

**mx.Doc. num : 92.54200.00**

**To:** ASTRA  
**Date:** 10/01/2013  
**Revisions:** no: 00 date: 29/05/2013 by: DS

**File name:** 130110\_ASTRA\_Bericht  
**Enclosure:** -

# **„ENERGIESTRATEGIE 2050“: Machbarkeitsstudie der Elektrifizierung und Optimierung der PKW Flotte des ASTRA**

## **Elektrofahrzeuge für die ASTRA-Dienstwagen-Flotte?**

Im Jahr 2012 hat das ASTRA im Rahmen einer Pilotstudie abklären lassen, ob es sinnvoll sein könnte, Elektrofahrzeuge als Dienstwagen anzuschaffen. Die Studie wurde im Rahmen der "Vorbildfunktion Bund" der Energiestrategie 2050 erstellt, und soll andere Flottenbesitzer dazu ermutigen, eine energetische Flottenanalyse durchzuführen.

Die Resultate zeigen, dass mit Elektrofahrzeugen zwei Drittel des heutigen Energieverbrauchs eingespart werden könnten. Allerdings müsste mit höheren Kosten gerechnet werden. Die Autoren empfehlen ein schrittweises Vorgehen. Das ASTRA klärt nun ab, inwiefern die Empfehlungen des Pilotprojekts umgesetzt werden können.

### **Datenanalyse**

Anhand von fix installierten GPS-Sendern wurde während sechs Monaten die Fahrleistung jedes Fahrzeugs der Zentrale anonymisiert aufgezeichnet und anschliessend ausgewertet.

Die Auswertung wurde von Experten der Tessiner Firma Protoscar vorgenommen. In die Analyse einbezogen wurden Faktoren wie Streckenlänge, Topographie, Witterung (Temperatur) und Fahrpausen. Um auch künftige Entwicklungen in die Analyse miteinzubeziehen, wurde mit drei Szenarien gerechnet.

- Szenario 1: es stehen Normalladestationen (3kW) an der Zentrale und den elektrisch erreichbaren ASTRA-Standorten zur Verfügung.
- Szenario 2: zusätzlich zur Normalladung stehen Schnellladestationen (20 kW) an den ASTRA Standorten zur Verfügung.
- Szenario 3: Schnellladestationen sind an allen Autobahnraststätten in der Schweiz vorhanden.

### **Datenauswertung**

Die Auswertung der Fahrten zeigt, dass die mittlere tägliche Laufleistung der ASTRA-Fahrzeuge 115 Kilometer beträgt. 56 Prozent der gefahrenen Tagesdistanzen betragen weniger als 100 Kilometer und könnten damit mit einem heute verfügbaren reinen Elektroauto zurückgelegt werden. 13 Prozent aller km-Leistungen pro Tag belaufen sich sogar auf unter 15 Kilometer.

Die Auswertung der drei Szenarien macht deutlich, dass für den Einsatz von Elektrofahrzeugen nicht zwingend Schnellladestationen vorhanden sein müssen. Die Simulation von Szenario 1 und 2 kam zu sehr ähnlichen Resultaten, während Schnellladestationen an Autobahnraststätten das Einsatzgebiet der E-Fahrzeuge deutlich erweitern würden.

### **Ergebnisse**

Durch die (teilweise) Elektrifizierung der ASTRA Flotte würden sich Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen signifikant verringern lassen, ohne dass das ASTRA dabei Mobilitätseinbussen in Kauf nehmen müsste. Aus rein technischer Sicht könnte die analysierte Flotte von 15 Fahrzeugen durch 5 reine Elektroautos (BEVs) sowie 10 teilweise elektrisch betriebene Fahrzeuge (Range Extender, REEVs) ersetzt werden. Damit könnte das ASTRA zwei Drittel des heutigen Energieverbrauchs einsparen (ca. 107 MWh) und die CO<sub>2</sub>-Emissionen in einer Tank-To-Wheel Betrachtung auf einen Viertel des heutigen Ausstosses senken. Das entspricht einer

Einsparung von ca. 32 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr. Allerdings zeigt die Auswertung auch, dass sich dadurch die Gesamtkosten um knapp 20 Prozent erhöhen würden.

## Empfehlungen

Die Autoren empfehlen eine Elektrifizierung der ASTRA-Dienstfahrzeugflotte, die unter dem technisch machbaren Maximum bleibt. Empfohlen wird die Anschaffung von 2 bis 7 (teil-)elektrifizierten Fahrzeugen. Gründe dafür sind einerseits, dass für eine maximale Elektrifizierung ein neues Buchungsinstrument eingesetzt werden müsste, welches zu einer möglichst guten Auslastung der E-Fahrzeuge beiträgt (bis an die Grenze der elektrischen Reichweite). Andererseits werden in den retrospektiven Berechnungen keine menschlichen Faktoren (kurzfristig ändernde Fahrpläne, vergessenes Aufladen oder Skepsis gegenüber Elektroautos) eingerechnet.

Das ASTRA klärt nun ab, inwiefern die Empfehlungen des Pilotprojekts umgesetzt werden können.

### Definition der verschiedenen E-Fahrzeuge

#### *Reines Elektrofahrzeug (Battery Electric Vehicle, BEV)*

Der Antriebsstrang des Fahrzeugs ist rein elektrisch; der vorhandene Elektromotor bezieht die Energie vollständig aus wiederaufladbaren Akkus.

#### *Range Extender Electric Vehicle (REEV)*

Der Antriebsstrang ist rein elektrisch; das Fahrzeug enthält aber auch einen "Reichweitenverlängerer" d.h. einen Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt und so Strom produziert. Dieser Strom kann dazu benutzt werden, den Elektromotor anzutreiben oder die vorhandenen Akkus aufzuladen.

#### *Plug-in Hybrid (PHEV)*

Hybridelektrofahrzeuge enthalten mindestens einen Elektromotor und einen weiteren Energiewandler (oft einen Verbrennungsmotor). Können die Akkus am Stromnetz geladen werden, spricht man von Plug-in Hybriden oder auch steckdosenfähigen Fahrzeugen.

## Bientôt des véhicules de service électriques à l'OFROU ?

En 2012, l'OFROU a réalisé une étude pilote afin d'évaluer l'opportunité d'acquérir des véhicules de service électriques. Cette étude a été lancée dans le cadre de la stratégie énergétique 2050 développée par la Confédération, qui endosse son rôle de modèle, et vise à inciter d'autres propriétaires de véhicules à mener une réflexion sur leur flotte automobile sous l'angle énergétique.

Les résultats montrent que les véhicules électriques permettraient d'économiser les deux tiers de la consommation énergétique actuelle, mais le prix à payer serait certainement plus élevé (hausse des coûts). Les auteurs de l'étude préconisent donc de procéder par étapes. L'OFROU étudie désormais les possibilités de mise en œuvre des recommandations du projet pilote.

### Analyse des données

Grâce à des émetteurs GPS installés à demeure, la distance parcourue par chacun des véhicules de la centrale a été enregistrée de manière anonyme pendant six mois, et ces relevés ont ensuite fait l'objet d'une évaluation.

L'évaluation a été réalisée par des experts de la société tessinoise Protoscar. L'analyse a pris en compte différents facteurs, tels que la longueur du parcours, la topographie, les conditions météorologiques (températures) et les arrêts effectués. Afin d'intégrer également les évolutions futures dans l'analyse, trois scénarios ont été imaginés :

- Scénario 1 : des stations de recharge normale (3 kW) sont disponibles à la centrale et sur les sites de l'OFROU accessibles en voiture électrique.
- Scénario 2 : outre les bornes classiques, des stations de recharge rapide sont à disposition sur les sites de l'OFROU.
- Scénario 3 : des stations de recharge rapide sont installées sur l'ensemble des aires de ravitaillement suisses.

### Evaluation des données

L'évaluation des trajets a révélé que la distance quotidienne moyenne parcourue à bord des véhicules de l'OFROU était de 115 kilomètres. Dans la mesure où 56 % des distances quotidiennes sont inférieures à 100 kilomètres, un véhicule entièrement électrique tel qu'il en existe actuellement sur le marché serait tout à fait en mesure d'accomplir ces trajets. Il apparaît même que 13 % de l'ensemble des kilomètres parcourus chaque jour sont effectués sur des trajets de moins de 15 kilomètres.

L'évaluation des trois scénarios indique clairement qu'il n'est pas indispensable de disposer de stations de recharge rapide pour utiliser des véhicules électriques. La simulation réalisée à partir des scénarios 1 et 2 a fourni des résultats très similaires. En revanche, la présence de stations de recharge rapide sur les aires de ravitaillement autoroutières étendrait considérablement le rayon d'utilisation des véhicules électriques.

### Résultats

L'électrification (partielle) de la flotte de véhicules de l'OFROU permettrait de réduire la consommation énergétique et les émissions de CO<sub>2</sub> de manière significative, sans que l'OFROU doive pour autant s'attendre à des pertes en termes de mobilité. Sur un plan purement

technique, la flotte analysée, qui est composée de 15 véhicules, pourrait être remplacée par 5 véhicules 100 % électriques (BEV) et 10 véhicules hybrides (Range Extender, REEV). L'OFROU pourrait ainsi économiser les deux tiers de sa consommation énergétique actuelle (env. 107 MWh) et réduire ses émissions de CO<sub>2</sub>, considérées sur la base du « Tank-To-Wheel », pour les ramener à un quart de leur niveau actuel, soit une économie d'environ 32 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Toutefois, l'évaluation révèle également que les coûts globaux augmenteraient de près de 20 %.

### Recommandations

Les auteurs recommandent d'électrifier partiellement la flotte de véhicules de service de l'OFROU, autrement dit d'acquérir entre 2 et 7 véhicules électriques (ou hybrides). Les raisons sont les suivantes : d'une part, une électrification totale de la flotte nécessiterait l'introduction d'un nouvel outil de réservation contribuant à une utilisation optimale des véhicules électriques (jusqu'à la limite de l'autonomie des batteries électriques) ; d'autre part, aucun facteur humain (changement de programme de dernière minute, omission de recharger le véhicule ou scepticisme vis-à-vis des véhicules électriques) n'est pris en compte dans les calculs rétrospectifs.

L'OFROU étudie désormais les possibilités de mise en œuvre des recommandations du projet pilote.

#### Définition des différents types de véhicules électriques

##### Véhicule 100 % électrique (*Battery Electric Vehicle, BEV*)

Le groupe motopropulseur du véhicule est entièrement électrique ; le moteur électrique tire toute son énergie de batteries rechargeables.

##### Véhicule électrique à prolongateur d'autonomie (*Range Extender Electric Vehicle, REEV*)

Le groupe motopropulseur est entièrement électrique, mais le véhicule dispose également d'un prolongateur d'autonomie, autrement dit un moteur à combustion qui actionne un générateur et produit ainsi de l'électricité. Ce courant peut ensuite être utilisé pour faire tourner le moteur électrique ou recharger les batteries du véhicule.

##### Véhicules hybrides « Plug-In » (*Plug-in Hybrid, PHEV*)

Les véhicules hybrides embarquent au minimum un moteur électrique et un autre convertisseur d'énergie (généralement un moteur à combustion). Si les batteries peuvent être rechargées sur le réseau électrique, on parle de véhicules hybrides « Plug-In » ou encore de véhicules capables de faire le plein à la prise.

## **Veicoli elettrici per la flotta USTRA?**

Nel 2012 l'USTRA ha condotto uno studio pilota volto a sondare la possibilità di introdurre veicoli elettrici nel proprio parco mezzi. Lo studio si inserisce nel quadro della Strategia energetica 2050 e, in particolare, nella rubrica denominata «Il buon esempio della Confederazione»: l'obiettivo è quello di incentivare altri gestori di flotte a svolgere un'analisi energetica del proprio parco veicoli.

I risultati dimostrano che i veicoli elettrici consentirebbero un risparmio di due terzi sugli attuali consumi energetici, comportando tuttavia costi maggiori. Gli autori dello studio consigliano di procedere in modo graduale. L'USTRA intende ora accertare fino a che punto siano praticabili le raccomandazioni emerse dal progetto pilota.

### **Analisi dei dati**

Il chilometraggio di ogni veicolo della Centrale è stato monitorato per sei mesi in modo anonimo tramite installazione di trasmettitori GPS fissi.

L'analisi, affidata ai tecnici dell'azienda ticinese Protoscar, ha considerato fattori come lunghezza dei tragitti, topografia, condizioni meteo (temperatura) e soste. Per includere anche futuri sviluppi, sono stati ipotizzati tre scenari.

- Scenario 1: presenza di stazioni di ricarica normale (3 kW) presso la Centrale e le sedi dell'USTRA allacciati alla rete elettrica.
- Scenario 2: presenza di stazioni di ricarica rapida (20 kW), oltre a quelle di ricarica normale, presso le sedi dell'USTRA.
- Scenario 3: presenza di stazioni di ricarica rapida presso tutte le aree di servizio autostradali svizzere.

### **Valutazione dei dati**

Dalla valutazione dei tragitti emerge che i veicoli dell'USTRA percorrono mediamente 115 km al giorno. Il 56% dei tragitti ha una lunghezza inferiore a 100 km e potrebbe quindi essere coperto con uno dei veicoli interamente elettrici attualmente disponibili; il 13% dei tragitti giornalieri è addirittura inferiore a 15 km.

La valutazione dei tre scenari dimostra che l'utilizzo di veicoli elettrici non presuppone necessariamente la disponibilità di stazioni di ricarica rapida. Le simulazioni del primo e del secondo scenario hanno dato risultati simili, mentre le stazioni di ricarica rapida presso le aree di servizio autostradali aumenterebbero considerevolmente il bacino di impiego dei veicoli elettrici.

### **Risultati**

La (parziale) elettrificazione della flotta dell'USTRA comporterebbe un netto calo del consumo energetico e delle emissioni di CO<sub>2</sub>, senza porre vincoli in termini di mobilità. Dal punto di vista puramente tecnico, la flotta di 15 veicoli analizzata potrebbe essere sostituita da 5 auto a propulsione interamente elettrica (BEV) e da 10 veicoli ibridi (Range Extender, REEV). In questo modo l'USTRA potrebbe risparmiare due terzi dell'energia attualmente utilizzata (circa 107 MWh) e ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> a un quarto di quelle odierne, secondo un'analisi legata al funzionamento del veicolo (*tank to wheel*). La riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> sarebbe

quindi pari a 32 tonnellate all'anno. Tuttavia dalla valutazione emerge anche un aumento di circa il 20% dei costi totali.

## Raccomandazioni

Gli autori consigliano un'elettrificazione della flotta dell'USTRA che resti al di sotto della soglia massima tecnicamente praticabile, ossia di acquistare da 2 a 7 veicoli elettrici o ibridi: da un lato per un'elettrificazione di tutta la flotta sarebbe necessario istituire infatti un nuovo strumento di prenotazione, che consenta uno sfruttamento ottimale dei veicoli fino al limite dell'autonomia elettrica; dall'altro i calcoli retrospettivi non considerano il fattore umano (improvvisi cambi di tragitto, dimenticanza di ricaricare la batteria o scetticismo nei confronti delle auto elettriche).

L'USTRA si appresta ora a verificare come possono essere messe in pratica le raccomandazioni emerse dal progetto pilota.

### Definizione dei diversi veicoli elettrici

#### *Battery electric vehicle (BEV)*

Gruppo motopropulsore esclusivamente elettrico: il motore attinge tutta l'energia da batterie ricaricabili.

#### *Range extender electric vehicle (REEV)*

Gruppo motopropulsore esclusivamente elettrico, ma dotato di «range extender», ossia di motore a combustione che aziona un generatore e produce corrente utilizzabile per alimentare il motore elettrico oppure per ricaricare le batterie.

#### *Plug-in hybrid (PHEV)*

I veicoli ibridi sono dotati almeno di un motore elettrico e di un altro convertitore di energia (spesso un motore a combustione). Se le batterie possono essere ricaricate tramite la rete elettrica, si parla di ibridi plug-in.

## Management Summary

Die Studie „Machbarkeitsstudie der Elektrifizierung und Optimierung der PKW Flotte des ASTRA“ erfolgt im Rahmen der „Energiestrategie 2050“. Die Studie bezieht sich auf die Analyse der aktuellen Fahrzeugflotte der Zentrale des ASTRA und möchte das Ersatzpotential durch Steckdosenfahrzeuge (Electric Vehicle, EV) untersuchen und einen umsetzbaren Vorschlag unterbreiten.

Das ASTRA möchte erkennen ob und wie ein Ersatz durch Steckdosenfahrzeuge und/oder eine allfällige Reduktion des Wagenparks möglich ist. Es wird abgeklärt, in wie fern Steckdosenfahrzeuge den Anforderungen entsprechen. Dazu werden reine Elektrofahrzeuge (Battery Electric Vehicle, BEV), Plug-in Hybrid Fahrzeuge (PHEV) und Elektrofahrzeuge mit Range-Extender (REEV) berücksichtigt.

Das Ziel der Studie ist, Vorschläge und Handlungsempfehlungen zu erarbeiten, wie eine nachhaltige Flottenzusammensetzung (inkl. mindestens einem Steckdosenfahrzeug) aussehen könnte, die betreffend Mobilitätsanforderungen, CO<sub>2</sub>-Ausstoss, Energieverbrauch und TCO für das ASTRA optimiert ist.

Insgesamt wurden 15 Fahrzeuge der Zentrale des ASTRA während sechs Monaten mit GPSDatalogger kontinuierlich überwacht. Somit konnte man die Auslastung (Fahrtenlänge, Fahrtendauer, Standzeiten und Topographie) der jetzigen Fahrzeugflotte feststellen.

Die mittlere Laufleistung beträgt 115 km. An mehr als einem Viertel der Einsätze wurden Autobahnstrecken, die länger als 150 km sind, zurückgelegt. Auf der anderen Seite sieht man, dass mehr als ein Drittel der Einsätze eine kürzere Distanz als 50 km aufweisen. 13% der gefahrenen Strecken sind sogar kürzer als 15 km.

Mit der gemessenen Auslastung konnte man die reelle Flotte, sowie 2 angenommene vollständige BEV (rein elektrisch)- und REEV (Range Extender) -Flotten, simulieren. Während der überwachten Zeit war für die reelle Flotte die mittlere Motorenleistung 12.2 kW und die gesamt verbrauchte Energie 80.6 MWh (etwa 8'200 Liter Kraftstoff). Der mittlere Kraftstoffverbrauch betrug 6.5 Liter/100km. Dieser simulierte Wert weicht weniger als 7% von dem durchschnittlichen Verbrauchswert aus den Fahrtenbüchern von 2011 (6.1 l/100km) ab. Die Flotte produzierte insgesamt über 6 Monate 21.4 Tonnen CO<sub>2</sub> (19.6 Kg pro Tag pro Fahrzeug). Der mittlere CO<sub>2</sub> Ausstoss der ASTRA Flotte war 170 g/km. Diese Zahl ist das Ergebnis von der Simulation unter realen Bedingungen und ist somit höher (aber genauer) als der angegebene NEDC Zyklus Wert.

Für die Simulation der BEV-Flotte wurden 15 Nissan Leaf als Dienstfahrzeuge angenommen. Bei der BEV-Flotte hat man die Simulation in 3 Szenarien aufgeteilt: Szenario 1 nimmt an, dass bei der Zentrale und den Filialen des ASTRA die Normalladung (3kW) immer zur Verfügung steht. Szenario 2 nimmt an, dass die Schnellladung bei der Zentrale und den Filialen zur Verfügung steht. Hingegen wird bei Szenario 3 (EVite Modell) angenommen, dass die Schnellladung (20kW) auch auf allen 55 Autobahnraststätten der Schweiz verfügbar ist. Die 3 Szenarien wurden unter Standardbedingungen (Default) und Winterbedingungen simuliert. Die Zunahme des Energieverbrauchs bei Winterbedingungen (bedingt durch die niedrigere Effizienz der Batterie und dem grösseren Nebenverbrauch) wird auf etwa einen Drittel geschätzt. Die total verbrauchte Energie unter Winterbedingungen liegt bei 35.5 MWh (inkl. der

regenerierten Energie), unter Default Bedingungen sind es 25.4 MWh. Der mittlere Stromverbrauch ist 28.3kWh/100km (Default Bedingungen 20.2kWh/100km).

Mit der Nissan Leaf BEV Flotte sind bei Szenario 1 71% der Einsatztage aufgrund der Reichweite fahrbar (58% mit Winterbedingungen). Bei Szenario 2 sind 73% der Einsatztage fahrbar (63% mit Winterbedingungen). Man kann daraus folgern, dass in diesem Fall die Schnellladung an den ASTRA Standorten keine grosse Verbesserung mit sich bringt. Bei Szenario 3 hat die Schnellladung an den Autobahnraststätten hingegen einen bedeutenden Einfluss: die mit einem BEV fahrbaren Einsatztage steigen bis 94% (84% mit Winterbedingungen).

Für die Simulation der REEV/PHEV (Range Extended Electric Vehicle und Plugin Hybrid Electric Vehicle) Flotte wurden 15 Opel Ampera als Flottenfahrzeuge angenommen. Diese Flotte produziert über 6 Monate insgesamt 7.3 Tonnen CO<sub>2</sub> (6.7 Kg pro Tag pro Fahrzeug - 34% der reellen Flotte). Der mittlere CO<sub>2</sub> Ausstoss der REEV Flotte ist 58 g/km (etwa das Doppelte der von den Automobilherstellern gelieferte NEDC Zykluswerte aber nur 34% der reellen Flotte). Bei Winterbedingungen steigen die Werte auf 8.5 Tonnen CO<sub>2</sub> für den gesamten CO<sub>2</sub> Ausstoss. Unter Standardbedingungen wurden in 6 Monaten 30% der Gesamtenergie (38.3 MWh) im Elektromodus verbraucht (45% der gesamten Laufleistung von 125'000 km). Unter Winterbedingungen ist die im Elektromodus verbrauchte Energie 12.6 MWh, 29% der gesamten Menge. Die restlichen 71%, nämlich 31.4 MWh, wurden im Verbrennungsmodus gefahren. 35% der gesamten Laufleistung (125'000 km) wurde im Elektromodus gefahren.

Die Bestimmung des maximalen Elektrifizierungspotentials wird folgendermassen festgelegt: zuerst werden die Kriterien Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoss betrachtet. Um die Wirkung dieser 2 Kriterien zu maximieren, sollte die Flotte möglichst elektrisch betrieben werden. Unter der Vorgabe, dass keine Mobilitätseinbussen hingenommen werden sollen, kann die Flotte maximal 5 BEVs für Szenario 1 und Szenario 2 enthalten und 7 bei Szenario 3 (Winter Bedingungen).

Anhand dieses maximalen Elektrifizierungspotentials, der Simulationen und der verarbeiteten Analyse wurden verschiedene potentielle Ersatzszenarien für die Flotte der ASTRA Zentrale vorgeschlagen. Für jedes Ersatzszenario (von einer milderer bis zu einer stärkeren Elektrifizierung) wurden nebst CO<sub>2</sub>-Ausstoss, und Energieverbrauch auch Total Cost of Ownership (TCO) mit einbezogen und detailliert für die Gesamtflotte durchgerechnet.

Die 3 Auswertungskriterien wurden für jedes Szenario für die 6 Monate (Dauer des Monitorings) ermittelt und dann für das ganze Jahr hochgerechnet).

- Die mildeste „Custom3“ Variante, mit dem Ersatz von 2 alten Fahrzeugen durch 1 BEV und 1 REEV, ermöglicht eine jährliche Ersparnis von 1'740 Litern Kraftstoff (oder 14 MWh) und 4.6 Tonnen CO<sub>2</sub>. Die entstehenden Zusatzkosten dafür sind 2'100 CHF pro Jahr.
- Die Mittelvariante „Custom2“, mit dem Ersatz von 4 alten Fahrzeugen durch 1 BEV, 2 REEV und 1 Hybridfahrzeug, ermöglicht eine jährliche Ersparnis von 2'380 Litern Kraftstoff (oder 21.4 MWh) und 6.5 Tonnen CO<sub>2</sub>. Die entstehenden Zusatzkosten dafür sind 5'000 CHF pro Jahr.
- Die „ambitioniertere“ „Custom1“ Variante, welche den Ersatz von 7 alten Fahrzeugen durch 2 BEV, 3 REEV und 2 Hybridfahrzeug vorsieht, ermöglicht eine jährliche Ersparnis von 4'120 Litern Kraftstoff (oder 35.4 MWh) und 9.4 Tonnen CO<sub>2</sub>. Die

entstehenden Zusatzkosten sind 9'400 CHF pro Jahr (7% der Gesamtkosten der heutigen Flotte).

Die Methode der retrospektiven Analyse liefert empirische Evidenz und dient als Unterstützung für Entscheidungen bezüglich Änderungen in dem Fuhrpark des ASTRA. Jedoch sollte beachtet werden, dass verschiedene subjektiv geprägte Faktoren der Fahrer/innen (z.B. der Einfluss der Reichweitenängste, der zusätzlicher Zeitaufwand für die Ladung, persönliche Vorlieben, oder das Sicherheitsgefühl durch Schnelladestationen) die technischen Ergebnisse bei der Umsetzung in die Realität verändern können.

Anhand der Berechnungen und den Abgrenzungen, ist Protoscar der Meinung, dass folgende Handlungsempfehlungen für das ASTRA wichtig sind:

- Um die Ziele zu erreichen und die optimalsten Werte der 3 Auswertungskriterien zu erhalten, sollte ein leistungsfähiges Reservierungssystem implementiert werden.
- Die mildeste „Custom3“ Flottenvariante, die den Ersatz mit einem BEV und einem PHEV/REEV vorsieht, sollte auf jeden Fall implementiert werden. Dies könnte sich durch die entsprechende interne und externe Kommunikation auch positiv auf das Image auswirken. Die Schulung der eigenen Angestellten ist auch im Gesamtbild von grosser Bedeutung, insbesondere für ein Bundesamt das sich bemüht, zu einer nachhaltigen Mobilität beizutragen. Ausserdem sind die benötigten Zusatzkosten (TCO etwa 2'000 CHF pro Jahr) so klein, dass das Budget von ASTRA kaum beeinflusst würde.
- Die anderen Varianten, die eine grössere Elektrifizierung vorsehen, könnten mittelfristig umgesetzt werden, falls das Bundesamt eine klare nachhaltige Strategie der Mobilität vertreten will. Die Variante „Custom1“ ermöglicht, mit dem Ersatz von 7 Fahrzeugen und jährliche Zusatzkosten von etwa 10k CHF, Ersparnisse von 11 Tonnen CO<sub>2</sub> und 4'000 Liter Kraftstoff jährlich. Die Kosten für jede ersparte Tonne CO<sub>2</sub> liegen somit bei ca. 900 CHF. Je effizienter der Antrieb, und somit je geringer der Energieverbrauch, desto kleiner wird der Anteil der Energie in der TCO Kostenstruktur. Aufgrund der neuen Technologie haben BEV und REEV/PHEV jedoch noch höhere TCO Werte im Vergleich zu Benzin/Diesel Fahrzeuge. Wenn man nur die TCO Werte anschaut, folgt daraus, dass ein Elektrofahrzeug möglichst viele Km pro Jahr fahren soll, damit es im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen wettbewerbsfähig wird. Wenn die Elektrofahrzeuge grössere jährliche Laufleistungen decken können, werden ihre höheren Anschaffungskosten durch die tieferen Betriebskosten kompensiert.
- Der Aufbau der Ladeinfrastruktur muss parallel mit der Anschaffung der Fahrzeuge realisiert werden. Ein Ladesystem (Normalladung) pro Fahrzeug soll installiert werden, da alle in der Nacht gleichzeitig geladen werden müssen. Die Installation der Normalladung ist nicht nur bei den umliegenden, sondern auch bei den peripherischen Standorten für die Ladung der PHEV/REEV sehr wichtig (BEVs können ohne Szenario 3 die peripherischen Standorte aufgrund der Reichweite nicht erreichen).

- Wie die Resultate des Szenario 3 zeigen, ist ein Schnellladenetz besonders wichtig, sodass fast alle „Einsatztage“ mit einem BEV fahrbar sind. Der Erfolg eines effizienten Schnelladenetzes in der Schweiz wird jede (elektrifizierte) Flotte unterstützen, deswegen sollten Initiativen die sich mit Ladenetze befassen unterstützt werden.
- Die Studie zeigt, dass Schnelladestationen an den ASTRA Standorten aus rein technischer Sicht nicht notwendig sind. Allerdings könnte die Installation entsprechender Infrastruktur aufgrund der diskutierten nicht technischen Faktoren Sinn machen (z.B. Vergessen des Aufladens über Nacht, kurzfristige, ungeplante Reisen, Unabhängigkeit von der Standdauer bei Dienstfahrten zu Filialen etc.). Aufgrund der Resultate sind die Standorten von Estavayer und Thun die ersten, die aufgrund der kurzen Distanz zur Zentrale Ittigen Ladesysteme installieren sollten.
- Kommunikationsaktivitäten zum Thema Flottenmanagement und Evaluation des Elektrifizierungspotentials sind jetzt ganz wichtig. Man sollte effizient und mit den richtigen Kommunikationsmittel öffentlich mitteilen, wie die Problematik seitens ASTRA angegangen worden ist, wie die Resultate der Studie die reelle Flotte beeinflussen und was das Ziel für die Zukunft ist.

## Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG .....	16
2	FORSCHUNGSMETHODIK .....	17
2.1	DATENERFASSUNG .....	17
2.2	DATENVERARBEITUNG UND ANALYSE .....	18
2.3	AUSWERTUNGSKRITERIEN .....	23
2.3.1	<i>Total Cost of Ownership (TCO)</i> .....	24
2.3.2	<i>CO<sub>2</sub>-Ausstoss und Energieverbrauch</i> .....	24
3	RESULTATE DER ANALYSE.....	25
3.1	DIE FLOTTE DER ASTRA ZENTRALE.....	25
3.1.1	<i>Beschreibung</i> .....	25
3.1.2	<i>Simulation</i> .....	27
3.1.3	<i>Mobilitätsbedarf der Flotte</i> .....	28
3.1.4	<i>Ergebnisse bestehende Flotte</i> .....	30
3.2	DIE HYPOTHETISCHE BEV FLOTTE.....	31
3.2.1	<i>Beschreibung</i> .....	31
3.2.2	<i>Simulation</i> .....	31
3.2.3	<i>Ergebnisse BEV Flotte</i> .....	32
3.2.3.1	Szenario1: Simulation e-Fahrzeuge und 3kW Ladung (Zentrale & Filialen).....	33
3.2.3.2	Szenario2: Simulation e-Fahrzeuge und Schnellladung bei ASTRA.....	36
3.2.3.3	Szenario3: Simulation e-Fahrzeuge und EVite-Schnellladung .....	38
3.2.3.4	Vergleich der Szenarien.....	40
3.3	DIE HYPOTHETISCHE REEV FLOTTE.....	41
3.3.1	<i>Beschreibung</i> .....	41
3.3.2	<i>Simulation</i> .....	41
3.3.3	<i>Ergebnisse REEV Flotte</i> .....	42
3.3.3.1	Szenario1: Simulation (REEV-Fahrzeuge) und 3kW Ladung (Zentrale & Filialen) .....	43
4	BESTIMMUNG DES ELEKTRIFIZIERUNGSPOTENTIALS .....	45
4.1	METHODIK .....	45
4.2	VORGESCHLAGENE ALTERNATIVE FLOTTEN .....	45
4.3	FAZIT.....	49
5	DISKUSSION.....	51
6	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN.....	53

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Snapshot des Online Trackingportals.....	18
Abbildung 2: SW für die Datenverarbeitung und -Analyse (Beispiel Skoda Octavia).....	19
Abbildung 3: SW für die Datenverarbeitung und -Analyse (Beispiel Nissan Leaf).....	20
Abbildung 4: Die Logik für BEVs .....	21
Abbildung 5: Die Logik für REEVs.....	22
Abbildung 6: Numerisches Beispiel für REEVs-Energiebilanz .....	23
Abbildung 7: Schema des NEDC Zyklus für die Berechnung der Wirkungsgrade.....	27
Abbildung 8: Spektrum der Benutzung der 15 ASTRA Fahrzeuge.....	28
Abbildung 9: Spektrum der Laufleistung pro Einsatztag.....	29
Abbildung 10: Spektrum der Laufleistung pro Einsatztag.....	29
Abbildung 11: BEV-Flotte unter Default- und Winterbedingungen bei Szenario 1.....	34
Abbildung 12: Rote und Grüne Tage für die Elektro-Flotte (Mai bis Juli) - Szenario 1 Default Bedingungen. ....	35
Abbildung 13: Rote und Grüne Einsatztage für die Elektro-Flotte (August bis Oktober) - Szenario 1 Default Bedingungen.....	35
Abbildung 14: Einfluss der Winterbedingungen (Mai bis Juli) - Szenario 1.....	35
Abbildung 15: Anzahl an Ladeprozesse bei den ASTRA Standorten gemäss Szenario 1.....	36
Abbildung 16: BEV-Flotte unter Default- und Winterbedingungen bei Szenario 2.....	36
Abbildung 17: Anzahl an Ladeprozesse bei den ASTRA Standorten gemäss Szenario 2.....	37
Abbildung 18: BEV-Flotte unter Default- und Winterbedingungen bei Szenario 2. ....	38
Abbildung 19: Anzahl an Ladeprozesse gemäss Szenario 3.....	39
Abbildung 20: Anzahl an Ladeprozesse bei den ASTRA Standorten gemäss Szenario 1. ....	44
Abbildung 21: Rote und Grüne Einsatztage für die Elektro-Flotte (Mai bis Juli) - Szenario 2. ....	56
Abbildung 22: Rote und Grüne Einsatztage für die Elektro-Flotte (August bis Oktober) - Szenario 2.....	56
Abbildung 23: Einfluss der Winterbedingungen (Mai bis Juli) - Szenario 2. ....	56
Abbildung 24: Rote und Grüne Einsatztage für die Elektro-Flotte (Mai bis Juli) - Szenario 3... ..	57
Abbildung 25: Rote und Grüne Einsatztage für die Elektro-Flotte (August bis Oktober) - Szenario 3.....	57
Abbildung 26: Einfluss der Winterbedingungen (Mai bis Juli) - Szenario 3. ....	57
Abbildung 27: Das generelle Schema der Prozedur der Software .....	62
Abbildung 28: Prozedur der Software für den BEV Einsatz.....	65
Abbildung 29: Prozedur der Software für den REEV Einsatz .....	67
Abbildung 30: Prozedur der Software für die Fahrzeugzuordnung.....	68

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Distanzen in Km zwischen den ASTRA Standorten.....	22
Tabelle 2: Zusammenfassung der Mobilität der ASTRA Flotte im 2011.....	25
Tabelle 3: Die Zusammensetzung der überwachten ASTRA Flotte.....	26
Tabelle 4: Inputparameter für die Simulation der reellen Flotte.....	27
Tabelle 5: Zusammenfassung der Mobilität der ASTRA Flotte während 6 Monate. ....	28
Tabelle 6: Zusammenfassung der Simulation für die reelle Flotte. ....	30
Tabelle 7: Overview der Simulationen, 3 Szenarien unter Default- und Winterbedingungen. ....	30
Tabelle 8: Inputparameter für die Simulation der BEV Flotte.....	31
Tabelle 10: Zusammenfassung der Simulation für die BEV Flotte unter Winter Bedingungen..	33
Tabelle 11: Zusammenfassung „grüne Einsatztage“ für die 3 Szenarien unter Default-Bedingungen. ....	40
Tabelle 12: Zusammenfassung „grüne Einsatztage“ für die 3 Szenarien unter Winterbedingungen. ....	41
Tabelle 13: Inputparameter für die Simulation der REEV Flotte.....	42
Tabelle 14: Zusammenfassung der Simulation für die REEV Flotte unter Default Bedingungen. ....	43
Tabelle 15: Zusammenfassung der Simulation für die REEV Flotte unter Winterbedingungen.	43
Tabelle 16: TCO Daten für die aktuelle ASTRA Flotte. ....	46
Tabelle 17: TCO Berechnungen für alternative Fahrzeuge (Firma Interleasing AG) .....	47
Tabelle 18: TCO Daten für die Ersatzflotte - Leaf und Ampera.....	47
Tabelle 19: Zusammenfassung Auswertungskriterien für die 6 Flotten. Normiert 1 Fahrzeug sind die .....	50
Tabelle 20: Zusammenfassung der Simulation für die iMiev Flotte unter Default Bedingungen. ....	58
Tabelle 21: Grüne Einsatztage für die iMiev Flotte unter Default Bedingungen in den 3 Szenarien. ....	58
Tabelle 22: Top20 meist benutzte Schnellladestationen an den Autobahnraststätten.....	59

## Glossar:

Fahrt/Aktivität	Fahrt von einem Punkt A zu einem Punkt B
Einsatztags	Tag mit einem/mehreren Fahrzeug(en) im Einsatz. Er besteht aus mehreren Fahrten (Total Einsätze der ASTRA Flotte der Zentrale (15 Fahrzeuge) sind 1091; Einsätze ohne Einsatz in den Ferientagen sind 1068; 23 Einsätze in den Ferientage)
Arbeitstag	Einen Tag der Woche an dem man arbeitet, Montag bis Freitag (totale überwachte Arbeitstage sind 129; Wochenendetage und Ferientage sind 55; totale überwachte Tage sind 184)
Grüner Einsatztag	Einsatztags, der für ein bestimmtes Fahrzeug der Flotte mit BEV fahrbar ist
Roter Einsatztag	Einsatztags, der für ein bestimmtes Fahrzeug der Flotte mit BEV nicht fahrbar ist
Steckdosenfahrzeug	Fahrzeug, das mit der Steckdose zu laden ist. Steckdosenfahrzeuge fassen reine Elektrofahrzeuge, Plugin Hybrid- und Range Extender Fahrzeuge um.

## Abkürzungsverzeichnis

BEV	Battery Electric Vehicle, rein elektrische Fahrzeuge
REEV	Range Extended Electric Vehicle, elektrisch betriebene Fahrzeuge die mit einem Reichweitenverlängerer (Range-Extender) ausgestattet sind
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
EV	Electric Vehicles, mit EV werden alle elektrisch betriebene Fahrzeuge bezeichnet BEV, REEV und PHEV = Steckdosenfahrzeuge
SW	Software
SOC	State of Charge, Ladezustand der Batterie

## 1 Einleitung

Diese Studie bezieht sich auf die Analyse der aktuellen Fahrzeugflotte der Zentrale des ASTRA und möchte das Ersatzpotential durch EVs untersuchen und einen umsetzbaren Vorschlag unterbreiten.

Das ASTRA möchte erkennen ob und wie ein Ersatz durch Elektrofahrzeuge und/oder eine allfällige Reduktion des Wagenparks möglich ist. Es wird abgeklärt, in wie fern Elektrofahrzeuge den Anforderungen entsprechen. Dazu werden Elektrofahrzeuge, Plug-in Hybrid und Elektrofahrzeuge mit Range-Extender berücksichtigt.

In einem ersten Teil wird festgestellt wie die Auslastung (Fahrtenlänge, Fahrtendauer, Standzeiten und Topographie) der jetzigen Fahrzeugflotte der Zentrale ist. Anhand der verarbeiteten Analyse werden die Massnahmen zum Ersatz der Flotte vorgeschlagen. Dabei werden CO<sub>2</sub>-Ausstoss, Energieverbrauch und Total Cost of Ownership (TCO) mit einbezogen. Das potentielle Ersatzszenario wird mit möglichst unverändertem Mobilitätsbedarf vorgeschlagen.

Das Ziel der Studie ist, einen Vorschlag zu erarbeiten, welcher eine, entsprechend den aus den Bewegungsdaten gewonnenen Mobilitätsanforderungen des ASTRA und eine auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoss optimierte, Flotte aufzeigt und nach Möglichkeit mindestens ein Elektrofahrzeug oder Fahrzeug mit Range-Extender enthält.

Insgesamt wurden 15 Fahrzeuge der Zentrale des ASTRA während sechs Monaten mit GPS-Dataloggern überwacht. Um eine ausführliche Analyse zu gewährleisten, umfasst die Studie auch kältere Monate, um saisonsspezifische Bedingungen mit einzubeziehen. Die Wintermonate werden dazu mit den Winterreichweiten der BEVs simuliert.

## 2 Forschungsmethodik

In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise erklärt. Die Methode der Datenerfassung, der Datenverarbeitung und die Auswertungskriterien werden erläutert.

### 2.1 Datenerfassung

Die 15 Fahrzeuge der Zentrale des ASTRA wurden während 6 Monaten, vom 1. Mai 2012 bis Ende Oktober 2012, gleichzeitig mit GPS-Datenloggern überwacht. Die Analyse berücksichtigt die Wintermonate mit der Simulation der Winterreichweiten der BEVs. Das Zuschalten der Heizung im Winter oder der Klimaanlage im Sommer erhöhen den Stromverbrauch und verringern dementsprechend die Reichweite.

Die Logger wurden fix in den Fahrzeugen montiert. Während des Projektes hat das ASTRA-Personal die Arbeiten mit der regelmässigen Kontrolle der Fahrzeuge unterstützt. Das ASTRA informierte zu Beginn sowie Ende der Studie intern via Intranet über das Projekt.

Um von den Personen (ASTRA Mitarbeiter) unabhängig zu sein und relevante Messwerte zu sichern, wurden automatische Datenschreiber verwendet. GPS Tracker haben die Daten der Fahrzeuge gespeichert. Die vom GPS Tracker erfassten Daten sind:

- Länge der Fahrt
- Dauer der Fahrt
- Unterbrechung der Fahrt
- Standzeiten und Standort während der Verwendungsdauer
- Topographie der Fahrstrecke

Das Online Tracking Portal<sup>1</sup> hat die Daten der Tracker per GSM-GPRS mit einer Trackingrate von einer Messung je 5 Sekunden empfangen. Die Daten wurden dann unter einem ausgewählten Benutzernamen (Fahrzeug Identifikation) gespeichert, somit konnte man die Informationen Online jederzeit abrufen. Die Vorteile dieser Datenerfassung sind, dass eine Echtzeitabfrage der Daten möglich ist und es damit auch eine Kontrollfunktion anbietet (falls ein GPS Tracker kein Signal überträgt, ist dies sofort erkennbar).

In der Abbildung 1 sieht man ein Snapshot des Online Trackingportals der Firma GPS Vision, mit den 15 beobachteten Fahrzeuge der ASTRA Zentrale.

---

<sup>1</sup> GPS Vision Online Portal <http://gpsvision.biz/runtime/gpsvision.html?numIconsToShowCurrent=1>

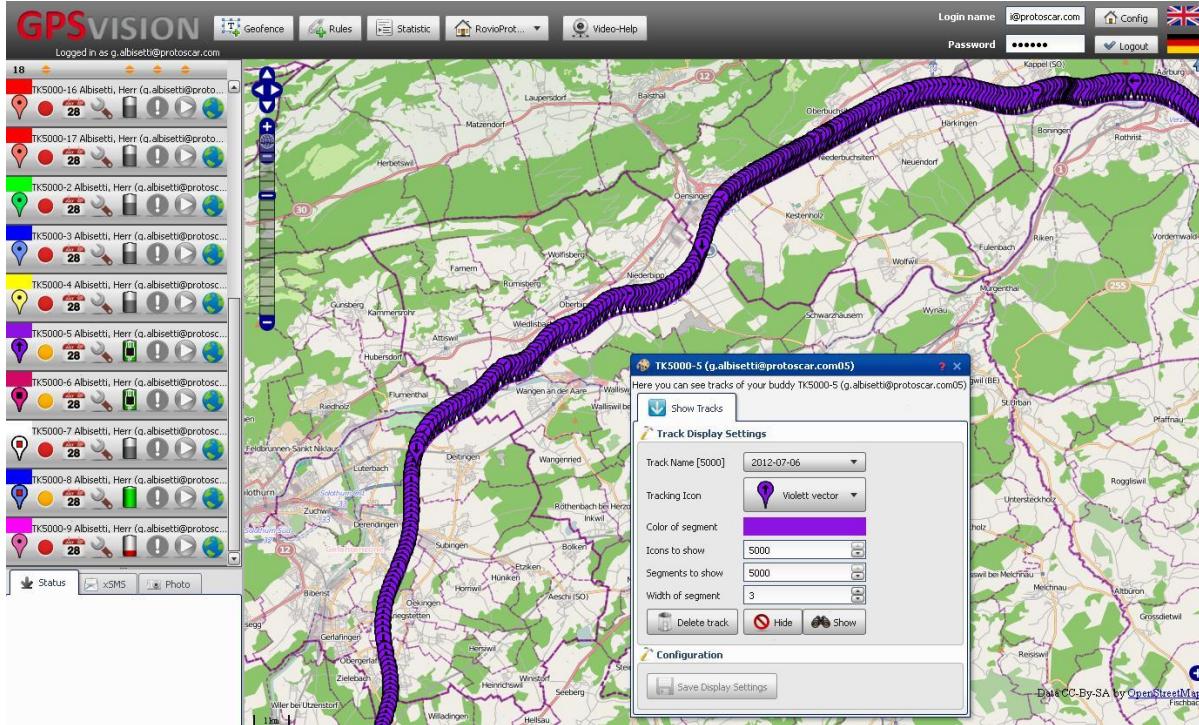


Abbildung 1: Snapshot des Online Trackingportals.

Um den Datenschutz zu gewährleisten konnte Protoscar nur die GPS-Daten und das Kennzeichen des Autos, während das ASTRA nur die Informationen aus dem Fahrtenbuch hatte. Somit konnte das ASTRA nicht auf die GPS-Daten zugreifen und Protoscar konnte nicht wissen, welcher Mitarbeiter gefahren ist.

## 2.2 Datenverarbeitung und Analyse

Das Ziel dieser Phase der Studie war, die Aufzeichnungen zu verarbeiten und zu analysieren. Für den Wagenpark wurde ein Einsatzspektrum erarbeitet um festzustellen wie die Autos eingesetzt wurden (GPS Tracker Files). Die Länge der Fahrt in Km, Topographische Angaben der Fahrstrecke sowie Lenk- und Ruhezeiten wurden ausführlich analysiert.

Die .csv Files lieferten eine enorme Datenmenge (6 Monate für 15 Fahrzeuge mit einer Trackingrate von 12 Messungen pro Minute), die mit dem eigens dafür entwickelten online Tool verarbeitet wurden. Das implementierte leistungsfähige Tool wurde nicht nur für die Datenverarbeitung optimiert, sondern auch für einen Teil der Analyse verwendet.

Die Software (SW) bietet die Möglichkeit, ein .csv File mit den Rohdaten hochzuladen und die Input-Parameter (Fahrzeugtyp und Fahrzeugdaten) zu spezifizieren. Die Software schliesst verschiedene vordefinierte Fahrzeuge ein: einerseits die von der ASTRA Zentrale bestehenden PKWs und andererseits die wahrscheinlichsten Ersatzalternativen an e-Fahrzeugen. Es besteht auch die Möglichkeit, andere kundenspezifische Fahrzeuge in der Software zu integrieren. Für die gewünschte Zeitdauer der Messung und je nach Antriebstechnologie des selektierten Fahrzeugs generierte die SW eine .xls Datei mit der vollständigen Analyse der Fahrten in der folgende Output-Parameter im Vordergrund stehen:

- Gesamtkilometerzahl

- Gesamtfahrzeit
- Gesamtverbrauch
- Gesamt Höhenunterschied
- Gesamt CO<sub>2</sub> Produktion
- Anzahl an gesamten Fahrten

Die durchschnittlichen Werte:

- Kilometer pro Tag
- Mittlere Geschwindigkeit
- Verbrauchte Energie pro Tag
- CO<sub>2</sub> Produktion pro Tag

Für BEV und PHEV/REEV-Fahrzeuge werden zusätzliche Parameter berechnet:

- Anzahl an gesamten Ladungen
- Ladezeiten
- Anteil an regenerierter Energie
- Möglichkeit die komplette Strecke rein elektrisch zu fahren

Die Abbildungen 2 (Skoda Octavia) und 3 (Nissan Leaf) zeigen, wie man in der SW die zu analysierenden Daten hochladen kann und mit welchem Parameter für jedes Fahrzeug die Simulation durchgeführt wird.

Mass [kg]	1410
A-front [m <sup>2</sup> ]	2.171
CX	0.308
eff EL	0.00
eff ICE	0.29
eff REC	0.00
batt energy	0.00
g CO <sub>2</sub> /km	129

Abbildung 2: SW für die Datenverarbeitung und -Analyse (Beispiel Skoda Octavia)

The screenshot shows the Protoscar GPS Data Analysis software interface. At the top left is the logo "Protoscar" and "CLEANCAR SHAPERS". Below it is a section titled "GPS Data Analysis" with the sub-section "Select your vehicle". There are two radio buttons: "Predefined" (selected) and "Custom". A dropdown menu shows "Nissan Leaf BEV" and a "Default" dropdown. To the right is a blue Nissan Leaf BEV. Below the car is a table of technical data:

Mass [kg]	1525
A-front [m <sup>2</sup> ]	2.305
CX	0.29
eff EL	0.84
eff ICE	0
eff REC	0.4
batt. energy	24
g CO <sub>2</sub> /km	0

Three red boxes highlight specific features:

- A red box around the "Fahrzeugtyp / Antriebstyp auswählen" section.
- A red box around the "Default / Sommer / Winter Bedingungen auswählen" section.
- A red box around the "Technische Daten" section.

Below the table are input fields: "Tag (optional)" (text input), "Select file to process (must be .csv):" (file input), "Sfoglia..." (button), and "Upload CSV" (button).

Abbildung 3: SW für die Datenverarbeitung und -Analyse (Beispiel Nissan Leaf)

Für die BEVs und PHEVs/REEVs kann man zusätzlich die saisonalen Bedingungen für die Simulation auswählen: Winter, Sommer oder Default. Die Bedingungen sind wie folgt definiert: „Default“ heisst ohne Klimaanlage oder Heizung, „Winter“ berücksichtigt eine grosse Heizleistung und „Sommer“ eine mässige Leistung der Klimaanlage.

Die Simulation wurde zuerst mit den 15 reellen Fahrzeugen der ASTRA Zentrale durchgeführt. Danach wurden die Simulationen mit BEVs (Beispiel Nissan Leaf) und PHEVs/REEVs (Beispiel Opel Ampera) vorgenommen, beide mit verschiedenen saisonalen Bedingungen, um den Einfluss auf die Reichweite zu bestimmen.

Je nach Antriebstechnologie des Fahrzeugs benutzt die SW verschiedene Parameter. Wichtig zu erwähnen ist, dass die Analyse pro Tag gemacht wird. Der neue Tag fängt um 00:00 an. Im Folgenden wird erklärt wie das Tool funktioniert und wie die Resultate vom Kapitel 3 zustande gekommen sind.

### Die Logik für BEVs

Für reine e-Fahrzeuge errechnet die SW am Ende jeden Tages die wichtigste Information: ob die gefahrene/n Fahrt/en am Tag X mit Elektroantrieb gefahren werden konnte/n oder nicht. Wenn ja, spricht man von einem „grünen Einsatztag“, wenn nicht von einem „roten Einsatztag“ (siehe nächste Abbildungen).

Die Logik um das zu berechnen sieht folgendermassen aus: es wird zuerst geprüft ob die erste Fahrt (Activity) möglich ist. Hier wird die Bilanz mit der restlichen Energiemenge erstellt (nicht nur mit der Kilometerleistung berechnet sondern mit GPS- sowie Fahrzeugdaten und den Gesetzen der Physik). Wenn die erste Fahrt möglich ist, ist sie „grün“ und der Prozess geht weiter. Falls sie nicht möglich ist, hat man sofort einen „roten Einsatztag“.

Ist die erste Fahrt „grün“ wird beim nächsten Standort überprüft, ob eine Ladung möglich ist. Falls ja wird das Auto geladen und gemäss Ladedauer wird eine gewisse Energiemenge der Batterie hinzugefügt. Falls nicht, fährt man mit gleichgebliebenem Energieniveau weiter. Die Logik ist in der Abbildung 4 dargestellt. Am Ende von X Fahrten an einem Tag Y ist man schlussendlich in der Lage festzulegen, ob der Einsatztag für ein bestimmtes Elektrofahrzeug „grün“ oder „rot“ ist.

Die Logik für BEVs

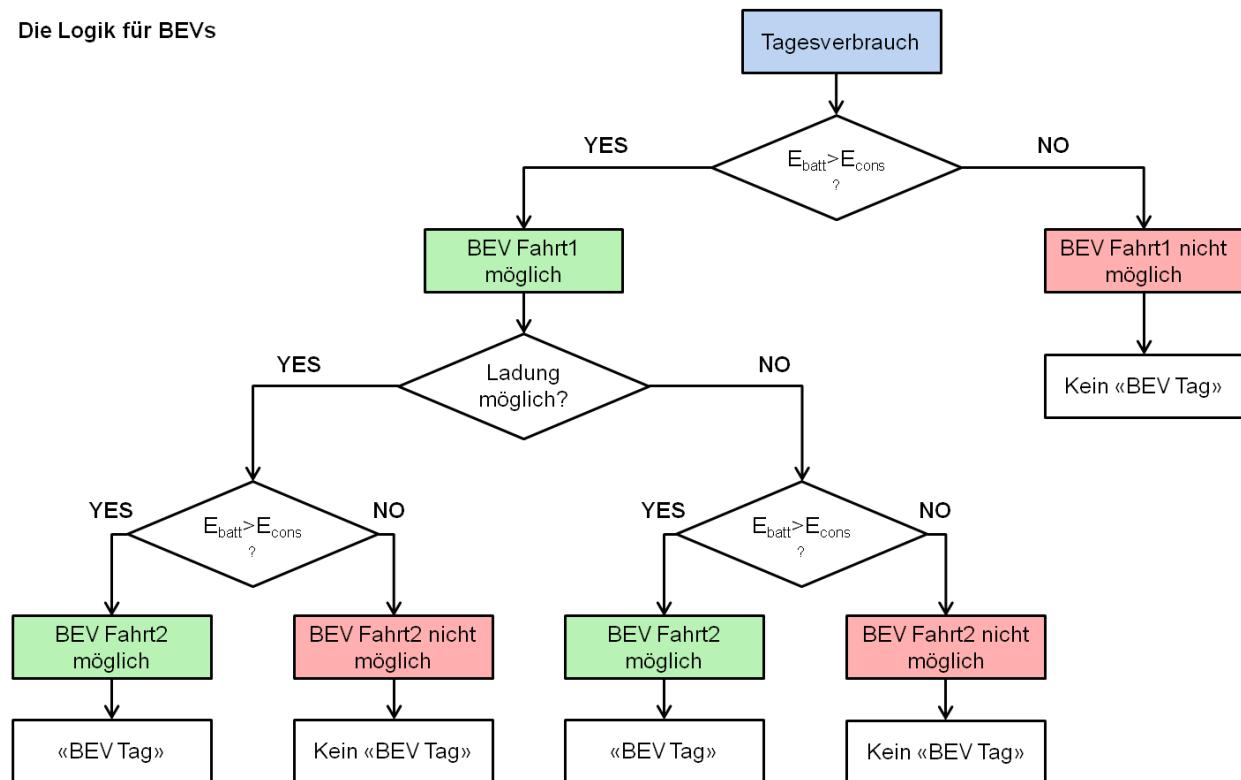


Abbildung 4: Die Logik für BEVs

Bei den BEVs wird das Überprüfen der Möglichkeit einer Ladung durch die folgenden 3 Ansätze ausgeführt.

- Szenario 1 - konservativ: bei der Zentrale und den Filialen steht die Normalladung (3kW) immer zur Verfügung.
- Szenario 2 - Schnellladung: bei der Zentrale und den Filialen ist die Schnellladung (20kW) zur Verfügung.
- Szenario 3 - EVite: Die Schnellladung (20kW) ist auf allen 55 Autobahnraststätten der Schweiz verfügbar.

Bei allen Szenarien wird angenommen, dass das Fahrzeug während der totalen Standzeit geladen wird, auch wenn es für die nächste Fahrt nicht erforderlich ist.

Die untenstehende Tabelle illustriert die Distanzen zwischen den ASTRA Standorten. In Grün sind die mit BEVs fahrbaren Strecken abgebildet. In Gelb sind die Strecken angezeigt, die nur im sparsamen Fahrmodus mit BEVs erreichbar sind,. Die Strecken die mit den meisten BEVs von heute nicht fahrbar sind, sind rot dargestellt.

	ittigen	estavayer	thun	zofingen	emmen	winterthur	bellinzona
ittigen		60	31	65	104	145	250
estavayer	60		88	119	157	197	301
thun	31	88		94	102	172	219
zofingen	65	119	94		40	82	189
emmen	104	157	102	40		85	146
winterthur	145	197	172	82	85		211
bellinzona	250	301	219	189	146	211	

Tabelle 1: Distanzen in Km zwischen den ASTRA Standorten

### Die Logik für PHEVs und REEVs

Für die REEVs ist die Logik ziemlich ähnlich wie bei den BEVs. Hier ergibt die SW am Ende jeden Tages die wichtigste Information: ob die gefahrene/n Fahrt/en an dem Tag X nur mit Elektroantrieb gefahren werden konnte/n oder ob der angekoppelte Verbrennungsmotor eingesetzt wurde. In diesem letzten Fall liefert die SW auch die Angaben, welcher Anteil an Energie und Laufleistung mit den zwei Antriebstechnologien verbraucht oder gefahren wurde.

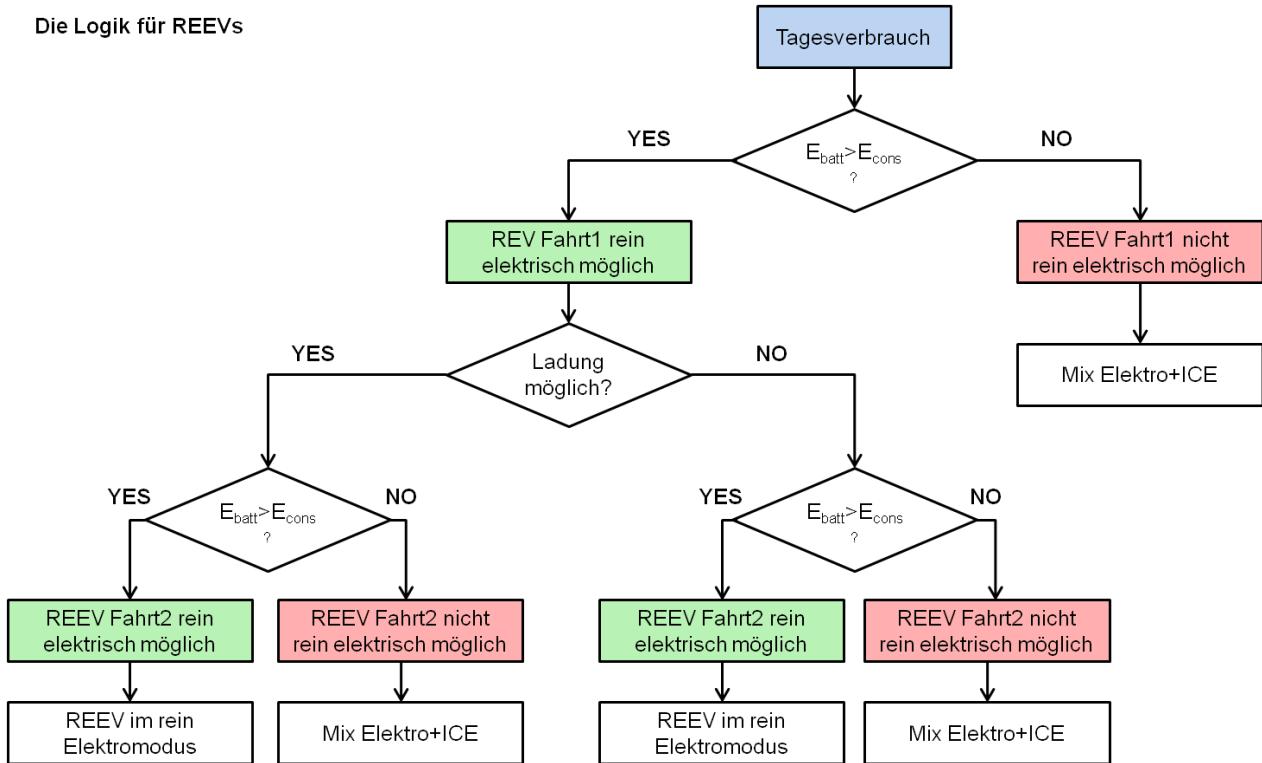


Abbildung 5: Die Logik für REEVs

Die Logik, um das zu berechnen, sieht folgendermassen aus: es wird zuerst geprüft ob die erste Fahrt (Activity) nur im Elektromodus fahrbar ist. Hier wird die Bilanz der restlichen

Energiemenge erstellt, dies nicht nur aufgrund der Kilometerleistung sondern auch mit GPS- und Fahrzeugdaten sowie den Gesetzen der Physik. Beim nächsten Standort wird überprüft, ob eine Ladung möglich ist. Falls ja wird das Fahrzeug geladen und gemäss Ladedauer wird eine gewisse Energiemenge der Batterie hinzugefügt. Falls nicht fährt man mit gleicher Energie weiter. Die Logik ist in der untenstehenden Abbildung dargestellt. Am Ende der X Fahrten an einem Tag Y ist man in der Lage festzulegen, wie die zwei Antriebstechnologien die Fahrten und die Verbräuche charakterisiert haben.

Da PHEVs und REEVs allgemein keine Schnellladung erlauben, wird bei dem Überprüfen der Möglichkeit einer Ladung nur der erste Ansatz berücksichtigt:

- Szenario 1 - konservativ: bei der Zentrale und den Filialen steht die Normalladung (3kW) immer zur Verfügung.

Bei allen Szenarien wird angenommen, dass das Fahrzeug während der totalen Standzeit geladen wird, auch wenn es für die nächste Fahrt nicht erforderlich ist.  
Die Abbildung 6 illustriert ein numerisches Beispiel für einen mit REEV gefahrenen typischen Einsatz. In Rot wir die Energiekapazität der Batterie (SOC) dargestellt, abhängig von Reise- und Ladezeiten.

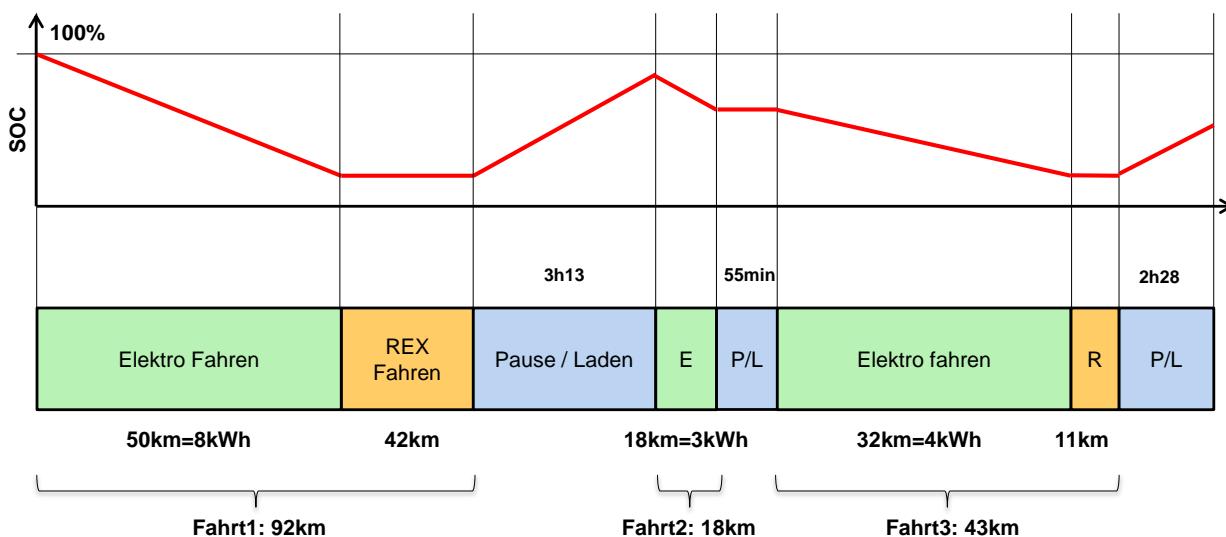


Abbildung 6: Numerisches Beispiel für REEVs-Energiebilanz

## 2.3 Auswertungskriterien

Die gewählten Kriterien, welche sowohl die Auswirkung auf die Energie und auf die CO<sub>2</sub>-Belastung sowie den finanziellen Aspekt berücksichtigen, ermöglichen einen ausgewogenen Benchmark für die späteren Empfehlungen zum Flottenwechsel.

### 2.3.1 Total Cost of Ownership (TCO)

Die Total Cost of Ownership wurden auf der Basis der jährlichen Fahrleistung ausgerechnet, um eine Kostenabschätzung zu ermöglichen. Um genaue Daten zu gewährleisten, wurden diese Berechnungen aufgrund der Informationen der GPS Tracker gemacht.

Es wurden nicht nur die Anschaffungskosten sondern auch die Nutzungskosten der Fahrzeugflotte berücksichtigt. Die Idee dabei ist der Gesamtvergleich der Kostenabschätzung der jetzigen Flotte mit der vorgeschlagenen Ersatzflotte.

### 2.3.2 CO<sub>2</sub>-Ausstoss und Energieverbrauch

Das Ziel der CO<sub>2</sub>-Ausstoss- und Energieverbrauchsanalyse ist, eine messbare CO<sub>2</sub>- und Energieverminderung bei einem Flottenwechsel nachweisen zu können.

Es wurden die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Ausstoss für bestehende und Ersatzflotte ohne Produktionskette [Tank-to-Wheel]) und die Energieeinsparungen von dem Ersatz berechnet<sup>2</sup> (anhand der Simulationen und der stöchiometrischen Verbrennung, nicht mit dem NEDC Zyklus Werte), sodass es nachvollziehbar ist, in welchem Mass ein Austausch der Fahrzeuge auf die Umwelt auswirkt.

---

<sup>2</sup> Wenn man keine reale Fahrzeugen wie in dieser Studie hätte, könnten eventuell für die Berechnung des Energieverbrauchs und des CO<sub>2</sub> Ausstossen andere Analysetools benutzt werden, wie z.B. Optiresource (siehe Anhang 1).

### 3 Resultate der Analyse

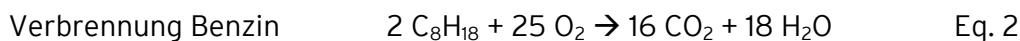
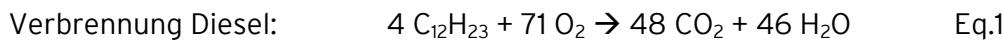
In diesem Kapitel werden die Resultate der Studie vorgestellt. Dabei wird auf die Flotte der ASTRA Zentrale eingegangen und die Daten der reell in den sechs Monaten gefahrenen Strecken werden beschrieben. Um einen Vergleich zu ermöglichen, wurden die Simulationen sowohl für die reelle Flotte als auch für die möglichen Ersatzfotten durchgeführt.

#### 3.1 Die Flotte der ASTRA Zentrale

##### 3.1.1 Beschreibung

Im Jahr 2011 bestand die ASTRA Flotte aus folgenden 16 Fahrzeugen: 1 Hybrid (Prius) und 1 mit Benzin betriebenes Auto (A-Klasse), alle anderen waren mit Diesel betriebene Fahrzeuge, wie in Tabelle 2 dargestellt. Diese Daten stammen aus den Fahrtenbüchern des ASTRA.

In Grün sind die Fahrzeuge abgebildet, die noch im Einsatz sind. Die Roten wurden in der Zwischenzeit mit 4 neuen Skoda Octavia ersetzt: darum reduziert sich die Flotte im 2012 auf 15 Fahrzeuge. Aus den Fahrtenbüchern kann man erkennen, dass im 2011 jedes Fahrzeug durchschnittlich 129 Arbeitstage im Einsatz war und durchschnittlich pro Einsatztag 160 km gefahren ist. Insgesamt hat die Flotte fast 20'000 Liter Kraftstoff verbraucht (Durchschnitt 6.1 l/100km) und etwa 50 Tonnen CO<sub>2</sub> produziert. Für diese Kalkulation, wurden die stöchiometrischen Verhältnisse der chemischen Verbrennungsreaktion vereinfacht, berücksichtigt.



Fzg Typ	km 2011	einsatztage	km/einsatztag avg	treibstoff liter	l/100km avg	g/km fuel	g/km CO <sub>2</sub>	t tot CO <sub>2</sub> ausstoss
1 Skoda Octavia G	28'630	152	188.4	1'655	5.78	48	151	4.336
2 Skoda Octavia B (fach)	14'094	90	156.6	806	5.72	47	150	2.112
3 Citroen C5 (direktion)	9'764	62	157.5	602	6.17	51	162	1.577
4 Toyota Prius	26'068	150	173.8	1'252	4.80	36	111	2.894
5 Mercedes A-Klasse	20'446	155	131.9	1'475	7.21	54	167	3.410
6 Skoda Octavia B	20'622	148	139.3	1'172	5.68	47	149	3.070
7 Peugeot 607	28'735	155	185.4	1'736	6.04	50	158	4.548
8 Skoda Fabia	15'201	120	126.7	835	5.49	46	144	2.188
9 Skoda Fabia	21'121	134	157.6	1'122	5.31	44	139	2.940
10 Skoda Octavia G	15'963	170	93.9	1'036	6.49	54	170	2.714
11 Skoda Octavia B	32'248	177	182.2	1'810	5.61	47	147	4.742
12 Renault Velsatis	28'139	145	194.1	1'885	6.70	56	176	4.938
13 Skoda Octavia alt1	23'152	128	180.9	1'396	6.03	50	158	3.657
14 Skoda Octavia alt2	22'211	123	180.6	1'362	6.13	51	161	3.568
15 Skoda Octavia alt3	21'291	132	161.3	1'242	5.83	48	153	3.254
16 VW Golf	2'681	18	148.9	190	7.09	59	186	0.498
tot			tot			tot		
[km]	330'366		[liter]	19'576		[g/km]	50.446	
avg	129	159.9	avg	1'224	6.108	48.522	152.698	3.153

Tabelle 2: Zusammenfassung der Mobilität der ASTRA Flotte im 2011.

Die vom 1. Mai 2012 bis Ende Oktober 2012 analysierte Flotte besteht aus 15 Fahrzeugen der Zentrale des ASTRA. Der Fuhrpark enthält die folgenden Autos:

- 9 Skoda Octavia



- 2 Skoda Fabia



- 1 Citroën C5



- 1 Toyota Prius



- 1 Mercedes A-Klasse



- 1 Peugeot 607



Die Flotte ist in der untenstehenden Abbildung dargestellt. Die Nummern dienen zur späteren Erkennung der Resultate. In Blau sind die neuen Fahrzeuge markiert, welche seit 2012 im Einsatz sind. Beim Direktionsfahrzeug wurde der Logger erst am 15 Mai installiert: die Analyse umfasst deshalb nur 5.5 Monate und nicht 6 Monate wie bei den anderen Fahrzeugen.

Fzg Typ
1 Skoda Octavia G
2 Skoda Octavia B (fach)
3 Citroen C5 (direktion)
4 Toyota Prius
5 Skoda octavia neu3
6 Mercedes A-Klasse
7 Skoda Octavia B
8 Peugeot 607
9 Skoda Fabia
10 Skoda Fabia
11 Skoda Octavia neu2
12 Skoda Octavia G
13 Skoda Octavia B
14 Skoda Octavia neu1
15 Skoda Octavia neu4

Tabelle 3: Die Zusammensetzung der überwachten ASTRA Flotte.

### 3.1.2 Simulation

Die Simulation der reellen Flotte ist notwendig für einen späteren Vergleich mit der Simulation der BEVs und PHEV/REEVs. In der Software wurden folgende Fahrzeuge registriert: Skoda Octavia, Skoda Fabia, Toyota Prius und Citroen C5. Bei der Simulation wurde in der Software für den Mercedes ein Skoda Octavia und für den Peugeot 607 ein Citroen C5 benutzt, weil das Segment ähnlich ist und es keine TCO Daten für die ausgeschlossenen Fahrzeuge gab. Die untenstehende Tabelle illustriert die Inputparameter für die Simulation. Die Fahrzeugdaten stammen aus den Datenblättern der verschiedenen Automobilhersteller. Für die Bestimmung der Wirkungsgrade wurde der NEDC Zyklus modelliert (Abbildung 7) und anhand der Zyklusverbräuche die „mittleren“ Wirkungsgrade extrapoliert.



		Skoda Fabia D	Skoda Octavia D	Citroen C5 D	Toyota Prius 2
<b>Masse</b>	[kg]	<b>1210</b>	<b>1410</b>	<b>1410</b>	<b>1250</b>
<b>Frontale Fläche</b>	[m <sup>2</sup> ]	<b>2.039</b>	<b>2.171</b>	<b>2.200</b>	<b>2.113</b>
<b>c<sub>x</sub></b>	[ $\cdot$ ]	<b>0.300</b>	<b>0.308</b>	<b>0.300</b>	<b>0.290</b>
<b>cda</b>	[m <sup>2</sup> ]	<b>0.612</b>	<b>0.669</b>	<b>0.660</b>	<b>0.613</b>
<b>Wirkungsgrad ICE</b>	[ $\cdot$ ]	<b>0.295</b>	<b>0.29</b>	<b>0.27</b>	<b>0.325</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Ausstoss</b>	[g/km]	<b>109</b>	<b>129</b>	<b>135</b>	<b>89</b>
<b>Verbrauch NEDC-Zyklus</b>	[l/100km]	<b>4.2</b>	<b>4.9</b>	<b>5.2</b>	<b>3.9</b>

Tabelle 4: Inputparameter für die Simulation der reellen Flotte.

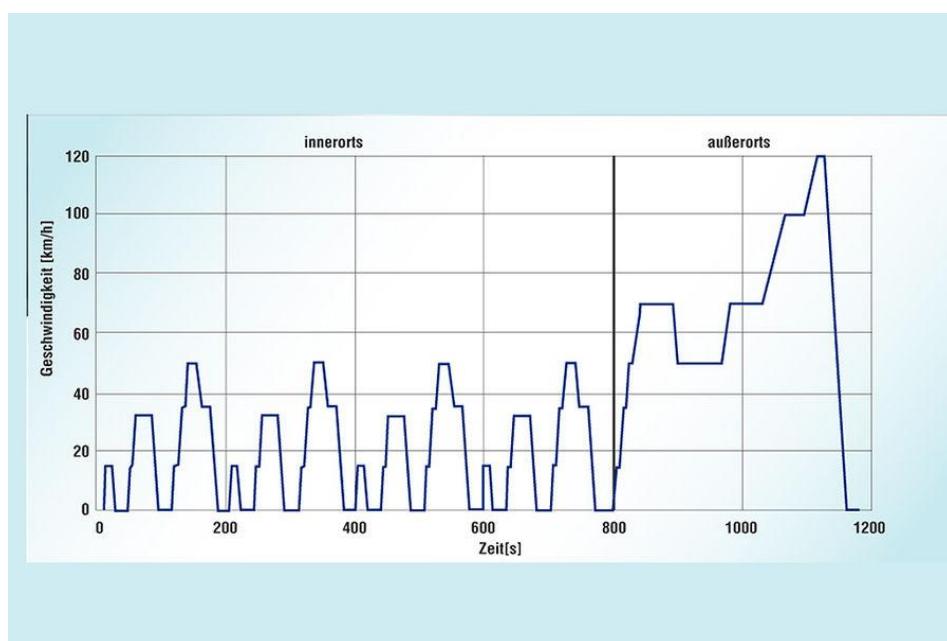


Abbildung 7: Schema des NEDC Zyklus für die Berechnung der Wirkungsgrade.

### 3.1.3 Mobilitätsbedarf der Flotte

Tabelle 5 fasst den Mobilitätsbedarf der ASTRA Flotte während der sechs überwachten Monate zusammen. Von den gesamt 184 überwachten Tagen waren 129 Arbeitstage. Die 15 Fahrzeuge der ASTRA Flotte hatten insgesamt 1091 Einsätze (1068 ohne Einsätze an Ferientagen). Durchschnittlich waren die Fahrzeuge während den sechs Monaten 73 Tage unterwegs (71 ohne Ferientage), dies entspricht einem Einsatzgrad von 55%. Das meist benutzte Fahrzeug war #12 (Skoda Octavia), das an 80% der Arbeitstage im Einsatz war, während das am wenigsten benutzte Auto mit Einsätzen an 34% der Arbeitstage Fahrzeug#3 (Direktionsfahrzeug C5) war.

OVERALL ANALYSIS																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	SUM	Avg
total days monitored	184	184	170	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	184	2746	183
total working days	129	129	119	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	1925	128
total holiday days	55	55	37	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	807	54
total moving days without weekends	86	60	41	70	94	67	59	84	67	46	72	103	84	86	49	1068	71
total moving days with weekends																1091	73
moving/total days	47%	33%	24%	38%	51%	36%	32%	46%	36%	25%	39%	56%	46%	47%	27%		39%
moving/working days	67%	47%	34%	54%	73%	52%	46%	65%	52%	36%	56%	80%	65%	67%	38%		55%

Tabelle 5: Zusammenfassung der Mobilität der ASTRA Flotte während 6 Monate.

Die Abbildung 8 zeigt das Spektrum der Benutzung der Fahrzeuge. Man kann sehen, dass die Gauss Glocke einen Mittelwert von 8.34 Fahrzeugen pro Arbeitstag im Einsatz aufweist. Es gibt nur 11 Tage, an welchen mehr als 80% der Fahrzeuge unterwegs sind (9% der Tage). Während dem gesamten überwachten Zeitraum gibt es keinen Tag, an dem alle 15 Fahrzeuge gleichzeitig unterwegs waren.

### # Tage mit X Fahrzeuge im Einsatz

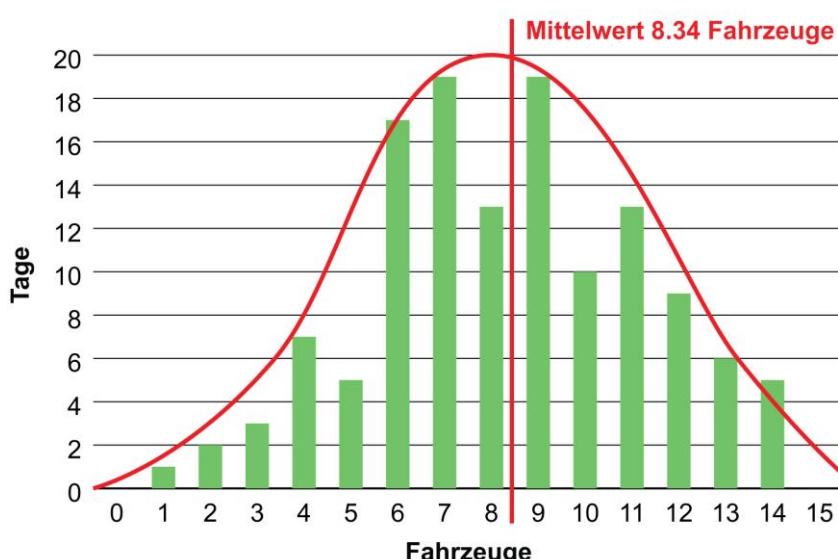
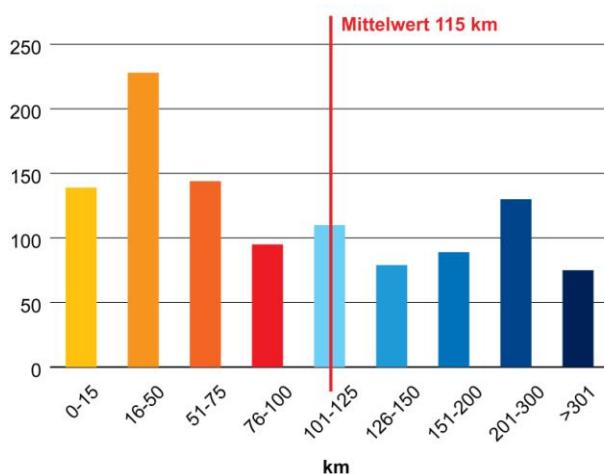


Abbildung 8: Spektrum der Benutzung der 15 ASTRA Fahrzeuge.

Wenn man das Spektrum der Laufleistung pro Einsatz und pro Fahrzeug ansieht, merkt man auf Anhieb, dass es recht gleichmässig verteilt ist (Abbildungen 9). An mehr als einem Viertel der Einsätze wurden Autobahnstrecken zurückgelegt, die länger als 150 km sind. Auf der anderen Seite, sieht man, dass mehr als ein Drittel der Einsätze eine kürzere Distanz als 50 km aufweisen. 13% der gefahrenen Strecken sind sogar kürzer als 15 km: eine Distanz die theoretisch auch mit einem Elektrofahrrad gefahren werden könnte, wenn keine Spezialtransporte anstehen. Die Fahrzeuge sind an 56% der Einsätze weniger als 100km gefahren (Abbildung 10). Die mittlere Laufleistung beträgt 115 km, und liegt deshalb tiefer als die 160 km des Jahres 2011. Es gibt verschiedene mögliche Ansätze, um zu versuchen, diese Tatsache zu erklären:

- Die Mobilitätstrategie wurde optimiert. Die Fahrten sind mit mehr Sorgfalt geplant worden.
- Im Sommer fahren die Fahrzeuge kürzere Strecken im Vergleich zum ganzen Jahr.
- Einige Tracker wurden manchmal ausgesteckt. Die regelmässigen Kontrollen während der Projektphase schliessen diese Problematik jedoch praktisch aus. Die Fehlerquote liegt hier unterhalb der 5% Grenze.
- Das geographische Projektprofil des ASTRA könnte sich verändert haben.

**Spektrum Km-Leistung pro Einsatztag**



**Spektrum Km-Leistung pro Einsatztag**

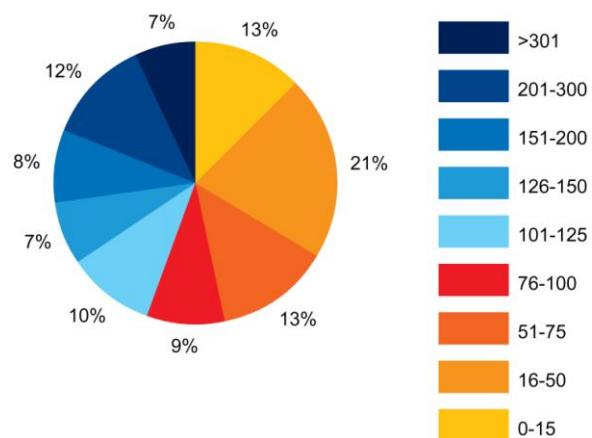


Abbildung 9: Spektrum der Laufleistung pro Einsatztag.

**Laufleistung pro Einsatztag**

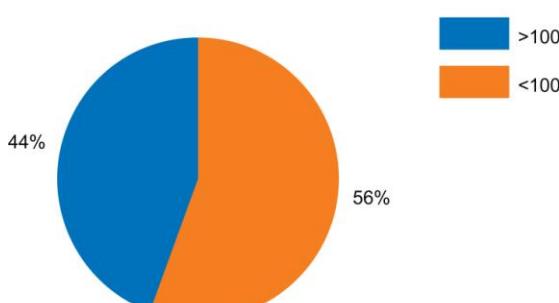


Abbildung 10: Spektrum der Laufleistung pro Einsatztag.

### 3.1.4 Ergebnisse bestehende Flotte

Tabelle 6 fasst die Resultate der Simulation für die reelle Flotte zusammen. Über die 1091 Tage sind 2800 Einzelfahrten gefahren worden. Das entspricht 2.57 Fahrten pro Einsatztag und 45 km pro Einzelfahrt. Die Fahrzeuge waren durchschnittlich 1.8 Stunden pro Tag unterwegs, und haben etwa 1200m Höhenunterschied bewältigt. Die mittlere Motorenleistung war 12.2 kW und die gesamt verbrauchte Energie 80.6 MWh (etwa 8'200 Liter Kraftstoff). Der mittlere Kraftstoffverbrauch ist 6.5 Liter/100km. Dieser simulierte Wert weicht weniger als 7% von dem durchschnittlichen Verbrauchswert aus den Fahrtenbüchern 2011 (6.1 l/100km) ab.

Die Flotte hat insgesamt über 6 Monate 21.4 Tonnen CO<sub>2</sub> produziert (19.6 Kg pro Tag pro Fahrzeug). Der mittlere CO<sub>2</sub> Ausstoss der ASTRA Flotte ist 170 g/km. Diese Zahl ist das Ergebnis der Simulation unter realen Bedingungen und ist somit grösser als der angegebene NEDC Zyklus Wert.

Für die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses wurden die Verbrauchsdaten der Simulation und die Stöchiometrie der Gleichungen Eq.1 und Eq.2 (oben beschrieben) angewendet.

FLOTTE 6 MONTHS													
Overall Total													
Days #	Activities #	Time [h]	Distance [km]	Gain+ [m]	Gain- [m]	E_tot_cum [kWh]	E_cons_norec [kWh]	cons_avg_norec [kWh/km]	cons_avg_norec [l/100km]	CO2 [kg]	CO2 [gCO2/km]	cons_tot [liter]	
1091	2800	1954.08	125'525	1'393'650	-1'248'903	23'343	80'691	0.643	6.56	21'438	170.79	8'234	
Overall Average Day													
Days #	Activities #	Time [h]	Distance [km]	Gain+ [m]	Gain- [m]	E_tot_cum [kWh]	E_cons_norec [kWh]	cons_avg_norec [kWh/km]	cons_avg_norec [l/100km]	CO2 [kg]	CO2 [gCO2/km]	cons_tot [liter]	
1	2.57	1.79	115.05	1277	-1145	21.40	73.96	0.643	6.560	19.65	170.79	7.55	

Tabelle 6: Zusammenfassung der Simulation für die reelle Flotte<sup>3</sup>.

In den nächsten Kapiteln werden die vollständigen Resultate für BEV und REEV Fahrzeuge gemäss Tabelle 7 für die verschiedenen Szenarien dargestellt.

	Szenario1		Szenario2		Szenario3	
	Normalladung (3kW) ASTRA		Schnellladung (20kW) ASTRA		Schnellladung (20kW) ASTRA & Autobahn	
	Defautbedingungen	Winterbedingungen	Defautbedingungen	Winterbedingungen	Defautbedingungen	Winterbedingungen
BEV	Nissan Leaf	Nissan Leaf	Nissan Leaf	Nissan Leaf	Nissan Leaf	Nissan Leaf
BEV	Mitsubishi iMiev	Mitsubishi iMiev	Mitsubishi iMiev	Mitsubishi iMiev	Mitsubishi iMiev	Mitsubishi iMiev
REEV	Opel Ampera	Opel Ampera				

Tabelle 7: Overview der Simulationen, 3 Szenarien unter Default- und Winterbedingungen.

Wie man schon im Kapitel 2 erläutert hat, sind die 3 Szenarien durch die folgenden Aspekte charakterisiert.

- Szenario 1 - konservativ: bei der Zentrale und den Filialen steht die Normalladung (3kW) immer zur Verfügung.
- Szenario 2 - Schnellladung: bei der Zentrale und den Filialen ist die Schnellladung (20kW) zur Verfügung.
- Szenario 3 - EVite: Die Schnellladung (20kW) ist auf allen 55 Autobahnraststätten der Schweiz verfügbar.

<sup>3</sup> Der Unterschied zwischen gain + und gain - ergibt sich durch die Messungenauigkeit der GPS-Geräte.

## 3.2 Die hypothetische BEV Flotte

### 3.2.1 Beschreibung

In diesem Fall wird angenommen, dass alle 15 Fahrzeuge reine BEV sind. Wenn man davon ausgeht, dass keine Mobilitätseinbussen hingenommen werden wollen, ist diese Annahme wegen der reduzierten Reichweite der Elektrofahrzeuge in der Realität nicht machbar, auch nicht mit Szenario 3 (Schnellladung bei den Autobahnrasenstätten). Diese Annahme dient der Berechnung des Energieverbrauchs und des CO<sub>2</sub>-Ausstosses im Idealfall, bei dem alle BEV an jedem Tag mit Energieüberschuss zum Ziel gelangen. Die Resultate werden im Kapitel 4 benutzt und kombiniert um die optimale Flotte zu ermitteln.

### 3.2.2 Simulation

In der Datenbank der Analysesoftware sind die Elektrofahrzeuge der Tabelle 8 registriert. Für jedes Fahrzeug kann die Simulation unter 3 verschiedenen saisonalen Bedingungen aufgeführt werden (Default, Sommer und Winter).

	Mitsubishi iMiev	Nissan Leaf	Renault Fluence
<b>Masse [kg]</b>	<b>1080</b>	<b>1525</b>	<b>1610</b>
<b>Frontale Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>1.988</b>	<b>2.305</b>	<b>2.250</b>
<b>c<sub>x</sub> [-]</b>	<b>0.35</b>	<b>0.29</b>	<b>0.31</b>
<b>cda [m<sup>2</sup>]</b>	<b>0.696</b>	<b>0.668</b>	<b>0.698</b>
<b>Wirkungsgrad BEV</b>	<b>0.860</b>	<b>0.830</b>	<b>0.860</b>
<b>Wirkungsgrad Rekuperieren</b>	<b>0.400</b>	<b>0.400</b>	<b>0.400</b>
<b>Batterie Kapazität [kWh]</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>22</b>
<b>Verbrauch NEDC</b>	<b>0.107</b>	<b>0.137</b>	<b>0.137</b>
<b>Reichweite NEDC</b>	<b>150.0</b>	<b>175.0</b>	<b>185.0</b>
<b>CO<sub>2</sub> Ausstoss TTW</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Tabelle 8: Inputparameter für die Simulation der BEV Flotte.

In einer ersten Analyse werden der Nissan Leaf und der Mitsubishi i-Miev für die Simulation berücksichtigt. Für spätere Kalkulationen wird aber nur der Nissan Leaf betrachtet, da er ein

Segment der Mittelklasse (ähnlich der ASTRA Fahrzeuge) darstellt. Die i-Miev Resultate können im Anhang 2 konsultiert werden. Die BEV Flotte in der Simulation (siehe nächstes Kapitel) umfasst deshalb 15 Nissan Leaf.

Die Problematik der Reichweite bei Elektroautos muss besonders im Winter berücksichtigt werden. Auto Motor und Sport1 gemeinsam mit dem TÜV Süd in Deutschland haben den weltweit ersten Wärme-Kälteprüfstand-Vergleichstest entwickelt. Dabei gingen sie dem massiven Verlust der verfügbaren Kapazität und damit der Reichweite von Elektroautos nach. Was sind die Gründe für den Verlust der Reichweite?

Zwei Ursachen sind dafür verantwortlich: Erstens wird der Elektrolyt dickflüssiger und die elektrochemischen Prozesse laufen langsamer ab. Damit steigt der so genannte Innenwiderstand der Batterie, die nun weniger Strom und damit mindere Leistung liefert. Die Zelle verliert an verfügbarer Kapazität. Zweitens verbrauchen im Winter elektrische Fahrzeuge besonders viel Strom. Wenn bei tiefen Minustemperaturen eine elektrische Innenraum-Heizung voll in Betrieb ist, leistet diese schnell bis zu 4 KW.

Während bei einem Auto mit Verbrennungsmotor die Heizenergie im Vergleich zu den gigantischen Wärmeverlusten kaum auffällt, wird sie bei Elektroautos zum bestimmenden Faktor.

Die Testresultate verschiedener Elektrofahrzeuge weisen eine Verringerung der Reichweite (bzw. Steigerung des Energieverbrauchs) zwischen 10% und 47% auf (Quelle: Wikipedia Leaf). Für die Simulationen des Nissan Leaf wurde eine Steigerung des Energieverbrauchs im Winter von 33% berücksichtigt.

### 3.2.3 Ergebnisse BEV Flotte

Tabelle 9 fasst die Resultate der Simulation für die hypothetische BEV Flotte mit 15 Nissan Leaf unter Default Bedingungen zusammen. Es gelten logischerweise die Mobilitätsdaten der reellen Flotte. Über die 1091 Einsätze sind 2800 Einzelfahrten unternommen worden. Hier ist gemäss Fahrzeugdaten die mittlere Motorenleistung 12.7 kW, ohne regenerierte Energie. Die insgesamt verbrauchte Energie beträgt 25.4 MWh, einschliesslich regenerierter Energie, welche 14.3% beiträgt. Der mittlere Stromverbrauch ist 20.2kWh/100km, gut ein Drittel mehr als die Zyklusdaten. Die im Durchschnitt verbrauchte Energie beträgt 23.25 kWh pro Einsatztag, was genau der Energiekapazität des Akkus eines Nissan Leafs entspricht.

FLOTTE 6 MONTHS										
Overall Total										
Days #	Activities #	Time [h]	Distance [km]	Gain+ [m]	Gain- [m]	E_tot_cum kWh	E_cons_norec kWh	p_rec [%]	E_tot_inc_rec kWh	
1'091	2'800	1'954	125'525	1'393'650	-1'248'903	24'877	29'615	14.34	25'369	
Overall Average Day										
Days #	Activities #	Time [h]	Distance [km]	Gain+ [m]	Gain- [m]	E_tot_cum kWh	E_cons_norec kWh	cons_avg_inrec kWh/km	E_tot_inc_rec kWh	
1	2.57	1.79	115.05	1277	-1145	22.80	27.14	0.202	23.25	

Tabelle: Zusammenfassung der Simulation für die BEV Flotte unter Default Bedingungen.

In Tabelle 10 finden sich die Simulationsergebnisse derselben Flotte, jedoch unter winterlichen Bedingungen dargestellt. Man sieht die oben beschriebene Zunahme des Energieverbrauchs um etwa einen Drittel: Die insgesamt verbrauchte Energie liegt hier bei 35.5 MWh (mit regenerierter Energie) und der mittlere Stromverbrauch ist 28.3kWh/100km. Die im Durchschnitt verbrauchte Energie beträgt 32.55 kWh pro Einsatztag.

FLOTTE 6 MONTHS										
Overall Total										
Days #	Activities #	Time [h]	Distance [km]	Gain+ [m]	Gain- [m]	E_tot_cum kWh	E_cons_norec kWh	p_rec [%]	E_tot_inc_rec kWh	
1'091	2'800	1'954	125'525	1'393'650	-1'248'903	24'877	41'461	14.34	35'516	
Overall Average Day										
Days #	Activities #	Time [h]	Distance [km]	Gain+ [m]	Gain- [m]	E_tot_cum kWh	E_cons_norec kWh	cons_avg_inrec kWh/km	E_tot_inc_rec kWh	
1	2.57	1.79	115.05	1277	-1145	22.80	38.00	0.283	32.55	

Tabelle 9: Zusammenfassung der Simulation für die BEV Flotte unter Winter Bedingungen.

### 3.2.3.1 Szenario1: Simulation e-Fahrzeuge und 3kW Ladung (Zentrale & Filialen)

Das Szenario 1 nimmt an, dass bei der Zentrale und den Filialen die Normalladung mit 3 kW immer zur Verfügung steht. Sobald ein Fahrzeug an diesen Orten ankommt, beginnt es zu laden bis es wieder losfährt. Mit diesen Annahmen und den gespeicherten GPS Daten, liefert die berechnete Energiebilanz in der Simulation (gemäss Logik der Abbildung 4) die Resultate für jedes Fahrzeug, und ergibt am Ende die Antwort, ob der Einsatztag X für den betrachteten Nissan Leaf „grün“ oder „rot“ war.

Abbildung 11 stellt dar, wie sich die angenommene ASTRA Flotte mit 15 Elektrofahrzeugen (Default Bedingungen und Winterbedingungen) im Mai bewegt hat. Die Farben entsprechen den folgenden Bedeutungen:

- Grau: Ferientag, an dem keine Mobilität berücksichtigt wird.
- Grün: der Einsatztag ist mit einem Nissan Leaf fahrbar.
- Rot: der Einsatztag ist wegen der langen Strecke mit einem Nissan Leaf nicht fahrbar.
- Blau: Das Fahrzeug ist an dem Tag nicht gefahren.
- Violett: der Einsatztag ist wegen Winterbedingungen von grün nach rot gewechselt.

Die Abbildungen kann man entweder vertikal (wie viele Einsatztage waren für das Fahrzeug X grün/rot) oder horizontal (welche Einsatztage waren für die Flotte am meisten/wenigsten geeignet für einen Ersatz durch Elektrofahrzeuge) lesen.

Wenn man die links untenstehende Abbildung (Default-Bedingungen) vertikal liest, kann man sofort erkennen, dass 3 Fahrzeuge (#3, #6 und #10) keinen roten Einsatztag aufweisen. Wenn man hingegen die Tabelle horizontal anschaut, sind 2 Einsatztage ohne Fahrzeuge im roten Bereich und mehr als die Hälfte (11 von 21) mit 2 oder weniger Fahrzeugen im roten Bereich zu erkennen. (Fahrzeug #3 war ab 15 Mai im Einsatz). Dieses erste Resultat ist interessant und zeigt, dass das Elektrofahrzeug für die Mobilität des ASTRA eine gute Alternative sein könnte.

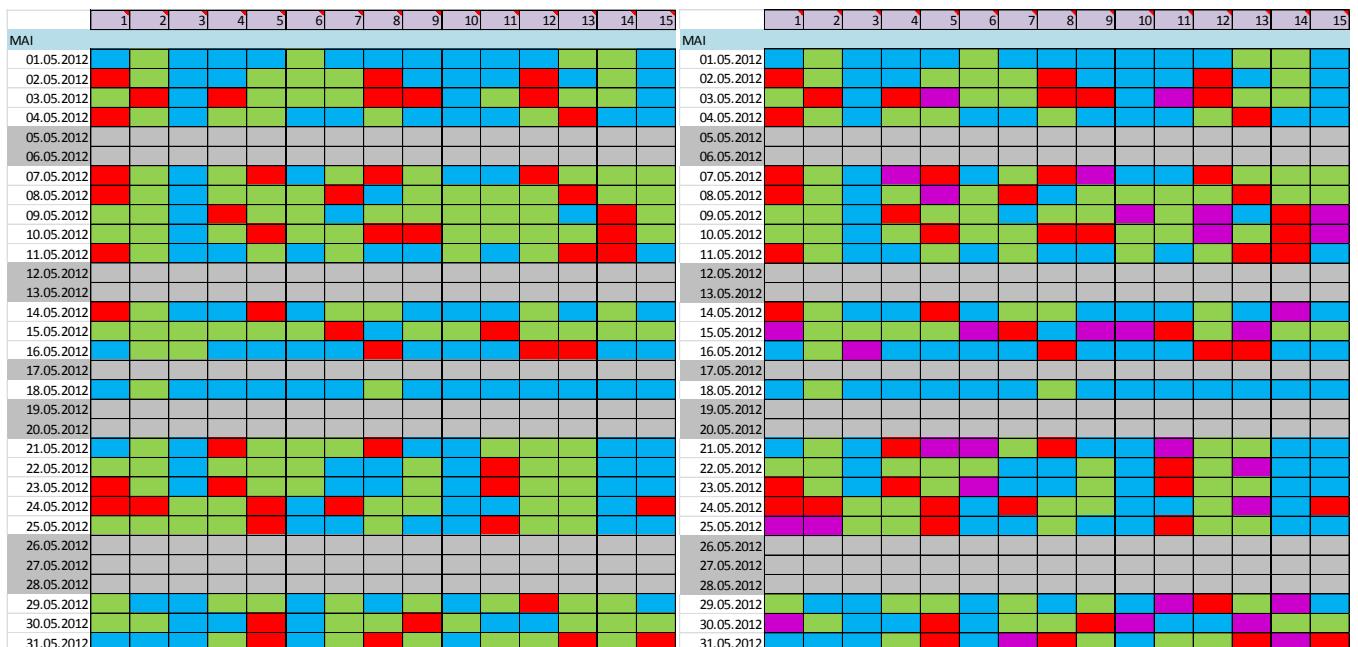


Abbildung 11: BEV-Flotte unter Default- und Winterbedingungen bei Szenario 1.

Die Abbildung rechts zeigt denselben Monat auf: die Fahrzeuge sind aber in der Simulation unter Winterbedingungen gefahren. Die Farbe Violett stellt die Einsatztage dar, an denen die Fahrten unter Winterbedingungen mit demselben Fahrzeug nicht mehr fahrbar sind. Durchschnittlich sind im Mai etwa 2 Einsatztage pro Fahrzeug wegen der reduzierten Winterreichweite „rot“ geworden.

Wenn man das Resultat horizontal betrachtet, nämlich wie sich die BEV-Flotte bewegt hat, liefern Abbildungen 12 (Mai bis Juli) und 13 (August bis Oktober) einen detaillierten Überblick über die 129 überwachten Einsatztage. Es gibt 12 Einsatztage ohne Fahrzeuge im roten Bereich. Der Tag #36 mit 9 Fahrzeugen im roten Bereich ist der ungeeignetste für die Elektromobilität. Über die sechs Monate kann man aufgrund des Mobilitätsbedürfnisses theoretisch sagen, dass bis zu 6 Fahrzeuge „elektrifizierbar“ sind (Nissan Leaf als Referenzfahrzeug).

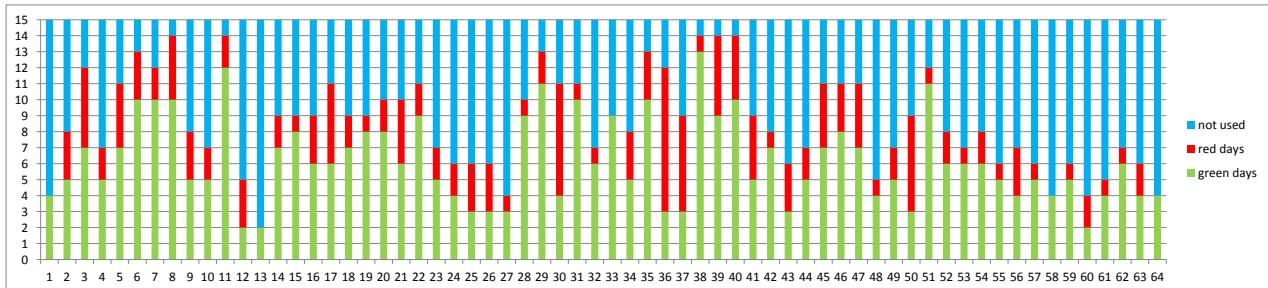


Abbildung 12: Rote und Grüne Tage für die Elektro-Flotte (Mai bis Juli) - Szenario 1 Default Bedingungen.

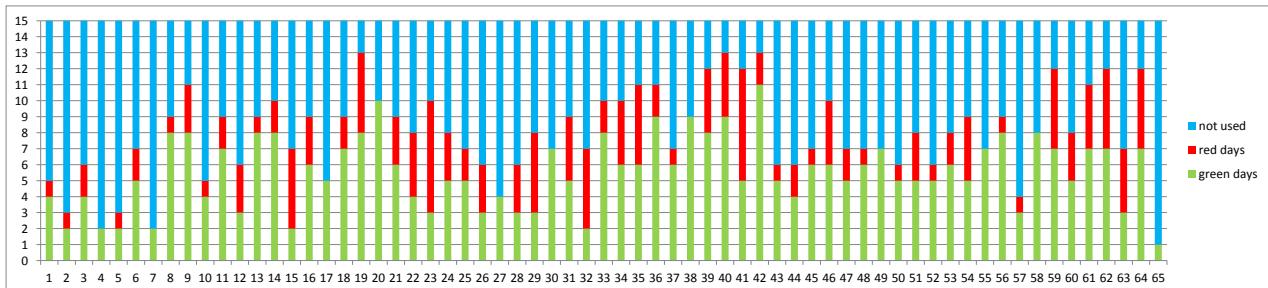


Abbildung 13: Rote und Grüne Einsatztage für die Elektro-Flotte (August bis Oktober) - Szenario 1 Default Bedingungen.

Für die ersten 3 Monate ist in Abbildung 14 der Einfluss der Winterbedingungen dargestellt. Der Tag #50 mit 10 Fahrzeugen ist der ungeeignetste für die Elektromobilität. Über die 6 Monate kann man aufgrund des Mobilitätsbedürfnisses theoretisch sagen, dass bis zu 5 Fahrzeuge „elektrifizierbar“ sind (Nissan Leaf als Referenzfahrzeug).

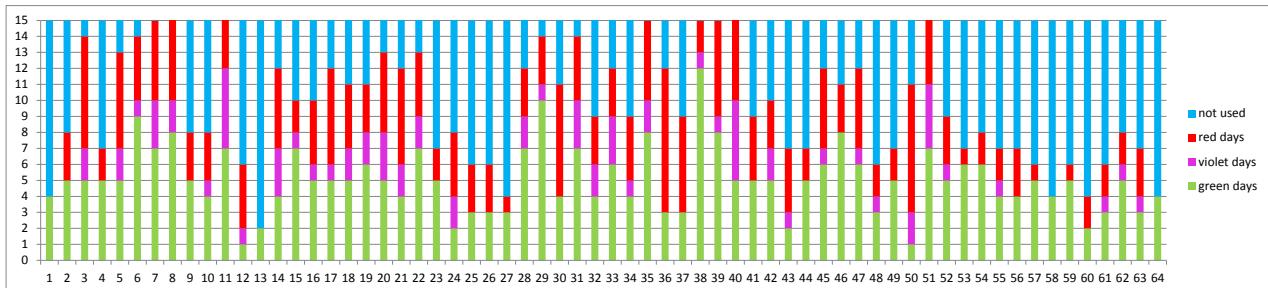


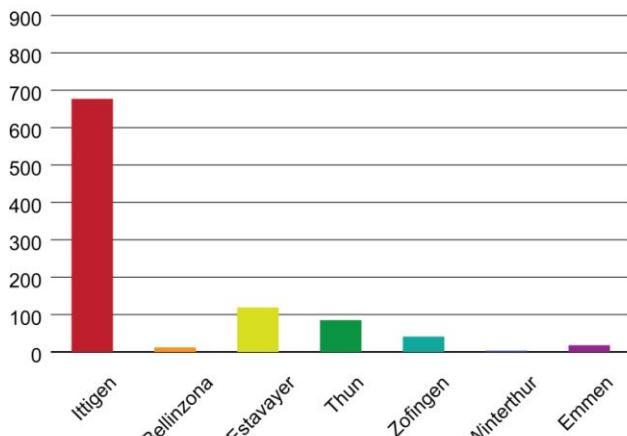
Abbildung 14: Einfluss der Winterbedingungen (Mai bis Juli) - Szenario 1.

Die Abbildungen 15 illustrieren, wo die Ladungen stattgefunden haben. Hier berücksichtigt man nur die Zwischenladungen, und nicht die Hauptladung während der Nacht. Für die Simulation wird nämlich angenommen, dass die Fahrzeuge in der Nacht immer geladen werden und am Morgen immer mit voller Batterie losfahren.

Für die gesamten 755 grünen Einsatztage (gemäss Szenario 1), an denen die 15 Fahrzeuge unterwegs waren, gibt es 955 Ladungen bei den ASTRA Standorten. Die Zwischenladung ist deshalb für eine Verlängerung der Reichweite von grosser Bedeutung. Die Standzeiten sind oft optimal weil sie die Ladeprozedur erlauben.

71% der Zwischenladungen sind an der Zentrale in Ittigen durchgeführt worden und 13% in Estavayer.

# charges Scenario 1



Scenario 1

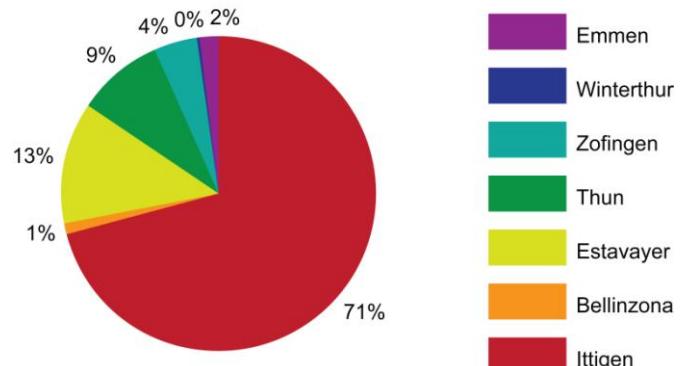


Abbildung 15: Anzahl an Ladeprozesse bei den ASTRA Standorten gemäss Szenario 1.

### 3.2.3.2 Szenario2: Simulation e-Fahrzeuge und Schnellladung bei ASTRA

Das Szenario 2 nimmt an, dass bei der Zentrale und den Filialen die Schnellladung mit 20 kW immer zur Verfügung steht. Sobald ein Fahrzeug an diesen Orten ankommt, beginnt es zu laden bis es wieder losfährt. Mit dieser Information und den gespeicherten GPS Daten, liefert die berechnete Energiebilanz in der Simulation (gemäss Logik der Abbildung 4) die Resultate für jedes Fahrzeug. Diese Berechnung ergibt die Antwort auf die Frage, ob der Einsatztag X für den angenommenen Nissan Leaf „grün“ oder „rot“ wäre.

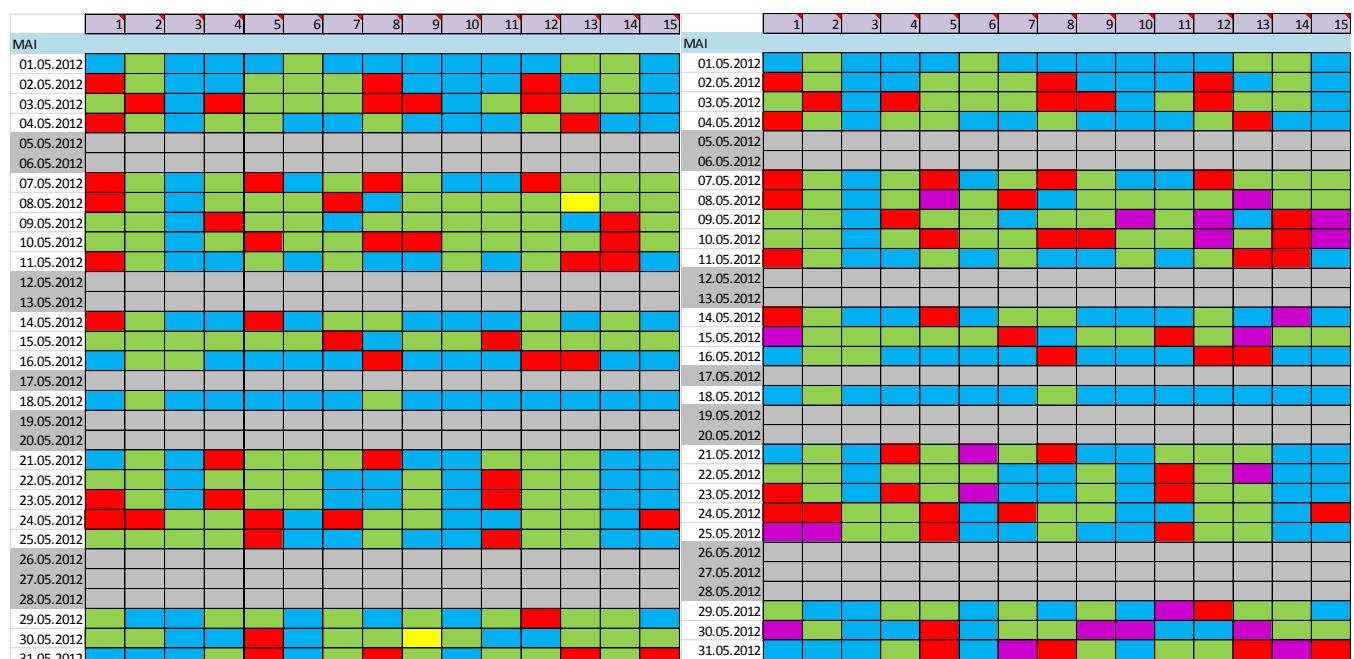


Abbildung 16: BEV-Flotte unter Default- und Winterbedingungen bei Szenario 2.

Ähnlich wie beim Szenario 1, liefern die Abbildungen 16 den Überblick, wie sich die Flotte unter Szenario 2 bewegt hat. Die neue Farbe hat folgende Bedeutung:

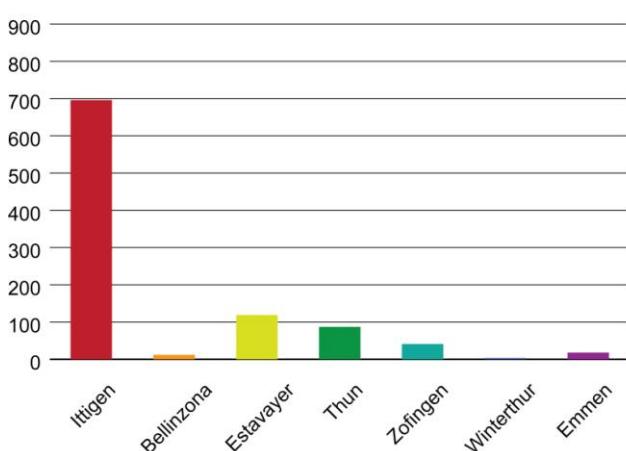
- Gelb: sind die Einsatztage, die dank der Schnellladung bei den ASTRA Standorten „grün“ geworden sind.

Aus diesem Beispiel erkennt man, dass die Schnellladung bei den ASTRA Standorten aus technischer Sicht keinen grossen Nutzen erbringt. Eigentlich sind die 3 kW der Normalladung für die meisten Fälle genügend. Siehe Anhang (Resultate) für einen detaillierteren Überblick auf die 129 überwachten Tage von Mai bis Oktober mit Default- und Winterbedingungen für Szenario 2.

Die Abbildungen 17 zeigen auf, wo die Ladungen stattgefunden haben. Wie bei Szenario 1 berücksichtigt man hier nur die Zwischenladungen, und nicht die Hauptladung während der Nacht. Für die Simulation wird nämlich angenommen, dass die Fahrzeuge in der Nacht immer mit Normalladung geladen werden und am Morgen immer mit voller Batterie losfahren.

Für die gesamten 776 grünen Einsätze (21 mehr als Szenario 1, Zunahme kleiner als 3%), an denen die 15 Fahrzeuge unterwegs waren, gibt es 976 Schnellladungen bei den ASTRA Standorten. Ähnlich wie beim Szenario 1 ist die Zwischenladung für eine Verlängerung der Reichweite von grosser Bedeutung. Die Standzeiten sind oft optimal weil sie die Ladeprozess erlauben: meistens sind sie auch genügend lang, sodass keine Schnellladung erforderlich ist. 71% der Zwischenladungen sind an der Zentrale in Ittigen durchgeführt worden und 13% in Estavayer.

# charges Scenario 2



Scenario 2

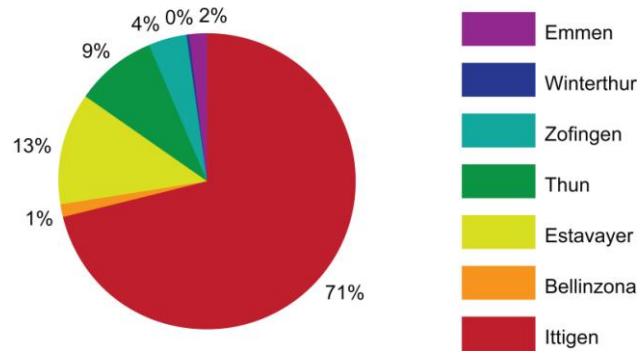


Abbildung 17: Anzahl an Ladeprozesse bei den ASTRA Standorten gemäss Szenario 2.

### 3.2.3.3 Szenario3: Simulation e-Fahrzeuge und EVite-Schnellladung

Das Szenario 3 nimmt an, dass die Schnellladung mit 20 kW bei den ASTRA Standorten sowie bei allen 55 Autobahnraststätten der Schweiz immer zur Verfügung steht.

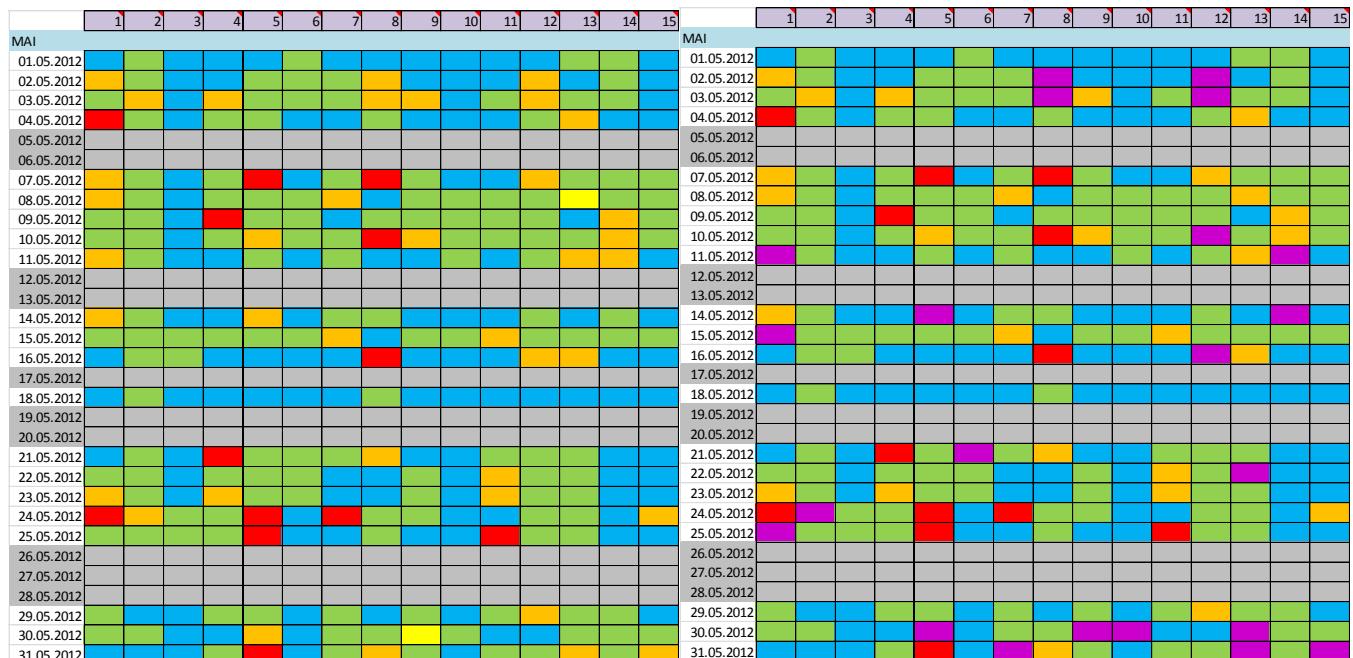


Abbildung 18: BEV-Flotte unter Default- und Winterbedingungen bei Szenario 2.

Dieses Szenario ist heute (noch) nicht realistisch, dürfte aber in ein paar Jahren realisiert sein. Das Projekt EVite<sup>4</sup> hat zum Ziel, die Entwicklung des schweizerischen Schnellladeninfrastrukturnetzes zu koordinieren und zu fördern. Dabei sollen die ersten 150-200 Schnellladestationen an strategischen Orten installiert werden: die Autobahnraststätten gehören sicher auch dazu.

Gemäss Szenario 3 beginnt das Fahrzeug zu laden sobald es diese Standorte erreicht hat. Die Ladung dauert bis zur Weiterfahrt. Mit dieser Information und den gespeicherten GPS Daten, liefert die berechnete Energiebilanz in der Simulation (gemäss Logik der Abbildung 4) die Resultate für jedes Fahrzeug. Diese Berechnung ergibt die Antwort auf die Frage, ob der Einsatztag X für den angenommenen Nissan Leaf „grün“ oder „rot“ wäre.

Ähnlich wie bei Szenario 1 und Szenario 2 liefern die Abbildungen 20 und 21 den Überblick, wie sich die Flotte unter Szenario 3 bewegt hat. Die neue Farbe hat folgende Bedeutung:

- Orange: sind die Einsatztage, die dank der Schnellladung an den Autobahnraststätten „grün“ geworden sind.

Aus diesem Beispiel erkennt man, dass die Schnellladung an den Autobahnraststätten für die Flotte interessant ist. Die roten Einsatztage sind deutlich weniger weil einige durch die

<sup>4</sup> <http://www.swiss-emobility.ch/home/aktivitaeten/evite.html>

Schnellladungen Orange geworden sind (Abbildung 18). Siehe Anhang (Resultate) für einen detaillierteren Überblick auf die 129 überwachten Tage von Mai bis Oktober mit Default- und Winterbedingungen für Szenario 3.

Die Abbildungen 19 zeigen, wo die Ladungen stattgefunden haben. Wie bei den anderen Szenarien berücksichtigt man hier nur die Zwischenladungen, und nicht die Hauptladung während der Nacht. Für die Simulation wird nämlich angenommen, dass die Fahrzeuge in der Nacht immer mit Normalladung geladen werden und am Morgen immer mit voller Batterie losfahren.

Für die gesamten 994 grünen Einsätze (218 mehr als Szenario 2 Zunahme fast 30%), an denen die 15 Fahrzeuge unterwegs waren, gibt es 1'142 Schnellladungen bei den ASTRA Standorten. Die Schnellladung bei den Raststätten ist aufgrund der gemessenen Mobilitätsdaten für die ASTRA Flotte von grosser Bedeutung. Dadurch steigt der Anteil an „grünen“ Einsatztagen sogar bis auf 94%. Die 3 meist benutzten Raststätten sind in der Abbildung 22a aufgezeichnet. Die Raststätte Grauholz ist aufgrund der geographischen Positionierung die Ortschaft, wo die grösste Anzahl an Schnellladungen geschehen können (758). Diese Zahl liegt bei der gleichen Grössenordnung wie die Zwischenladungen in der Zentrale Ittigen (836). Die 20 meist benutzen hypothetischen Schnellladestationen an den Autobahnraststätten in der Schweiz sind in der Anlage 3 dargestellt.

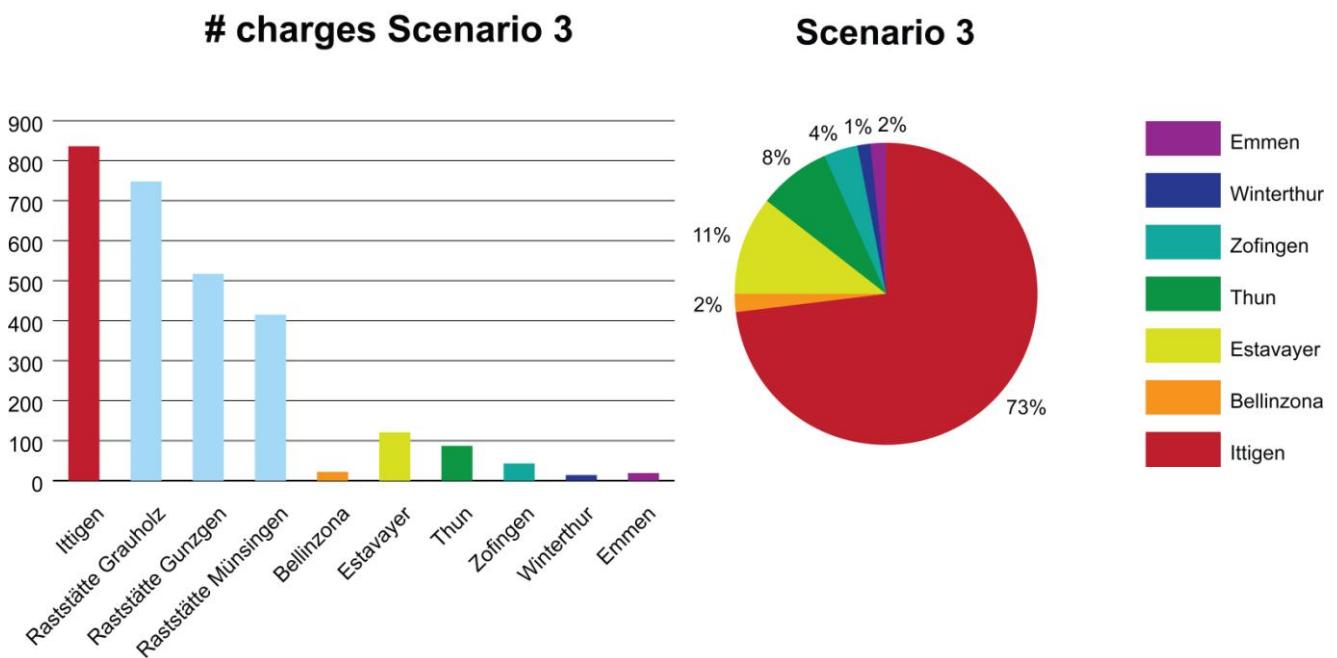


Abbildung 19: Anzahl an Ladeprozesse gemäss Szenario 3

### 3.2.3.4 Vergleich der Szenarien

In diesem Kapitel werden die 3 Szenarien verglichen. In der Tabelle 11 sind die Gesamtresultate für die BEV-Flotte unter Default Bedingungen dargestellt. Die Daten werden aus der Simulation geliefert und beinhalten sowohl Arbeits- als auch Ferientage. Es gilt zu beachten, dass die bis anhin erwähnten Werte tiefer liegen, da bisher nur die Arbeitstage berücksichtigt wurden (Gesamt-Mobilität über die 6 Monate). Die Einsätze an den Ferientagen sind insgesamt 23. Hier die wichtigsten Ergebnisse:

- Bei Szenario 1 sind 71% der Einsatztage grün (insgesamt 777 mit einem Nissan Leaf fahrbar)
- Bei Szenario 2 sind 73% der Einsatztage grün (798 insgesamt mit einem Nissan Leaf fahrbar, nur 21 mehr als Szenario 1). Man kann sagen, dass die Schnellladung an den ASTRA Standorten keine grosse Verbesserung mit sich bringt.
- Bei Szenario 3 hat die Schnellladung an den Autobahnraststätten einen bedeutenden Einfluss: die grünen Einsatztage steigen auf 1014 (94% vom Total). Die Steigerung im Vergleich zu Szenario 2 beträgt 30%.
- Für die Simulation wird angenommen, dass ein Fahrzeug, welches auf der Autobahn bei einer Ladestation halten kann, immer diese Gelegenheit nutzt um die Batterie wieder vollaufzuladen (100% SOC). Die Zeit für diese Ladeprozeduren würde mit 807 Stunden sehr hoch anfallen (knapp 45 Minuten pro Einsatz im Durchschnitt). Die letzte Zahl der Tabelle illustriert im Gegensatz dazu die minimalnötige Ladezeit, mit der die Fahrzeuge den nächsten Ladepunkt erreichen können. Diese Ladezeiten würden mit 98 Stunden (d.h. 6 Minuten pro Einsatztag im Durchschnitt) fast 10-mal kürzer ausfallen. Diese Zeit liegt in der gleichen Größenordnung wie herkömmliche Tankvorgänge für die heutige Flotte.<sup>5</sup>
- Die zusätzliche Arbeitszeit (und damit Kosten) der Mitarbeitenden, die durch das Aufladen entsteht, sollte bei der TCO Berechnung mitberücksichtigt werden (allerdings auch beim normalen Tanken). Da diese Ladezeiten in der Gesamtberechnung aber vergleichbar und vernachlässigbar sind, kann man davon ausgehen, dass die Resultate davon nicht verändert werden.

FLOTTE 6 MONTHS													
GreenS1 Day		GreenS1 Act		GreenS2 Day		GreenS2 Act		GreenS3 Day		GreenS3 Act		t recharge	t recharge opt
#	[%]	#	[%]	#	[%]	#	[%]	#	[%]	#	[%]	[h]	[h]
777	71.22%	2116	75.57%	798	73.14%	2153	76.89%	1014	92.94%	2653	94.75%	807.69	98.53

Tabelle 10: Zusammenfassung „grüne Einsatztage“ für die 3 Szenarien unter Default-Bedingungen.

In der Tabelle 12 sind die Gesamtresultate für die BEV-Flotte unter Winterbedingungen zusammengefasst.

<sup>5</sup> Es wird angenommen, dass mit einem Fahrzeug der ASTRA Flotte am Ende jedes Einsatztages immer getankt wird (damit der nächste Benutzer immer einen vollen Tank findet) – und ein mittlerer Tankprozess dauert etwa 5 Minuten.

Hier die wichtigsten Ergebnisse:

- Bei Szenario 1 nimmt die Anzahl der grünen Einsatztage im Winter auf 631 ab (58%)
- Bei Szenario 2 nimmt die Anzahl der grünen Einsatztage im Winter auf 683 ab (63%)
- Der Einfluss der Schnellladung bei den ASTRA Standorten auf die Reichweite ist bei Winterbedingungen wichtiger als bei Default Bedingungen. Die Schnellladung an den ASTRA Standorten kann bei winterlichen Bedingungen ziemlich interessant werden. Je kleiner die Reichweite (gegeben durch Winterbedingungen oder kompaktere Elektrofahrzeuge als der Leaf) desto wichtiger wird die Schnellladung bei den ASTRA Standorten.
- Bei Szenario 3 hat die Schnellladung an den Autobahnrasstätten immer noch einen bedeutenden Einfluss: die grünen Einsatztage erhöhen sich auf 915 (84% vom Total). Die Steigerung im Vergleich zu Szenario 2 beträgt 21%.
- Bei der Simulation wird angenommen, dass ein Fahrzeug, welches auf der Autobahn bei einer Ladestation halten kann, immer diese Gelegenheit nutzt um die Batterie wieder vollzuladen (100% SOC). Die Zeit für diese Ladeprozeduren würde mit 990 Stunden sehr hoch anfallen (mehr als einer Stunde pro Einsatz im Durchschnitt). Die letzte Zahl der Tabelle illustriert im Gegensatz dazu die minimal nötige Ladezeit, mit der die Fahrzeuge den nächsten Ladepunkt erreichen können. Diese Ladezeiten würden mit 226 Stunden (d.h. 15 Minuten pro Einsatztag im Durchschnitt) fast 10-mal kürzer ausfallen. Das sind Zeiten, die etwa 3 mal grösser als die herkömmliche Tankdauer für die heutige Flotte sind.<sup>3</sup>
- Die generierten zusätzlichen Ladezeiten und die damit verbundenen Kosten für die Schnellladung sind bei Winterbedingungen nicht mehr völlig vernachlässigbar. Die zusätzlichen Ladezeiten an den Raststätten betragen 12% der gesamten Fahrzeit.

FLOTTE 6 MONTHS													
GreenS1 Day		GreenS1 Act		GreenS2 Day		GreenS2 Act		GreenS3 Day		GreenS3 Act		t recharge	t recharge opt
#	[%]	#	[%]	#	[%]	#	[%]	#	[%]	#	[%]	[h]	[h]
631	57.84%	1759	62.82%	683	62.60%	1862	66.50%	915	83.87%	2464	88.00%	989.02	226.62

Tabelle 11: Zusammenfassung „grüne Einsatztage“ für die 3 Szenarien unter Winterbedingungen.

### 3.3 Die hypothetische REEV Flotte

#### 3.3.1 Beschreibung

In diesem Fall wird angenommen, dass alle 15 Fahrzeuge REEV sind. Diese Annahme ist ohne Mobilitätseinbusse machbar, obwohl eine TCO Analyse wahrscheinlich negativ ausfallen würde. Die Annahme dient jedoch der Berechnung der Energieverbräuche und des CO<sub>2</sub>-Ausstosses. Die Erkenntnisse sind später bei weiteren Kalkulationen von Nutzen..

#### 3.3.2 Simulation

Die Datenbank der Analysesoftware beinhaltet die REEV und PHEV Fahrzeuge der Tabelle 13. Wie bei den reinen Elektrofahrzeugen kann die Simulation auch hier unter 3 verschiedenen saisonalen Bedingungen aufgeführt werden (Default, Sommer und Winter).

In einer ersten Analyse wird nur der Opel Ampera für die Simulation berücksichtigt, da er ein Segment der Mittelklasse (ähnlich zu den ASTRA Fahrzeugen) darstellt und auch eine genügende Reichweite aufweist. Die REEV Flotte in der Simulation umfasst deshalb 15 Opel Ampera.

Die Problematik der Reichweite im Winter bei Elektroautos gilt selbstverständlich auch für REEV Fahrzeuge, jedoch hier in kleinerem Mass, begründet durch die zwei Antriebstechnologien.

Ähnlich wie beim Nissan Leaf, wurde für die Simulationen eine Steigerung des Energieverbrauchs von 33% im Winter betrachtet: natürlich nur wenn das Fahrzeug im Elektromodus gefahren wird.



		Opel Ampera	Toyota Prius
<b>Masse</b>	[kg]	<b>1715</b>	<b>1420</b>
<b>Frontale Fläche</b>	[m <sup>2</sup> ]	<b>2.150</b>	<b>2.178</b>
<b>c<sub>x</sub></b>	[ <sup>-</sup> ]	<b>0.28</b>	<b>0.25</b>
<b>cda</b>	[m <sup>2</sup> ]	<b>0.602</b>	<b>0.544</b>
<b>Wirkungsgrad BEV</b>	[ <sup>-</sup> ]	<b>0.850</b>	<b>0.85</b>
<b>Wirkungsgrad ICE</b>	[ <sup>-</sup> ]	<b>0.450</b>	<b>0.390</b>
<b>Wirkungsgrad Rekuperieren</b>	[ <sup>-</sup> ]	<b>0.400</b>	<b>0.4</b>
<b>Batterie Kapazität nutzbar [gesamt]</b>	[kWh]	<b>8 [16]</b>	<b>3 [4.4]</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	[g/km]	<b>27</b>	<b>49</b>

Tabelle 12: Inputparameter für die Simulation der REEV Flotte.

### 3.3.3 Ergebnisse REEV Flotte

Tabelle 14 fasst die Resultate der Simulation für die hypothetische REEV Flotte mit 15 Opel Ampera unter Default Bedingungen zusammen. Es gelten die Mobilitätsdaten der reellen Flotte. Über die 1091 Einsätze sind 2800 Einzelfahrten unternommen worden.

Die Flotte hat insgesamt über 6 Monate 7.3 Tonnen CO<sub>2</sub> produziert (6.7 Kg pro Tag pro Fahrzeug). Der mittlere CO<sub>2</sub> Ausstoss der REEV Flotte ist 58 g/km (etwas das Doppelte der von Automobilherstellern gelieferte NEDC Zykluswerte).

Für die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses wurden die Verbrauchsdaten der Simulation und die Stöchiometrie der Gleichungen Eq.1 und Eq.2 (oben beschrieben) angewendet.

FLOTTE 6 MONTHS																
Overall Total																
Days	Activities	Time	Distance	Gain+	Gain-	E_tot_cum	E_cons_norec	p_rec	E_tot_inc_rec	km EL	km EL	E_tot_inc_rec EL	E_tot_inc_rec	gasoline	CO2	
#	#	[h]	[km]	[m]	[m]	kWh	kWh	[%]	kWh	[km]	[%]	[kWh]	[%]	[liters]	[kg]	
1'091	2'800	1'954	125'525	1'393'650	-1'248'903	25'775	45'257	15.35	38'312	56'209	45	11'349	30	3153.52	7'290	
Overall Average Day																
Days	Activities	Time	Distance	Gain+	Gain-	E_tot_cum	E_cons_norec	is_avg_in	E_tot_inc_rec	km EL	km EL	E_tot_inc_rec EL	E_tot_inc_rec	gasoline	CO2	
#	#	[h]	[km]	[m]	[m]	kWh	kWh	kWh/km	kWh	[km]	[%]	[kWh]	[%]	[liters]	[kg]	
1	2.57	1.79	115.05	1'277	-1'145	23.62	41.48	0.31	35.12	51.52	44.78	10.40	29.62	2.89	6.68	

Tabelle 13: Zusammenfassung der Simulation für die REEV Flotte unter Default Bedingungen.

In der untenstehenden Tabelle 15 sind hingegen die Simulationsergebnisse derselben Flotte unter Winter Bedingungen dargestellt. Die Flotte hat insgesamt über 6 Monate 8.5 Tonnen CO<sub>2</sub> produziert (7.8 Kg pro Tag pro Fahrzeug). Der mittlere CO<sub>2</sub> Ausstoss der REEV Flotte ist 68 g/km.

FLOTTE 6 MONTHS																
Overall Total																
Days	Activities	Time	Distance	Gain+	Gain-	E_tot_cum	E_cons_norec	p_rec	E_tot_inc_rec	km EL	km EL	E_tot_inc_rec EL	E_tot_inc_rec	gasoline	CO2	
#	#	[h]	[km]	[m]	[m]	kWh	kWh	[%]	kWh	[km]	[%]	[kWh]	[%]	[liters]	[kg]	
1'091	2'800	1'954	125'525	1'393'650	-1'248'903	25'775	52'227	15.45	44'157	44'332	35	12'627	29	3'688	8'536	
Overall Average Day																
Days	Activities	Time	Distance	Gain+	Gain-	E_tot_cum	E_cons_norec	p_rec	E_tot_inc_rec	km EL	km EL	E_tot_inc_rec EL	E_tot_inc_rec	gasoline	CO2	
#	#	[h]	[km]	[m]	[m]	kWh	kWh	[%]	kWh	[km]	[%]	[kWh]	[%]	[liters]	[kg]	
1	2.57	1.79	115.05	1'277	-1'145	23.62	47.87	0.35	40.47	40.63	35.32	11.57	28.59	3.38	7.82	

Tabelle 14: Zusammenfassung der Simulation für die REEV Flotte unter Winterbedingungen.

### 3.3.3.1 Szenario1: Simulation (REEV-Fahrzeuge) und 3kW Ladung (Zentrale & Filialen)

In 6 Monaten wurden 30% der Gesamtenergie im Elektromodus verbraucht (11.3MWh). Die restlichen 70 %, nämlich 26.8 MWh, im Verbrennungsmodus. 45% der gesamten Laufleistung (125'000 km) wurde im Elektromodus gefahren. Das ist ein guter Wert für REEV Fahrzeuge.

Der im Durchschnitt verbrauchte Strom unter Default-Bedingungen ist 31 kWh/100km. Die im Durchschnitt verbrauchte Energie liegt bei 35 kWh pro Tag.

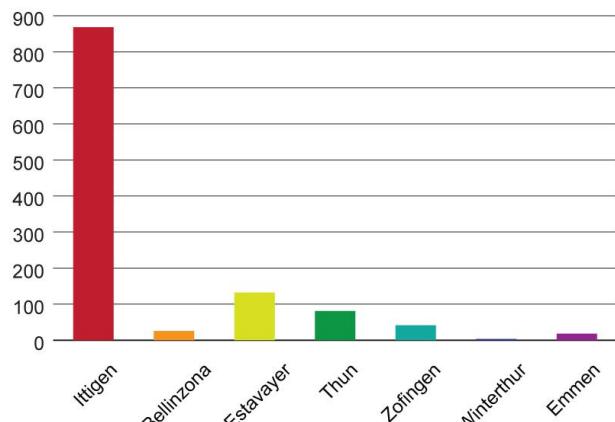
Unter Winterbedingungen ist hingegen die im Elektromodus verbrauchte Energie 12.6 MWh, 29% der gesamten Menge. Die restlichen 71%, nämlich 31.4 MWh, wurden im Verbrennungsmodus gefahren. 35% der gesamten Laufleistung (125'000 km) wurde im Elektromodus gefahren. Das ist immer noch ein guter Wert für REEVs.

Der im Durchschnitt verbrauchte Strom unter Winterbedingungen ist 35 kWh/100km. Die im Durchschnitt verbrauchte Energie liegt bei 40.6 kWh pro Tag.

In den Abbildungen 20 werden die Orte aufgezeichnet wo die Ladungen stattgefunden haben. Hier berücksichtigt man nur die Zwischenladungen und nicht die Hauptladung während der Nacht. Für die Simulation wird nämlich angenommen, dass die Fahrzeuge in der Nacht immer geladen werden und am Morgen immer mit voller Batterie losfahren.

Es gibt insgesamt 1190 Ladungen bei den ASTRA Standorten, mehr als eine Ladung pro Einsatz. Die Zwischenladung ist deshalb für die Zunahme des Anteils an elektrisch gefahrener Laufleistung von grosser Bedeutung und die Standzeiten sind oft optimal weil sie die Ladeprozedur erlauben. 74% der Zwischenladungen sind an der Zentrale in Ittigen durchgeführt worden und 10% in Estavayer.

# charges Scenario 1



Scenario 1

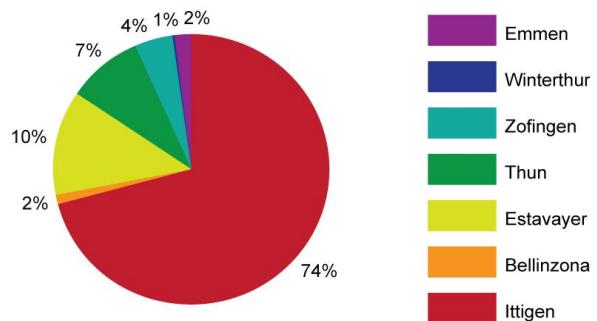


Abbildung 20: Anzahl an Ladeprozesse bei den ASTRA Standorten gemäss Szenario 1.

## 4 Bestimmung des Elektrifizierungspotentials

### 4.1 Methodik

Für die Bestimmung des Elektrifizierungspotentials geht man davon aus, dass folgende Tatsachen gelten:

1. Die Ersatzflotte wird ohne Mobilitätseinbusse ermittelt.
2. Die Fahrzeuge müssen keine speziellen Ladungen sowie Material transportieren (keine Combis werden einbezogen).
3. Es wird auf Basis der 3 im Kapitel 2 erwähnten Auswertungskriterien fortgefahrene (Energie, CO<sub>2</sub>, TCO).
4. Die Fahrzeuge werden ganzjährlich eingesetzt, deshalb werden nur die Simulationen unter Winterbedingungen berücksichtigt.

Die gewählten Kriterien (Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>-Ausstoss und Total Cost of Ownership), welche sowohl die Auswirkung auf die Energie und auf die Umwelt sowie den finanziellen Aspekt berücksichtigen, ermöglichen eine ausgewogene Bewertung als Grundlage für die Bestimmung des Elektrifizierungspotentials.

Die Bestimmung des maximalen Elektrifizierungspotentials wird folgendermassen festgelegt: zuerst werden die Kriterien Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoss betrachtet. Um die Wirkung dieser 2 Kriterien zu maximieren, sollte die Flotte möglichst elektrisch betrieben werden. Wenn man Tatsache 1 einhält (keine Mobilitätseinbussen), kann die Flotte aufgrund der Resultate in Kapitel 3 maximal 5 BEVs für Szenario 1 und Szenario 2 enthalten und 7 bei Szenario 3 (Winter Bedingungen).

### 4.2 Vorgeschlagene alternative Flotten

Aufgrund der gemessenen und simulierten Werte einer REEV-Flotte (Beispiel Opel Ampera), sollten die restlichen Fahrzeuge der Flotte auch bei Langdistanzen REEVs sein, um die ersten 2 Auswertungskriterien zu maximieren. Würde man nur diese 2 Kriterien berücksichtigen, wären die Flotten folgendermassen zusammengestellt:

- Szenario 1 und Szenario 2, (Flotte 1-2-W):



- Szenario 3, (Flotte 3-W):



Die heutige reelle Flotte ist wie folgt zusammenstellt:

- Reelle Flotte (Flotte Real):



Jetzt sollen die TCO Kosten (drittes Auswertungskriterium) berechnet werden. Die Firma Interleasing AG aus Dietikon ZH ([www.auto-interleasing.ch](http://www.auto-interleasing.ch)) hat TCO Kalkulationen zur Verfügung gestellt. Die Tabellen beziehen sich auf eine durchschnittliche Laufleistung von 20'000 km pro Jahr und auf eine Leasingdauer von 5 Jahren. Am Ende der Leasingdauer wird ein Restwert angenommen.

In der Realität stimmt das für eine Bundesflotte nicht vollständig. Trotzdem stellen diese Angaben eine gute Basis für eine detaillierte TCO Berechnung dar. In den Kalkulationen sind - gemäss heutiger ASTRA Flotte - keine Versicherungen enthalten. Tabelle 16 zeigt die TCO Werte für die aktuelle ASTRA Flotte. Da die alten Fahrzeuge nicht mehr in der Datenbank stehen, wurde für den Mercedes A-Klasse ein Skoda Octavia und für den Peugeot 607 ein Citroen C5 (gleiches Segment) benutzt. Die aktuelle Flotte weist für die TCO einen durchschnittlichen Wert von 0.533 CHF/km auf.

20'000km/Jahr	CHF interleasing	#	TCO	Flotte AVG
			CHF/km	CHF/km
skoda octavia		10	0.523	
skoda fabia		2	0.489	
C5		2	0.596	
Prius		1	0.587	0.533

Tabelle 15: TCO Daten für die aktuelle ASTRA Flotte.

Tabelle 17 zeigt die TCO Werte von der Firma Interleasing AG für 5 alternative Fahrzeuge (3x BEV, 1x PHEV und 1x REEV). Die Verbrauchskosten (Energie und Kraftstoff) sind nicht inbegriffen, und werden gemäss Tabelle 18 aufaddiert.

Marke	Toyota Prius	Renault	Opel	Nissan	Mitsubishi
<b>Modell</b>	1.8 VVTi HSD	Fluence Limo	Ampera	Leaf	i-MiEV
<b>Typ</b>	Plug-in	Dynamique	1.4 16V	Limousine	Limousine
<b>Benzin/Diesel</b>					
<b>KM pro Jahr</b>	20000	20000	20000	20000	20000
<b>Laufzeit (Anzahl Monate)</b>	60	60	60	60	60
<b>Zinssatz</b>	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25
<b>Bruttopreis inkl. Optionen</b>	49907.40	29722.20	47129.65	46250.00	43323.14
<b>Nettopreis inkl. Optionen</b>	47412.05	28236.10	44773.15	43937.50	41157.00
<b>Restwert</b>	12250.00	3800.00	6500.00	6012.00	5632.00
<b>Amortisation</b>	586.05	407.25	637.90	632.10	592.10
<b>Zins</b>	106.60	57.70	91.75	89.40	83.80
<b>Unterhalt</b>	89.15	99.15	69.15	87.50	92.50
<b>Reifen</b>	49.20	32.00	59.00	29.20	28.60
<b>Reifen Service</b>	26.25	26.25	26.25	26.25	26.25
<b>Haftpflichtversicherung</b>	45.35	45.35	45.35	45.35	45.35
<b>Kaskovers.(SB 1'000.--)</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Str.Verkehrssteuer Kt. ...</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Vignette</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Treibstoff</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ersatzfahrzeug</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Verwaltungsgebühren</b>	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
<b>Total exkl. MWSt</b>	927.60	692.70	954.40	934.80	893.60
<b>MWSt</b>	70.65	51.85	72.75	71.20	67.90
<b>Total inkl. MWSt</b>	998.25	744.55	1027.15	1006.00	961.50
<b>TCO pro KM</b>	0.5566	0.4156	0.5726	0.5609	0.5362
<b>bei durchschnittl. 20'000 Km pro Jahr</b>					

Tabelle 16: TCO Berechnungen für alternative Fahrzeuge (Firma Interleasing AG)

Für die Verbrauchskosten wurden die genauen Energieverbrauchsdaten (aus den Simulationen) und durchschnittliche Strompreise von 0.18 CHF/kWh und Benzinpreise von 1.8 CHF/Liter benutzt. In der Tabelle sind die Unterschiede zwischen Default- und Winterbedingung ersichtlich. Für die späteren Berechnungen werden für die Verbrauchskosten die Mittelwerte betrachtet (über das ganze Jahr normiert).

20'000km/Jahr	CHF interleasing			benzin	strom	energie	tot TCO	avg
	ohne Energiekosten				CHF/km	CHF/km	CHF/km	CHF/km
TCO	0.573	Ampera		0.045	0.016	0.061	0.634	0.643
		Ampera Winter		0.053	0.018	0.071	0.644	
TCO	0.561	Leaf		0.000	0.036	0.036	0.597	0.605
		Leaf Winter		0.000	0.051	0.051	0.612	

Tabelle 17: TCO Daten für die Ersatzflotte - Leaf und Ampera..

Mit den TCO Kosten ist man nun in der Lage, die 3 Auswertungskriterien für die oben beschriebenen verschiedenen Flottenzusammensetzungen zu quantifizieren.

Wenn die ersten 2 Flotten (1-2-W und 3-W), die aus den Simulationen stammen, das maximale Elektrifizierungspotential darstellen und den Energieverbrauch sowie den CO<sub>2</sub>-Ausstoss minimieren, sind in der Praxis auch die TCO-Werte bei dem Kaufentscheid ein wichtiger

Parameter. Für die Ermittlung der optimalen Flotte, bei der alle Auswertungskriterien sinnvoll im Gleichgewicht bleiben, ist die folgende Grundfrage zu beantworten:

Wie viel kann das ASTRA investieren um eine gute/die beste Kombination von kWh Verbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoss zu erhalten?

Um diese Frage zu beantworten wurden die 3 „Custom“ Flotten konstruiert und ihre respektive Auswertungskriterien durchgerechnet.

„Custom3“ ist die mildeste Variante und stellt einen minimalen Ersatz der Fahrzeuge dar (einen Leaf und einen Ampera anstatt den Peugeot 607 und den Mercedes A-Klasse)

- Flotte Custom3



„Custom2“ ist die Mittelvariante und sieht 4 Ersatzfahrzeuge vor (einen Leaf, zwei Ampera und einen Prius anstatt den Peugeot 607, den Mercedes A-Klasse und zwei Octavia)

- Flotte Custom2



Mittelfristig ist auch die meist elektrifizierte Variante „Custom1“ realistisch, welche 7 Ersatzfahrzeuge vorsieht (zwei Leaf, drei Ampera und zwei Prius anstatt den Peugeot 607, den Mercedes A-Klasse und fünf Octavia).

- Flotte Custom1



Für die Ermittlung der Custom Variante wurde angenommen, dass die effizientesten Fahrzeuge und das Direktionsfahrzeug als Letzte zu ersetzen sind.

## 4.3 Fazit

Tabelle 19 fasst die Ergebnisse (Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>-Ausstoss und TCO) für alle oben beschriebenen Flottenvarianten (und die Unterschiede zur reellen Flotte) zusammen.

Die 3 Auswertungskriterien werden für jede Flotte für die 6 Monate (Dauer des Monitorings) ermittelt, und dann für das ganze Jahr hochgerechnet.

- Die mildeste Custom3 Variante, mit dem Ersatz von 2 alten Fahrzeugen durch 1 BEV und 1 REEV, ermöglicht eine jährliche Ersparnis von 1'740 Litern Kraftstoff (oder 14 MWh) und 4.6 Tonnen CO<sub>2</sub>. Die entstehenden Zusatzkosten dafür sind 2'100 CHF pro Jahr.
- Die Mittelvariante Custom2, mit dem Ersatz von 4 alten Fahrzeugen durch 1 BEV, 2 REEV und 1 Hybridfahrzeug, ermöglicht eine jährliche Ersparnis von 2'380 Litern Kraftstoff (oder 21.4 MWh) und 6.5 Tonnen CO<sub>2</sub>. Die entstehenden Zusatzkosten dafür sind 5'000 CHF pro Jahr.
- Die „ambitioniertere“ Custom1 Variante, welche den Ersatz von 7 alten Fahrzeugen durch 2 BEV, 3 REEV und 2 Hybridfahrzeug vorsieht, ermöglicht eine jährliche Ersparnis von 4'120 Litern Kraftstoff (oder 35.4 MWh) und 9.4 Tonnen CO<sub>2</sub>. Die entstehenden Zusatzkosten dafür sind 9'400 CHF pro Jahr (7% der Gesamtkosten der heutigen Flotte).
- Die langfristig „Elektro“ Flotte 1-2-W (Wintermodell für Szenario1 und 2), die nur aus BEV und REEV zusammengesetzt ist aber keine Mobilitätseinbusse garantiert, ermöglicht eine jährliche Ersparnis von 11'900 Liter Kraftstoff (oder 106.7 MWh) und 32.3 Tonnen CO<sub>2</sub>. Die entstehenden Zusatzkosten sind dafür 23'800 CHF pro Jahr (18% der Gesamtkosten der heutigen Flotte).

FLOTTE						
	1-2-W	3-W	Real	Custom1	Custom2	Custom3
Nissan Leaf	5	7		2	1	1
Opel Ampera	10	8		3	2	1
Skoda Octavia			9	4	7	9
Skoda Fabia			2	2	2	2
Toyota Prius			1	3	2	1
Citroen C5			1	1	1	1
Mercedes A-Klasse			1			
Peugeot 607			1			
<b>6 Monate Flotte</b>						
Laufleistung [km]	125'525	125'525	125'525	125'525	125'525	125'525
Energieverbrauch [kWh]	27'331	27'953	80'691	63'008	70'019	73'680
Energieverbrauch [Liter Kraftstoff]	2'280	1'824	8'234	6'173	7'043	7'364
CO2 Ausstoss [kg CO2]	5'275	4'220	21'438	15'875	18'206	19'107
TCO [CHF]	78'758	78'183	66'868	71'572	69'397	67'902
TCO [CHF/km]	0.627	0.623	0.533	0.570	0.553	0.541
<b>Hochrechnung 1 Jahr Flotte</b>						
Laufleistung [km]	251'049	251'049	251'049	251'049	251'049	251'049
Energieverbrauch [kWh]	54'661	55'906	161'383	126'016	140'039	147'361
Energieverbrauch [Liter Kraftstoff]	4'561	3'649	16'468	12'347	14'086	14'728
CO2 Ausstoss [kg CO2]	10'550	8'440	42'876	31'749	36'411	38'215
TCO [CHF]	157'516	156'366	133'735	143'143	138'795	135'804
TCO [CHF/km]	0.627	0.623	0.533	0.570	0.553	0.541
<b>Normiert 1 Fahrzeug 1 Jahr</b>						
Laufleistung [km]	16'737	16'737	16'737	16'737	16'737	16'737
Energieverbrauch [kWh]	3'644	3'727	10'759	8'401	9'336	9'824
Energieverbrauch [Liter Kraftstoff]	304	243	1'098	823	939	982
CO2 Ausstoss [kg CO2]	703	563	2'858	2'117	2'427	2'548
TCO [CHF]	10'501	10'424	8'916	9'543	9'253	9'054
TCO [CHF/km]	0.627	0.623	0.533	0.570	0.553	0.541
<b>Differenz mit reeller Flotte und Hochrechnung 1 Jahr</b>						
Laufleistung [km]	0	0	0	0	0	0
Energieverbrauch [kWh]	-106'722	-105'477	0	-35'366	-21'344	-14'022
Energieverbrauch [Liter Kraftstoff]	-11'907	-12'819	0	-4'121	-2'381	-1'740
CO2 Ausstoss [kg CO2]	-32'326	-34'436	0	-11'127	-6'465	-4'662
TCO [CHF]	23'780	22'631	0	9'408	5'059	2'069
TCO [CHF/km]	0.095	0.090	0.000	0.037	0.020	0.008
<b>Differenz mit reeller Flotte und 1 Fahrzeug 1 Jahr</b>						
Laufleistung [km]	0	0	0	0	0	0
Energieverbrauch [kWh]	-7'115	-7'032	0	-2'358	-1'423	-935
Energieverbrauch [Liter Kraftstoff]	-794	-855	0	-275	-159	-116
CO2 Ausstoss [kg CO2]	-2'155	-2'296	0	-742	-431	-311
TCO [CHF]	1'585	1'509	0	627	337	138
TCO [CHF/km]	0.095	0.090	0.000	0.037	0.020	0.008

Tabelle 18: Zusammenfassung Auswertungskriterien für die 6 Flotten. Normiert 1 Fahrzeug sind die Durchschnittswerte der verschiedenen Fahrzeuge der jeweiligen Flotten.

## 5 Diskussion

In diesem Kapitel werden verschiedene praktische Aspekte angegangen, welche man berücksichtigen muss, wenn die technisch möglichen Ergebnisse auf die reale Benutzung der Fahrzeuge übertragen werden.

Die Methode der retrospektiven Analyse liefert empirische Evidenz und dient als Unterstützung für Entscheidungen bezüglich Änderungen in dem Fuhrpark des ASTRA. Die Daten wurden durch GPS Tracker genau erfasst und ausgewertet. Deswegen sind die Ergebnisse aller Wahrscheinlichkeit nach direkt auf die reale Benutzung in der Zukunft anwendbar. Man muss trotzdem erläutern, dass verschiedene Faktoren betreffend der Subjektivität der Fahrer - z.B. der Einfluss von Reichweitenangst, der zusätzlicher Zeitaufwand für die Ladung, persönliche Vorlieben, oder das Sicherheitsgefühl durch Schnellladestationen - die technische Ergebnisse bei der Umsetzung in die Realität leicht verschlechtern können (im Sinne einer maximalen Elektrifizierung).

In der Studie wurden die Berechnungen zudem mit „perfektem Verhalten“ der Leute durchgeführt. Dazu gehört z.B., dass die Fahrzeuge bei Rückgabe in der Zentrale immer angesteckt werden müssen um Übernachtladungen zu ermöglichen. Hier könnten Schnellladestationen allenfalls die Akzeptanz zur Benutzung erhöhen; da man auch im ungünstigsten Fall (leere Batterie) schnell reisebereit ist. Im Weiteren wird gerechnet, dass immer der direkteste Weg zum eingegebenen Ziel gefahren wird, was ev. nicht immer der Fall ist.

Es gibt ausserdem zusätzliche Faktoren, die einen Einfluss auf die Auswahl und Benutzung der Fahrzeuge haben könnten: z.B. wenn die Autos frei von den Benutzern ausgewählt werden, könnte die Reichweiteangst dazu beitragen, dass der Entscheid auf einen REEV fällt, auch wenn der Einsatz mit einem BEV möglich wäre. Hinsichtlich Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Austoss würde in diesem Fall nicht das optimalste Auto benutzt werden. Dies würde mit einem Reservierungssystem, das die Fahrzeuge anhand bestimmter Kriterien zuweist, verhindert werden. Jedoch würden so die persönlichen Präferenzen der Benutzer in den Hintergrund gestellt. Im Weiteren kann davon ausgegangen werden, dass die Reichweiteangst nach den ersten Benutzungen von BEVs schon deutlich zurückgehen wird.

Die Analyse bezieht sich nur auf die Flotte der Zentrale in Ittigen. Ein eventueller Einbezug der Filialen in die Analyse könnte das Bild im Sinne von möglichen Synergien positiv verändern. So könnten z.B. normale oder Schnell-Lademöglichkeiten, die in den Filialen installiert werden, von den verschiedenen ASTRA Flotten kombiniert benutzt werden.

Der Zeitaufwand der Ladung ist nicht gross wenn alle Benutzer die Autos nach der Rückkehr immer wieder anstecken. Der Zeitaufwand unterwegs wird durch die Schnellladestationen deutlich verringert (siehe Resultate im Szenario 3). Im Weiteren wird das Schnelladenetz auch das Gefühl der Möglichkeit der spontanen Reiseplanänderungen mit BEVs verbessern.

Die Abteilung V des ASTRA (ca. 80 Leute) wird ab Frühjahr 2013 einen neuen Standort (Weltpoststrasse 5, Bern) erhalten; dieser neue Standort könnte sich auf den Anteil kurzer Fahrten und damit auf die Zusammensetzung der Flotte auswirken. Es wird davon

ausgegangen, dass es einen vergrösserten Reiseaufwand zwischen dem neuen Standort und Ittigen geben wird.

Der Anteil an kurzen Strecken ist jetzt schon erstaunlich gross. 13% der gesamt Einsatztage ist nämlich durch Fahrten, die kürzer als 15 km sind, gekennzeichnet. Sicher wird der neue Standort in Bern diesen Aspekt noch stärker herausstellen.

Andere Mobilitätsmodelle wie z.B. Car Sharing sind in dieser Studie nicht einbezogen. Es gibt dazu sicher interessante Synergien, welche separat evaluiert werden sollten.

Die TCO Kalkulationen wurden von der Firma Interleasing AG aus Dietikon ZH ([www.auto-interleasing.ch](http://www.auto-interleasing.ch)) zur Verfügung gestellt. Die Tabellen beziehen sich auf eine durchschnittliche Laufleistung von 20'000 km pro Jahr und auf eine Leasingdauer von 5 Jahren. Am Ende der Leasingdauer wird ein Restwert angenommen. In der Realität stimmt das für die ASTRA Flotte nicht vollständig, da hier die Fahrzeuge gekauft werden. Trotzdem stellen diese Angaben eine gute Basis für eine detaillierte TCO Berechnung.

Für die Komponente „Verbrauchskosten“ in den TCO wurden die genauen Energie Verbrauchsdaten (aus den Simulationen) und durchschnittliche Strompreise von 0.18 CHF/kWh und Benzinpreise von 1.8 CHF/Liter benutzt. Sollten die Energiepreisen verändern, dann sollte die Kalkulation leicht angepasst werden. Da aber die Energiekosten ein kleiner Anteil der TCO darstellen, würde der Einfluss von einer Änderung der Energiepreise auf das Gesamtergebnis nicht relevant.

Bei den CO2-Berechnungen wurde nur der TTW (Tank-to-Wheel) Anteil berücksichtigt. Im Idealfall wäre jedoch eine WTW (Well-to-Wheel) Berechnung wünschenswert, um am besten die verschiedene Antriebstechnologien auch über die gesamte Energieproduktionskette zu vergleichen. Eine WTW Berechnung war aus Gründen der Komplexität in dieser Studie nicht möglich.

## 6 Handlungsempfehlungen

Die Simulationen, Berechnungen und Ergebnisse im Kapitel 4 stellen eine ideale Situation dar. In der Realität ist das beschriebene Elektrifizierungspotential nicht immer erreichbar, da die im Kapitel „Diskussion“ erläuterte Punkte zu berücksichtigen sind.

Anhand der Berechnungen und den Abgrenzungen im Kapitel „Diskussion“, ist Protoscar der Meinung, dass folgende Handlungsempfehlungen für das ASTRA wichtig sind:

- Um die Ziele zu erreichen und die optimalsten Werte der 3 Auswertungskriterien zu erhalten, sollte ein leistungsfähiges Reservierungssystem implementiert werden. Um das Reservierungssystem der Flotte einfach und mit möglichst wenig Aufwand effizient zu verwalten, könnte eine Software benutzt werden. Die Software sollte im Idealfall alle Funktionen übernehmen von der Reservierung und Zuordnung der Fahrzeuge, bis zur Berechnung der Emissionen, des Energieverbrauchs und der Betriebskosten. Falls ein neues Konzept entwickelt werden soll, werden im Anhang 4 die idealen Eigenschaften einer solchen Flotten- Gestaltungssoftware erläutert. Eine Software, welche BEV und REEV/PHEV berücksichtigt, steht heute schon zur Verfügung (siehe Anhang 5).
- Die mildeste „Custom3“ Flottenvariante (siehe Kapitel 4), die den Ersatz mit einem BEV und einem PHEV/REEV vorsieht, sollte aufgrund der Resultate auf jeden Fall implementiert werden. Ein solcher Ersatz umfasst für das ASTRA Vorteile wie reduzierter CO<sub>2</sub>-Austoss und Energieverbrauch. Dies würde sich durch eine entsprechende interne und externe Kommunikation auch positiv auf das Image auswirken. Dadurch könnte das ASTRA von einer wertvollen Vorreiterrolle profitieren. Die Schulung der eigenen Angestellten ist auch im Gesamtbild von grosser Bedeutung, insbesondere für ein Bundesamt das sich bemüht, zu einer nachhaltigen Mobilität beizutragen. Ausserdem sind die benötigten Zusatzkosten (TCO aus Tabelle 20 - etwa 2'000 CHF pro Jahr) so klein, dass das Budget von ASTRA kaum beeinflusst wäre.
- Mittelfristig ist die „Custom2“ Variante, welche eine grössere „Hybridisierung“ vorsieht, auch sinnvoll. Die Mobilität wird mit Sicherheit immer garantiert, mit einer Ersparnis an CO<sub>2</sub> Ausstoss (6.4 T pro Jahr) und Energieverbrauch (2'400 Liter Kraftstoff pro Jahr): das Ganze mit niedrigen Zusatzkosten (5'000 CHF pro Jahr).
- Die anderen Varianten, die eine grössere Elektrifizierung vorsehen, sollten mittelfristig umgesetzt werden, falls das Bundesamt eine klare nachhaltige Strategie der Mobilität vertreten will. Die Variante „Custom1“ ermöglicht, mit dem Ersatz von 7 Fahrzeugen und jährlichen Zusatzkosten von etwa 10k CHF Ersparnisse von 11 Tonnen CO<sub>2</sub> und 4'000 Liter Kraftstoff jährlich. Je effizienter der Antrieb, und somit je geringer der Energieverbrauch, desto kleiner wird der Anteil der Energie in der TCO Kostenstruktur. Aufgrund der neuen Technologie haben BEV und REEV/PHEV jedoch noch höhere TCO Werte im Vergleich zu Benzin/Diesel Fahrzeuge. Wenn man nur die TCO Werte anschaut, folgt daraus, dass ein Elektrofahrzeug möglichst viele Km pro Jahr fahren soll, damit es im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen wettbewerbsfähig wird. Das steht in gewisser Hinsicht in Widerspruch zur allgemeinen Meinung, dass BEVs prinzipiell Stadtfahrzeugen mit geringerer Laufleistung sind. Wenn die

Elektrofahrzeuge grössere jährliche Laufleistungen decken können, werden ihre höheren Anschaffungskosten durch die tieferen Betriebskosten kompensiert.

- Der Aufbau der Ladeinfrastruktur muss parallel mit der Anschaffung der Fahrzeuge realisiert werden. Ein Ladesystem (Normalladung) pro Fahrzeug soll installiert werden, da alle Fahrzeuge in der Nacht gleichzeitig geladen werden müssen. Die Installation der Normalladung ist nicht nur bei den umliegenden, sondern auch bei den peripherischen Standorten für die Ladung der PHEV/REEV sehr wichtig (BEVs können ohne Szenario 3 die peripherischen Standorte aufgrund der Reichweite nicht erreichen). Aufgrund der hohen Kosten lohnt sich die Installation von Schnellladesystemen bei den Standorten nur, wenn mindestens die „Custom1“ Flottenvariante implementiert wird oder andere ASTRA Filialen die gleiche Elektrifizierungsstrategie verfolgen.
- Wie die Resultate des Szenario 3 zeigen, ist ein öffentliches Schnellladenetz besonders wichtig, sodass fast alle „Einsatztage“ mit einem BEV fahrbar sind. Der Erfolg eines effizienten Schnellladenetzes in der Schweiz wird jede (elektrifizierte) Flotte unterstützen, deswegen wird empfohlen, Initiativen, die sich mit Ladenetze befassen, zu unterstützen. Falls das Szenario 3 Erfolg haben wird, wäre es durchaus sinnvoll auch bei den peripherischen ASTRA Standorten Schnellladesystemen zu installieren, da unter diesen Bedingungen die E-Autofahrer überall in der Schweiz ohne Reichweitenängste fahren könnten.
- Die Studie zeigt, dass Schnellladestationen an den ASTRA Standorten aus rein technischer Sicht nicht notwendig sind. Allerdings könnte die Installation entsprechender Infrastruktur aufgrund der diskutierten nicht technischen Faktoren Sinn machen (z. B. Vergessen des Aufladens über Nacht, kurzfristige, ungeplante Reisen, Unabhängigkeit von der Standdauer bei Dienstfahrten zu Filialen etc.). Aufgrund der Resultate sind die Standorten von Estavayer und Thun (siehe Statistik Ladungen) die ersten, die aufgrund der kurzen Distanz zur Zentrale Ittigen Ladesysteme installieren sollten. Aufgrund der langen Distanz zur Zentrale wäre eine Installation in Bellinzona und Winterthur nur sinnvoll, wenn das Szenario 3 (Schnellladesysteme an den Autobahnraststätten) Realität wird. In diesem Fall könnten reine BEV-Fahrer praktisch überall ohne Reichweiteangst fahren. Auch unter Winterbedingungen, d.h. mit kürzeren Reichweiten für reine BEVs, kann die Schnellladung , auch bei den ASTRA Standorten sehr wichtig werden.
- Kommunikationsaktivitäten zum Thema Flottenmanagement und Evaluation des Elektrifizierungspotentials sind jetzt ganz wichtig. Man sollte effizient und mit den richtigen Kommunikationsmittel öffentlich mitteilen, wie die Problematik seitens ASTRA angegangen worden ist, wie die Resultate der Studie die reelle Flotte beeinflussen und was das Ziel für die Zukunft ist.

## Anhang

### 1) Optiresource

Optiresource ([optiresource.org](http://optiresource.org)) ist eine von Daimler und Protoscar entwickelte Software für die Analyse und die Visualisierung von Energieketten und Energieszenarien. Optiresource ermöglicht:

- verschiedene sinnvolle Kombinationen von Energiequellen, Kraftstoffen und Fahrzeugantrieben zu entwerfen
- Kraftstoffverbrauch und die dazugehörigen Treibhausgasemissionen selbst zu ermitteln
- verschiedene Energieketten in Bezug auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen zu vergleichen
- Optimierung der verschiedenen Energieketten im Hinblick auf Verbrauch und Emissionen zu vergleichen
- Die Auswirkungen der verschiedenen Energie-Szenarien zu bestimmen
- Die Einflüsse der energiepolitischen Entscheidungen auf Verbrauchs- und Emissionswerte Optimierung zu ermitteln

## 2) Resultate

Abbildungen 21 (Mai bis Juli) und 22 (August bis Oktober) liefern einen detaillierten Überblick der 129 überwachten Arbeitstage, gefahren mit einem Nissan Leaf unter Defaultbedingungen gemäss Szenario 2. Es gibt keine markanten Unterschiede im Vergleich zu Szenario 1. Es gibt immer 12 Tage ohne Fahrzeuge im roten Bereich. Der Tag #36 mit 9 Fahrzeugen ist am ungeeignetsten für die Elektromobilität. Über die 6 Monate kann man aufgrund des Mobilitätsbedürfnisses theoretisch sagen, dass bis zu 6 Fahrzeuge „elektrifizierbar“ sind (Nissan Leaf als Referenzfahrzeug).

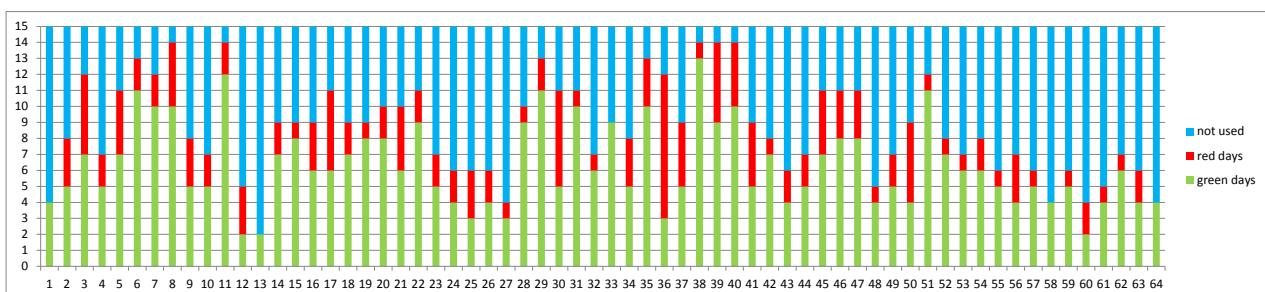


Abbildung 21: Rote und Grüne Einsatztage für die Elektro-Flotte (Mai bis Juli) - Szenario 2.

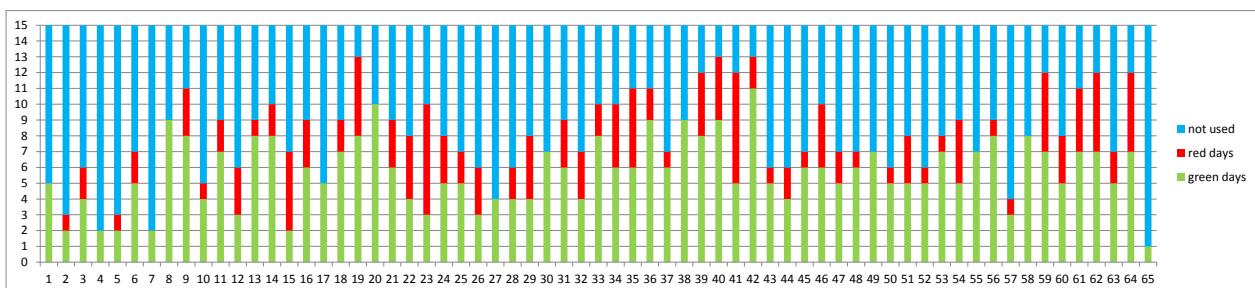


Abbildung 22: Rote und Grüne Einsatztage für die Elektro-Flotte (August bis Oktober) - Szenario 2.

Für die ersten 3 Monate ist in Abbildung 23 der Einfluss der Winterbedingungen dargestellt. Der Tag #50 mit 10 Fahrzeugen ist am wenigsten geeignet für die Elektromobilität. Über die sechs Monate kann man aufgrund der Mobilitätsbedürfnisse theoretisch sagen, dass bis zu 5 Fahrzeuge „elektrifizierbar“ sind (Nissan Leaf als Referenzfahrzeug).

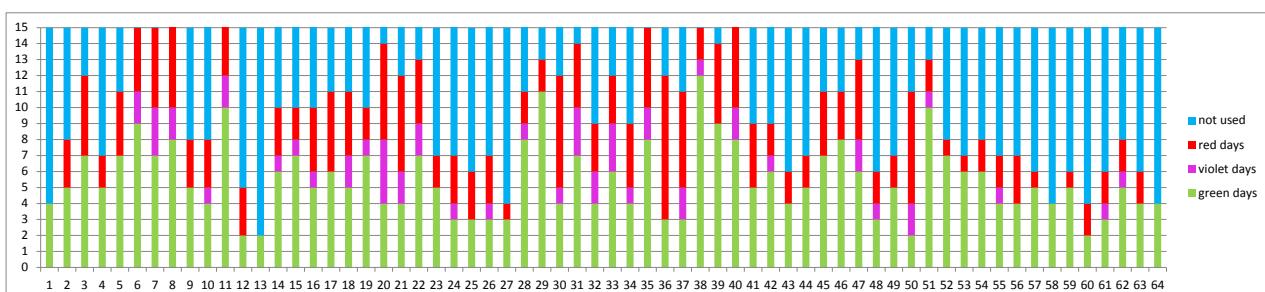


Abbildung 23: Einfluss der Winterbedingungen (Mai bis Juli) - Szenario 2.

Abbildungen 24 (Mai bis Juli) und 25 (August bis Oktober) einen detaillierten Überblick auf die 129 überwachten Arbeitstage, gefahren mit einem Nissan Leaf unter Defaultbedingungen gemäss Szenario 3. Es gibt jetzt deutliche Unterschiede im Vergleich zu Szenario 1 und 2. Es gibt sogar 75 Arbeitstage ohne Fahrzeuge im roten Bereich (fast 60%). Der Tag #36 mit 4 Fahrzeugen ist am ungeeignetsten für die Elektromobilität. Über die 6 Monate kann man aufgrund des Mobilitätsbedürfnisses theoretisch sagen, dass bis zu 11 Fahrzeuge „elektrifizierbar“ sind (Nissan Leaf als Referenzfahrzeug).

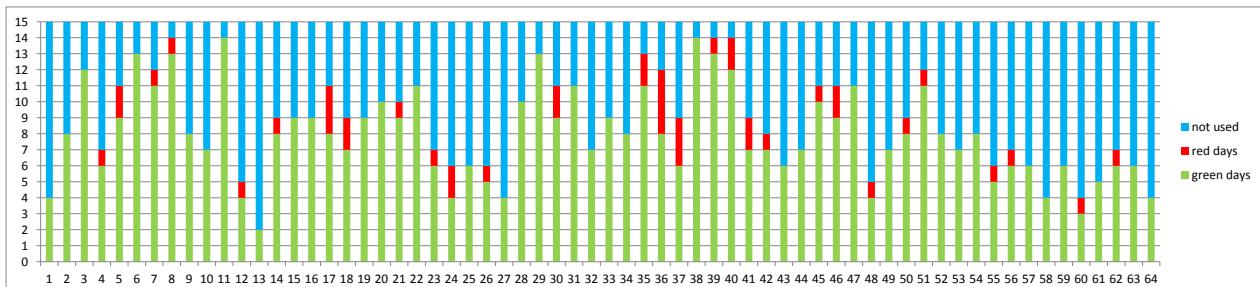


Abbildung 24: Rote und Grüne Einsatztage für die Elektro-Flotte (Mai bis Juli) - Szenario 3.

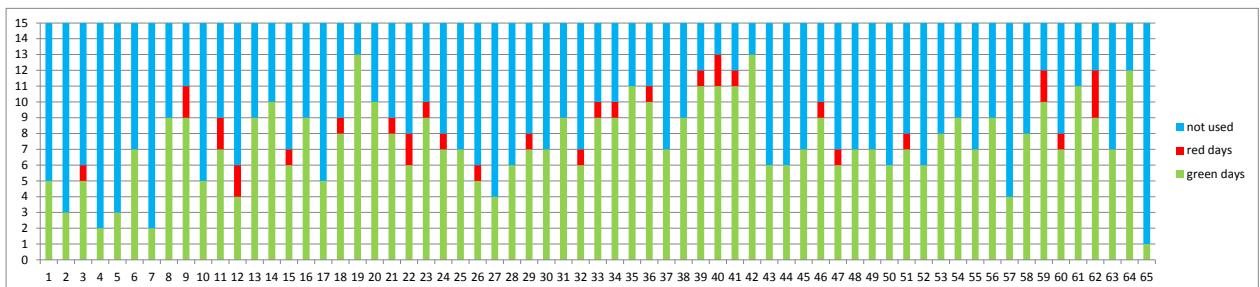


Abbildung 25: Rote und Grüne Einsatztage für die Elektro-Flotte (August bis Oktober) - Szenario 3.

Für die ersten 3 Monate ist in Abbildung 26 der Einfluss der Winterbedingungen dargestellt. Die Tage #20 und #31 mit 8 Fahrzeugen sind am wenigsten geeignet für die Elektromobilität. Über die 6 Monate kann man aufgrund des Mobilitätsbedürfnisses theoretisch sagen, dass bis zu 7 Fahrzeuge „elektrifizierbar“ sind (Nissan Leaf als Referenzfahrzeug).

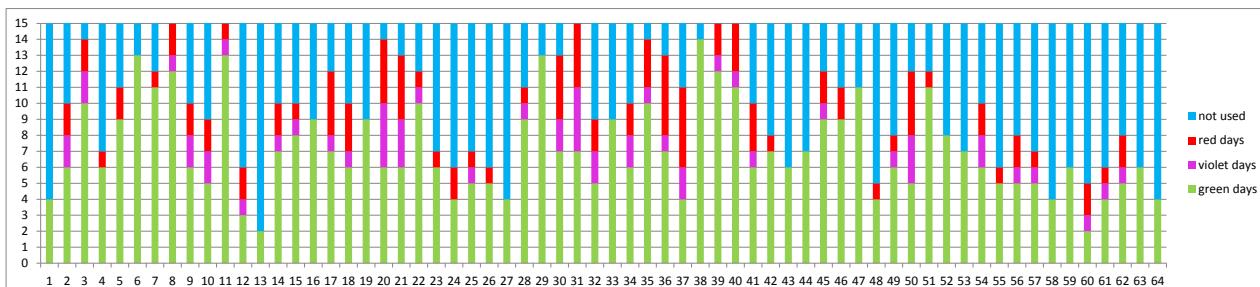


Abbildung 26: Einfluss der Winterbedingungen (Mai bis Juli) - Szenario 3.

Tabelle 20 zeigt hingegen die Endresultate für die Simulation der Flotte mit 15 Mitsubishi iMiev unter Defaultbedingungen. Im Vergleich zu dem Nissan Leaf, sieht man logischerweise aufgrund der Fahrzeugsspezifikationen einen geringeren Energieverbrauch (0.168 kWh/km).

Die über 6 Monate verbrauchte Energie liegt bei 21'100 kWh (knapp ein Fünftel weniger als der Leaf).

FLOTTE 6 MONTHS										
Overall Total										
Days #	Activities #	Time [h]	Distance [km]	Gain+ [m]	Gain- [m]	E_tot_cum kWh	E_cons_norec kWh	p_rec [%]	E_tot_inc_rec kWh	
1'091	2'800	1'954	125'525	1'393'650	-1'248'903	20'887	24'008	12.09	21'105	
Overall Average Day										
Days #	Activities #	Time [h]	Distance [km]	Gain+ [m]	Gain- [m]	E_tot_cum kWh	E_cons_norec kWh	cons_avg_inrec kWh/km	E_tot_inc_rec kWh	
1	2.57	1.79	115.05	1277	-1145	19.14	22.01	0.168	19.34	

Tabelle 19: Zusammenfassung der Simulation für die iMiev Flotte unter Default Bedingungen.

Aufgrund der kleineren Batterie (16 kWh für den iMiev, 24 für den Leaf) ist der Anteil der grünen Einsatztage kleiner im Vergleich zum Nissan Leaf. Dieser Anteil liegt bei 64% (Szenario1), 66% (Szenario2) und 87% (Szenario3), wie in der Tabelle dargestellt.

FLOTTE 6 MONTHS										
GreenS1 Day										
GreenS1 Day #	GreenS1 Act #	GreenS2 Day #	GreenS2 Act #	GreenS3 Day #	GreenS3 Act #	t recharge [h]	t recharge opt [h]			
697	63.89%	1924	68.71%	715	65.54%	1952	69.71%	950	87.08%	2543
										622.97
										119.95

Tabelle 20: Grüne Einsatztage für die iMiev Flotte unter Default Bedingungen in den 3 Szenarien.

### 3) Scenario 3 - Schnellladestationen

Die Tabelle 22 illustriert die 20 meist benutzen hypothetischen Schnellladestationen an den Autobahnraststätten in der Schweiz. Die Grauholz Raststätte ist deutlich in Führung mit 758 Ladungen, gefolgt von Gunzgen (517) und Münsingen (415). Die Analyse kann ev. Auch dem Projekt EVite für die Selektierung der Schnellladestandorte behilflich sein.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	TOTAL
	Raststätten :	charged															
1	6 A1 Raststätte Grauholz richtung west	88	26	36	57	62	36	37	30	40	17	66	87	71	56	39	748
2	11 A1 Raststätte Gunzgen Süd (Marché)	40	14	32	34	43	31	32	21	16	6	47	73	41	49	38	517
3	12 A1 Raststätte Gunzgen Nord (Marché)	39	14	34	32	46	31	32	21	16	6	47	65	41	49	38	511
4	45 A6 Raststätte Münsingen (Autogrill)	36	15	0	29	73	3	12	11	39	9	34	71	25	37	21	415
5	5 A1 Hotel Park Inn Lully (Rose de la broye)	48	14	8	45	50	37	15	4	43	25	20	0	14	28	4	355
6	25 A2 Raststätte Neuenkirch West (Marché)	11	2	16	8	21	6	11	10	4	2	16	12	25	14	14	172
7	26 A2 Raststätte Neuenkirch Ost (Marché)	9	4	15	6	19	3	15	5	2	2	17	13	21	15	16	162
8	22 A2 Rastplatz Teufenberg (Autogrill)	24	4	2	8	2	8	10	0	18	4	10	16	12	6	6	130
9	50 A12 Raststätte Motel Gruyère	7	0	2	6	8	14	8	25	6	9	7	6	8	10	0	116
10	16 A1 Raststätte Würenlos (Marché)	11	2	8	17	6	12	10	0	6	0	10	1	4	10	5	102
11	27 A2 Raststätte Gotthard	6	2	2	0	21	3	0	10	0	0	14	3	6	5	15	87
12	4 A1 Raststätte Rose de la broye (Autogrill, McDonald's)	6	0	0	2	3	11	4	0	6	15	0	0	6	3	0	56
13	49 A9 Raststätte Grand st-bernard (Marché)	4	0	0	0	6	4	0	21	0	0	4	0	0	4	0	43
14	28 A2 Raststätte San Gottardo	0	2	2	0	11	2	0	2	0	0	7	0	0	5	11	42
15	29 A2 Raststätte Ambri	0	2	2	0	11	2	0	2	0	0	7	0	0	5	11	42
16	37 A3 Raststätte Fuchsberg (McDonald's)	0	0	8	9	4	0	0	0	6	0	4	1	2	1	0	35
17	21 A2 Raststätte Pratteln (Autogrill)	0	0	0	10	3	0	2	0	0	2	2	4	8	0	0	31
18	52 A13 Raststätte Heidiland (Marché)	0	0	2	9	4	0	0	0	4	0	6	0	2	1	0	28
19	40 A3 Raststätte Walensee	0	0	2	9	4	0	0	0	4	0	5	0	2	1	0	27
20	32 A2 Raststätte Bellinzona Süd (Marché)	0	2	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	16	23

Tabelle 21: Top20 meist benutzte Schnellladestationen an den Autobahnraststätten.

## 4) Reservierungssystem

Um das Reservierungssystem der Flotte einfach und mit möglichst wenig Aufwand effizient zu verwalten, könnte eine Software benutzt werden. Die Software sollte im Idealfall alle Funktionen übernehmen von der Reservierung und Zuordnung der Fahrzeuge bis zur Berechnung der Emissionen. In diesem Kapitel werden die idealen Eigenschaften solcher Software erläutert.

### Eigenschaften der Idealen Software

Das Ziel dieser Software ist es, das effizienteste Fahrzeug vorzuschlagen für einen bestimmten Einsatz<sup>6</sup>. Die ideale Software basiert auf zwei Anwenderstufen. Die erste ist eine Administratorenstufe, wo der Administrator die Benutzer/innen sowie die Datenbank verwaltet. Die zweite ist eine Benutzerstufe, wo die Benutzer die Reservierung vornehmen<sup>7</sup>. Der Zugang zum Benutzertool<sup>8</sup> erfolgt über einen persönlichen Benutzernamen und ein Passwort. Der Administrator weist jedem Benutzer einen Benutzernamen und ein Kennwort zu<sup>9</sup>.

Die Software sollte wenn immer möglich BEVs zuweisen. Ist an einem Tag die Anzahl der mit e-Fahrzeugen machbarer Einsätze höher als die Anzahl der vorhandenen e-Autos, werden BEVs den Einsätze zugewiesen, welche die Rückkehr mit dem höchsten Ladezustand der Batterie erlauben. Dies um die Reichweiten-Angst zu verringern. Für die Einsätze die mit einem anderen Fahrzeug zu machen sind wird jedem Einsatz das Fahrzeug zugeordnet mit den niedrigsten Emissionen oder Kosten.<sup>10</sup>

Die Software sollte über eine Datenbank verfügen. Diese Datenbank sollte Benutzerinformationen wie Emailadresse, Fahrzeuginformationen (Brennstoff, Energieverbrauch), Karte der Ladestationen mit Informationen über die Ladestationen, usw. beinhalten (siehe Anhang „Detailliertes Verzeichnis der Datenbank der Reservierungssoftware“) Einige dieser Informationen der Datenbank ermöglichen die Berechnungen für spezifische Energieverbräuche die wichtig sind für eine Zuordnung der Fahrzeuge anhand der z.B. effizientesten Autos (siehe Anhang „Berechnungsoptionen für spezifische Energieverbräuche“).

Im idealen Fall sollte die Software für die zwei Anwenderstufen verschiedene Informationen oder Berichte zur Verfügung stellen (siehe Anhang „Berichterstattung des Reservierungssystem“).

### Ablauf des Reservierungsprozesses

---

<sup>6</sup> Einen Einsatz entspricht in diesem Kapitel einer Leipériode eines Autos. Einen Einsatz besteht aus einer oder mehreren Fahrten

<sup>7</sup> Die Software sollte deswegen über zwei Schnittstellen verfügen: Die erste „Backend“ die dem Administrator die Schnittstelle für die Verwaltung bietet (einfache Graphical User Interface - GUI - wäre ausreichend); Die zweite „Frontend“ das Tool mit dem der Benutzer interagiert, (benutzerfreundliche GUI ist hier erforderlich).

<sup>8</sup> Die Software kann entweder als Desktop- oder als Web-Anwendung entwickelt sein. Wenn es wichtig ist eine vom Betriebssystem unabhängige Software zu haben, die auch remote-abrufbar ist, sollte man durchaus eine Web-Anwendung in Betracht ziehen.

<sup>9</sup> Das beim ersten Einloggen vom Benutzer geändert werden kann. Nicht zu vergessen ist der Mechanismus für die automatische Wiederherstellung von Zugangsdaten. Sollten diese Daten verloren gehen, könnten sie per Email wiederhergestellt werden da jeder Benutzer zumindest durch die Emailadresse in der Datenbank identifiziert wird.

<sup>10</sup> Im Falle von mehreren Fahrzeugen mit gleichen Emissionen/Kosten wird eine Zuweisungsreihenfolge bestimmt. Mögliche Kriterien sind z.B. das Alter des Fahrzeugs oder die Vorlieben des Fahrers.

Der Buchungsablauf wird wie folgt durchgeführt (siehe Anhang „Die Prozedur der Reservierungssoftware“):

- Definition der Fahrten und Transportbedürfnisse
- Berechnung des Energieverbrauchs
- Vorschlag des angemessenen Fahrzeugs
- Zuordnung der verschiedenen Fahrzeuge im Falle von mehrere Buchungen pro Tag

Am Ende der Reservierungsanfrage<sup>11</sup> sollte der/die Antragsteller/in durch das System automatisch benachrichtigt werden welches Auto ihm/ihr für diesen Einsatz zugewiesen wird.

Der Reservierungsprozess startet indem der/die Benutzer/in ein Fahrzeug für einen bestimmten Tag anfordert und seinen/ihren Einsatz der aus einer oder mehreren Fahrten besteht definiert<sup>12</sup>. Zu der Definition des Einsatzes gehören auch evtl. spezielle Transportbedürfnisse.

Ist der Einsatz bestimmt, wird zuerst überprüft, ob es ein Fahrzeug gibt, das für die evtl. Transportbedürfnisse geeignet ist. Wenn ein geeignetes BEV gefunden wird, dann wird die Prozedur wie folgt angegangen. Wenn kein BEV geeignet ist, wird die Berechnung für die Energieverbräuche für ein anderes geeignetes Fahrzeug berechnet.

Das System berechnet über den Energieverbrauch, ob der Einsatz mit einem BEV möglich ist: Wenn die erste Fahrt nicht möglich ist wird abgeklärt ob auf dem Weg eine Schnellladung möglich ist. Wenn diese Möglichkeit besteht wird berechnet wie viel Energie man in einem von dem Administrator definierten Zeitraum laden kann<sup>13</sup>. Dann wird überprüft ob das Ziel erreichbar ist: Wenn das Ziel nicht erreichbar ist, dann ist diese Fahrt mit einem BEV nicht möglich; Wenn das Ziel erreichbar ist, dann wird die zweite Fahrt angegangen.

Am Ende werden Energieverbräuche des Einsatzes, Kosten und Emissionen berechnet (siehe Anhang „Berechnung des Energieverbrauchs für BEVs“).

Falls die Fahrt nicht mit einem BEV möglich ist, werden die anderen Möglichkeiten untersucht. Für jede Fahrt mit einem REEV wird der Energieverbrauch berechnet. Reiner Elektromodus und Hybridmodus werden separat in Betracht gezogen. Für die erste Fahrt wird berechnet wie viele Km rein elektrisch gefahren werden können. Der Verbrauch und der Ladezustand der Batterie werden ebenfalls berechnet. Wenn das Ziel im rein Elektromodus erreicht werden kann, wird die zweite Fahrt sofort angegangen; Wenn nicht wird der Verbrauch für den Teil der Reise der mit Range Extender gefahren wird berechnet.

Am Ende werden Energieverbräuche des Einsatzes, Kosten und Emissionen berechnet für beide Modi rein elektrisch und mit Range Extender (siehe Anhang „Berechnung des Energieverbrauchs für REEVs“).

Ist die Fahrt nicht mit einem e-Fahrzeug (BEV oder REEV) möglich, werden die Berechnungen des Verbrauchs<sup>14</sup> und der Kosten von den anderen Fahrzeuge benutzt um zu bestimmen welches das geeignetste für den bestimmten Einsatz ist.

---

<sup>11</sup> Reservierungen sollten bis zu einer bestimmten Zeit des Vortages möglich sein.

<sup>12</sup> Der Einsatz wird durch Startadresse (Default Zentrale ASTRA), Ankunftsadresse und Pausenzeiten definiert.

<sup>13</sup> Der Zeitraum wird von dem Administrator definiert um zu vermeiden, dass die Einsätze zu lang werden.

<sup>14</sup> Für die Berechnung des Energieverbrauchs, Emissionen und Kosten der konventionellen Fahrzeuge werden die Werte des Einheitsverbrauchs aus der Datenbank multipliziert mit den tatsächlich zurückgelegten Kilometern.

## Die Prozedur der Reservierungssoftware

### DIE PROZEDUR DER SOFTWARE



Abbildung 27: Das generelle Schema der Prozedur der Software

### Detailliertes Verzeichnis der Datenbank der Reservierungssoftware

In der Datenbank sollten die folgenden Verzeichnisse eingetragen sein:

- Benutzer: Zumindest deren Emailadressen.
- Fahrzeug: Beschreibung und Bild des Fahrzeuges, Art des Brennstoffs und spezifischen Energieverbrauch (kWh/100km oder l/100km). Für die Berechnung des spezifischen

Energieverbrauchs sind verschiedene Varianten möglich, siehe „Berechnungsoptionen für spezifische Energieverbräuche“ unten.

- Für BEV und REEV müssen mindestens die drei spezifischen Verbräuche unter den verschiedenen Bedingungen angezeigt sein (Winter, maximale Temperatur <10°C; Sommer, maximale Temperatur >25°C; Standard, ohne Heizung oder A/C in Funktion). Für diese Art von Fahrzeugen müssen die möglichen Ladetypen angezeigt sein.
- Karte der Ladestationen: Koordinaten des Orts wo sich jede Ladestation befindet und deren mögliche Ladearten.
- Ladestationen: Informationen über Ladestationen, Steckdosentypen und Ladeleistungen.
- Einsätze: Beschreibung der Fahrten (Abfahrt, Ankunft und Pausenzeit), Informationen über Fahrzeug, Fahrer, vorgesehene und tatsächliche Verbräuche und Emissionen.
- Energiequelle (Brennstoff und Strom): Art der Energie, einheitliche Kosten und Emissionen.
- Es könnten noch zusätzliche Verzeichnisse hinzugefügt werden. Z.B. ein Grundmuster der durchgeführten Einsätze, das von der Software für die Berechnung vom Verbrauch benutzt werden kann (siehe Berechnungen für spezifische Energieverbräuche - Variante 2)

### Berechnungsoptionen für spezifische Energieverbräuche

#### Berechnungsoptionen für spezifische Energieverbräuche - Variante 1

Dieser Ansatz basiert auf den durchschnittlichen Verbräuchen unter Berücksichtigung aller Einsätze. Für konventionelle Fahrzeuge werden Durchschnittswerte pro Auto verwendet. Diese Daten könnten historisch sein oder auch aus der halbjährlichen Erfassung der Studie von Protoscar stammen. Für die Durchschnittswerte des Elektromodus der BEVs und REEVs könnte der erste Datensatz aus der Simulation des Verbrauchs der Protoscar Studie stammen. Diese Werte würden anhand des tatsächlichen Verbrauchs aktualisiert.

Der Vorteil ist, dass es sich um eine kostengünstige Methode handelt und keine zusätzliche Registrierung für den Benutzer erforderlich ist.

Der Nachteil ist, dass es eine weniger präzise Methode ist, vor allem für BEV und REEV.

#### Berechnungsoptionen für spezifische Energieverbräuche - Variante 2

Dieser Ansatz basiert auf den, für eine ähnliche Fahrt registrierten, durchschnittlichen Verbräuche. In der Datenbank wird ein neues Verzeichnis hinzugefügt in dem die simulierten Durchschnittsverbräuche für jede Fahrzeugart übertragen werden. Die Daten könnten z.B. aus der halbjährlichen Datenerfassung der Studie, die von Protoscar für das ASTRA durchgeführt wurde, stammen.

Wenn eine Fahrt schon in der Datenbank eingetragen ist, dann werden die schon eingetragenen spezifischen Verbräuche verwendet. Sonst wird eine Interpolation durchgeführt mit den Situationen die sich am nächsten befinden in Bezug auf Höhe und durchschnittliche Geschwindigkeit. Aktualisierungen werden anhand der Aufnahmen der Fahrten durchgeführt.

Der Vorteil ist, dass es genauer und detaillierter ist. Der Nachteil ist, dass die Aktualisierungen gute Zusammenarbeit von Fahrern und höhere Kosten erfordert.

## Berechnung des Energieverbrauchs für BEVs

Als erstes sollte die Software rechnen ob die erste Fahrt möglich ist und den Ladezustand (SOC) nach dieser Fahrt errechnen. Dann sollte das System die zweite Fahrt angehen, ausgehend von:

- Dem Endladezustand der Batterie wenn keine Lademöglichkeit beim Ankunftsplatz vorhanden ist
- Dem Ladezustand nach der Ladung wenn eine Ladestation und Lade-Zeit zur Verfügung stehen

Die spezifischen Verbräuche die für die Berechnung verwendet werden sind abhängig von der angegebenen maximalen Temperatur des Tages. Die Software sollte über eine Funktion verfügen, die automatisch die von den Wettervorhersagen vorgesehene maximale Temperatur der Region erkennt.

Der Vorgang wird fortgesetzt bis entweder:

- Alle Fahrten mit BEV möglich sind, in diesem Fall ist ein BEV für den Einsatz geeignet
- Eine Fahrt nicht möglich ist, also ist der Einsatz mit BEV nicht möglich

## PROZEDUR FÜR FAHRZEUGSBERECHNUNGEN BEV

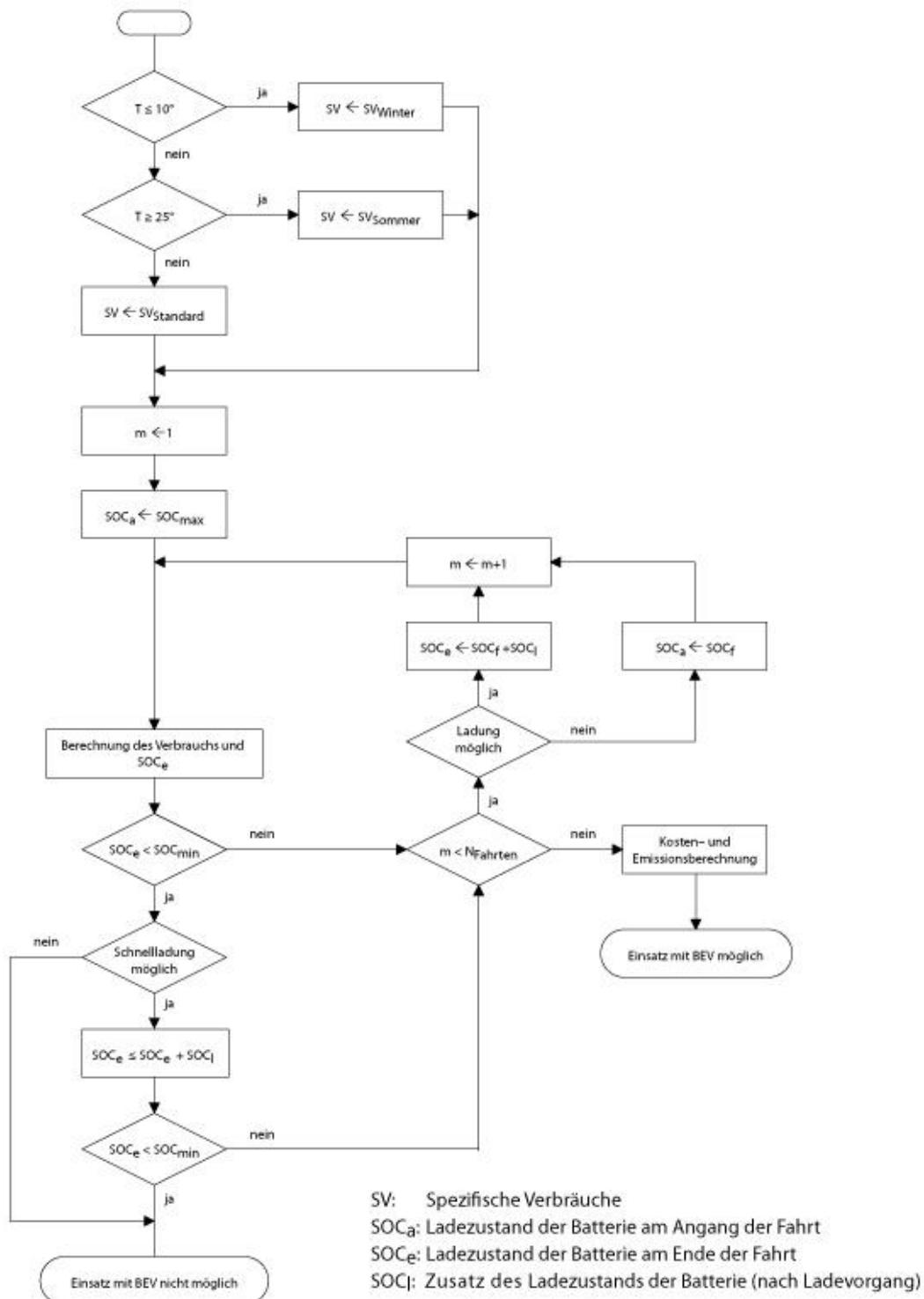


Abbildung 28: Prozedur der Software für den BEV Einsatz

## Berechnung des Energieverbrauchs für REEVs

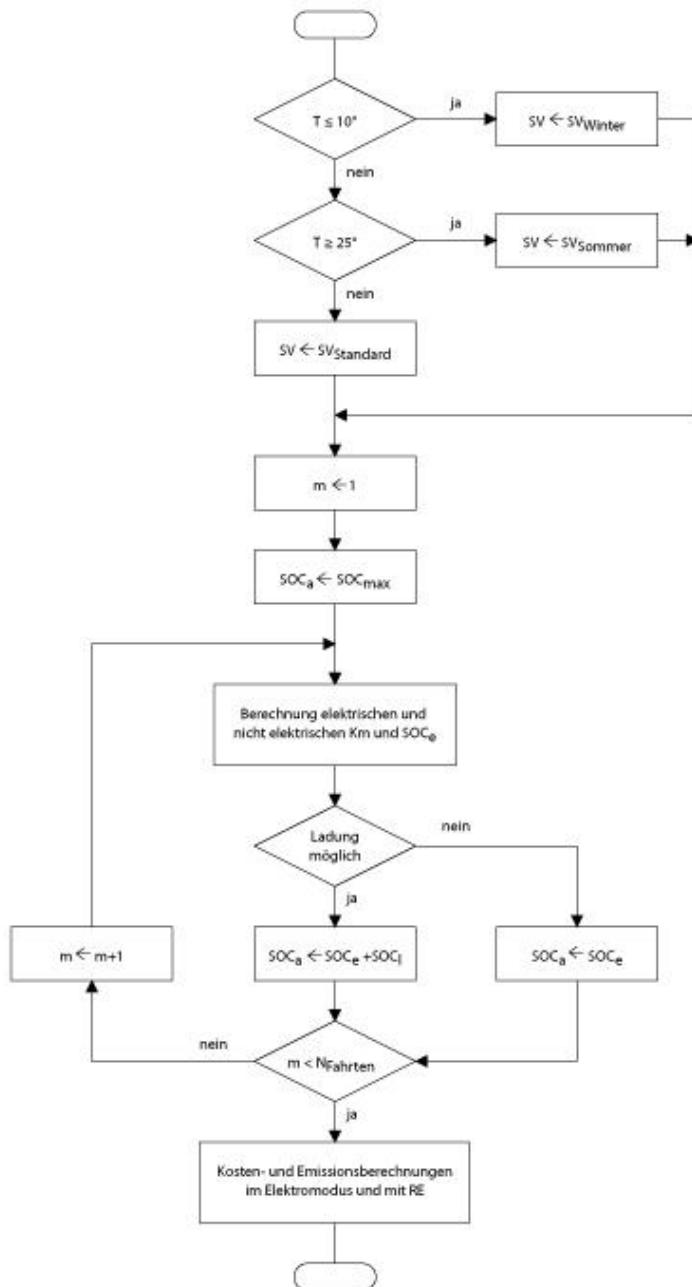
Für die Berechnungen des Verbrauchs von REEVs sollten reiner Elektromodus und Hybridmodus separat in Betracht gezogen werden. Bei den Berechnungen im Elektromodus müssen die gleichen Wetterbedingungen berücksichtigt werden die beim reinen BEV zur Anwendung kamen.

Da der Fahrer während der Fahrt zwischen den zwei Modi wählen kann, können einfachheitshalber die Berechnungen unter der Annahme gemacht werden, dass das Auto zuerst im reinen Elektromodus fährt und dann möglicherweise auf den Range Extender zugreift.

Für die nachfolgenden Fahrten wird fortgesetzt ausgehend von:

- Dem Endladezustand der Batterie wenn keine Lademöglichkeit beim Ankunftsort besteht
- Dem Endladezustand nach der Ladung wenn eine Ladestation und Lade-Zeit zur Verfügung stehen

## PROZEDUR FÜR FAHRZEUGSBERECHNUNGEN REEV



SV: Spezifische Verbräuche

$SOC_a$ : Ladezustand der Batterie am Anfang der Fahrt

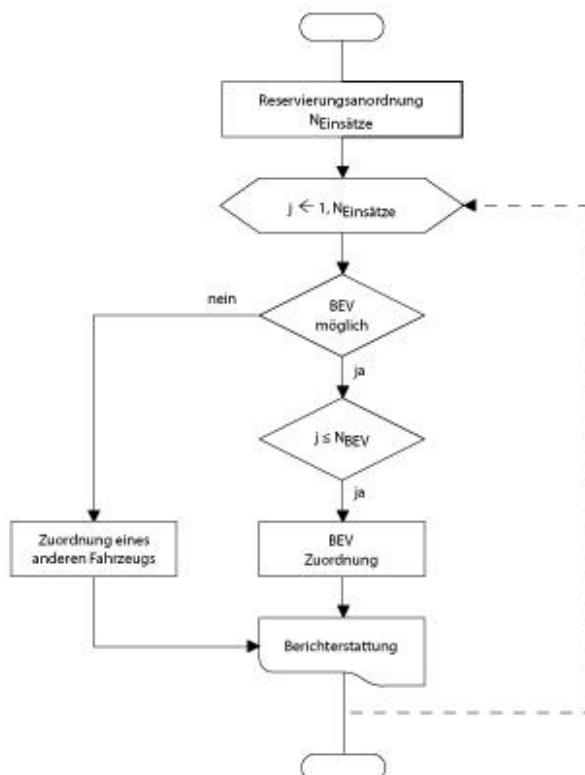
$SOC_e$ : Ladezustand der Batterie am Ende der Fahrt

$SOC_l$ : Zusatz des Ladezustands der Batterie (nach Ladevorgang)

Abbildung 29: Prozedur der Software für den REEV Einsatz

## Buchungsbestätigung des Fahrzeugs nach der Reservierung

### PROZEDUR FÜR FAHRZEUGZUORDNUNG



N<sub>BEV</sub>: Anzahl BEVs der Flotte

Abbildung 30: Prozedur der Software für die Fahrzeugzuordnung

### Berichterstattung des Reservierungssystems

#### Für den Administrator

- Liste der Tag für Tag zugeordneten Fahrzeuge
- Wöchentliche/monatliche/jährliche Statistiken zur Nutzung, Verbrauch und allgemeine Emissionen nach Art des Fahrzeugs, nach Fahrer sowie auch nach Fahrer und Art des Fahrzeugs
- Allgemeine Liste der Einsätze, nach Art von Fahrzeug, nach Fahrer sowie nach Art von Fahrzeug und Fahrer, nach Emissionen und nach Kraftstoffverbrauch.

#### Für die Benutzer/innen

- Wöchentliche/monatliche/jährliche Statistiken zu persönliche Nutzung, persönlichen Verbrauch, persönliche Emissionen nach Fahrzeugtyp
- Liste der eigenen Einsätze und Fahrten mit Informationen über Fahrzeugtyp, Kraftstoffverbrauch und Emissionen.

## 5) Buchungssystem: Beispiel einer Software

Als Beispiel bietet Mobility Solutions AG (<http://www.post.ch/mobilitysolutions>) ein online Buchungssystem für die Optimierung eines Fuhrparks. Das System verwaltet alle Antriebsarten z.B. Hybrid- und Elektrofahrzeuge. Der Fuhrpark kann gemäss Auslastung Schrittweise auf die tatsächliche benötigte Anzahl Fahrzeuge reduziert werden.  
<http://www.post.ch/mobilitysolutions/mos-startseite/mos-ihre-vorteile-2012/mos-factsheet-pooling.pdf>

## Bibliographie

Bosch, „Automotive handbook“, 4th Edition

FEE Kirschbaum, „Fahrzeugtechnik EWG“

<http://www.gpsvision.biz>

<http://www.post.ch/mobilitysolutions>

<http://www.wikipedia.org>

<http://auto-interleasing.ch>