



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Schlussbericht** 6. Juli 2013

---

# Elektro-Nutzfahrzeuge bei Feldschlösschen

## Begleitforschung zum Pilotversuch

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm xxx  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Auftragnehmer:**

Feldschlösschen Getränke AG  
Theophil-Roniger-Strasse  
4310 Rheinfelden  
[www.feldschloesschen.com](http://www.feldschloesschen.com)

Verband e'mobile  
Pavillonweg 3  
CH-3001 Bern  
[www.e-mobile.ch](http://www.e-mobile.ch)

**Autoren:**

Laurent Chapatte, Feldschlösschen Getränke AG, [laurent.chapatte@fgg.ch](mailto:laurent.chapatte@fgg.ch)  
Urs Schwegler, e'mobile, [uschwegler@e-mobile.ch](mailto:uschwegler@e-mobile.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Martin Pulfer

**BFE-Programmleiter:** Rolf Schmitz

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 153000 / 102000

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

## **Abkürzungen**

BFE	Bundesamt für Energie
BFH	Berner Fachhochschule
FGG	Feldschlösschen Getränke AG, Rheinfelden
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
VTSAG	Volvo Trucks (Schweiz) AG, Dällikon

<b>Inhalt</b>	
<b>Kurzfassung</b>	<b>5</b>
<b>Resumé</b>	<b>7</b>
<b>Abstract</b>	<b>9</b>
<b>1 Ausgangslage und Zielsetzung</b>	<b>11</b>
1.1 Elektrofahrzeuge für Feldschlösschen	11
1.2 Zielsetzung	11
1.3 Untersuchungsgegenstand	12
1.4 Übersicht über die Untersuchungsmethoden	12
<b>2 Projektorganisation</b>	<b>13</b>
<b>3 Fahrzeugbeschrieb</b>	<b>14</b>
3.1 Die Firma Modec	14
3.2 Spezifikationen Modec	14
<b>4 Projektverlauf</b>	<b>17</b>
4.1 Drei Projektphasen	17
4.2 Phase 1 (Juli – Dezember 2008, Sommertest)	17
4.3 Phase 2 (Januar 2009 – Juni 2010, Wintertest)	19
4.4 Phase 3 (Juli 2010 – Oktober 2012, Flotteneinsatz)	20
<b>5 Ergebnisse</b>	<b>23</b>
5.1 Zuverlässigkeit	23
5.2 Fahrleistungen	24
5.2.1 Juli 2008 – Juni 2010 Projektphasen 1 und 2 (1 Fahrzeug)	24
5.2.2 Juli 2010 – November 2012 Projektphase 3 (5 Fahrzeuge)	24
5.3 Energieverbrauch im Alltagseinsatz	25
5.3.1 Einflussfaktoren	25
5.3.2 Erste Fahrzeug-Generation (Li-Ion-Batterie)	26
5.3.3 Zweite Fahrzeug-Generation (Zebra-Batterie)	26
5.4 Normverbrauch	27
5.5 Reichweite	28
5.5.1 Erste Fahrzeug-Generation (Li-Ion-Batterie)	28
5.5.2 Zweite Fahrzeug-Generation (Zebra-Batterie)	28
5.5.3 Vergleich mit Herstellerangaben	29
5.5.4 Ausschöpfung der Reichweite	29
5.6 Fahreigenschaften	30
5.7 Fahrzeug-Ergonomie	31
5.8 Wintertauglichkeit	32
5.9 Gesamtkosten	32

<b>6</b>	<b>Öffentlichkeitsarbeit</b>	<b>35</b>
6.1	Anlässe	35
6.2	Medienarbeit	36
6.3	Berichterstattung	36
<b>7</b>	<b>Weitere Erfahrungen mit Modec</b>	<b>37</b>
7.1	England	37
7.2	Borter in Bex	37
<b>8</b>	<b>Marktpotenzial und Marketing</b>	<b>39</b>
8.1	Theoretisches Einsatzpotenzial	39
8.2	Feldschlösschen Getränke AG	39
8.3	Volvo Trucks (Schweiz) AG	39
8.4	Schweiz	39
<b>9</b>	<b>LKW mit Elektroantrieb: Stand der Entwicklung</b>	<b>41</b>
9.1	Übersicht	41
9.2	Smith Electric Vehicles	42
9.3	Iveco	43
9.4	Renault Midlum électrique	43
9.5	Elektro-LKW von EForce	44
<b>10</b>	<b>Fazit</b>	<b>45</b>
	<b>Literatur</b>	<b>46</b>
	<b>Anhang</b>	<b>47</b>
A1	Formular Tagesrapport	48
A2	Verbrauchsmessung	49
A3	Bericht vom Testtag vom 20. Oktober 2008 in Egerkingen	50
A4	Erhöhung der Nutzlast durch Sattelaufliiegerkonzept	59

## Kurzfassung

Im Rahmen der Neubeschaffung von Nutzfahrzeugen will die Feldschlösschen Getränke AG (FGG) für die Feinverteilung von Getränken leichte LKW mit Elektroantrieb einführen. Zusammen mit Volvo Trucks (Schweiz) AG führten sie in den Jahren 2008 und 2009 einen intensiven Test mit einem Modec durch. Trotz Einschränkungen in der Nutzlast ergänzte FGG die Flotte im Juni 2010 um vier weitere Modecs. Sie sind gegenüber der ersten Fahrzeuggeneration, welche über Lithium-Ion-Batterien verfügte, mit Natrium-Nickel-Chlorid-Batterien (so genannte Zebra-Batterien) ausgestattet, welche über eine um 60 % grössere Batteriekapazität verfügen.

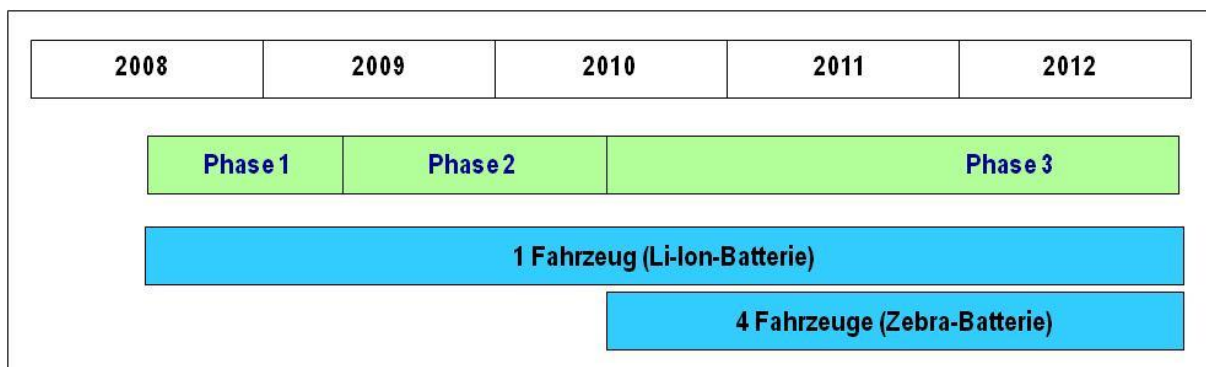
Der Einsatz dieser Fahrzeuge wurde in einer vom Bundesamt für Energie unterstützten Begleitforschung ausgewertet. Damit wurden folgende Ziele verfolgt:

- Eignungsprüfung von Elektro-Nutzfahrzeugen für Schweizer Verhältnisse, insbesondere für FGG
- Langzeiterfahrungen mit den damals erstmals in Nutzfahrzeugen eingesetzten Li-Ion-Batterien
- Hinweise für die Weiterentwicklung der getesteten Elektrofahrzeuge
- Entscheidungsgrundlage für FGG zur Beschaffung weiterer Fahrzeuge
- Erkenntnisse für Volvo Trucks (Schweiz) AG für den Vertrieb von Elektro-Nutzfahrzeugen in der Schweiz
- Untersuchung der politischen Rahmenbedingungen und allenfalls Argumente zur politischen Förderung von Elektro-Nutzfahrzeugen
- Grundlage für die Kommunikation (Medien, andere potenzielle Anwender von Elektro-Nutzfahrzeugen)

Die Versuchsauswertung umfasste folgende Themenbereiche:

- Fahrleistungen: Energieverbrauch, Reichweite, Emissionen, Beschleunigungsverhalten, Ergonomie, etc.
- Zuverlässigkeit: systematische und zufällige Pannen
- Sicherheit
- Kosten
- Einsatzpotenziale bei FGG, allgemein
- Fahrzeugmängel/-optimierung
- Reaktionen Dritter: FGG-Kunden, potenzielle Käufer von Elektro-Nutzfahrzeugen, Politiker, Stromversorgungsunternehmen, Passanten

Das Projekt war in drei Phasen gegliedert:



Phase 1: Sommerbetrieb: Überprüfung, Alltagstauglichkeit, Fahrleistungen, Kosten, Zuverlässigkeit, Einsatzpotenzial; Basis für Grundsatzentscheid

Phase 2: Überprüfung der Ergebnisse der Phase 1 im winterlichen Härtetest; Basis für definitive Bestellung

Phase 3: Alltagserfahrungen

#### Ergebnisse:

- FGG legte mit den Fahrzeugen insgesamt gut 43'000 km zurück. Den besten Jahreswert verzeichnete das in Rheinfeldern stationierte Fahrzeug mit 8700 km. Dass die ursprünglich angestrebte Jahresfahrleistung von 20'000 nicht erreicht wurde, lag vor allem daran, dass dieses Modell die Anforderungen von FGG (Nutzlast, Reichweite) nur teilweise erfüllte. Zudem dauerten die Reparaturen lange.
- Der Energieverbrauch betrug unter günstigen Bedingungen 62 kWh / 100 km. Dies entspricht einem Dieseläquivalent von ca. 5,6 Liter / 100 km oder weniger als die Hälfte des Verbrauchs der bisherigen Dieselleichtlastwagen (jährlicher Durchschnittsverbrauch der Renault-Mascott-Flotte von FGG: 16,6 Liter / 100 km). Die Zebra-Batterien mit einer Betriebstemperatur von rund 300 °C verzeichneten an Ruhetagen einen zusätzlichen Standverlust von rund 20 kWh / Tag. Unter ungünstigen Bedingungen, namentlich im Winter, stieg der Verbrauch um ca. 30 % an.
- Die Reichweitenangaben des Herstellers (100 km für die Li-Ion-Batterie, 160 km für die Zebra-Batterie) wurden unter günstigen Bedingungen lediglich um 10 – 20 % verfehlt.
- Die Batterien haben sich im Alltag bewährt. Beeinträchtigt wurde dieser Eindruck durch einen Ersatz im Juni 2009, als Folge einer Tiefentladung.
- Ein Schwachpunkt war das Ladegerät: Von den 24 installierten Ladeelemente (vier pro Ladegerät, ein zusätzliches Ladegerät im VTSAG-Stützpunkt in Egerkingen) fielen in der 3. Phase neun aus.
- Ein weiterer Schwachpunkt war die Heizung, welche einen Einsatz im Winter in den ersten Jahren verunmöglichte und auch nach Zusatzmassnahmen noch immer nicht befriedigte.
- Leider liessen die Serviceleistungen des Herstellers zu wünschen übrig. Dies begann beim immer wieder verzögerten Auslieferungstermin und blieb während der ganzen Projektdauer bestehen. So entstanden unverhältnismässig lange Ausfallzeiten. Nach dem Konkurs von Modec im März 2011 verschlechterte sich die Situation weiter.
- Das Fahrzeug wies zu Beginn diverse Mängel der Kategorie „Kinderkrankheiten“ auf: Undichte Seitenscheiben, verklemmte Tür, unvollständige Batterieladungen, nicht funktionierende Heizung usw. Auch wenn es sich dabei um Einzelfälle zu handeln schien, warf ihre hohe Anzahl doch Fragen zur Zuverlässigkeit auf.
- Die Gesamtkosten des Modec liegen – bezogen auf eine Leasingdauer von vier Jahren und einer Jahresfahrleistung von 20'000 km – um 4 bis 64 % über denjenigen zukünftiger Diesel-Alternativen (es gibt kein Dieselfahrzeug mit gleichem Gesamtgewicht). Die Betriebskosten, welche nur einen Viertel derjenigen des Dieselfahrzeugs betragen, vermögen die deutlich höheren Fixkosten nicht zu kompensieren. Aufgrund der erwähnten langen Ausfallzeiten wurden die angestrebten Jahresfahrleistungen deutlich verfehlt. Entsprechend fallen die effektiv angefallenen Kosten ungünstig aus. Ebenfalls belastend für die Kostenrechnung sind die zahlreichen Reparaturen und die fehlenden Garantieleistungen.

## Resumé

A l'occasion de l'achat de nouveaux utilitaires, Feldschlösschen Boissons SA (FBSA) a souhaité introduire de petits camions électriques pour la distribution fine. Conjointement avec Volvo Trucks (Suisse) SA, elle a effectué durant les années 2008 et 2009 un test intensif avec un camion Modec. Malgré les restrictions de charge utile, FBSA s'est portée acquéreur de quatre autres camions Modec en juin 2010. Alors que les véhicules de première génération étaient équipés de batteries lithium-ion, les nouveaux étaient dotés de batteries sodium-chlorure de nickel (appelées batteries Zebra), dont la capacité est supérieure de 60%.

L'utilisation de ces camions a été évaluée dans le cadre d'une recherche concomitante soutenue par l'Office fédéral de l'énergie. Les buts visés étaient les suivants:

- Voir si l'emploi d'utilitaires électriques est adapté aux conditions suisses, notamment pour FBSA
- Disposer d'une expérience à long terme avec les batteries li-ion qui, à l'époque, équipaient pour la première fois des utilitaires
- Obtenir des renseignements pour le développement futur des véhicules électriques testés
- Obtenir des bases de décision pour l'achat d'autres véhicules par FBSA
- Acquérir des connaissances pour la distribution d'utilitaires électriques en Suisse par Volvo Trucks (Suisse) SA
- Etudier les conditions-cadres politiques et, le cas échéant, avoir des arguments pour promouvoir politiquement les utilitaires électriques
- Disposer de bases pour la communication (médias, autres utilisateurs potentiels d'utilitaires électriques)

L'évaluation de l'essai englobait les aspects suivants:

- Performances de conduite: consommation d'énergie, autonomie, émissions, comportement en cas d'accélération, ergonomie, etc.
- Fiabilité: pannes systématiques et accidentelles
- Sécurité
- Coûts
- Potentiel d'utilisation chez FBSA, en général
- Carences/optimisation du véhicule
- Réaction de tiers: clients FBSA, acheteurs potentiels d'utilitaires électriques, politiciens, distributeurs d'électricité, passants

Le projet comportait trois phases:

Phase 1: Utilisation en été: contrôle, compatibilité avec une utilisation quotidienne, performances de conduite, coûts, fiabilité, potentiel d'utilisation; bases pour des décisions fondamentales

Phase 2: Examen des résultats de la phase 1 durant un test de résistance en hiver; base pour une commande définitive

Phase 3: Expériences au quotidien

## Résultats:

- FBSA a parcouru au total quelque 43 000 km avec ces véhicules. C'est le véhicule de Rheinfelden qui a réalisé le kilométrage annuel le plus élevé (8700 km). Si l'objectif initial de 20 000 kilomètres par an n'a pas été atteint, cela tient surtout au fait que le modèle Modec ne répondait que partiellement aux exigences de FBSA (charge utile, autonomie). Par ailleurs, les réparations ont pris beaucoup de temps.
- La consommation d'énergie s'est élevée à 62 kWh / 100 km dans des conditions favorables. Cela correspond à environ 5,6 litres / 100 km équivalent diesel, soit moins de la moitié de la consommation des camions diesel utilisés précédemment (consommation annuelle moyenne de la flotte de Renault Mascott de FBSA: 16,6 litres / 100 km). Avec une température d'exploitation d'environ 300°C, les batteries Zebra perdaient en plus environ 20 kWh / jour lorsqu'elles n'étaient pas utilisées les jours de repos. Dans des conditions défavorables, c'est-à-dire en hiver, la consommation augmentait d'environ 30%.
- L'écart par rapport aux indications d'autonomie du constructeur (100 km pour la batterie li-ion, 160 km pour la batterie Zebra) n'a été que de 10 – 20% lorsque les conditions d'utilisation étaient favorables.
- Les batteries ont fait leurs preuves au quotidien. Cette impression a été relativisée quand il a fallu changer une batterie en juin 2009 à la suite d'une charge profonde.
- Le chargeur était un point faible: sur les 24 éléments de charge installés (quatre par chargeur, un chargeur supplémentaire à l'antenne de VTSAG à Egerkingen), neuf sont tombés en panne durant la phase 3.
- Le chauffage était un autre point faible. Il n'a pas pu être employé en hiver durant les premières années. Même après que des mesures supplémentaires eurent été prises, il ne fonctionnait toujours pas de manière satisfaisante.
- Malheureusement, le service du fabricant laissait à désirer. Cela a commencé par des délais de livraison sans cesse repoussés, et rien n'a changé pendant toute la durée du projet. C'est ainsi que les camions ont été immobilisés pendant des temps anormalement longs. Après la faillite de Modec en mars 2011, la situation s'est encore détériorée.
- Au début, le véhicule présentait certaines carences de type «maladie de jeunesse»: vitres latérales non étanches, porte coincée, charges de batterie incomplètes, chauffage en panne, etc. Même s'il semblait s'agir d'incidents isolés, leur nombre a soulevé la question de la fiabilité.
- Le coût total du Modec était – pour un leasing d'une durée de quatre ans et un kilométrage annuel de 20 000 km – de 4 à 64% supérieur à celui des futures alternatives diesel (il n'existe pas de véhicule diesel avec le même poids total). Les frais d'exploitation, qui représentaient seulement un quart de ceux du véhicule diesel, n'arrivaient pas à compenser les frais fixes nettement plus élevés. En raison des longs temps d'immobilisation, l'objectif de kilométrage annuel a été loin d'être réalisé, si bien que les frais effectifs ont eu un impact défavorable. Les nombreuses réparations et l'absence de garanties ont également pesé sur le calcul des coûts.

## Abstract

As part of its plan to acquire new commercial vehicles, Feldschlösschen Getränke AG (FGG) is considering adding electricity-driven light trucks to its fleet for distribution of beverages. In 2008-2009, the company, together with VTSAG, carried out extensive testing of the Modec. Although the Modec did not meet the company's load capacity requirements, 4 more Modecs were added to FGG's fleet in June 2010. Unlike the first generation, which used lithium-ion batteries, the new trucks are equipped with sodium-nickel chloride (Na-NiCl<sub>2</sub>) batteries (known as Zebra batteries), which feature 60% higher capacity.

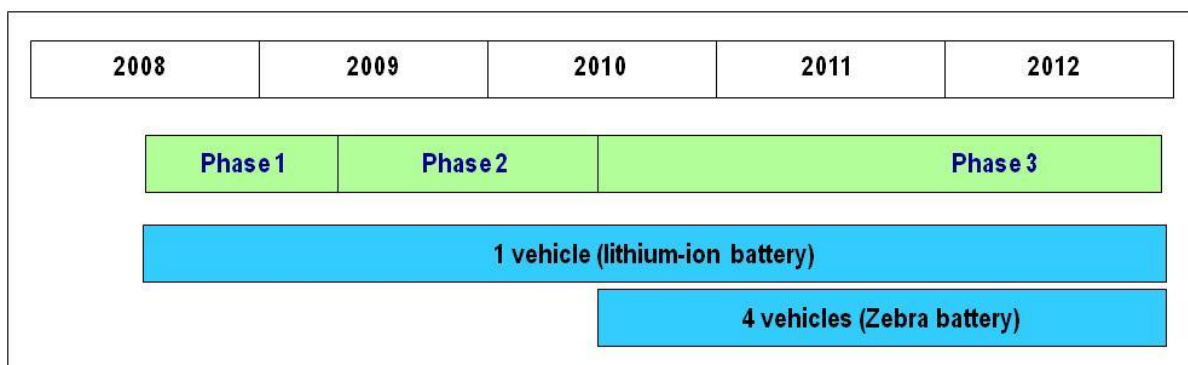
A support research, sponsored by the Swiss Federal Office of Energy, reviewed performance of these vehicles with the following goals:

- Confirm suitability of electric commercial vehicles for use in Switzerland, specially at FGG
- Check long-term performance of lithium-ion batteries, used in electric commercial vehicles for the first time.
- Provide insights for future development of the tested electric vehicles
- Help FGG take an informed decision about ordering additional vehicles
- Provide insights to VTSAG concerning sale of commercial EVs in Switzerland
- Provide an overview of the current political scenario and, if necessary, build a business case for political promotion of commercial EVs.
- Support communication efforts (media, other potential users of electric commercial vehicles)

The pilot project focussed on the following issues:

- Driving performance: energy consumption, range, emissions, acceleration performance, ergonomics, etc
- Reliability: regular and random breakdowns
- Safety
- Cost
- Potential use at FGG, in general
- Vehicle deficiencies/ optimization
- Third-party response: FGG's customers, potential buyers of electric commercial vehicles, politicians, electric utilities, pedestrians

The project was divided into three phases:



Phase 1: Operation during summer: review, suitability for daily use, driving performance, cost, reliability, potential use, basis for decision

Phase 2: Verification of Phase 1 results during winter; basis for final order.

Phase 3: Daily experience.

#### Results:

- The vehicles used by FGG covered approximately 43,000 km. The highest result during a given year was 8,700 km, achieved by the vehicle in Rheinfelden. The reason for not achieving the initial target yearly mileage of 20,000 km was that the Modec only partially fulfilled FGG's requirements regarding load capacity and range. In addition, more time was required for repairs.
- Energy consumption was 62 kWh / 100 km under ideal conditions. This compares to a diesel equivalent of approximately 5.6 l / 100 km, i.e. less than half the diesel consumed by light diesel trucks (average annual diesel consumption for a Renault Mascott used by FGG: 16.6 l / 100 km). Zebra batteries with an operating temperature of around 300°C showed an additional loss of 20 kWh/ day on off-days. Under unfavourable conditions, specially in winter, consumption increased by 30%.
- The actual range achieved by the vehicle was 10-20% below the range specified by the manufacturer (100 km for lithium-ion batteries; 160 km for Zebra batteries)
- The batteries held-up well when used daily. This perception was negatively impacted when one of the batteries had to be replaced in June 2009 following total discharge.
- One of the weaknesses was the charging device: Out of the 24 charging cells (four per charging device, one additional charging device at VTSAG in Egerkingen), 9 failed in Phase 3.
- Another downside was the heating system, which made it impossible to use the vehicle in winter in the first years, and even after additional measures were taken, the problem was not satisfactorily solved.
- Unfortunately, the service provided by the manufacturer was less than satisfactory. Problems started at the very beginning, when delivery times were not met, and continued throughout the entire project. As a consequence, we had extremely long downtimes. After Modec went bankrupt in 2011, the situation got even worse.
- The vehicle exhibited several problems we could classify as "silly": leaking windows, jammed door, incomplete battery charge, faulty heating system, etc. Although these seemed to be isolated events, the frequency in which they occurred raised questions regarding the vehicle's reliability.
- The total cost of the Modec – for a leasing period of 4 years and yearly mileage of 20,000 km - is 4 to 64% higher than the cost of potential future diesel alternatives (currently there are no diesel vehicles featuring the same total weight). The operating cost, which is only one-fourth of the cost for a diesel vehicle, does not make up for the significantly higher overall fixed costs. The target yearly mileage was far from achievable due to the above-mentioned downtime. Consequently, the actual cost is unfavourable in comparison. The cost is also impacted by the innumerable repairs and lack of services under warranty.

# 1 Ausgangslage und Zielsetzung

## 1.1 Elektrofahrzeuge für Feldschlösschen

Feldschlösschen Getränke AG (FGG) ist die grösste Brauerei und Getränkehändlerin der Schweiz. Sie beschäftigt rund 1300 Mitarbeitende, die Hälfte davon am Hauptsitz in Rheinfelden. Die Abteilung Logistik umfasst 500 Mitarbeitende. Dies zeigt den grossen Stellenwert des Transports in der Firma.

FGG legt grossen Wert auf Innovation und Umwelt. So werden 60 % der Getränke per Bahn transportiert. Die Wärmeerzeugung erfolgt durch Erdgas, Biogas und thermische Alkoholverwertung. FGG ist nach den Normen ISO 9001 (Qualität) und ISO 14001 (Umwelt) zertifiziert. FGG ist Mitglied der „Energie-Agentur der Wirtschaft“ für freiwilligen Klimaschutz. In den letzten 6 Jahren gelang es FGG, den CO<sub>2</sub>-Ausstoss jeweils um 3 – 7 % zu reduzieren.

Für die Feinverteilung setzt FGG rund 200 Lastwagen ein. Im Hinblick auf die Neubeschaffung von kleinen Nutzfahrzeugen, welche Ende 2008 anstand, zog FGG 2007 erstmals einen Feldtest mit leichten Elektro-LKW in Betracht. FGG sah ein Potenzial von 12 – 15 leichten Elektro-LKW für die Feinverteilung in den grösseren Agglomerationen. Zusammen mit Volvo Trucks (Schweiz) AG (VTSAG), dem Lieferanten der FGG-Lastwagenflotte, fand FGG zwei Fahrzeuge, welche sich, abgesehen von der knapp bemessenen Nutzlast, eigneten: Modec und Smith, beide von englischen Herstellern. Die Firma Smith Electric rüstete schon seit Jahrzehnten Lieferwagen von Ford auf Elektroantrieb um. Demgegenüber wurde Modec erst 2004 gegründet und baute kleine Elektro-Lastwagen im „purpose design“, d.h. sie waren von Grund auf für den Elektroantrieb konzipiert.

Im Frühling 2008 beschloss FGG, je ein Fahrzeug von Modec und Smith einem halbjährigen Intensivtest zu unterziehen. Dieser sollte der Geschäftsleitung als Basis für den Grundsatzentscheid dienen. Nach einem anschliessenden Wintertest war für den Frühling 2009 die Fahrzeugwahl und die Anzahl der zu bestellenden Fahrzeuge vorgesehen.

Angesichts des hohen Stellenwertes des Strassengüterverkehrs für die Verkehrs-, Energie- und Umweltpolitik im Allgemeinen und des grossen Potenzials von Elektronutzfahrzeugen im Stadtverkehr unterstützte das Bundesamt für Energie die Begleitforschung zu diesem Pilotprojekt.

## 1.2 Zielsetzung

Die Auswertung des Pilotversuchs diene folgenden Zielen:

- Eignungsprüfung von Elektro-Nutzfahrzeugen für Schweizer Verhältnisse, insbesondere für FGG
- Langzeiterfahrungen mit den damals erstmals in Nutzfahrzeugen eingesetzten Li-Ion-Batterien
- Hinweise für die Weiterentwicklung der getesteten Elektrofahrzeuge
- Entscheidungsgrundlage für FGG zur Beschaffung weiterer Fahrzeuge
- Erkenntnisse für Volvo Trucks (Schweiz) AG für den Vertrieb von Elektro-Nutzfahrzeugen in der Schweiz
- Untersuchung der politischen Rahmenbedingungen und allenfalls Argumente zur politischen Förderung von Elektro-Nutzfahrzeugen
- Grundlage für die Kommunikation (Medien, andere potenzielle Anwender von Elektro-Nutzfahrzeugen)

### 1.3 Untersuchungsgegenstand

Die Versuchsauswertung umfasste folgende Themenbereiche:

- Fahrleistungen: Energieverbrauch, Reichweite, Emissionen, Beschleunigungsverhalten, Ergonomie, etc.
- Zuverlässigkeit: systematische und zufällige Pannen
- Sicherheit
- Kosten
- Einsatzpotenziale bei FGG, allgemein
- Fahrzeugmängel/-optimierung
- Reaktionen Dritter: FGG-Kunden, potenzielle Käufer von Elektro-Nutzfahrzeugen, Politiker, Stromversorgungsunternehmen, Passanten.

### 1.4 Übersicht über die Untersuchungsmethoden

Die folgende Liste gibt einen Überblick über die vorgesehenen Methoden:

- a) Analyse bisheriger Erfahrungen mit Elektro-Nutzfahrzeugen, insbesondere von Modec
- b) Fahrleistungen im Pilotbetrieb: Fahrtenschreiber, Stromzähler, Tagesrapport (Anhang 1)
- c) Verbrauchsmessungen im Alltagsbetrieb (Anhang 2)
- d) Messung des Normverbrauchs nach NEFZ auf dem Rollenprüfstand der BFH-TI Biel
- e) Testtag: Beschleunigung, Bremsen, Fahrzeug-Ergonomie, Wendigkeit usw.
- f) Fokusgespräche mit Chauffeuren
- g) Auswertung von Pannen
- h) Erhebungen zur Berechnung der Gesamtkosten
- i) Potenzialabschätzung für Feldschlösschen und für die ganze Schweiz
- j) Feedbacks von Kunden, potenziellen Käufern von Elektro-Nutzfahrzeugen, von Politikern und Passanten
- k) Medienauswertung

## 2 Projektorganisation

Für die Begleitforschung wurde ein Projektteam gegründet. Es traf sich zu 12 Sitzungen. Die Projektleitung für diese Begleitforschung lag bei FGG.

Für die fachliche Bearbeitung der Begleitforschung wurde e'mobile, der Schweizerische Verband für effiziente und elektrische Strassenfahrzeuge, beigezogen. Dieser entwarf das Untersuchungskonzept mit dem Untersuchungsgegenstand und den geeigneten Methoden. Er koordinierte die Erhebungen, führte die Auswertungen und Analysen durch und dokumentierte diese.

VTSAG stellte die technischen Daten zur Verfügung, analysierte die Ausfälle und führte die Service- und Reparaturarbeiten aus. Nach dem Konkurs von Modec im März 2011 stellte VTSAG den Direktkontakt mit Komponentenherstellern, insbesondere mit dem Batterie- und dem Ladegerätlieferanten, her.

Seitens FGG war der Flottenmanager für den Einsatz der Fahrzeuge zuständig. Die Depotleiter waren dafür besorgt, dass die Modec intensiv eingesetzt wurden. Die Chauffeure erfassten die Daten betreffend Fahrleistungen (dauernd) und Verbrauch (jeweils im Sommer und Winter).

Die Firma Geser, Fahrzeugbau AG, Rothenburg, konstruierte einen Fahrzeugaufbau gemäss den Anforderungen von FGG.

Die Berner Fachhochschule Biel führte die Normverbrauchsmessungen und Batterietests durch.

AEW Energie AG stellte Solarstrom zur Verfügung, damit die Beschriftung „Zero Emission“ an den Fahrzeugen korrekt war.

## 3 Fahrzeugbeschreibung

### 3.1 Die Firma Modec

Die Firma Modec mit Sitz in Coventry (UK) wurde 2004 von James Borwick gegründet. 2007 wurden die ersten Fahrzeuge ausgeliefert. In den ersten Jahren verkaufte Modec einige wenige hundert Fahrzeuge, u. a. an den Getränkehersteller Tesco und an den Paketlieferservice UPS.

Modec hatte von Anfang an Mühe, Gewinn zu erwirtschaften. Deshalb vereinbarte die Firma Modec 2009 ein Joint Venture mit dem US-LKW-Hersteller Navistar International zur Produktion von Modec-LKW in Nord- und Südamerika.

Anfang März 2011 ist die Firma Modec in die Insolvenz gegangen. In den vier Jahren konnte Modec lediglich ca. 400 Fahrzeuge verkaufen, geplant waren 2000 pro Jahr. Die Mitarbeiter wurden entlassen und der Betrieb geschlossen. Seither wird es zunehmend schwierig, Ersatzteile zu beschaffen oder Reparaturen durchzuführen.

### 3.2 Spezifikationen Modec

Motor:	Maximale Leistung 102 PS Maximales Drehmoment 300 NM Höchstgeschwindigkeit 80 km/h (geregelt) Kupplungsfreie Kraftübertragung
Bremssystem:	Vorne: 4 Kolben Scheibenbremsen Hinten: 254 mm Duo Servo Trommeln ABS (Anti-Blockier System) EBD (Electronic Braking Distribution) Regenerative Bremsenergienutzung
Batterie 1:	Lithium Eisen Phosphat (LiFePO <sub>4</sub> ), Hersteller Axeon Power UK, Kapazität: 51,2 kWh Reichweite: 100 km (Hersteller-Angabe) Gewicht: 900 kg
Batterie 2:	Natrium Nickel Chlorid (NaNiCl <sub>2</sub> ), auch Zebra-Batterie genannt, Betriebstemperatur: 270 – 350 °C, Hersteller MES-DEA, Stabio, Kapazität: 85 kWh Reichweite: 160 km (Hersteller-Angabe) Gewicht: 1'000 kg
Ladegerät:	4 parallel geschaltete Ladegeräte der Firma EDN 3,5 kW, 10,5 A, 340 V, extern (siehe Abb. 1) Gewicht: 148 kg Ladedauer: 8 Stunden Zusätzliches 12 V Ladegerät

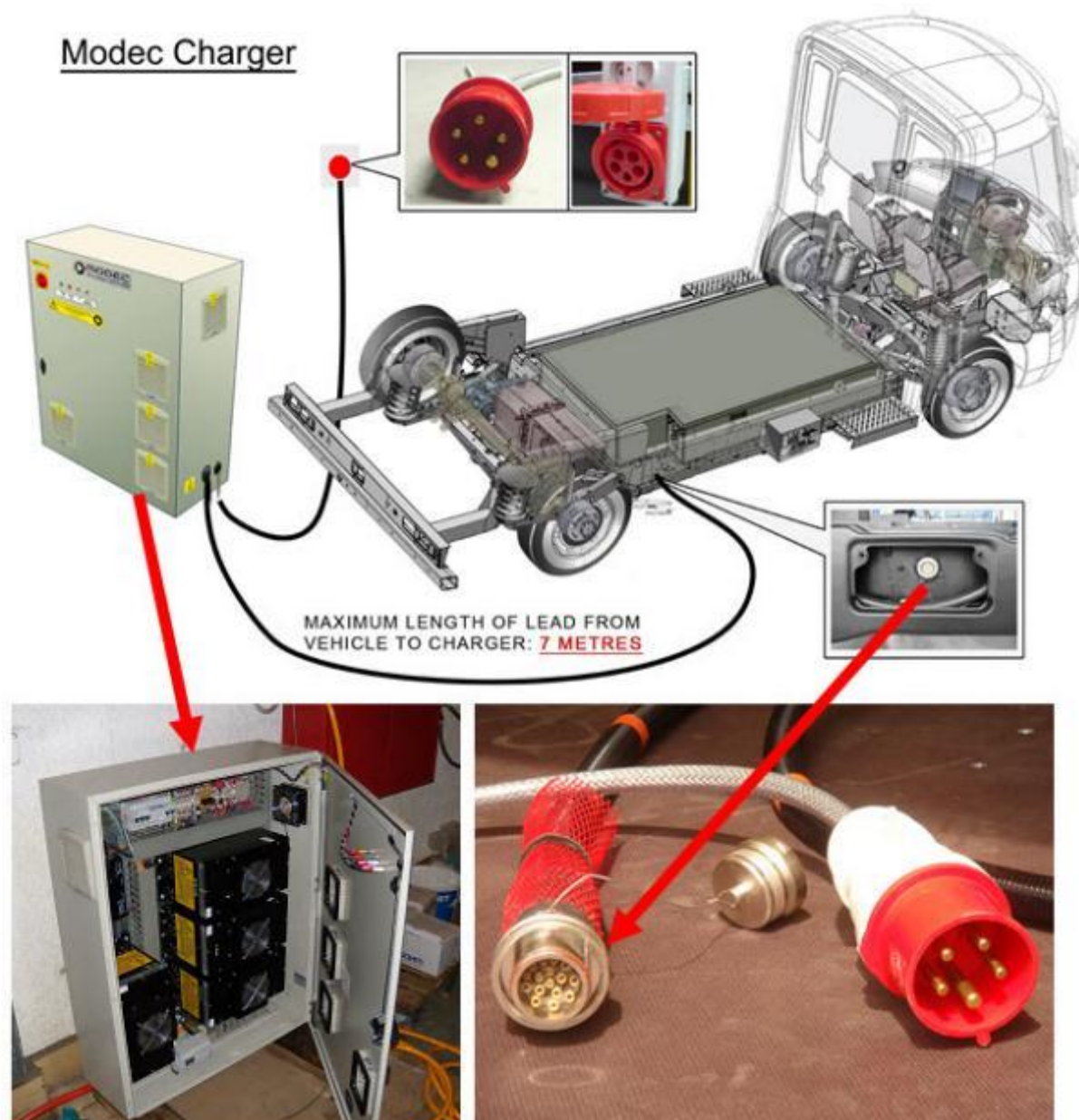


Abb. 1: Ladegerät und Stecker, fahrzeug- und netzseitig

- Lenkung: Elektro-hydraulisch unterstützte Servolenkung  
Wendekreis (Bordsteinkante) 10,8 m
- Federung: Vorne: Einzelradaufhängung mit Antidive-System  
Hinten: Drehstabfederung, Längslenker mit Panhard-Stab
- Gewichte: Leergewicht 2840 kg  
(Standard) Zulässiges Gesamtgewicht 5490 kg  
Nutzlast 2650 kg (ohne Aufbau)  
Nutzlast mit Aufbau Feldschlösschen (inkl. Hebebühne) 1400 kg
- Abmessungen: Länge: 636 cm  
Breite: 200 cm  
Höhe: 282 cm

Für die Getränkezustellung hat die Firma Geser Fahrzeugbau, Rothenburg, einen Spezialaufbau mit Hebebühne und seitlicher Lademöglichkeit hergestellt (siehe Abb. 2). Durch das entsprechende Mehrgewicht wird die Nutzlast von 2650 auf 1640 kg reduziert.



Abb. 2: Fahrzeugaufbau Geser mit Hebebühne

## 4 Projektverlauf

### 4.1 Drei Projektphasen

Das Projekt war in drei Phasen gegliedert:

- Phase 1: Sommerbetrieb: Überprüfung, Alltagstauglichkeit, Fahrleistungen, Kosten, Zuverlässigkeit, Einsatzpotenzial; Basis für Grundsatzentscheid
- Phase 2: Überprüfung der Ergebnisse der Phase 1 im winterlichen Härtetest; Basis für definitive Bestellung.
- Phase 3: Alltagserfahrungen

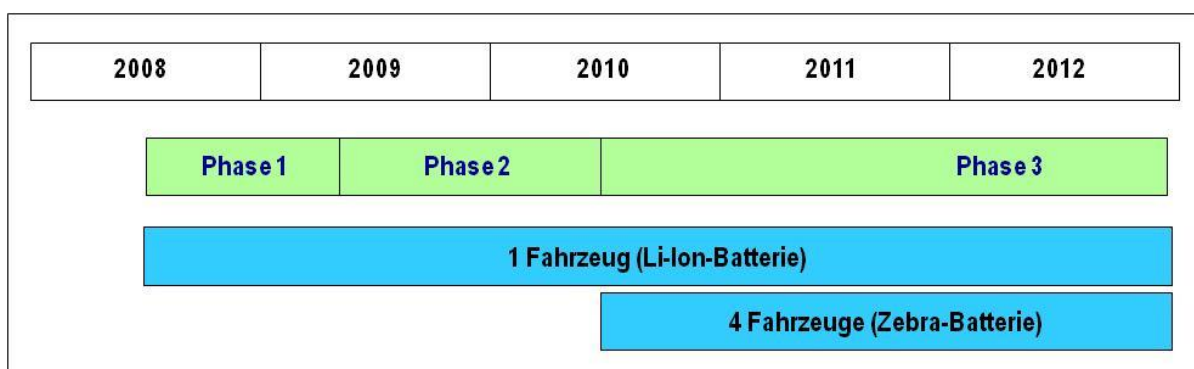


Abb. 3: Die drei Phasen des Projektes

Die folgenden Kapitel enthalten Details zu den drei Phasen und Meilensteine.

### 4.2 Phase 1 (Juli – Dezember 2008, Sommertest)

In der 1. Phase des Pilotversuchs, also im Sommerbetrieb 2008, waren Testbetriebe in vier Städten (Basel, Zürich, Bern und Fribourg) vorgesehen. Dabei wurde der Modec je 3 Wochen im Alltagsbetrieb für kleinere Getränkelieferungen eingesetzt. Die Durchführung dieses Programms wurde allerdings durch diverse Sondereinsätze und unvorhergesehene Zwischenfälle erschwert, so dass weniger Ergebnisse aus dem Alltagseinsatz vorliegen als vorgesehen. Immerhin sind diese ziemlich konsistent und zudem durch ergänzende Messungen (Normverbrauchstest, Testtag usw.) erhärtet.

Aufgrund diverser Verzögerungen bei der Fahrzeugauslieferung seitens des Herstellers stand der Modec erst Mitte Juni bereit. Zu diesem Zeitpunkt herrschte bei Feldschlösschen infolge der Fussball-Euro 08 Hochbetrieb. Die Chauffeure standen unter besonders hoher Belastung, so dass das neue Fahrzeug nicht im Alltagsbetrieb eingesetzt werden konnte.

Beim Edison von Smith waren die Verzögerungen noch grösser. Der Liefertermin wurde vom Hersteller immer wieder verschoben, häufig kurzfristig. Als das Fahrzeug am 17. Oktober 2008 endlich in der Schweiz eintraf, war es nicht fahrtüchtig. Zuerst funktionierte das Ladegerät nicht, weshalb es am Testtag in Egerkingen die Fahrleistungen nicht erreichte. Erst nachdem ein Ingenieur des Herstellers ein neues Steuergerät montiert hatte, brachte das Fahrzeug die erwarteten Leistungen.

Da zum Zeitpunkt der Lieferung des Smith bereits der Entscheid für die Fahrzeugbeschaffung anstand, verzichtete FG auf die Montage des Aufbaus und auf einen Feldtest.

Die wichtigsten Meilensteine sind:

- Anfangs Juli wurde der Testbetrieb mit dem Modec in Rheinfelden aufgenommen. Die Daten für den Einsatz in Rheinfelden liegen jedoch nicht lückenlos vor, weil einer der beiden instruierten Chauffeure Ferien hatte und der andere infolge Krankheit ausfiel. Am 14. Juli 2008 fand ein Fokusgespräch mit dem Chauffeur statt.
- Vom Alltagseinsatz in Bern vom 28. Juli bis 15. August 2008 liegen vollständige Daten zu Energieverbrauch und Batterieentladung vor.
- Am 19./20. August 2008 führte die Berner Fachhochschule Biel eine Normverbrauchsmessung auf dem Rollenprüfstand gem. NEFZ durch.
- Vom 25. August bis 3. September 2008 war der Modec im FGG-Depot Dietikon stationiert und wurde in der Stadt Zürich eingesetzt. Tatsächlich konnte er jedoch nur an wenigen Tagen im Alltagsbetrieb eingesetzt werden. Zuerst musste ein Fehler in der Steuerung (Batterie lud nur noch bis ca. 86 %) behoben werden, dann war er für den Apéro in Zürich reserviert. Am 1. September 2008 fand ein Fokusgespräch mit dem Chauffeur statt.
- Am 3. September 2008 organisierte das Projektteam im Volkshaus in Stadt Zürich einen Apéro, an dem die Zwischenergebnisse vorgestellt und Probefahrten mit dem Modec angeboten wurden. Der Anlass wurde von gut 30 Fachleuten aus Politik und Wirtschaft besucht. Die Reaktionen waren überwiegend positiv.
- Vom 4. bis 10. September 2008 montierte die Firma Geser AG, Rothenburg, eine Anhängerkupplung und führte Fahrttests mit einem Anhänger durch (Anhang 4). Dabei zeigte es sich, dass das Fahrzeug mit einem Gesamtgewicht von 6,5 bzw. 7,5 Tonnen (statt 5,5) zugelassen werden könnte. Leider genehmigte Modec eine Erhöhung des Gesamtgewichtes nicht.
- Vom 22. September bis 15. Oktober 2008 war der Modec in Freiburg und Lausanne im Einsatz.
- Am 20. Oktober 2008 fand der Testtag bei der Zweigniederlassung von Volvo Trucks (Schweiz) AG in Egerkingen statt. Folgende Aspekte wurden an diesem Testtag untersucht:
  - Beschleunigungsverhalten
  - Bremsverhalten
  - Ergonomie
  - Wendigkeit
  - Passive Sicherheit
  - Aktive Sicherheit

Die Messungen wurden am Modec und zum Vergleich an einem Nissan Capstar, einem Nissan Atleon und einem Iveco Daily CNG (Erdgas) durchgeführt. Auch das zweite Elektrofahrzeug, der Smith Edison, hätte getestet werden sollen. Er traf am Morgen des Testtages in Egerkingen ein. Infolge eines Fehlers in der Steuerung konnte er keine auswertbaren Ergebnisse liefern. Details zu diesem Testtag siehe Anhang 3.

- Vom 24. Oktober bis 14. November 2008 war der Modec wieder in Rheinfelden unterwegs – wovon er nur beschränkt einsatzfähig war. Ein Fehler in der Steuerung (Ladeanzeige nur noch bis ca. 86 %) musste behoben werden und die Heizung funktionierte nicht.
- Vom 18. November bis 2. Dezember 2008 war er bei Volvo Trucks in der Garage zum Ersatz der Heizung.

### 4.3 Phase 2 (Januar 2009 – Juni 2010, Wintertest)

Zweck dieser Phase war die Erprobung der Wintertauglichkeit des Elektro-LKW. Sie war ursprünglich auf das Winterhalbjahr 2008 / 2009 ausgelegt. Die anschliessenden Verhandlungen mit dem Fahrzeughersteller verzögerten sich allerdings. Die Bestellung von vier weiteren Fahrzeugen erfolgte erst im Januar 2010, die Auslieferung im Juni 2010. So dauerte diese Phase schliesslich anderthalb Jahre.

Die wichtigsten Meilensteine sind:

- Zu Winterbeginn wurde festgestellt, dass die Heizung zu schwach war.
- Vom 3. Februar bis 17. März 2009 absolvierte der Modec während 19 Tagen in der Agglomeration Bern einen Wintertest, bei dem die Wintertauglichkeit hinsichtlich Funktion der Heizung, des Energieverbrauchs und der Reichweite beurteilt wurden.
- Zwischen dem 6. und dem 9. April 2009 testete die Schweizer Post den Modec. Die Post war von den Fahrleistungen des Modec überzeugt, im Moment stehen aber andere Fahrzeugkonzepte im Vordergrund.
- Im Mai 2009 stellte VTSAG den Modec einer Transportfirma in der Romandie für Tests zur Verfügung. Infolge eines Fehlers beim Anschluss der Steckdose für das Ladegerät nahm dieses Schaden und war nicht mehr funktionstüchtig. Nach zwei Wochen kam ein neues Ladegerät an, es funktionierte aber immer noch nicht. Nach weiteren zwei Wochen kam ein Ingenieur von Modec in die Schweiz, er stellte den Defekt von sieben Batteriezellen infolge Tiefentladung fest. Damit in Zukunft in derartigen Notfällen in der Schweiz ein zweites Ladegerät verfügbar ist, schaffte VTSAG ein zweites Ladegerät an, welches am Servicestützpunkt in Egerkingen stationiert wurde.
- Zwischen dem 14. August und dem 3. September 2009 war der Modec in einem Test bei zwei Volvo-Kunden im Waadtland.
- Zwischen dem 7. September und dem 1. Oktober 2009 wurde der Modec von Feldschlösschen zur Getränkezustellung im Tessiner Depot in Taverne eingesetzt. Das Fahrpersonal zeigte sich sehr zufrieden, besonders mit der ausgezeichneten Wendigkeit, was sich vor allem in den Tessiner Dörfern mit den engen Gässchen als Vorteil erwies.
- Ende Oktober führte die Berner Fachhochschule in Biel eine dritte Normverbrauchsmessung durch.
- Am 2. November 2009 erteilte das ASTRA die Schweizer Typengenehmigung für den Modec. Damit konnten weitere Fahrzeuge dieses Typs einfacher für den Schweizer Verkehr zugelassen werden.
- An der Auto Zürich Car Show vom 4. – 8. November 2009 zeigte der Verband e'mobile in einer Sonderschau „Elektromobilität“ eine breite Palette von Elektrofahrzeugen von E-Bikes bis zum Klein-Lastwagen von FGG. Der von VTSAG und FGG zur Verfügung gestellte Modec mit seiner Grösse und seinem bekannten Branding war unübersehbar. Die wenigen konkreten Interessen galten dem unkonventionellen Hintereinstieg, der originellen Führerkabine und natürlich dem Elektroantrieb. Als grösstes Kaufhindernis bezeichneten die Besucher/-innen den Anschaffungspreis, während die Anforderungen hinsichtlich Reichweite und Nutzlast im Allgemeinen weniger hoch waren als diejenigen von FGG.
- Unmittelbar nach der Auto Zürich zeigte VTSAG den Modec auch an der VEL EXPO TICINO in Lugano vom 12. – 15. November 2009.

- Ab dem 16. November 2009 stand der Modec erneut im Depot Taverne im Alltagseinsatz. Dabei erlitt er einen Motorschaden, welcher den Ersatz des Motors erforderte. Dies dauerte bis Ende 2009. Der Motor wurde auf Garantie ersetzt, die Gründe für den Ausfall hat der Hersteller nicht bekanntgegeben.
- Im Januar 2010 hat FGG aufgrund der Erfahrungen bis dahin im Januar 2010 vier weitere Modec bestellt. Diese Fahrzeuge sind mit Natrium-Nickel-Chlorid-Batterien (sog. Zebra-Batterien) ausgerüstet, welche gemäss Herstellerangaben gegenüber der im Testfahrzeug eingesetzten Li-Ion-Batterie eine um 60 % grössere Reichweite pro Batterieladung zulassen.
- Im Januar 2010 war ein zweiter Wintertest in Bern vorgesehen. Die tiefen Temperaturen zeigten, dass die Heizung keine genügende Leistung erbringt, um die Führerkabine warm zu halten. Die Ingenieure von VTSAG und Modec bauten eine 220 V-Elektroheizung mit externer Stromversorgung ein. Zusätzlich wurde ein batteriebetriebener Heizlüfter eingebaut, mit welchem die Frontscheibe (unabhängig von der Bordelektrik) beheizt werden kann.
- Im März 2010 stand das Fahrzeug zwei Wochen lang bei der Firma Geser, um den Fahrzeugaufbau für die vier neuen Fahrzeuge vorzubereiten.
- Im Mai 2010 wollte Feldschlösschen Getränke AG den Modec für eine Sonderaktion Mineralwasser einsetzen. Dazu musste die Blache neu bedruckt werden. Im letzten Moment wurde diese Aktion abgesagt. Dadurch konnte der Modec zwei weitere Monate nicht eingesetzt werden.

#### 4.4 Phase 3 (Juli 2010 – Oktober 2012, Flotteneinsatz)

In der 3. Phase wurden die insgesamt fünf Fahrzeuge zur Feinverteilung in den Agglomerationen Basel, Bern, Genf und Zürich sowie im Tessin eingesetzt. Das Fahrzeug des Pilotversuchs mit den Li-Ion-Batterien war in Genf stationiert, an den übrigen Standorten wurden die neuen Fahrzeuge mit der Zebra-Batterie eingesetzt.



Abb. 4: Die fünf Modec am Hauptsitz von Feldschlösschen Getränke AG in Rheinfelden

Der zweite Teil dieser Phase war geprägt durch den Konkurs des Herstellers Modec im März 2011. Danach wurden die Reparaturarbeiten immer schwieriger.

Die wichtigsten Meilensteine sind:

- Am 24. Juni 2010 nahm FGG die vier neuen Modec in Betrieb. Dazu lud sie Prominenz aus Wirtschaft und Politik sowie die Medien ein. Dabei wurden die Erfahrungen aus den beiden ersten Projektphasen und der entsprechende Bericht vorgestellt [Lit 2].
- Am 9. Dezember 2010 installierte die Berner Fachhochschule für Technik und Informatik in dem in Rheinfelden stationierten Fahrzeug einen Datenlogger, um das Batterieverhalten während der Fahrt zu untersuchen [Lit 8].
- Am 7. März 2011 teilte Modec resp. der Konkursverwalter mit, dass die Firma Modec in finanzieller Schieflage geraten war.
- Am 31. März 2011 bestätigte VTSAG die Liquidation der Firma Modec. Gleichzeitig teilte sie mit, dass ein Teil der Modec-Belegschaft vom Unternehmen Liberty e-care in Coventry (GB) übernommen wurde, sodass der technische Support und die Ersatzteilversorgung für die Zukunft sichergestellt ist und von VTSAG in der Schweiz weiterhin angeboten wird.
- Am 25. Juni 2011 präsentierte Feldschlösschen Getränke AG den Modec am Treffen historischer Elektrofahrzeuge im Verkehrshaus der Schweiz in Luzern, bei dem auch einige moderne Elektrofahrzeuge ausgestellt waren.
- Am 17. September 2011 nahm die BFH Biel am Mobiday, einem von der Stadt Biel organisierten Mobilitätstag, teil und stellte einen Modec aus.
- Zwischen November 2011 und Januar 2012 wurden alle fünf Modec mit Heizkissen ausgestattet. Nach verschiedenen Tests hat sich dies als die effizienteste Zusatzheizung herausgestellt. Das Fahren im Winter wurde damit für das Fahrpersonal zumutbar, ausser bei extrem kalten Bedingungen.
- Im Februar 2012 herrschte in der Schweiz eine extreme Kälte. Zwei Wochen lang lagen die Temperaturen (Tagesmittelwerte) in Zürich zwischen -5 und -15 °C:

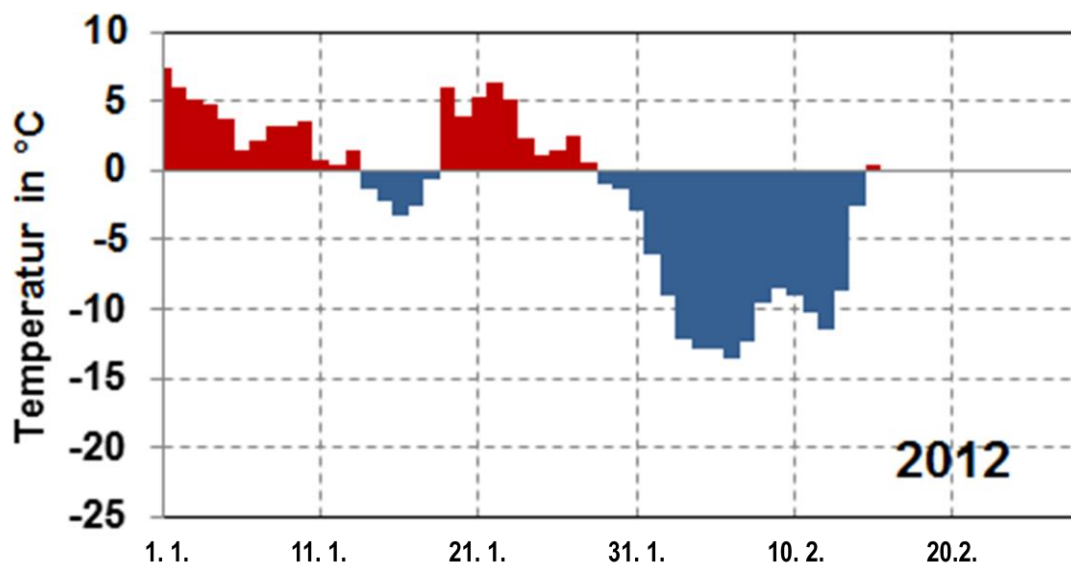


Abb. 5: Verlauf der Tagestemperaturen (Mittelwerte) vom 1. Januar bis 15. Februar 2012 in Zürich. Quelle: Meteo Schweiz

- Solche tiefe Temperaturen waren in der Schweiz letztmals 1985 gemessen worden. Diese Phase war also bestens geeignet, um die Wintertauglichkeit dieser Fahrzeuge zu prüfen. Drei Fahrzeuge, darunter dasjenige mit der Li-Ion-Batterie, wurden in dieser Phase nicht eingesetzt, weil sie nicht verfügbar oder keine geeignete Touren vorhanden waren. Ein weiteres Fahrzeug wurde in dieser Zeit nur an drei Einzeltagen eingesetzt, was keine aussagekräftige Ergebnisse hinsichtlich Energieverbrauch (inkl. Standverluste der Zebra-Batterie), Reichweite und Wintertauglichkeit zuließ. Einzig das in Bern stationierte Fahrzeug, welches an sechs Tagen eingesetzt wurde, lieferte aussagekräftige Ergebnisse.
- Am 28. März 2012 wurde der Modec der 1. Generation (Li-Ion-Batterie) vom Depot Genf, wo er nur selten eingesetzt werden konnte, nach Emmen überführt. Dort wird er seither regelmässig für kurze Fahrten eingesetzt.
- Im September 2012 wurde das in Bern stationierte Fahrzeug nach Grindelwald verschoben, wo es Tests in alpinen Verhältnissen absolviert.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Zuverlässigkeit

Die zahlreichen Betriebsausfälle scheinen auf den ersten Blick die Zuverlässigkeit des Modec zu beeinträchtigen. Bei genauer Untersuchung ergibt sich allerdings ein differenziertes Bild:

Vor allem in der ersten und zweiten Phase wurde das (einzige verfügbare) Fahrzeug oft für Präsentations- und Testzwecke eingesetzt.

Häufige Ursache für die Ausfälle war die ungenügende Eignung des Modec für FGG. Dies aus drei Gründen:

- Der Modec konnte nicht eingesetzt werden, weil die maximale Nutzlast von 1,6 Tonnen zu klein war.
- Die Reichweite war ungenügend, da infolge der geringen Nutzlast nachgeladen werden musste, was erhebliche Zusatz-Kilometer ergab.
- Bei FGG gibt es pro Depot meistens nur einen Chauffeur mit der Führerausweiskategorie C1, die anderen verfügen über die Kategorie C. Der Modec ist das einzige Fahrzeug in der FGG-Nutzfahrzeugflotte, welche mit C1 gefahren werden kann. Im Falle eines Ausfalls eines C1-Chauffeurs infolge Ferien, Militär oder Krankheit hätte ein C-Chauffeur den Modec fahren müssen, wodurch ein C-Fahrzeug nicht hätte eingesetzt werden können.

Stark beeinträchtigt wurde die Verfügbarkeit der Fahrzeuge durch den Fahrzeughersteller Modec. Als noch junge Firma konzentrierte sie sich auf den Heimmarkt in England. Der Export war noch im Aufbau. Dies zeigt sich beispielsweise daran, dass VTSAG und Modec bis zu dessen Konkurs sich nicht auf einen Servicevertrag einigen konnten. Zudem hatte Modec noch wenig Erfahrung im aftersales service. Viele Probleme waren offensichtlich neu. Dadurch entstanden verhängnisvolle Verknüpfungen von Einzelproblemen, die zu ungebührlich langen Ausfallzeiten der Fahrzeuge führten. Zu diesen Einzelproblemen gehörten insbesondere:

- Problemdiagnose
- Definition der Methode zur Problembehebung
- Verhandlungen über Garantieleistungen
- Unvollständige oder fehlende Anleitungen
- Schlecht organisierter Vertrieb, lange Transportzeiten von Ersatzteilen

Die Ursachen für die technisch bedingten Ausfälle lassen sich in zwei Gruppen zusammenfassen:

a) Probleme mit dem Elektroantrieb: Als Schwachstelle hat sich das Ladegerät herausgestellt. Insgesamt fielen neun Elemente aus. Weil ein Ladegerät aus vier Elementen besteht, war das Ladegerät weiterhin funktionsfähig, wenn auch nur mit 25 % längerer Ladedauer pro ausgefallenem Element. Dies war insofern verkraftbar, als die Standzeit der Fahrzeuge über Nacht ohnehin mindestens 12 Stunden dauert. Weitere Schwachstellen waren:

- Batteriezellen
- Battery Management Interface
- Motorschaden (Ersatz auf Garantie)
- Converter des Ladegerätes
- Beschädigung Ladekabel (Unfall)
- Tiefentladung der Batterien

b) Mechanische Probleme:

- Isolationsfehler Lenkhilfepumpe
- Fensterheber
- Schalter Türöffner
- Blinkerschalter
- Handbremse zu schwach
- Reifendefekt
- Verzahnung Ausgleichsgetriebe
- Gangschaltung
- Widerstand Lenkrad
- Metallbügel an Lenkspindel
- Entladung 12V Batterie durch häufige Hebebühne-Bewegungen und Kurzstreckenverkehr
- Display Geschwindigkeit, Batterie-Ladezustand
- Heizung

Die mechanischen Probleme waren grösstenteils "Kinderkrankheiten", wie sie bei neuen Fahrzeugkonzepten üblich sind. Unter der Annahme, dass diese mit zunehmender Erfahrung ausgemerzt werden können und dass der technische Support effizienter abgewickelt werden kann, hätte der Modec durchaus das Potenzial für ein zuverlässiges Fahrzeug gehabt.

## 5.2 Fahrleistungen

### 5.2.1 Juli 2008 – Juni 2010 Projektphasen 1 und 2 (1 Fahrzeug)

Am 1. Juli 2008 wurde das Fahrzeug mit einem km-Stand von 548 in Betrieb genommen. Bis zum Ende der 2. Projektphase am 30. Juni 2010 hatte das Fahrzeug 5166 km zurückgelegt. Dieser Wert sagt wenig aus über das Einsatzpotenzial bei FGG, wurde der Modec doch vor allem in der zweiten Projektphase häufig zu Demonstrations- und Testzwecken eingesetzt (dies war auch das Ziel dieser beiden Projektphasen).

### 5.2.2 Juli 2010 – November 2012 Projektphase 3 (5 Fahrzeuge)

In der 29 Monate dauernden 3. Projektphase legte FGG mit den fünf Modec 43'118 km zurück. Die Verteilung auf die Fahrzeuge und auf die Monate geht aus Abb. 6 hervor.

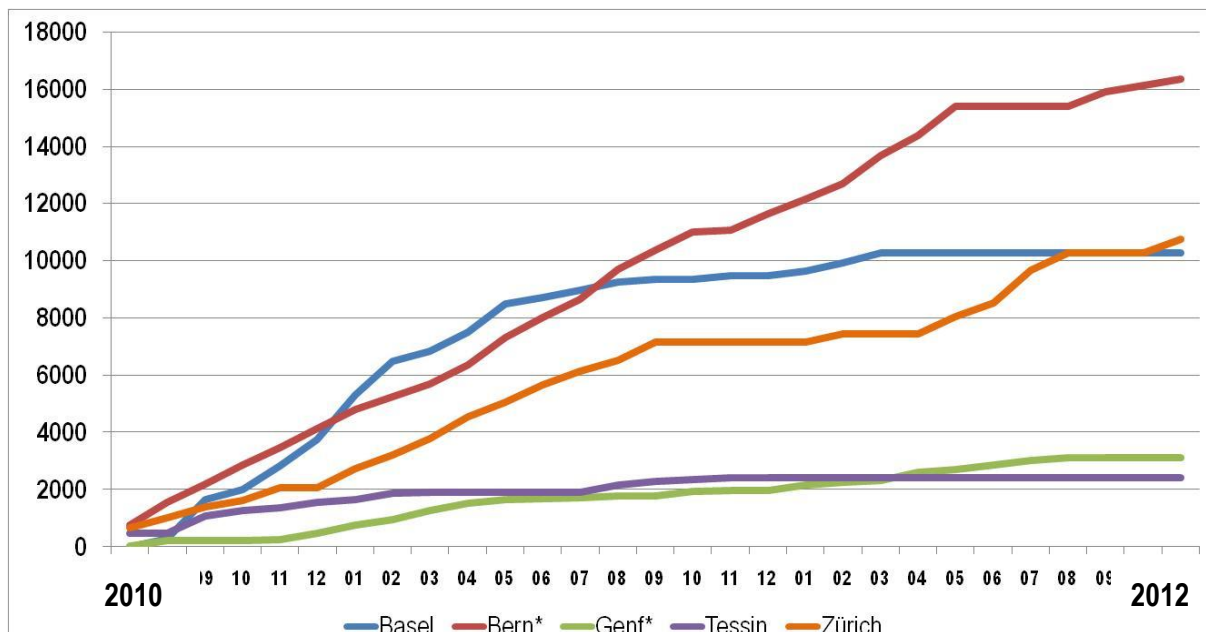


Abb. 6: Fahrleistungen der fünf Modec vom Juli 2010 – November 2012

Die durchschnittliche Jahresfahrleistung von 3'500 km liegt deutlich unter den Erwartungen von FGG (20'000 km). Den besten Jahreswert verzeichnete das in Rheinfelden stationierte Fahrzeug mit 8700 km. Auch unter Berücksichtigung der Gründe der Ausfälle und der langen Ausfallzeiten wäre der angestrebte Zielwert nicht erreichbar gewesen. Schuld daran waren aber nicht nur die Fahrzeuge, sondern ebenso sehr auch die ungenügend erfüllten Anforderungen von FGG (Nutzlast, Fahrpersonal, Reichweite).

## 5.3 Energieverbrauch im Alltagseinsatz

### 5.3.1 Einflussfaktoren

Der Energieverbrauch im Alltag wurde ab Netz gemessen, der Verbrauch des Ladegerätes und die Standverluste der Batterie sind also eingerechnet. Er ist von zahlreichen Faktoren abhängig. Zu den wichtigsten zählen:

- Die Fahrweise: Stop-and-go-Verkehr erhöht den Verbrauch gegenüber gleichmässiger Geschwindigkeit. Am grössten ist der Verbrauch bei konstanter Höchstgeschwindigkeit, was beim Modec beispielsweise auf der Autobahn der Fall ist (Höchstgeschwindigkeit 80 km/h).
- Die Topografie: In Steigungen ist der Verbrauch grösser als in der Ebene. Bei Personenwagen gilt folgende Faustregel: Eine Steigung von 100 Höhenmetern entspricht einem Zusatzverbrauch von rund 1 km auf flacher Strecke. Auf der Talfahrt kann maximal ein Drittel der auf der Bergstrecke aufgewendeten Energie zurückgewonnen werden, der Rest entfällt auf Reibungsverluste und Luftwiderstand.
- Das Fahrzeuggewicht: Gerade bei Nutzfahrzeugen spielt das Gewicht eine bedeutende Rolle. Im vorliegenden Projekt ist dies von besonders grosser Bedeutung, variierte das Gewicht doch während einer Fahrt mehrmals, weil bei jedem Halt (die Anzahl Halte lag zwischen 1 und 10) Getränke ab- und Leergut zugeladen wurde.
- Die Strassenoberfläche: Neben der Fahrbahnbeschaffenheit spielt auch der Fahrbahnzustand eine Rolle. Bei regennasser Strasse steigt der Verbrauch um bis zu 5 %. Auf schneebedeckter Fahrbahn kann er gar um bis zu 100 % steigen.

- Die Bereifung: Zwischen verschiedenen Reifen bestehen Verbrauchsunterschiede von bis zu 5 %. In derselben Grössenordnung liegen die Unterschiede zwischen Sommer- und Winterreifen.
- Die Aussentemperatur: Bei tiefen Temperaturen werden Zusatzaggregate wie Heizung und Lüftung eingesetzt, welche den Verbrauch um bis über 10 % erhöhen können. Zudem kann bei kalten Temperaturen nicht mehr die gesamte Kapazität der Batterien ausgeschöpft werden.

Den Energieverbrauch in Abhängigkeit all dieser Faktoren zu ermitteln hätte den Budgetrahmen dieses Projektes gesprengt und war für das Ziel dieses Projektes auch gar nicht notwendig. Als Grundlage für die Fahrzeugbeschaffung genügte FGG die Grössenordnung des Verbrauchs im Vergleich zu Dieselfahrzeugen. Zudem wäre das handschriftliche Ausfüllen der Formulare für die Chauffeure ein erheblicher Aufwand gewesen.

### 5.3.2 Erste Fahrzeug-Generation (Li-Ion-Batterie)

Im Juli/August 2008 legte der Modec in Bern während drei Wochen 565 km zurück, im Durchschnitt 40 km pro Tag. Dabei verbrauchte er im Durchschnitt 62 kWh / 100 km. Dies entspricht einem Dieseläquivalent von ca. 5,6 Liter / 100 km oder weniger als die Hälfte des Verbrauchs der bisherigen Dieselleichtlastwagen (jährlicher Durchschnittsverbrauch der Renault-Mascott-Flotte von FGG: 16,6 Liter / 100 km).

Zwischen dem 3. Februar und dem 17. März 2009 war der Modec während 19 Tagen in der Agglomeration Bern, d.h. im selben Gebiet und mit demselben Chauffeur wie im Sommer-test, im Einsatz. Die Nachttemperaturen bewegten sich zwischen -2 und +4 °C, die Tages-temperaturen zwischen +3 und +10 °C. In 19 Tagen wurden mit dem Modec 738 km zurückgelegt. Der Energieverbrauch betrug 666 kWh, durchschnittlich 90 kWh / 100 km. Im Vergleich zum Sommertest reduziert sich die Reichweite im Winter somit um 30 – 40 %.

### 5.3.3 Zweite Fahrzeug-Generation (Zebra-Batterie)

Die Zebra-Batterie hat eine Betriebstemperatur von 270 – 350 °C. Deren Erhaltung beeinflusst den Energieverbrauch im Alltag. In verschiedenen Phasen, in denen ein Fahrzeug während mehrerer Tage nicht eingesetzt wurde, ergab sich dieser so genannte Standverlust zu rund 20 kWh pro Tag. Bei den folgenden Aussagen wurde deshalb der Energieverbrauch für einen Tag um 20 kWh pro darauffolgenden Ruhetag reduziert. Dies lässt sich wie folgt illustrieren:

Zwischen dem 24. August und dem 9. September 2011 war das in Bern stationierte Fahrzeug 10 Tage im Einsatz, 7 Tage ruhte es. In diesen 17 Tagen wurden mit ihm 434 km zurückgelegt und 435 kWh Strom bezogen. Also genau 100 kWh / 100 km. Um den eigentlichen Verbrauch im Fahrbetrieb zu ermitteln, wurden von 435 kWh deren 140 (7 Ruhetage à 20 kWh) abgezogen. Die verbleibenden 295 kWh ergeben einen Durchschnittsverbrauch von 68 kWh / 100 km. Dieser Wert liegt 10 % über dem Sommer-Verbrauch der Li-Ion-Batterie.

Für den Winterbrauch liegt eine längere Messreihe für das Fahrzeug in Basel vor. Zwischen dem 15. Dezember 2011 und dem 4. Februar war der Modec 29 Tage im Einsatz, 23 Tage blieb er in der Garage. Für die 2648 km benötigte er 2591 kWh. Wenn für die 23 Tage 460 kWh abgezogen werden, verbleiben 2131 kWh. Daraus ergibt sich ein Durchschnittsverbrauch im Winter von 80 kWh, 10 % weniger als die Li-Ion-Batterie.

Wie oben beschrieben, beziehen sich diese Werte nur auf den Fahrbetrieb (inkl. Standzeit über Nacht). Für den effektiven Gesamtverbrauch sind pro Ruhetag 20 kWh hinzuzuzählen.

## 5.4 Normverbrauch

Die Berner Fachhochschule Biel hat dreimal auf ihrem Rollenprüfstand den Normverbrauch gemäss NEFZ (Abb. 7) immer beim gleichen Fahrzeug der 1. Generation (Li-Ion-Batterie) gemessen.

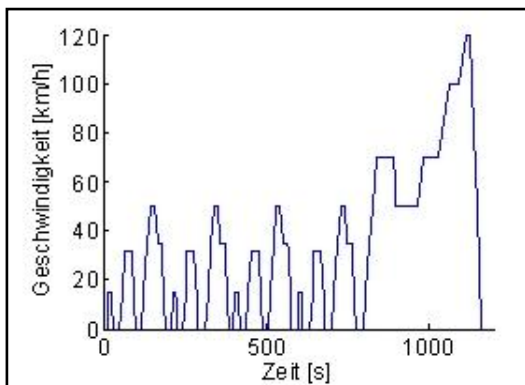


Abb. 7: Das Geschwindigkeitsprofil des Neuen Europäischen Fahrzyklus NEFZ

Wo der NEFZ eine Geschwindigkeit von über 80 km/h verlangte, wurde die Höchstgeschwindigkeit gefahren. Die Messung erfolgte ohne Zuladung, mit einem Gewicht zwischen 3920 kg und 3950 kg. Die Umgebungstemperatur in der Halle betrug stets etwa 20 ° C.

Die drei Messungen führten zu folgenden Werten:

- 25.08.2008: 57,1 kWh/100 km
- 15.04.2009: 52,0 kWh/100 km
- 30.10.2009: 71,8 kWh/100 km

Die beiden ersten Messungen bestätigen die Messwerte im Alltagsbetrieb (62 kWh/100 km, s. Kap.6.3).

Schwer erklärbar ist die Abweichung der dritten von den ersten beiden Messungen. Die letzten vorliegenden Messungen (vom September 2009) weisen ebenfalls auf eine Tendenz zu einem höheren Verbrauch im Alltag hin. Die längeren Zeiten im Ausrollversuch könnten ein Indiz für einen mechanischen Mangel am Fahrzeug sein. Die eigentliche Ursache konnte nicht gefunden werden.

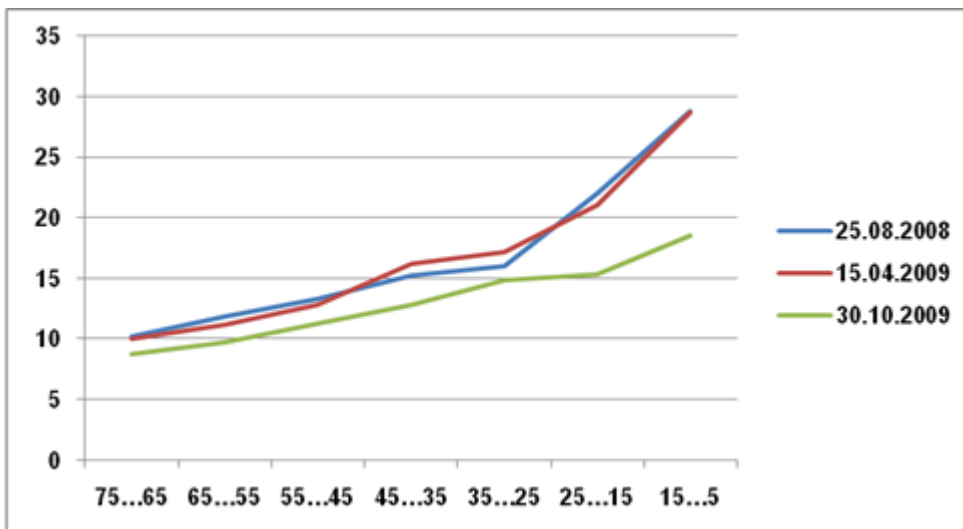


Abb. 8: Ausrollzeiten für drei Normverbrauchsmessungen. Die Werte auf der Ordinate zeigen Sekunden, diejenigen auf der Abszisse die Geschwindigkeitsintervalle. Die Geschwindigkeitsreduktion von 75 auf 65 km/h dauerte 10 bzw. 8,7 Sekunden.

## 5.5 Reichweite

### 5.5.1 Erste Fahrzeug-Generation (Li-Ion-Batterie)

Aus der Batterieentladung während eines Tages und der Anzahl gefahrener Kilometer kann eine theoretische Reichweite berechnet werden:

$$\text{Reichweite (km)} = \text{gefahrte km} / \text{Batterieentladung (\%)} * 100$$

Für die beiden Messreihen, auf denen die Angaben zum Energieverbrauch im Alltagseinsatz (Kap 5.3) basieren, ergeben sich folgende theoretischen Reichweiten (in km):

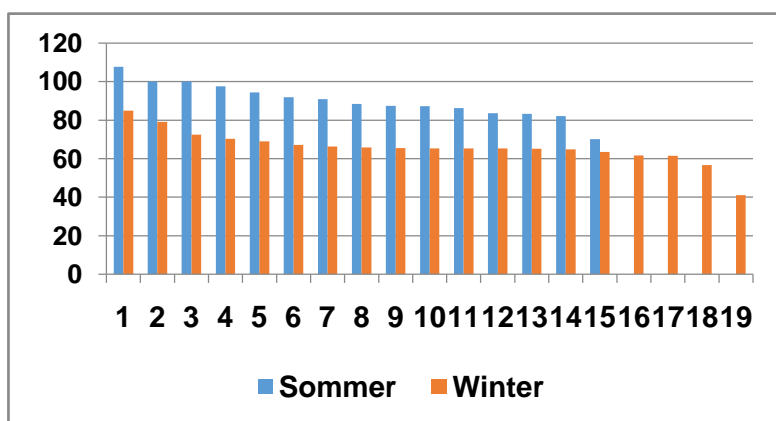


Abb. 9: Berechnete Reichweiten mit der 1. Fahrzeug-Generation (Li-Ion-Batterie), Sommer und Winter

Die Werte im Sommer liegen zwischen 70 und 108 km, mit einem Durchschnitt von 90 km. Im Winter liegen sie zwischen 57 und 85 km, der Durchschnitt liegt bei 66 km. Der Unterschied zwischen den Sommer- und den Winterwerten korreliert mit dem Energieverbrauch

### 5.5.2 Zweite Fahrzeug-Generation (Zebra-Batterie)

Mit derselben Formel wie für die 1. Fahrzeug-Generation ergeben sich für die beiden Messreihen gem. Kap. 5.3.3 folgende berechnete Reichweiten (in km):

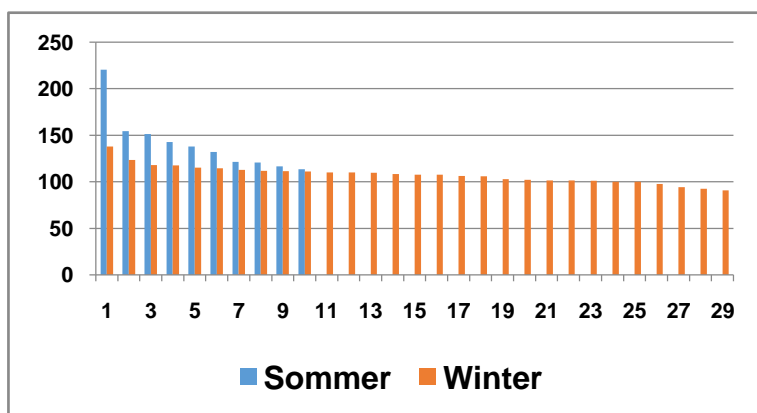


Abb. 10: Berechnete Reichweiten mit der 2. Fahrzeug-Generation (Zebra-Batterie), Sommer und Winter

Die Werte im Sommer liegen zwischen 114 und 221 km, wobei der Höchstwert offenbar nicht plausibel ist (Schreibfehler?). Ohne diesen Ausreisser liegt der Durchschnitt bei 132 km. Im Winter liegen die Werte zwischen 90 und 137 km, der Durchschnitt liegt bei 108 km.

### 5.5.3 Vergleich mit Herstellerangaben

Der Hersteller gibt Reichweiten von 100 (Li-Ion-Batterie) resp. 160 km (Zebra-Batterie) an. Abb. 11 zeigt, dass diese im Sommer lediglich um 10 – 20 % verfehlt werden. Im Winter werden die Herstellerangaben um ca. 30 % verfehlt.

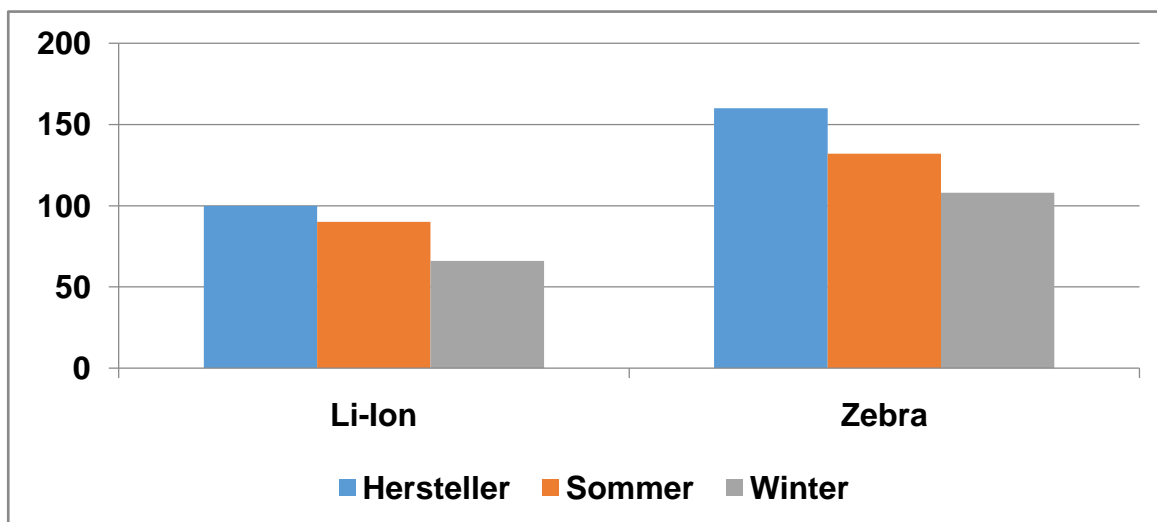


Abb. 11: Reichweitenangaben des Herstellers und Durchschnittswerte im Sommer und im Winter

### 5.5.4 Ausschöpfung der Reichweite

Ob eine Reichweite tatsächlich verfügbar und vom Fahrer ausgeschöpft werden kann, hängt stark von Anzeige der Batteriekapazität ab. Im Modec ist diese erstens genau (Analog-Anzeige mit zusätzlicher digitaler %-Anzeige, s. Abb. 12), zweitens zuverlässig. Einmal allerdings blieb ein Fahrzeug unterwegs bei einer angezeigten Batteriekapazität von 30 % stehen und musste abgeschleppt werden.



Abb. 12: Auf dem Armaturenbrett wird neben der Geschwindigkeitsanzeige der Ladezustand der Batterie in % angegeben (links)

Die Chauffeure hatten offenbar Vertrauen in diese Angaben: Nicht selten betrug die Restkapazität am Abend weniger als 10 %.

## 5.6 Fahreigenschaften

Das Beschleunigungs- und das Bremsverhalten wurden am 20. Oktober 2008 bei der Zweigniederlassung von VTSAG in Egerkingen untersucht.

Die Messfahrten wurden mit einer Drift Box der Marke Racelogic aufgezeichnet, welche vom Dynamic Test Center DTC in Vauffelin gemietet wurde (Abb. 13). Die Drift Box ermittelt über ein GPS-Signal den in einer bestimmten Zeit zurückgelegten Weg. Die gemessenen Daten werden auf einer SD-Speicherkarte abgelegt und können auf einem Computer mit der Drift Box Software oder mit Excel weiter verarbeitet werden.



Abb. 13: Drift Box zur Messung des Beschleunigungs- und Bremsverhaltens

Die Ergebnisse sind in Abb. 14 dargestellt.

	Nissan Capstar	Modec	Iveco Daily CNG	Nissan Atleon	Smith
Gesamtgewicht	3400 kg	5260 kg	3780 kg	8560 kg	4700 kg
Beschleunigungsmessung 0 bis 60 km/h	10,1 sec	16,8 sec	10,2 sec	18,7 sec	23,7 sec
Vollbremsmessung 60 bis 0 km/h (Bremszeit)	2,8 sec	3,1 sec	--	2,5 sec	--
Vollbremsmessung 60 bis 0 km/h (Bremsweg)	21,1 m	24,9 m	--	19,5 m	--
Durchzugsmessung in Steigung 20 bis 40 km/h	8,0 sec	36,9 sec	7,8 sec	17,8 sec	--
Talfahrt, Bremsscheibentemperatur vorne links	57 °C	132 °C	80,8 °C	248,8 °C	--
Talfahrt, Bremsscheibentemperatur vorne rechts	50,3 °C	131,3 °C	83,5 °C	227 °C	--
Talfahrt, Bremsscheibentemperatur hinten links	30,3 °C	97,8 °C	60,8 °C	197,5 °C	--
Talfahrt, Bremsscheibentemperatur hinten rechts	30 °C	76,5 °C	79,3 °C	205,5 °C	--

Abb. 14: Ergebnisse der Beschleunigungstests am Testtag vom 20. Oktober 2008

Der Smith hatte, unmittelbar nach der Auslieferung durch den Hersteller, einen Fehler in der Steuerung und konnte keine auswertbaren Ergebnisse liefern.

Der Modec war bei den Beschleunigungstests dem leichten LKW von Nissan (Atleon) ebenbürtig. Mit den Lieferwagen von Nissan (Capstar) und Iveco (Daily CNG) konnte er nicht ganz mithalten, wobei der Rückstand je nach Testanlage unterschiedlich gross ausfiel:

- In der Ebene war er in tiefen Geschwindigkeitsbereichen nur unwesentlich langsamer. Ab 40 km/h wurde der Rückstand grösser.
- Deutlich langsamer war der Modec in Steigungen.
- Bremszeit und -weg bei Vollbeladung waren beim Modec um ca. 10 – 20 % länger als bei den Dieselfahrzeugen von Nissan.

Die Fahrleistungen des Modec können somit als ausreichend bezeichnet werden. Die deutlich schlechteren Beschleunigungswerte im höheren Geschwindigkeitsbereich und in Steigungen fallen im vorgesehenen Einsatzgebiet (Agglomerationsverkehr) nicht ins Gewicht.

## 5.7 Fahrzeug-Ergonomie

Am Testtag vom 20. Oktober 2008 in Egerkingen nahmen zwei Experten von Feldschlösschen und Volvo Trucks (Schweiz) AG eine subjektive qualitative Beurteilung der Ergonomie vor. Bezüglich der Kriterien Fahrgeräusche, Fahrspass, Übersicht Armaturenbrett/Bedienungselemente/Instrumente, Lenkverhalten, Parkieren und Übersicht bei Rückfahrmanövern schnitten der Modec und der Smith leicht besser ab als die Vergleichsfahrzeuge Nissan Capstar, Nissan Atleon und Iveco Daily CNG.

Bei den Chauffeuren überwogen die Vorteile. Besonders geschätzt wurde der Einstieg durch die Hintertür der Führerkabine. Dies ist bequemer als der übliche Seitwärtseinstieg. Auch die leichtgängige Lenkung und die Wendigkeit mit dem aussergewöhnlich kleinen Wendekreis von 10,8 m wurden gelobt, insbesondere in den engen Strassen der Tessiner Dörfer und Täler.

Im Alltagseinsatz traten folgende konstruktive Schwachstellen zu Tage:

- Die Bremsen werden bei langen Talfahrten stark beansprucht (Nachteil des stufenlosen Automatik-Getriebes)
- Der zu öffnende Teil der Seitenscheibe ist zu wenig hoch (insbesondere für gross gewachsene Fahrer).
- Die Rückspiegel hängen sehr hoch. Zudem überragt der Fahrzeugaufbau die Hinterräder, so dass der Chauffeur diese beim Rückwärtsfahren nicht sieht.
- Die Verkleidung des Radkastens erschwert das Montieren von Schneeketten, vor allem bei beladenem Fahrzeug.
- Für das Anfahren vor einem Randstein oder auf einer steilen Rampe ist die Leistung knapp, man muss mit Anlauf fahren (Ausgleich mit Kupplung nicht möglich).
- Das Ladegerät ist extern und kann aus Gewichtsgründen nicht im Fahrzeug mitgeführt werden. Dadurch ist ein Zwischenladen unterwegs nicht möglich.

In der ersten Phase traten zudem noch einige "Kinderkrankheiten" auf wie undichte Scheiben bei starkem Regen oder verklemmte Schiebetüren.

Die Chauffeure genossen es sichtlich, während der Arbeit etwas für den Umweltschutz tun zu können, ohne Einbussen in Kauf nehmen zu müssen. Durch die zahlreichen positiven Reaktionen von Kunden und Passanten fühlten sie sich darin bestätigt.

## 5.8 Wintertauglichkeit

Die Beurteilung der Wintertauglichkeit fällt zwiespältig aus: Hinsichtlich Fahreigenschaften auf Eis und Schnee steht der Modec herkömmlichen Lastwagen nicht nach. Die Fahrer äusserten sich durchwegs zufrieden. Einzig die Kettenmontage ist wegen den über die Räder hinunterragenden Radkästen erschwert (an einem Fahrzeug wurden diese angepasst).

Auf der anderen Seite verhinderte die Heizleistung lange einen Einsatz bei kalter Witterung:

- Nach dem ersten Winter installierte Modec ein neues, stärkeres Heizgerät, das aber noch immer nicht genügte. So erreichte die Temperatur in der Führerkabine am 14. 12. 2010 in Bern bei einer Aussentemperatur von  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  nicht mehr als  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Der Leiter des Depots Tessin beschrieb die Situation wie folgt: „Es hat sich leider gezeigt dass es unmöglich ist, die Kabine auf eine für das Personal erträgliche Temperatur zu erwärmen. An Tagen ohne Sonne, die auf Grund der grossen Glasflächen eine gewisse Wärme bringt, ist es in der Kabine teilweise kälter als draussen, mit Innentemperaturen die nicht weit über null Grad liegen.“ VTSAG beschaffte dann mobile Heizlüftgeräte, welche vor Arbeitsantritt via Zeitschaltuhr den Fahrgastraum aufheizen, so dass der Chauffeur eine warme Führerkabine antrifft. Beim Entladen unterwegs legte der Chauffeur ein Gewicht (z.B. die Schneeketten) auf die Sitze – somit stoppte die Heizung nicht und die Kabine kühlte nicht allzu sehr ab.
- Ende 2011 installierte VTSAG in allen Modec heizbare Sitzkissen. Fahrzeuge, welche über Nacht in Hallen standen, konnten nun gefahren werden. Fahrzeuge, welche über Nacht im Freien standen, konnten aber bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt noch immer nicht eingesetzt werden.

## 5.9 Gesamtkosten

Elektrofahrzeuge sind im Allgemeinen teurer in der Anschaffung als vergleichbare Fahrzeuge mit herkömmlichem Antrieb, was vor allem auf die hohen Batteriekosten zurückzuführen ist. Auch wenn die Kosten mit fortschreitender Technologie sinken werden, der Unterschied wird noch länger bleiben. Demgegenüber sind die Betriebskosten tiefer: Hier fallen dank dem geringen Verbrauch und dem tiefen Strompreis nicht nur tiefere Treibstoffkosten an, sondern auch Unterhalt und Steuern kosten weniger. Demzufolge sind Elektrofahrzeuge vor allem dann wirtschaftlich, wenn sie intensiv eingesetzt werden.

FGG hat die Gesamtkosten für den Modec ermittelt und dem Nissan Interstar sowie dem Mitsubishi Fuso gegenübergestellt. Dies sind zwei Fahrzeuge, welche als Alternativen zum Modec zur Diskussion stehen, wobei das Gesamtgewicht das wichtigste Kriterium ist. Der Nissan wiegt 3,5 Tonnen, der Mitsubishi 7,5 Tonnen. Damit liegt der Modec mit 5,5 Tonnen zwischen den beiden Fahrzeugen, ein Kostenvergleich ist somit nur indirekt möglich.

Die wesentlichsten Annahmen für diese Berechnung sind die folgenden:

- Die Leasingdauer wurde für alle Fahrzeuge mit 4 Jahren angenommen.
- Für die Jahresfahrleistungen wurde aufgrund des effektiven Einsatzes der Fahrzeuge bei FGG 4000 km eingesetzt. Ursprünglich hatte man mit 20'000 km/Jahr gerechnet.
- Der Restwert nach Ablauf der Leasingdauer wurde von Volvo Trucks (Schweiz) AG vorgegeben.
- Einzelne Kantone gewähren auf Elektrofahrzeugen einen Rabatt auf oder eine vollständige Befreiung von der Motorfahrzeugsteuer.
- Elektrofahrzeuge sind von der LSVa ausgenommen.

Abb.15 zeigt die Kostenberechnung im Detail.

<i>Fahrzeug Modell</i>	<i>Nissan Interstar 3,5to</i>	<i>Modec 5.5to</i>	<i>Mitsubishi Fuso 7,5to</i>
<i>Aufbau inkl. Hebebühne</i>	<i>offene Brücke</i>	<i>Varioplan</i>	<i>Varioplan</i>
<i>Antriebsart</i>	<i>Diesel</i>	<i>Elektro</i>	<i>Diesel</i>
Nutzungsdauer Monate	48	48	48
Gesamtkilometer pro Jahr	4'000	4'000	4'000
Gesamtkilometer pro Monat	333	333	333
Gesamtgewicht kg	3'500	5'500	7'500
Leergewicht kg	1'675	2'840	2'605
Gewicht Aufbau inkl. Hebebühne kg	700	1'060	1'330
Nutzlast kg	1'125	1'600	3'565
Diesel Verbrauch L/100km	12	0	17
Verbrauch Strom kWh/100km (1 Batterieladung)	0	57	0
<b>Fixkosten/Monat</b>			
<b>Bruttopreis Fhgz Chassis (inkl. Aufbau)</b>	<b>SFr. 49'422.00</b>	<b>SFr. 123'125.00</b>	<b>SFr. 84'860.00</b>
<b>Subventionsbeitrag Bund</b>	<b>SFr. -</b>	<b>SFr. -</b>	<b>SFr. -</b>
<b>Restwert prozentual nach 48Monaten</b>	<b>42%</b>	<b>31%</b>	<b>28%</b>
<b>Restwert nominal nach 48Monaten</b>	<b>SFr. 20'757.24</b>	<b>SFr. 38'168.75</b>	<b>SFr. 23'336.50</b>
Finanzierung (Leasingrate inkl. Zins)	SFr. 761.18	SFr. 1'330.00	SFr. 1'431.74
Batteriemiete	SFr. -	SFr. 1'024.00	SFr. -
Wartung + Unterhalt (pauschal)	SFr. 180.00	SFr. 400.00	SFr. 111.00
Reifen (pauschal)	SFr. 105.00	SFr. 110.00	SFr. 56.00
Fahrzeugsteuer (ZH)	SFr. 43.75	SFr. -	SFr. 50.00
Versicherung (Haftpflicht + Kasko)	SFr. 84.00	SFr. 150.00	SFr. 120.00
Subventionsbeitrag Bund	SFr. -	SFr. -	SFr. -
<b>Fixkosten Gesamt / Monat</b>	<b>SFr. 1'173.93</b>	<b>SFr. 3'014.00</b>	<b>SFr. 1'768.74</b>
<b>Variable Kosten / Monat</b>			
Treibstoff Diesel SFr. 1.70/Liter	SFr. 68.00	SFr. -	SFr. 96.33
Strom 10Rp/kWh	SFr. -	SFr. 19.00	SFr. -
Reparaturen/Anfahrtschäden	SFr. 50.00	SFr. 50.00	SFr. 50.00
Schwerverkehrsabgabe (LSVA) pro t/km	SFr. -	SFr. -	SFr. 68.75
<b>Variable Kosten Gesamt / Monat</b>	<b>SFr. 118.00</b>	<b>SFr. 69.00</b>	<b>SFr. 215.08</b>
<b>Fahrzeug Gesamtkosten / Monat</b>	<b>SFr. 1'291.93</b>	<b>SFr. 3'083.00</b>	<b>SFr. 1'983.82</b>
<b>Gesamtkosten / Kilometer</b>	<b>SFr. 3.88</b>	<b>SFr. 9.25</b>	<b>SFr. 5.95</b>
<b>Gesamtkosten / Tonnenkilometer</b>	<b>SFr. 3.45</b>	<b>SFr. 5.78</b>	<b>SFr. 1.67</b>

Abb. 15: Gesamtkosten von drei leichten LKW mit Diesel- und Elektroantrieb (Preise in CHF, exkl. MWST)

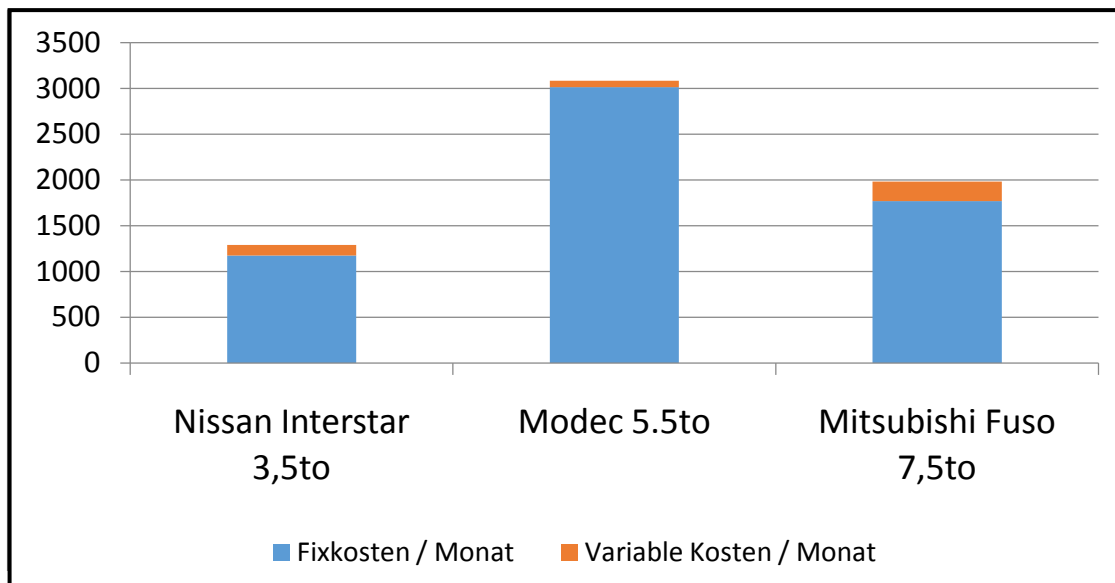


Abb. 16: Fixe und variable monatliche Kosten von drei leichten LKW mit Diesel- und Elektroantrieb bei einer Jahresfahrleistung von 4000 km (in CHF)

Die Gegenüberstellung der fixen und variablen Kosten zeigt die entscheidende Bedeutung der Fixkosten bei einer Jahresfahrleistung von lediglich 4000 km.

Die Mehrkosten der fixen Kosten werden entscheidend beeinflusst durch den Spezialaufbau zur Erhöhung der Nutzlast. Würde dieser weggelassen, müsste konsequenterweise ein leichteres (günstigeres) Dieselfahrzeug für den Vergleich herbeigezogen werden.

Bei einer höheren Jahresfahrleistung, z. B. den von FGG mit dem Modec ursprünglich erwarteten 20'000 km, fallen die variablen Kosten der beiden Dieselfahrzeuge deutlich stärker ins Gewicht, während sie beim Elektrofahrzeug unbedeutend bleiben:

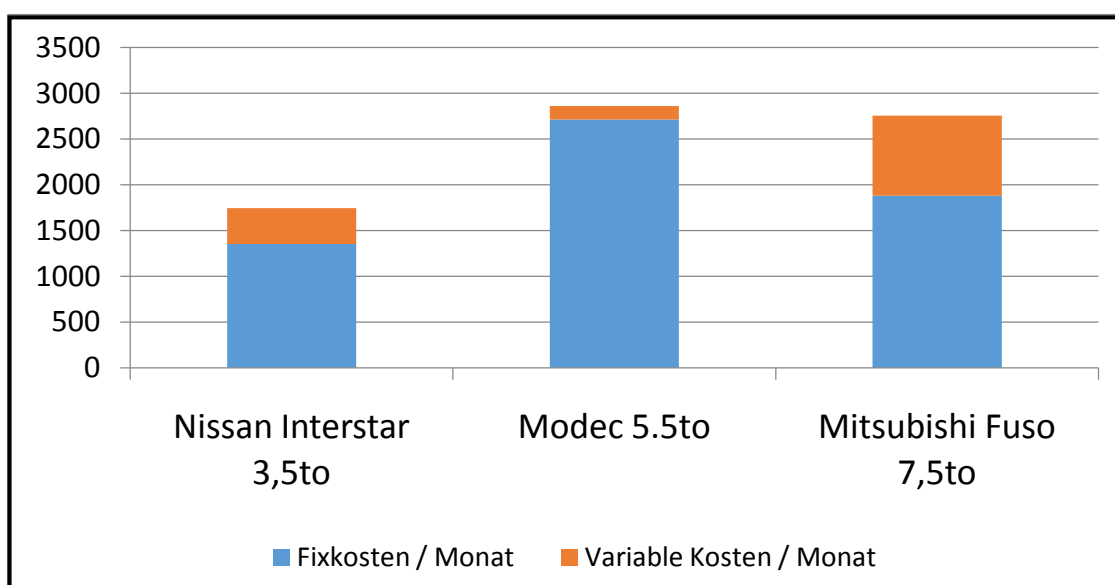


Abb. 17: Fixe und variable monatliche Kosten von drei leichten LKW mit Diesel- und Elektroantrieb bei einer Jahresfahrleistung von 15'000 km (in CHF)

## 6 Öffentlichkeitsarbeit

### 6.1 Anlässe

FGG stellte die Modec an zahlreichen Anlässen aus, präsentierte die Erfahrungen und sensibilisierte damit die Fachkreise des Güterverkehrs und die breite Öffentlichkeit für dieses wenig bekannte Thema. Hier eine Auswahl der besuchten Ausstellungen (Details in Kap. 4):

- 3. September 2008: Apéro im Volkshaus Zürich
- 4. – 8. November 2009: Auto Zürich Car Show
- 12. – 15. November 2009: VEL EXPO TICINO in Lugano
- 25. Juni 2011: Treffen historischer Elektromobile, Verkehrshaus Luzern
- 17. September 2011: Mobiday Biel

Zudem wurde das Projekt an diversen Fachtagungen präsentiert, so am Electric Vehicle Symposium EVS-24 vom 14. – 16. Mai 2009 in Stavanger NO und am International Advanced Mobility Forum IAMF anlässlich des Autosalons Genf am 9./10. März 2010.



Abb. 18: Der Modec im Verkehrshaus Luzern

## **6.2 Medienarbeit**

Der Pilotversuch stiess vor allem in den Fachmedien und in Lokalzeitungen der Einsatzorte auf ein grosses und durchwegs positives Echo.

Am 15. Mai 2008 versandte FGG eine Medienmitteilung zur Inbetriebnahme des ersten Fahrzeuges. Sechs Zeitungen berichteten darüber.

Am Apéro vom 3. September 2009 in Zürich wurde eine Medienmitteilung mit den Zwischenergebnissen aufgelegt.

Am 24. Juni lud FGG zu einer Medienkonferenz nach Rheinfelden ein, um die vier neuen Fahrzeuge vorzustellen. Der Anlass wurde von rund 20 Personen besucht.

Die Anzahl Medienberichte wurde nicht systematisch erfasst. Sie dürfte sich auf ca. 50 belaufen. Auch Medien aus dem Ausland berichteten über das Projekt.

## **6.3 Berichterstattung**

Zu den beiden ersten Phasen wurde je ein Schlussbericht erstellt [Lit 1, 2]. Für die Jahre 2009, 2010 und 2011 wurde dem Bundesamt für Energie ein Jahresbericht abgeliefert [Lit 3, 4, 5].

## 7 Weitere Erfahrungen mit Modec

### 7.1 England

Im August 2007 kaufte Amey, eine englische Dienstleistungsfirma, 10 Modec, welche sie u.a. für Routinearbeiten im Strassenunterhalt in London einsetzt. Ein Teil der Fahrzeuge sind mit ZEBRA-Batterien, der Rest mit Li-Ion-Batterien ausgerüstet. Die bisherigen Erfahrungen bestätigen die grundsätzlich ausgezeichnete Eignung von Elektro-Fahrzeugen im hektischen Stadtverkehr von London. Allerdings lässt die Zuverlässigkeit der Batterien und des Steuergerätes zu wünschen übrig. Zudem ist die Behebung von Pannen durch den Hersteller unbefriedigend. Die Reichweitenangaben des Herstellers konnte Amey im besten Fall zu 75 % erreichen.

Der Paketzusteller UPS bestellte im November 2008 im Anschluss an einen 9-monatigen Feldtest zwölf Modec (Abb. 19).



Abb. 19: Modec in der Ausführung für UPS

### 7.2 Borter in Bex

Die Firma Borter AG mit Sitz in Bex (und einem weiteren Standort in Gamsen bei Brig) übernimmt für grosse Transportunternehmungen die Güterfeinverteilung in die Walliser Seitentäler. Der Fuhrpark umfasst rund 20 Fahrzeuge unterschiedlicher Grösse und Marken.

Borter kaufte im September 2010 einen Modec der 1. Generation (Li-Ion-Batterie) mit dem Originalaufbau von Modec, ohne Hebebühne.

Der Inhaber, Reinhard Borter, befasste sich schon seit Jahren mit elektrisch betriebenen Nutzfahrzeugen. Sein Hauptmotiv war die Nachhaltigkeit. Er wollte dem Vorwurf, das Transportgewerbe verursache grosse Umweltbelastungen, mit deutlichen Taten entgegenwirken. Auch die Wirtschaftlichkeit spielte in seinem Entscheid eine wichtige Rolle. Auf der Suche nach einem Fahrzeug mit einer seinen Bedürfnissen entsprechenden Nutzlast stiess er auf das Feldschlösschen-Projekt.

Reinhard Borter äussert sich begeistert über seine bisherigen Erfahrungen. Nachdem das Fahrzeug zu Beginn wiederholt Aussetzer hatte, musste der Motor (Zytec) ersetzt werden. Danach wurde es regelmässig für Transporte im Nahverkehr (20 – 40 km) eingesetzt, ohne nennenswerte Pannen. Die Bilanz sieht wie folgt aus:

- Von September 2010 bis November 2012 hat es rund 10'000 km zurückgelegt.
- Die Reichweite mit einer Batterieladung war nie ein Problem: Die maximale Distanz von Gamsen nach Oberwald beträgt 45 km, die verbleibende Batteriekapazität beträgt nach dieser Tour jeweils immer noch 20 – 30 %. Dank des Gefälles auf dem Rückweg aus den Tälern machen sich die Chauffeure nie Sorgen, stehen zu bleiben.
- Auch im Winter ergeben sich keine Einschränkungen, die Zielorte in den Seitentälern können noch immer angefahren werden. Nützlich ist dabei, dass das Fahrzeug über Nacht in einer Halle bei ca. 12 °C eingestellt werden kann. Einzige Einschränkung sind schneebedeckte Strassen, weil auf dem Modec die Montage von Schneeketten umständlich ist.
- Der Modec wird von vier Chauffeuren gefahren. Ein reger Erfahrungsaustausch motiviert die Chauffeure. Der Umstand, dass Reinhard Borter selber den Modec fährt, ermöglicht es ihm, die Fragen des Fahrpersonals direkt und unkompliziert zu behandeln.
- Wie bei den Chauffeuren von Feldschlösschen Getränke AG loben die Chauffeure von Borter den bequemen Einstieg und den aussergewöhnlich kleinen Wendekreis.
- Der Modec sorgt auch nach über 2 Jahren noch immer für Aufsehen. Damit haben sich für Borter Transporte AG die Investitionen gelohnt.



Abb. 20: Der Modec der Firma Borter, Bex

## 8 Marktpotenzial und Marketing

### 8.1 Theoretisches Einsatzpotenzial

Die wesentlichen einschränkenden Kriterien für Elektro-Nutzfahrzeuge sind die Nutzlast und die Tagesfahrleistung, welche sich aus der Reichweite mit einer Batterieladung ergibt. Diese kann bei genügend langen Pausen mit der Möglichkeit zum Zwischenladen der Batterien z.B. über Mittag erhöht werden.

### 8.2 Feldschlösschen Getränke AG

Von den 174 Fahrzeugen der FGG-Flotte haben zurzeit 20 % eine Jahresfahrleistung von weniger als 30'000 km (entspricht bei 200 Arbeitstagen einer durchschnittlichen Tagesfahrleistung von 150 km). Damit ist das Einsatzpotenzial bei Feldschlösschen Getränke AG stark limitiert.

### 8.3 Volvo Trucks (Schweiz) AG

Bei VTSAG sind aufgrund der diversen Berichte in den Medien ca. 60 konkrete Anfragen für insgesamt rund 60 Fahrzeuge eingegangen. Abgesehen von einem Fall (Borter, Bex, Kap. 7.3) wurden sie wegen des Konkurses von Modec nicht bearbeitet.

### 8.4 Schweiz

Im Jahr 2007 betrug der Sachtransport-Fahrzeugbestand für die ganze Schweiz 324'153. Über 80% oder 268'750 dieser Sachtransport-Fahrzeuge sind Lieferwagen mit einem Gesamtgewicht bis 3,5 Tonnen.

Die Aufteilung der Lastwagen auf Nutzlastklassen ist in Abb. 21 dargestellt. Sie zeigt, dass rund zwei Drittel der Lastwagen eine Nutzlast zwischen 5 und 10 Tonnen aufweisen:

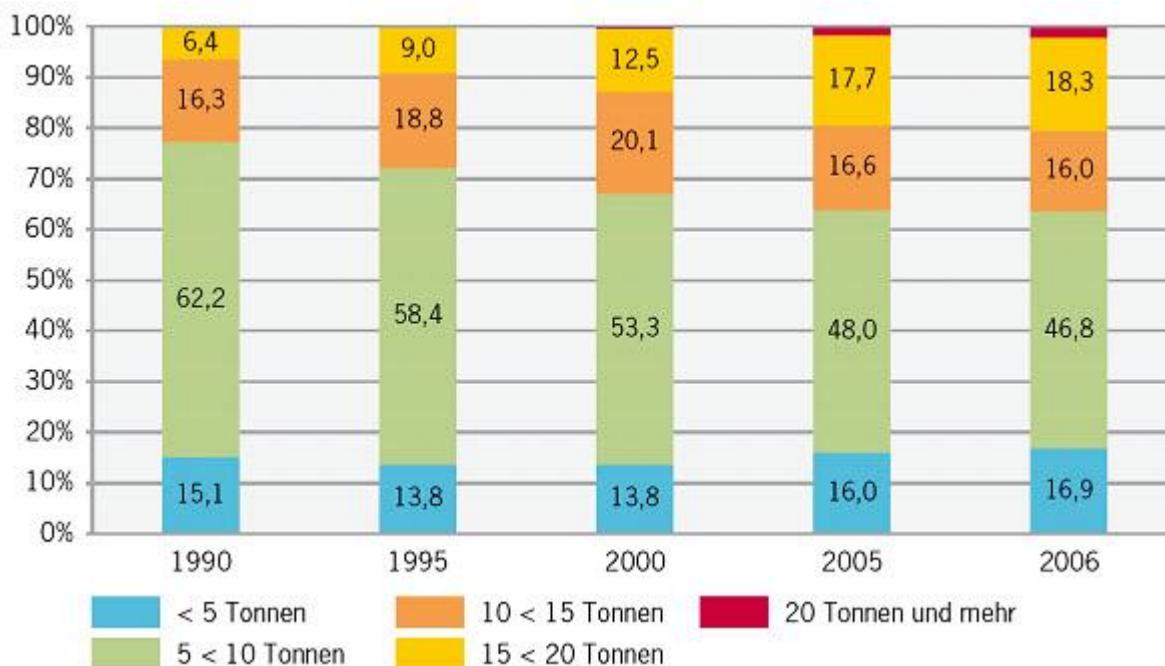


Abb. 21: Lastwagenbestand nach Nutzlast [Lit 6]

Diese beiden Segmente stellen zusammen mit den Lieferwagen das gewichtsabhängige Potenzial für Elektro-Nutzfahrzeuge dar. Schwerere Lastwagen kommen wegen der erforderlichen Leistung und der entsprechenden Batteriegrösse weniger in Frage.

2005 betrug die mittlere tägliche Fahrleistung von Lieferwagen 64 km. Bei den Lastwagen betrug sie im gleichen Jahr 167 km.

Aus der Nutzlast und der Fahrleistung ist zu schliessen, dass für einen Grossteil der heute eingesetzten Lieferwagen der Elektroantrieb durchaus geeignet wäre. Bei den Lastwagen können heute verfügbare Elektrofahrzeuge mit einer Reichweite von ca. 100 km weniger als die Hälfte des heutigen Bestandes abdecken. Da könnten allenfalls Hybridfahrzeuge zum Einsatz kommen.

## 9 LKW mit Elektroantrieb: Stand der Entwicklung

### 9.1 Übersicht

Das aktuelle Angebot an Nutzfahrzeugen mit Elektroantrieb konzentriert sich vor allem auf die Kategorie mit einer Gesamtgewichtslimite von 3,5 Tonnen. Die Fahrzeuge lassen sich in zwei Gruppen einteilen: Umgerüstete Benzin- und Dieselfahrzeuge (z.B. Renault Kangoo, Piaggio Porter usw.) und Spezialfahrzeuge, welche vorwiegend im Kommunalbereich zum Einsatz kommen (z.B. Goupil, Casalini, Mega).



Abb. 22: Typischer Einsatzbereich von leichten Nutzfahrzeugen mit Elektroantrieb im Kommunalbereich (Piaggio Porter, Abteilung Entsorgung und Recycling der Stadt Zürich)

Schon seit Jahren auf dem Markt sind Elektrobusse für den Linienbetrieb in immissionsempfindlichen Innenstädten (Rom, Paris usw.).

In den letzten Jahren haben mehrere Nutzfahrzeughersteller Hybridfahrzeuge auf den Markt gebracht, welche vor allem die Rückgewinnung der Bremsenergie im Kurzstreckenverkehr nutzen. Prädestiniert dafür ist auch hier der öffentliche Linienverkehr (Volvo, Hess).

Einen besonderen Weg schlägt Siemens mit seinem Projekt ENUBE ein: Seit 2010 testet der Konzern bei Berlin hybridelektrische LKWs, die wie Strassenbahnen mit Stromabnehmern ausgestattet sind [Lit 7]. Dabei treibt ausschliesslich der Elektromotor die Achse an. Seinen Strom bezieht er von einem Diesel mit angeschlossenem Generator, oder von einer elektrischen Oberleitung. Erste Einsatzgebiete könnte der Pendelverkehr zwischen Güterverkehrszentren und Häfen oder die Anbindung von Gruben und Minen an zentrale Lager- und Umladestellen sein. Das Bundesumweltministerium, welches dieses Projekt unterstützt, kann sich solche Trucks langfristig auf normalen Autobahnen vorstellen.



Abb. 23: Oberleitungs-LKW auf dem Testgelände bei Berlin [Lit 7]

Auch wenn die beschriebenen Fahrzeugkonzepte hinsichtlich verschiedener Kriterien dem Anforderungsprofil von FGG nicht entsprechen, können sie insofern von Bedeutung sein, als sich aus ihrer Weiterentwicklung heraus Ansätze für Fahrzeuge ergeben könnten, welche für den Einsatz bei FGG geeignet sind.

## 9.2 Smith Electric Vehicles

Smith Electric, der britische Elektro-Nutzfahrzeughersteller, der anfangs des FGG-Feldtests in der engeren Auswahl stand, wurde im Januar 2011 von einer amerikanischen Investorengesellschaft übernommen und unter demselben Namen weitergeführt. Smith Electric stand ursprünglich für das Projekt von FGG ebenfalls zur Wahl, schied jedoch unter anderem eines wenig vertrauenerweckenden Verhaltens in der Offertphase aus. Im Gegensatz zur britischen Firma scheinen die amerikanischen Besitzer nun deutlich erfolgreicher zu sein, wie die folgenden Angaben zeigen:

- Smith Electric hat vom US-Department of Energy eine Unterstützung von 32 Mio US\$ für die Produktion von Elektro-Nutzfahrzeugen erhalten.
- Zurzeit der grösste Kunde von Smith Electric ist Frito-Lay, eine Tochtergesellschaft von PepsiCo. In seiner Flotte von rund 22'000 Fahrzeugen führt Frito-Lay 176 Elektro-Lastwagen von Smith.
- Smith Electric bietet zwei Modellreihen mit folgenden Spezifikationen an:

	<b>Modell Edison</b>	<b>Modell Newton</b>
Chassis	Ford Transit	Purpose design
Motor-Leistung	90 kW	120 kW
Batterie-Kapazität	36 – 51 kWh	80 / 120 kWh
Nutzlast	3,5 – 4,6 t	2,7 – 7,5 t
Höchstgeschwindigkeit	80 km/h	80 km/h
Reichweite	90 – 180 km	50 – 240 km

Beide Modellreihen verfügen über Lithium-Eisenphosphat-Batterien von Valence. Das Ladegerät ist (im Gegensatz zum Modec) im Fahrzeug eingebaut.

- Das Modell Edison ist auch als Minibus mit 12 – 17 Sitzplätzen lieferbar.



Abb. 24: Die beiden Elektro-Nutzfahrzeuge von Smith: Edison (links) und Newton (rechts)

Weitere Informationen siehe [www.smithelectric.com](http://www.smithelectric.com).

### 9.3 Iveco

Iveco hat auf der Basis des Lieferwagens Daily ein Elektro-Nutzfahrzeug entwickelt. Im März 2010 hat Iveco bei CWS-boco in Glattbrugg einen vier-wöchigen Feldtest durchgeführt. Die Fahrleistungen waren vergleichbar mit dem Modec. CWS-boco war grundsätzlich sehr zufrieden mit den Ergebnissen. Einer definitiven Beschaffung stehen jedoch (noch) folgende Mängel entgegen: ungenügende Nutzlast, ungenügende Heizleistung sowie die zu hohen Leasingkosten.

### 9.4 Renault Midlum électrique

Renault Trucks France testet seit 2011 in der Region Lyon eine Elektroversion des Modells Midlum mit einem Gesamtgewicht von 14 Tonne und einer Nutzlast von 4 Tonnen. Der Motor mit einer Leistung von 103 kW erlaubt eine Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h. Die 2 Tonnen schwere Li-Ion-Batterie von Valence mit einer Kapazität von 170 kWh ergibt Reichweiten von bis zu 135 km. Das Ladegerät ist fest im Fahrzeug installiert und kann an jeder Steckdose 380 V /32 A angeschlossen werden.

Die Nestlé-Division Friso-Findus testet seit Sommer 2012 zwei dieser Fahrzeuge in den Verteilzentren Lausanne und Zürich für die Zustellung von Glacés in Detailwarengeschäfte.



Abb. 25: Der Renault Midlum électrique von Frisco-Findus

## 9.5 Elektro-LKW von EForce

Die in Illnau-Effretikon domizilierte Firma EForce entwickelt zur Zeit einen Elektro-Lastwagen auf Basis des Iveco Stralis mit einem Gesamtgewicht von 18 Tonnen (mit Anhänger 28 Tonnen). Zur Wahl stehen Motoren mit einer Leistung von 200, 300 oder 400 kW. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 90 km/h. Die  $\text{LiFePO}_4$ -Batterie von Sinopoly hat eine Kapazität von 115 kWh.



Abb. 26: Der von der Firma EForce auf Elektroantrieb umgerüstete Iveco Stralis

## 10 Fazit

Die guten Fahreigenschaften, der geringe Energieverbrauch, die im Betrieb vernachlässigbaren Emissionen und der kleine Wenderadius bestätigen die vorzügliche Eignung des Modec im Agglomerationsverkehr.

Dass die Fahrzeuge relativ häufig nicht eingesetzt werden konnten, lag nur zu einem geringen Teil an den Fahrzeugen selber. Vielmehr erfüllte dieses Modell die Anforderungen von FGG nur teilweise. Zudem dauerten die Reparaturen lange.

Leider liess die Zuverlässigkeit des Herstellers zu wünschen übrig. Dies begann beim immer wieder verzögerten Auslieferungstermin und blieb während der ganzen Projektdauer bestehen. So entstanden unverhältnismässig lange Ausfallzeiten. Nach dem Konkurs von Modec im März 2011 verschlechterte sich die Situation zunehmend.

Die Batterien haben sich im Alltag bewährt. Beeinträchtigt wurde dieser Eindruck durch einen Ersatz im Juni 2009, welche auf eine Tiefentladung zurückzuführen war.

Ein Schwachpunkt ist das Ladegerät: Von den 24 installierten Ladeelemente (vier pro Ladegerät, ein zusätzliches Ladegerät im VTSAG-Stützpunkt in Egerkingen) fielen in der 3. Phase neun aus.

Ein weiterer Schwachpunkt ist die Heizung, welche einen Einsatz im Winter in den ersten Jahren verunmöglichte und auch nach Zusatzmassnahmen noch immer nicht befriedigte.

Das Fahrzeug wies zu Beginn diverse Mängel der Kategorie „Kinderkrankheiten“ auf: Undichte Seitenscheiben, verklemmte Tür, unvollständige Batterieladungen, nicht funktionierende Heizung usw. Auch wenn es sich dabei um Einzelfälle zu handeln schien, warf ihre hohe Anzahl doch Fragen zur Zuverlässigkeit auf.

Das zulässige Gesamtgewicht des Modec-LKW beträgt 5,5 Tonnen. Die Nutzlast mit Chassis und Kabine beträgt aktuell 2,6 Tonnen. Mit dem von Feldschlösschen benötigten Aufbau inkl. Hebebühne wird die effektive Nutzlast jedoch auf 1,6 Tonnen reduziert. Dies schränkt das Einsatzpotenzial bei Feldschlösschen Getränke stark ein.

Die Gesamtkosten des Modec liegen – bezogen auf eine Leasingdauer von vier Jahren und einer Jahresfahrleistung von 20'000 km - um 4 bis 64 % über denjenigen zukünftiger Diesel-Alternativen (es gibt kein Dieselfahrzeug mit gleichem Gesamtgewicht). Die Betriebskosten, welche nur einen Viertel derjenigen des Dieselfahrzeugs betragen, vermögen die deutlich höheren Fixkosten nicht zu kompensieren. Aufgrund der erwähnten langen Ausfallzeiten wurden die angestrebten Jahresausfallzeiten deutlich verfehlt. Entsprechend fallen die effektiv angefallenen Kosten ungünstig aus. Ebenfalls belastend auf die Kostenrechnung sind die zahlreichen Reparaturen und die fehlenden Garantieleistungen.

## Literatur

- [Lit 1] U. Schwegler: Leichte Elektro-LKW bei Feldschlösschen: Begleitforschung zum Pilotversuch: Schlussbericht Phase 1; Bern 2009
- [Lit 2] U. Schwegler: Leichte Elektro-LKW bei Feldschlösschen: Begleitforschung zum Pilotversuch: Schlussbericht Phase 1 + 2: Bern, 2010
- [Lit 3] L. Chapatte, U. Schwegler: Leichte Elektro-LKW bei Feldschlösschen: Begleitforschung zum Pilotversuch: Jahresbericht 2009; Rheinfelden, 2010
- [Lit 4] L. Chapatte, U. Schwegler: Leichte Elektro-LKW bei Feldschlösschen: Begleitforschung zum Pilotversuch: Jahresbericht 2010; Rheinfelden, 2011
- [Lit 5] L. Chapatte, U. Schwegler: Leichte Elektro-LKW bei Feldschlösschen: Begleitforschung zum Pilotversuch: Jahresbericht 2011; Rheinfelden, 2012
- [Lit 6] Bundesamt für Statistik: Mobilität und Verkehr; Taschenstatistik 2007; Neuchâtel, 2007
- [Lit 7] Martini, F.: Das Beste aus zwei Welten, in „Pictures of the Future“, Die Zeitschrift für Forschung und Innovation, Siemens AG; München, 2012
- [Lit 8] Mäder, P., Schneeberger, Th.: Datenerfassung und –auswertung am Auslieferungsfahrzeug Feldschlösschen, studentische Projektarbeit an der Berner Fachhochschule für Technik und Informatik; Biel, 2011

## **Anhang**

**A1 Formular Tagesrapport**





**A2 Verbrauchsmessung**

**A3 Bericht vom Testtag vom 20. Oktober 2008 in Egerkingen**

**A4 Erhöhung der Nutzlast durch Sattelauflegerkonzept**



## A2 Formular Verbrauchsmessung

 FELDSCHLÖSSCHEN GETRÄNKE	 VOLVO	 e'mobile	 energie schweiz
Feldschlösschen Pilotversuch Elektro-Nutzfahrzeuge			
<h3>TAGESRAPPORT Modec Bern</h3>			
Datum: <u>28. 9. 10</u>		Chauffeur: <u>U. Schürli</u>	
<b>Am Morgen auszufüllen:</b>			
Ladezustand der Batterie [%]:	<u>100</u>	Ablese Stromzähler [kWh]:	<u>2550</u>
Umgebungstemperatur [°C]:	<u>6</u>	km-Stand:	<u>3081</u>
<b>Am Abend auszufüllen:</b>			
Ladezustand der Batterie [%]:	<u>60</u>	Ablese Stromzähler [kWh]:	<u>2550</u>
Umgebungstemperatur [°C]:	<u>13</u>	km-Stand:	<u>3125</u>
Strassenzustand (in % der Fahrzeit): <sup>100</sup> Trocken: %; Feucht: %; Nass: %; Schneebedeckt: %			
Unvorgesehene Arbeiten am Fahrzeug [Dauer in Min.]:			
Welche?			
Anzahl positive Feedbacks von Kunden:		Anzahl negative Feedbacks von Kunden:	
Anzahl positive Feedbacks von Passanten: <u>1</u>		Anzahl negative Feedbacks von Passanten:	
Bemerkungen:			

## **A3 Bericht vom Testtag vom 20. Oktober 2008 in Egerkingen**

### **1 Ausgangslage**

Im Rahmen der Neubeschaffung von Nutzfahrzeugentestet dieFeldschlösschen Getränke AG (FGG) für die Feinverteilung zwei leichte LKW mit Elektroantrieb: den Modec und den Smith Edison.

Im Zentrum des Tests stehen Alltagseinsätze im Getränkezustelldienst in verschiedenen Schweizer Städten. Um die dabei gewonnenen Erkenntnisse zu erhärten, werden ergänzende Tests durchgeführt. Ein möglichst grosser Teil davon wird an einem Intensiv-Testtag zusammengefasst.

### **2 Untersuchungsfragen**

Folgende Aspekte wurden an diesem Testtag untersucht:

- Beschleunigungsverhalten
- Bremsverhalten
- Ergonomie
- Wendigkeit
- Passive Sicherheit
- Aktive Sicherheit
- Mängelliste

### **3 Methoden und Messgeräte**

#### **3.1 Beschleunigungsverhalten**

Das Beschleunigungsverhalten der verschiedenen Fahrzeuge wurde mit einer Beschleunigungsmessung von 0 bis 60 km/h ermittelt. Die Beschleunigungsmessungen wurden mit jedem Fahrzeug viermal durchgeführt. Bei jeweils zwei Messungen war Peter Haas, Leiter Aftersales bei VTSAG, bei den anderen beiden Beschleunigungsmessungen Andreas Bucher (Flottenmanager bei FGG), der Chauffeur. Die Messungen wurden auf dem Dennerareal durchgeführt (siehe Abbildung 1 grüne Linie).



Abbildung 1: Beschleunigungsstrecke Dennerareal (grün)

## 3.2 Bremsverhalten

### 3.2.1 Vollbremsung

Zur Beurteilung des Bremsverhaltens wurden mit allen Fahrzeugen Vollbremsungen gefahren. Die Bremszeit und der Bremsweg von 60 km/h auf Null wurden aufgezeichnet. Die Chauffeure Andreas Bucher und Peter Haas fuhren mit jedem Fahrzeug je zwei Vollbremsungen. Die Messungen wurden auf dem Dennerareal durchgeführt (siehe Abbildung 2 orange Linie).

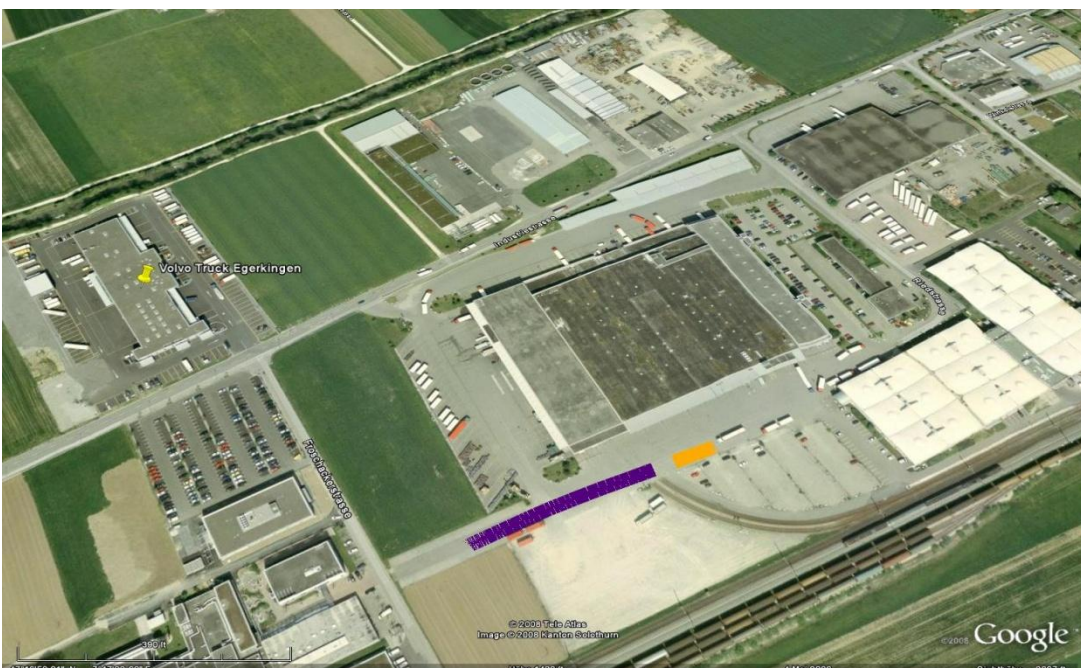


Abbildung 2: Brems-Beschleunigungsstrecke (violett) und Bremsstrecke (orange)

### 3.2.2 Talfahrt

Bei einer längeren Talfahrt ist es zur Entlastung der Betriebsbremse von Vorteil, ein effektives Hilfsbremssystem zu nützen. Bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor kann der Fahrer auf einer Talfahrt einen kleineren Gang wählen und somit den Motor als Bremse nutzen. Elektrisch betriebene Fahrzeuge haben in der Regel kein Wechselgetriebe. Deshalb kann der Chauffeur nicht einen kleineren Gang wählen. Dafür kann ein Elektrofahrzeug die kinetische Energie des Fahrzeuges durch Rekuperieren in elektrische Energie umwandeln. Der dadurch entstehende Widerstand kann zur Abbremsung des Fahrzeuges genutzt werden.

Um die Wirkung der Hilfsbremssysteme zu testen, versuchte man mit konstant 30 km/h vom Berg runter zu fahren. Im Tal wurden die Temperaturen der Bremscheiben gemessen. Mit einem effektiven Hilfsbremssystem muss während der Talfahrt entsprechend wenig mit der Betriebsbremse gebremst werden um die Geschwindigkeit von 30 km/h einzuhalten. Dementsprechend ist die Bremscheibentemperatur im Tal niedriger als bei einem Fahrzeug, bei dem die Betriebsbremse öfters betätigt wurde.

Die Talfahrt wurde von der Haarnadelkurve (Richtung Blüemlismatt) bis zum Restaurant Sternen in Egerkingen durchgeführt. (siehe Abbildung 3) Die Strecke beträgt 1500 m. Sie beginnt bei 650 m.ü.M und endet auf 500 m.ü.M. (durchschnittliches Gefälle: 10 %).

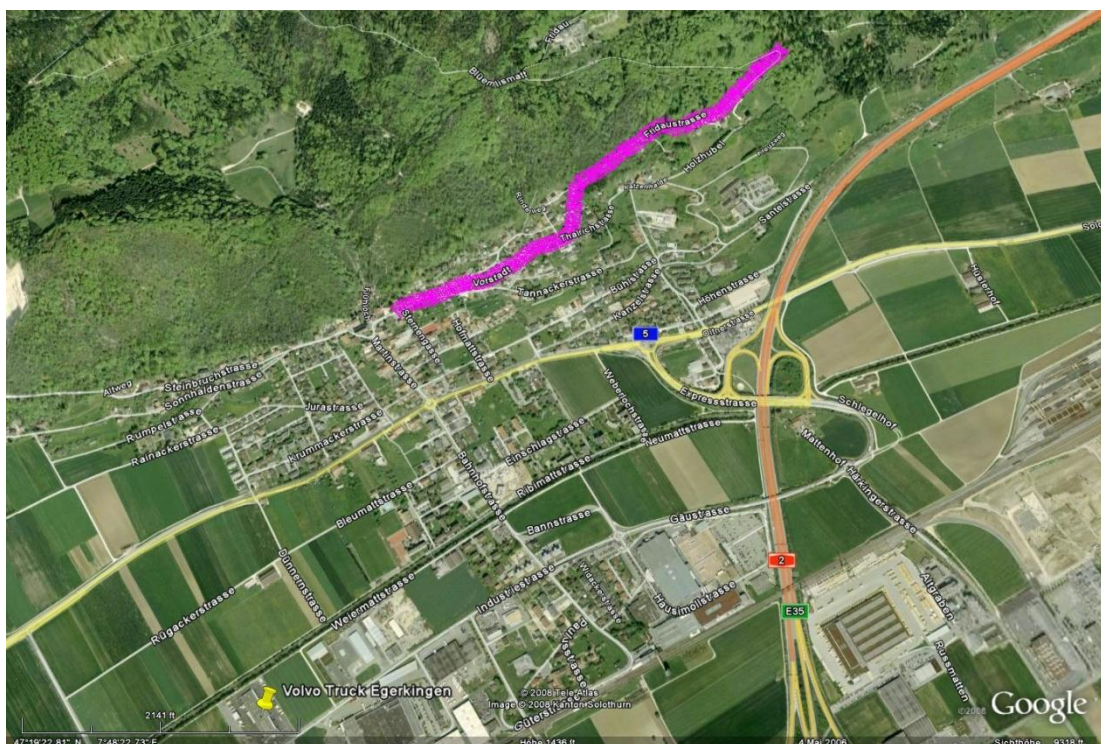


Abbildung 3: Strecke für Berg- und Talfahrten (rosa)

### 3.3 Durchzugsmessung am Berg

Auf der Geraden vor der Haarnadelkurve in Richtung Blüemlismatt wurde mit den verschiedenen Fahrzeugen von 20 auf 40 km/h beschleunigt (Strecke siehe Bild 3). Die Durchschnittliche Steigung beträgt 10 %.



Abbildung 4: Strecke der Durchzugsmessung 20 bis 40 km/h (blau)

### 3.4 Qualitative Beurteilungskriterien

Die qualitativen Beurteilungskriterien sind zur Bewertung mit Noten von 1 ungenügend bis 10 in einer Liste zusammengefasst. Sie beinhaltet Kriterien wie das Fahrverhalten, das Lenkverhalten oder die Geräusentwicklung in der Führerkabine. Die Auswertung ist im Anhang zu finden.

### 3.5 Messgeräte

#### 3.5.1 Drift Box

Die Messfahrten wurden mit einer Drift Box vom Hersteller Racelocic aufgezeichnet. Die Drift Box ermittelt über ein GPS Signal den in einer bestimmten Zeit zurückgelegten Weg. Die gemessenen Daten werden auf einer SD-Speicherkarte abgelegt und können auf einem Computer mit der Drift Box Software oder mit Excel, weiter verarbeitet werden. Die Files auf der SD Karte werden fortlaufend nummeriert (DBOX\_0001,...). Die Spannungsversorgung erfolgt über eine 7,2 V Nickel Kadmium Batterie mit einer Kapazität von 2 Ah. Um die jeweiligen Mess-Files den richtigen Fahrzeugen zuordnen zu können, wurde ein Messprotokoll geführt. (siehe im Anhang)

Die Drift Box wurde für den Testtag vom Dynamic Test Center DTC in Vauffelin angemietet.

- interne DTC Gerätenummer: F 30
- Hersteller: Racelocic
- Gerät: Drift Box
- Typenbezeichnung: 3011965
- Version: 02.00
- SD Karte: pqj, Hi speed 60, 256 MB

### 3.5.2 Temperaturmessgerät

Zur Bestimmung der Bremsscheibentemperatur wurde ein Infrarot Temperaturmessgerät eingesetzt. In der Scheibenmitte wurde jeweils die Temperatur der Bremsscheibe gemessen:

- Hersteller: Pyrometer
- Gerät: TP60

## 4 Verlauf der Messungen

Vor Beginn der Messungen wurde der Reifendruck geprüft und die Fahrzeuge mit Betonblöcken von 1 Tonne auf das zulässige Gesamtgewicht beladen. Vor dem Messen wurden alle Fahrzeuge bei der Firma Rysor AG in Egerkingen gewogen. Die Fahrzeuge wurden in folgender Reihenfolge getestet:

### 4.1 Nissan Capstar

Beschleunigungs- und Bremsmessungen auf dem Dennerareal verliefen einwandfrei. Ohne Nennenswertes verliefen auch die Berg- und Talfahrten. Auf der Talfahrt konnte die Geschwindigkeit von 30 km/h im zweiten Gang, bei einer Motorendrehzahl von ca. 3500 U/min, mit seltenen Bremsengriffen und leichten Gasstößen gehalten werden.

### 4.2 Modec

Alle Messungen konnten jeweils beim ersten Versuch aufgezeichnet werden. Bei der Durchzugsmessung von 20 auf 40 km/h in einer Steigung erreichte man die 40 km/h jeweils nur knapp. Auf der Talfahrt war viel Bremsarbeit nötig um die Geschwindigkeit von 30 km/h einzuhalten.

### 4.3 Iveco Daily CNG

Während der ersten Vollbremsmessung aus 60 km/h wurde die Stirnwand der Ladebrücke trotz korrekter Ladungssicherung beschädigt. Aus diesem Grund konnten die weiteren Vollbremsmessungen nicht mehr durchgeführt werden. Auf der Talfahrt konnte im zweiten Gang mit wenig Bremsunterstützung die Geschwindigkeit von 30 km/h gehalten werden.

### 4.4 Nissan Atleon

Keine speziellen Vorkommnisse bei allen Messungen. Auf der Talfahrt drehte der Motor im zweiten Gang bei 30 km/h konstant im roten Drehzahlbereich. Deshalb wurde die Talfahrt im dritten Gang gefahren, was einen hohen Unterstützungsgrad der Betriebsbremse erforderte.

### 4.5 SmithEdison

Auf dem Weg zur Waage der Firma Rysor AG, vor der Beschleunigungsmessung, stellte das Fahrzeug unter Volllast etwa bei 50 km/h ab. Eine Stecksicherung war durchgebrannt. Diese wurde gewechselt. Die Beschleunigungsfahrten konnten durchgeführt werden. Nach der ersten Vollbremsung blockierten die Bremsen. Das Fahrzeug wurde in die Volvo Truck Garage abgeschleppt.

Das Signal für das Rekuperieren wird beim Smith von einem Potentiometer abgegeben, welches über ein Gestänge mit dem originalen Ford-Bremspedal verbunden ist. Dieses

Gestänge verbog sich bei der ersten Vollbremsung. Das Bremspedal konnte durch das verbogene Gestänge nicht mehr bis in die Nulllage zurückfahren. Das Pedal blieb hängen, was auch die blockierten Bremsen erklärt. Das Gestänge wurde so verlängert, dass die Bremsen nicht mehr blockierten.

Daraufhin wurden zwei Bergfahrten durchgeführt. Auf der ersten Fahrt wurde das Fahrzeug nach einigen Metern in der Steigung angehalten, um das Anfahren in der Steigung zu testen. Das Fahrzeug konnte in der Steigung nicht mehr anfahren. Nach dem Zurücksetzen wurde mit dem Fahrzeug so lange den Berg hinaufgefahren bis die Geschwindigkeit auf Null sank.

#### 4.5.1 Erste Bergfahrt mit Anfahren in der Steigung:

Anfangshöhe: 498.2 m ü.M.

Endhöhe: 517.9 m ü. M.

Messstrecke: 261.7 m



Abbildung 5: Bergfahrt 1 mit SmithEdison

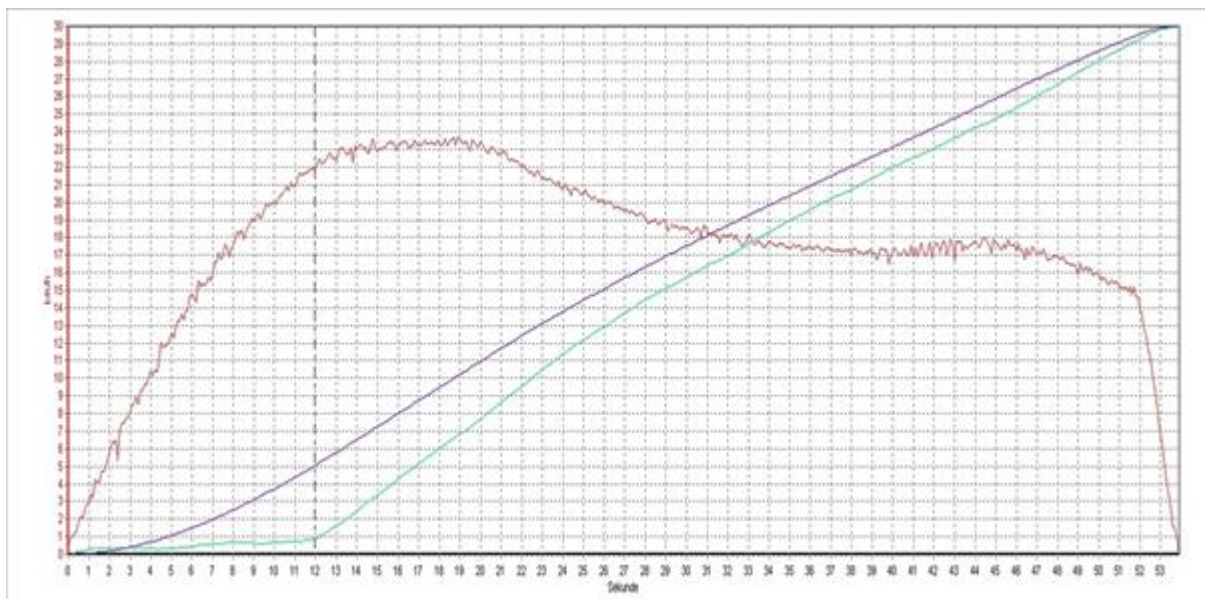


Abbildung 6: Bergfahrt 1 Smith (Geschwindigkeit: rot, Weg: blau, Höhenänderung: grün)

#### 4.5.2 Zweite Bergfahrt

Anfangshöhe: 498.2 m ü. M.

Endhöhe: 568.1 m ü. M.

Messstrecke 770 m

Das Fahrzeug wurde in der Ebene über 40 Meter mit Vollgas beschleunigt. Danach wurde mit Vollgas in eine Steigung gefahren, bis die Geschwindigkeit des Fahrzeuges Null war. Der Fahrwiderstand (Steigung) war grösser als die Antriebsleistung des Fahrzeuges.

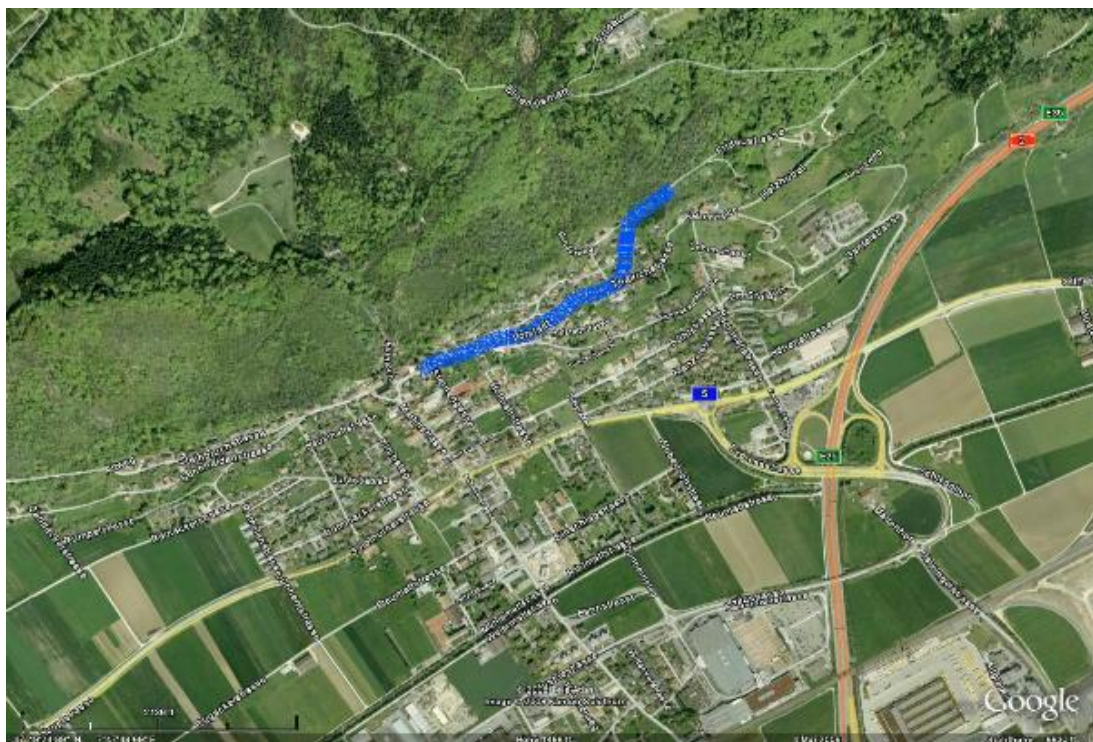


Abbildung 7: Bergfahrt 2 mit SmithEdison

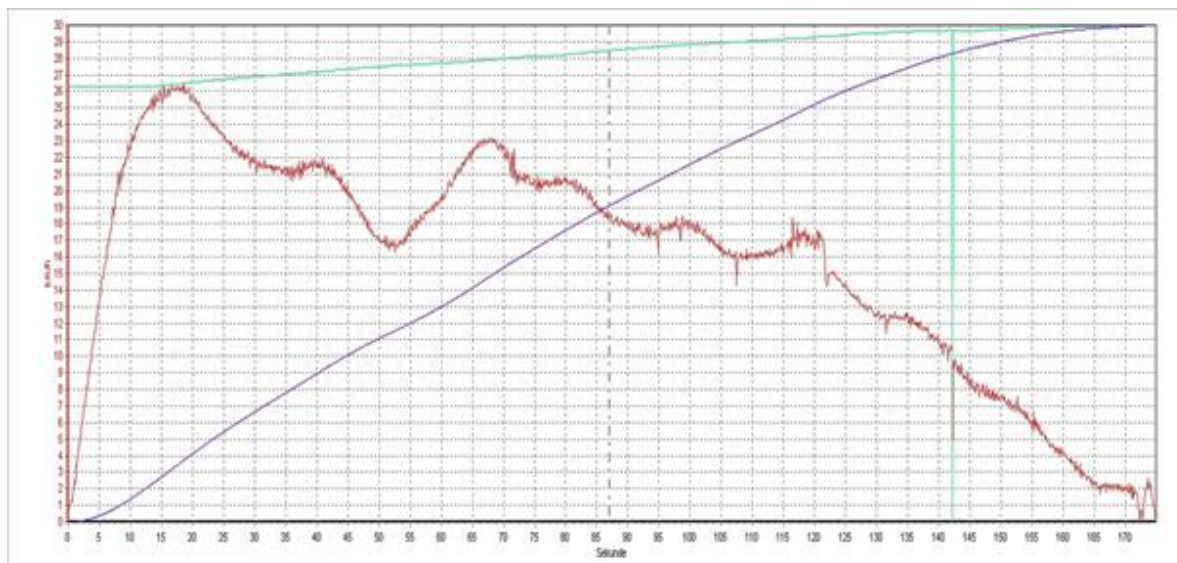


Abbildung 8: Bergfahrt 1 Smith (Geschwindigkeit: rot, Weg: blau, Höhenänderung: grün)

Der elektrisch betriebene Smith Edison hat einen Elektromotor mit einer Leistung von 90 kW. Auf Grund dieser Leistung sollte es möglich sein eine Steigung von 10 % zu überwinden. Wahrscheinlich sind beim Smith Edison technische Probleme dafür verantwortlich, dass er den Berg nicht erklimmen konnte.

Die Beschleunigungsmessungen sind nicht aussagekräftig, weil nicht abzuschätzen ist, ob das Gestänge für das Potentiometer schon vor der ersten Vollbremsung beschädigt war.

## 5 Zusammenfassung der Ergebnisse

	Nissan Capstar	Modec	Iveco Daily CNG	Nissan Atleon	Smith
Gesamtgewicht	3400 kg	5260 kg	3780 kg	8560 kg	4700 kg
Beschleunigungsmessung 0 bis 60 km/h	10,1 sec	16,8 sec	10,2 sec	18,7 sec	23,7 sec
Vollbremsmessung 60 bis 0 km/h (Bremszeit)	2,8 sec	3,1 sec	--	2,5 sec	--
Vollbremsmessung 60 bis 0 km/h (Bremsweg)	21,1 m	24,9 m	--	19,5 m	--
Durchzugsmessung in Steigung 20 bis 40 km/h	8,0 sec	36,9 sec	7,8 sec	17,8 sec	--
Talfahrt, Bremsscheiben- temperatur vorne links	57 °C	132°C	80,8°C	248,8°C	--
Talfahrt, Bremsscheiben- temperatur vorne rechts	50,3°C	131,3°C	83,5°C	227°C	--
Talfahrt, Bremsscheiben- temperatur hinten links	30,3°C	97,8°C	60,8°C	197,5°C	--
Talfahrt, Bremsscheiben- temperatur hinten rechts	30°C	76,5°C	79,3°C	205,5°C	--

## 5.1 Beschleunigung

Die längere Beschleunigungszeit des Modec, im Gegensatz zum Nissan Capstar und Iveco Daily, ist auf das höhere Gesamtgewicht zurück zu führen. Entsprechend länger braucht der Nissan Atleon, um von 0 auf 60 km/h zu beschleunigen.

## 5.2 Vollbremsung

Die Ergebnisse der Vollbremsungen entsprechen den Erwartungen.

## 5.3 Durchzug am Berg

Der Modec braucht am längsten für die Beschleunigung von 20 auf 40 km/h. Verursacht ist das durch das Fehlen eines Schaltgetriebes. Bei Fahrzeugen mit Schaltgetriebe kann das Motordrehmoment für die jeweilige Fahrsituation angepasst werden. Dafür ist ein Fahrzeug ohne Schaltgetriebe einfacher aufgebaut und somit günstiger. Bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen bietet sich dank der Elektromotorcharakteristik ein Ein-Ganggetriebe an.

## 5.4 Talfahrt

Entsprechend der Bremsscheibentemperatur ist zu erkennen, dass der Nissan Capstar und der Iveco Daily CNG ein effizientes Hilfsbremssystem haben. Beim Modec sind die erhöhten Bremsscheibentemperaturen auf den zu schwachen Rekuperations-Widerstand zurück zu führen. Beim Nissan Atleon hat das hohe Gesamtgewicht Einfluss auf die Temperatur der Bremsen. Zudem passte die Getriebeübersetzung nicht, um im zweiten Gang ins Tal zu fahren.

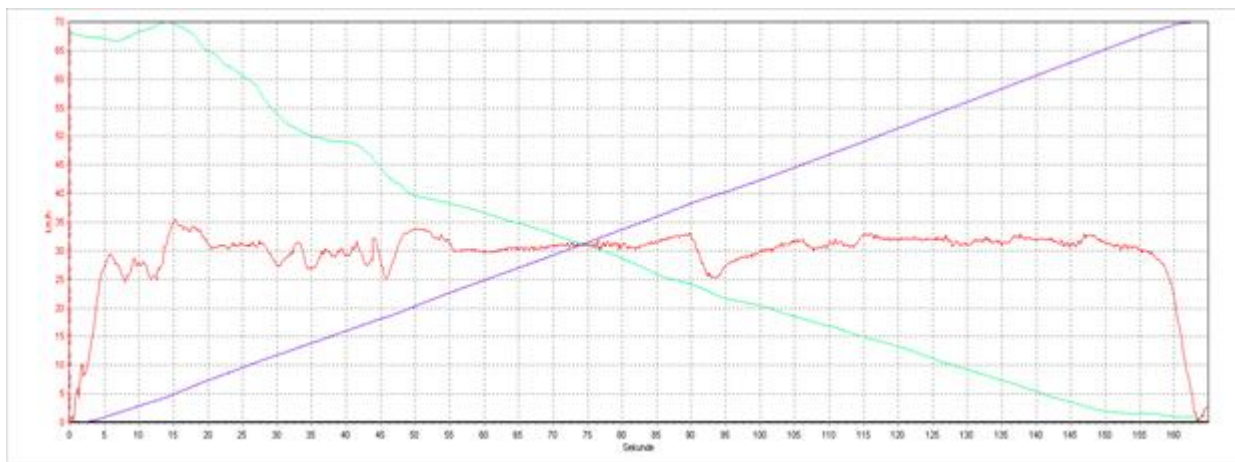


Abbildung 9: Talfahrt mit 30 km/h Nissan Capstar (Geschwindigkeit: rot, Weg: blau, Höhenänderung: grün)

31. Oktober 2008

Urs Schwegler/Edwin Scherrer, e'mobile

## A4 Erhöhung der Nutzlast durch Sattelaufliegerkonzept

Schon bald zeigte sich, dass der Fahrzeugaufbau mit der Hebebühne einen beträchtlichen Teil der Nutzlast beansprucht, so dass diese letztlich nur noch 1640 kg betrug. Damit ist das Einsatzpotenzial bei FGG verschwindend klein.

Die Firma Geser hat schliesslich eine Lösung in einem Fahrzeugkonzept mit Sattelauflieger gefunden (Abb. 26). Dieses Konzept ist gemäss Schweizer Strassenverkehrsrecht zugelassen.

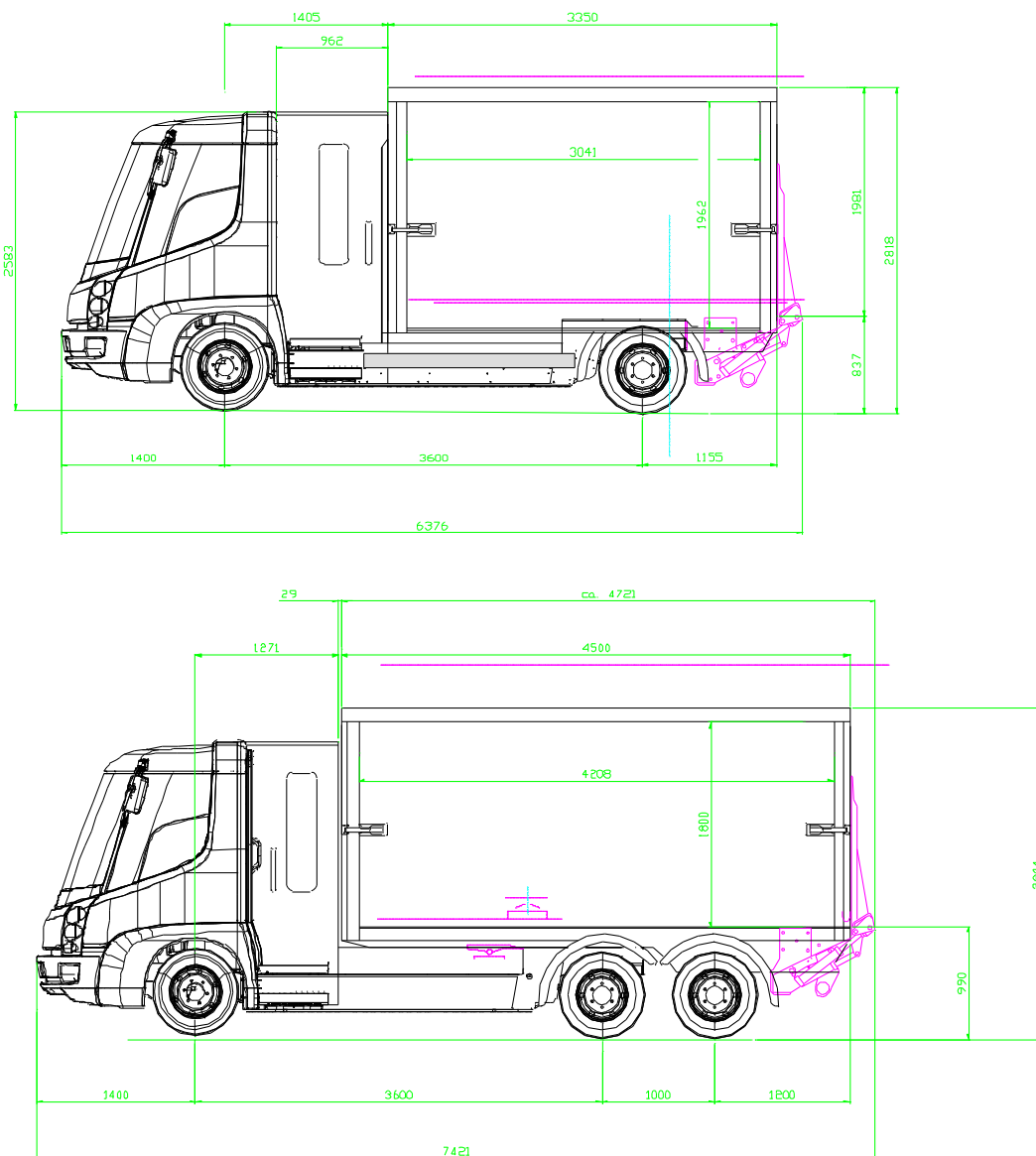


Abb. 27: Originalversion des Modec (oben) und Aufliegerkonzept Geser (unten)

Um die Fahrleistungen des Modec unter erhöhter Nutzlast zu prüfen, montierte die für den Aufbau verantwortliche Firma Geser eine Anhängerkupplung. Dann wurden mit einem Anhänger Fahrttests mit einem Gesamtgewicht von 7720 kg durchgeführt:

	Leergewicht (kg)	Zuladung	Fahrgäste (kg)	Gesamtgewicht
<b>Modec</b>	3860	1500	160	5520
<b>Anhänger</b>	500	1700		2200

Mit Anhänger und GG von 7720 kg war das Anfahren bei gemessenen 14 % Steigung kein Problem. Bei 18 % Steigung war das Anfahren nur noch mit Mithilfe vom Beifahrer und dem hin und her lenken möglich. Bei hohen Lasten sollte man nie ganz anhalten. Sobald der Modec ein bisschen rollt, hat er genug Reserven um zu beschleunigen. Beim Start aus dem Stillstand ist die Kraft beschränkt. Beim Verbrennungsmotor kann dieser Vorgang mit dem Spiel zwischen Gaspedal und Kupplung erleichtert werden.

Die Strecke Littau – Malters – Schwarzenberg wurde ohne Probleme bewältigt.

Die Strecke von Littau 456m ü.M. bis auf den Schwarzenberg ca. 950m ü. M. führte nonstop auf einer Bergstrasse von ca. 7km Länge.

Talwärts gab es keinerlei Probleme. Das Fahrzeug bremste auch ohne Hilfsbremse. Die Bremsen wurden dank des gebremsten Anhängers normal heiss. Talwärts lud sich die Batterie um 4 %.

Ladeanzeige der Batterie:

- 99 % Start am Morgen für Beladung und Fahrt auf die Waage
- 87 % Teststart
- 62 % Ende der Testfahrten/Manöver und 12km Fahrt in Gefälle rund um die Fa. Geser
- 62 % Start für Fahrt auf den Schwarzenberg (12km/ca. 500 m Höhendifferenz)
- 27 % Stand auf dem Schwarzenberg
- 31 % Stand nach ca. 7km Talfahrt in Malters
- 21 % Testende in Littau (total gefahrene km ca. 40km mit 7,7to GG und erschwerten Bedingungen)

Reichweite: Zur Beurteilung der Reichweite eignet sich am besten die Strecke Littau - Schwarzenberg retour. Für diese 24 km wurde die Batterie um 41 % entladen (von 62 auf 21). Umgerechnet auf 100 % Batterieentladung ergibt dies eine Reichweite von 58 km. Weil talwärts nur maximal 1/3 der Energie rekuperiert werden kann, welche bergwärts gebraucht wird, kann man hier von überdurchschnittlich harten Bedingungen sprechen. In der Ebene könnte mit dieser Zuladung wohl eine Reichweite von 70 – 90 km erreicht werden (verglichen mit 80 – 100 km mit zulässiger Ladung). Die Reichweite wird durch die erhöhte Nutzlast also lediglich um ca. 10 % reduziert.

Fazit: Mit einem Gesamtgewicht von 7,5t verfügt der Modec über keine grossen Kraftreserven mehr. Die gesetzlichen Vorschriften erfüllt er aber. In leichten Steigungen hält er ohne Probleme mit dem Verkehr mit. Die Stell-Fussbremse bremst auch nach 7 km Talfahrt gut. Es riecht aber von den Bremsen her. Sie werden entsprechend warm.

Das Beschleunigungsverhalten erwies sich als nur wenig abhängig von der Zuladung.

Weil Modec die Fahrzeuggarantie für diesen Umbau verweigerte, wurde dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.