

# Ökobilanzierung

e-Scooter Workshop 21.09.2010

Session Block 2 (14:00 – 15:30 = 90min)

Moderator	Rolf Widmer (Empa)
Referenten	Marcel Gauch (Empa) Hans-Jörg Althaus (Empa) Rolf Frischknecht (ESU-Services Uster)
Protokoll	Andri Brugger

**14:00**    **Orientierung über Situation und Ziel  
Einführungsreferat (Gauch)**

Wie 'misst' man die Umweltbelastung?, Antriebskonzepte der Zukunft,  
E-Scooter im Vergleich mit anderen Mobilitätsformen

**14:15**    **Umweltanalyse einer modernen Li-Ionen Batterie (Althaus)**

Charakteristik einer modernen Batterie, Woraus besteht die Batterie und woher kommen die Bestandteile?,  
Beschreibung des Produktionsprozesses, Resultate der Forschung: Welche Batteriebestandteile tragen  
am meisten zur Umweltbelastung bei? Potenzial für Verbesserungen?

**14:30**    **Ergebnisse von Ökobilanz-Berechnungen (Frischknecht)**

Beschreibung der Datengrundlage in der ecoinvent-Datenbank, Schwergewicht 2-Räder  
Präsentation verschiedener Ökobilanz-Vergleichsanalysen )

**14:45**    **Diskussion & Schlussfolgerungen**

- Im Bereich Mobilität wird viel spekuliert über Sinn und Unsinn verschiedener Antriebe. Eine neutrale, möglichst wissenschaftliche Betrachtung ist dringend nötig.
- Bisher war die Datengrundlage für die Analyse von Umweltaspekten sehr schwach. In letzter Zeit gab es aber deutliche Fortschritte, welche von nun an verlässliche Analysen erlauben.
- Im Workshop sollen die Fortschritte bekanntgemacht werden, gleichzeitig sollen weitere Anforderungen verschiedener Marktteilnehmer (Behörden, Händler, Kunden etc.) offen diskutiert werden, damit diese in die zukünftige Forschung einfließen können.

- Sie erhalten einen Überblick über die Umweltaspekte verschiedener Formen von Mobilität. Die Bedeutung der 2-Räder wird besonders hervorgehoben.
- Beim Vergleich von konventioneller Mobilität (Verbrennungsmotoren) mit Elektromobilität wird die Bedeutung des verwendeten Stroms erläutert.
- Sie erhalten Erklärungen zu den Datengrundlagen, die hinter den Ökobilanzanalysen stecken.
- Sie erhalten Einblick in neue Resultate von Ökobilanz-Analysen

*Beabsichtigt ist eine aktive Beteiligung der Workshopteilnehmer mit direkten Verständnisfragen innerhalb der Referate.*

*Abweichungen/Ergänzungen während der Referate und eine interaktive Diskussion sind erwünscht*

# Ökobilanz von Mobilität

Workshop Forschungsprogramm E-Scooter, Empa SG, Sept. 2010

1. Ökobilanz?
2. Antriebskonzepte
3. E-Scooter und andere Mobilitätsformen im Vergleich



Source: Seppo Lajonnen, Module KONSUM: Background Information, Fig. 16

2000 kg ökologischer Rucksack

Marcel Gauch marcel.gauch@empa.ch

TSL Technology and Society Lab @ EMPA

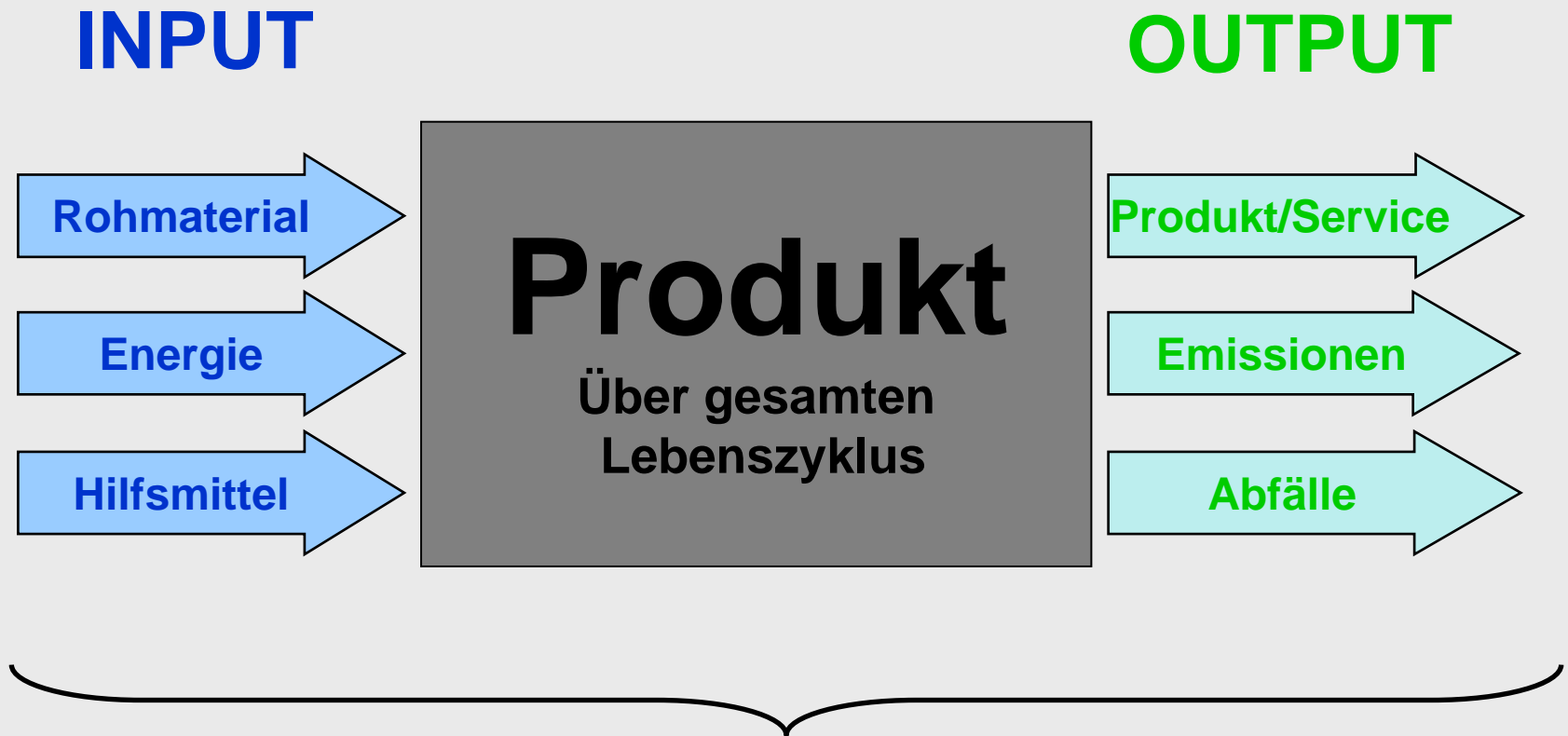
Schweizerische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology



Materials Science & Technology

# Grundidee einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment LCA)



& ökologische Bewertung der Ströme  
über den gesamten Lebensweg

# Tank to Wheel vs. Well to Wheel

Ressourcen

Verarbeitung

Transport



Nutzung

**tank-to-wheel**

## Üblich: Reine Verbrauchs und Emissionsmessung

- Standardisierte praxistaugliche Messung zur Bewertung eines Fahrzeuges
- Ungenügend zur Bewertung eines Mobilitätssystems
- Treibstoff Vor- und Nachteile können einseitig dargestellt werden

Emission values				CO	HC	NOx
				g / km	g / km	g / km
<b>For Cars</b>						
Emission limits	EURO3 (2000)	Car		2.3	0.2	0.15
ecoinvent	EURO3	avg passenger car		3.71	0.311	0.485
<b>For Motorcycles</b>						
Emission limits	EURO2 (2002)	Motorcycles		5.5	1	0.3
EMPA measured	MIX CADC 2T/4T	urban	0.5	22.2	3.77	0.148
		rural	0.25	15.4	1.32	0.205
		highway	0.25	24.2	0.7	0.512
		<b>avg</b>		<b>21.03</b>	<b>2.39</b>	<b>0.253</b>
		2-stroke				
		1. scooter		8.1	5.72	0.007
		2. scooter		12.1	12.62	0.008
		<b>avg</b>		<b>25.1</b>	<b>9.17</b>	<b>0.0075</b>

EMISSIONSGRENZWERTE PERSONENWAGEN BENZINMOTOR								
Norm	Etappe	Inkraft-treten***	Mess-zyklus	Grenzwerte (g/km)				
				CO	HC	NOx	HC+NOx	Part
TAV 1, 94/12/EG	Euro-2	1996	NEFZ*	2.20	-	-	0.50	-
TAV 1, 94/12/EG	Euro-3	2000/1	NEFZm**	2.30	0.200	0.15	-	-
TAV 1, 94/12/EG	Euro-4	2005/6	NEFZm**	1.00	0.100	0.08	-	-
EU-Kommissions-vorschlag****	Euro-5	2010****	NEFZm**	1.00	0.075	0.06	-	0.005

Tabelle 2 (\*) NEFZ: Fahrzyklus für Personewagen (Neuer Europäischer Fahrzyklus, entspricht dem Zyklus ECE 15 erweitert um den Stadtfahrzyklus EUDC. (\*\* NEFZm: Auch Zyklus Euro-3 genannt. Entspricht dem Zyklus NEFZ wobei auf die Aufwärmphase von 40 Sekunden (Motor im Leerlauf, ohne Emissionsmessung) vor Beginn der Messung verzichtet wird. (\*\*\*) Für die Typengenehmigung gilt jeweils das erste genannte Jahr (Stichtag 1.1.), für die Zulassung, den Verkauf und die Inbetriebnahme das Folgejahr (Stichtag 1.1.), Ausnahme: Euro-2 (Stichtag 1.10.), (\*\*\*\*) Eu-Kommissionsvorschlag vom 21.12.2005, voraussichtliches Inkrafttreten 2010. Grenzwert für Partikelemissionen nur für Fahrzeuge mit Benzindirekteinspritzung und Magerbetrieb. Grenzwerte für Partikelanzahl sind noch nicht festgelegt.

EMISSIONSGRENZWERTE PERSONENWAGEN DIESELMOTOR								
Norm	Etappe	Inkraft-treten***	Mess-zyklus	Grenzwerte (g/km)				
				CO	HC	NOx	HC+NOx	Part
TAV 1, 94/12/EG	Euro-2	1996	NEFZ*	1.00	-	-	0.7/0.9	0.08/0.1
TAV 1, 94/12/EG	Euro-3	2000/1	NEFZm**	0.64	-	0.50	0.56	0.050
TAV 1, 94/12/EG	Euro-4	2005/6	NEFZm**	0.50	-	0.25	0.30	0.025
EU-Kommissions-vorschlag****	Euro-5	2010****	NEFZm**	0.50	-	0.20	0.25	0.005

Tabelle 3 Vgl. auch Tabelle 2. (\*) NEFZ: Fahrzyklus für Personewagen (Neuer Europäischer Fahrzyklus, entspricht dem Zyklus ECE 15 erweitert um den Stadtfahrzyklus EUDC. (\*\* NEFZm: Auch Zyklus Euro-3 genannt. Entspricht dem Zyklus NEFZ wobei auf die Aufwärmphase von 40 Sekunden (Motor im Leerlauf, ohne Emissionsmessung) vor Beginn der Messung verzichtet wird. (\*\*\*) Für die Typengenehmigung gilt jeweils das erste genannte Jahr (Stichtag 1.1.), für die Zulassung, den Verkauf und die Inbetriebnahme das Folgejahr (Stichtag 1.1.), Ausnahme: Euro-2 (Stichtag 1.10.), (\*\*\*\*) Eu-Kommissionsvorschlag vom 21.12.2005, voraussichtliches Inkrafttreten 2010. Grenzwerte für Partikelanzahl sind noch nicht festgelegt.

## Unterschied Theorie und Praxis

[Vasic, Weilenmann (Empa); Comparison of Real-World Emissions from Two-Wheelers and Passenger Cars; Environmental Science and Technology Vol.40; 2006]



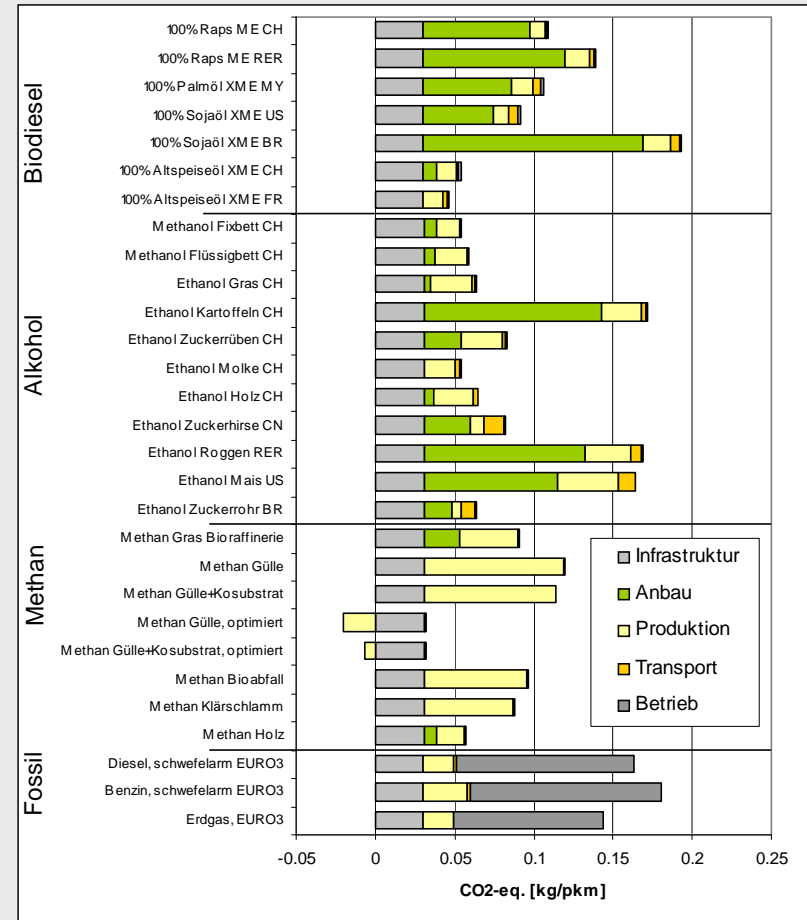
# Tank to Wheel vs. Well to Wheel



## well-to-wheel

### Ökobilanz zur Bewertung von Gesamtsystemen

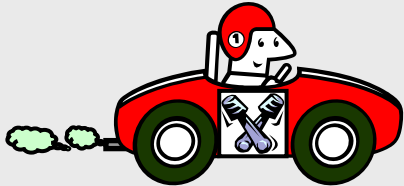
- Emissionen von der Quelle (Bohrloch, Pflanze, Stausee) bis aufs Rad (well-to-wheel)
- Aufwändig und kompliziert
- Erlaubt Aussagen über Gesamteffizienz eines Systems





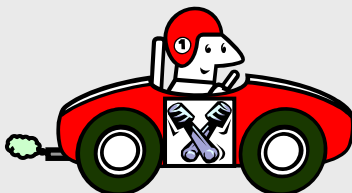
# Antriebskonzepte

## Fossile und biogene Treibstoffe

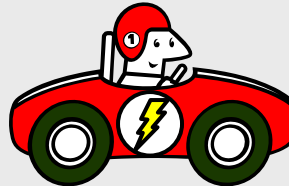


### Verbrennungsmotor (ICE)

- Fossile Treibstoffe:
  - Erdgas
  - Benzin
  - Diesel
- Biogas (Methan) aus:
  - Bioabfall (CH)
- Bioethanol (Alcohol) aus:
  - Zuckerrohr (BR)
  - Holzabfälle (CH)
- Bio Diesel (Methylester) aus:
  - Palmöl (MY)



## Strom aus diversen Quellen

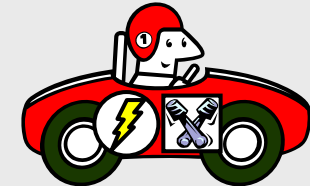


### Elektroantrieb mit Batterie (BEV)

- Nuklear CH (28 g/kWh (Dose))
- PV-Mix CH (74 g/kWh)
- Steckdosen-Mix CH (134 g/kWh)
- Strom aus modernem Gas-Kombikraftwerk (444 g/kWh (Dose))
- Steckdosen-Mix EU (UCTE, 593 g/kWh)
- Kohlekraftwerk-Mix EU (1095 g/kWh (Dose))



## Mischformen, Hybridantriebe



### Hybrid (HEV) 'Prius'

- Benzin

### Plug-In Hybrid (PHEV) 'Volt'

- Steckdosen-Mix CH (134 g/kWh)
- Benzin

### Brennstoffzelle (FC)

- Wasserstoff H<sub>2</sub>

- Umstieg auf andere Verkehrsmittel, z.B. öffentlicher Verkehr oder Zweiräder



Forschungsprojekt eScooter  
Unterstützt von BFE und ASTRA.  
Partner: Uni Bern / IKAÖ, Empa,  
Interface, Verkehrsplanung  
Schwegler, PSI

# E-Scooter im Vergleich mit anderen Mobilitätsformen

**E-Scooter <-> Öffentlicher Verkehr <-> Individualverkehr**

analysiert für einen grösseren internationalen Metropolitanraum

Beispiel: Medellín COL

- Die Öffentlichen Verkehrsmittel ÖV gelten allgemein als effizienteste und umweltfreundlichste Form von Mobilität
- Der Infrastrukturaufwand für den Aufbau z.B. einer Metro ist jedoch beträchtlich
- Wie schneiden E-Scooter ab, wenn man den gesamten Infrastrukturaufwand von Vergleichsoptionen mitberücksichtigt?

# System Charakterisierung

## Öffentlicher Transport in Medellin



### Metro

- Average occupation: 198 pas
- Average vehicle kilometric performance per day: 633 km
- Total transport performance per year: 1'189'487'572 pkm
- Energy consumption: 7.98 kWh/km
- Length of railway track: 31 km
- Length of the bridge: 11.2 km
- Life span of the system: 40 years



### Bus diesel

- Average occupation: 10.69 pas
- Average vehicle kilometric performance per day: 113 km
- Total transport performance per year: 3'227'794'199 pkm
- Energy consumption fleet average: 2.67 kWh/km
- Life span bus: 13 years



### Taxi gasoline

- Average occupation: 0.895 pas
- Average vehicle kilometric performance per day: 137 km
- Total transport performance per year: 969'757'952 pkm
- Energy consumption fleet average: 0.67 kWh/km
- Life span taxi: 12 years

# System Charakterisierung

## Prospektive Öffentliche Transportsysteme



### Natural gas/ diesel bus

- Average occupation: 25 pas
- Average vehicle kilometric performance per day: 182 km
- Total transport performance per year: ?? pkm
- Energy consumption fleet average: 7.35 / 5.7 kWh/km
- Life span: 12.5 years



### Trolleybus

- Average occupation: 25 pas
- Average vehicle kilometric performance per day: 182 km
- Total transport performance per year: ?? pkm
- Energy consumption fleet average: 3 kWh/km
- Life span: 17 years



### Tram

- Average occupation: 53 pas
- Average vehicle kilometric performance per day: 195 km
- Total transport performance per year: ?? pkm
- Energy consumption fleet average: 4.75 kWh/km
- Life span: 30 years

# System Charakterisierung

## Individualverkehr in Medellin heute und prospektiv



### Motorbike (today)

- Average occupation: 1.20 pas
- Average vehicle kilometric performance per day: 16 km
- Total transport performance per year: 191'568'016 pkm
- Energy consumption fleet average: 0.213 kWh/km
- Life span of a taxi: 10 years



### Car (today)

- Average occupation: 1.57 pas
- Average vehicle kilometric performance per day: 41 km
- Total transport performance per year: 2'566'165'903 pkm
- Energy consumption fleet average: 0.75 kWh/km
- Life span of a taxi: 12 years



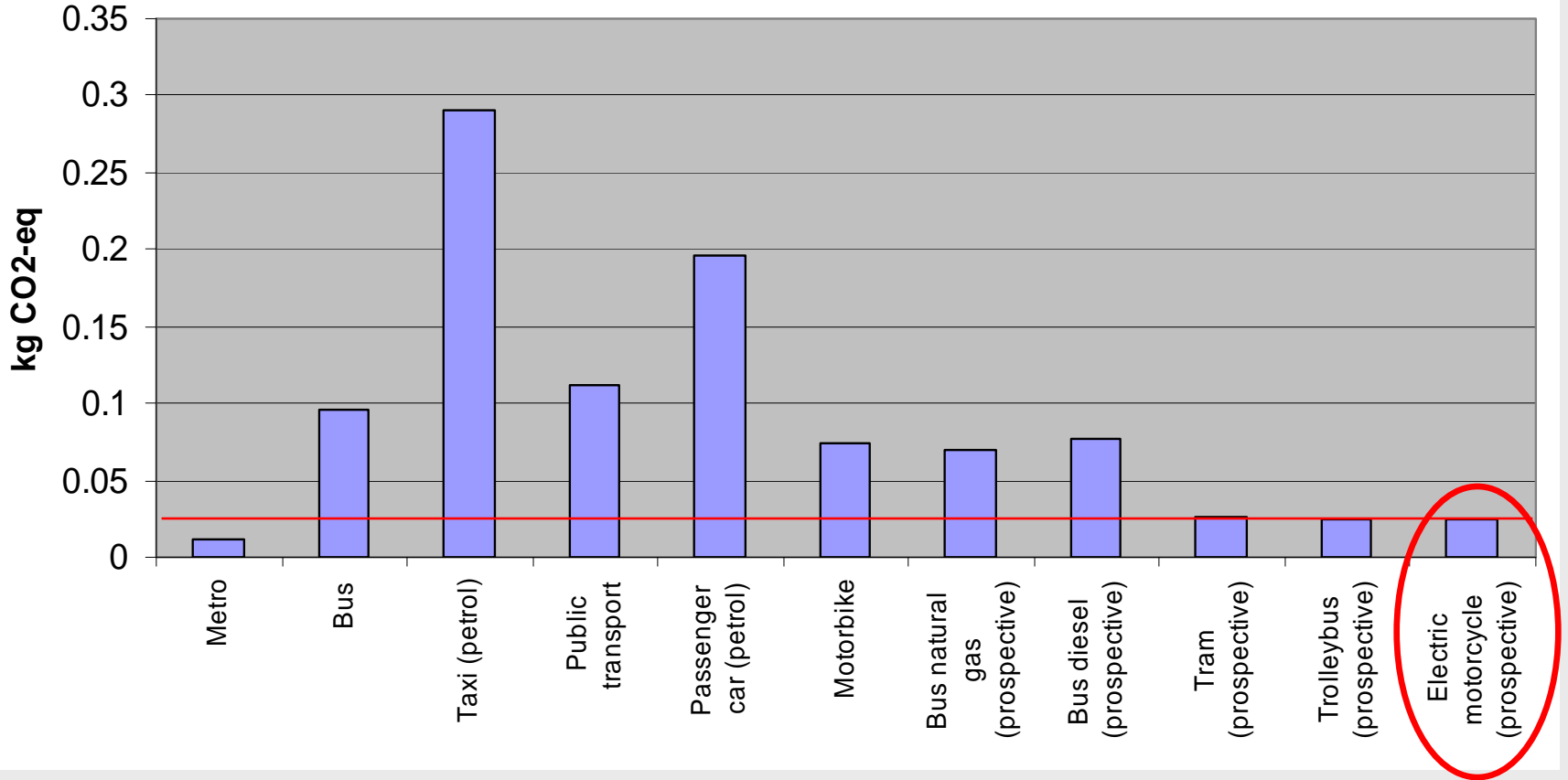
### Electro Scooter (prospective)

- Average occupation: 1 pas
- Average vehicle kilometric performance per day: 16 km
- Total transport performance per year: ?? pkm
- Energy consumption fleet average: 0.07 kWh/km
- Life span of a taxi: 10 years

# Vergleich

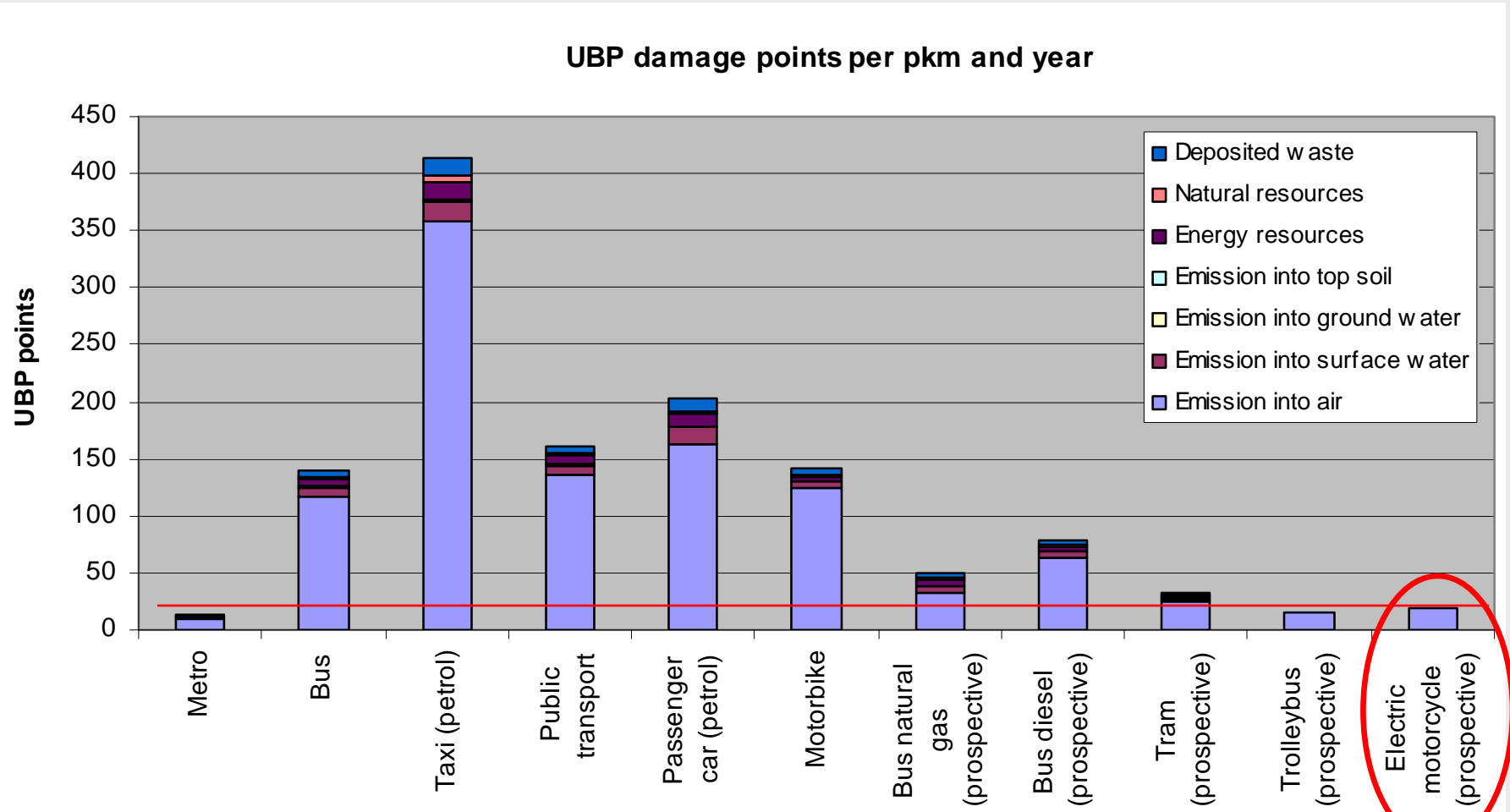
Treibhauspotenzial  
kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente

CO<sub>2</sub>-eq emissions per pkm and year

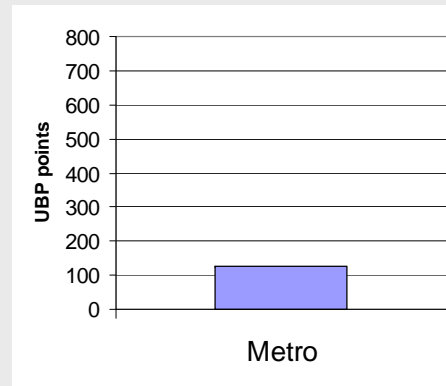
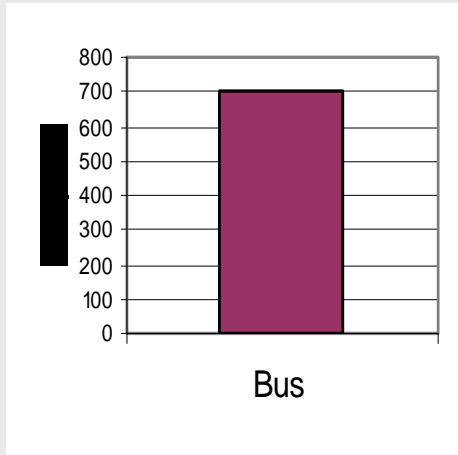


# Vergleich

## Umweltimpact UBP Umweltbelastungspunkte



# E-Scooter <-> Öffentlicher Verkehr

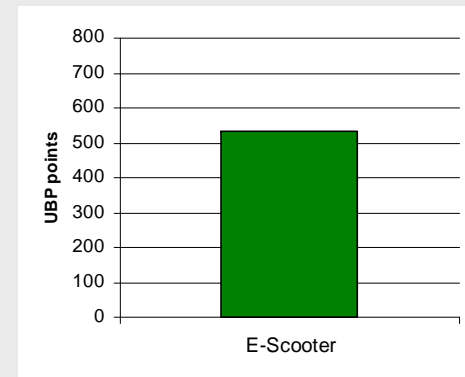


5 km Bus

10 km Metro

1 km zu Fuss

15 km E-Scooter



ca. 800 UB-Pt. ÖV <-> ca. 500 UB-Pt. E-Scooter



# Der zusätzliche Strombedarf

Strombedarf der fiktiv umgerüsteten CH-Motorradflotte		
<b>Stromproduktion CH (BFS 2006)</b>	<b>59'421</b>	<b>GWh/a</b>
Schweizerische 2rad-Flotte (BFS 2006)	2'120'000'000	km/a
Energiebedarf Fahrzeug	5	kWh/100km
Wirkungsgrad	0.70	-
Energiebezug aus Netz	7	kWh/100km
<b>Strombedarf CH 2rad-Flotte</b>	<b>151'428'571</b>	<b>kWh/a</b>
<b>Anteil an CH-Stromproduktion</b>	<b>0.25%</b>	<b>Prozent</b>

## Situation Schweiz:

### Strombedarf, wenn die ganze 2-Rad Flotte elektrisch wäre?

- Jährliche km der Gesamtflotte > 2 mia. Kilometer
- Welchen Anteil an der Gesamtstromproduktion würde der 2-Rad Verkehr ausmachen?

- mit **0.25% der CH-Gesamtstromproduktion** könnte die gesamte CH 2-Rad Flottenleistung elektrisch erbracht werden

Strombedarf Pendler in ZH bei Umstieg auf eBikes (statistik.info 18/2005)		
Pendler Individualverkehr total	500'000	Pendler
Pendler Individualverkehr (PW, Motorrad)	250'000	Pendler
durchschnittliche Pendeldistanz	22	km/d
durchschnittliche Arbeitstage	200	d/a
gesamt Pendeldistanz ZH	1'100'000'000	km/a
Energiebedarf pro Fahrzeug ab Netz	7	kWh/100km
<b>Strombedarf ZH-Pendler</b>	<b>77'000'000</b>	<b>kWh/a</b>
PV-Panelfläche auf Dachflächen Stadt ZH gut geeignet für Solarenergie (ewz, Studie Novak 07)	1'564'000	m2
<b>Stromertrag Stadtzürcher Dächer pro Jahr</b>	<b>156'400'000</b>	<b>kWh/a</b>
<b>Anteil Dach-PV an ZH-Pendler-Strombedarf</b>	<b>203%</b>	<b>Prozent</b>

## Situation Zürich:

### Was würde passieren, wenn jeder Pendler in Zürich auf einen E-Scooter umsteigen würde?

- Jährliche km aller Autopendler in Metropolitanraum Zürich: 1.1 mia. Kilometer
- Welchen Anteil könnten die Dächer von Zürich leisten, die gut für Photovoltaik geeignet sind?

- Die für PV geeignete Dachfläche von Zürich beträgt 1.5 km<sup>2</sup> (Studie EWZ). Die jährliche PV-Produktion könnte ca. 156 GWh betragen. Dies wäre genug, um **doppelt so viele Pendler** zu versorgen, wenn sie auf E-Scooter umsteigen würden.



Moderator	Marcel Gauch (Empa)
Referenten	Hans-Jörg Althaus (Empa Dü) Rolf Frischknecht (ESU-Services Uster)
Protokoll	Andri Brugger

14:00 Orientierung über Situation und Ziel  
Einführungsreferat (Gauch)

Wie 'misst' man die Umweltbelastung?, Antriebskonzepte der Zukunft,  
E-Scooter im Vergleich mit anderen Mobilitätsformen

14:15 **Umweltanalyse einer modernen Li-Ionen Batterie (Althaus)**

Charakteristik einer modernen Batterie, Woraus besteht die Batterie und woher kommen die Bestandteile?,  
Beschreibung des Produktionsprozesses, Resultate der Forschung: Welche Batteriebestandteile tragen  
am meisten zur Umweltbelastung bei? Potenzial für Verbesserungen?

14:30 **Ergebnisse von Ökobilanz-Berechnungen (Frischknecht)**

Beschreibung der Datengrundlage in der ecoinvent-Datenbank, Schwergewicht 2-Räder  
Präsentation verschiedener Ökobilanz-Vergleichsanalysen )

14:45 **Diskussion & Schlussfolgerungen**

Moderator	Marcel Gauch (Empa)
Referenten	Hans-Jörg Althaus (Empa Dü) Rolf Frischknecht (ESU-Services Uster)
Protokoll	Andri Brugger

14:00 Orientierung über Situation und Ziel  
Einführungsreferat (Gauch)

Wie 'misst' man die Umweltbelastung?, Antriebskonzepte der Zukunft,  
E-Scooter im Vergleich mit anderen Mobilitätsformen

14:15 Umweltanalyse einer modernen Li-Ionen Batterie (Althaus)

Charakteristik einer modernen Batterie, Woraus besteht die Batterie und woher kommen die Bestandteile?,  
Beschreibung des Produktionsprozesses, Resultate der Forschung: Welche Batteriebestandteile tragen  
am meisten zur Umweltbelastung bei? Potenzial für Verbesserungen?

14:30 Ergebnisse von Ökobilanz-Berechnungen (Frischknecht)

Beschreibung der Datengrundlage in der ecoinvent-Datenbank, Schwergewicht 2-Räder  
Präsentation verschiedener Ökobilanz-Vergleichsanalysen )

14:45 Diskussion & Schlussfolgerungen