

## AP5 Energie und Umwelt

### E-Scooter –

## Beiträge zur Diffusion und technischen Weiterentwicklung eines energieeffizienten Motorrads in der Schweiz

Sitzung der Begleitgruppe vom 13. April 2011

Rolf Widmer, Empa

# LCI / LCA: Ökobilanz von E-Scooter



# Arbeitspaket 5.1: Spezifische Lebenszyklusinventare (LCI)



- > Inventarisierung der Li MnO<sub>2</sub>-Batterie (Kokam) abgeschlossen, Resultate publiziert ("Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles")
- > Inventarisierung (ecoinvent) von typischen e-Scooter Motoren (bürstenlose (elektronisch kommutierte) oder bürstenkommutierte permanent erregte Scheibenläufer) abgeschlossen, Publikation in Planung
- > Inventarisierung von Leistungselektronik in Bearbeitung
- > Inventarisierung von e-Scooter Chassis (vRone) in Vorbereitung

# LCI: PM e-Motoren (Permanentmagnete)



63 Zähler  
 63 Zähne  
 3-21  
 3-3-7 Slots mit

die Kuhl	2680 g
Kuhl	142 g
Ring mit Magneten	1940 g
Recht links ohne Layer	812 g
Recht rechts mit Layer	936 g

Layer gross  
 $d_o = 40$   
 $d_i = 15$   
 $B = 12$

Statorträger, Al-Druckguss

Ring

3-teile 3

1 strand  $\phi = 0,276 \text{ mm}$   $\Rightarrow 0,276 \text{ mm}^2$  Querschnitt pro strand  
 Kupfer: 10 strands  $\phi = 0,56 \text{ mm}$   $\Rightarrow 2,46 \text{ mm}^2 \approx 6,192 \text{ mm}^2$   
 10 turns ???  $\rightarrow 100 \text{ strands pro Zahn}$

12  $\phi = 21$   $\phi = 13$   $\phi = 18$   
 $\phi = 26$   $\phi = 13$

$\phi = 41,5 + \frac{12}{2}$  Approximate Länge  
 $\pi \cdot d = 40 + \frac{12}{2}$  pro Zahn: 66 mm  
 $\rightarrow 6600 \text{ mm strand pro Zahn}$   
 $\times 63 \text{ Zähne}$   
 $\rightarrow 416 \text{ m Kupferstrand}$

Fotos and drawings Empa

# LCI: PM e-Motoren (Permanentmagnete)

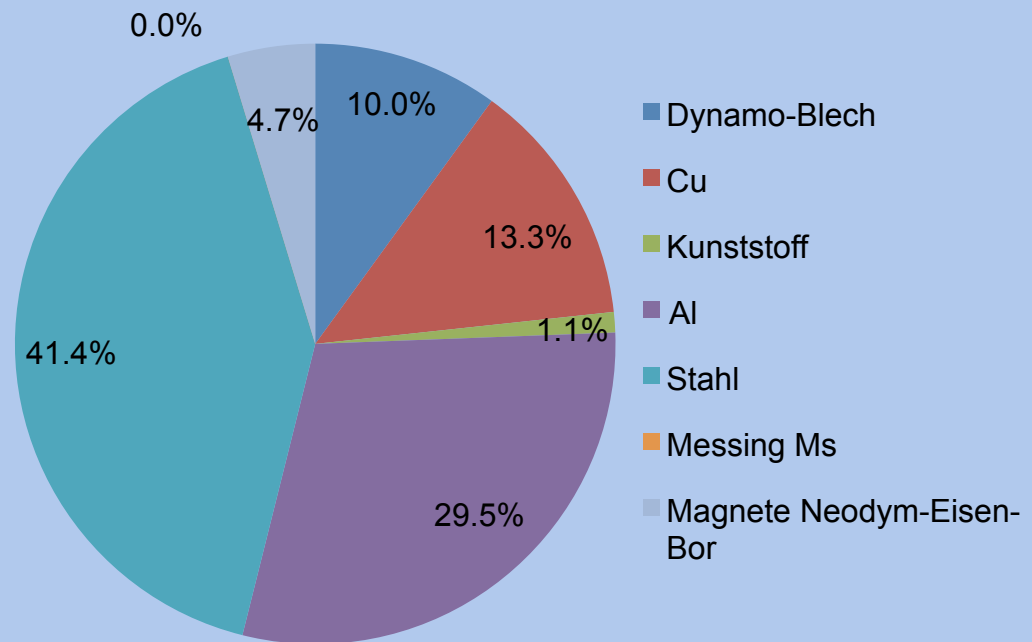


Foto: Empa



Foto: Empa

## Was ist drin?



- > enthaltene Materialien werden entweder auf ecoinvent Datenbank zurückgeführt
- > oder neu aufgebaut hier NdFeB-Magnete

# Welche eMotorleistungen abbilden??



e-Velo

- > **Fahrräder = Velo**  
(nicht motorisiert)
- > **Leicht-Motorfahrräder = e-Velo oder Pedelec** z.B. Flyer 'langsam'  
( $\leq 250W$  Dauerleistung, Tretunterstützung nur bis 25km/h, rein motorischer Betrieb verboten)

e-Mofa

- > **Motorfahrräder (erleichtert)** = z.B. Flyer 'schnell'  
 $\leq 500W$  Dauerleistung,  $\leq 20$  km/h ohne Treten und nur im höchsten Gang)
- > **Motorfahrräder = e-Bike oder e-Mofa** z.B. GM Eigenbau  
( $\leq 1000W$  Dauerleistung,  $\leq 30$ km/h)
- > **Kleinmotorräder** = z.B. Oxygen, Segway (DE "elektronische Mobilitätshilfe" - kurz "eMo" !)  
( $\leq 4kW$  Dauerleistung,  $\leq 45$ km/h)
- > **Motorräder** = z.B. Evo1 Quantya  
( $> 4kW$  Dauerleistung)

e-Töff

Fahrausweiskategorien

- > **Spezialkategorie M:** (ab 14) erlaubt das Fahren von Motorfahrrädern
- > **Unterkategorie A1:** (ab 18) erlaubt das Fahren von Motorrädern bis 11kW und bis 125 ccm
- > **A1 beschränkt :** (ab 16) beschränkt das Motorradfahren auf leistungs-/hubraumbegrenzte Motorräder (**bis 4kW / 50ccm**); wird zudem die Geschwindigkeit auf 45km/h limitiert, entspricht dies einem Kleinmotorrad (Übertrag der alten Kategorie F oder darauf jetzt Prüfung gemacht)
- > **Kategorie A:** (ab 25 oder A + 2Jahre unfallfrei) alle zweirädrigen, zugelassenen Fahrzeugarten
- > **A beschränkt :** (ab 18) beschränkt das Motorradfahren auf leistungsbegrenzte Motorräder (**bis 25kW / 0.16kW/kg**)

# Abgebildete eMotoren



nach CH-Regeln müssten: 0.25, 0.5, 1, 4, 11, 25, >25kW Antriebe abgebildet sein.

entsprechende Auswahl:

Motor Designation		GM Hub-Motor		GM MagicPie		Perm PMS 100		Perm PMS 120		Perm PMS 156 W		Brusa HSM6.17.12	
<b>Power [kW]</b>		<b>0.25-0.5</b>		<b>0.5 - 2</b>		<b>2-4</b>		<b>4 - 11</b>		<b>11 - 25</b>		<b>25-80</b>	
Torque [Nm]		?		?		4.3		20		54		85/223	
Voltage [V]		36		48		48		72/96		96/320		320	
approx. total Mass [kg]		2.7		?		5.8		12.3		31		53.86	
Composition	Unit	%	kg			%	kg	%	kg	%	kg	%	kg
Dynamo-Blech	kg	10.0%	0.270	10.0%	0.650	39.0%	2.262	43.0%	5.289	48.0%	0	50.0%	26.950
Cu	kg	13.3%	0.359	13.3%	0.865	14.0%	0.812	16.0%	1.968	18.0%	5.580	13.3%	7.150
Kunststoff	kg	1.1%	0.030	1.1%	0.072	3.0%	0.174	3.0%	0.369	2.0%	0.620	0.9%	0.485
Al	kg	29.5%	0.797	29.5%	1.918	33.0%	1.914	30.0%	3.690	27.0%	8.370	19.1%	10.267
Stahl	kg	41.4%	1.118	41.4%	2.691	6.0%	0.348	4.0%	0.492	2.0%	0.620	12.9%	6.949
Messing Ms	kg	0.0%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	0.000	0.0%	0.000	0.5%	0.259
Magnete Neodym-Eisen-Bor	kg	4.7%	0.127	4.7%	0.306	5.0%	0.290	4.0%	0.492	3.0%	0.930	3.3%	1.800
<b>TOTAL</b>	<b>kg</b>	<b>100.0%</b>	<b>2.7</b>	<b>100.0%</b>	<b>6.5</b>	<b>100.0%</b>	<b>5.8</b>	<b>100.0%</b>	<b>12.3</b>	<b>100.0%</b>	<b>31</b>	<b>100.0%</b>	<b>53.86</b>

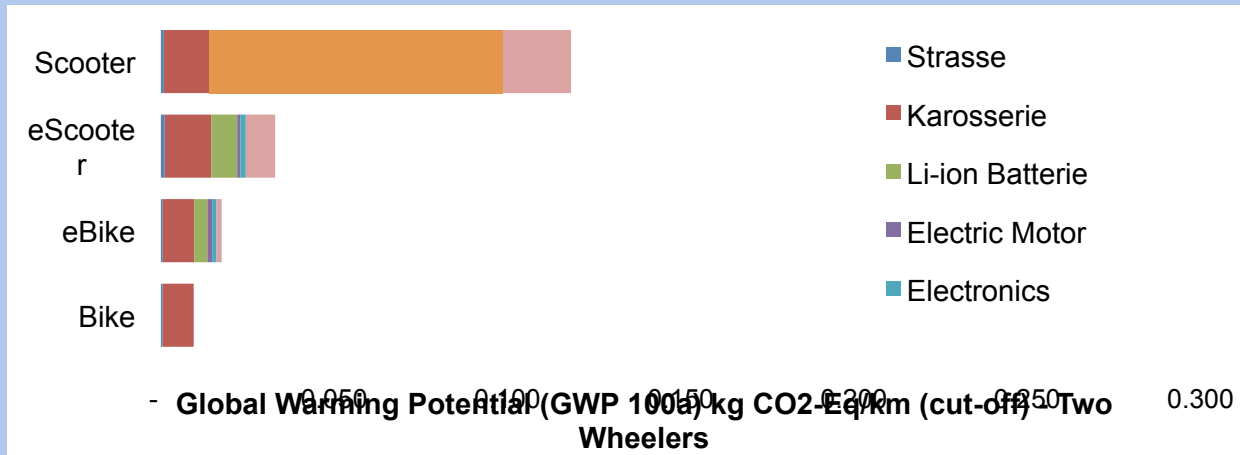
# Arbeitspaket 5.3: Spezifische Lebenszyklusanalysen (LCA)



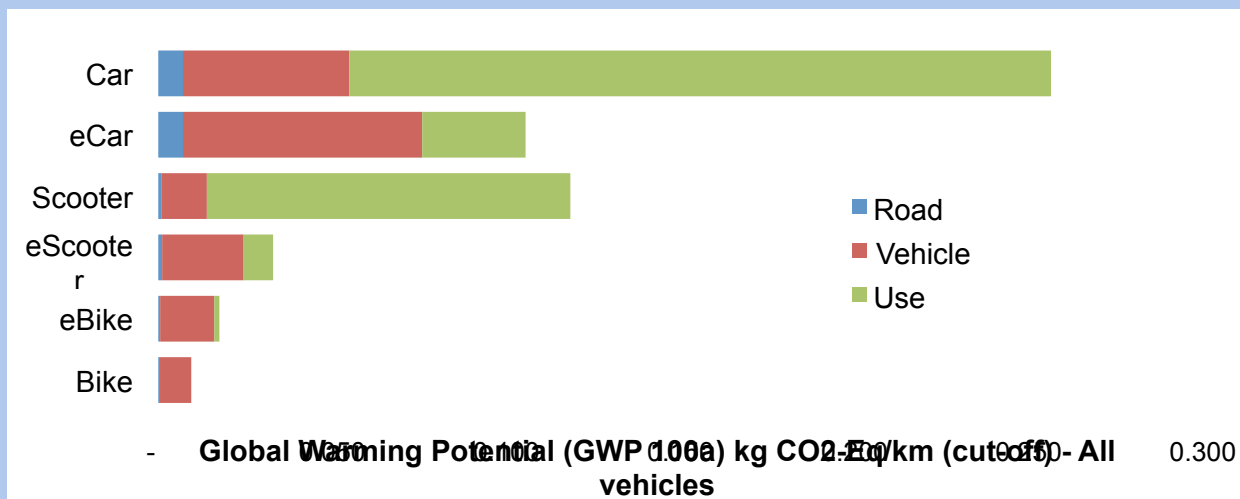
- > erste Vergleiche (Rechnungen mit SimaPro) mit neuen LCI Daten durchgeführt.
- > Fehlende Datensätze (Leistungselektronik und Karosserie) werden durch sog. Proxies angenähert.
- > Ein LC Vergleich Elektromagnete vs. Permanentmagnete (Asynchron- vs PM-Synchronmotor) ist z.Z. in Vorbereitung



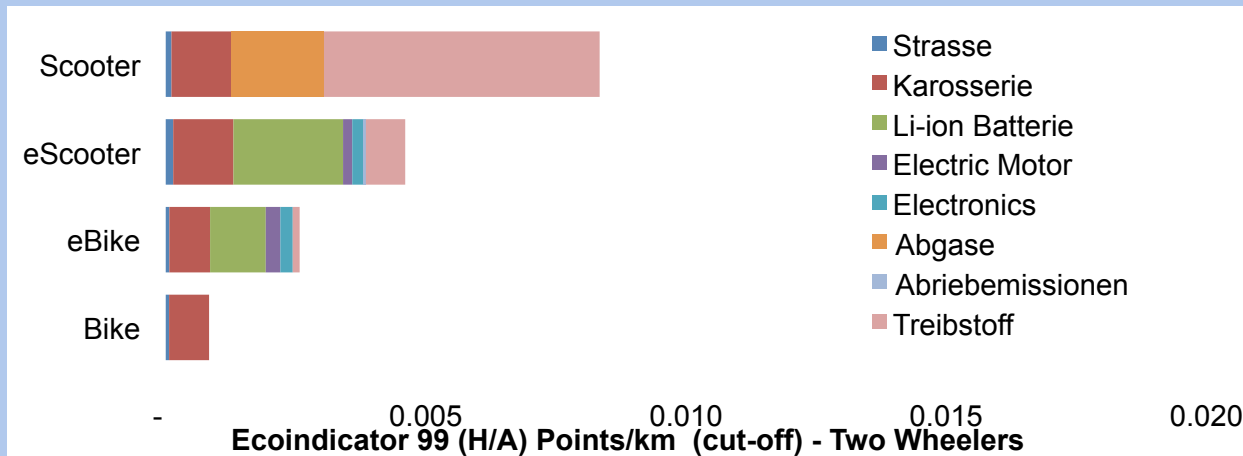
# Treibhausgasemissionen [kg CO<sub>2</sub>eq / km]



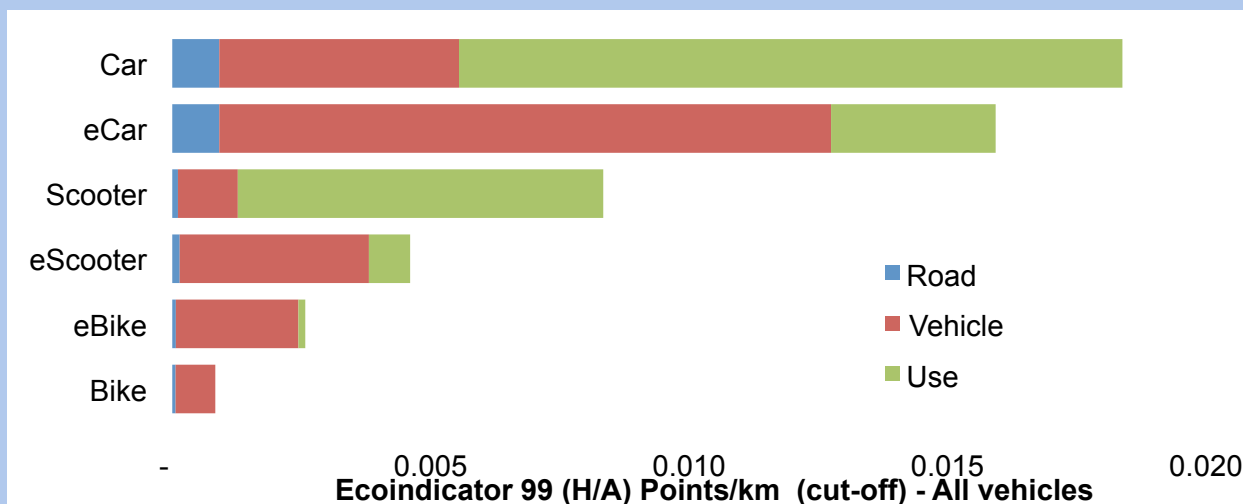
- > E-Scooter ca. 25% der THG Emissionen eines 4-Takt scooters (4kW)
- > eScooter ca. 12% der THG Emissionen eines 4-Takt PWs (Golf)
- > Produktion ist ausschlaggebend
- > ein eBike halbiert die Emissionen nochmals gegenüber E-Scooter



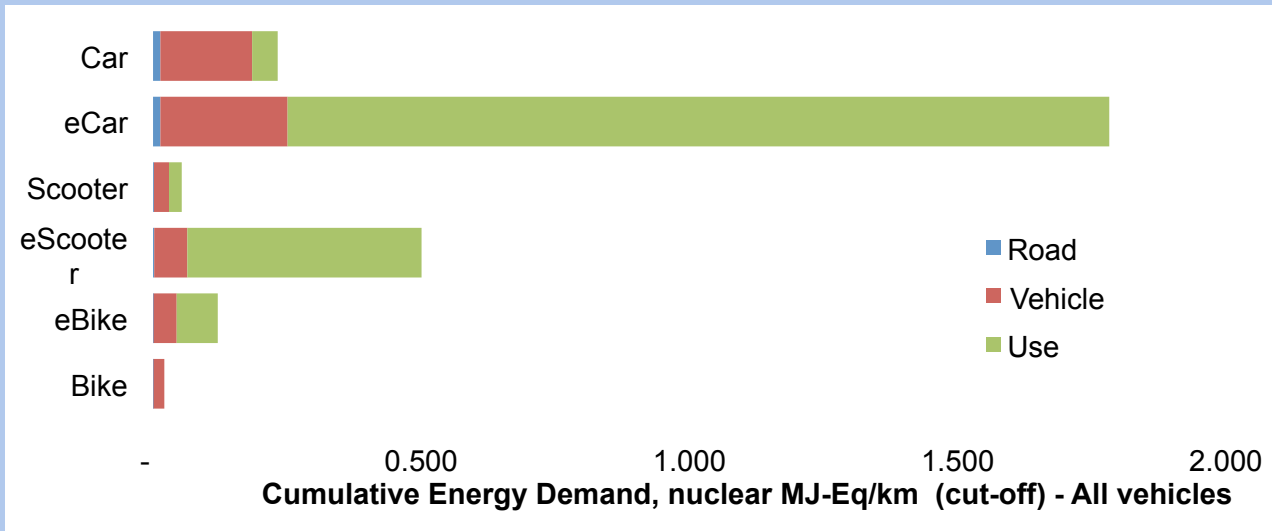
# Gesamtschaden [Pte / km]



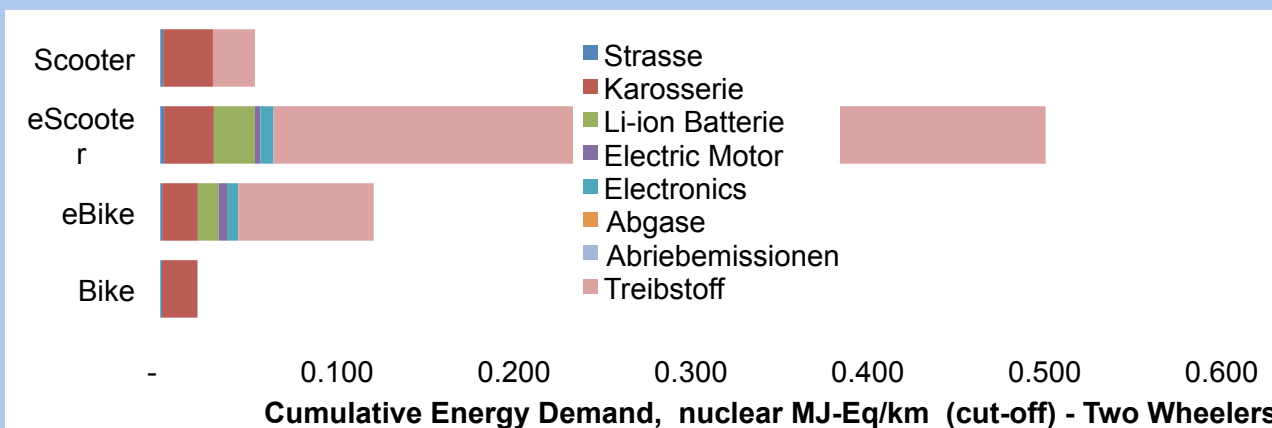
> Beim Gesamtschaden ist die Verbesserung weniger auffällig (-50%), v.a. wegen Herstellung el. Komponenten



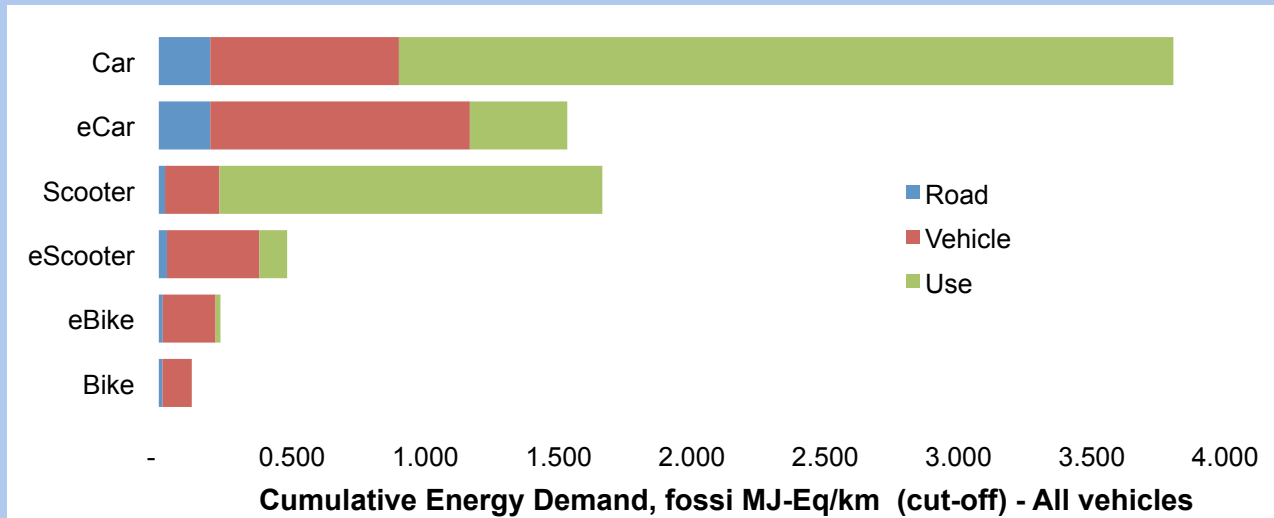
# Nuklearenergiebedarf [MJ / km]



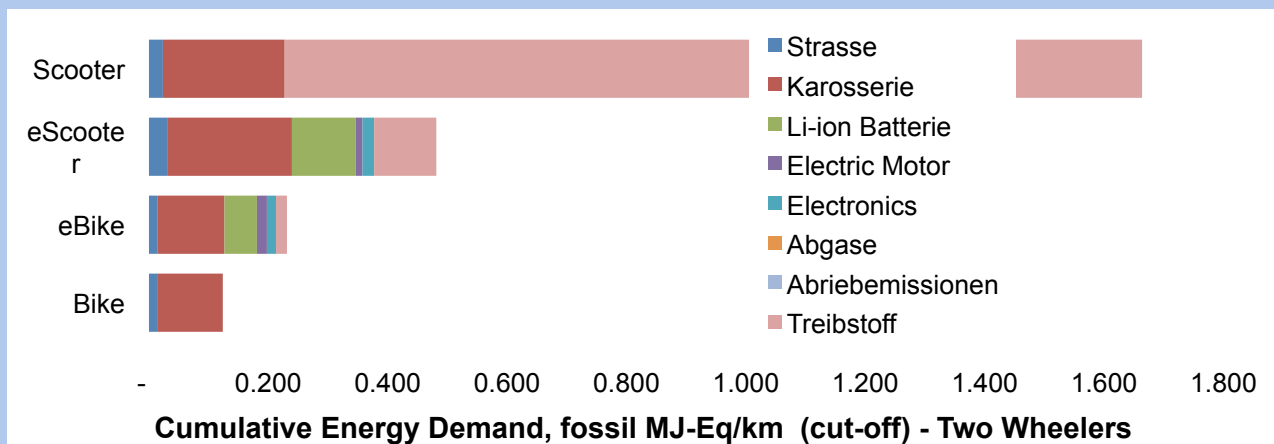
- > Nuklearenergiebedarf durch den Gebrauch festgelegt
- > CH-Strommix erheblicher Anteil (ca. 40%)



# Fossilenergiebedarf [MJ / km]



- > ähnliches Bild wie bei THG da CO<sub>2</sub> aus Verbrennung dominiert
- > (3.6MJ = 1kWh)

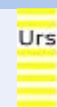


# Arbeitspaket 5.2: Energieverbrauch und Reichweite



- > 'Prove of Concept Virtual Dynamometer' (EKZ / VirVe Projekt) abgeschlossen.
- > "ScooterAnalyst" Prototyp entwickelt, gebaut und im Labor getestet
- > Energiemessgeräte für den Ladevorgang evaluiert

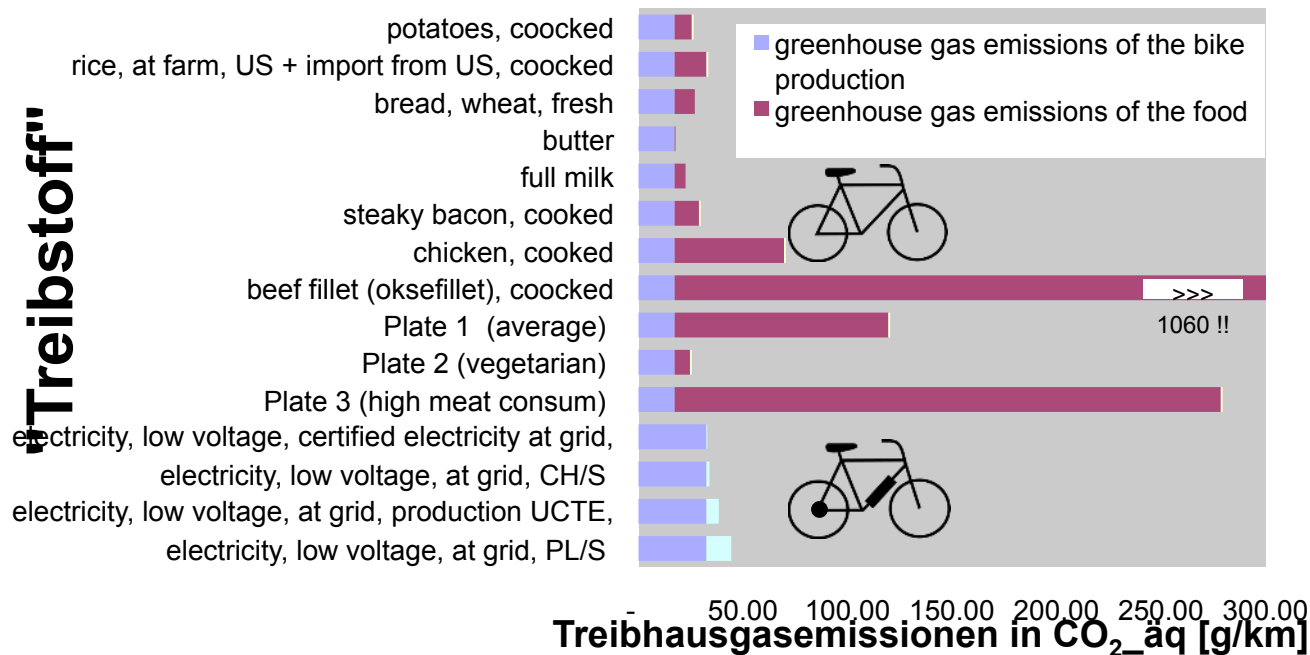
# Infostand an der SwissMoto'11



# Wie Vergleicht man 'Verbrauch'



## Spezifische Treibhausgasemissionen einer (e-)Velofahrt



- Der Unterschied zwischen den einzelnen Nahrungsmitteln ist enorm (> 50x)!
- Fleischkost macht das e-Velo zum Gewinner
- die Emissionen während der Produktion sind z.T. dominant, wobei das e-Velo ca. doppelt soviel beiträgt.
- z.T. ist nur schon die Kochenergie gewichtiger als der entsprechende Fahrstrom!

### Annahmen:

- |                    |         |                           |                           |
|--------------------|---------|---------------------------|---------------------------|
| ▪ Geschwindigkeit: | 20 km/h | Velo:                     |                           |
| ▪ Fahrermasse:     | 70kg    | Energiebedarf pro km ist: | 117kJ (= 33Wh = 28kcal)   |
| ▪ Masse Velo:      | 15kg    |                           |                           |
| ▪ Masse e-Velo:    | 24kg    | e-Velo:                   |                           |
| ▪ Lebensdauer:     | 5000km  | Energiebedarf pro km ist: | 31kJ (= 8.5Wh = 7.4 kcal) |

# Schematischer Ablauf 'virtual Dynamometer'



1  
▼  
**ScooterAnalyst**  
Einbau Messtechnik

**Datengenerierung**  
► - 1 Ladung fahren  
- Fahren nach „Rezept“

2

▼  
**VirVe**  
Datenaufnahme,  
Speicherung und Filterung  
für Softwareanalyse

**VirVe**

► Parameter Identifikation  
Software. (u.a. Masse,  
Luftwiderstand, Reibung)

3

▼  
**Report**

Messungen,  
Standardtest,  
Verbrauchsanalyse =>  
Verbrauchsklasse

- 1 Messtechnik: Strom, Spannungsaufnahme, Höhenunterschied (GPS/ Drucksensoren), Fahrzeugkonfiguration (Reifen, Licht, etc..)
- 2 Datenübertragung: Lokal gespeichert, manuell heruntergeladen oder GPRS Funktion eingeschaltet um automatisierte Real-time Datenübertragung
- 3 Analyse: Modellentwicklung, Parameterabschätzung, Mathematische Parameteridentifikation, Verbrauchsanalyse



Vehicle Make Model **Quanta EVO1 Strada (2010)**

Test date **Nov. 2010**

**Electric Vehicle**

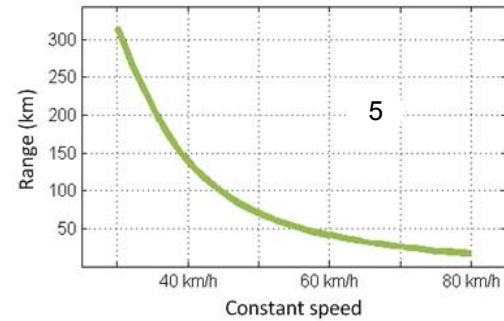


**3.7**<sup>1</sup> kWh/100km\*

**0.39**<sup>2</sup> L/100km gasoline equivalent

\*On-road energy use, estimated on combined NEDC cycle. Does not consider charge losses.

**Range at speed**



**Charge & Range**

Charge Time normal/fast <sup>3</sup>

**2.0/1.0** hours

Rated battery capacity: 2080 Wh

On a fully charged battery, this vehicle can travel approximately <sup>4</sup>



**56** km

**How this vehicle compares** <sup>6</sup>  
among other E-Scooters



**CO<sub>2</sub> Emissions** <sup>7</sup>



For more informations visit [www.virve.ch](http://www.virve.ch)

<sup>9</sup>

**VirVe** 2011

# Leistungsausweis an der SwissMoto'11



1. Dieses Fahrzeug verbraucht 3.7 kWh pro 100 km während einer kombinierte Stadt und Überland Fahrt (NEFZ)
2. Auf 100 km verbraucht dieses Fahrzeug die äquivalente Energiemenge von 0.39 l Benzin
3. Die vom Hersteller angegebenen Ladezeiten werden angezeigt
4. Berechnet auf den NEFZ Zyklus, beträgt die Reichweite dieses Fahrzeug 56 km
5. Die Geschwindigkeit-Reichweite Abhängigkeit wird in diese Graphik gezeigt bei Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit
6. In diesem Feld wird Verbrauch und maximale Geschwindigkeit dieses Fahrzeugs mit anderen E-Scooters verglichen
7. CO<sub>2</sub> ist das, für die Erderwärmung hauptverantwortliche Treibhausgas. Es sind keine Ladeverluste berücksichtigt
8. CO<sub>2</sub> Emissionen in Gramm CO<sub>2</sub>/km. Es ist zwischen schweizer- oder europäischen Strom Mix unterschieden. 68.8 g/km ist der Durchschnittswert von Motorrädern mit Verbrennungsmotor
9. [www.virve.ch](http://www.virve.ch) für weitere Informationen und um Ihren eigenen Leistungsausweis zu bestellen

## Ergebnisse und Ausblick

### Fotos ScooterAnalyst



#### Schicht 1+2

- Arduino Board
- Barometer, Accelerometer, GPS



#### Schicht 3+4

- XBee, Radumdrehung
- GSM-Shield



#### Schicht 5

- CAN-Bus, SD-Card
- LCD, Joystick

### Anzeigen & Rohdaten

- Speicherung als xml Datei
- Echtzeit Anzeige auf LCD

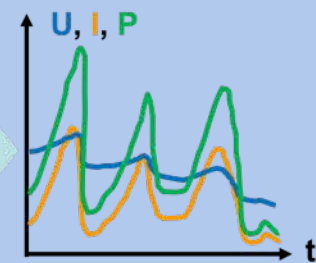
```

123456789101112131415161718192021222324252627282930313233343536373839404142434445464748495051525354555657585960616263646566676869707172737475767778798081828384858687888990919293949596979899100101102103104105106107108109110111112113114115116117118119120121122123124125126127128129130131132133134135136137138139140141142143144145146147148149150151152153154155156157158159160161162163164165166167168169170171172173174175176177178179180181182183184185186187188189190191192193194195196197198199200
    
```

ScooterAnalyst v 0.0										
100	km/h							150	kw	
055	Vbat							55	A	
Menu										



### Verarbeitung & Visualisierung (zZ extern)



### Auswertung

- Tracking
- Kennlinien
- Android App
- Verbrauchsetikette

# Stromkostenmessgeräte Test



## > Migros DO IT: Power Monitor

ArtNr 6120.499, CATII, Typ: MP-A084SW1 230VAC 50Hz, max. 10A / 2300W. Misst A, W, VA, V, kWh, h, Hz, PF. Keine techn. Angaben gefunden. Der Mess-Chip ist hochintegriert und bedient auch das HMI (Tasten + LCD)

## > Tchibo: TCM

ArtNr. 234775, CATII, 220-240VAC 50Hz, max. 10A. Misst Uhrzeit und Stromkosten (nach Eingabe), V, A, A\_max, W, W\_max, W\_overload, kWh, Betriebszeit

## > Interdiscount: Brennenstuhl PM230

ArtNr 1 50621 2, 230VAC 50Hz, max. 10A / 2300W. Misst V, Hz, A, cos phi, W, Wmax, t (Wmax), t, kWh (total), kWh(Tarif1), kWh(Tarif2), h, CHF, CHF/kWh.

## > Coop: Stromkostenmessgerät PM30

(wie Brennenstuhl, scheint die gleiche Hardware zu enthalten)

## > EMU 1.24 (alt)

Misst V, A, W, kWh

## > EMU 1.28K (neu)

Misst V, A, W, VA, kWh, kVAh, Hz, PF

## > SAIA: ALD1D5F10KA3A00

(nicht in die Versuche integriert, da die Geräte ausschliesslich für Schaltschrankbau zu nutzen sind)



# ... Resultate Zusammenfassung



Messgrößen		Referenz	mittlere Abweichungen zu ZES (worst case)						Referenz
			ZES LMG500 Eingang	EMU 1.28K	Coop PM30	Brennenstuhl PM230	Interdiscount TCM 234775	Tchibo	
Strom	I [A]	6.98	0.3%	-45.9%	-45.0%	-52.9%	0.3%	0.6%	-0.3%
Spannung	U [V]	224	-0.1%	-0.7%	2.4%	1.9%	-0.9%	1.2%	-0.7%
Leistung	P [kW]	1.124	-0.6%	-61.5%	-59.3%	-68.3%	-1.1%	1.9%	-1.8%
Blindleistung	Q [kvar]	1.134							-0.3%
Scheinleistung	S [kVA]	1.565	-0.1%						-0.8%
Powerfactor cos phi	PF [-]	0.69	0.2%	-27.4%	-26.9%			-2.3%	-1.0%
Wirkenergie	[kWh]			-59.2%		-57.7%	0.6%	4.5%	

Merci für Ihre Aufmerksamkeit

# Arbeitspaket 3.1: Zuverlässigkeit und Lebensdauer

> noch keine Resultate. Beginn der Aktivitäten 3Q. 2011 ?