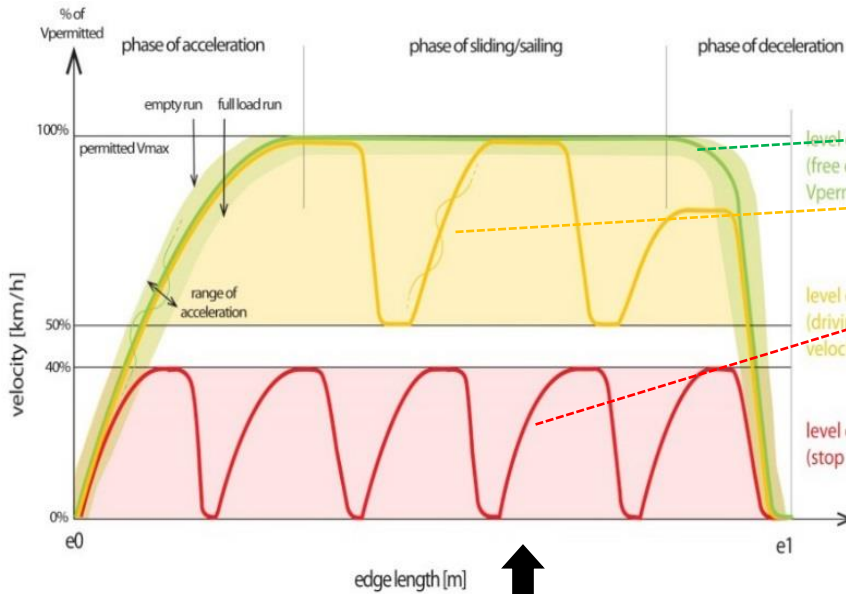
Drei alltägliche **Mustertransportläufe** verlaufen von Zentrallägern in Wr. Neudorf nach Wien 16

- **N1: KEP-Dienst-Tour:** Vollladungslast bis zum 1. Point of Delivery (Haushalt), dann 34 Abschichtungen, Fahrleistung: 39 km
- **N2: Liefertour zum Lebensmittelhandel:** Vollladungslast bis zum 1. Point of Sale, dann 9 Abschichtungen bei Supermärkten, Touren-Fahrleistung: 40 km
- **N3: Industrielle Anlieferung:** Zulauf = Leerfahrt, Rücklauf = Ladungsfahrt oder umgekehrt, Fahrleistung 36 km
- **Anfangsbeladung** wurde branchentypisch realistisch angenommen.
- **Es werden drei Straßenkategorien im Zu- und Ablauf frequentiert:**  
 Autobahn, 4-streifige Hauptstraße, 2-streifige Stadtstraße
- **Es werden branchentypische Lieferzeitfenster** festgelegt, um mit
- **den Verkehrszuständen** (Level of Service A+B, C+D, E+F) im Straßennetz der Route im Tagesgang verknüpft zu werden.

	N1 KEP-Tour	N2 LEH-Tour	N3 Zentrallager - Zulieferung
Zulässiges/tatsächliches Gesamtgewicht	3,5 t / 2,6 t	12 t / 8 t	40 t / 35 t
Nutzlastpotenzial	1,4 t	8,5 t	25 t
Tatsächliche Beladung	0,5 t	4,5 t	20 t



# Modellierung der Fahrdynamik



**Basis-Diagramm der Fahrdynamik entlang einer Kante in Abhängigkeit von der Verkehrsqualität (LoS).**

**Lastanforderung (kW) an den Antrieb auf dem Zulauf zum städtischen Lieferbezirk für einen typischen Mix an Verkehrszuständen (in LoS % A\* + % C\* + % E\*) innerhalb des Zeitfensters für die Lebensmittelhandbelieferung**



Simulation by



-Cruise



## Durchführung der Fahrzyklen-Simulationen nach Nutzfahrzeug-Mustern und Antriebsarten

- ❑ **3 Klassen von Nutzfahrzeugen:** N1 (bis 3,5t), N2 (bis 12 t), N3 (über 12 t) für
- ❑ **3 typische logistische Einsatzformen:** N1-KEP-Tour, N2-LEH-Tour, N3-industrielle Zuliefertour mit branchenspezifischen Lieferzeitfenstern
- ❑ **3 Levels of Service (LoS) A+B, C+D, E+F** als Verkehrszustände in Abhängigkeit von **3 Straßenkategorien**  

- ❑ **2 Konventionelle Antriebe** mit Diesel oder CNG bei allen Fahrzeugklassen
- ❑ **Reine Elektrofahrzeuge (BEV)** bei N1 und N2 (bis 12 t Gesamt- und 7,5 t Nutzlast)
- ❑ **3 typische Fahrzeugmuster** für N1-KEP-Dienste, N2-LEH-Touren und im N3-industriellen Zulieferverkehr  

- ❑ Bei N1-Fahrzeug: 2 Konventionelle, 1 Elektro, 7 Diesel-Hybride, 3 CNG-Hybride  
=  $\Sigma$  **13 N1-Systemauslegungen**
- ❑ Bei N2-Fahrzeug ebenfalls **13 N2-Systemauslegungen** wie bei N1
- ❑ Bei N3-Fahrzeug: 2 Konventionell, 3 Diesel- und 3 CNG-Hybride  
=  $\Sigma$  **8 N3-Systemauslegungen**

## Technologische Entwicklungsschwerpunkte für den Straßengüterverkehr

Eingriffsebenen

netzseitig

fahrwegseitig

energieeffizient & emissionsarm

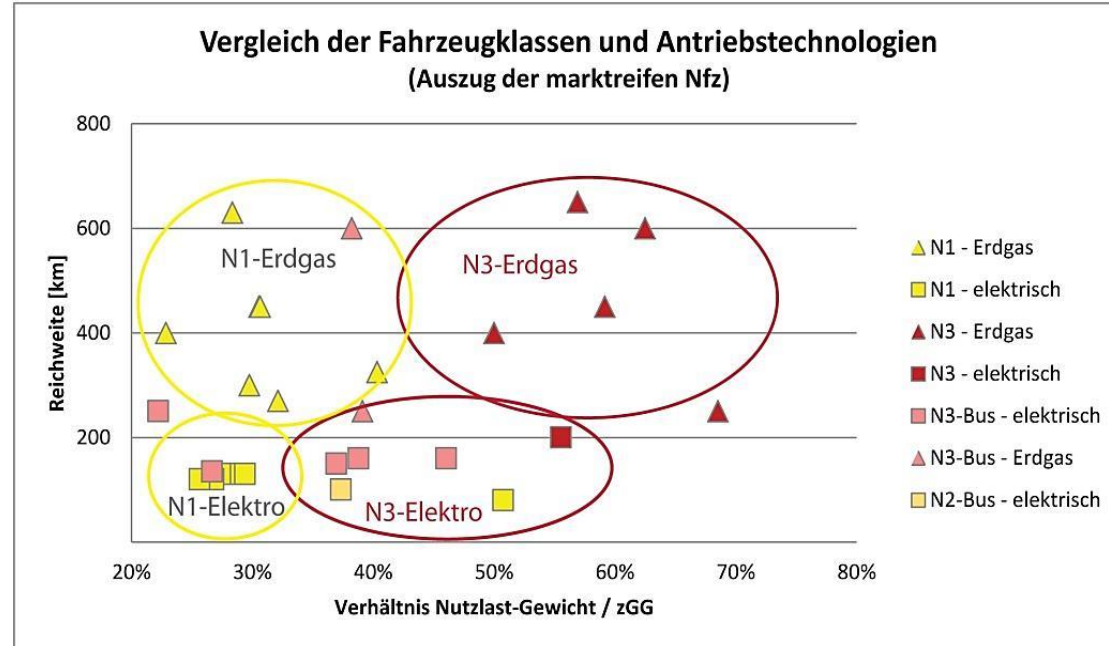
antriebsseitig

- ❑ **Antriebsstrang bzw. alternative Antriebe**
  - **Hybride-Antriebsformen auf diesel- oder erdgas-gestützter Basis**
    - **Start-Stopp-Funktionalität** (Micro-Hybrid mit 10 kW E-Motorleistung)
    - **Mild-Hybride** (max. 20 kW E-Motorleistung zum Boosten und Rekuperieren )
    - **Full-Hybride** (max. 40-60 kW E-Motorleistung, kurzes E-Fahren)
    - **Power Split –Hybrid** (max. 80 kW E-Motorleistungen, eher für PKW)
    - **Serielle Hybride** HEV & BEV (120 kW E-Motorleistung, nur E-Antrieb)
  - **Elektro- und Wasserstoff gestützte Antriebe**
    - **Plug-in-BEV** (konduktiv über Stecker, induktiv über Magnetspulen),
    - **Brennstoffzelle** (Fuel-Cell-EV)
    - **Wasserstoff-VKM**
- ❑ **Kraftstoff-Strategie** (wie Dual-Fuel) und **Energiespeicher-Technologien**
- ❑ **Fahrzeug-Leichtbau** mit neuen Werkstoffen und verbesserter Widerstandscharakteristik an Zugmaschine & Trailer
- ❑ **Verbrauchsoptimale Fahrwerksdynamik**
- ❑ **Automatisierung des Fahrverhaltens** (durch umfassende Sensorik)
- ❑ **Connected / Guided Vehicles** (Platooning, V2V, Lane2V)
- ❑ **Geofencing** (räumlich-dynamisches Verkehrsmanagement nach Lage)

## Marktfähigkeit von Erdgas- oder Elektro-Nutzfahrzeuge

### Argumente aus Sicht der Fuhrparkbetreiber:

- Anschaffung 2-3x teurer
- Kein Sekundärmarkt für Wiederverkauf
- Return on Investment mit hoher Unsicherheit verbunden
- Wartungsrisiko für kleine Flotten
- Fehlende Erfahrung über Einsatz
- Energiekostenanteil an den Transportaufwendungen eher marginal
- Kaum N2-Fahrzeuge am Markt
- Elektro-Fz mit geringere Reichweite als Erdgas erfordern rigide gleichbleibende Tourenplanung mit Ladestützpunkten am Fuhrpark-Standort



- Je “kleiner und leichter” desto schlechter ist das **Nutzlast- /Gesamtgewichtsverhältnis (zGG)**
- **ABER:** je kleiner desto weniger wird die **Gewichtsauslastung** logistisch angestrebt (Personenwirtschaftsverkehr, KEP-Dienste...), es bleibt jedoch das **Reichweitenrisiko** bei E-Fahrzeugen, was für Hybride sprechen würde.

## Reduktionspotenziale im Vergleich der Antriebsvarianten

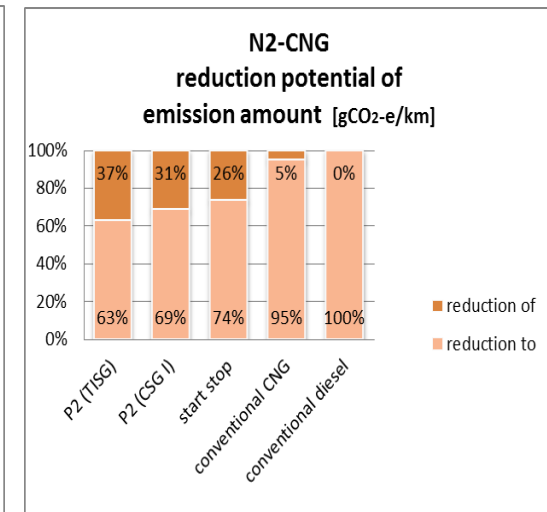
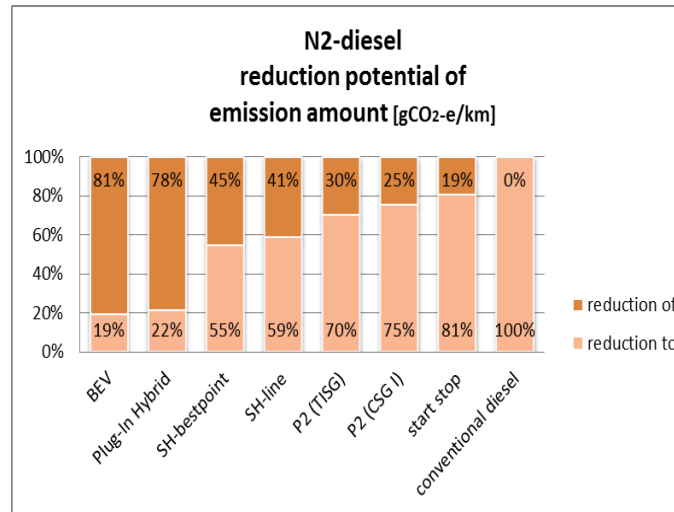
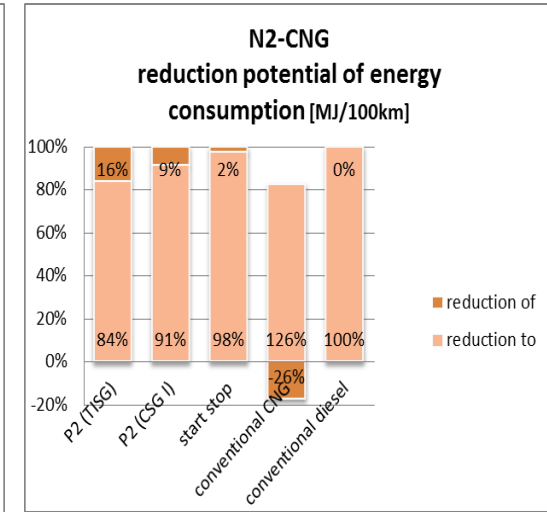
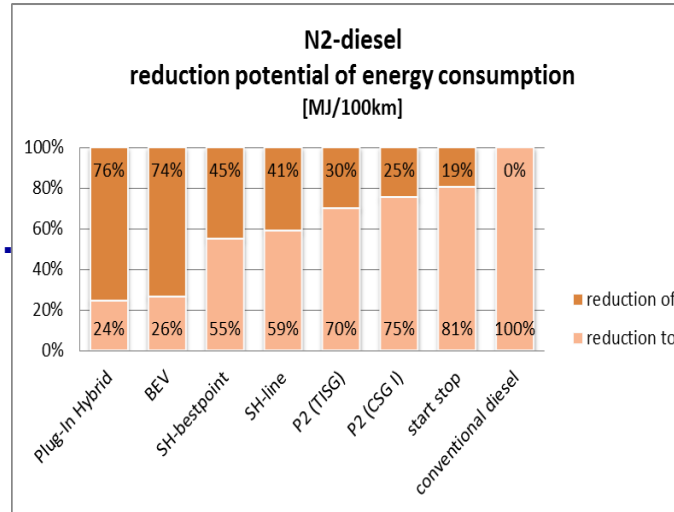
Der **Dieselantrieb** ist die Ausgangsbasis für den Vergleich

Die Energieeinsparungen sind bei allen **Hybrid-Varianten** mit Diesel-Komponenten erheblich.

**CNG** als Ausgangsbasis hilft bei der Emissionsreduktion.

**Reine Elektrofahrzeuge (BEV)** sind vom Wirkungsgrad und durch Zero Emission am Fahrzeug am Besten, aber u.a. **Reichweitenproblem** und **Batterie-Nutzlastkapazitätsproblem**.

Zu beachten ist der dreifache Sprung bei den Reduktionspotenzialen, selbst die **Start-Stopp-Funktion** bringt schon eine Menge im Stadtverkehr.



## Ergebnisse in verkehrslogistischer Hinsicht

### Ergebnisse in Abhängigkeit von der Verkehrsqualität (Level of Service):

**Szenario:** Bedienung durch Lieferfahrzeug mit konventionellem Dieselantrieb bei LoS A\* (Nachtanlieferung), C\* (untertags außerhalb der Verkehrsspitzen) und E\* (zur morgendlichen Verkehrsspitze):

Der **Kraftstoffverbrauch** nimmt um das 2,6-fache für N1 bis zum 5.6-fachen bei (N3) zu, wenn sich der LoS von C\* auf E\* verschlechtert, wenn aber sich der LoS auf A\* verbessert, wird dennoch 24% bis 30% mehr Kraftstoff verbraucht.

### Ergebnisse in Hinblick auf „Sustainability Performance Indicators“:

Vollbeladungs-Äquivalente + Leerfahrten-Äquivalente = **Transportaufwand** in in Tonnen-Km Gesamt-Fahrzeuggewicht auf der Fahrbahn während einer Tour

Bewegte Fahrzeugmasse in tkm für Zuladung zur Kundenbelieferung in tkm = **Transportleistung**

Als Verhältnis Bewegte Fahrzeugmasse in tkm zu Zuladung in tkm: = **Transport-Produktivität**

## Findung der Bestantriebsvariante im logistischen Einsatz

### □ Eine Indikatorensystematik zur ökologischen Transportproduktivität

- **N1-KEP-Tour:** Fahrleistung 39 km, Transportaufwand 111,5 tkm<sub>road</sub>, Transportleistung 29,3 tkm<sub>comm</sub> = 26% Transportproduktivität; Beste Antriebsvariante ist das reine Elektrofahrzeug (BEV) mit einem **Energieverbrauchsindikator** von 0,62 MJ/tkm GVW<sub>var</sub> bzw. einem **Emissionsindikator** von 34 gCO<sub>2e</sub>/tkm GVW<sub>var</sub> (= bewegte Fahrzeugmasse)
- **N2-LEH-Tour:** Fahrleistung 40 km, Transportaufwand 285 tkm<sub>road</sub>, Transportleistung 104 tkm<sub>comm</sub> = 37% Transportproduktivität; Beste Antriebsvariante = **Diesel-Plug-in-Hybrid** (Dual energy) mit einem **Energieverbrauchsindikator** von 0,33 MJ bzw. einem **Emissionsindikator** von 22 gCO<sub>2e</sub>/tkm GVW<sub>var</sub>
- **N3-Industrie-Auslieferung:** Fahrleistung 36 km, Transportaufwand 908 tkm<sub>road</sub>, Transportleistung 369 tkm<sub>comm</sub> = 41% Transportproduktivität; Beste Antriebsvariante = **Diesel-Hybrid P2** mit einem **Energieverbrauchsindikator** von 0,50 MJ/tkm bzw. einem **Emissionsindikator** von 37 gCO<sub>2e</sub>/tkm GVW<sub>var</sub>.

Wird als zweitbeste Variante ein **CNG-Hybrid P2** eingesetzt, so fällt der **Energieverbrauchsindikator** mit 0,56 MJ/tkm zwar etwas höher aus, aber dafür ist der **Emissionsindikator** mit 0,31 gCO<sub>2e</sub>/tkm GVW<sub>var</sub> niedriger.

## Was weiter? Einige strategische Schlussfolgerungen

### ❑ Paradigmenwechsel in der Bewertungsoptik von Verkehrslogistik:

Die drei **Transport-Schlüsselindikatoren** sind primär für die betriebliche Kostenkalkulation und Wettbewerbsfähigkeit der Logistikdienste relevant, aber auch für das öffentliche Verkehrsmanagement von Interesse. Die **zwei Nachhaltigkeitsindikatoren** geben Hinweise für die ökologische Optimierung der Verkehrslogistik und für den Innovationsbedarf bei der Fahrzeugentwicklung.

### ❑ Verschränkte Betrachtungsweise bei der Optimierung von:

- motorischen Wirkungsgraden (Antriebsstrang)
- fahrzeugseitigen Nutzlastkapazitäten (Transportproduktivität)
- zeitabhängigen Straßenkapazitäten (Ideallast-Zeiten)
- regulierenden Eingriffen für belastete Gebiete
- Nfz-fahrleistungsreduzierender Logistikstandortpolitik
- emissionsreduzierter Gestaltung der Transportketten



**Besten Dank für die Einladung und ihre Aufmerksamkeit!**

[heinz.doerr@arp.co.at](mailto:heinz.doerr@arp.co.at)