

**Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise**

Hochschule für
Technik und Architektur Biel
Ecole d'ingénieurs
de Bienne

www.hta-bi.bhf.ch

Abteilung Automobiltechnik

Zusammenfassung der Energieverbrauchs-Messungen an Fahrzeugen



Diese Arbeit wurde vom Bundesamt für Energie unterstützt.
Vertragsnummer 70623

Meier-Engel Karl[®]
Reichenbach Christoph

Juli 06



Zusammenfassung der Energieverbrauchs-Messungen an Fahrzeugen

Inhaltsverzeichnis

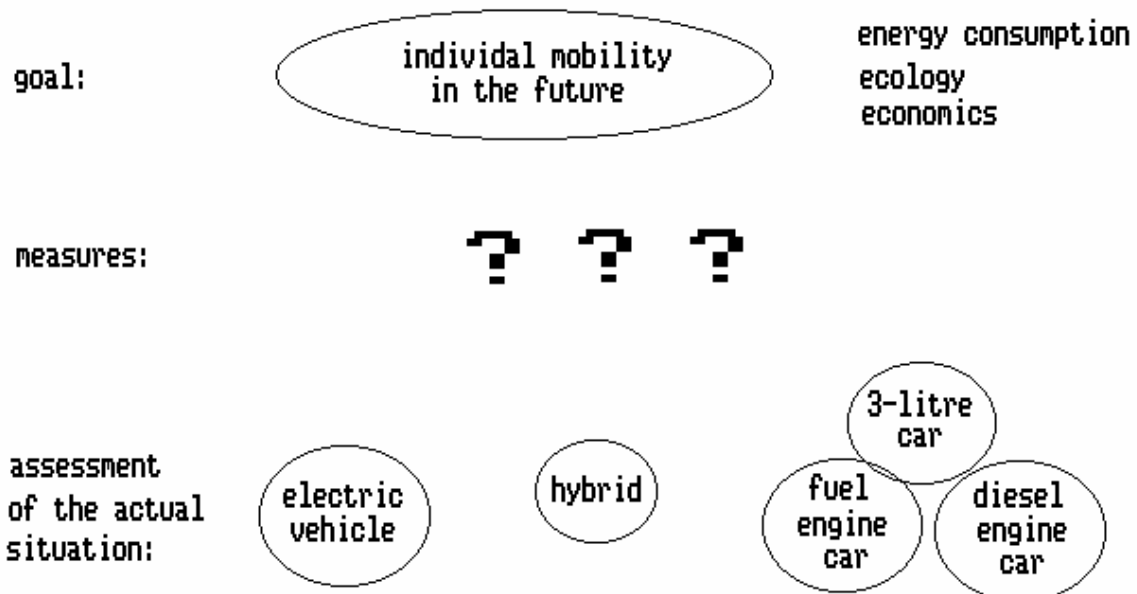
0	ABSTRACT	3
1	ZUSAMMENFASSUNG	4
2	"LOW-COST" ENERGIEVERBRAUCHSMESSUNG	4
2.1	ABLAUF DER MESSUNG	5
2.1.1	<i>Ausrollversuch</i>	5
2.1.2	<i>Fahrzyklus</i>	5
2.1.3	<i>Aufladung</i>	6
2.2	FEHLZEITUNTERSUCHUNG	6
2.2.1	<i>Definition Fehlzeit</i>	6
2.2.2	<i>Messung</i>	7
3	ENERGIEVERBRAUCH VON VERGLEICHSAHNRZEUGEN	8
3.1	MESSUNG	8
4	HYBRIDFAHRZEUGE	9
5	ELEKTROROLLER (SCOOTER)	10
5.1	PRÜFSTANDS-MESSUNG	10
6	ELEKTRO-FAHRRÄDER	11
6.1	MESSMETHODE	11
7	ROLLSTÜHLE	12
7.1	AUSROLLVERSUCH	12
7.2	FAHRZYKLUS	13
8	RESULTATE	14
9	LITERATURVERZEICHNIS	16



0 Abstract

With increasing revenues the need of individual mobility is growing [4]. For the same reason the environmental problems and the consumption of energy are rising to an unacceptable level. Therefore the government must provide the measures necessary for a sustainable development.

For this purpose there is a need of better understanding about the influence of vehicles with alternative driveline systems such as electric (EV) or hybrid (HEV) vehicles for the mobility in the future. The main question is: Which of these new alternative driveline systems will constitute the best solution.

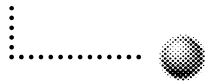


The HTA Biel-Bienne developed a low-cost method for measuring the energy consumption of EVs. Because such a method must be reproducible and comparable, a test bench is used. The test cycle is an adapted version of a cycle already used for measuring the exhaust.

All these cycles deal with a speed profile on a flat road. Within our measurements and also in a collaboration within the framework of an international programme with TU Eindhoven [5] and other partners we learned clearly, that a correlation between bench-tests and field tests will be hard to find.

Therefore a combination of results from bench and field test would probably come up with the best information for the assessment of the actual situation.

This report presents the methods developed by HTA Biel-Bienne and results from either bench and field tests.



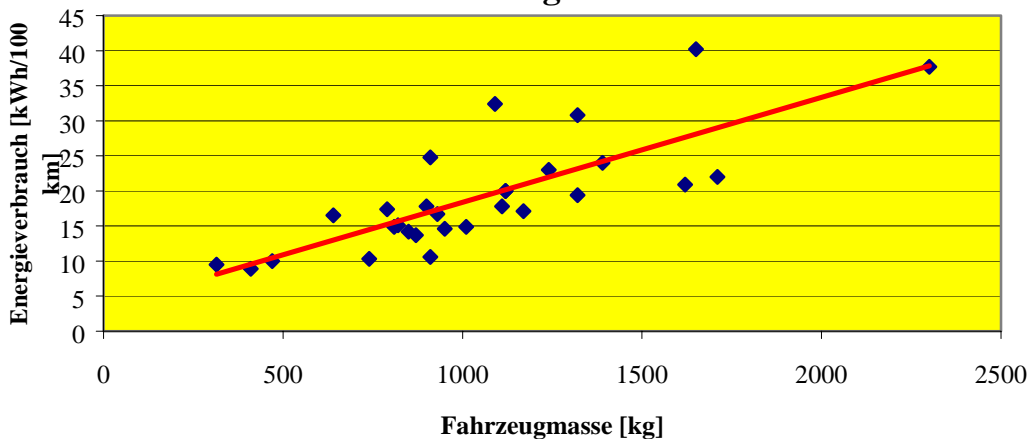
1 Zusammenfassung

Die von der HTA Biel-Bienne entwickelte "low-cost"-Methode für die Messung des Energieverbrauchs ergibt reproduzierbare und vergleichbare Daten. Die Messungen werden auf einem Rollenprüfstand durchgeführt. Bei der Wahl des Fahrzyklus wurde bewusst an einen bestehenden Zyklus angelehnt.

Der Prüfzyklus simuliert eine Fahrstrecke auf einer Strasse ohne Steigung. Das Fahrzeug wird in einem klimatisierten Raum mit einer Temperatur von 20 – 30°C konditioniert.

Eine Untersuchung der Standardabweichungen [6] im Zusammenhang mit einer Diplomarbeit [7] am Elektrofahrzeug IS-Biel ergab Werte unter $\pm 2,5\%$.

Energieverbrauch in Abhängigkeit der Fahrzeugmasse



Die graphische Zusammenstellung der Messresultate in der obenstehenden Grafik zeigt deutlich, dass der Energieverbrauch vor allem vom Gewicht des Fahrzeuges beeinflusst wird.

Eine derartige Messung gibt keine direkte Auskunft über den Energieverbrauch der Fahrzeuge im Alltagseinsatz. Der Grund liegt in den unterschiedlichen Einsatzbedingungen der Fahrzeuge. Zu der gleichen Erkenntnis führte eine Zusammenarbeit im Rahmen eines internationalen Forschungsprogrammes [5]. Dort haben wir ebenfalls festgestellt, dass ein Zyklus kaum die Realität einer Felderprobung simulieren kann.

Für eine richtige Beurteilung von energieeffizienten und schadstoffarmen Fahrzeugen ist eine Kombination von Prüfstandsversuchen mit Feldversuchen am besten geeignet !

Bei Elektrofahrrädern ist der Einsatz eines Rollenprüfstandes aus Kostengründen nicht zu verantworten. Aus diesem Grunde wird diese Messung auf einem Strassenparcour durchgeführt. Dabei wird der Energieverbrauch des Fahrers mit Hilfe seines Pulses überwacht.

2 "low-cost" Energieverbrauchsmessung

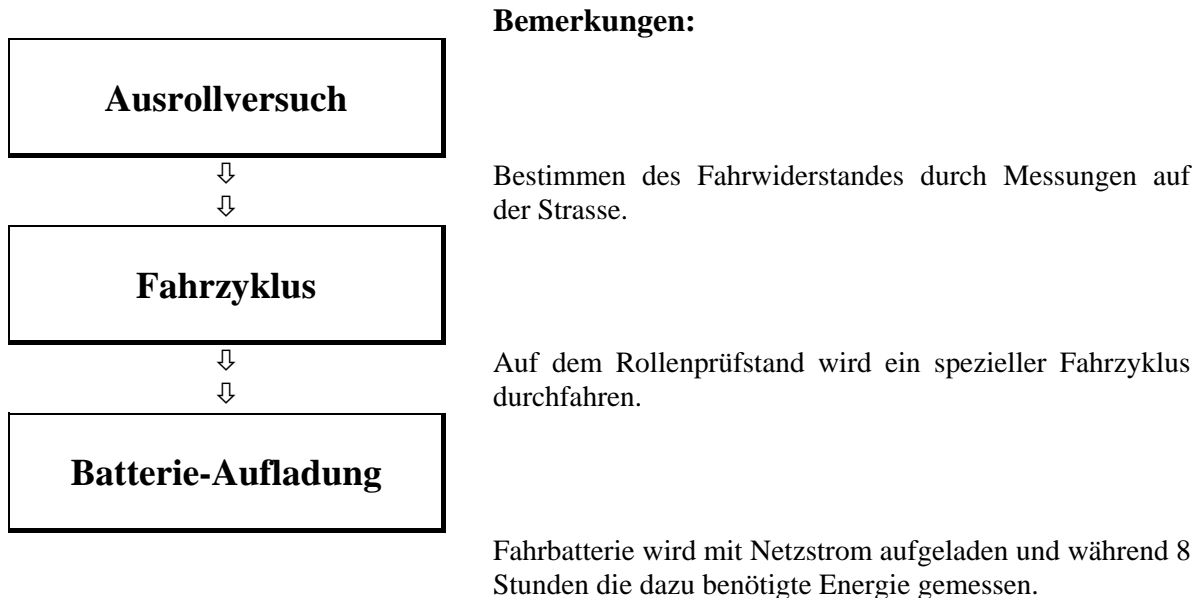
Ziel dieser Messung ist die Definition einer einfachen und reproduzierbaren Methode zur Bestimmung des Energieverbrauches an Elektrofahrzeugen, welche nicht über 5'000 sFr. kosten soll. Da-



mit kann eine grössere Zahl von Fahrzeuge in kurzer Zeit gemessen werden. Der aktuelle Stand der Technik kann rasch und kostengünstig erfasst werden.

2.1 Ablauf der Messung

Für die Messung des Energieverbrauches wurde folgender Ablauf festgelegt.



2.1.1 Ausrollversuch

Der Ausrollversuch (coastdown) liefert die Daten für die Einstellung des Rollenprüfstandes. So kann der Prüfstand die Fahrt auf der Strasse zu simulieren.

Dazu wird wie folgt vorgegangen:

- ① Vorbereitungen am Versuchsfahrzeug:
 - Wägung der Fahrzeugmasse
 - Einbau der Messeinrichtung für die Erfassung der Geschwindigkeit
 - Reifendruck berichtigen
 - Kalibrieren der Messeinrichtung

Versuch

- ① Versuchsfahrzeug auf ~80 km/h beschleunigen
- ② Antrieb ausschalten (Auskuppeln oder elektrischen Antrieb ausschalten)
- ③ Fahrzeug bis zum Stillstand ausrollen lassen
 - während des Ausrollens die Fahrgeschwindigkeit in Funktion der Zeit mit einem Mess-PC aufzeichnen
- ④ Versuch in Gegenrichtung wiederholen

Der Versuch ist mehrmals zu wiederholen, um eine geringe Standardabweichung zu erzielen.

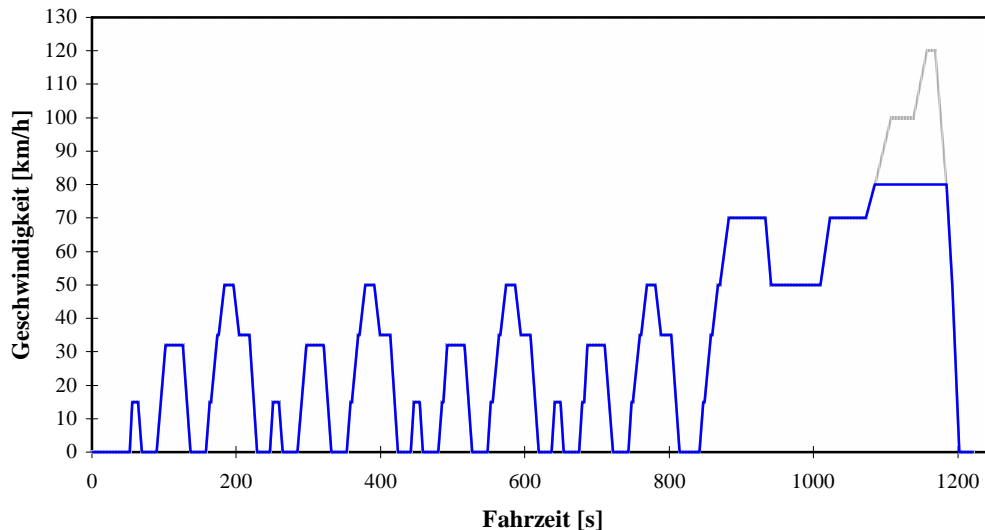
2.1.2 Fahrzyklus

Als Basis Fahrzyklus wurde der europäische Zyklus, wie er für die Abgastypenprüfung verwendet wird, gewählt. Die Höchstgeschwindigkeit wurde von 120 auf 80 km/h reduziert. Der Fahrzyklus wird dem Fahrer auf einem Monitor vorgegeben. Der Rollenprüfstand simuliert den Fahrwiderstand



sowie die Fahrzeugmasse. Nach dem Aufladen der Fahrbatterie, wird der erwähnte Zyklus mit dem Testfahrzeug zweimal hintereinander gefahren. Dabei wird während etwa 40 Minuten eine Strecke von etwa 20 km zurückgelegt.

Fahrzyklus



2.1.3 Aufladung

Nachdem der Fahrzyklus beendet ist, wird die Fahrbatterie des Versuchsfahrzeuges wieder aufgeladen. Dabei wird die elektrische Energie gemessen. Diese Energie wird ab Netz also ab Steckdose erfasst. Zur Messung der Energie wird ein handelsübliches Gerät mit internem Messwert-Speicher verwendet. Das Fahrzeug bleibt für 8 Stunden am Netz angeschlossen. Diese Ladezeit entspricht den Gewohnheiten der Elektromobilbenutzer, die ihr Fahrzeug meistens über Nacht aufladen.

2.2 Fehlzeituntersuchung

Die Energieverbrauchsmessungen haben gezeigt, dass nicht alle Versuchsfahrzeuge dem vorgesehenen Fahrzyklus folgen können. Es entstehen Fehlzeiten. Diese sind auf zu kleine Beschleunigungswerte oder zu tiefe Höchstgeschwindigkeit zurückzuführen. Ein direkter Vergleich der einzelnen Fahrzeugen bezüglich Energieverbrauch schien problematisch. Da in Abhängigkeit der gemessenen Energieverbräuche die Beiträge des Bundes zur Fahrzeuganschaffung für den LEM-Grossversuch in Mendrisio festgelegt werden, stellte sich die Frage wie eine Fehlzeit bewertet werden muss.

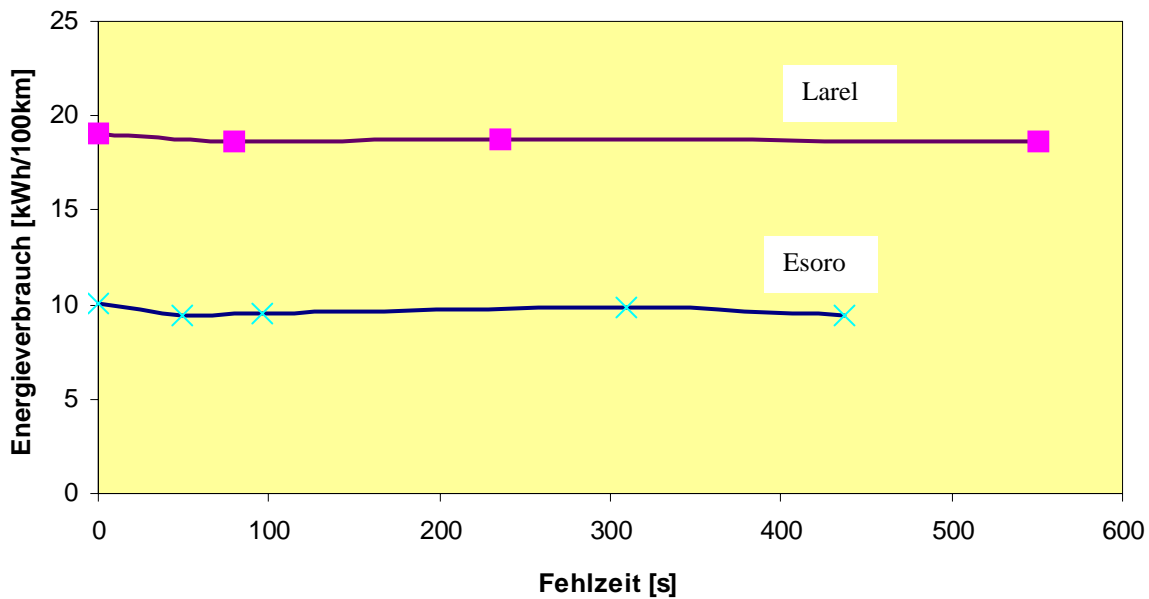
2.2.1 Definition Fehlzeit

Die Zeit während welcher das Versuchsfahrzeug aufgrund zu tiefer Beschleunigungswerte oder zu niedriger Höchstgeschwindigkeit dem vorgegebenen Fahrzyklus nicht folgen kann.



2.2.2 Messung

Mit diesen Messungen soll festgestellt werden, wie sich die Fehlzeit auf den Energieverbrauch auswirkt. Als Basis dient die von der Energieverbrauchsmessung von Elektrofahrzeugen [1] bewährte Methode. Die Leistung des Elektroantriebes wurde so eingestellt, dass das Fahrzeug im gewünschten Masse dem Fahr-Zyklus folgen, bzw. nicht folgen konnte. Mit diesem Vorgehen wird die gewünschte Fehlzeit erreicht. Die Auswirkungen einer reduzierten Leistung auf die Fehlzeit wurde an verschiedenen Elektrofahrzeugen untersucht.



Feststellung:

Der Energieverbrauch auf 100 km ist nur geringfügig von der Fehlzeit, also von der eingestellten Leistung abhängig.

Schlussfolgerung:

Der Einfluss von Fehlzeiten ist so gering, dass er vernachlässigt werden kann. Es ist aber sinnvoll neben dem Energieverbrauch allfällige Fehlzeiten anzugeben.



3 Energieverbrauch von Vergleichsfahrzeugen

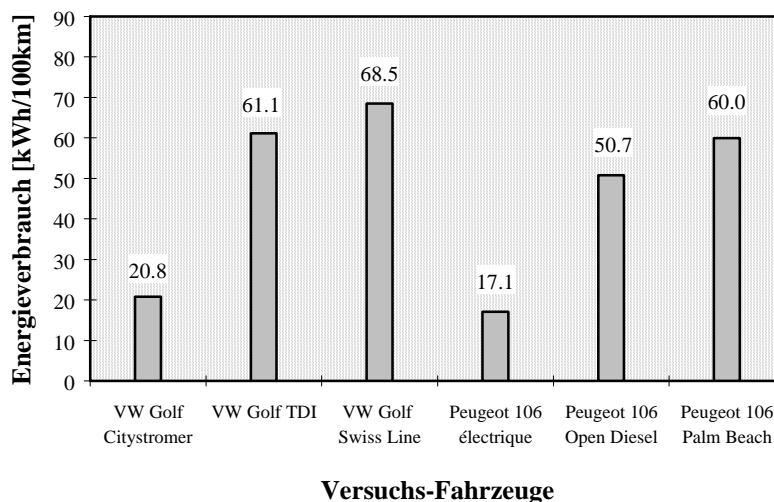
An zwei verschiedenen Fahrzeugtypen wurde der Energieverbrauch von je drei verschiedenen Motorvarianten gemessen.

3.1 Messung

Als Basis dient die von der Energieverbrauchsmessung von Elektrofahrzeugen [1] bewährte Methode. Zusätzlich werden bei den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren während der Zyklusfahrt die Abgase in Säcken gesammelt. Aus diesen Säcken wurden die Massen der Abgaskomponenten bestimmt. Diese Komponentenmassen dienen zur Berechnung des Energieverbrauches.

Die Energieverbräuche wurden an zwei verschiedenen Fahrzeugtypen untersucht.

Energieverbrauch Vergleichsfahrzeuge



Bemerkungen

Wir sind uns bewusst, dass der Vergleich zwischen der elektrischen Energie ab Steckdose und der Energie des Treibstoffes ab Einfüllstutzen Diskussionen auslösen wird. Die Reichweite und der Energieverbrauch sind wichtige Kennwerte von Fahrzeugen. Da zudem die Stromproduktion sehr unterschiedlich sein kann, schien es uns wichtig die tatsächlichen Werte an realen Fahrzeugen zu erfassen.



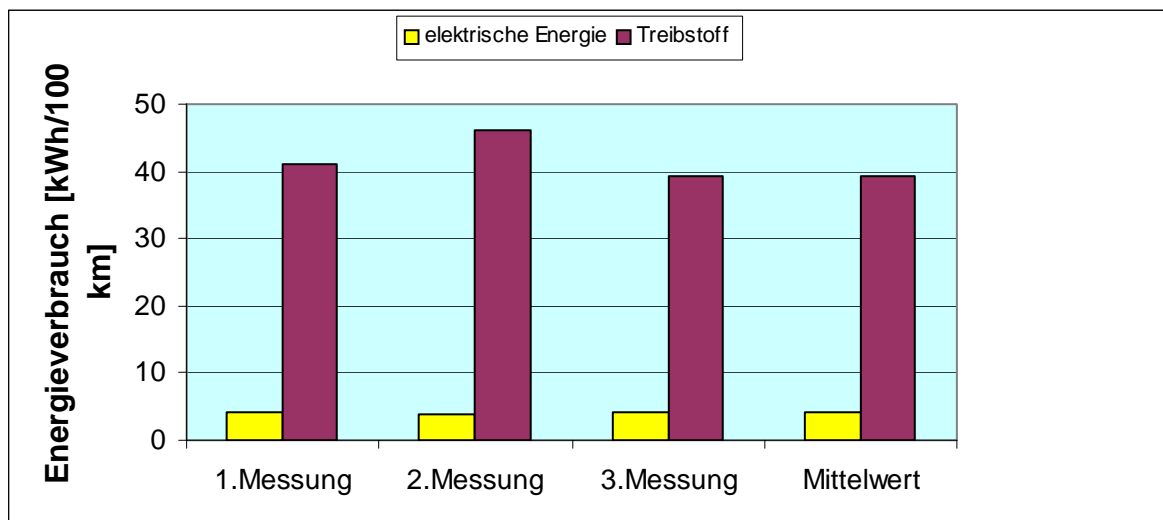
4 Hybridfahrzeuge

Am Beispiel des Blue-Angels, ein Serienhybridfahrzeug (Gas - Elektro), wird in dieser Arbeit eine *low - cost* - Energieverbrauchs- und Abgasmessung von Hybridfahrzeugen dargestellt.

Diese Messung berücksichtigt die dem Fahrzeug zugeführten Energiemengen - in Form von Kraftstoff und als elektrische Energie ab Steckdose - während eines genau definierten Prüfstandstest.

Als Basis dient die Energieverbrauchsmessung von Elektrofahrzeugen [1]. Dabei werden mit dem Versuchsfahrzeug auf dem Prüfstand drei Zyklen von etwa 10 km gefahren. Weil davon auszugehen ist, dass der Benutzer in einem städtischen Gebiet wohnt, wird der erste Zyklus mit rein elektrischem Antrieb (sofern möglich) gefahren. Die beiden folgenden Zyklen werden im Hybrid-Modus gefahren. Dabei wird der Verbrennungsmotor vom Fahrzeugmanagement automatisch ein- sowie ausgeschaltet. Nach dem dritten Zyklus wird die Batterie wieder aufgeladen. Dabei wird die dazu benötigte Netzenergie gemessen. Die Energie des verbrauchten Treibstoffes wird über die Abgasanalyse bestimmt.

Diese Messung wird dreimal durchgeführt. Danach werden die Mittelwerte für den Verbrauch von elektrischer (Steckdose) und thermischer (Treibstoff) Energie separat angegeben.





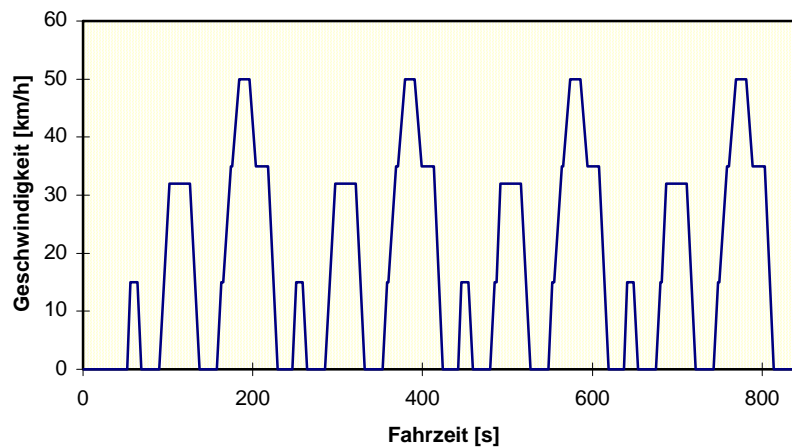
5 Elektroroller (Scooter)

Für die Elektroroller kann nicht die gleiche Methode angewendet werden wie für die Elektrofahrzeuge, weil die Höchstgeschwindigkeit deutlich niedriger ist. Aus diesem Grunde musste die bestehende Methode an diese Fahrzeuge angepasst werden.

5.1 Prüfstands-Messung

Als Basis dient die von der Energieverbrauchsmessung von Elektrofahrzeugen [1] bewährte Methode. Als Fahrzyklus wurde der unten abgebildete Stadtteil des ECE-Zyklus gewählt. Um eine Fahrstrecke von 12 km zu erreichen wird dieser Zyklus dreimal gefahren. Unter Umständen kann ein Ausrollversuch oder eine Kennlinienanpassung auf dem Prüfstand nicht durchgeführt werden. Darum wird eine vereinfachte Messung ohne Ausrollversuch durchgeführt. Bei den meisten Elektro-Scootern ist die Geschwindigkeit auf 45 km/h begrenzt, darum kann dem Zyklus nicht ganz gefolgt werden. Es entstehen Fehlzeiten, welche aber auf den Energieverbrauch keinen grossen Einfluss haben [3].

Fahrzyklus





6 Elektro-Fahrräder

Für Elektrofahrräder gibt es keinen Prüfstand in der nötigen Qualität. Da die Kosten für eine derartige Messung ebenfalls möglichst niedrig bleiben müssen, wird diese Messung auf einer Teststrecke durchgeführt.

6.1 Messmethode

Mit dem Versuchsfahrzeug wird eine bestimmte Test-Strecke in beiden Fahrrichtungen gefahren. Dabei wird während etwa 40 Minuten eine Strecke von 17 km zurückgelegt.

Bei Elektrofahrrädern muss vom Fahrer einen Teil der Fahrenergie übernommen werden. Die Kontrolle dieser Leistung erfolgt über die Herzfrequenz. Bei den Testfahrten muss sich der Fahrer auf jeden Fall im aeroben Bereich bewegen, weil sonst bei gleichem Puls die erbrachte Leistung immer kleiner würde. Für einen Testfahrer zwischen 60 und 70 kg wurde eine Fahrerleistung von **100 W** gewählt. Im Minimum müssen 3 Test-Fahrten gemacht werden. Nach jeder Fahrt wird die Energie zum Aufladen der Fahrbatterie gemessen.

Eichen Herzfrequenz



Fahr-Zyklus



Aufladung

Bemerkungen:

Auf einem Ergometer wird die Herzfrequenz eines Testfahrers bei der gewünschten Pedal-Leistung festlegt

Mit dem Testfahrzeug wird eine festgelegte Strecke in beiden Richtungen gefahren

Fahrbatterie wird aufgeladen und die benötigte Energie gemessen

Der Energieverbrauch wird mit dem minimalen –maximalen Wert angeben. Dazu wird als weitere wichtige Grösse die erzielte Fahrzeit angegeben.



7 Rollstühle

Die vorliegende vereinfachte Energieverbrauchsmessung wird für langsamfahrende Spezialfahrzeuge wie Rollstühle etc. angewandt. Als Basis dient die Energieverbrauchsmessung von Elektrofahrzeugen [1]. Der Ausrollversuch und der Fahrzyklus wurden angepasst.

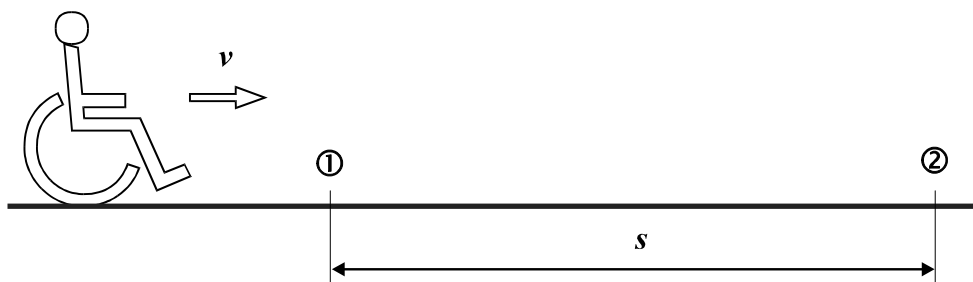
7.1 Ausrollversuch

Mit dem Ausrollversuch wird der Fahrwiderstand des Fahrzeuges bestimmt. Der Fahrwiderstand setzt sich grösstenteils aus dem Rollwiderstand und dem Luftwiderstand zusammen. Bei diesen Geschwindigkeiten ist der Luftwiderstand vernachlässigbar klein. Die Verzögerung beim Ausrollen wird als lineare Grösse angenommen. Also kann der Fahrwiderstand mit folgender Formel berechnet werden:

$$F_{Fahr} = m_{Fz} \cdot a_{verz.} = m_{Fz} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot s}$$

Um die Variablen zu bestimmen wird folgendermassen vorgegangen:

- ① Vorbereitungen am Versuchsfahrzeug:
 - Wägung des Betriebsgewichtes m
 - Reifendruck berichtigen
- ② Fahrzeug auf einer Versuchsstrecke auf die maximale Geschwindigkeit beschleunigen
- ③ Antrieb kurz vor Punkt ① ausschalten
 - Die Fahrgeschwindigkeit v wird in Punkt ① gemessen
- ④ Fahrzeug bis zum Stillstand Punkt ② ausrollen lassen
- ⑤ Ausrollweg s bestimmen (Strecke Punkt ① bis Punkt ②)
- ⑥ Fahrwiderstand berechnen

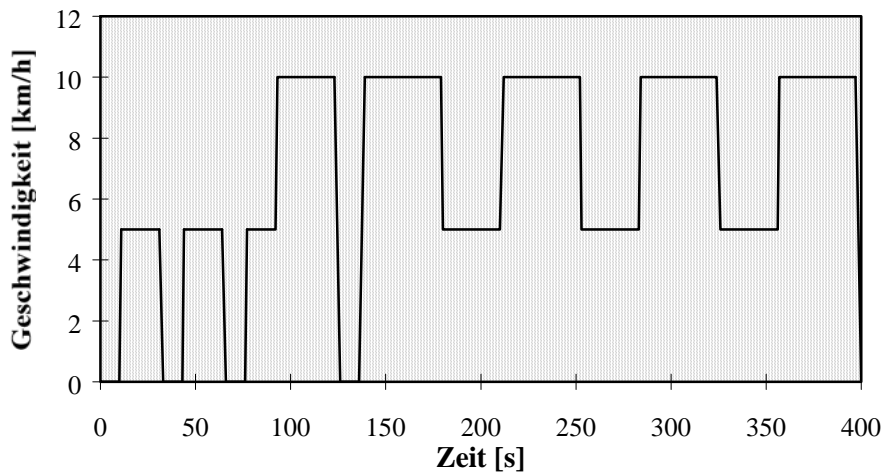




7.2 Fahrzyklus

Der auf einem Monitor dargestellte Fahrzyklus wird auf einem Rollenprüfstand gefahren. Dieser Prüfstand kann den beim Ausrollversuch gemessenen Fahrwiderstand, sowie die Fahrzeugmasse simulieren. Der erwähnte Zyklus wird von einem Testfahrer sechsmal durchfahren. Dabei wird während etwa 40 Minuten eine Strecke von etwa 4.7 km zurückgelegt.

Testzyklus für Elektro-Rollstühle





8 Resultate

Die erfassten Resultate wurden mit den bereits vorhanden Werten aus den Feldtest verglichen und in den folgenden Tabellen zusammengefasst:

Energieverbrauch Elektrofahrzeuge

Fahrzeug	Energieverbrauch Prüfstand FH [kWh/100km]	Fehlzeit [s]	Energieverbrauch Mendrisio[8] [kWh/100km]			Energieverbrauch Partnergemeinden [9] [kWh/100 km]		
			<i>min.</i>	<i>max.</i>	<i>mean</i>	<i>min.</i>	<i>max.</i>	<i>mean</i>
Citroen AX Electricque	17,8	0	22,0	23,9	23,1			18,3
Citroen SAXO Electricque	20,0	0	22,7	28,1	25,6			22,6
Erad Spacia	14,2	445,2						
Esoro 301 ²⁾	10,3	0						
Evergreen CoMiniCation	13,7	0						
Evergreen Holinger	14,6	0						
Fiat Panda Elettra	23,0	303,8	42,0	53,3	46,9	34,6	34,6	34,6
Genesys, BIGA	32,4	616,6						
Honda EV Plus	22,0 ¹⁾	0						
Horlacher Saxi	17,8	0						
IS-Biel, Elektro	14,9	0						
Kewet EL-JET4	16,7	244	19,6	28,8	22,7			
Larel ²⁾	20,0	45,3	20,5	20,5	20,5			
Ligier Ambra	15,1	0	20,5	24,1	21,1	21,3	21,3	21,3
Ligier Optima Sun II (Eco)	14,9	91	20,1	22,2	20,5			
Ligier Optimax	17,4	0	23,4	23,4	23,4			
Ligier Sport	24,8	0						
Microcar Light	16,5	254,2	22,8	22,8	22,8			16,2
Mini El L	8,9	801,8	9,4	19,6	13,4			14,9
Mowag (Nutzfahrzeug)	37,7	973,2						
Peugeot 106 électric	17,1	0	23,2	30,1	24,5			20,8
Peugeot Partner			36,3	37,7	38,4			
Renault Clio électric	19,4	0	25,9	30,5	29,3			23,3
Renault Express Electricque	24,0	0	36,7	36,7	36,7			
S-LEM <<active>>	9,5	0						
Stromboli II	10,6	0						
Twike	10,0	0						
Volta (Projektarbeit)	30,82	239,1	21,9	21,9	21,9	57,7	57,7	57,7
VW Golf Citystromer	20,9	0	25,9	32,4	27,5			

¹⁾ 5 statt 2 Zyklen

²⁾ Vergleichsfahrzeuge

Energieverbrauch Elektro-Rollstuhl

Fahrzeug	Energieverbrauch	Fehlzeit
	[kWh/100km]	[s]
Kyburz ³⁾	9,44	0

³⁾ Spezialzyklus



Energieverbrauch Elektrofahrräder

Fahrrad	Energieverbrauch Testfahrt FH ⁴⁾	Fahrzeit	Energieverbrauch Mendrisio[8]			Energieverbrauch Partnergemeinden [9]		
	[kWh/100km]		[s]	[kWh/100km]			[kWh/100 km]	
Flyer	1,129 - 1,224	31 - 36						1,71
Hercules 520 Electra	0,87 - 0,94	45 - 46						
Power Cycle	1,2 - 1,3	42						
Selo „Rückenwind“	0,88- 1,08	46 - 47						
Velocity	1,382 - 1,400	36 - 38						
Yamaha ax-ion	0,765 - 0,853	45 - 46						

⁴⁾ Gemessen auf einem Strassenparcours mit den folgenden Daten: Distanz: 17 km; Höhendifferenz: 85 m.

Energieverbrauch Elektro-Scooter

Fahrzeug	Energieverbrauch Prüfstand FH ⁵⁾	Fehlzeit	Energieverbrauch Mendrisio[8]			Energieverbrauch Partnergemeinden [9]		
			[kWh/100km]			[kWh/100 km]		
			min.	max.	mean	min.	max.	mean
Peugeot Scoot'elec	7,4	225	5,97	11	8			7,87

⁵⁾ with special cycle (12 urban cycles ~12km)

Warum gibt es Unterschiede zwischen der Messung auf dem Prüfstand und im Feld ?

Es ist unmöglich einen Fahrzyklus zu entwickeln der alle möglichen Einsatzarten von Fahrzeugen berücksichtigen kann [8].

Die folgenden Einflussgrößen wirken sich in der Versuchsgemeinde deutlich aus:

- Fahrweise
- Autobahnfahrt
- Topographie
- Batteriemangement und Selbstentladung

Dies wird deutlich sichtbar, wenn man die Resultate aus den Feldmessungen in Mendrisio mit denjenigen der Partnergemeinden vergleicht.



9 Literaturverzeichnis

- [1] IS-Biel, Automobiltechnik
Energieverbrauchsmessung von Elektrofahrzeugen
Karl Meier-Engel und Christoph Reichenbach
- [2] IS-Biel, Automobiltechnik
Energie-Verbrauchsmessung an Elektrofahrzeugen
Karl Meier-Engel und Christoph Reichenbach
- [3] IS-Biel, Automobiltechnik
Fehlzeituntersuchung an Elektrofahrzeugen
Karl Meier-Engel und Christoph Reichenbach
- [4] Pfister Christian: Das 1950er Syndrom, Haupt Verlag, ISBN 3-258-05004-X
- [5] Van Spanje Ben: Final Report: Programme for Collaboration Between CEU and National
Programmes on Electric Vehicles
- [6] Hett Werner, Meier-Engel Karl: Bestimmung der Standardabweichung, Statistische Bewertung einer Energieverbrauchsmessung, IS Biel, Abteilung Automobiltechnik, Dezember 1996
- [7] Sterki Roger: Ausmessen eines Elektrofahrzeuges (IS-Biel), IS Biel, Abteilung Automobil-
technik, Diplomarbeit 1996
- [8] Moreni: Results of Mendrisio, Consorzio Abay + Meyer, Polyquest AG
- [9] Muntwyler Urs, Keller Marc: Messkampagne LEM Partnergemeinden 1997/1998