

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

Projektpartner:

Projektpartner, Team und Aufgabenteilung

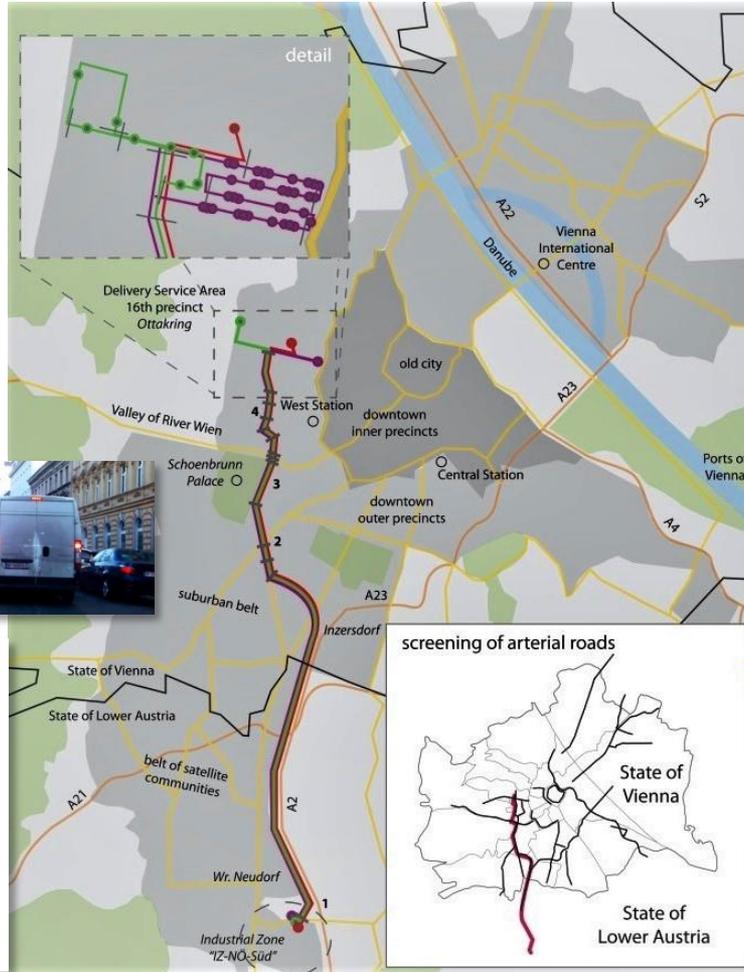
ARGE-Partner	Hauptaufgabe im Vorhaben
AVL List GmbH, Graz Dr. Arno Huss, Dr. Peter Prenninger, DI (FH) Rolf Albrecht	Entwicklungsstand der Fahrzeug- technologie und Simulation von Fahrzyklen
ZT Dr. Heinz Dörr (arp-planning.consulting.research), Wien DI (FH) Andreas Romstorfer MA, Yvonne Toifl BSc, Viktoria Marsch Bakk.techn.	Konsortialführer und Projektleitung, Logistikbedienung im Güterverkehr, Fahrzeugmarkt, Einordnung in das Gesamtverkehrsgeschehen
Technische Universität Wien Department für Raumplanung Fachbereich Verkehrssystemplanung Ass.-Prof. Dr. Bardo Hörl, DI Monika Wanjek, Claudia Berkowitsch BSc	Infrastruktur für den Güterverkehr, Netzkapazitätsermittlung, Effekte auf die Umwelt
Energycomment GmbH, Hamburg 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 (CO₂-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.

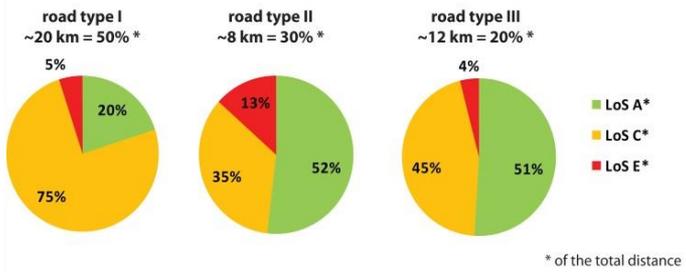
Aufbau eines Daten-Input-Modells zur Fahrzyklen-Simulation

- ❑ 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

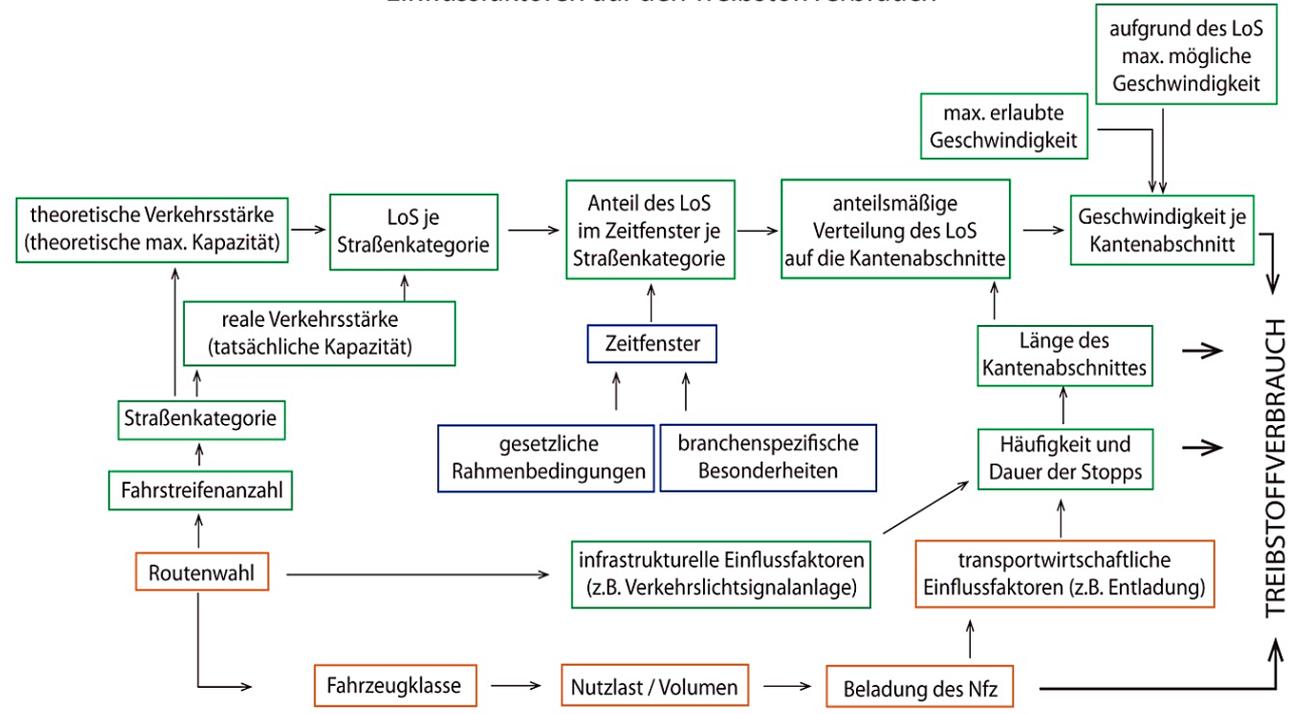
- **Gliederung der Route in Knoten** (Stops oder Wechsel der Straßenkategorie) **und Kanten** (fahr-dynamische Charakteristik des eingesetzten Nfz)

□ **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

Verkehrsorganisation: - Verkehrsflächenangebot - Verkehrsflussorganisation - Verkehrsregulierungen - ...	Logistikwirtschaft: - Änderung der Lieferzeitfenster (Kundenintervention) - Routenänderung (Abfolge der Lieferpunkte)	Fahrdynamik: - Start und Stopp - Hybrideinsatz - Fahrerassistenzsysteme
---	--	---

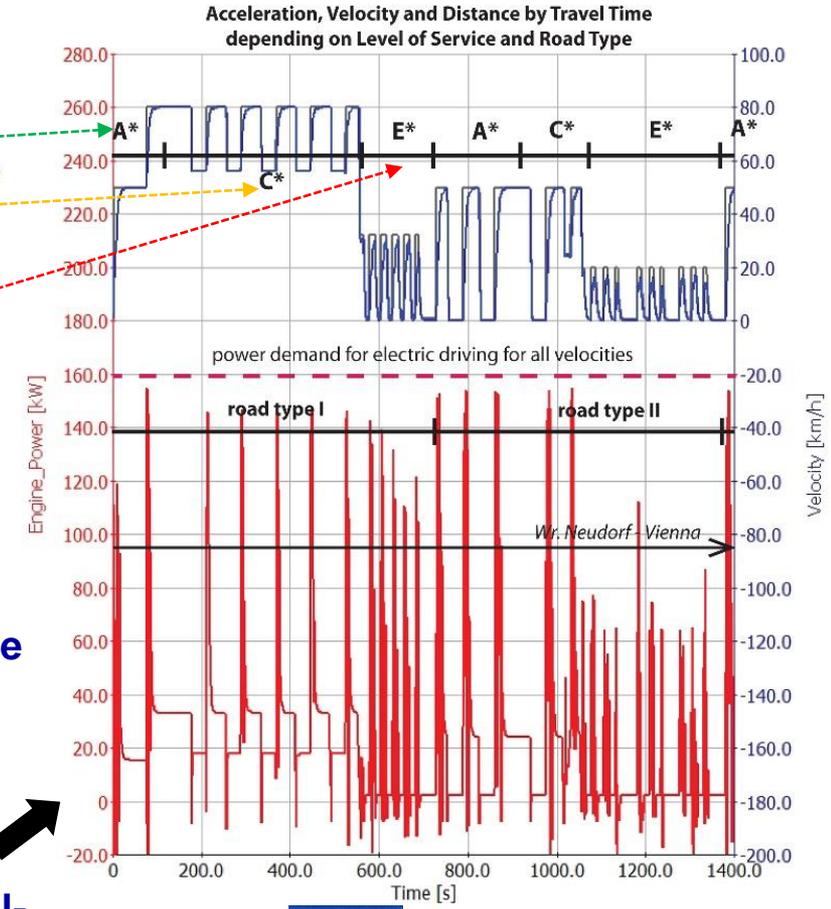
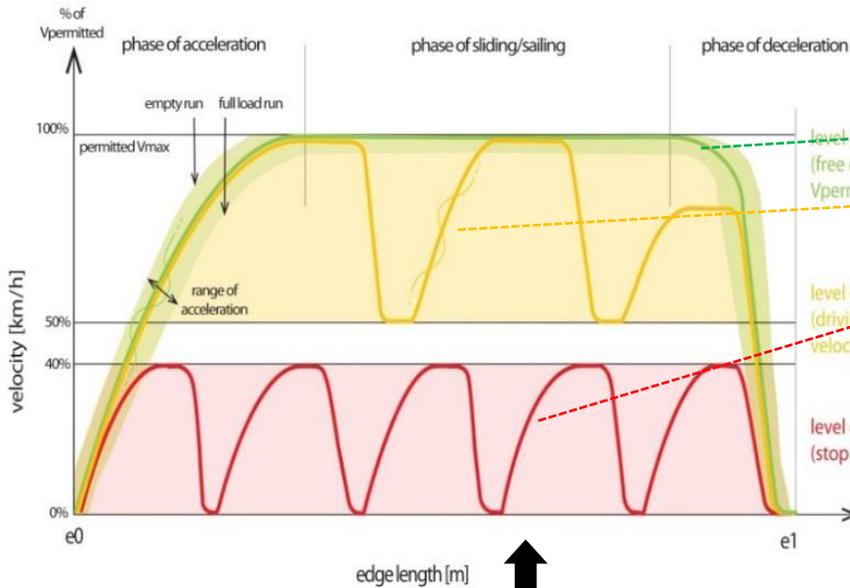
Ausgangsdaten zur Verkehrslogistik

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
 = Σ **13 N1-Systemauslegungen**
 - ❑ Bei N2-Fahrzeug ebenfalls **13 N2-Systemauslegungen** wie bei N1
 - ❑ Bei N3-Fahrzeug: 2 Konventionell, 3 Diesel- und 3 CNG-Hybride
 = Σ **8 N3-Systemauslegungen**

Technologische Entwicklungsschwerpunkte für den Straßengüterverkehr

Eingriffsebenen

netzseitig

fahrwegseitig

energieeffizient & emissionsarm

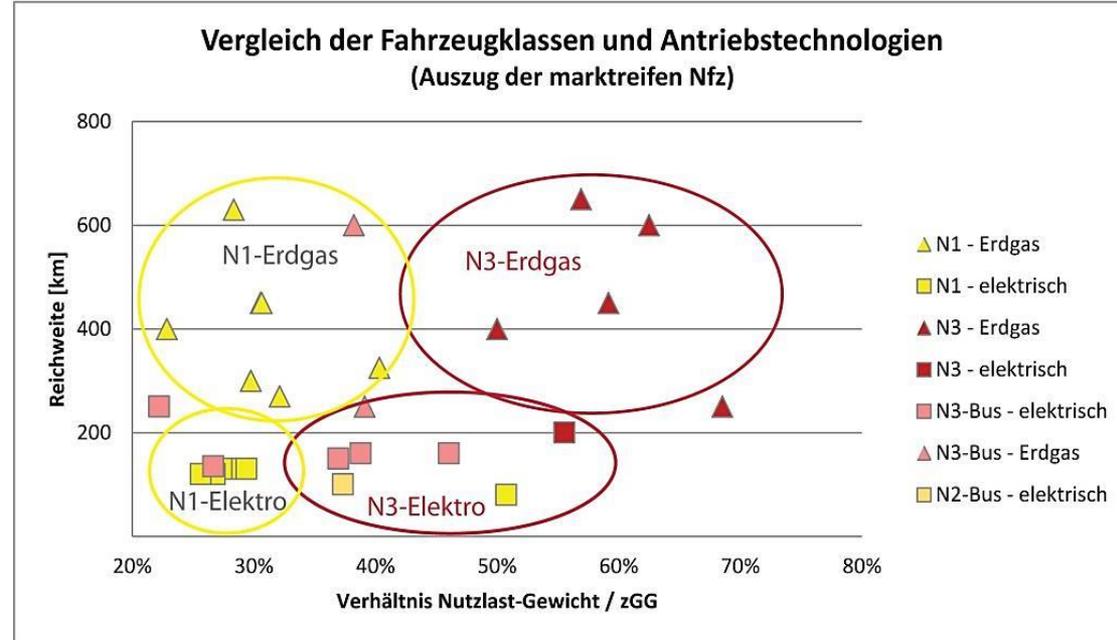
antriebsseitig

- ❑ **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

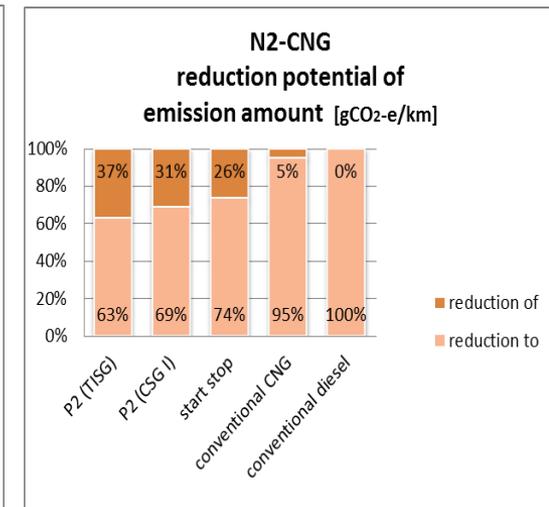
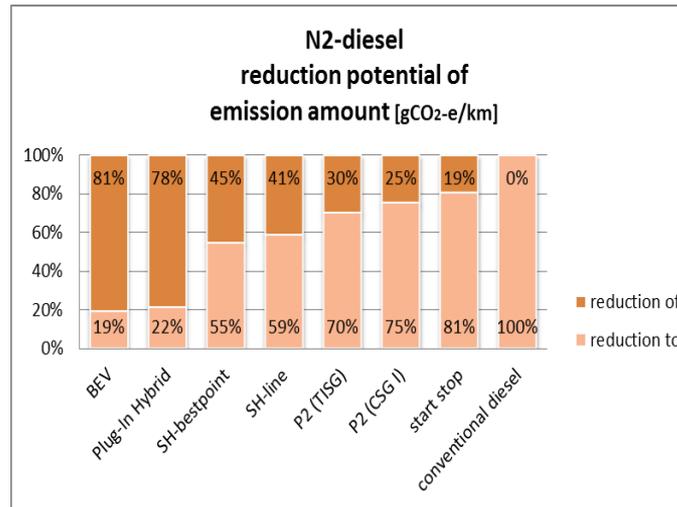
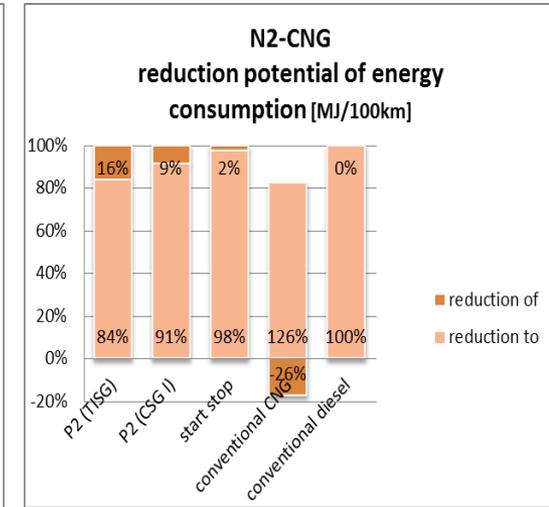
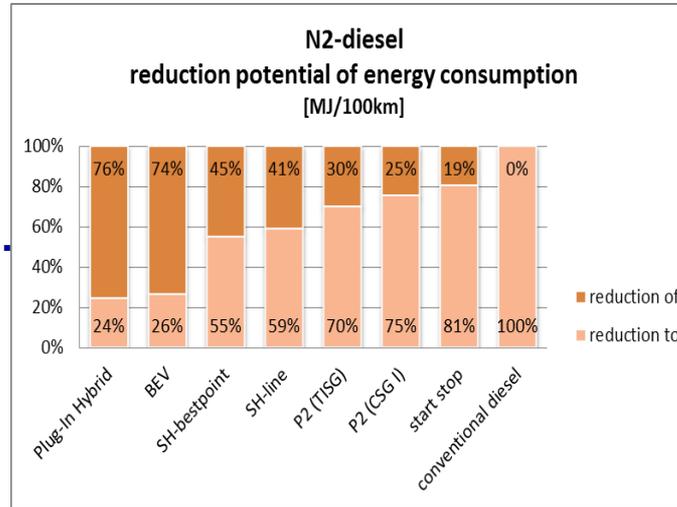
Der **Dieselantrieb** ist die Ausgangsbasis für den Vergleich

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

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_{2e}/tkm GVW_{var} 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