

Anforderungen an ÖV Systeme der Zukunft

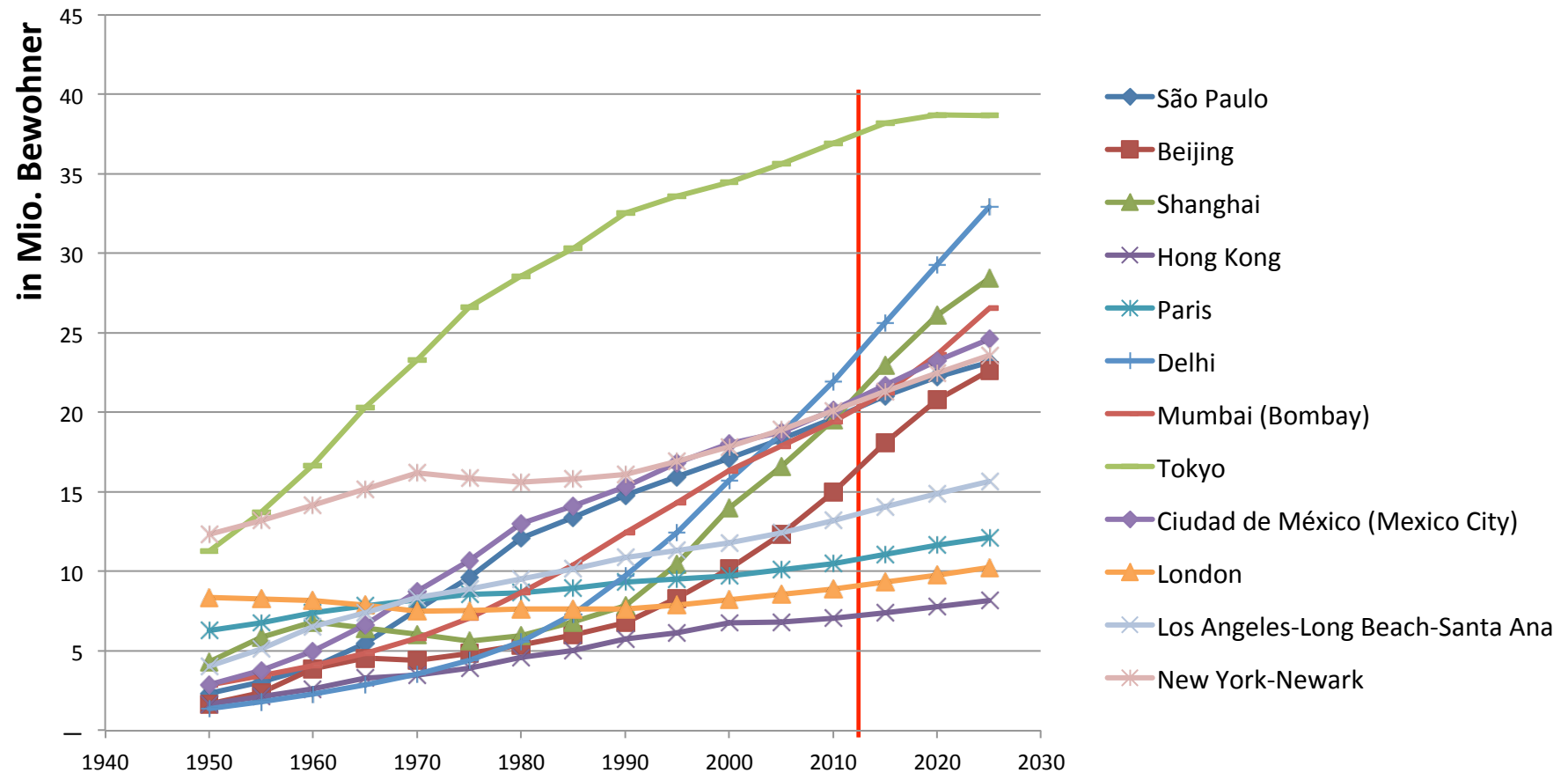
**Welche straßen-bezogenen Antriebstechnologien sind
richtungsweisend?**

Lino Guzzella



45 Minuten

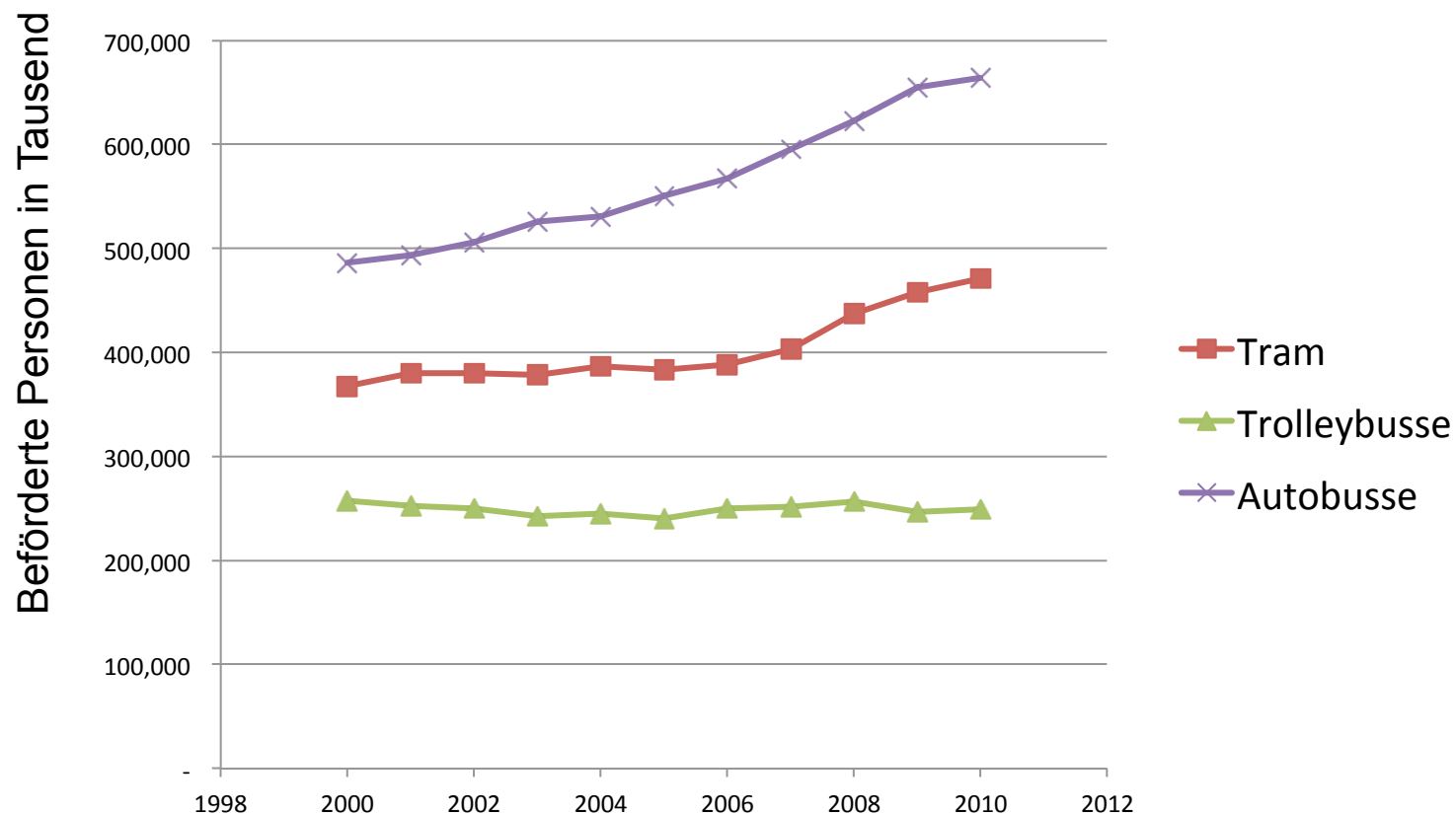
Bevölkerungswachstum



Tendenz: Urbanisierung, deshalb zunehmende Bedeutung ÖV

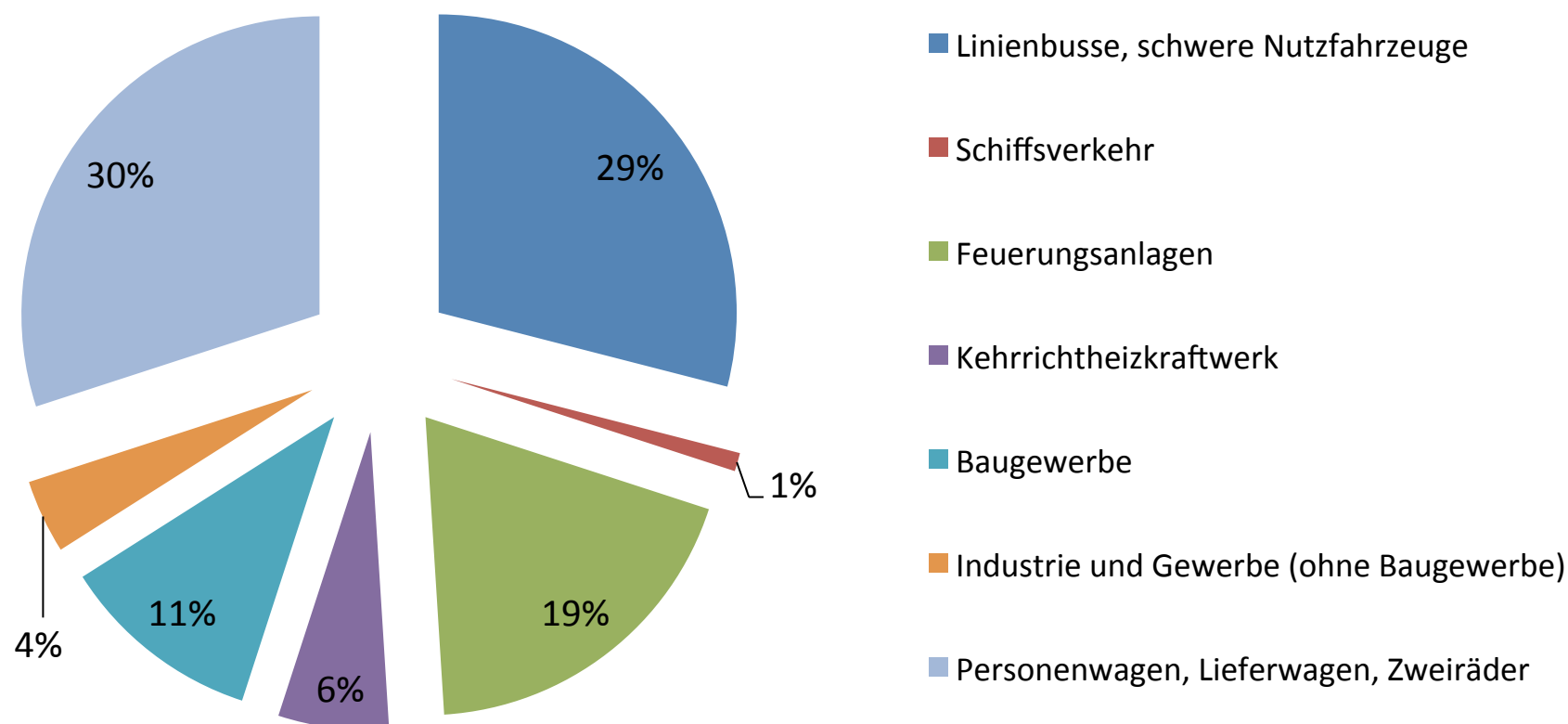
Quelle: UN, Department of Economic and Social Affairs

Entwicklung ÖV Strasse CH



Quelle: Bundesamt für Statistik (Schweiz)

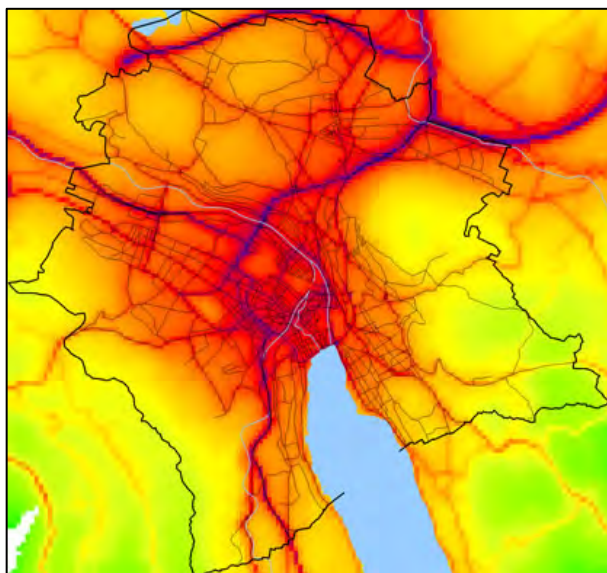
NO_x-Emissionen Stadt Zürich 2005



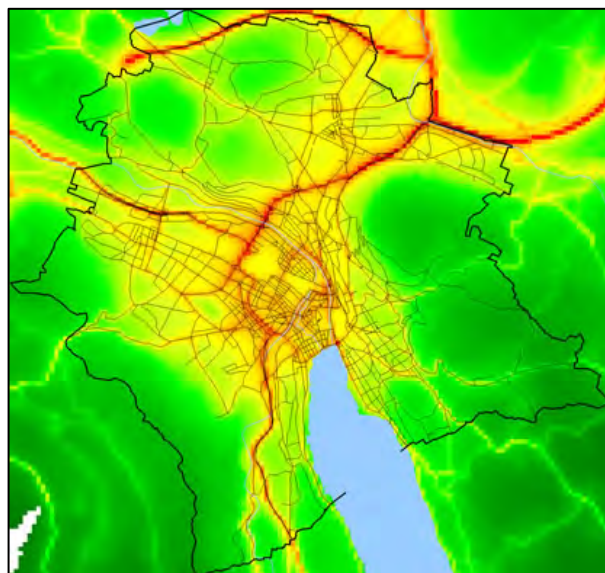
Quelle: Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ)

Stadt Zürich NO₂ Belastung

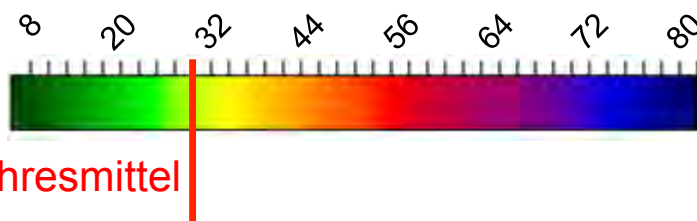
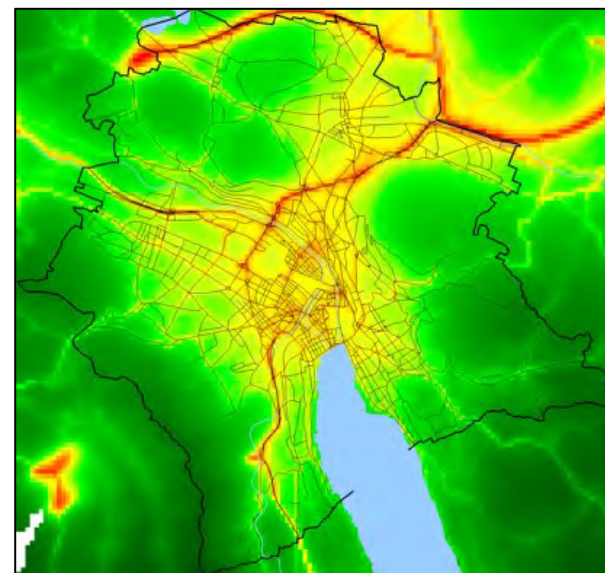
1991



2001



2011

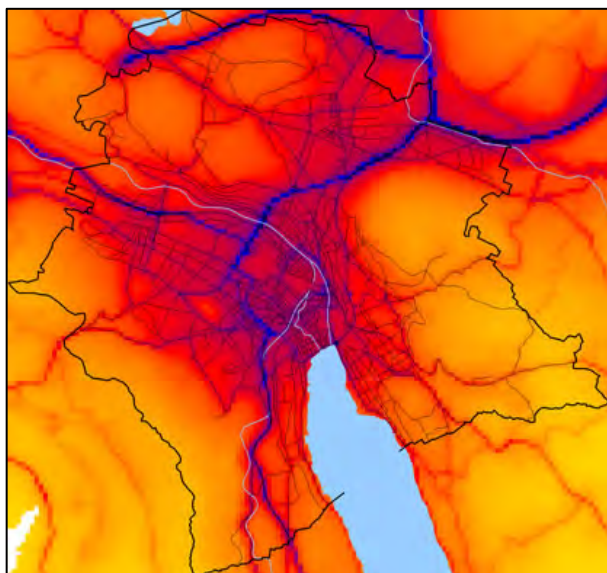


Grenzwert Jahresmittel

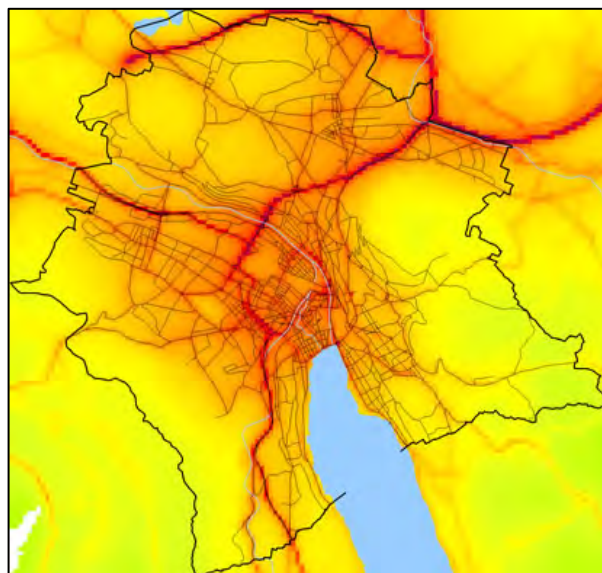
Quelle: Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ)

Stadt Zürich Feinstaub Belastung (pm10)

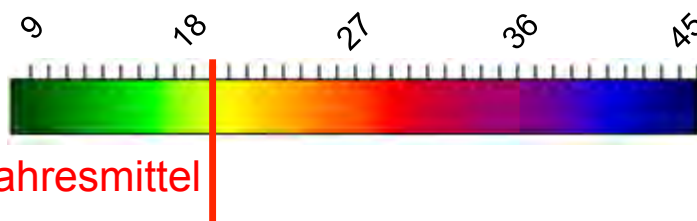
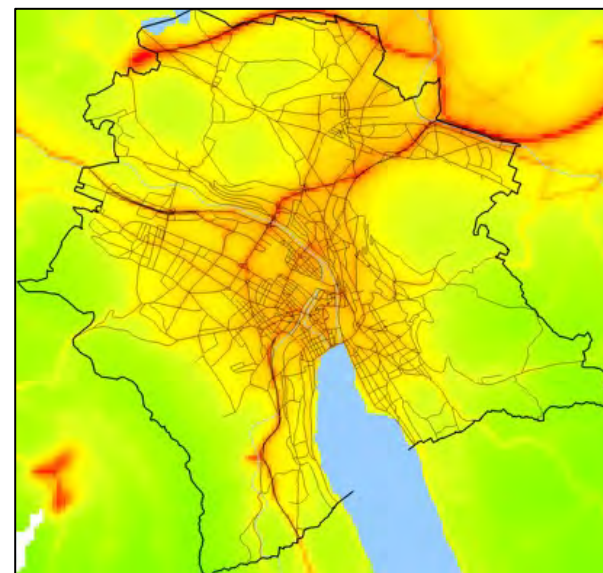
1991



2001



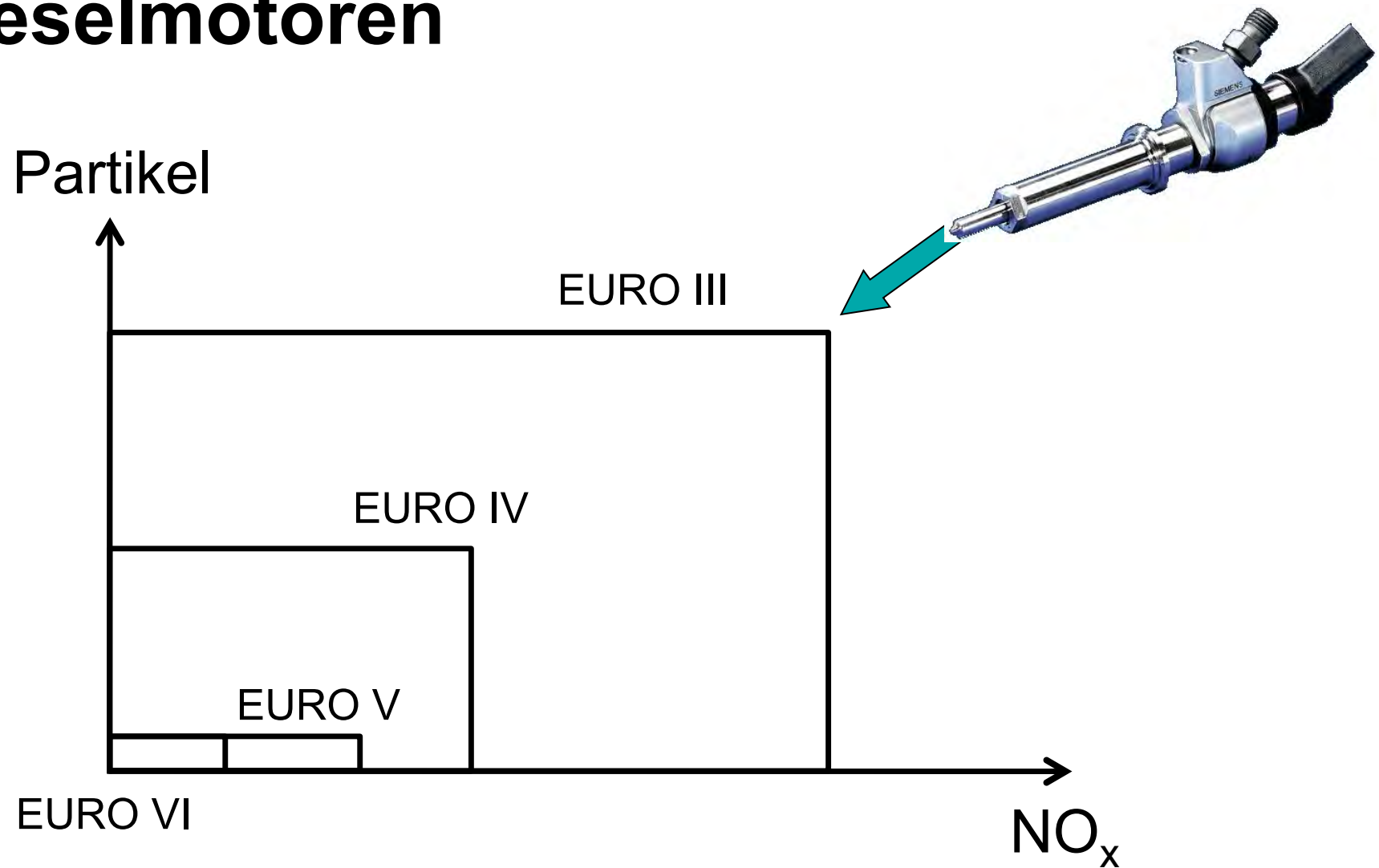
2011



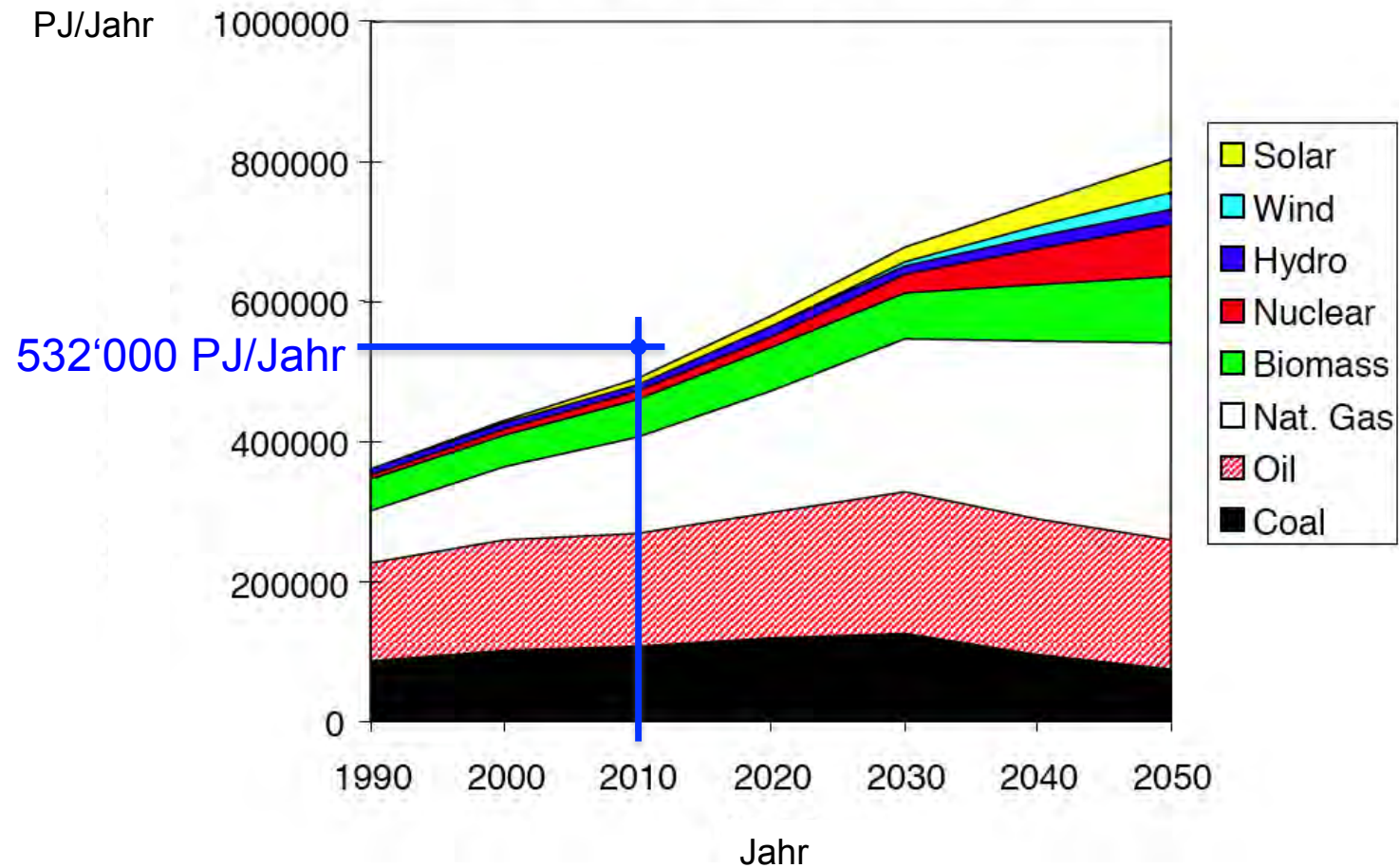
Grenzwert Jahresmittel

Quelle: Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ)

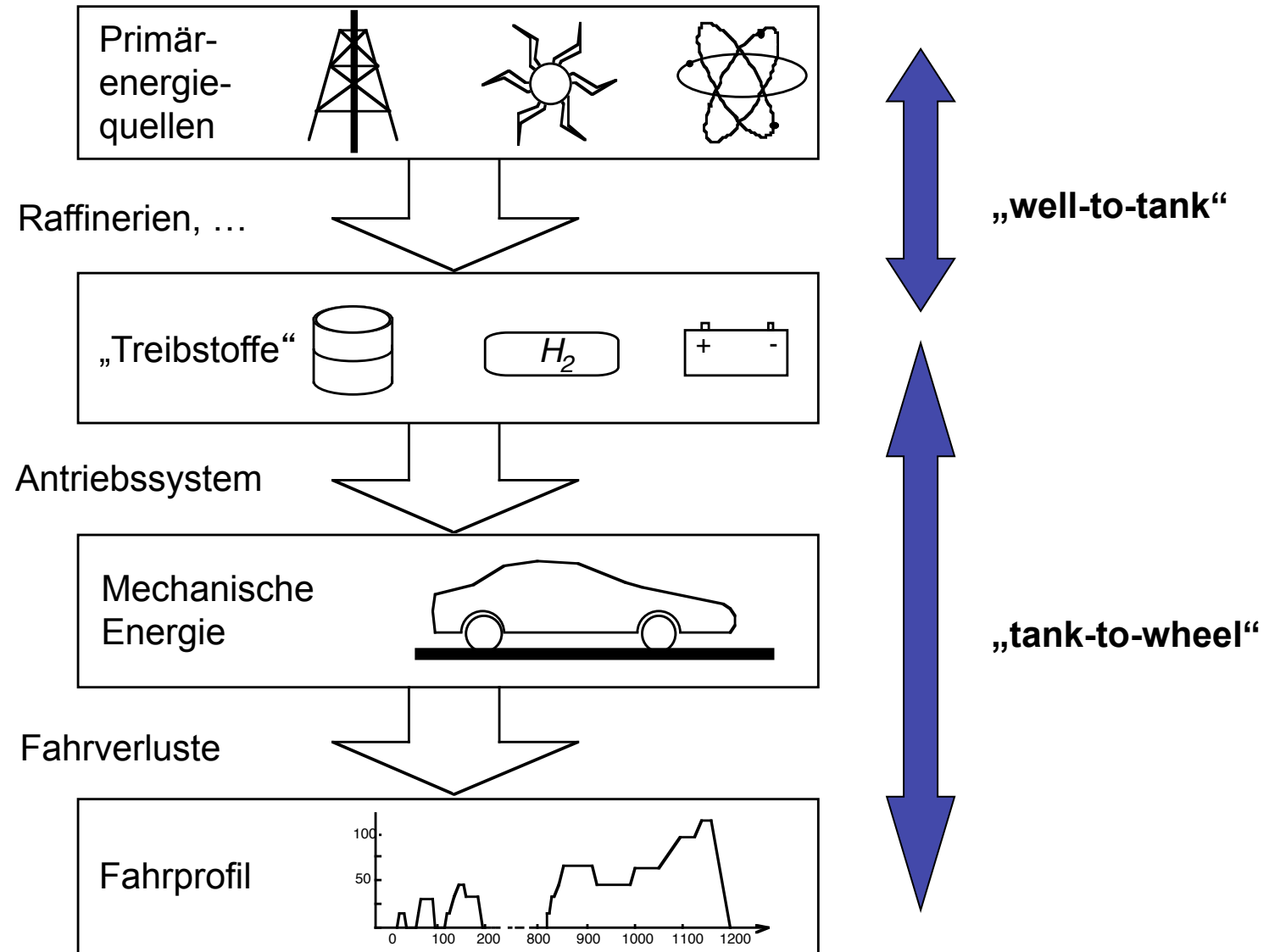
Dieselmotoren



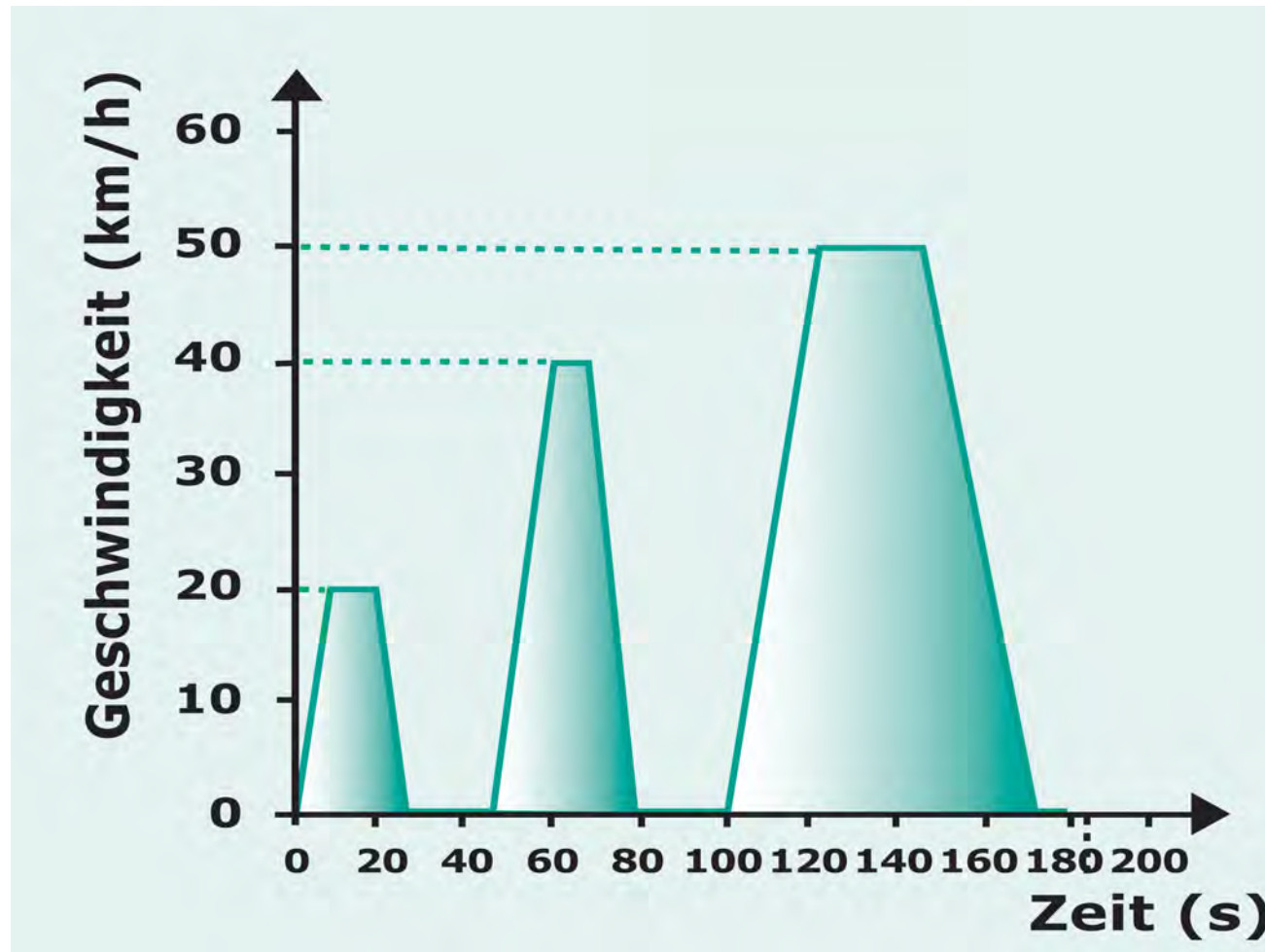
Prognose und Realität Energieverbrauch



Quelle: OECD/IEA (2005 und 2012)

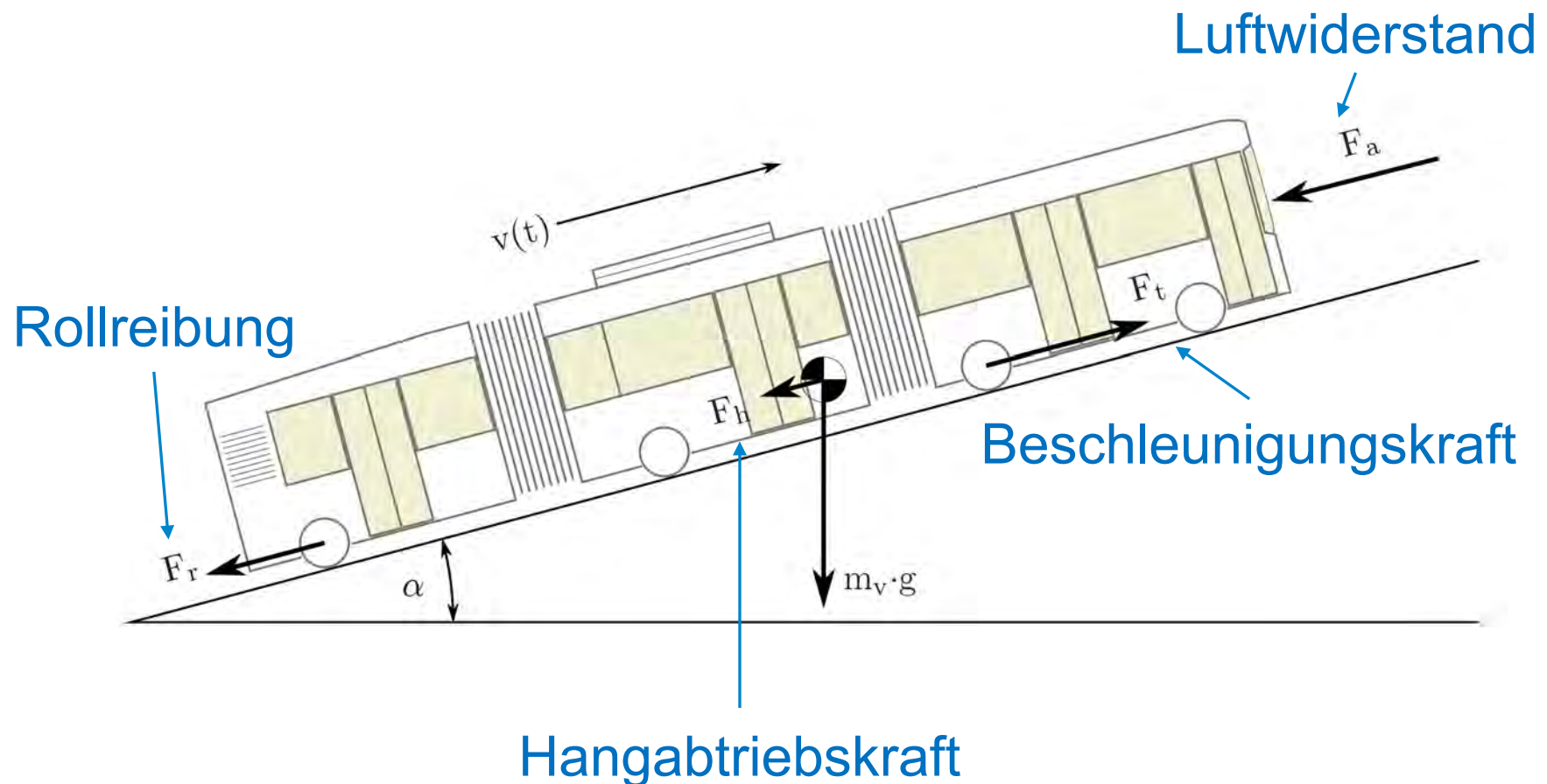


Norm-Fahrprofil (SORT-Zyklus)

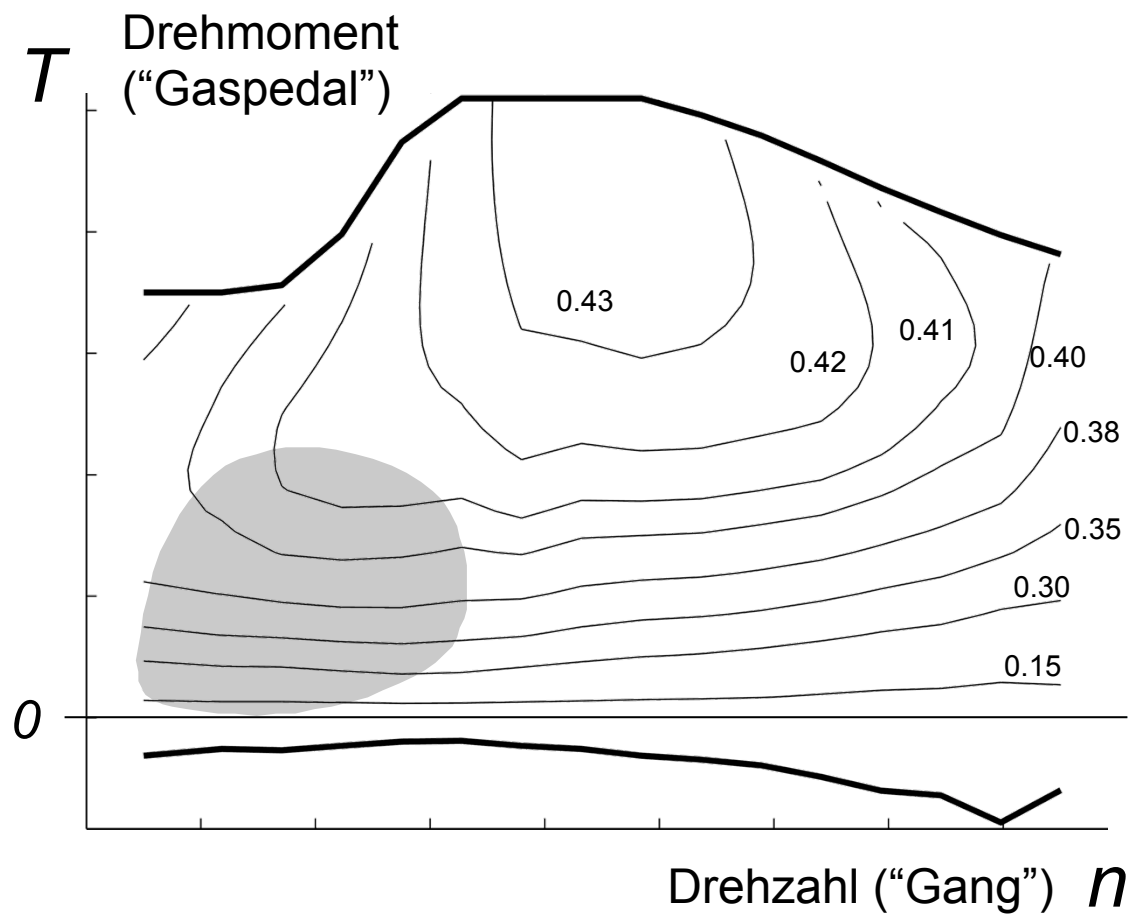
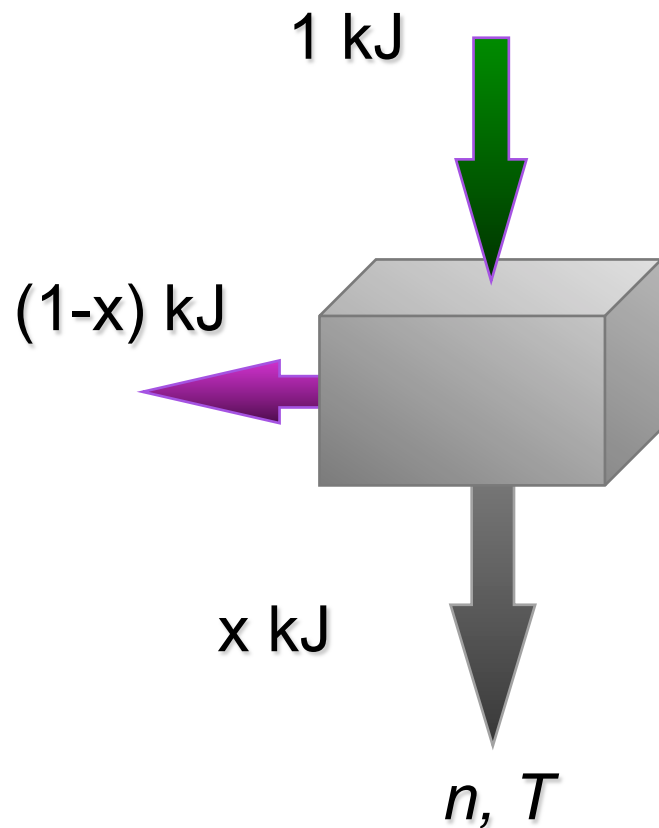


Quelle: UITP

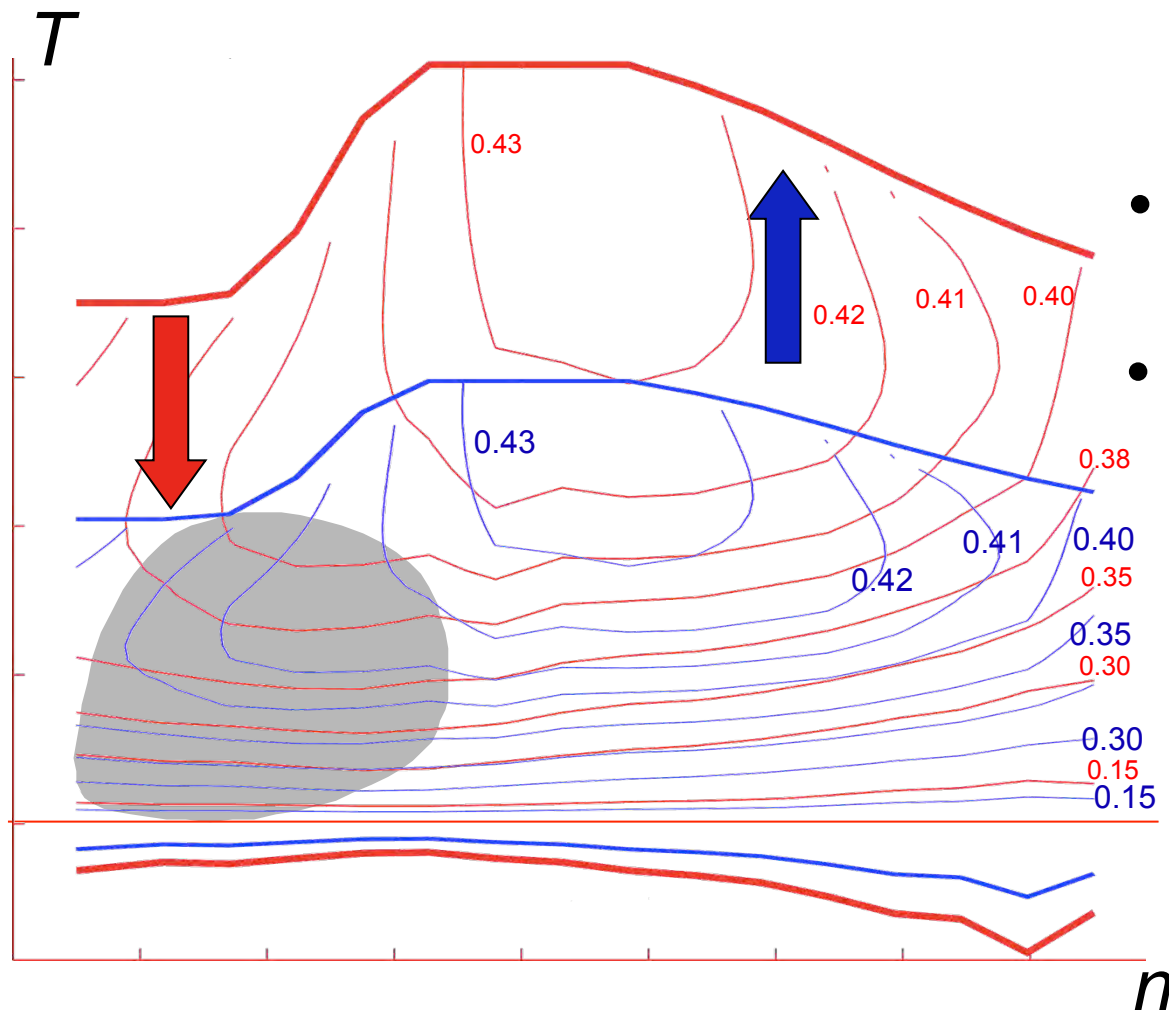
Kräfte am Fahrzeug



Wirkungsgradkennfeld Dieselmotor



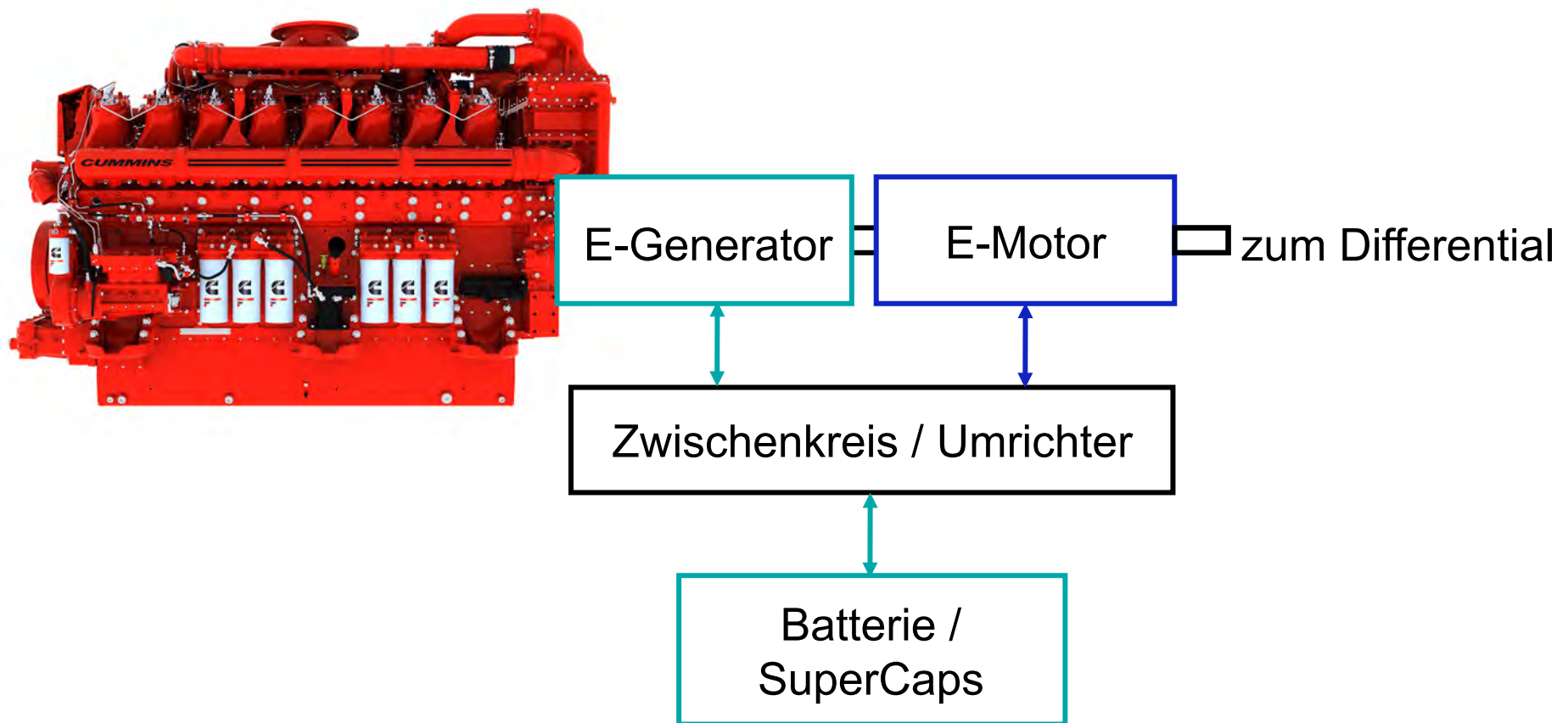
Downsizing and Supercharging



- “downsizing” **V6** ↓ **R3**
- “supercharging” ↑

- Turbolader
- Kompressoren
- Elektromotoren
-

Hybridantrieb – Seriell





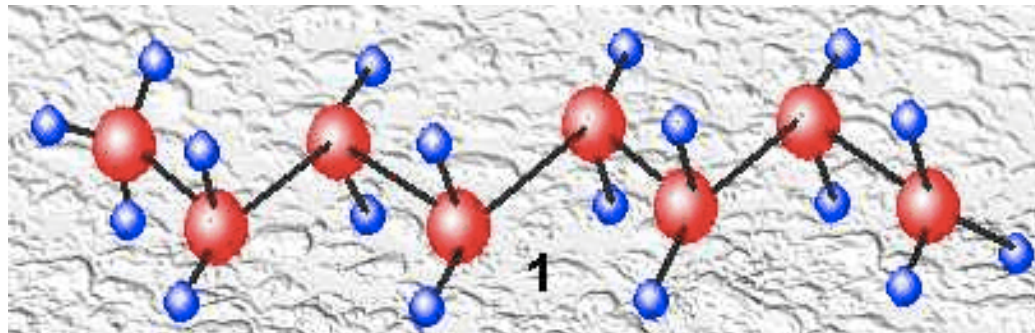
Prognose für die nächsten 10 Jahre

- Dieselmotoren werden ähnlich sauber wie Ottomotoren
- Hybridfahrzeuge werden zwar zunehmen, aber nur in „finanzkräftigen“ Ländern
- Erdgasmotorenanteil kann spürbar ansteigen, besonders wenn Rahmenbedingungen stimmen (Tankstellen, Preise, ...)
- Reine Elektrofahrzeuge werden im Busbereich Nischen besetzen
- Agro-Treibstoffe werden in kleinen Mengen beigefügt werden

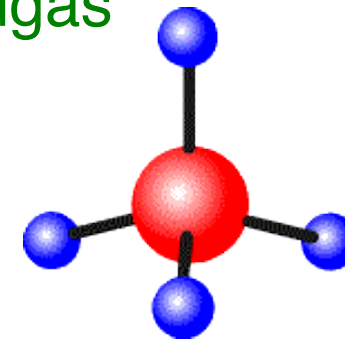
Erdgas eine realistische Alternative

- Sehr saubere Abgase
- Relativ geringe CO₂-Emissionen
- Potenzial für bessere Motoren

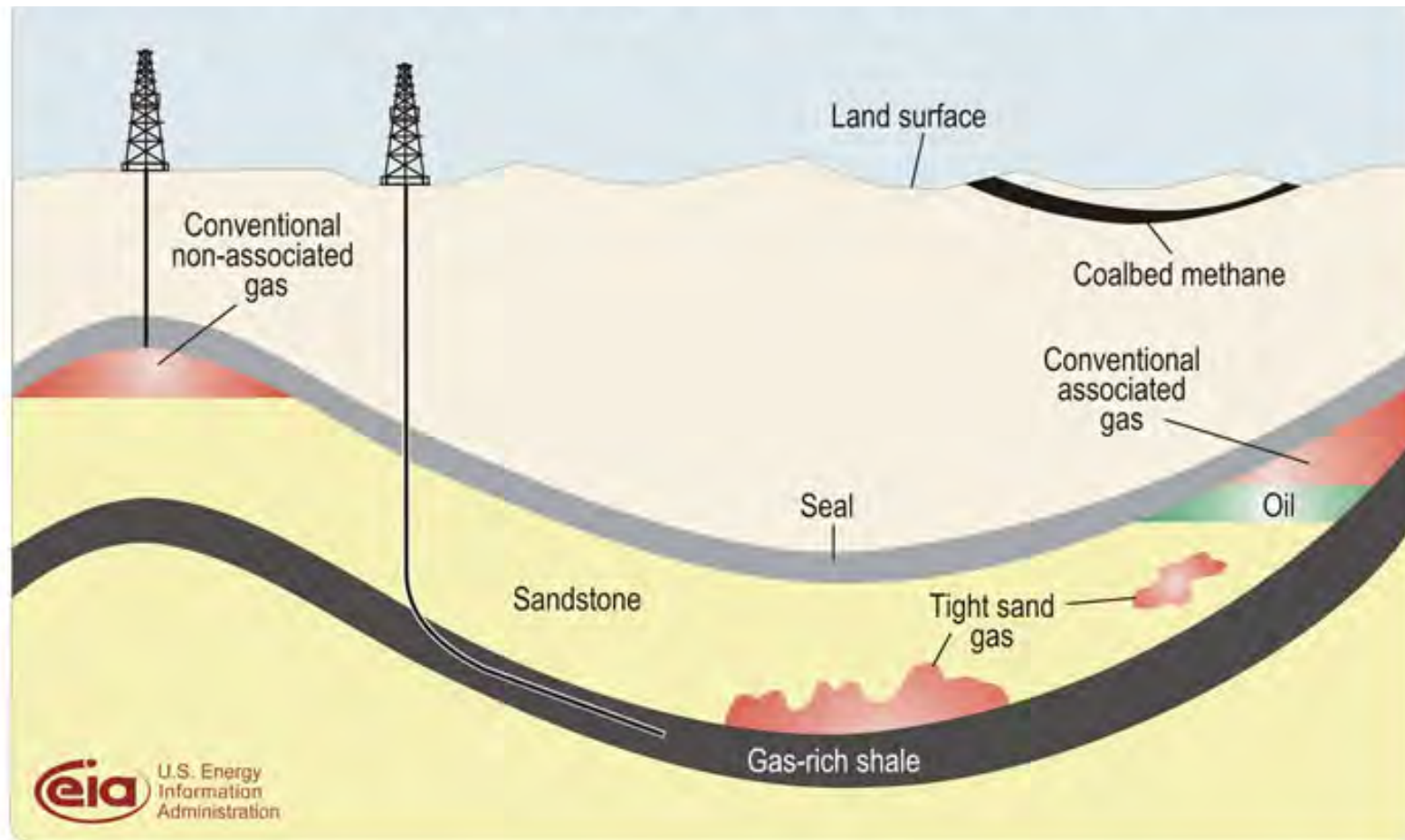
Diesel



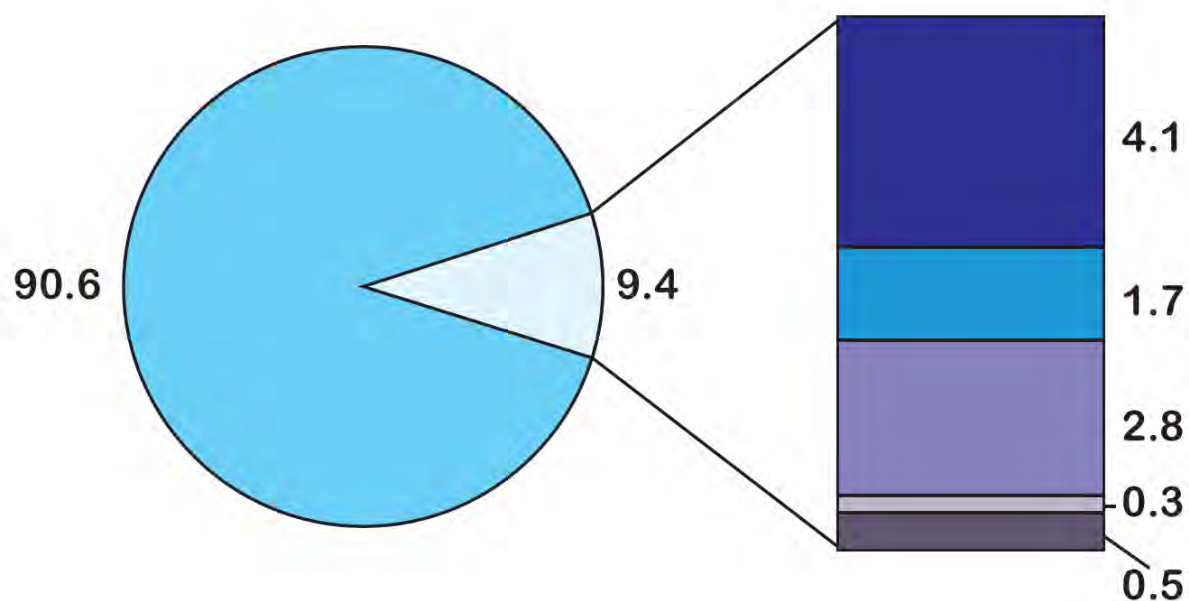
Erdgas



Unkonventionelles Erdgas



Antriebsarten von Nahverkehrsbussen in der EU



■ Diesel ■ CNG ■ LPG ■ Bio-diesel and bio-gas ■ Electricity ■ Other

Quelle: UITP (2012)

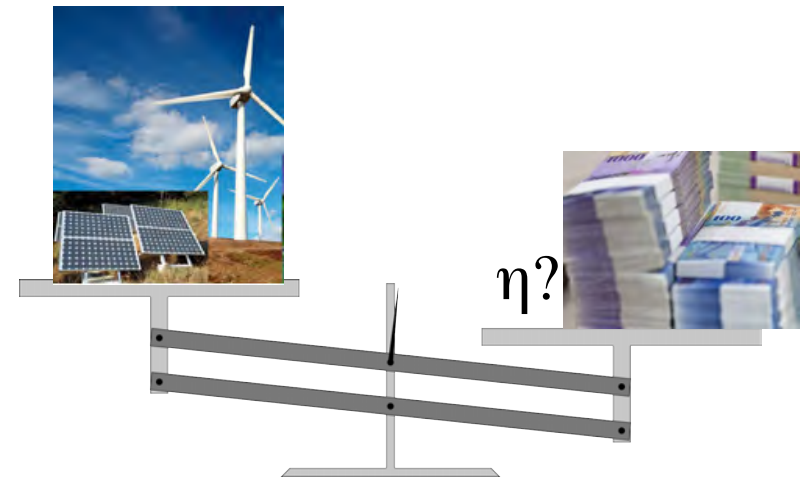
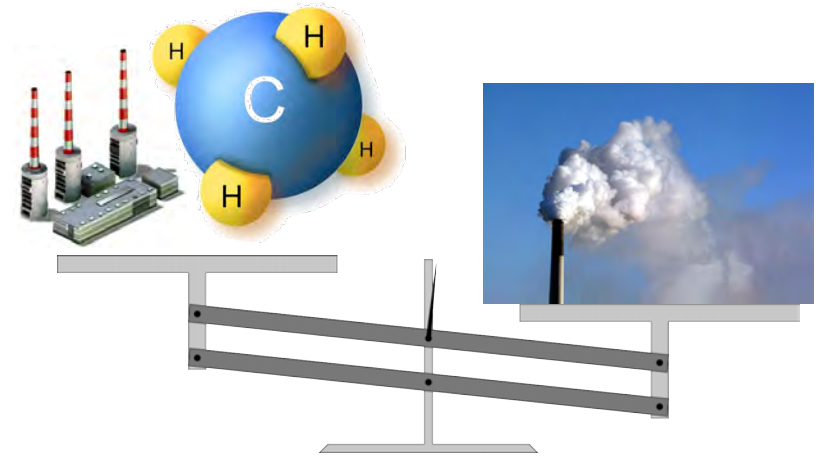
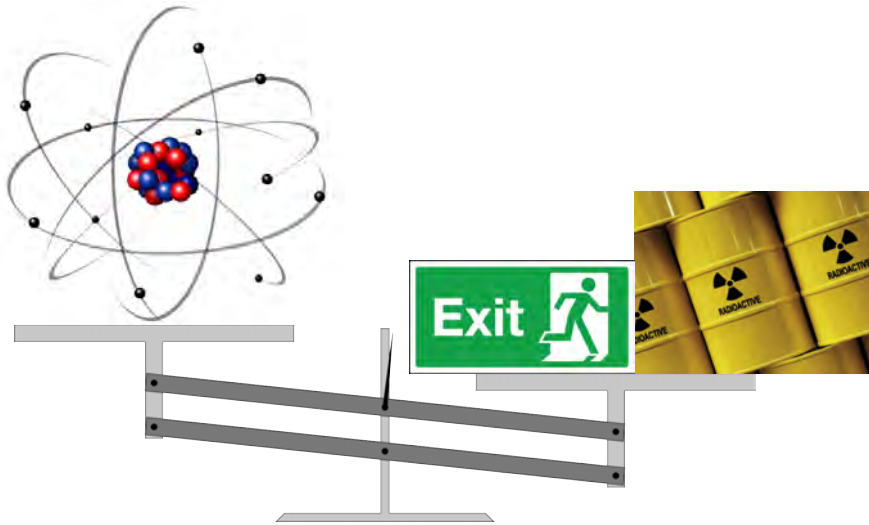
Spotmarktpreise Erdgas (USA)

\$ pro Million BTU (1 mmBTU = 290 kWh)



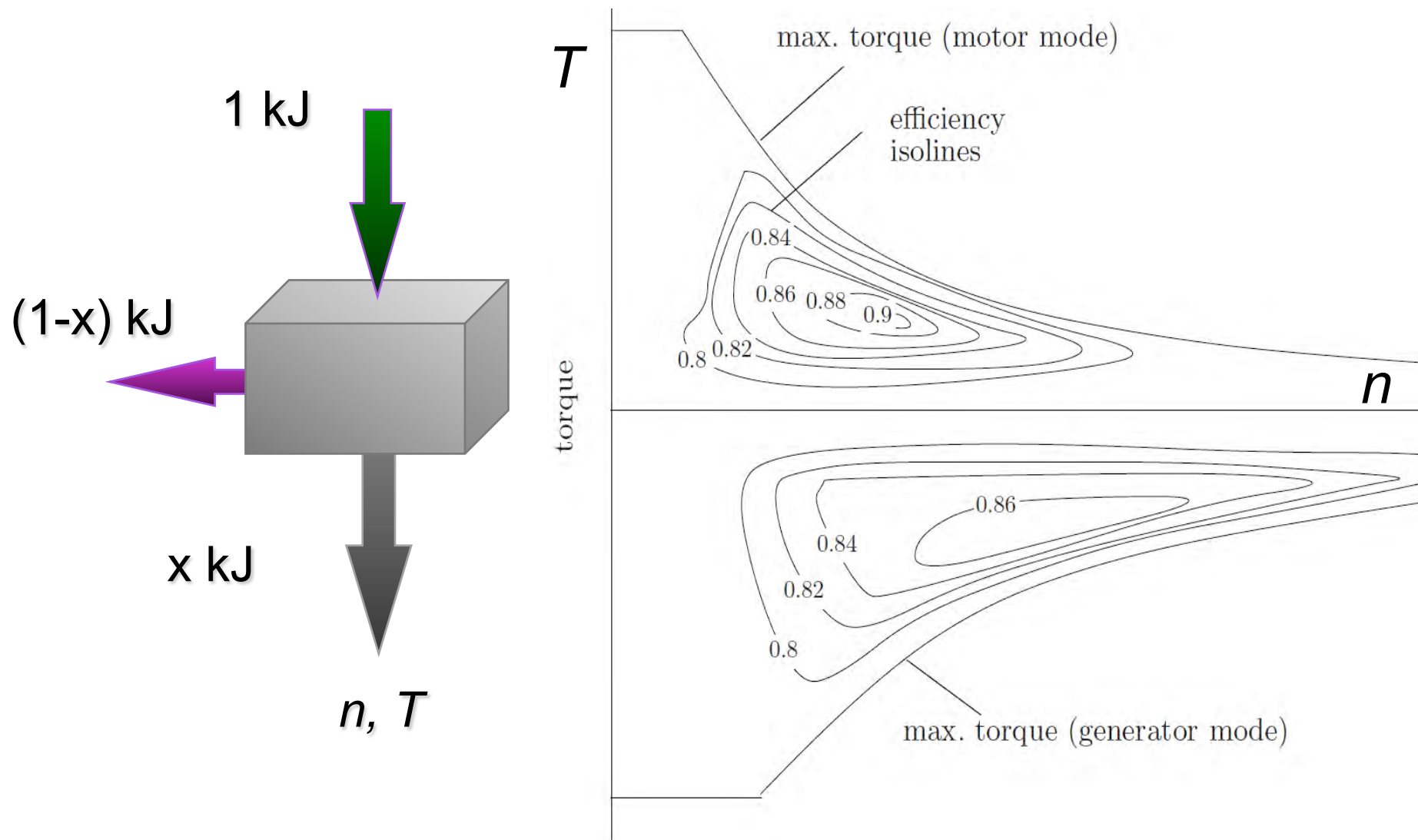
1 mmBTU entspricht 29 l Erdöl
1 bbl Erdgas kostet also 11 \$

Zurzeit im Fokus: Elektrifizierung

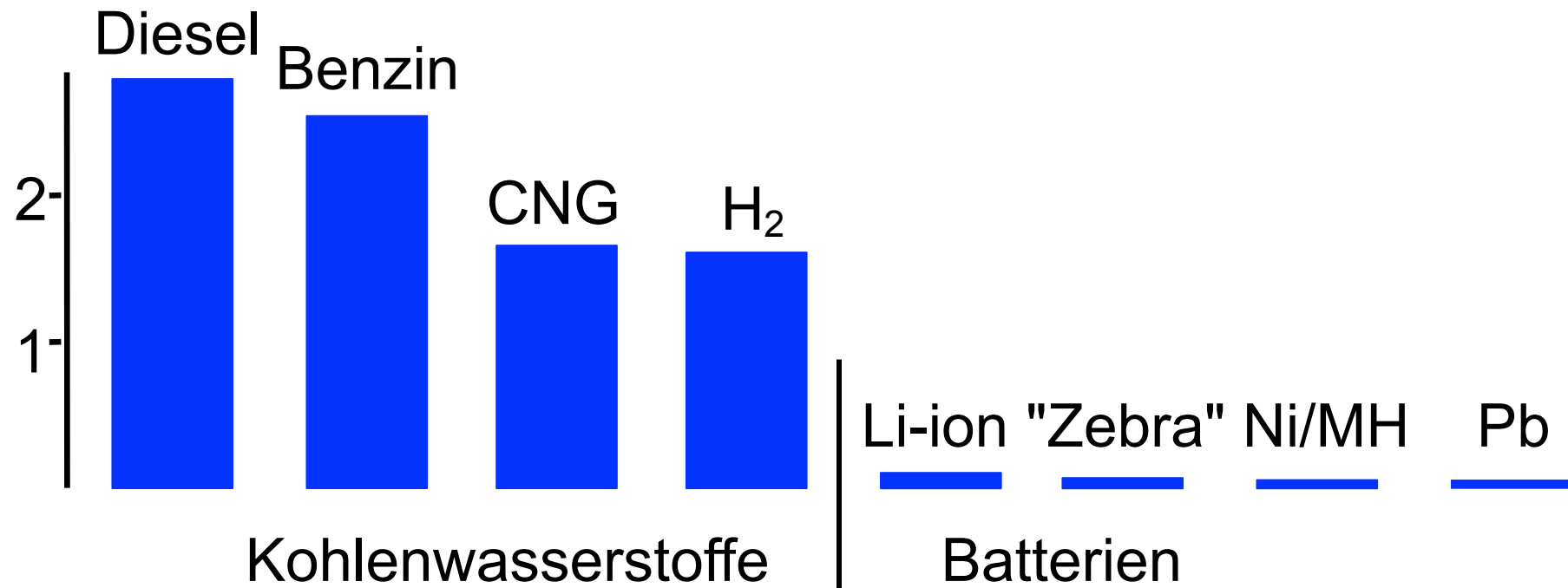


Bilder: Shutterstock, Image, Keystone

Wirkungsgradkennfeld Elektromotor



Energiedichten Bordenergieträger



Netto Vortriebsenergie/Energieträgermasse – Einheit kWh/kg

Batteriebetrieb 18 m Gelenkbus

Ein paar Zahlen:

- Reine mechanische Traktionsenergie: 2.05 kWh/km
- Potential Rekuperation: 0.9 kWh/km
- → Verbrauch el. Energie: ~1.1 kWh/km
- Moderates Höhenprofil
- ca. 200 km/Tag
- ~220 kWh/Tag
- Batterie mit ca. 100 Wh/kg ergibt 2'200 kg Batteriemasse

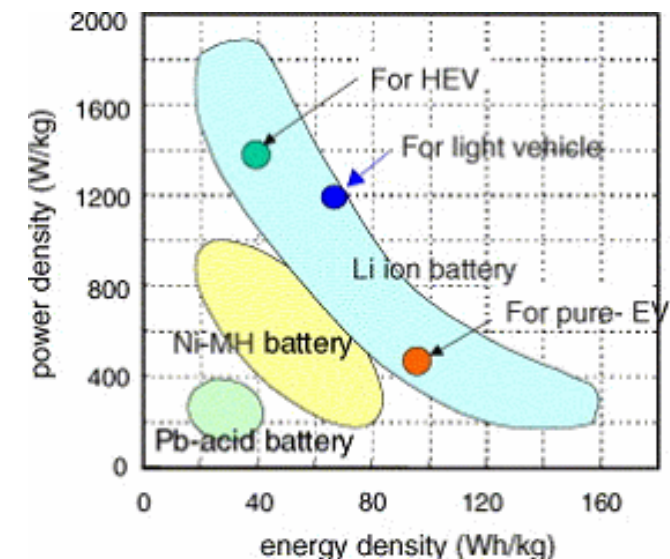


Bild: Hitachi

Aufladung

- Wartezeit an Haltestelle: ~ 20 s
- Leistung für **1 kWh** (entspricht ca. 1 km) **in 15 s: 240 kW**

- Vgl. Tankstelle: 130 l/min (Lkw)
 - Diesel: 42.5 MJ/kg (mit 0.83 kg/l) $\rightarrow$ 35.28 MJ/l.
«Leistung» Tankstelle: **76.4 MW**
 - Bzgl. nutzbarer Energie $\eta_{\text{Diesel}} \approx 20\%$.
«Leistung» Tankstelle: **15.2 MW**



Max. $\sim 2.2 - 5$ MW

- Speicher und Umrichter an Ladestation nötig
- Batterie muss Leistung aufnehmen können $\rightarrow$ Gewicht?

Diversifizierung der Antriebssysteme



Überland- und
Berggebiete



Innerstädtisch



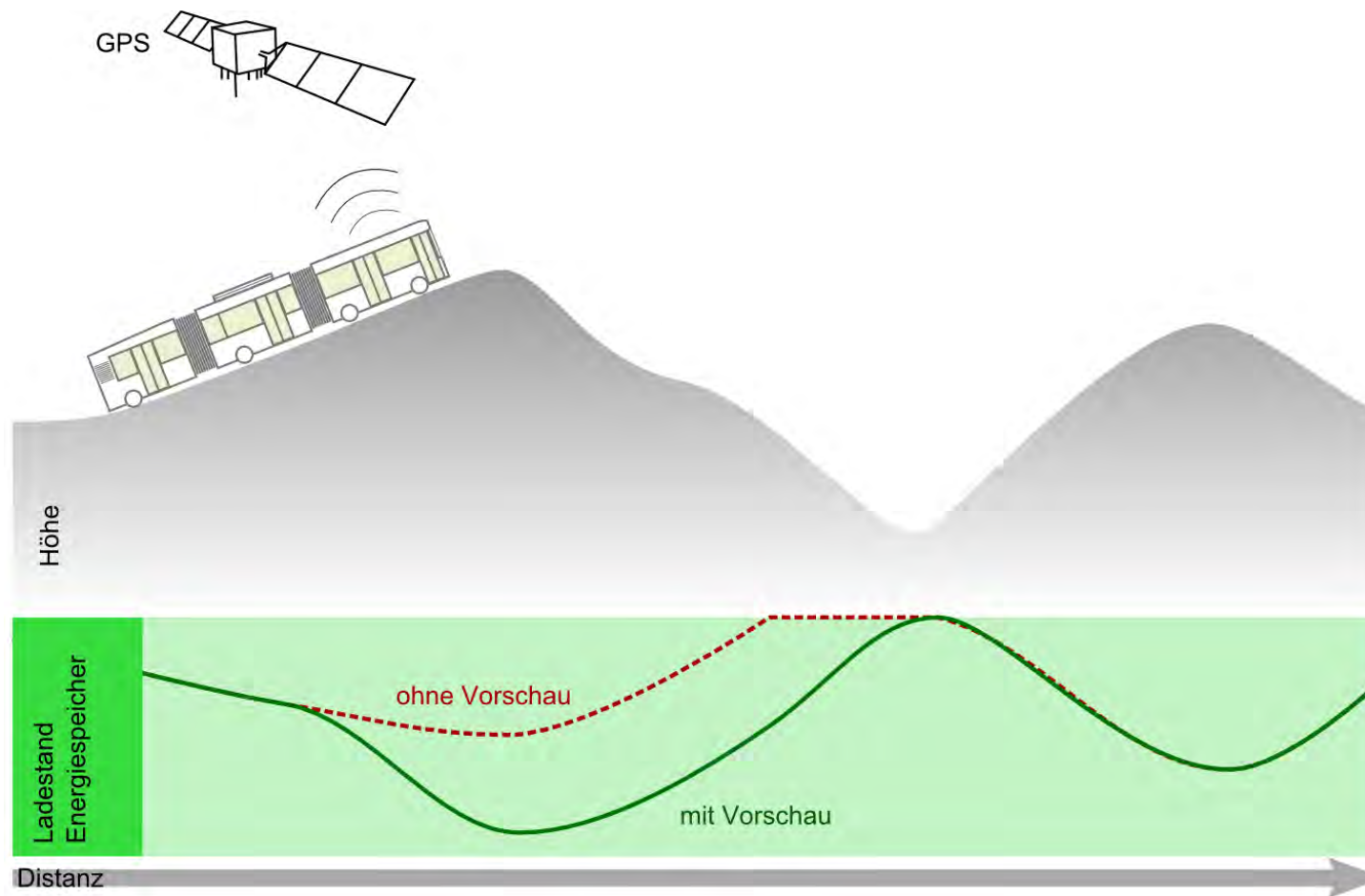
Stadt und nahe Agglomeration



Effizienzsteigerung

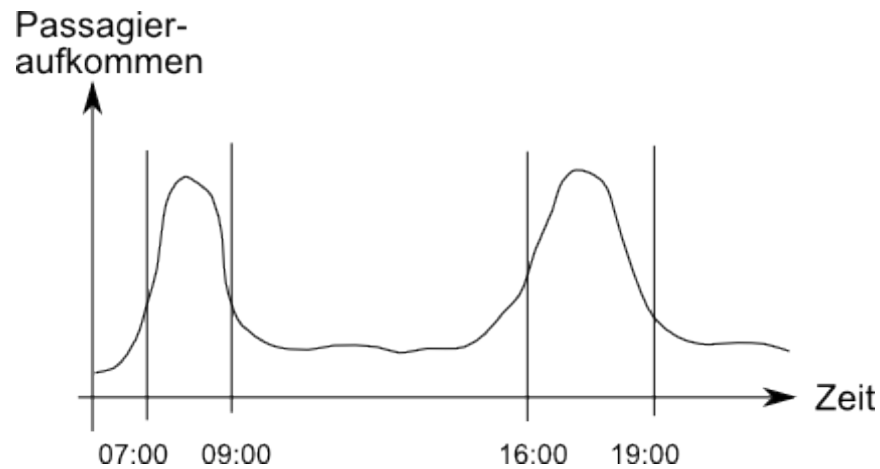
- **Massgeschneiderte Fahrzeuge**
(d.h. streckenspezifische Auslegung)
- **Intelligente Steuerungsalgorithmen im Fahrzeug**
(insbesondere der Nebenverbraucher)
- **Intelligente Leitsysteme**

Optimale Systemführung



Attraktivitätssteigerung

- Richtiger Bus zur richtigen Zeit am richtigen Ort



Zusammenfassung

- Sparsamere Fahrzeuge sind die „besten Ölquellen“.
- Alternativen zum klassischen Verbrennungsmotor haben in absehbarer Zukunft grosse technische und ökonomische Nachteile.
- Politik und Ökonomie sind aufgerufen, rationale Entscheidungen zu fördern

Merci für Ihre Aufmerksamkeit!

Folienkopien: lguzzella@ethz.ch

Laborwebsite: <http://www.idsc.ethz.ch>