

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

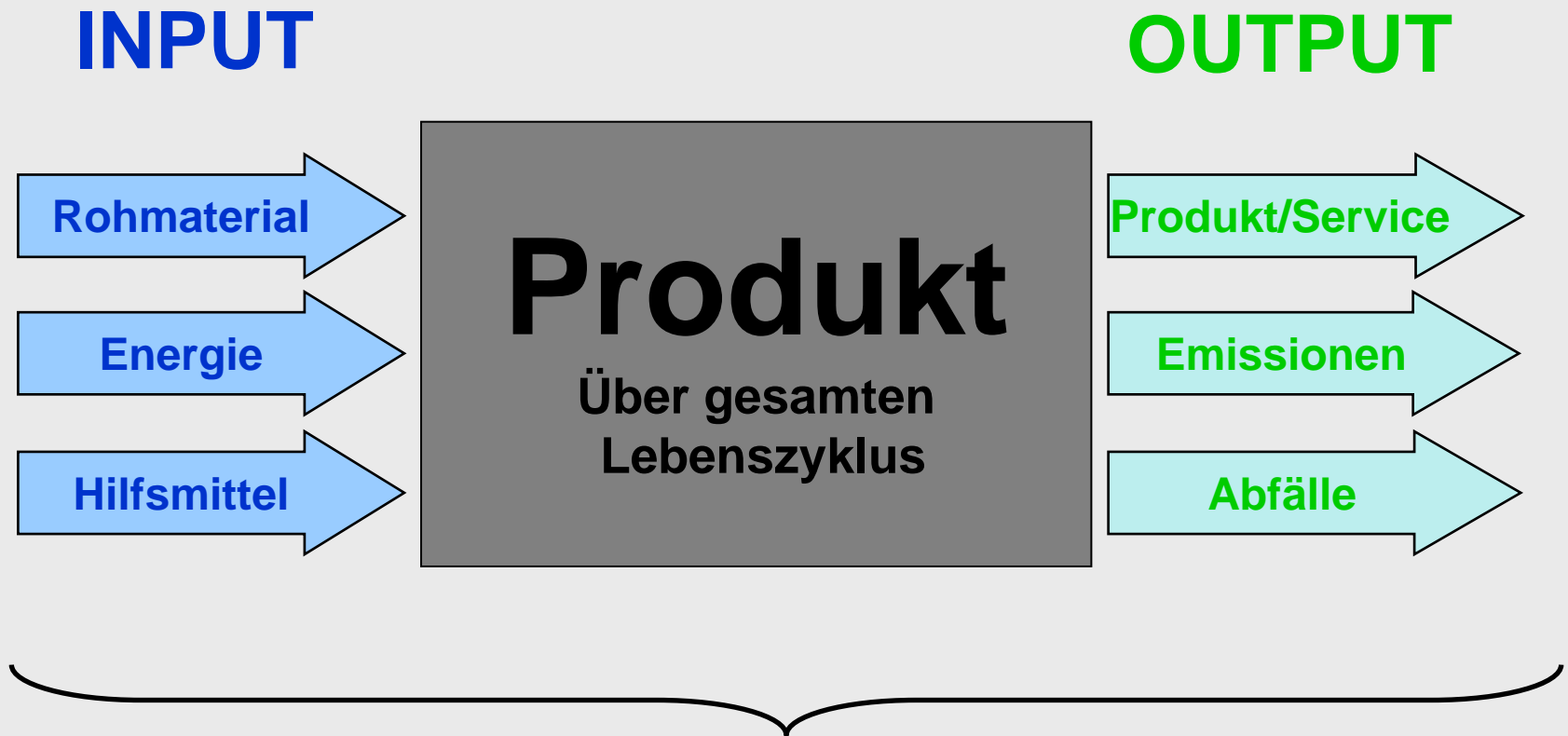
Schweizerische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

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
For Cars						
Emission limits	EURO3 (2000)	Car		2.3	0.2	0.15
ecoinvent	EURO3	avg passenger car		3.71	0.311	0.485
For Motorcycles						
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	24.3	0.7	0.512
		avg		21.03	2.39	0.253
		2-stroke				
		1. scooter		8.1	5.72	0.007
		2. scooter		12.1	12.62	0.008
		avg		25.1	9.17	0.0075

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

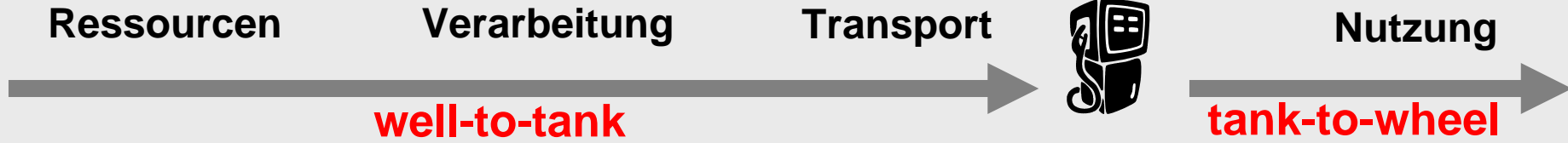
Tabelle 3 Vgl. auch Tabelle 2. (*) NEFZ: Fahrzyklus für Personewagen (Neuer Europäischer Fahrzyklus, entspricht dem Zyklus ECE 15 erweitert um den Stadtfahrzyklus EUDC. (** NEFZm: Auch Zyklus Euro-3 genannt. Entspricht dem Zyklus NEFZ wobei auf die Aufwärmphase von 40 Sekunden (Motor im Leerlauf, ohne 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]



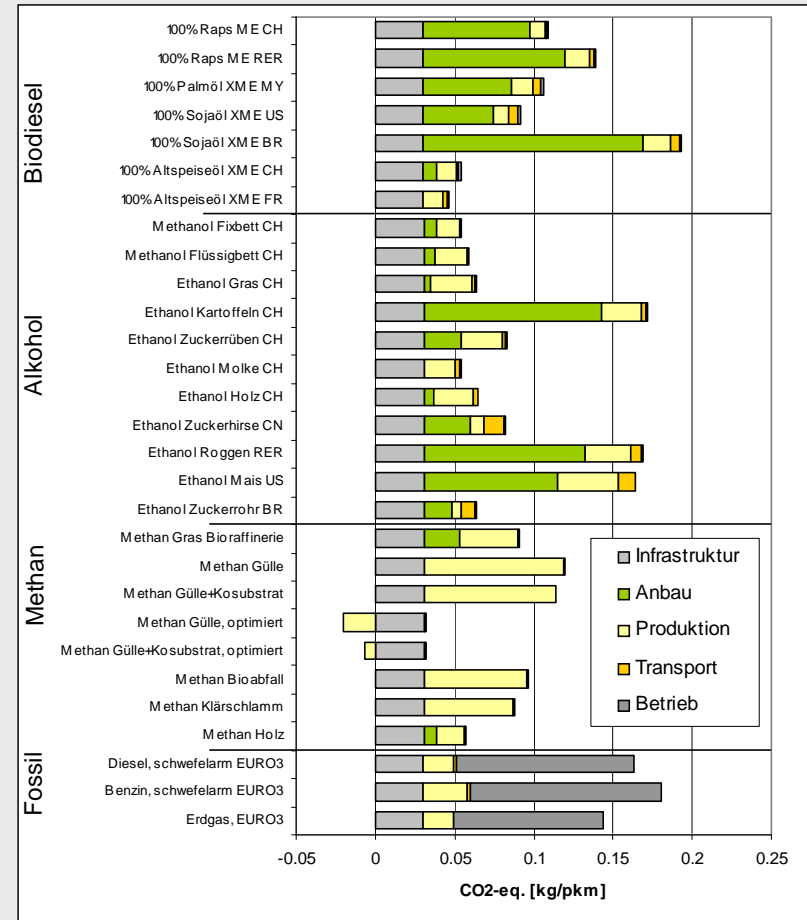
Tank to Wheel vs. Well to Wheel



well-to-wheel

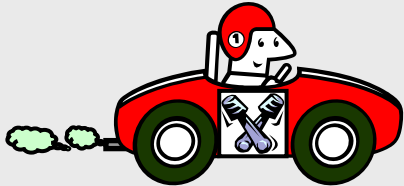
Ökobilanz zur Bewertung von Gesamtsystemen

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



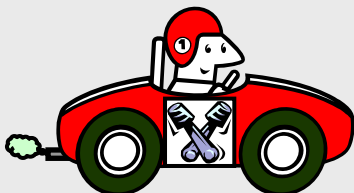
Antriebskonzepte

Fossile und biogene Treibstoffe

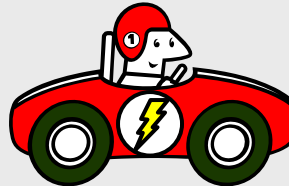


Verbrennungsmotor (ICE)

- 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

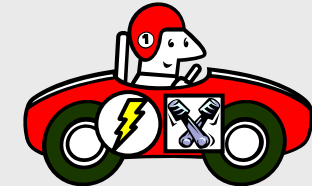


Elektroantrieb mit Batterie (BEV)

- 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 H₂

- 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 kilometeric 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 kilometeric 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



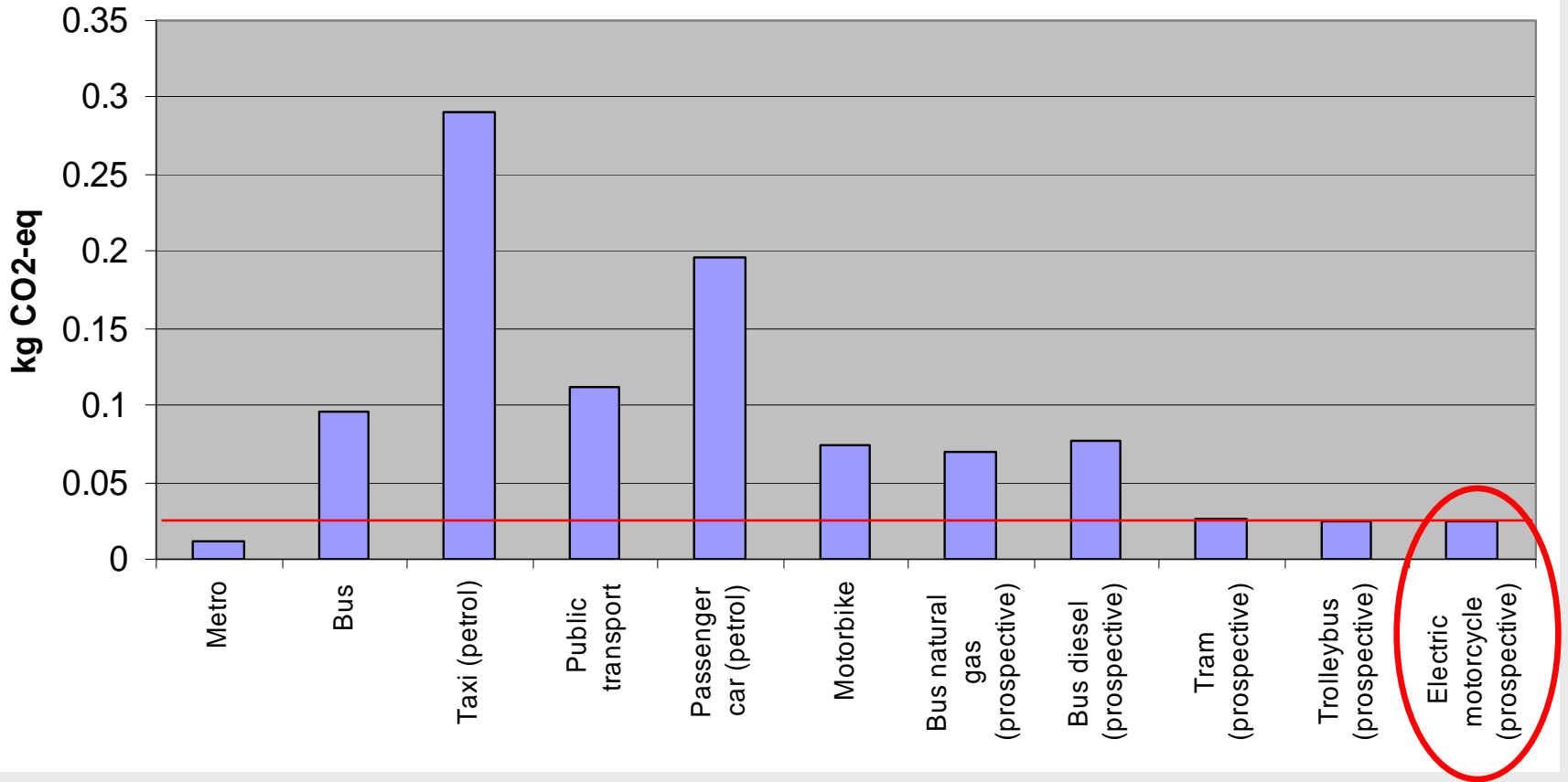
Electro Scooter (prospective)

- Average occupation: 1 pas
- Average vehicle kilometeric 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

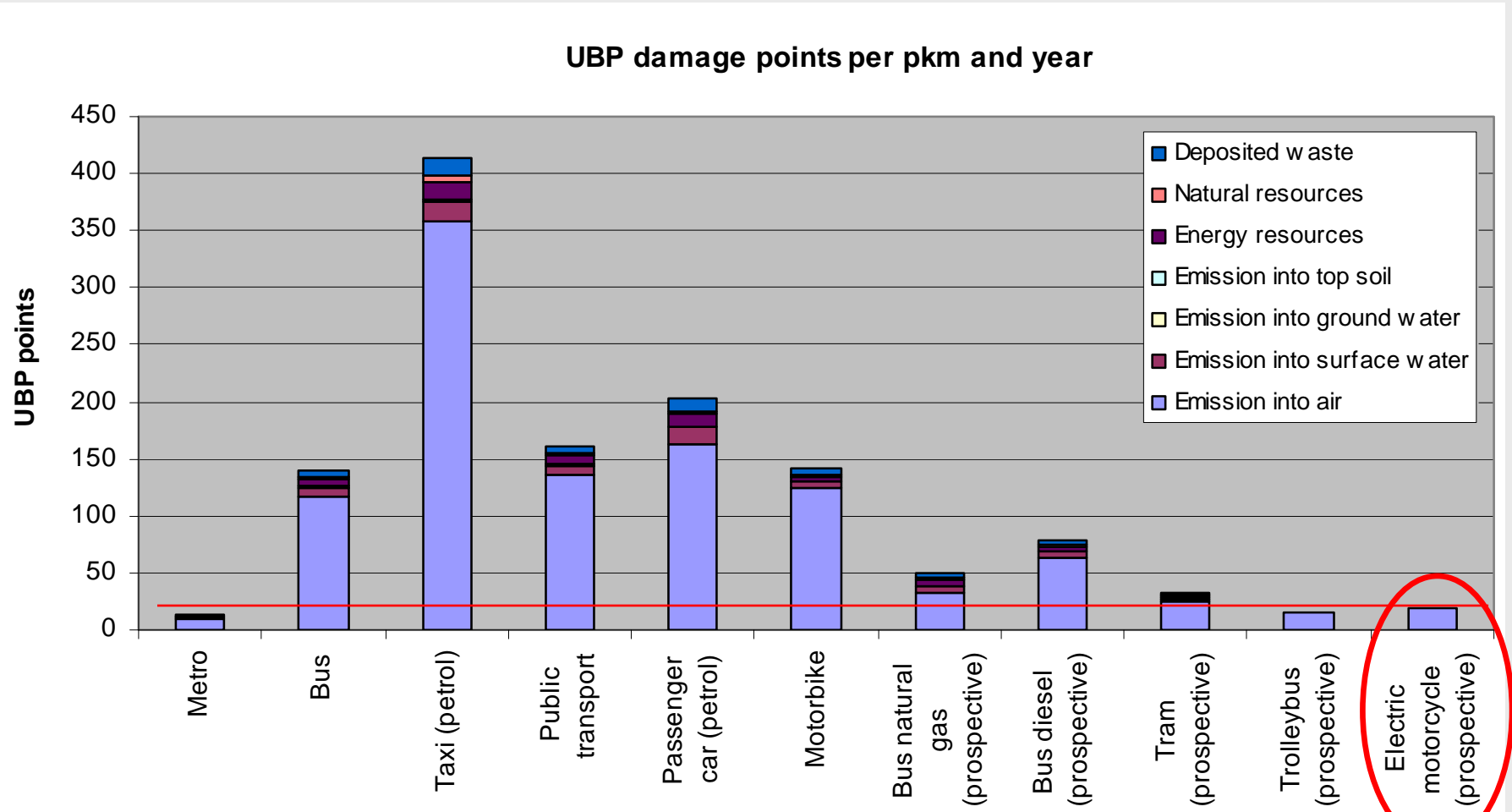
Treibhauspotenzial
kg CO₂-Äquivalente

CO₂-eq emissions per pkm and year

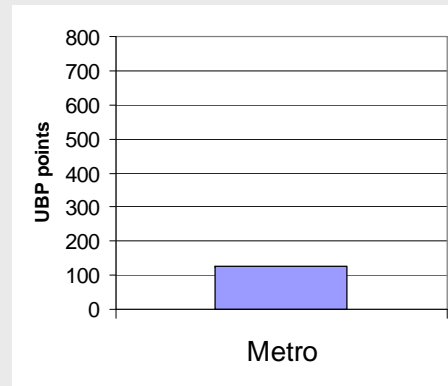
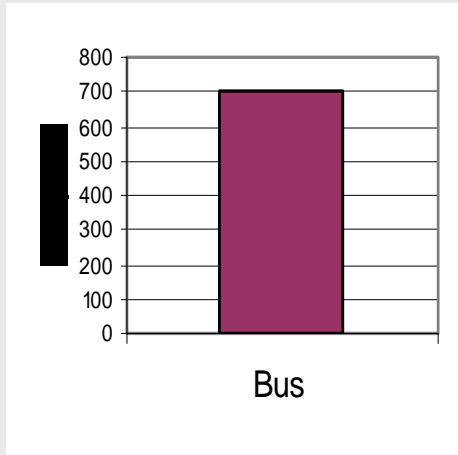


Vergleich

Umweltimpact UBP Umweltbelastungspunkte



E-Scooter <-> Öffentlicher Verkehr

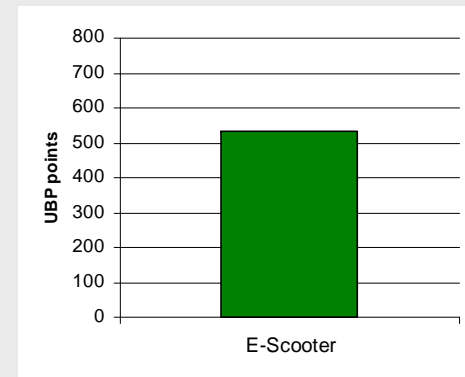


5 km Bus

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		
Stromproduktion CH (BFS 2006)	59'421	GWh/a
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
Strombedarf CH 2rad-Flotte	151'428'571	kWh/a
Anteil an CH-Stromproduktion	0.25%	Prozent

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
Strombedarf ZH-Pendler	77'000'000	kWh/a
PV-Panelfläche auf Dachflächen Stadt ZH gut geeignet für Solarenergie (ewz, Studie Novak 07)	1'564'000	m2
Stromertrag Stadtzürcher Dächer pro Jahr	156'400'000	kWh/a
Anteil Dach-PV an ZH-Pendler-Strombedarf	203%	Prozent

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 km² (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