



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech

Schlussbericht vom 09. August 2021

18 Tonnen Elektro-Lastwagen im täglichen Waretransport (Feinverteilung)





Datum: 16. November 2020

Ort: Pratteln, Beckenried

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger/innen:

Coop Genossenschaft
Thiersteinerallee 12, 4002 Basel
www.coop.ch

Feldschlösschen Supply Company AG
Theophil-Roniger-Strasse, 4310 Rheinfelden
www.fgg.ch

E-Force One AG
Obere Allmend 12, 6375 Beckenried
www.eforce.ch

Autor/in:

Reto Leutenegger, EFORCE, reto.leutenegger@eforce.ch
Beat Hirschi, Coop Genossenschaft, beat.hirschi@coop.ch

BFE-Projektbegleitung:

Men Wirz, men.wirz@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501005-01

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



Zusammenfassung

Feldschlösschen und Coop haben die beiden ersten von E-Force One produzierten 18 Tonnen Elektro-Lastwagen mit 10 Tonnen für Aufbau und Nutzlast erhalten und während 5 Jahren in der Feinverteilung eingesetzt. Beide Unternehmen belieferten ihre Kunden ab den jeweiligen Verteilzentralen.

Die Elektro-Lastwagen haben sich im täglichen Warentransport bewährt und können einen Lastwagen in der Stadtbelieferung ersetzen. Neben der beschränkten Nutzlast, die eine komplette Integration in den Verteilerverkehr, inklusive einer Belieferung von Getränken, nicht verunmöglicht aber erschwert, ist die Reichweite je nach Einsatzgebiet zu gering. Tests in Chur und der Region Lausanne mussten abgebrochen werden. Die Topographie verunmöglichte einen effizienten Einsatz. Im Mittelland, der Agglomeration und im Stadtgebiet bewährt sich der Eforce.

Der E-Force One wurde zu Testzwecken auch im Raum Chur und den angrenzenden Bergen eingesetzt. Längere Steigfahrten (Bergauf) liessen die Motoren überhitzen und in ein Notprogramm fallen. Geschwindigkeiten von maximal 30 Km/h waren auf 80er Strecken nicht vertretbar (Bsp. Flimser-Rampe). Somit musste der Test nach diversen Versuchen abgebrochen werden.

Im leicht hügeligem Mittelland aber auch in der Agglomeration und im städtischen Gebiet kann man von einem problemlosen Einsatz sprechen. Nach drei Jahren jedoch liess die Leistung der Batterien nach, Zellfehler führten zu massiven Einbussen und die eigentlich geforderten, gewünschten 260 Kilometer (Tageseinsatz) konnten nicht mehr erbracht werden. Die E-Force One wurden dann in der "nahen" Agglomeration eingesetzt, auf Touren bis 200 Kilometer oder ganz am Ende, im Jahr 2020, nur noch auf einer kurzen 80 Kilometer Tour. Eine grosse Unsicherheit war für den Fahrer, dass auf die effektive Leistungsangabe im Führerhausdisplay keinen Verlass mehr war. Der Leistungseinbruch, die Restreichweite sank in den letzten 25% der Anzeige stärker und schneller als erwartet. Dies führte dazu, dass im letzten relevanten Jahr (2019) im Schnitt Dietikon 126km, Bern 79km, Schafisheim 1 223 km und Schafisheim 2 222km täglich leisteten. Vereinzelt wurde in Schafisheim mit einer Zwischenladung bis zu 380km am Tag gefahren, dann jedoch mit einer Doppelbesatzung.

Im Grundsatz ist die Technologie deutlich wartungsfreundlicher. Im Stadium eines Prototypen jedoch musste der E-Force One zwischen 18. März 2014 und Ende 2020 17 mal ausserordentlich in die Garage. Defekte an Wechselrichter, Ladegeräte, Probleme mit dem zusätzlich installierten Solardach, Probleme mit einer nicht ladenden Batterie oder einfach Fehlermeldungen, welchen man nachgehen musste, führten zu Mehrkosten von CHF 57'977. Mit E-Force hatte man einen kompetenten Partner der kulant die Prototypen wieder instand stellte. Die fehlenden nationale Garageninfrastruktur führte dazu, dass der E-Force One mehrfach überführt werden musste.

Im Vergleich kann ein Diesel-LKW ohne weiteres Touren bis zwei Tage ohne Betankung abwickeln und ist lediglich 2x pro Jahr für einen Oelfilter und Flüssigkeitscheck sowie einem Service, einer Inspektion in der Garage. Insgesamt 3 Tage Ausfall sind zu rechnen die ein geschulter Mechaniker der Coop-Eigenen Garage durchführen kann. Coop war sich der möglichen Herausforderungen bewusst und geht davon aus, dass neue Serien über Wartungsarme Systeme verfügen und man dann entsprechende Einsparungen verwirklichen kann.

Was im Jahr 2013 mit einem Leuchtturmprojekt der Projektpartner startete ist im Jahr 2020 bereits bei den meisten Hersteller bestellbar. Die Technologie hat sich weiterentwickelt und die Marktreife ist vorhanden. Nach wie vor ist das Gesamtgewicht des Antriebes inklusive der Batterie zu hoch und die



Reichweite lediglich für den Verteilerverkehr ideal aber in Kombination mit dem Durchbruch von Gas und H2 ergänzen sich die Konzepte.

Résumé

Feldschlösschen et Coop ont reçu les deux premiers camions électriques de 18 tonnes produits par E-Force One avec 10 tonnes pour la construction et la charge utile et ont été utilisés pendant 5 ans dans la distribution fine. Les deux sociétés approvisionnaient leurs clients à partir des centres de distribution respectifs.

Les camions électriques ont fait leurs preuves dans le transport quotidien de marchandises et peuvent remplacer un camion dans l'approvisionnement de la ville. En plus de la charge utile limitée, qui ne rend pas impossible mais difficile une intégration complète dans le trafic de distribution, y compris l'approvisionnement en boissons, la portée est trop faible selon les zones d'utilisation. Des tests à Coire et dans la région de Lausanne ont dû être annulés. La topographie n'a pas été efficace. Dans le Mittelland, l'agglomération et la zone urbaine, l'Eforce fait ses preuves.

L'E-Force One a également été utilisé à des fins de test dans la région de Coire et les montagnes voisines. De longues ascensions (en montée) ont provoqué une surchauffe des moteurs et une chute dans un programme d'urgence. Des vitesses d'un maximum de 30 km/h n'étaient pas acceptables sur 80 itinéraires (par exemple, rampe Flimser). Ainsi, le test a dû être annulé après plusieurs tentatives.

Dans le Plateau Central légèrement vallonné, mais aussi dans l'agglomération et l'agglomération, on peut parler d'usage sans problème. Après trois ans, cependant, les performances des batteries se sont détériorées, des défauts de cellules ont entraîné des pertes massives et les 260 kilomètres réellement nécessaires et souhaités (utilisation quotidienne) ne pouvaient plus être atteints. Les E-Force One ont ensuite été utilisées dans l'agglomération « voisine », sur des circuits allant jusqu'à 200 kilomètres ou en toute fin, en 2020, uniquement sur un petit circuit de 80 kilomètres. Une incertitude majeure pour le conducteur était qu'il ne pouvait plus se fier aux informations sur les performances réelles affichées sur l'écran de la cabine du conducteur. La baisse des performances et la plage restante ont chuté de plus en plus rapidement que prévu dans les derniers 25% de l'affichage. Cela a conduit au fait qu'au cours de la dernière année pertinente (2019), Dietikon a atteint une moyenne de 126 km, Berne 79 km, Schafisheim 1 223 km et Schafisheim 2 222 km par jour. Parfois à Schafisheim, une charge intermédiaire était utilisée pour parcourir jusqu'à 380 km par jour, mais ensuite avec un double équipage.

En principe, la technologie est beaucoup plus facile à entretenir. Au stade du prototype, cependant, l'E-Force One a dû entrer au garage 17 fois extraordinaires entre le 18 mars 2014 et la fin de 2020. Des défauts dans les onduleurs, les chargeurs, des problèmes avec le toit solaire installé en plus, des problèmes avec une batterie non chargée ou simplement des messages d'erreur qui devaient être examinés ont entraîné des coûts supplémentaires de 57 977 CHF. Avec E-Force, ils avaient un partenaire compétent qui s'occupait à nouveau des prototypes. L'absence d'une infrastructure de garage nationale signifiait que l'E-Force One a dû être transféré plusieurs fois.



En comparaison, un camion diesel peut facilement gérer des tournées jusqu'à deux jours sans faire le plein et n'est requis que deux fois par an pour un contrôle du filtre à huile et des fluides ainsi qu'un service, une inspection dans le garage. Un total de 3 jours d'échec sont à prévoir, qu'un mécanicien formé dans le propre garage de la Coop peut effectuer. Coop était consciente des défis possibles et part du principe que les nouvelles séries auront des systèmes nécessitant peu d'entretien et que les économies correspondantes pourront alors être réalisées.

Ce qui a commencé en 2013 avec un projet phare des partenaires du projet peut déjà être commandé à la plupart des fabricants en 2020. La technologie a évolué et la mise sur le marché est disponible. Le poids total de la commande, y compris la batterie, reste trop élevé et la portée est idéale uniquement pour le trafic de distribution, mais en combinaison avec la percée du gaz et du H2, les concepts se complètent.

Summary

Feldschlösschen and Coop have received the first two 18 tons of electric trucks produced by E-Force One with 10 tons for assembly and payload and have been used for 5 years in fine distribution. Both companies supplied their customers from the respective distribution centres.

The electric trucks have proven themselves in the daily transport of goods and can replace a truck in the city supply. In addition to the limited payload, which does not make it impossible but difficult to fully integrate into distribution traffic, including the supply of beverages, the range is too low depending on the area of application. Tests in Chur and the Lausanne region had to be cancelled. Topography made it impossible to use it efficiently. In the Mittelland, the agglomeration and the urban area, the Eforce proves itself.

The E-Force One was also used for test purposes in the Chur area and the neighboring mountains. Long ascents (uphill) caused the motors to overheat and fall into an emergency program. Speeds of a maximum of 30 km / h were not acceptable on 80 routes (e.g. Flimser ramp). So the test had to be canceled after various attempts.

In the slightly hilly Central Plateau, but also in the agglomeration and urban area, one can speak of problem-free use. After three years, however, the performance of the batteries deteriorated, cell defects led to massive losses and the actually required, desired 260 kilometers (daily use) could no longer be achieved. The E-Force One were then used in the "nearby" agglomeration, on tours of up to 200 kilometers or at the very end, in 2020, only on a short 80-kilometer tour. A major uncertainty for the driver was that the actual performance information in the driver's cab display could no longer be relied on. The drop in performance and the remaining range fell more and more quickly than expected in the last 25% of the display. As a result, in the last relevant year (2019), Dietikon achieved an average of 126km, Bern 79km, Schaffisheim 1,223km and Schafisheim 2,222km daily. Occasionally in Schafisheim an intermediate load was used to drive up to 380 km per day, but then with a double crew.

In principle, the technology is much more maintenance-friendly. At the prototype stage, however, the E-Force One had to go into the garage 17 extraordinary times between March 18, 2014 and the end of 2020. Defects in inverters, chargers, problems with the additionally installed solar roof, problems with a non-charging battery or simply error messages that had to be investigated led to additional costs of CHF 57,977. With E-Force they had a competent partner who accommodated the prototypes again. The lack of a national garage infrastructure meant that the E-Force One had to be transferred several times.



In comparison, a diesel truck can easily handle tours of up to two days without refueling and is only required twice a year for an oil filter and fluid check as well as a service, an inspection in the garage. A total of 3 days of failure are to be expected, which a trained mechanic in the Coop's own garage can carry out. Coop was aware of the possible challenges and assumes that new series will have low-maintenance systems and that corresponding savings can then be made.

What started in 2013 with a lighthouse project of the project partners can already be ordered by most manufacturers in 2020. The technology has evolved and the market maturity is there. The total weight of the drive, including the battery, is still too high and the range is ideal only for distribution traffic, but in combination with the breakthrough of gas and H2, the concepts complement each other.

Take-home messages

- Eine enge Begleitung der operativen Mitarbeiter ist mit entscheidend über den Erfolg im Einsatz von neuen Technologien.
- In der TCO Betrachtung spielt die Lade-Infrastruktur für grössere Fuhrparks mit eine Hauptrolle.
- Die Vorteile des E-Antriebes sind nicht von der Hand zu weisen. Leise, effizient, antriebsstark, CO2 reduziert in den Städten sind die E-LKWs bevorzugt.
- Reichweiten und Nutzlast stehen sich gegenüber und die Konfiguration für das Eine oder Andere entscheiden über den Einsatz je Bereich, Betrieb und/oder gar Region.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Résumé.....	4
Summary	5
Take-home messages	6
Inhaltsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
1. Einleitung	9
1.1 Ausgangslage und Hintergrund.....	9
1.2 Motivation des Projektes	9
1.3 Projektziele	10
2. Anlagenbeschrieb	10
3. Vorgehen und Methode.....	11
4. Ergebnisse und Diskussion	15
5. Schlussfolgerungen und Fazit	23
6. Ausblick und zukünftige Umsetzung	28
7. Nationale und internationale Zusammenarbeit	32
8. Kommunikation	32
9. Publikationen	32



Abkürzungsverzeichnis

Feinverteilung	Verteilung von Stückgut auf kurzen Strecken, meist Agglomeration und Stadt.
----------------	---



1. Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Mit dem Start der Entwicklung eines rein elektrischen 18 Tonnen Nutzfahrzeuges stand man im Jahr 2013 vor der Problematik, dass im automotiven Sektor zwar Komponenten für Elektrofahrzeuge vorhanden waren, diese aber lediglich für den Einsatz in Personenwagen konzipiert waren.

Coop und Feldschlösschen verfolgten eine aggressive Strategie der substanziellen CO₂ Reduktion im Verteilerverkehr und konnten im Markt mit den Projektpartnern die Inverkehrsetzung dieser dazumal einzigartigen Fahrzeuge "rekrutieren", respektive zusammenbringen.

Die Realisierung der technischen Systeme erfolgte schliesslich unter der Leitung der E-FORCE ONE AG in Zusammenarbeit mit der Designwerk GmbH, welche bereits einige Erfahrung in der Elektrifizierung von Kleinfahrzeugen mit sich brachte.

Aus diesem Grund und in Zusammenarbeit mit der Designwerk GmbH wurden Komponenten eingesetzt, welche bereits aus Projekten aus dem PKW-Sektor bekannt waren. Diese stammten vornehmlich aus dem Hause Brusa Elektronik AG (Motoren, Umrichter und Ladegeräte). Die restlichen Produkte wurden entweder selbst entwickelt (z.B. High Voltage Distribution Unit) oder für den Einsatz in einem Nutzfahrzeug angepasst (z.B. Ladedose Fahrzeugseitig).

1.2 Motivation des Projektes

In der Nachhaltigkeitsstrategie von Feldschlösschen sind ambitionierte Ziele u.a. im Bereich des CO₂-Fussabdrucks formuliert. Demnach strebt das Unternehmen eine CO₂-neutrale Distribution an und möchte als grösster Getränkelieferant der Schweiz im Klimaschutz eine tragende Rolle einnehmen. Bis Ende 2030 soll der CO₂-Fussabdruck auf der gesamten Lieferkette (von den Rohstoffen bis zum Konsum) um 30% reduziert werden – dies beinhaltet die Produktion, den Verkauf und die Logistik.

Besonders motivierend war, dass Feldschlösschen gemeinsam mit seinem Kunden Coop den ersten Elektro-Lastwagen 18t für die täglichen Getränkelieferungen in Verkehr setzen konnte.

Es war zudem auch sehr interessant für Feldschlösschen, an Veranstaltungen zum Thema «Zero Emission» teilzunehmen und die Firma als verantwortungsvolles Unternehmen zu präsentieren.

Als kurzen Ausblick kann man an dieser Stelle bereits festhalten, dass der Einsatz mit dem E-Force E-LKW bewiesen hat, dass die E-Mobilität auch bei den schweren Fahrzeugen funktioniert. Feldschlösschen wird für das Jahr 2021 in Fahrzeuge und Infrastruktur (Ladestationen) investieren und 20 E-LKW 26t in Verkehr setzen.

Coop hat die Strategie der CO₂ Neutralität und ist der Ansicht, dass Unternehmen beim Klimaschutz eine zentrale Rolle einnehmen müssen. Eine Möglichkeit ist die eigene CO₂ Reduktion in den Bereichen Produktion, Logistik und Verkauf. Im Jahr 2008 wurden ambitionierte Ziele gesetzt und man formulierte die Vision, das Ziel "CO₂-neutral bis 2023".

Mann plant bis 2023 den absoluten jährlichen CO₂-Ausstoss so weit technisch möglich und finanziell zweckmässig zu reduzieren. Ab dem Jahr 2023 wird der verbleibende CO₂ Ausstoss über externe Projekte kompensiert.



Die Möglichkeit mit einer Lastwagenflotte Elektrisch auf der Strasse die Verkaufsstellen zu bedienen war einzigartig und schien aufgrund der rasanten Entwicklung im Sektor Batterie als möglich und prüfenswert.

1.3 Projektziele

Die Vorteile von Elektro-Fahrzeugen sind unbestritten, sie sind energieeffizient, leise und abgasfrei. Bis zum Zeitpunkt des Projektstarts gab es jedoch keinen effizienten Elektro-Lastwagen für den Warentransport. Die Schweizer Firma E-Force One hat einen geeigneten Lastwagen konstruiert und hergestellt. Ein 18 Tonnen Elektro-Lastwagen mit einem Gewicht von 10 Tonnen für Aufbau und Nutzlast. Die Elektro-Lastwagen sollen im normalen täglichen Warentransport, in der Feinverteilung von Stückgut, eingesetzt werden. So soll demonstriert werden, dass der Elektro-Lastwagen einen herkömmlichen Diesel-Lastwagen vollständig ersetzen kann.

Zielsetzung:

- Piloteinsatz von 18 Tonnen Elektro-Lastwagen im täglichen Warentransport (Feinverteilung)
- Demonstration das ein Elektro-Lastwagen einen herkömmlichen Diesel-Lastwagen ersetzen kann
- Pilot/Demonstration eines 18 Tonnen Cleantech-/ZeroEmission-Lastwagen: energieeffizient, leise und abgasfrei

2. Anlagenbeschreibung

Fahrzeug

Als Basis wurde ein Fahrzeug der Marke Iveco eingesetzt. Diese Basis wird von den Detailhändler in einer 4x2 Konfiguration normalerweise bis 18 Tonnen eingesetzt. Als Plattform diente ein Iveco der Reihe Stralis, welcher sich für den Einsatzzweck als geeignet erwies.

Chassis

IVECO Stralis

Motor

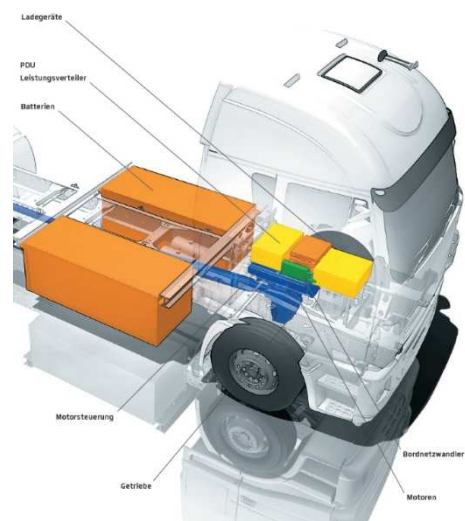
2 Motoren á 150 kW (entspricht total 408 PS)
hybrid synchron wassergekühlt, redundant

Batterie

2 Blöcke á 285 Ah (120 kWh),
je 1.3 Tonnen Gewicht, LiFePO₄ Zellen
redundantes Lade- und Batteriesystem
Ladezeit: 6 Stunden mit 400V/63A/44kW

Gewicht

Leergewicht: 8 Tonnen
verbleibend für Aufbau und Nutzlast: 10 Tonnen





Batterie

Als Batteriesystem wurde mit dem Einsatz von LiFePO₄ Zellen des Herstellers Calb (China) ein redundantes 2 Block 400 V System entwickelt:

- 2 Batterieblöcke mit je 285 Ah (120 kWh)
- 400 V Spannung
- Kein Thermomanagement
- Prismatische Zellen mit Kunststoffgehäuse

Zur Überwachung, Regelung und dem Schutz des Batteriesystems wurde das BMS des Herstellers Orion BMS (USA) eingesetzt, resp. ein BMS für je ein Block (120 Zellen).

Eine detaillierten Aufbau der Batterie ist im Anhang "HV-Batterie-Zus2".

Antrieb

Der Antriebsstrang ersetzt den Dieselmotor und wird somit als Zentralantrieb eingesetzt. Folgende Hauptkomponenten wurden verwendet:

Funktion	Produktbezeichnung	Hersteller
Motor	HSM1-10.18.13	Brusa
Umrichter	DMC544	Brusa
Ladegerät	NLG664	Brusa
DC/DC-Wandler	BCS614	Brusa
Klimakompressor	E34-320	Sedco
Heizung	Hitronic CH-HC 60	Eberspächer
Luftkompressor	Ekompe9135000020	Knorr
Servopumpe	WQ09A1	Haldex

Für einen detaillierten Aufbau des Powertrains ist das Dokument "100700_1E18_Powertrain" angehängt".

3. Vorgehen und Methode

Neben konkreten und sehr detaillierten Messungen zur technischen Eigenschaft im Einsatz stand aus Sicht des Betreibers die Integration im täglichen Betrieb im zentralen Fokus.

Während zu Beginn Abstimmungen auf allen Stufen (Projektleitung, Betrieb, Hersteller) monatlich stattgefunden haben, bestand in den 18 Monaten bis zur Berichterstattung kein Abstimmungsbedarf. Zumindest hinsichtlich des Abschlussberichts.

E-Force One AG wird voraussichtlich im Jahr 2021 eine überarbeitete Batterietechnologie präsentieren die Coop prüft. Fahrzeuge mit Mängeln, die auf die überholte Batterietechnologie zurückzuführen sind (Zellfehler), wurden im Jahr 2020 aus dem Verkehr gezogen. Die Ausfälle können mit dem Alterungsprozess der Batterie begründet werden.



Feldschlösschen

Der Elektro-Lastwagen ist bei Feldschlösschen seit 10. September 2013 im Einsatz. Er ersetzt einen konventionellen Diesel-Lastwagen in der Belieferung von Gastronomie- und Detailhandelskunden mit Bier und Getränken ab regionalen Verteilzentren.

	Einsatztage	Kilometer gesamt	Kilometer pro Tag
ab 09/2013	28	1'917	69
2014	173	8'322	48
2015	155	8'367	54
2016	429	11'052	26
2017	473	11'432	24
bis 10/2018	386	10'408	27
Total	1'644	51'498	31

Tabelle: Statistik zum Einsatz des E-Force bei Feldschlösschen

Für einen detaillierten Beschrieb der Komponenten wird auf das "Handbuch E18" verwiesen (Anhang).

Coop

Der erste E-Force wird bei Coop seit 27. Januar 2014 wie ein herkömmlicher Diesel-Lastwagen eingesetzt. Das heisst, dass mit diesem an einem Tag ab der Verteilzentrale Dietikon bis zu drei Touren für Belieferungen von Coop-Verkaufsstellen im Grossraum Zürich durchgeführt werden.

	Einsatztage	Kilometer gesamt	Kilometer pro Tag
2014	145	24'391	168
2015	127	20'615	162
2016	240	37'317	155
2017	206	24'164	117
bis 10/2018	182	21'855	120
Total	900	128'372	143

Tabelle: Statistik zum Einsatz des E-Force bei Coop

Belieferungstouren zu Coop-Supermärkten und Coop Pronto-Shops

Von Januar 2014 bis März 2016 wurde der Elektro-Lastwagen ab der Coop-Verteilzentrale Dietikon für "Supermarkt-Touren" eingesetzt, d.h. für die Belieferung von Supermärkten im Grossraum Zürich. So wurden mit dem Lastwagen täglich drei Touren von der Verteilzentrale zu Supermärkten gefahren.



Zwischen den Touren erfolgte jeweils in der Verteilzentrale Dietikon die gesetzlich notwendige Pause des Chauffeurs. Diese wurde zum Nachladen der Batterien des Elektro-Lastwagens genutzt.

Von April 2016 bis September 2017 wurde der Elektro-Lastwagen für sogenannte "Pronto-Touren ab Schafisheim" eingesetzt. Am Morgen ist der leere Lastwagen mit voll aufgeladenen Batterien von Dietikon nach Schafisheim gefahren. Dort wurde der Lastwagen mit Ware für Coop Pronto-Shops im Grossraum Zürich beladen. Nach der Auslieferung zu den Shops erfolgte in der Verteilzentrale Dietikon die notwendige Pause des Chauffeurs inklusive Nachladen der Batterien des Elektro-Lastwagens. Im Anschluss an die Pause fuhr der Elektro-Lastwagen wieder nach Schafisheim um weitere Ware zu holen und diese zu Pronto-Shops im Grossraum Zürich zu liefern.

Nach diesen zwei Touren wurde der Lastwagen über Nacht wieder in Dietikon geparkt um die Batterien voll aufzuladen.

Seit September 2017 wird der Elektro-Lastwagen weiter für die Belieferung von Coop Pronto-Shops ab der Verteilzentrale Dietikon eingesetzt, jedoch ohne nach Schafisheim zu fahren. Analog den "Supermarkt-Touren" werden mit dem Lastwagen täglich bis zu drei Touren von der Verteilzentrale zu Coop Pronto-Shops im Grossraum Zürich gefahren. Zwischen den Touren erfolgt jeweils in der Verteilzentrale Dietikon die gesetzlich notwendige Pause des Chauffeurs. Diese wurde zum Nachladen der Batterien des Elektro-Lastwagens genutzt.

Sechs weitere E-Force beschafft

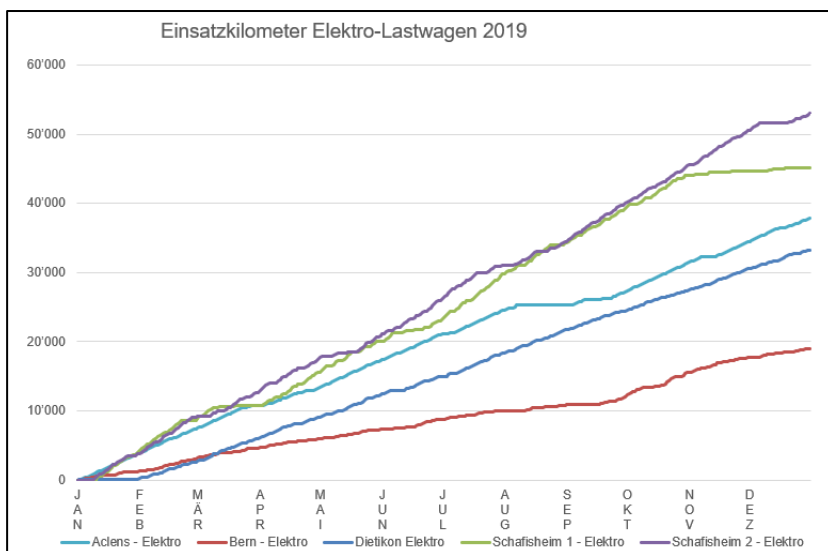
Aufgrund der positiven Erfahrungen mit dem ersten E-Force wurden in 2016 sechs E-Force der zweiten Baureihe beschafft. Vier der sechs neuen Elektro-Lastwagen werden für die Belieferung von Supermärkten eingesetzt: zwei ab der Verteilzentrale Schafisheim sowie je einer ab den Verteilzentralen Aclens und Bern.

	in Betrieb seit	Einsatztage	Kilometer gesamt	Kilometer pro Tag
Aclens	09/2016	594	81'911	138
Bern	06/2016	520	29'923	58
Schafisheim 1	07/2016	471	100'802	214
Schafisheim 2	03/2017	406	95'555	235
Dietikon	01/2014	900	128'372	143
Total	01/2014	2'891	436'563	151

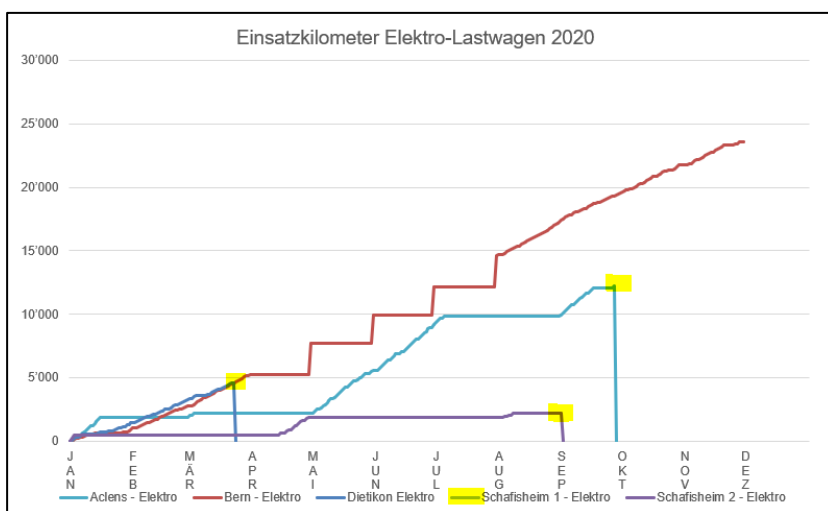
Tabelle: Statistik zum Einsatz der sechs E-Force bei Coop (bis 10/2018)

Die beiden anderen neuen Elektro-Lastwagen werden von den Coop-Töchterunternehmen Transgourmet Schweiz und Transgourmet Deutschland ab Winterthur bzw. in Berlin für den Belieferungsgrosshandel eingesetzt. In den Jahren 2019 und 2020 wurden die Leistungen anhand einer vereinfachten Grafik gemessen.

Im Jahr 2019 konnten noch alle LKWs eingesetzt werden. Aufgrund der stark abnehmenden Leistung der Batterie und der damit verbundenen Reichweite, musste Coop im Jahr 2020 bis auf einen LKW alle aus dem Betrieb nehmen (Tabelle "Einsatzkilometer Elektro-Lastwagen 2020"; gelbe Markierung).



Grafik: Auswertung Einsatz LKW Coop 2019



Grafik: Auswertung Einsatz LKW Coop 2020



4. Ergebnisse und Diskussion

Eines vorweg: Der Einfluss des Fahrers während der Fahrt ist substanziell, ganz unabhängig der Antriebstechnologie. Zwischen den drei eingesetzten Fahrern zeigten sich zum Teil deutliche Unterschiede bei Brutto-Stromverbrauch sowie Rekuperation und somit bei Netto-Stromverbrauch. Dies zeigt, dass EcoDrive auch bei Elektro-Lastwagen wichtig ist bzw. eventuell noch wichtiger ist als bei Diesel-Lastwagen.

Die Thematik Reichweite war neben der Nutzlast der grösste zu verbessernde Punkt. Mit der eingesetzten Batterietechnologie konnten bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt teilweise Strecken von nur 120 km absolviert werden. Gemäss E-Force war mit ein Grund, dass Coop einen guten aber nicht auf den Rollwiderstand optimierten Winterreifen eingesetzt hat. Auf einen Test mit einer anderen Marke hat man verzichtet.

Lange Bergauffahrten, ein Beispiel war die "Rampe von Tamins nach Flims/Laax", wo man in kürzester Distanz von 500 auf 1'1'00 Meter über Meer hochfährt, stellten sich als unüberwindbar dar. Die Belieferung von Flims/Laax musste nach diversen Versuchen abgebrochen werden. Der Antrieb überhitzte und fiel in ein "secure-Mode" was dazu führte, dass die Geschwindigkeit bei 30 km/h beschränkt wurde. Auf einer so vielbefahrenen Strecke keine Option.

Eine Herausforderung bestand darin "die Front", den Enduser (Fahrer) und das Projektteam, welches aus unterschiedlichen Lieferanten bestand, zusammen zu halten. Im operativen Betrieb ging man von einem zu 99% einsatzbereiten Lieferfahrzeug aus. Das Erscheinungsbild, die Führerkabine waren mit einem Dieselfahrzeug zum verwechseln ähnlich und auch beim Belad und Entlad konnte man den Unterschied kaum feststellen, gute Arbeit wurde da von allen Seiten geleistet.

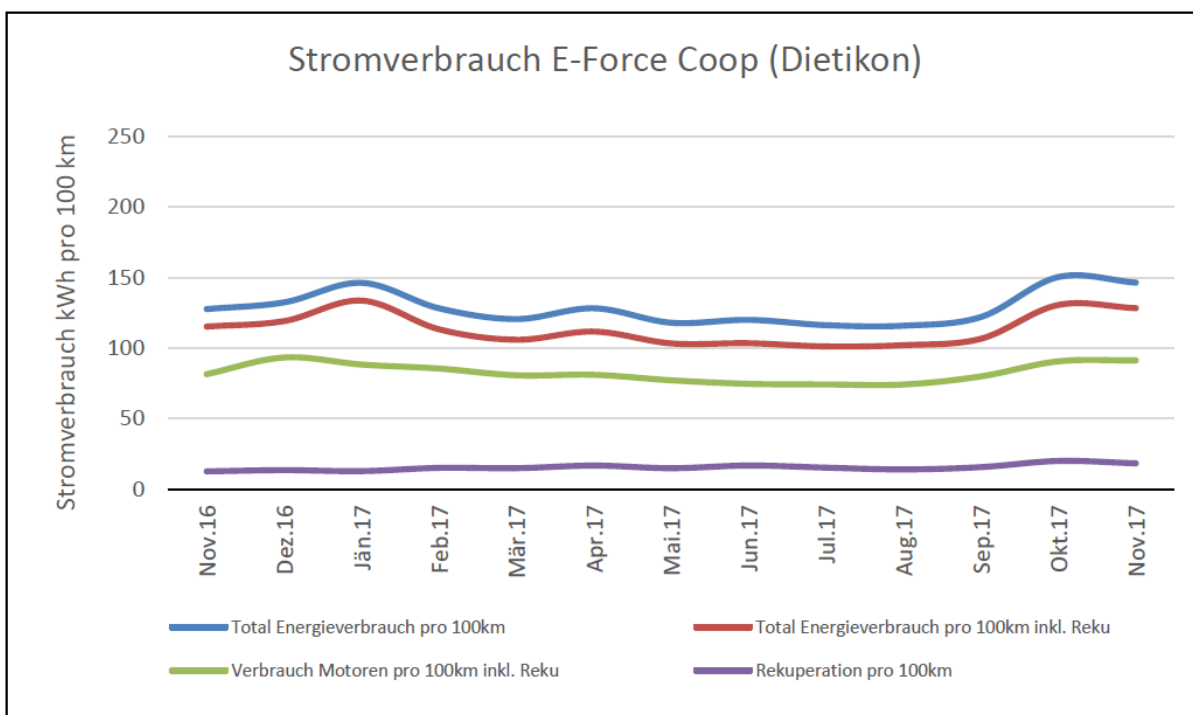
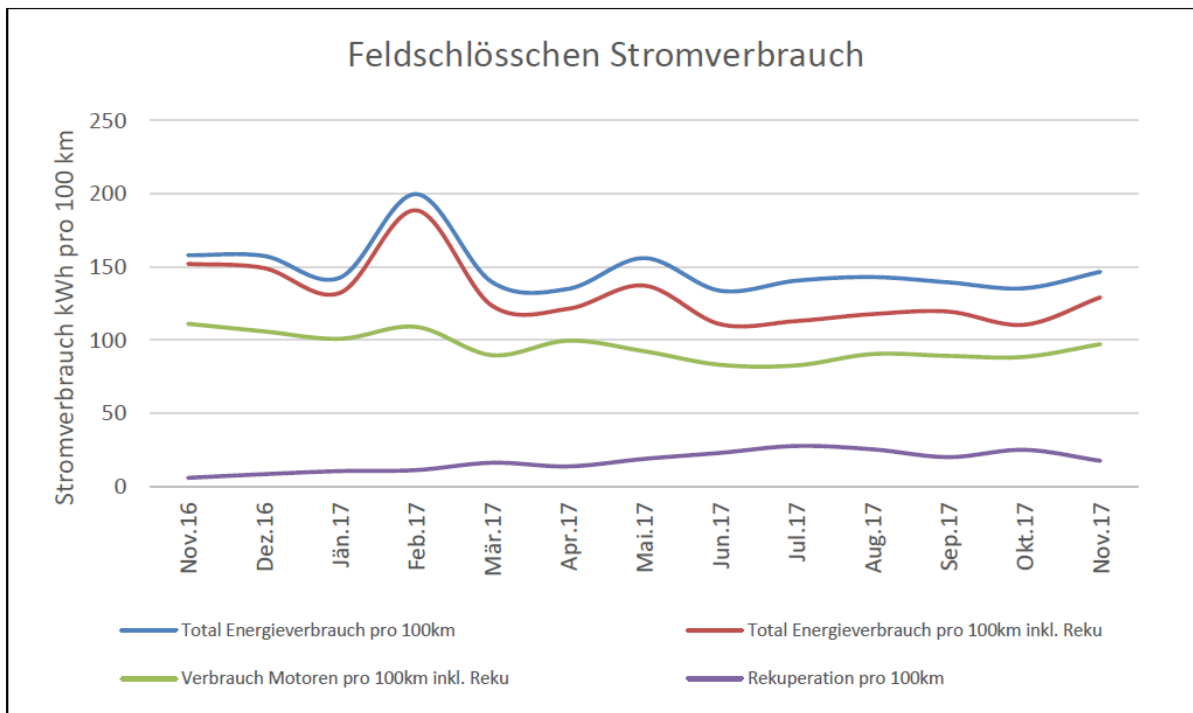
Es waren zwar keine Prototypen mehr aber als Vorserienfahrzeuge mussten sie dennoch eingestuft werden. Vermeintlich unbedeutendes wurde auf einmal im Einsatz wesentlich und führte in einem Fall bei Coop zu einem grossen Schaden (Ersatz Motor).

Die Verantwortlichkeit zwischen dem Importeur IVECO, dem Projektpartner E-Force und weiteren Lieferanten von Gewerken wie Kühlung war nicht immer klar. Verstärkt wurde dieses Problem jeweils durch personelle Veränderungen auf fast allen Seiten. So gestalteten sich lange Durchlaufzeiten in der Problembeseitigung, auch beeinflusst durch den Standort von E-Force. Defekte LKWs mussten jeweils aufwändig zu E-Force transportiert werden. Somit war nicht nur der Ausfall, die Organisation der Versorgung im Betrieb, sondern auch der Ersatz in der Zeit während der Instandstellung, mit unnötig hohen Kosten verbunden. Für ein Testfahrzeug kein besonders zu erwähnender Punkt aber aufgrund der täglichen Nutzung im Betrieb, der guten Integration insgesamt, eben doch immer wieder zum falschen Zeitpunkt.

Insgesamt kann der Einsatz der E-LKWs als Erfolg eingestuft werden. Coop und auch Feldschlösschen haben trotz all den Herausforderungen bestätigt, dass die E-Mobilität bei schweren Nutzfahrzeugen möglich ist. Parallel prüfte man welche alternativen Energiequellen in Frage kommen um schneller tanken zu können, welche eine höhere Reichweite ermöglichen und die eventuell noch nachhaltiger sind.



Vergleich der Lastwagen Feldschlösschen und Coop



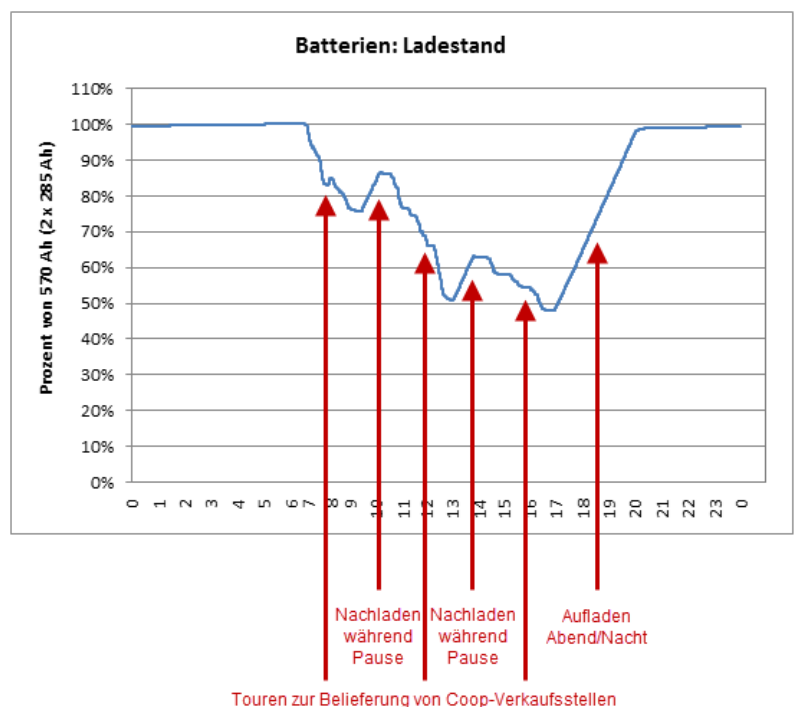
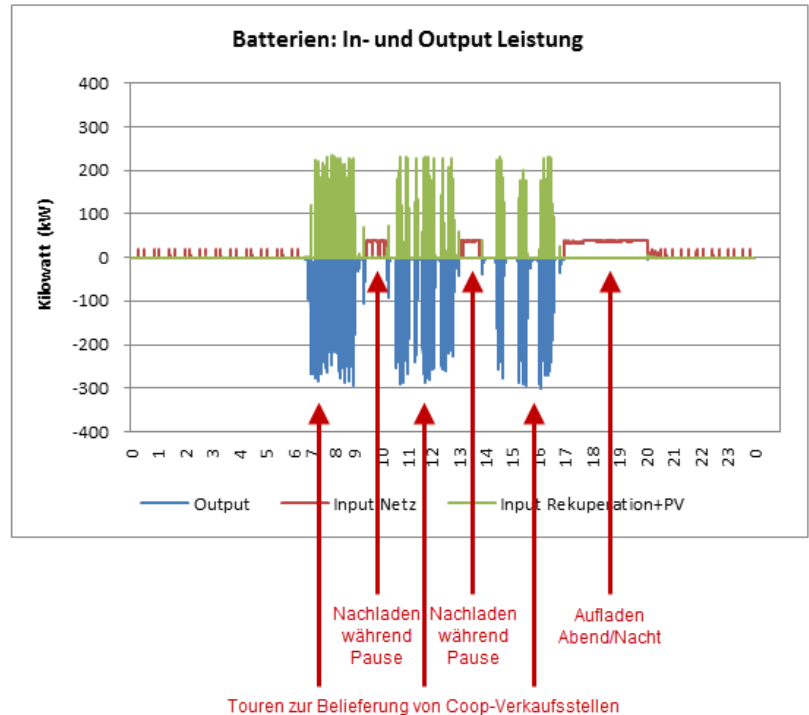
Die Stromverbräuche der E-Force bei Feldschlösschen und Coop sind relativ stabil. Dadurch, dass die Topographie und Einsatzgebiete (Getränkelogistik vs. Frischelogistik) sehr unterschiedlich sind, ist es nicht möglich die zwei Fahrzeuge direkt zu vergleichen. Der Einfluss der Temperatur auf den Verbrauch ist minimal. Es ist zwar ein leichter Anstieg des Energieverbrauchs im Dezember, Januar



und Februar zu sehen beim E-Force von Coop, jedoch könnte dieser Anstieg auch durch die generell schwierigeren Fahrbedingungen in den Wintermonaten verursacht worden sein. Zusätzliche Faktoren für den erhöhten Energieverbrauch sind die Winterreifen und die Kabinenheizung.

Energieverbrauch im Tagesverlauf

Der Elektro-Lastwagen wird bei Coop wie ein herkömmlicher Diesel-Lastwagen eingesetzt, d.h. dass mit diesem an einem Tag mehrere Touren für Belieferungen von Coop-Verkaufsstellen im Grossraum Zürich ab der Verteilzentrale Dietikon durchgeführt werden. Die Auswertung der aufgezeichneten Daten für 13.02.2014 (3 Touren, 158 Kilometer) von In- und -output der Batterien und Ladestand der Batterien spiegeln den erwarteten Tagesablauf sehr gut wieder.

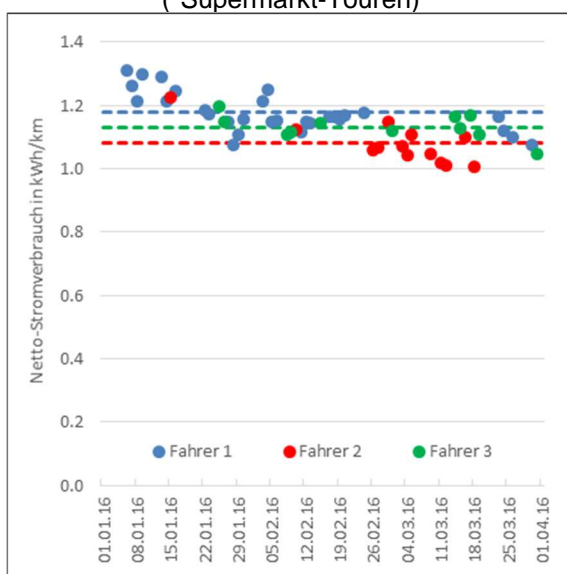




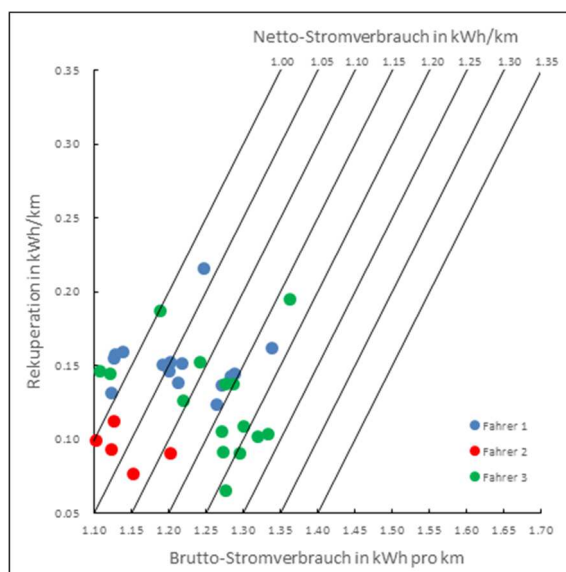
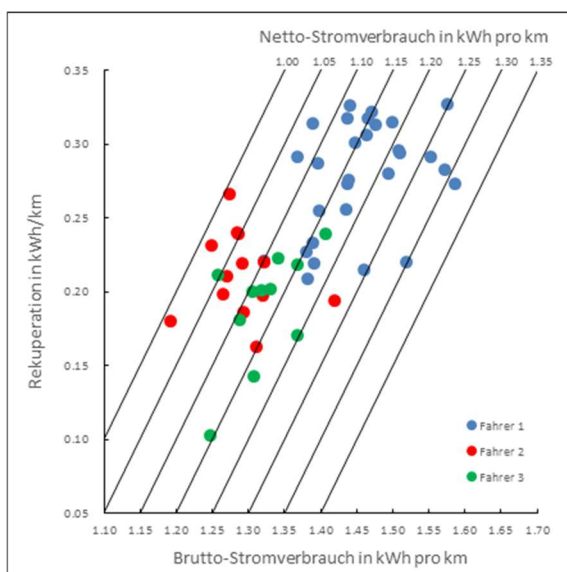
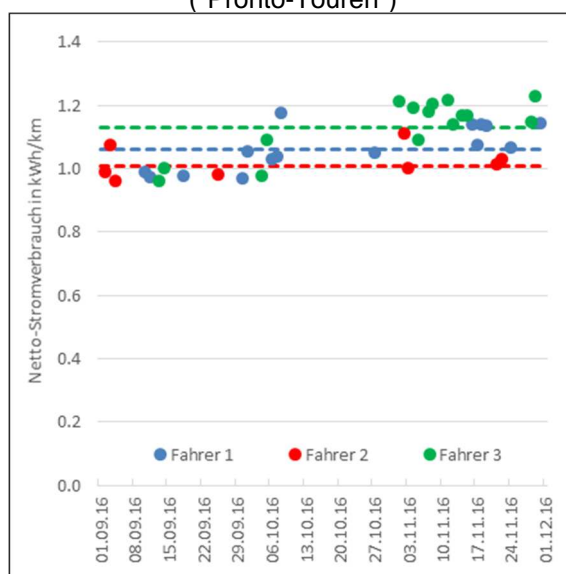
Einfluss des Fahrers

Von Januar bis März 2016 sowie September bis Dezember 2016 erfolgte beim Lastwagen von Coop eine Analyse des Energieverbrauchs nach einzelnen Fahrern. Zwischen den drei Fahrern zeigten sich zum Teil deutliche Unterschiede bei Brutto-Stromverbrauch sowie Rekuperation und somit bei Netto-Stromverbrauch. Dies zeigt, dass EcoDrive auch bei Elektro-Lastwagen wichtig ist bzw. eventuell noch wichtiger ist als bei Diesel-Lastwagen, wie eingangs erwähnt.

Januar bis März 2016
("Supermarkt-Touren")



September bis November
("Pronto-Touren")

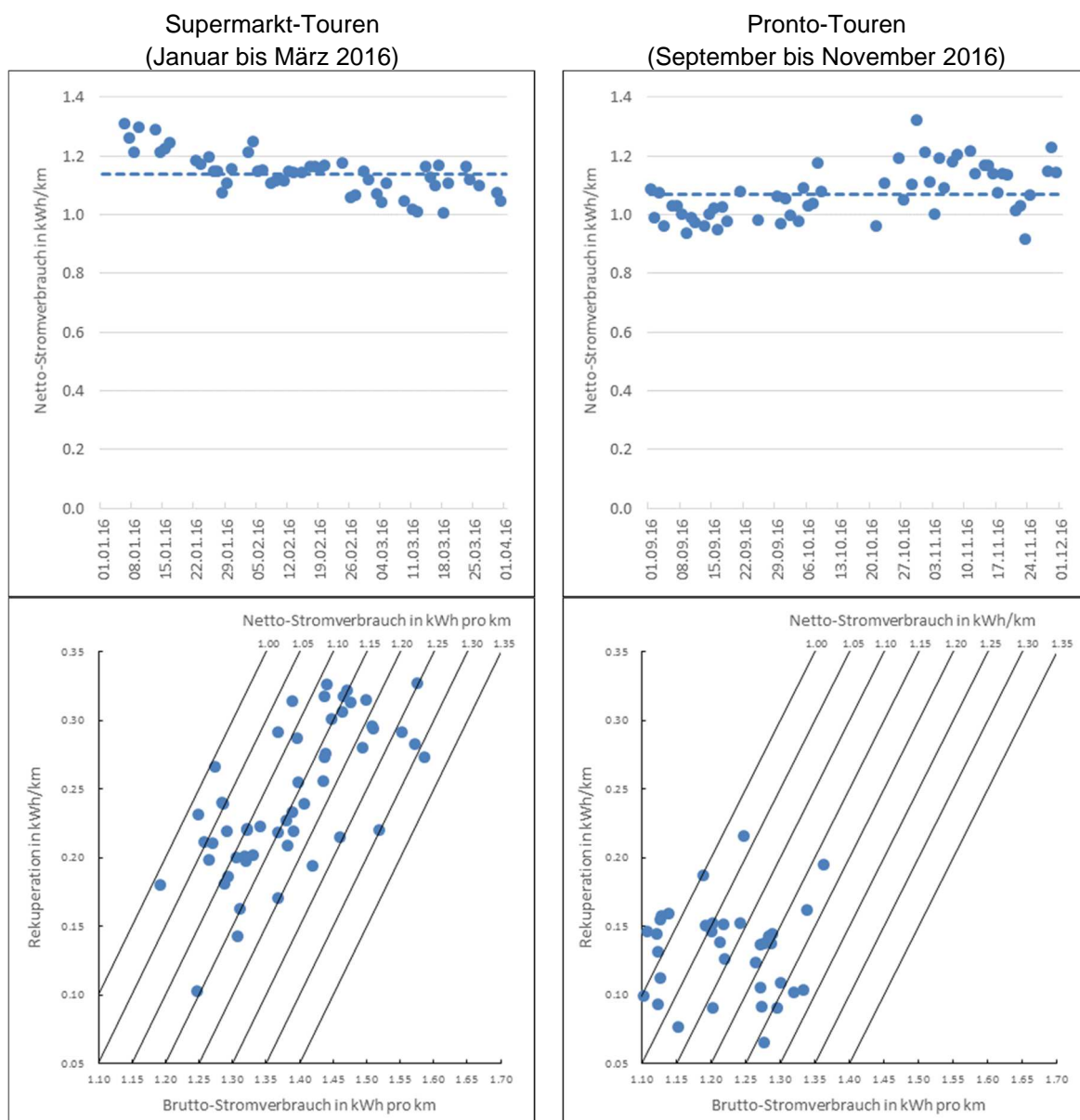




Einfluss der Art der Tour (Stadt vs. Autobahn)

Mit der Umstellung der Art der Tour in 2016 des Coop-Lastwagen von Supermarkt-Tour (mehrheitlich städtisches Gebiet) auf Pronto-Tour (höherer Anteil Autobahn) konnte ein Vergleich des Energieverbrauchs auf dieser Ebene erfolgen.

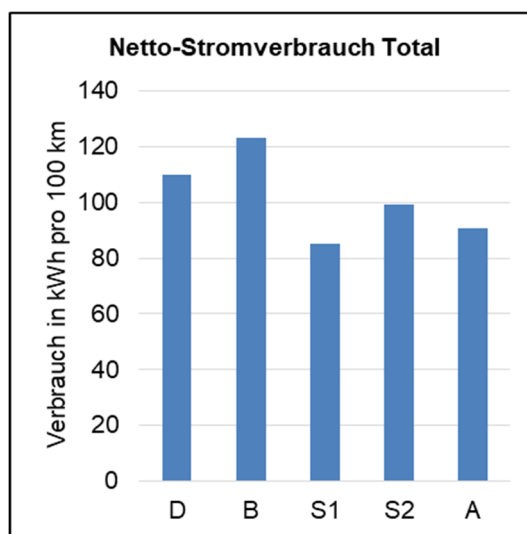
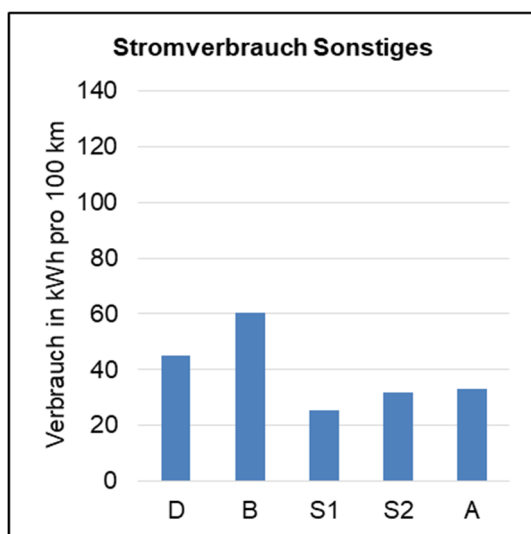
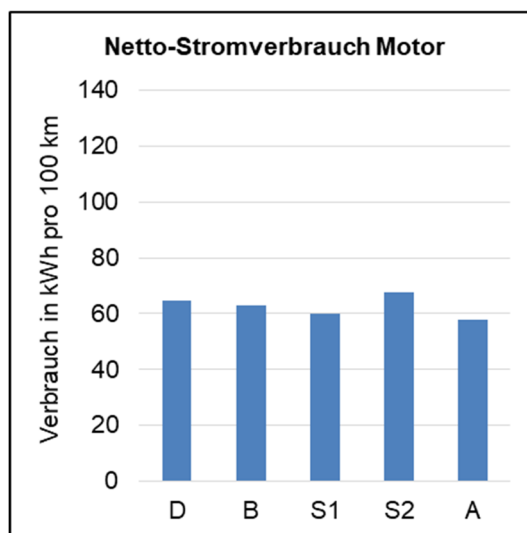
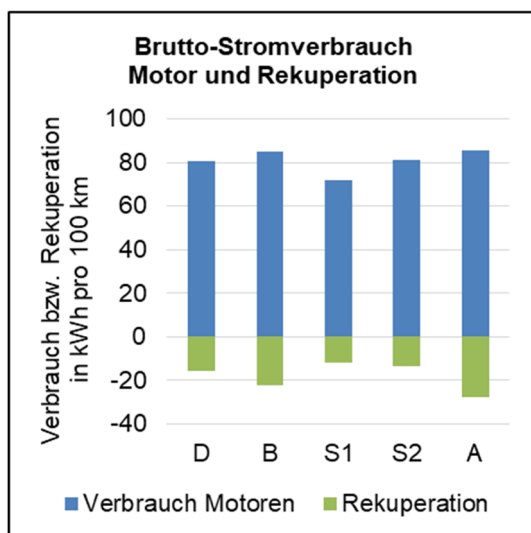
Da die Pronto-Touren einen deutlich höheren Autobahnanteil hatten war die Erwartung, dass aufgrund der niedrigeren Rekuperation der Netto-Stromverbrauch höher ist als bei den Supermarkt-Touren. Jedoch weisen beide Touren-Arten einen ähnlichen Netto-Stromverbrauch aus. Dies weil Pronto-Touren neben der erwarteten niedrigeren Rekuperation (durchschnittlich -50%) auch einen niedrigeren Brutto-Stromverbrauch (durchschnittlich -15%) aufweisen.





Vergleich von fünf Elektro-Lastwagen an vier Standorten

Der regelmässige Einsatz der Elektro-Lastwagen an den Coop-Standorten in Dietikon (D), Bern (B), Schafisheim (S1 und S2) und Aclens (A) erlaubt einen Vergleich der Daten zum Energieverbrauch. Die Daten von Januar bis November 2017 zeigen, dass im Brutto-Stromverbrauch Motor und Rekuperation sich die Topografie der Fahrtstrecke des jeweiligen Lastwagens widerspiegelt. Die Elektro-Lastwagen in Bern und Aclens fahren vor allem im städtischen Gebiet (Bern bzw. Lausanne). Der E-Force in Aclens muss zudem das hügelige Gebiet zwischen Lausanne und Aclens bewältigen. Die Touren der Lastwagen in Dietikon und Schafisheim zeichnen sich durch einen Gemisch aus Anteil Autobahn und städtischem Gebiet aus. Beim Netto-Stromverbrauch Motor zeigen alle Lastwagen sehr ähnliche Werte. Somit liegt dieser unabhängig der Art der Tour um 60 kWh pro 100 km. Der Unterschied im Netto-Stromverbrauch Total von bis zu 40 kWh pro 100 km (S1 zu B) ergibt sich somit v.a. aus dem unterschiedlichen Stromverbrauch Sonstiges, also u.a. dem des Kühlgerätes.



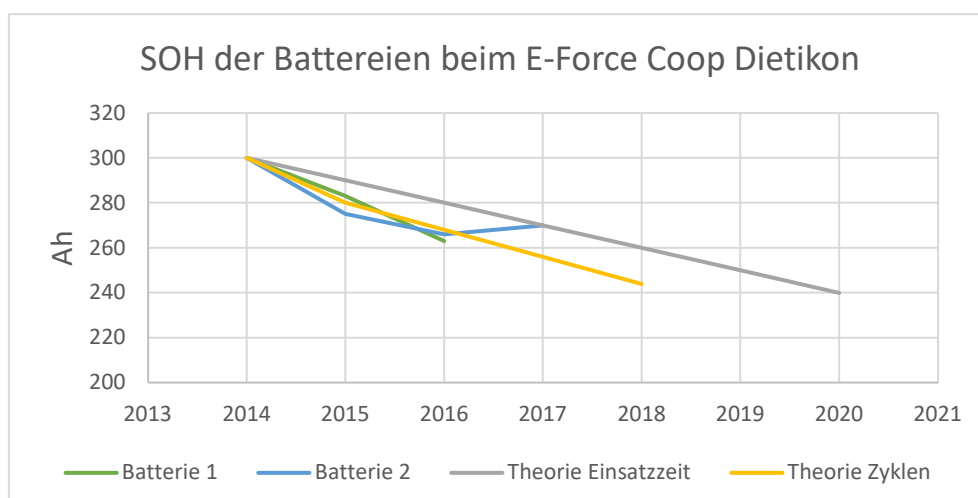
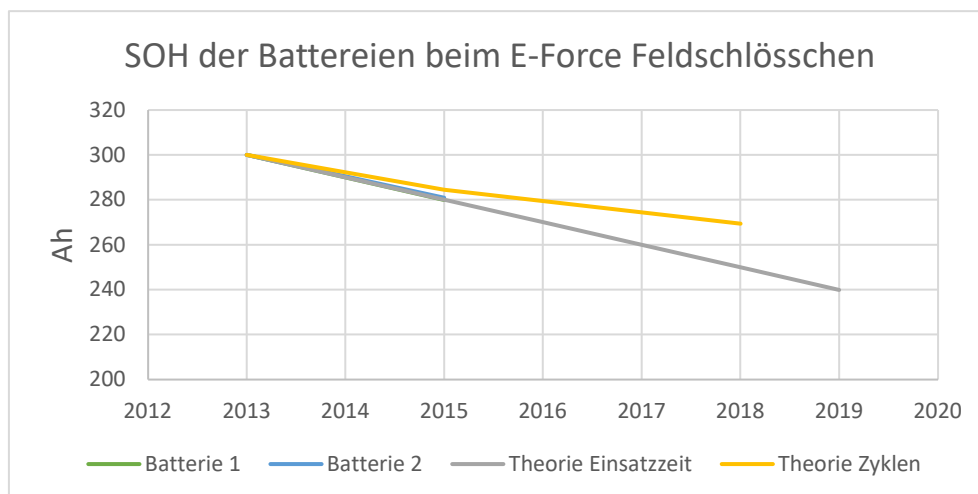


Erfahrungen mit der Batterie

Die LFP-Batterien welche beim E-Force eingesetzt werden gelten als sehr sicher und langlebig. Eine Batterie besteht jeweils aus 120 Batteriezellen à 300Ah. Die LFP-Batteriezellen kommen aus dem asiatischen Raum und werden bei der E-Force One AG zu einer Traktionsbatterie zusammengebaut.

Um die Alterung der Batterien auf den Elektro-Lastwagen von Feldschlösschen und Coop zu verfolgen, wurden regelmässig Kapazitätstests durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden die Batterien auf einem Batterieprüfstand positioniert und dort geladen und entladen. Das sogenannte "Zyklus" der Batterie gibt Ausschluss über die noch vorhandene Kapazität und den Gesundheitszustand auch "state of health" (SOH) genannt.

Die Kapazität einer Batteriezelle nimmt über die Zeit sowie auch über die Nutzung stetig ab. Der erwartete Kapazitätsverlust von 20% nach 6 Jahren oder 1'500 Zyklen bestätigt sich bis ins Jahr 2018.



Theorie Einsatzzeit entspricht einer linearen Kapazitätsabnahme von 20% nach 6 Jahren.

Theorie Zyklen entspricht dem erwarteten Kapazitätsverlust in Verbindung mit der effektiven Zyklenzahl.



Vergleich Elektro-Lastwagen mit Diesel-Lastwagen

Die ETH Zürich erstelle im August 2014 einen Bericht im Auftrag von Feldschlösschen, um den seit September 2013 im Einsatz stehenden Elektro-Lastwagen E-Force bezüglich Effizienz und Wirtschaftlichkeit zu prüfen.

Die Durchführung von Verbrauchsmessfahrten mit einem Lastwagen mit konventionellem Dieselmotor und dem E-Force bietet die Grundlage für den Vergleich der beiden Fahrzeuge. Der Umfang des Berichts hat jeweils eine Woche an Fahrten für die Messungen zugelassen. Um möglichst prüfstandsnahe Bedingungen zu schaffen, wurden die Einflüsse der wichtigsten Fahrwiderstände, wie der Luft- und Rollwiderstand der Fahrzeuge berücksichtigt und angepasst. Die Messfahrten wurden mit maximaler Beladung durchgeführt.

Dabei wurde ein Durchschnittsverbrauch von 83 kWh je 100 km beziehungsweise einem Dieseläquivalenz von 8.4 Liter je 100 km erreicht. Im Vergleich dazu verbrauchte der Diesellastwagen 27.5 Liter je 100 km. Es wurde festgestellt, dass das Einsparungspotenzial grösser ist je mehr Verkehr herrscht bzw. je kleiner die Durchschnittsgeschwindigkeit ist. In der Stadt wurde fünfmal weniger Energie verbraucht. Auf der Autobahn konnte ein 2.2-fache Verbesserung gemessen werden. Der Anteil der Rekuperation betrug auf der Route 1 in der Stadt knapp 35 %, Überland 27 %, auf der Autobahn 10 %.

Link zur Studie: <https://feldschloesschen.swiss/media/24740/vergleichsstudie.pdf>

Kostenzusammenstellung

Die Kosten für Coop bewegen sich im Rahmen der Erwartungen. E-Force hat Coop in diversen Problemstellungen auch ausserhalb und ohne Verrechnung jeweils gute Dienste erbracht.

Position	Plan	IST	Quelle
Anschaffungskosten	515'500	489'412	Anlagenbuchhaltung
Kapitalkosten	18'917	17'960	Controlling
Leasing + Kapitalkosten (Zins)	6	629'002	597'170
Stromkosten über Nutzungsdauer	13'320	12'000	E-Force
Wartungskosten über Nutzungsdauer	12'240	46'960	E-Force
Summe Betriebskosten über Nutzungsdauer	25'560	58'960	
Kosten Schulungen	50'120	50'120	E-Force
Datenerhebung und -auswertung über Nutzungsdauer	76'160	102'400	Aufwand Coop
Gesamtkosten über Nutzungsdauer	780'842	808'650	

Quelle: Erhebung Projekt_Eforce_Coop.xls



Im operativen Betrieb wurden die Kosten im SAP IH Tool nach "üblich" und "extra" aufgeführt. In der folgenden Tabelle sind die Gesamtkosten in der Höhe von CHF 118'271 ausgewiesen. Zieht man die üblichen Kosten wie Reifen, MFK-Vorbereitung und Schäden am Fahrzeug, die nichts mit der Technologie haben, ab sind zusätzlich Mehrkosten für den E-Force von CHF 57'978 angefallen.

Auswertung E-Force, Schäden und Reparaturen							
August 2021, D. Schneider							
Eckstarttermi	Auftrag	A-Art	Kurztext	ICH	Erfasser	GesSumme	Relevant
25.03.2014	7500318	ZPMR	Einbau Iverter (Wechselrichter)	Z02	ZOU34	13'328.00	13'328.00
19.04.2014	7508037	ZPMR	Ladegerät Kunststoffkasten mont.	Z02	ZOU34	264.00	264.00
26.05.2014	7516867	ZPMR	Telematik-Tracker Kühlgerät einbauen	Z02	ZOU34	342.92	342.92
05.06.2014	7519682	ZPMR	Montage Windabweiser, Iveco	Z02	ZOU34	6'310.97	6'310.97
05.06.2014	7519684	ZPMR	Montage Rückfahr sensoren, Iveco	Z02	ZOU34	120.00	120.00
06.06.2014	7519990	ZPMR	Solardach abhängen, Zellen beschädigt	Z02	ZOU34	19'699.89	19'699.89
21.05.2015	7626924	ZPMR	Elektrokurs Winistörfer Werkstattarbeit	Z02	ZOU34	940.00	940.00
02.11.2015	7681740	ZPMR	Reparatur Solardach	Z02	ZOU34	2'600.98	2'600.98
27.07.2017	7884006	ZPMR	ABS- Fehler	Z02	WIAND	355.69	355.69
27.07.2017	7884207	ZPMR	KG- Funktioniert nicht richtig	Z02	WIAND	603.01	603.01
07.08.2017	7886956	ZPMR	Ladegerät defekt / Garantie	Z01	SDA18	200.00	200.00
28.08.2017	7894027	ZPMR	Stromausfall	Z01	SDA18	1'167.50	1'167.50
30.11.2017	7926786	ZPMR	Batterie ladet nicht	Z02	SDA18	337.80	337.80
01.03.2018	7958317	ZPMR	Batterie lädt nicht	Z02	SDA18	465.50	465.50
04.05.2018	7978938	ZPMR	Batterierevision	Z02	SDA18	1'658.53	1'658.53
18.07.2018	8005838	ZPMR	KG ohne Funktion	Z02	SDA18	2'580.42	2'580.42
26.10.2018	8040159	ZPMR	Motor defekt / Getriebe defekt	Z02	MAZE2	7'002.42	7'002.42
Ergebnis						57'978	57'978
Gesamtkosten zwischen 18.03.2014 und 02.12.2020						118'271	

Quelle: Erhebung DanielSchneiderIHE-Forceone.xls

5. Schlussfolgerungen und Fazit

Feldschlösschen

Täglicher Einsatz

Im täglichen Einsatz zeigt sich der Elektro-Lastwagen für Tagestouren im Getränkeverteilverkehr als geeignet. Der Elektro-Lastwagen ersetzt 1:1 einen konventionellen Diesel-Lastwagen.

Chauffeure

Nach anfänglicher Skepsis von Seiten der Chauffeure hat sich der Elektro-Lastwagen auch bei diesen die Meinung durchgesetzt, dass dieser ein adäquater Ersatz für einen konventionellen Diesel-Lastwagen ist. Mittlerweile halten sie sehr grosse Stücke auf den Lastwagen und sind begeistert. Insbesondere das gute Beschleunigungsverhalten des Fahrzeugs gefällt.

Kunden

Eine im August 2014 von Feldschlösschen durchgeführte Kundenbefragung zeigte: Die grosse Mehrheit der Kunden die mit dem Elektro-Lastwagen beliefert werden, findet dies positiv. Insbesondere die Tatsache, dass der Lastwagen keinen Lärm und keine Emissionen verursacht, gefällt den Kunden.



Coop

Täglicher Einsatz

Der Elektro-Lastwagen erfüllt die Erwartungen voll und ganz. Der Lastwagen ersetzt einen Diesel-Lastwagen im Solo-Betrieb vollständig. Es gibt keine Einschränkungen bezüglich Disposition und Transportvolumen im Vergleich zu einem analogen Diesel-Lastwagen im Solo-Betrieb.

Aus Sicht Coop gibt es zwei Aspekte wo in der weiteren Entwicklung angesetzt werden müsste. So muss auch der Betrieb im Anhängerzug möglich werden. Zudem muss es möglich sein auch grössere Steigungen mit voller Beladung problemlos zu meistern. Ein E-Force sollte am Coop-Logistikstandort Chur positioniert werden zur Belieferung der Verkaufsstellen in Flims/Laax, dies war noch nicht möglich.

Chauffeure

Die Chauffeure berichten sehr positiv über das Fahrerlebnis mit dem Elektro-Lastwagen, u.a. sei das Handling einfach.

E-Force

Erkenntnisse aus dem Antriebsstrang

Die komplette Flotte der E18 Reihe hat insgesamt über 2,5 Millionen Kilometer zurückgelegt. Folgende Erkenntnisse hat E-Force aus dieser Fahrleistung gezogen:

Der Antrieb mit zwei schnelllaufenden Hybridsynchronmotoren und einem Getriebe mit einer definierten Übersetzung zeigte sich im Betrieb leider nicht als sehr wartungsarm und führte zu Ausfällen. Die Langlebigkeit war somit nicht gegeben. Die Belastung der Motoren, wenn sie über eine längere Zeit am Drehzahllimit betrieben wurden, führte zu erhöhtem Verschleiss an den Motorlagern, obwohl die Traktionsmotoren laut Hersteller für diese Drehzahlen ausgelegt waren.

Weiter folgten Schäden an den Simmerringen der Getriebeeingangswelle. Dies wiederum führte dazu, dass Getriebeöl in die Traktionsmotoren gelangte und demzufolge zu kostenintensiven Defekten. Beheben konnte man die Abdichtung der Getriebeeingangswelle mit speziellen Simmerringen, welche für diese hohen Drehzahlen ausgelegt sind.

Die Problematik des Motorlager blieb aber bestehen. Es konnte einen klaren Unterschied erkannt werden, zwischen den Fahrzeugen welche oft auf der Autobahn eingesetzt wurden, zu denjenigen welche hauptsächlich in der Stadt unterwegs waren. Als Reaktion darauf wird bei der neuen Generation ein Motor eingesetzt, der ein ähnliches Drehzahlband hat, wie ein Dieselmotor und auch mit Heavy Duty bezeichnet ist. Weitere Erkenntnisse sind, dass es nicht möglich ist mit 44t Gesamtzuggewicht ohne Schaltgetriebe Steigungen >17% zu bewältigen. Deshalb wurde ein Schaltgetriebe entwickelt um den Bereich von 18-44t abzudecken.

Als Bordnetzatterie wurde bei den ersten neun Fahrzeugen auf eine Lithium-Eisenphosphat Batterie gesetzt. Diese hatte den Vorteil, dass sie leichter war als die herkömmlichen Blei-Säure Batterien. Da diese aber nicht klimatisiert war führte dies bei gewissen Fahrzeugen zu Störungen, speziell in der kälteren Jahreszeit konnte nicht mehr die volle Leistung genutzt werden. Der Einsatz dieser Batterien im 24 V Bereich war somit nicht von Erfolg beschieden. Hier half nur ein Umbau auf die Lösung der herkömmlichen Blei-Säure Batterien im Bedarfsfall. Anstelle der intern entwickelten Lithium-Ionen-Bordnetzbatterie setzte man wieder auf herkömmliche Blei-Säure-Batterien. Ein weiterer Vorteil war klar, dass diese im Bedarfsfall durch die meisten Garagenbetriebe ersetzt werden konnten. Die Servolenkungspumpe, welche über das 24V System versorgt wird, hat sich als wartungsarm und mit einer sehr geringen Ausfallquote bewiesen. Ebenso werden die AC-On-Board Ladegeräte in der neuen Generation weiter eingesetzt, obwohl es auch hier eine Nachbesserung aufgrund von Ausfällen seitens des Lieferanten Brusa gab.



Erfahrungen mit der Batterie

Die LiFePO₄-Batterien welche beim Eforce eingesetzt werden gelten als sicher. Eine Batterie besteht jeweils aus 120 Batteriezellen mit je 285Ah. Die LFP-Batteriezellen kommen aus dem asiatischen Raum und werden bei der E-Force One AG zu einer Traktionsbatterie zusammengebaut.

Um die Alterung der Batterien auf den Elektro-Lastwagen von Feldschlösschen und Coop zu verfolgen, wurden regelmässig Kapazitätstests durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden die Batterien auf einem Batterieprüfstand positioniert und dort geladen und entladen.

Die Kapazität nimmt über die Zeit sowie auch über die Nutzung stetig ab. Der erwartete Kapazitätsverlust von 20% nach 6 Jahren oder 1'500 Zyklen konnte meist eingehalten werden. Jedoch mussten im Laufe der Zeit einige Zellen mit Mängeln ersetzt werden, da die schlechteste Zelle die nutzbare Kapazität aller Zellen einschränkt.

Bei der Entwicklung der Traktionsbatterien für den Elektro-Lastwagen musste eine Lösung gefunden werden, welche technisch mit angemessenem Aufwand umsetzbar war und gleichzeitig allen Anforderungen bezüglich Sicherheit genügen kann.

Deshalb ist die Wahl auf eine Lithium-Eisenphosphat-Batterie (LiFePO₄) gefallen. Die Wahl dieser Zellchemie hat den Vorteil, dass sie thermisch besonders stabil ist. Auch aus wirtschaftlicher Sicht war LiFePO₄ besonders interessant, da die Preise von alternativen Lithium-Ionen-Zellen (wie z.B. NMC) zum damaligen Zeitpunkt teilweise noch bei 1000 CHF/kWh oder sogar darüber lagen.

Um die Komplexität des Gesamtsystems so weit wie möglich reduzieren zu können, wurde ein möglichst grosses prismatisches Zellformat ausgewählt, um die für damalige Verhältnisse enorme Batteriespeicherkapazität von >200kWh auf einem Fahrzeug realisieren zu können. Insgesamt 120 LiFePO₄ Zellen mit je 300Ah wurden seriell zu einem Batteriecontainer über Schraubverbindungen zusammengeschaltet, was einer nominellen Batteriekapazität von ca. 120 kWh pro Batteriecontainer entspricht.



Prismatische LiFePO₄ Zelle
300Ah

Die typisch flache Spannungskurve einer LiFePO₄ Batterie bietet zudem den Vorteil möglichst homogene Bedingungen für den Antriebsstrang des Fahrzeugs bereitzustellen, da die Spannung zum Entladeschluss hin nicht stark absinkt und somit die Leistung des Fahrzeugs weitgehend konstant bleibt.

Aufgrund der thermischen Stabilität sowie des tiefen Innenwiderstands der eingesetzten LiFePO₄ Zellen wurde auf ein aufwändiges Thermomanagementsystem verzichtet und lediglich eine einfache Luftumwälzung innerhalb des Containers umgesetzt. Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass sich die Batterietemperaturen in den meisten Fällen in einem akzeptablen Bereich bewegt haben, auch wenn die ursprünglich erwarteten Lebensdauerziele nicht ganz erreicht werden konnten. Als Hauptursache ist hier allerdings ebenfalls die generelle Qualität der Zellen hervorzuheben, da diese teilweise bereits im neuwertigen Zustand erhebliche Kapazitätsunterschiede aufwiesen. Es ist davon auszugehen, dass die aus dem asiatischen Raum importierten Zellen deshalb einen unterschiedlich stark



ausgeprägten Alterungsprozess durchlaufen und somit einzelne Zellen die Gesamtbatterie-Performance übermässig beeinträchtigen (eine Einzelzelle als schwächstes Glied der Kette reicht hierzu bereits aus). Im Rahmen der regelmässig durchgeführten Serviceintervalle wurden deshalb auch immer wieder einzelne Zellen ersetzt, um die Degradierung auf Gesamtbatterieebene möglichst tief zu halten.

Ursprünglich war vorgesehen, einen schnellen Batteriewechsel vornehmen zu können, um die Problematik des „langsamen Nachladens“ zu umgehen. Zum damaligen Zeitpunkt waren breit verfügbare Schnelllademöglichkeiten noch fast inexistent, diese Situation hat sich bis heute allerdings durch DC-Ladestationen stark verändert. Es bleibt festzuhalten, dass sich kein Kunde (vor allem auch aufgrund des Preises) dazu entschieden hat, einen weiteren Satz Batterien zu erwerben, weshalb einem Schnellwechselsystem in der Zukunft keine grosse Bedeutung mehr zukommen wird. Die aus der E18 Serie gewonnenen Erkenntnisse zum Batteriepack zeigen:

- Auswahl von qualitativ hochwertigen Zellen in Fahrzeugbatterien hat grossen Einfluss auf Langlebigkeit und Homogenität.
- Aufwändigeres Thermomanagement der Fahrzeugbatterien verlängert Lebensdauer und schafft generell bessere Voraussetzungen für reibungslosen Betrieb, unabhängig davon, ob die Batterie fast keine Eigenerwärmung beim Laden und Entladen aufweist oder nicht, da die Umgebungstemperatur nicht beeinflussbar ist.
- Auswahl einer alternativen Zellchemie (z.B. NMC mit differenzierterem Zellspannungsverlauf) erlaubt es dem Batteriemanagementsystem denn SOC der Batteriepacks genauer zu bestimmen (was in der E18 Generation oft Probleme verursacht hat). LiFePO₄ Zellen lassen es nicht zu, den SOC anhand der Zellspannung zu bestimmen. Zudem kann die Energiedichte und damit die Reichweite der Fahrzeuge um mindestens ca. 50% gesteigert werden.

Datenlogging mittels CAN-Datenlogger

In der Anfangsphase wurde ein Datenlogger der Marke PEAK (PCAN-Router Pro) eingesetzt, welcher die geloggten Daten auf einer SD-Karte speicherte und welche schliesslich jeweils wöchentlich ausgelesen wurde.





Datenlogging mittels Funkmodem

Aufgrund der weiteren Produktion von Fahrzeugen und der mangelhaften Resultate mit dem CAN-Datenlogger wurde ein Remote-System mittels Funkmodem der Marke ifm (Produkt CR3114) und deren Softwareplattform eingesetzt.

Es werden über 950 Messwerte pro Fahrzeug erhoben und beinhalten Temperaturen, Spannungen, Verbrauchswerte sowie weitere Daten. Die einzelnen Messwerte entnehmen sie dem separaten Excel-File «Datenpunkte E18».



Das Datenlogging und Monitoring erwies sich als unerlässlich, insbesondere bei Fahrzeugpannen und fahrerseitigen Fehlmanipulationen am Fahrzeug. Nebst den Erkenntnissen aus den Verbrauchsdaten, erreichten Reichweiten und Ladevorgängen konnten so auch diverse Ausrückungen durch Eforce-Personal vermieden werden. Im Weiteren lieferte das Monitoring Erkenntnisse zum Fahrverhalten der einzelnen Chauffeure, insbesondere dessen Anwendung der Rekuperation, was einen gravierenden Einfluss auf die maximale Reichweite hat. Diese Erkenntnisse liess man wiederum in die Ausbildung einfließen. Das Monitoring und somit die IST-Daten-Erfassung hat auch den Wartungsprozess erheblich vereinfacht. Mit den kontinuierlich erfassten Daten wurden Fehlverhalten bereits erkannt, bevor es Auswirkungen auf den Betrieb hatte. Störungen konnten mit Unterstützung der E-Force-Techniker schnell lokalisiert und zeitnah mit dem Fahrer oder einem Mitarbeiter aus der firmeninternen oder kundennahen Werkstatt gelöst werden.

Ausbildung

Alternative und umweltschonende Antriebstechnologien sind mittlerweile in der Gesellschaft angekommen und auch in der Grund- und Weiterbildung der Automobiltechnik ein wichtiger Bestandteil.

Dies war jedoch vor acht Jahren mit der Einführung des ersten E-Force noch nicht der Fall, was einige Herausforderung mit sich brachte. Zum einen sind es die Fahrer sowie deren Disponenten, die sich an die neuartige Fahrdynamik, die begrenzte Reichweite, die Ladetechnik sowie die Ladedauer gewöhnen und herangeführt werden mussten.

Im Bereich Instandhaltung war es das Ziel und ist es auch heute, dass Elektrofahrzeuge von E-Force in der Betreiberinternen oder einer nahen Werkstätte gewartet werden können. Zu diesem Zweck wurde ein Schulungskonzept erarbeitet und umgesetzt, welches die bestimmten Anspruchsgruppen abdeckt, aber auch die Kompetenzen von Handhabung und Instandhaltung klar regelt. Es wurden Kompetenzbereiche definiert, die einen sicheren Umgang mit den Fahrzeugen gewährleisten. Das Vorgehen und die Handhabung der Hochvoltausbildung haben sich bis heute schweizweit



vereinheitlicht und ist Voraussetzung, eine fahrzeugspezifische Ausbildung zu absolvieren und am bestimmten Fahrzeugtyp zu arbeiten.

Den Betreibern wurden Fahrerausbildungen angeboten und durch Eforce durchgeführt. Für die Instandhaltungen waren regelmässige Schulungen von Kundeninternem sowie markenorientiertem Personal notwendig. Mit der herstellerbezogener Hoch-Volt-Kompetenz, der Wartung sowie der Diagnose wurden Techniker national aber auch international erfolgreich und nachhaltig ausgebildet. Durch die Ausbildung konnten lange Anfahrtswege interner Techniker verhindert und die Standzeiten der Fahrzeuge im Störfall verringert werden.

Nebst der Ausbildung von Wartungspersonal wurde jeweils bei Fahrzeugauslieferung ein halb- bis ganztägige Ausbildung mit den Chauffeuren durchgeführt. Bei den Kunden wurden teilweise die Chauffeure direkt dem Fahrzeug zugeteilt, es bestehen jedoch auch Kunden, welche die Elektro-LKWs durch verschiedene Fahrer benutzen lassen. Aufgrund der vereinfachten Bedienung des Fahrzeuges funktionieren beide Systeme, bei Fahrzeugausfällen ist jedoch ein zugeteilter Chauffeur aufgrund der erhöhten Kenntnisse des Gesamtsystems vorzuziehen.

6. Ausblick und zukünftige Umsetzung

Durch den E-Force E18 LKW konnte bewiesen werden, dass ein reinelektrischer und batteriebetriebener Antrieb als Alternative zum Dieselmotor im Nutzfahrzeugsbereich eingesetzt werden kann. Inzwischen sind auch die OEMs dabei, eigene Produkte auf den Markt zu bringen, wenn auch noch in sehr geringem Masse.

Fazit Antriebsstrang:

Der durch E-Force entwickelte Antrieb hat bei einem Gesamtgewicht von 18 t die Systemgrenze erreicht, resp. es war mit dieser Auslegung (2 Motoren und Sammelgetriebe) die Nutzlast weiter zu erhöhen (26 t resp. Anhängerbetrieb).

➔ Entwicklung eines neuen Antriebsstranges mit neuen Komponenten (bereits umgesetzt)

Die eingesetzten Komponenten insbesondere von Brusa wiesen keine ausreichende Festigkeit aus und es kam zu Ausfällen, was wiederum zu Mehrkosten für Coop/Feldschlösschen als auch E-Force (Garantieleistungen) führte. Die eingesetzten Komponenten sind gemäss Datenblatt und Berechnungen für diesen Einsatz geeignet, waren aber der erhöhten Belastung eines Nutzfahrzeuges nicht gewachsen.

➔ Z.B. Evaluation eines neuen Motors (bereits umgesetzt), zwecks Leistungsfähigkeit bis 40 t und Langlebigkeit

Fazit Batterie:

Die 2013 evaluierte Batterie (LiFePo4) war zu diesem Zeitpunkt die richtige Wahl. Es musste jedoch festgestellt werden, dass durch den Hersteller Batteriezellen in unterschiedlicher Qualität geliefert wurden und auch der Alterungsprozess im Winter verstärkt auftrat, was auf ein fehlendes Thermalmanagement hinweist. Die Entwicklung von Batterien hat jedoch seit 2013 grosse Fortschritte gemacht und inzwischen werden in den neueren Systemen von E-Force, aber auch bei anderen Anbietern von Elektrofahrzeugen, Batterien mit einer NMC-Zellchemie und einem Thermalmanagement resp. Klimatisierung der Batterie eingesetzt.



Schlussfolgerung:

Die eingesetzte E-Force Generation E18 konnte als Showpiece aufzeigen, dass Elektromobilität im Verteilerbetrieb funktionieren kann. Aufgrund der technischen Eingeschränktheit der verfügbaren Produkte 2013/2014 kann diese Fahrzeuggeneration bereits als veraltet und überholt betrachtet werden.

Leistungsfähigere Antriebsstränge sind bereits entwickelt und auch im Bereich der Batterietechnologie kann die Lebensdauer der Systeme stark erhöht werden. Einen reinelektrischen LKW als Alternative zu einem Diesel-Lkw mit gleicher Reichweite einzusetzen, ist zurzeit aber noch nicht möglich und erfordert weitere Technologieschritte in der Zellentwicklung. Die Effizienz der Antriebsstränge kann, wenn überhaupt noch nötig, nur noch marginal erhöht werden und ist so oder so massiv höher als bei einem Dieselmotor oder anderen Verbrennungsantrieben.

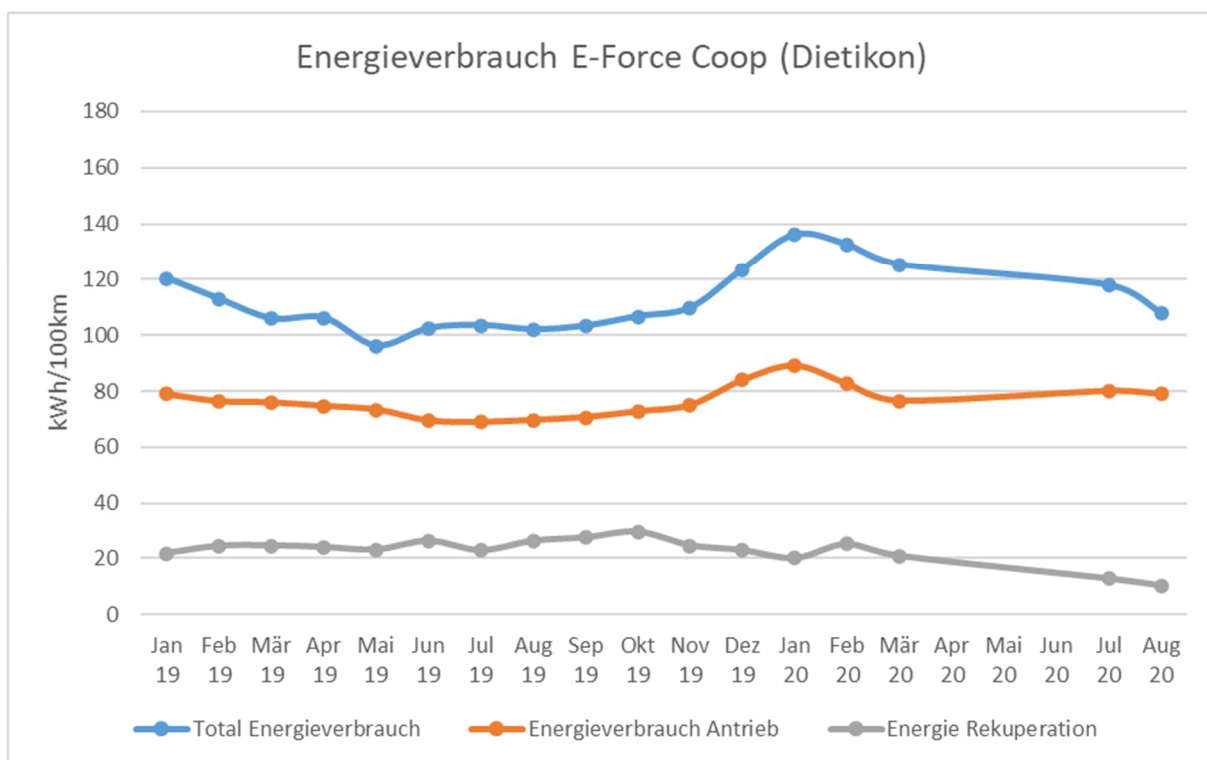
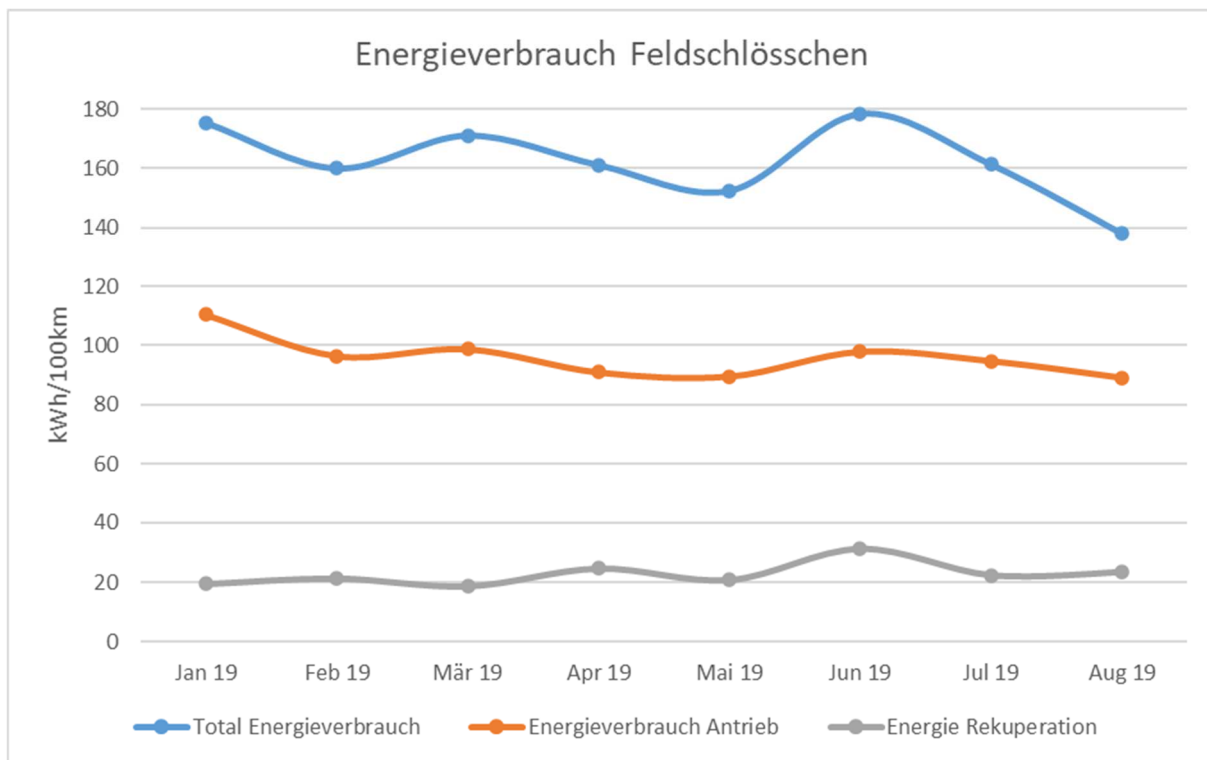


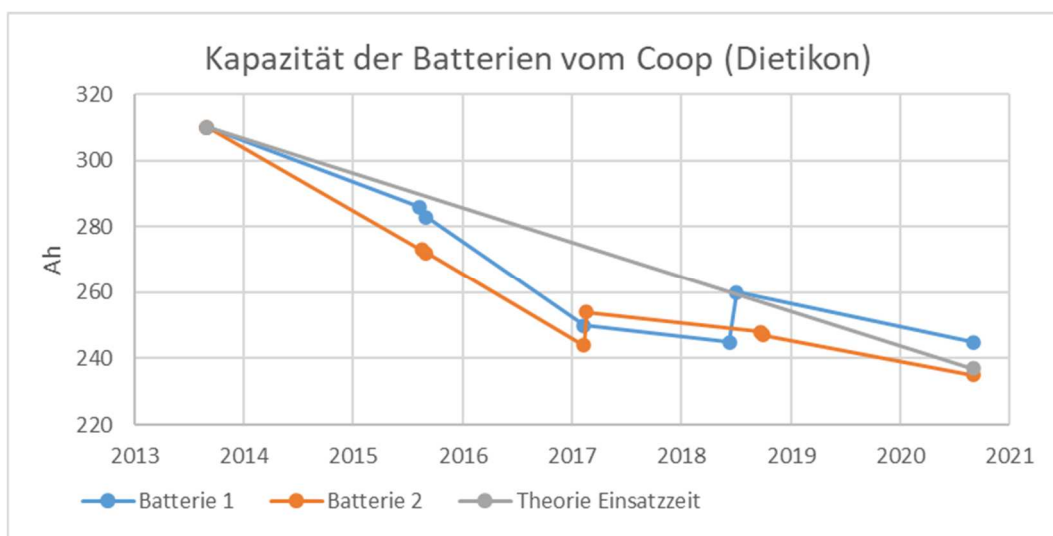
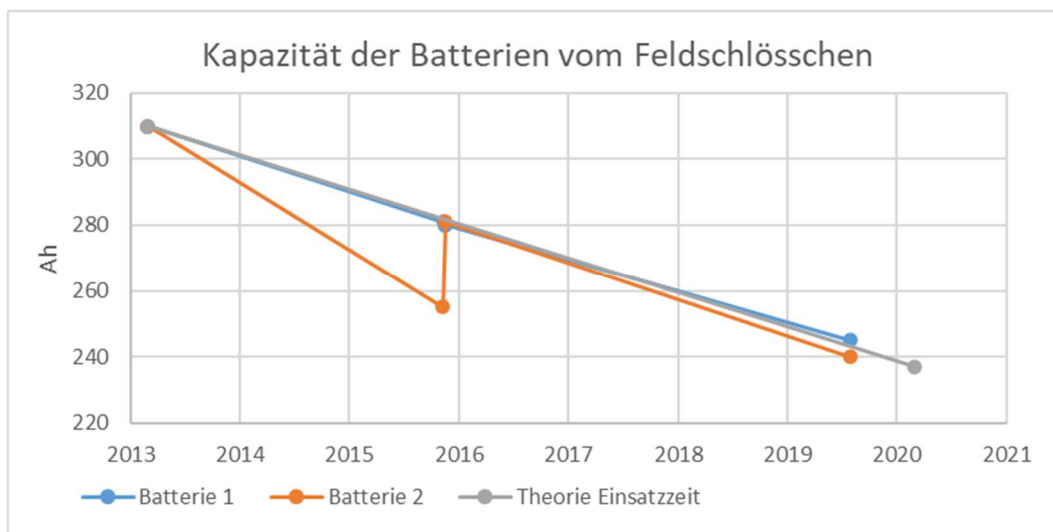
Die E-FORCE ONE AG hat auf die Erfahrungen mit der E18 Generation reagiert und eine neuen Antriebsstrang mit neuem Batteriesystem auf den Markt gebracht. Mit Fahrleistungen bis zu 40/44t übersteigt diese neue Generation die Fähigkeiten um ein Vielfaches. Ebenso können nun mit der neuen Generation Reichweiten von 220 km (40 t Applikation) bis über 400 km (18 t) erreicht werden. Ebenfalls kann aufgrund des Einsatzes neuer Zellen (NMC), besserer Batteriemanagementsysteme und Thermalmanagement die Lebensdauer der Batterie mindestens verdoppelt werden.





Neue Grafiken 2020:





Weitere Daten in den Excel-Dateien.

Die E-Force bei Coop werden bis zum nächsten Ausfall weiter im täglichen Betrieb eingesetzt. Nach Rücksprache mit E-Force ist im 2021 eine neue Batterietechnologie zu erwarten die bei gleicher Leistung deutlich preiswerter sein wird. Ein Umrüsten wird dann erneut validiert, stehen jedoch in der Wirtschaftlichkeitsrechnung klar einem konventionellen Fahrzeug gegenüber.



7. Nationale und internationale Zusammenarbeit

Coop: Keine Aktivitäten mit nationalen und internationalen Umfeld vorhanden.

Feldschlösschen: Die guten Erfahrungen und Berichterstattungen über den Einsatz des Eforce, dessen Leasing Mitte August 2019 beendet war, wurde auch von der Carlsberg-Gruppe positiv aufgenommen. Der Aufbau von der E-Mobilität innerhalb der Carlsberg-Gruppe wird in der Schweiz gestartet.

Feldschlösschen erhält im 2021 zwanzig neue 26-Tonnen-Elektro-Lastwagen für die tägliche Belieferung der Kunden.

8. Kommunikation

Coop hat sich nach Ausfällen aufgrund von defekten Zellen auf eine reaktive Kommunikation entschieden. Es wurden lediglich Anfragen von Hochschulen und Fachzeitschriften beantwortet. In dieser Kommunikation blieb man positiv, was der Startphase entspricht und zurückhaltend hinsichtlich der nahen Zukunft. Man verwies auf das Projekt mit Hyundai.

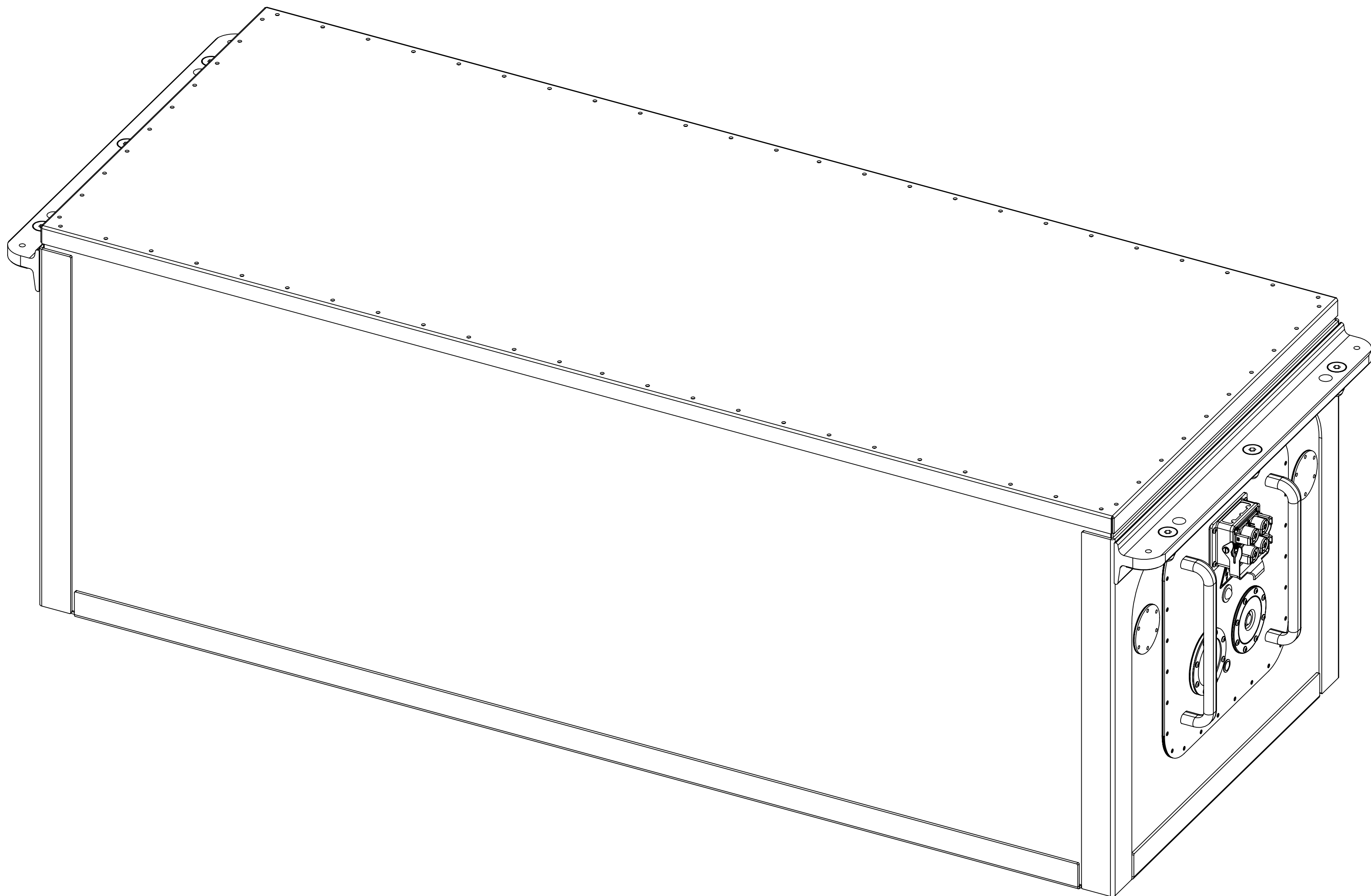
Feldschlösschen hat v.a. bei der Anschaffung zu Beginn aktiv über den E-LKW kommuniziert. Später wurde der E-LKW gelegentlich bei Themen, wenn es um die Bestrebungen in der Nachhaltigkeit ging, eher erwähnt. Auf Anfragen von (Hoch-)Schulen wurde Auskunft gegeben.

Eforce hat in der Anfangsphase die Kommunikation von Coop und Feldschlösschen im Sinne des Marketings genutzt. Im Weiteren wurden die Fahrzeuge resp. deren Datenauswertungen anlässlich Kongressen und gegenüber Fachzeitschriften anonymisiert kommuniziert.

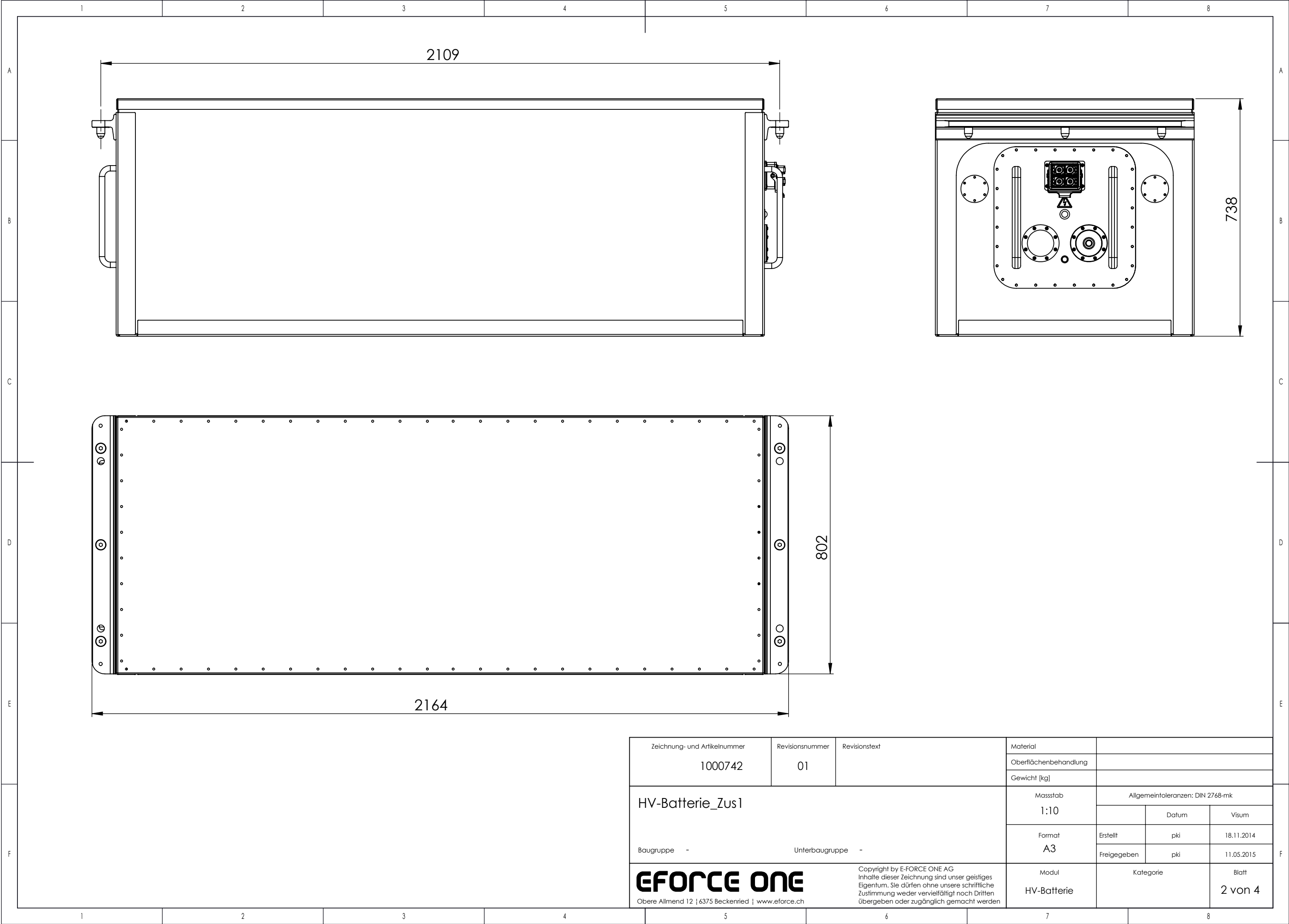
9. Publikationen

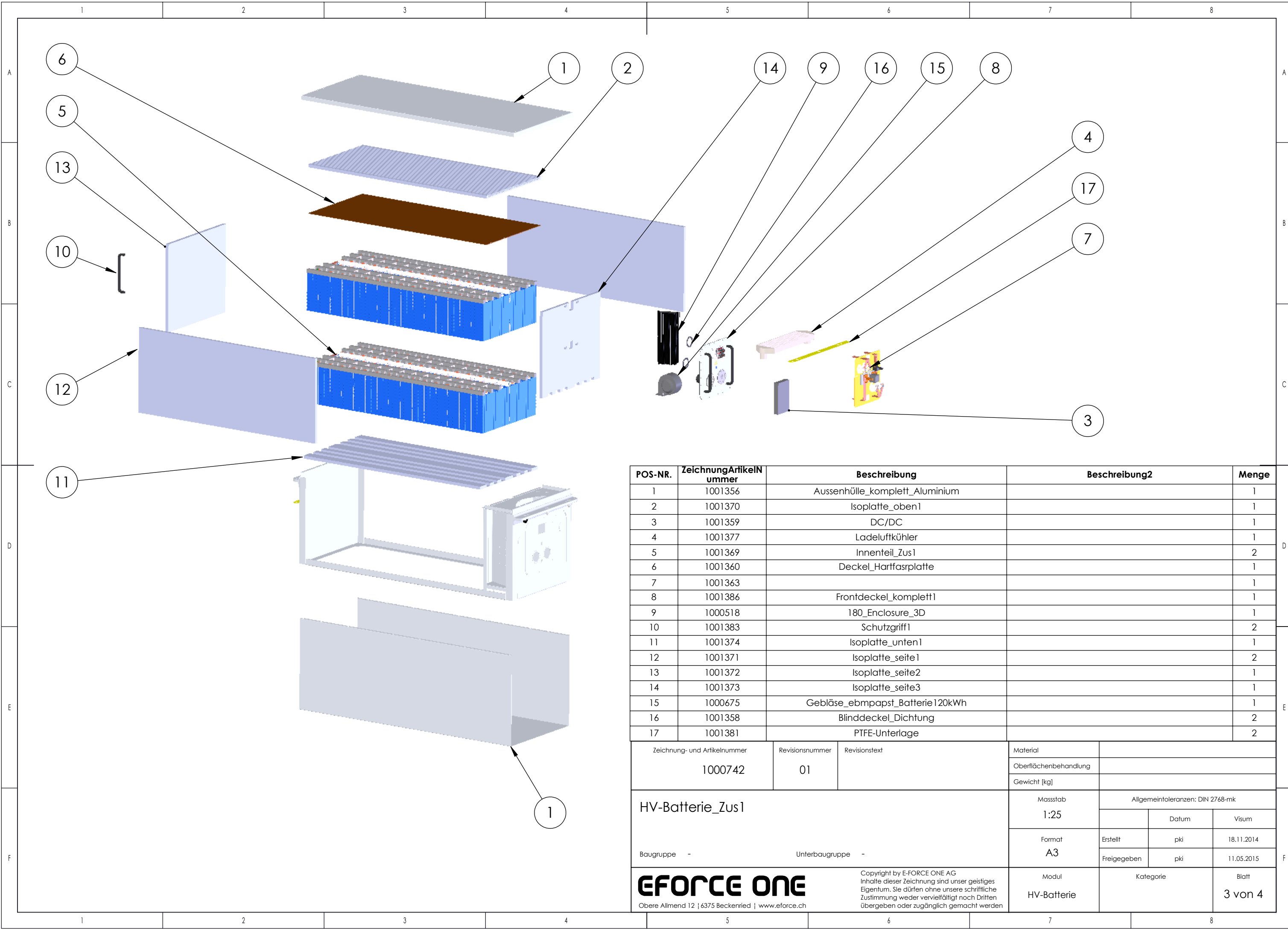
Coop hat keine Dokumentationen veröffentlicht.

Feldschlösschen: Auf der Webseite ist eine Seite zum 18-Tonnen-Elektro-Lastwagen von E-Force gewidmet. Siehe [Link](#). Mit ETH Zürich wurde im 2014 eine [Studie](#) bezüglich Effizienz und Wirtschaftlichkeit durchgeführt.

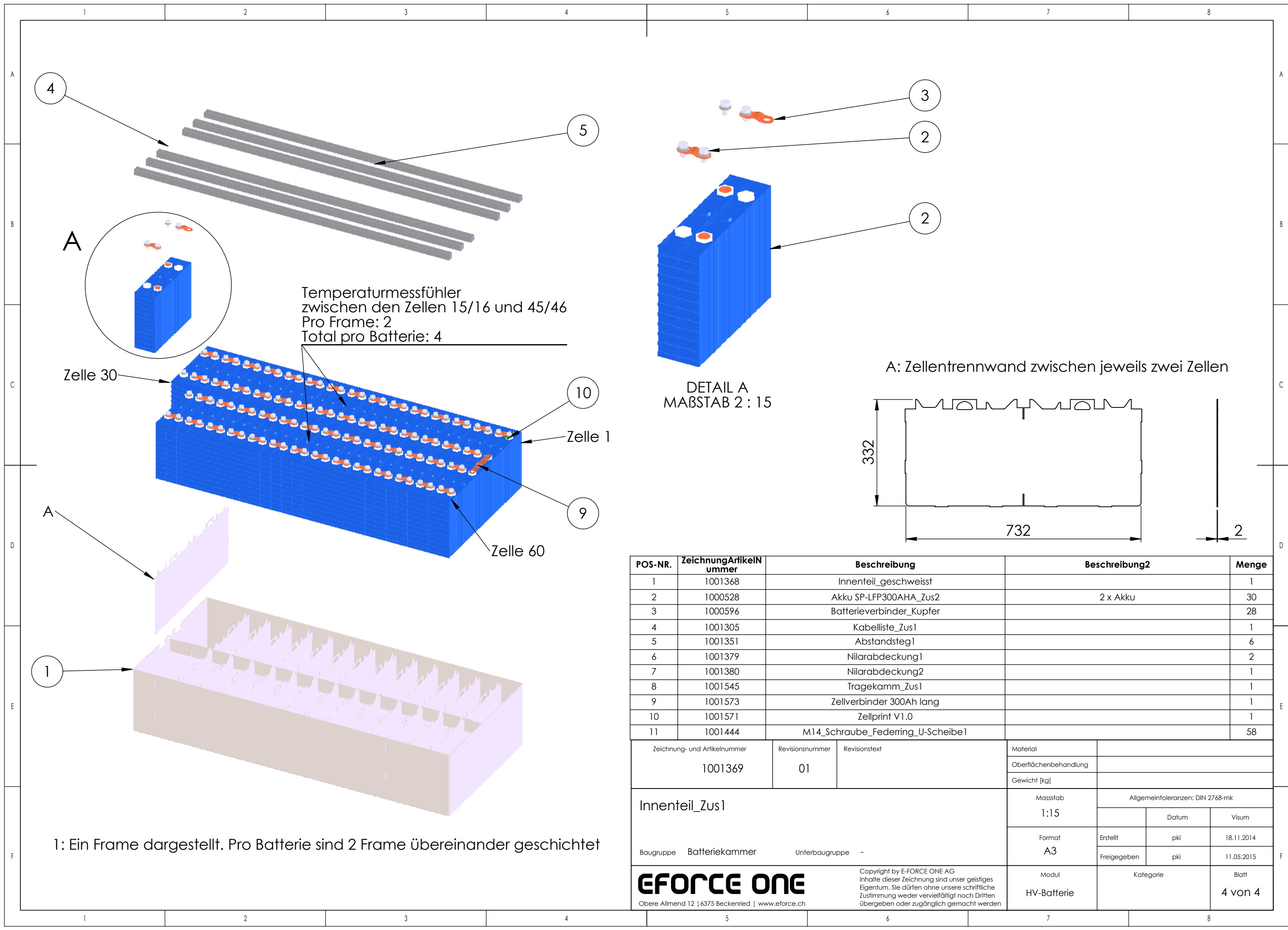


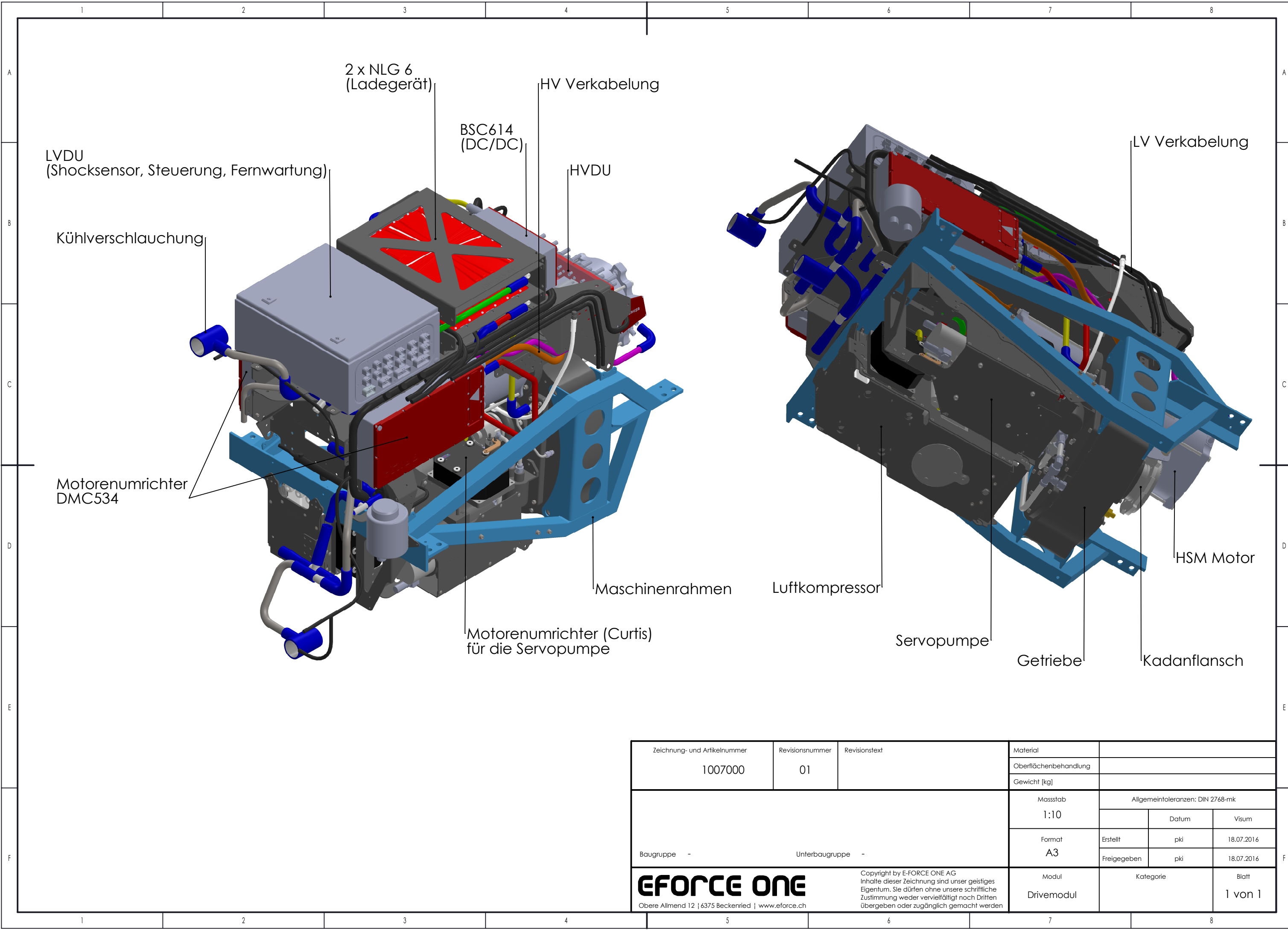
POS-NR.	Zeichnung/Artikelnummer	Beschreibung	Beschreibung2	Menge		
1	1001352	Aussenhülle1_Aluminium		1		
2	1001354	Aussenhülle3_Aluminium		1		
3	1001353	Aussenhülle2_Aluminium		1		
4	1001355	Aussenhülle4_Aluminium		1		
5	1001376	Kühlerhalteblech_Aluminium		1		
6	1001378	Lüfterblech_unten_Aluminium		1		
7	1000602	BMS-Raum_Verstrebung1		1		
8	1000603	BMS-Raum_Verstrebung2		1		
9	1001375	Isoplatte_verstärkung_Aluminium		2		
10	1001393	Tragewinkel_Aluminium		2		
11	1001382	Rastbolzen1		6		
12	1001361	Deckel_oben_Aluminium		1		
13	1001395	Unterrahmen_Aluminium		1		
14	1001357	Blinddeckel_Aluminium		2		
15	1001385	Steckerdeckel_Aluminium		2		
16	1001370	Isoplatte_oben1		1		
17	1001359	DC/DC		1		
18	1001377	Ladeluftkühler		1		
19	1001364	Innenhülle1		2		
20	1001365	Innenhülle2		28		
21	1001366	Innenhülle3		2		
22	1001367	Innenhülle4		2		
23	1000728	Gewinde zu Akku	Kupfer	120		
24	1001466	Mutter zu Akku		240		
25	1000727	Gewinde zu Akku	Aluminium	120		
26	1000570	Akku_Synopoly		120		
27	1000596	Batterieverbinder_Kupfer		116		
28	1000626	Deckel Kobelliste	HV-Batterie	2		
29	1001306	Kabelliste unten		2		
30	1001351	Abstandsfleg1		12		
31	1001379	NiIarabdeckung1		2		
32	1001380	NiIarabdeckung2		2		
33	1001546	Tragekamm1		2		
34	1001544	Tragekam1_gespiegelt		2		
35	1001573	Zellverbinder 300Ah lang		2		
36	1001572	Zellprint V1.0		2		
37	1000669	EMUS-Chip		2		
38	1001526	Stecker Micro-FI2_SMD		4		
39	1001476	Power-Widerstand 1W		20		
40	1001360	Deckel_Hartfasplatte		1		
41	1001362	Elektrikhalter_Hartfasplatte		1		
42	1001324	Kilovac_EV200		4		
43	1001512	Sicherungshalter_2131302		1		
44	1001390	Stromschiene2		1		
45	1001394	Tüllenklemme1		4		
46	1001506	SiBA_Sicherung_1000A		1		
47	1001391	Stromschiene3		1		
48	1001392	Stromschiene4		1		
49	1001530	Stromsensor_Orion_BMS		1		
50	1001387	Stromschiene1.1		2		
51	1001388	Stromschiene1.2		2		
52	1001465	Multicontact_Steckdose		1		
53	1001383	Schutzgriff1		4		
54	1001397	Überdruckmembran2		1		
55	1001396	Überdruckmembran1		1		
56	1000644	Druckausgleichmembrane1		1		
57	1000629	Dichtung-Popp-Off-Ventil		1		
58	1000634	Distanzbolzen_M3x40		3		
59	1001478	Rausfallschutz_Überdruckventil		1		
60	1001346	LED_multicollar		1		
61	1001565	Warnzeichen_Hochspannung		1		
62	1000645	Druckknopf_19mm		1		
63	1001519	SOC-Meter 250°		1		
64	1001518	SOC-Meter 250° Glas		1		
65	1001515	SOC-Anzeige_Glaskalterring		1		
66	1001514	SOC-Anzeige_Glasfenster		1		
67	1001516	SOC-Anzeige_halter_hinten		1		
68	1001517	SOC-Anzeige_Rundpuffer		4		
69	1001521	SOC-überdruck_dichtungsring		2		
70	1001384	Steckerdeckeldichtung1		2		
71	1000729	Gummidichtung_Multicontact_Steckdose		1		
72	1001503	Se-Schr DIN7991 M4x6		4		
73	1001347	LED_multicollar_Verschraubring		1		
74	1000646	Druckknopf_19mm_Verschraubring		1		
75	1000518	180_Enclosure_3D		1		
76	1001374	Isoplatte_unten1		1		
77	1001371	Isoplatte_seite1		2		
78	1001372	Isoplatte_seite2		1		
79	1001373	Isoplatte_seite3		1		
80	1000675	Gebälse_ebmppapst_Batterie120kWh		1		
81	1001358	Blinddeckel_Dichtung		2		
82	1001381	PFE-Unterlage		2		
83	1000630	DIN 933 - ersetzt durch DIN EN 24017 M14 x 25		236		
84	1001446	M3x8_Inbusschraube		3		
85	1001350	Li-Schr Pin Torx ISO7380 M5x20		8		
86	1000599	Blindnietmutter geschlossen 6-kt M5		16		
87	1001349	Li-Schr Pin Torx ISO7380 M5x16		12		
88	1001348	Li-Schr ISO7380 M8x16		4		
89	1001549	U-Scheibe_DIN125A_4,4x8,8		4		
90	1000672	Federscheibe_M4		8		
91	1000550	6kt-Mu DIN934 M4	DIN 934 Stahl I6I / I8I verzinkt	8		
92	1001296	Inbussensschraube_Rastbolzen1		6		
93	1001443	M14_Federling		236		
94	1001445	M14_U-Scheibe		236		
95	1001637	6kt-Mu DIN982 M5 A2	Stopfmutter, Edelstahl A2 blank	4		
Zeichnung und Artikelnummer		Revisionsnummer	Revisionstext	Material		
1000742		01		Oberflächenbehandlung		
				Gewicht [kg]		
HV-Batterie_Zus1				Masstab	Allgemeintoleranzen: DIN 2768-mK	
				1:5		
					Datum	Visum
				Format	Erstellt	18.11.2014
				A1	Freigegeben	11.05.2015
Baugruppe - Unterbaugruppe -				Modul	Kategorie	Blatt
				HV-Batterie		1 von 4
Eforce one				Copyright by Eforce ONE AG Inhalte dieser Zeichnung sind unser geistiges Eigentum. Sie dürfen ohne unsere schriftliche Zustimmung weder vervielfältigt noch Dritten übergeben oder zugänglich gemacht werden.		
Obere Altemnd 12 6375 Beckenried www.eforce.ch						






POS-NR.	Zeichnung ArtikelN ummer	Beschreibung	Beschreibung2		Menge
1	1001356	Aussenhülle_komplett_Aluminium			1
2	1001370	Isoplatte_oben1			1
3	1001359	DC/DC			1
4	1001377	Ladeluftkühler			1
5	1001369	Innenteil_Zus1			2
6	1001360	Deckel_Hartfasrplatte			1
7	1001363				1
8	1001386	Frontdeckel_komplett1			1
9	1000518	180_Enclosure_3D			1
10	1001383	Schutzgriff1			2
11	1001374	Isoplatte_unten1			1
12	1001371	Isoplatte_seite1			2
13	1001372	Isoplatte_seite2			1
14	1001373	Isoplatte_seite3			1
15	1000675	Gebläse_ebmpapst_Batterie120kWh			1
16	1001358	Blinddeckel_Dichtung			2
17	1001381	PTFE-Unterlage			2
Zeichnung- und Artikelnummer 1000742		Revisionsnummer 01	Revisionstext		Material
					Oberflächenbehandlung
					Gewicht [kg]
HV-Batterie_Zus1			Masstab 1:25	Allgemeintoleranzen: DIN 2768-mk	
				Datum	Visum
			Format A3	Erstellt pki	18.11.2014
Baugruppe - Unterbaugruppe -			Freigegeben	pki	11.05.2015
EFORCE ONE Obere Allmend 12 6375 Beckenried www.eforce.ch			Modul HV-Batterie	Kategorie	Blatt 3 von 4
Copyright by E-FORCE ONE AG Inhalte dieser Zeichnung sind unser geistiges Eigentum. Sie dürfen ohne unsere schriftliche Zustimmung weder vervielfältigt noch Dritten übergeben oder zugänglich gemacht werden					





Zeichnung- und Artikelnummer 1007000	Revisionsnummer 01	Revisionstext	Material						
			Oberflächenbehandlung						
			Gewicht [kg]						
Baugruppe - Unterbaugruppe -			Massstab 1:10	Allgemeintoleranzen: DIN 2768-mk					
					Datum	Visum			
			Format A3	Erstellt	pki	18.07.2016			
				Freigegeben	pki	18.07.2016			
 Obere Allmend 12 6375 Beckenried www.eforce.ch			Copyright by E-FORCE ONE AG Inhalte dieser Zeichnung sind unser geistiges Eigentum. Sie dürfen ohne unsere schriftliche Zustimmung weder vervielfältigt noch Dritten übergeben oder zugänglich gemacht werden			Modul Drivemodul	Kategorie	Blatt 1 von 1	

EFORCE

**Auszug Werkstatthandbuch
Elektro-Lkw Eforce E18**

Inhaltsverzeichnis

1	Netzladegeräte NLG.....	1
1.1	Technische Daten	1
1.2	Drehmoment.....	1
1.3	Anschlüsse.....	1
1.4	Funktionsbeschreibung	3
1.5	Kühlwasserkreislauf	3
2	Wechselrichter DMC.....	3
2.1	Technische Daten	3
2.2	Drehmomente	3
2.3	Anschlüsse.....	4
2.4	Funktionsweise	5
2.5	Kühlwasserkreislauf	5
2.6	Ersetzen eines Wechselrichters	5
3	Motoren HSM.....	1
3.1	Technische Daten	1
3.2	Drehmomente.....	1
3.3	Anschlüsse.....	2
3.4	Spezialwerkzeug.....	2
3.5	Funktionsweise	3
4	Klimaanlage.....	3
4.1	Technische Daten	3
4.2	Füllmittel	3
4.3	Anschlüsse.....	4
4.4	Funktionsweise	4
5	Heizung	1
5.1	Technische Daten	1
5.2	Anschlüsse.....	1
5.3	Funktionsweise	2
6	DC-DC Wandler.....	3
6.1	Technische Daten	3
6.2	Anschlüsse.....	3
6.3	Funktionsweise	5
7	Luftkompressor	6
7.1	Technische Daten	6
7.2	Drehmomente.....	7

7.3	Füllmittel	7
7.4	Funktionsweise	7
8	Servopumpe	8
8.1	Technische Daten	8
8.2	Füllmittel	9
8.3	Funktionsweise	9

1 Netzladegeräte NLG

1.1 Technische Daten

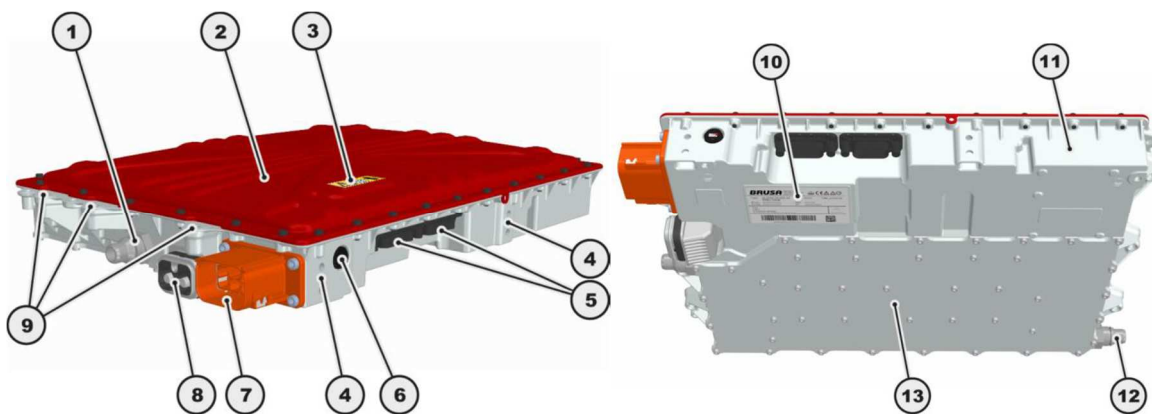
Marke	Brusa
Typ	NLG6
Gewicht	12 Kg
Eingangsspannung*	360V - 440V
Max. Eingangsstrom*	32A rms
Ausgangsspannung*	230V – 450V
Max. Ladestrom*	60A DC
Max. Ladeleistung*	20.75 KW
Wirkungsgrad	>94%

**Gilt nur im 3 Phasenbetrieb.*

1.2 Drehmoment

HV Steckerarretierung DC	5.5 Nm
--------------------------	--------

1.3 Anschlüsse





1.4 Funktionsbeschreibung

Auf jedem Fahrzeug sind zwei Ladegeräte mit je 32A verbaut. Damit ist eine maximale Ladeleistung von 44kW möglich. Während des Ladevorgangs ist der LKW galvanisch von der Hausinstallation getrennt. Die Ladegeräte sind nötig, damit die 3x 400V Wechselspannung vom Netz auf die notwendige Fahrzeugspannung umgewandelt wird.

Die Ladegeräte werden von den VCU Steuergeräten verwaltet. Diese verhalten von den Ladedosen den maximalen Strombezug der Ladeinfrastruktur. Bei einer 64A Lademöglichkeit, zwei angeschlossenen Batterien und keine anderweitigen Deratings, werden beide Ladegeräte a 32A betrieben. Bei 32 A Infrastruktur werden beide Ladegeräte zu 16A betrieben. Ist lediglich eine 16A Ladeinfrastruktur vorhanden, wird nur ein Ladegerät betrieben. Dies um den besseren Wirkungsgrad in diesem Teillastbereich zu Nutzen. Bei der Linken Ladedose wird das obere NLG und bei der Rechten Ladedose das untere NLG Angesteuert.

Das oben verbaut Ladegerät ist jeweils das NLG 1.

1.5 Kühlwasserkreislauf

Die Ladegeräte dürfen niemals ohne Kühlwasser betrieben werden. Die Elektronik heizt sich so schnell auf, dass diese überhitzen und dabei Schaden nehmen. Stellen Sie deshalb nach Reparaturen am Wasserkreislauf sicher, dass das System vollständig entlüftet wurde, bevor das Fahrzeug geladen wird.

2 Wechselrichter DMC

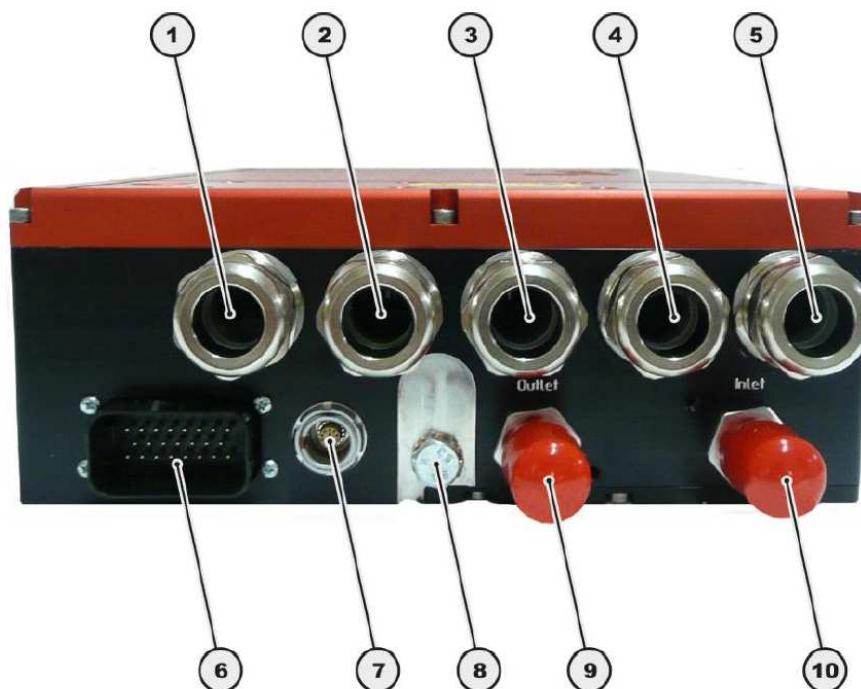
2.1 Technische Daten

Marke	Brusa
Typ	DMC534
Gewicht	12,5 Kg
Eingangsspannung HV	120V - 450V
Dauerleistung	118 KW
Wirkungsgrad	>97%

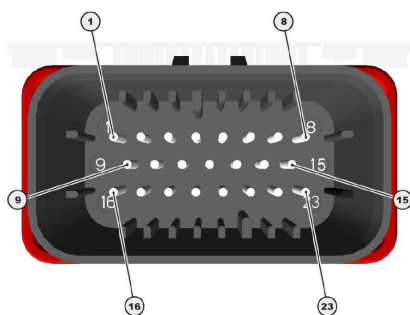
2.2 Drehmomente

Masseschraube M8 x 10	15 Nm
Anschlussschrauben HV Kabel	15 Nm

2.3 Anschlüsse



1. Hochspannung- (HV-)	2. Hochspannung+ (HV+)
3. Motor Phase U	4. Motor Phase V
5. Motor Phase W	6. Steuerstecker (Kapitel 7.3 Pinbelegung Steuerstecker)
7. Motorsensoranschluss (14-polig Niederspannung) (Kapitel 7.2 Pin-Belegung Motorsensoranschluss)	8. Erdungs- / Masseschraube (Kapitel 7.4 Erdungs- / Masseschraube)
9. Kühlwasserausgang ø 16 mm (Kapitel 7.5 Kühlwasseranschlüsse)	10. Kühlwassereingang ø 16 mm (Kapitel 7.5 Kühlwasseranschlüsse)



1. GND*	Masse (Bordnetz Minus, Klemme 31)	2. AUX*	+12 V (Bordnetz Plus, Klemme 30)
3. EN*	Enable (Power ON, Klemme 15)	4. DO0	Reserve
5. DO1	Reserve	6. DO2	Reserve
7. DO3	Reserve	8. PG1	Reserve Masse
9. CNL*	CAN Low	10. CNH*	CAN High
11. TXD**	RS232 Transmit (9-pol D-Sub Pin 2)	12. RXD**	RS232 Receive (9-pol D-Sub Pin 3)
13. PRO**	Enable Firmware Download	14. PG2	Reserve-Masse
15. PG3**	RS232 Masse (9-pol D-Sub: Pin 5)	16. DI0	Reserve
17. Ext AW1*	Externer Abschaltpfad 1 (Bordnetz Plus, Klemme 30)	18. Ext AW2*	Externer Abschaltpfad 2 (Bordnetz Plus, Klemme 30)
19. IL1*	Interlock-Signalschleife	20. IL2*	Interlock-Signalschleife
21. AI1	Reserve	22. AI2	Reserve
23. AI3	Reserve		

2.4 Funktionsweise

Als Antrieb dienen zwei Elektromotoren mit jeweils einem Wechselrichter (DMC). Mit den Wechselrichtern wird die 400VDC von der HV Batterie in die nötige AC Spannung für die Elektromotoren umgewandelt. Der Antrieb funktioniert bidirektional und kann beim Bremsen als Generator eingesetzt werden. Der Wechselrichter ist das Steuerelement des Motors.

Der Wechselrichter 1 ist jeweils das in Fahrtrichtung links verbaute Gerät.

2.5 Kühlwasserkreislauf

Die Wechselrichter dürfen niemals ohne Kühlwasser betrieben werden. Die Elektronik heizt sich so schnell auf, dass diese sich überhitzen und dabei Schaden nehmen. Stellen sie deshalb nach Reparaturen am Wasserkreislauf sicher dass das System entlüftet wurde bevor das Fahrzeug bewegt wird.

2.6 Ersetzen eines Wechselrichters

Nach einem Austausch eines Wechselrichters ist das Kühlsystem zu entlüften. Weiter muss der Motorencode und die Kennung für die Herstellungstoleranz (Rotoroffset) einprogrammiert werden. Geschieht dies nicht, läuft der Motor nicht, rückwärts oder sehr ineffizient. Anschliessend während einer Probefahrt die Temperaturen der beiden Motoren und beider Wechselrichter miteinander vergleichen

3 Motoren HSM

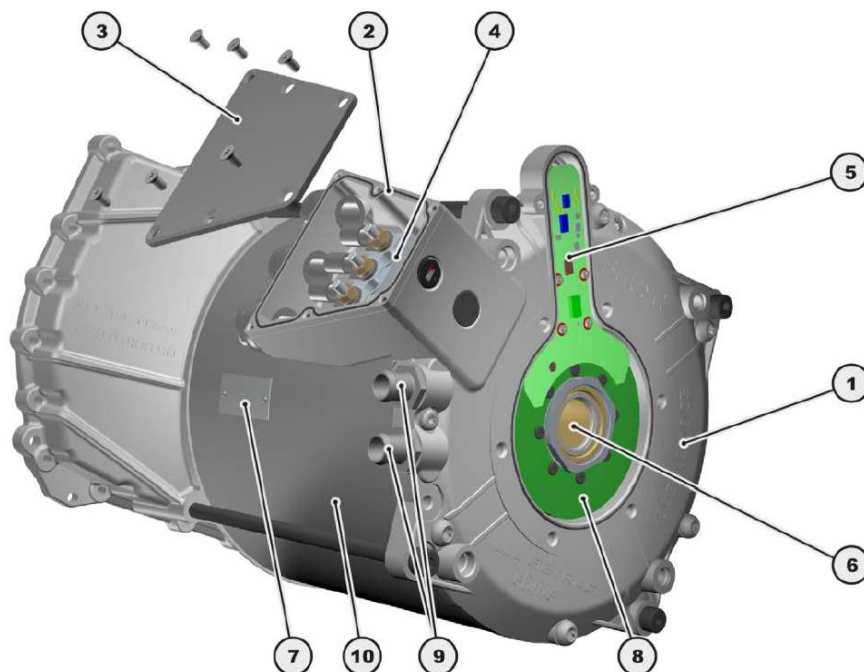
3.1 Technische Daten

Marke	Brusa
Typ	HSM 1
Gewicht	52 KG
Eingangsspannung HV	360V – 450V
Max. Drehmoment	315 Nm
Max Drehzahl	13000 rpm
Maximalleistung	153 KW / 208PS
Dauerleistung	93 KW / 126 PS
Wirkungsgrad	95 %

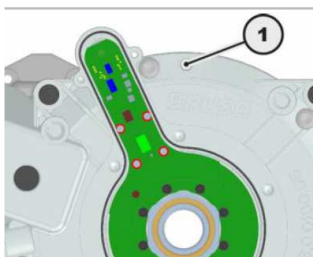
3.2 Drehmomente

Anschlussschrauben HV Kabel	3 Nm
Masseschraube M8 x 10	15 Nm
Deckel Anschlussbox	5 Nm
Entlüftungsschraube	7 Nm
Adapterplatt auf Motor Senk M10 x 20	30 Nm & Loctite Hochfest
Adapterplatt auf Motor M10 x 260	25 Nm & Loctite Mittelfest
Kontermuttern zu Ad.-Motor (M10 x 260)	25 Nm
Decker Drehzahlsensor M8	20 Nm
M5	5 Nm

3.3 Anschlüsse



1. Hinteres Lagerschild	2. Anschlussbox Phasen U, V, W (R, S, T)
3. Abdeckung Anschlussbox	4. Klemmbrett
5. Positionssensor	6. Rotorwelle
7. Typenschild	8. Codedisc
9. Kühlwasseranschlüsse	10. Kühlmantel / Motorgehäuse



1 Entlüftungsschraube

3.4 Spezialwerkzeug

Schlüssel zu Lemomutter (Demontage Drehzahlsensor)

Schlüssel für HV Kabeldurchführungen

Drehmomentschraubendreher ab 3 Nm

3.5 Funktionsweise

Der Motor verfügt über keine integrierte Steuerung. Die einzige Elektronik ist der Drehzahl- und Temperatursensor. Sämtliche Steuerungsvorgänge werden im DMC getätigt.

4 Klimaanlage

4.1 Technische Daten

Marke	Sedco
Typ	E34-320
RPM	1000 - 4500
Max Kühlmittel Eintrittstemperatur	85°C
Spannung	240V – 420V
Max Strom	35A
Max Leistung	2500 W
Gewicht	7.2 Kg

4.2 Füllmittel

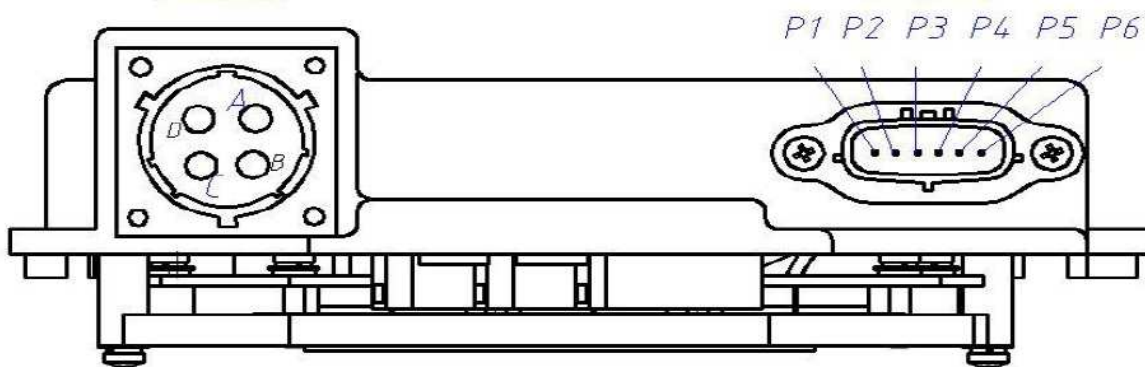
Kühlmittel	R134a	700 g
Kompressoröl	POE RL68H	90 ml



Zu beachten ist, dass nur nichtleitendes Klima-Öl (Typ POE) verwendet wird. Des Weiteren darf nur R134a Kühlmittel verwendet werden. Das Befüllen des Klimasystems ist zudem nur mit dem dafür geeigneten Gerät möglich. Bei Unsicherheit wenden sie sich bitte an E-FORCE.



4.3 Anschlüsse



Ansicht auf den Elektronikteil des Kompressors.

- A) 400V Plus
- B) 400V Minus

Pin	Signal	Wert
P1	Leer	
P2	Leer	
P3	GND	Masse
P4	PWM	12V bei eingeschalteter Klimaanlage
P5	Start/Stop	Masse
P6	K15	12V

4.4 Funktionsweise

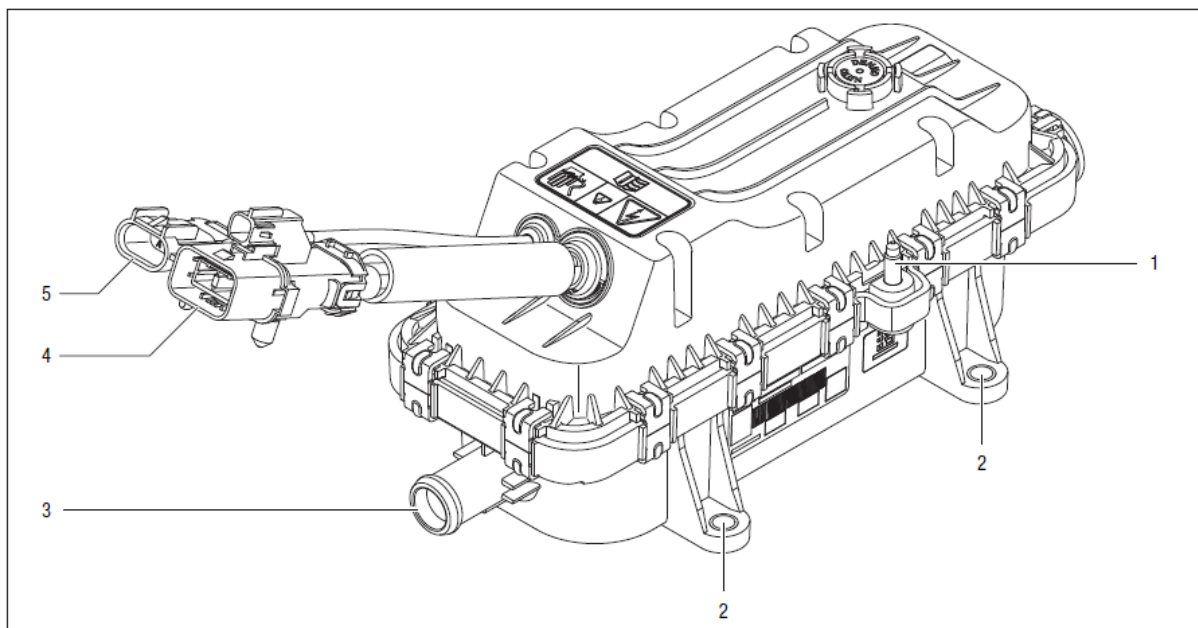
Der Fahrerwunsch die Kabine zu Kühlen wird am Bedienelement angegeben, durchläuft alle originalen Sicherheitsmechanismen (Druckschalter/BC Freigabe) und erst der Kontakt der im Verbrennerfahrzeug die Magnetkupplung betätigt, wird dann von der ICU ausgelesen und auf den CAN Bus (ECB) weitergeleitet. Die Nachricht wird in der VCU 2 wieder aufgenommen und steuert den Hochvoltkompressor mittels PWM-Signal an.

5 Heizung

5.1 Technische Daten

Marke:	Eberspächer
Typ:	Hitronic CH-HC 60
Spannung:	250V – 450V
Max Leistung:	6000 W

5.2 Anschlüsse

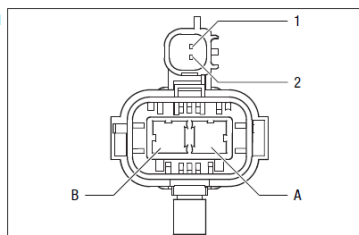


- 1 Gewindebolzen Potentialausgleich
- 2 Befestigungsbohrung
- 3 Anschluss Kühlmittelkreislauf
- 4 Steckerschnittstelle Hochvolt (HV)
- 5 Steckerschnittstelle Niedervolt (LV)

HOCHVOLTSTECKER

Hersteller: Delphi, Art.-Nr. 13 737 736

Bild 6.1

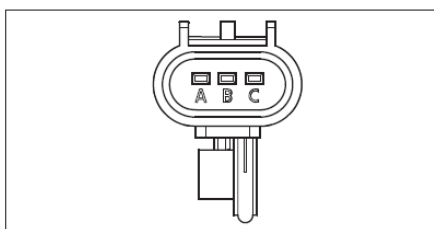


PIN	HV Connector
1	HV_IL +
2	HV_IL -
A	HV +
B	HV -

NIEDERVOLTSTECKER

Hersteller: Delphi, Art.-Nr. 15 326 813

Bild 6.2



PIN	Signal Connector	Farbe
A	GND	schwarz
B	PWM	grün
C	+12 V DC	rot

5.3 Funktionsweise

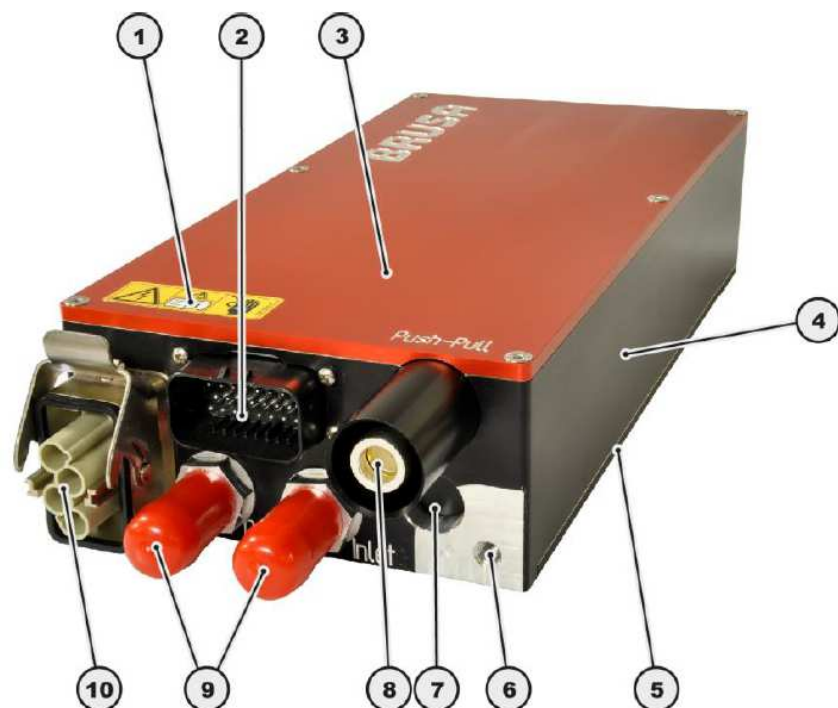
Der Fahrerwunsch die Kabine zu Heizen wird am Bedienelement ausgelesen und in der ICU auf den CAN Bus (ECB) weitergeleitet. Die Nachricht wird in der VCU 2 wieder aufgenommen Steuert über ein PWM Signal die Wasserheizung und schaltet die Wasserpumpe der Kabinenheizung ein.

6 DC-DC Wandler

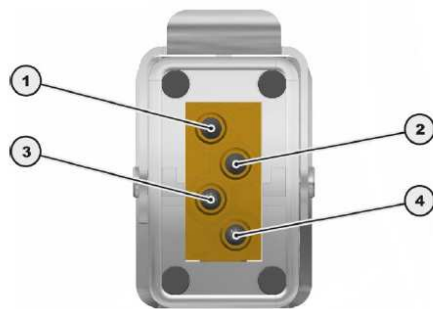
6.1 Technische Daten

Marke	Brusa
Typ	BSC 614
Gewicht	4.8 Kg
Eingangsspannung*	220V - 450V
Ausgangsspannung*	16V - 32V
Max. Ladestrom*	125A
Max. Ladeleistung*	3.5 KW
Wirkungsgrad	95%

6.2 Anschlüsse

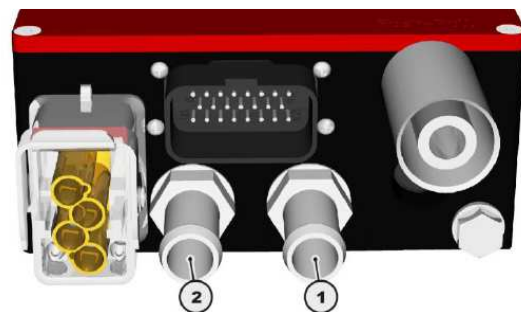
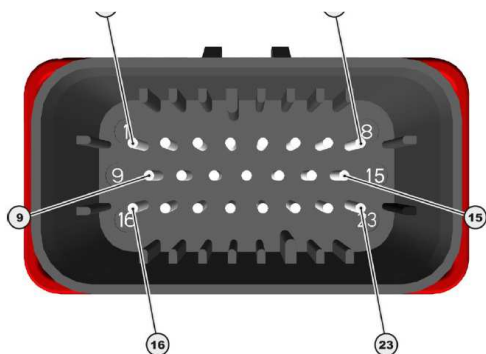


1. HV warning sign	2. Control connector
3. Housing cover	4. Housing
5. Water duct cover	6. LV negative pole
7. Pressure compensation membrane	8. LV positive pole
9. Cooling water connections	10. HV power connector



- 1) HV Interlock Loop input
- 2) HV interlock loop output
- 3) HV Plus
- 4) HV Minus

1. GND	Signal ground (Minus wiring system, terminal 31)	2. AUX	+24 V (Plus wiring system, terminal 30)
3. EN	Enable (power ON, terminal 15)	4. DO0	Digital output 1 (programmable)
5. DO1	Digital output 2 (programmable)	6. DO2	Digital output 3 (programmable)
7. DO3	Digital output 4 (programmable)	8. PG1	Analogue ground (for pins 21 – 23)
9. CNL	CAN low	10. CNH	CAN high
11. TXD	RS232 Transmit (9 pole D-Sub: pin 2)	12. RXD	RS232 Receive (9 pole D-Sub: pin 3)
13. PRO	Enable firmware download	14. PG2	Ground reserve
15. PG3	RS232 ground (9 pole D-Sub: pin 5)	16. DI0	Digital input 1
17. DI1	Digital input 2	18. DI2	Digital input 3
19. IL1	HV interlock loops input	20. IL2	HV interlock loop output
21. AI1	Analogue input 1 (programmable)	22. AI2	Analogue input 2 (programmable)
23. AI3	Analogue input 3 (programmable)		



- 1) Water input
- 2) Water output

6.3 Funktionsweise

Der DCDC Wandler transformiert Hochvoltspannung in 24 V Bordnetzspannung. Er wird über die VCU angesteuert sobald die Zündung eingeschaltet wird oder wenn die HV Batterien geladen werden.



Wird der Stecker 8 (Leistungsplus) abgesteckt sind dort direkt und ungesichert 24V. Es muss also erst die Bordnetzbatterie abgehängt werden oder anderweitig sichergestellt werden das kein Kurzschluss entstehen kann.



7 Luftkompressor

7.1 Technische Daten

Versorgung

Sicherungstyp	Mega
Sicherungswert	300A
Relais Lastzuschaltung	Ravioli

Wechselrichter

Marke	Curtis
Typ	1236
Nennspannung	24V – 36V
Strombedarf	150A – 200A

Motor (V1)

Marke	Schabmüller
Typ	TSA150-120-200

Motor (V2)

Marke	Schabmüller
Typ	TSA200-100-258
Leistung	<5KW

Kompressor

Marke	Knorr
Typ	Ekomp9135000020

7.2 Drehmomente

Anschlüsse auf der Sicherung	21.4Nm
Relais Ravioli Anschlusschraube M8	6 Nm
Anschlüsse Leistungsverorgung Curtis	9.6 Nm
Anschlüsse Phasenkabel an Curtis	9.6 Nm
Phasenkabel am Motor Vers 1 & Vers.2	24 Nm
Abdeckung Klemmbrett Motor Vers.2	3.4 Nm

7.3 Füllmittel

Anschlüsse auf der Sicherung	
Relais Ravioli Anschlusschraube M8	6 Nm
Anschlüsse Leistungsverorgung Curtis	9.6 Nm
Anschlüsse Phasenkabel an Curtis	9.6 Nm
Phasenkabel am Motor Vers 1 & Vers.2	24 Nm
Abdeckung Klemmbrett Motor Vers.2	3.4 Nm

7.4 Funktionsweise

Version 1

Sinkt der Druck im Pneumatiksystem, schliesst ein Druckschalter und über diesen wird dem Wechselrichter klemme 15 zugeführt. Über einen Widerstand wird vom Steuergerät die maximale Drehzahl verlangt. Diese ist in dieser Anwendung 1500 u/min. Dieser Schaltet erst das Lastrelais zu und fährt dann auf die gewünschte Drehzahl. Diese Schaltung ist auch dafür verantwortlich, dass für eine Diagnose des Steuergerätes nur mit laufendem Motor / geschlossenem Druckschalter möglich ist.

Version 2

In f

Beide Systeme verfügen über ein Luftvorfilter, Feinfilter und einen Knorr Kompressor mit Druckumlaufschmierung. Die komprimierte Luft geht wie beim Original Iveco Fahrzeug in die APU. Da Elektromotoren nicht gerne gegen hohe last anlaufen, ist es zu empfehlen das Fahrzeug nicht während des Aufpumpvorganges auszuschalten.



8 Servopumpe

8.1 Technische Daten

Versorgung

Sicherung	Mega
Leistung	300A
Relais	Ravioli
Leistung	80A

Wechselrichter V1 + V2

Marke	Curtis
Typ	1236
Nennspannung	24V - 36V
Strombedarf	150A – 200A

Wechselrichter V2

Marke	Schwarzmüller
Typ	MI06-S-24/400-P-A
Nennspannung	24V
Strombedarf maximal-/Dauerleistung	400A / 200A

Motor

Marke	Schabmüller
Typ	TSA150-120-200
Leistungsaufnahme	10A bis 100A

Servopumpe

Marke	WQ09A1
Typ	Haldex
Nenndruck	210 Bar
Volumenstrom	12.4l/min @ 1500 1/min

8.2 Füllmittel

Lenkhilfe Öl

ATF

8.3 Funktionsweise

Die Servopumpe befindet sich unterhalb des Drivemoduls und besitzt einen eignen unabhängigen Antriebsmotor. Dieser wird aus sicherheitstechnischen Gründen vom 24V Bordnetz via Wechselrichter betrieben. Sobald eine Fahrstufe D oder R eingelegt, oder ein Drehzahlsignal der Antriebswelle erkannt wird, gibt die VCU ein Signal Klemme 15 aus um den Curtis Controller zu aktivieren. Über einen Widerstand wird die maximale Drehzahl verlangt. Da bei Version 1 der Controller erst einschaltet, wenn die VCU das Signal ausgibt, muss für eine Diagnose zwingend eine Einschaltbedingung erkannt werden. Am einfachsten wird eine Fahrstufe eingelegt bei eingeschalteter Klemme 15.

Bei der Version 2 wird die Drehzahl via Can-Bus übermittelt.



Fahrzeug gegen wegrollen sichern, bewegliche Teile im Motorraum.

