



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Michael Hamann

Entwicklung und Auslegung einer Hochvoltverteilungsbox für die Umrüstung eines Fiat Ducatos auf Elektroantrieb

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

Michael Hamann
Entwicklung und Auslegung einer
Hochvoltverteilungsbox für die
Umrüstung eines Fiat Ducatos auf
Elektroantrieb

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Fahrzeugbau/Sonder-und Nutzfahrzeugbau
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

emovum GmbH
Entwicklung
Merkurring 111
22143 Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Eckart Nast
Zweitprüfer : B. Eng. Thorsten Rafalzik

Zusammenfassung

Name des Studierenden

Michael Hamann

Thema der Bachelorthesis

Entwicklung und Auslegung einer Hochvoltverteilungsbox für die Umrüstung eines Fiat Ducatos auf Elektroantrieb

Stichworte

Elektromobilität, Catia V5, Konstruktion, Nutzfahrzeug, Hochvoltverteilungsbox

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit beschreibt die Neugestaltung der „Multibox“ hin zu einem getrennten Hochvolt und Niedervolt Bereich. Diese Weiterentwicklung findet aufgrund einer Neuordnung im Motorraum des Fiat E-Ducato statt. Die Entwicklung der HV-Box wird elektrisch sowie mechanisch an neue Gegebenheiten angepasst. Die Grundfunktionen werden bestehen bleiben, es sind jedoch neue Funktionen gefordert. Ziel ist es mehrere Traktionsbatterien skalierbar zu verwenden und die Sicherheit zu steigern. Je nach Kundenwunsch können diese Anzahl und die der Ladegeräte variieren und es ist erforderlich die Anbindung in der Box flexibel zu halten.

Name of Student

Michael Hamann

Title of the paper

Development and interpretation of a High-Voltage-Junction-Box for a conversion of Fiat Ducato to an electric power train.

Keywords

Electromobility, Catia V5, Construction, Commercial vehicle, High-Voltage-Junction-Box

Abstract

This work describes the redesign of the “Multibox” into a separate high voltage and low voltage range. This development is due to a re-design of the engine compartment of the Fiat E-Ducato. The development of the HV-Box is designed electrically and mechanically to new conditions. The basic functions will remain and new functions are required. The aim is to use several tractionbatteries as an option and to increase the safety. Depending on customer requirements this number and the chargers can vary and it is necessary to keep the connection in the box flexible.

Vorwort

Die folgende Bachelorthesis zum Thema „Entwicklung und Auslegung einer Hochvoltverteilungsbox für die Umrüstung eines Fiat Ducato auf Elektroantrieb“ wurde bei der emovum GmbH in der Abteilung Produktentwicklung erstellt.

Zunächst möchte ich mich an dieser Stelle bei meinen Betreuern Herrn Prof. Dr.-Ing. Eckart Nast von der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg und Herrn B. Eng. Thorsten Rafalzik von der emovum GmbH für die fachliche Betreuung der Arbeit und die Hilfe bedanken, um diese Aufgabe zu erfüllen.

Ebenfalls gilt mein Dank dem gesamten Team der emovum GmbH für die zahlreiche Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Formel- und Abkürzungsverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellen- und Diagrammverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
2 Aufgabenbeschreibung	2
3 Grundlagen und Funktionsanalyse	3
3.1 Grundlagen	3
3.2 Funktionsanalyse	4
4 Stand der Technik	5
5 Benchmarking	8
5.1 Dräxlmaier	8
5.2 Tesla Motors	10
5.3 Volkswagen AG	11
5.4 Integrationsmöglichkeit Fiat E-Ducato	12
6 Systemintegration in den E-Ducato	13
6.1 Lastenheft	13
6.2 Planung	14
6.2.1 Pflichtenheft	14
6.2.2 Bestehende Komponenten	15
6.2.3 Benötigte Komponenten	16
6.2.4 Schaltplan	21
6.3 Auslegung	23
6.3.1 Elektrokomponenten	23
6.3.2 Verbindungselemente	28
6.4 Konstruktion	39
6.4.1 Positionierung der Bauteile	39
6.4.2 Konstruktion Einzelteile	44
6.4.3 Thermdrill®	51
6.5 Montage im Fahrzeug	52
7 Ausblick für zukünftige Entwicklungen	54
8 Literaturverzeichnis	55

9	Anhang.....	57
	Anhang A.....	58
	Anhang B.....	69
	Anhang C.....	70
	Anhang D.....	72
	Anhang E.....	75

Formel- und Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ΔU	Spannungsfall
l	Länge des Leiters
I	Stromstärke
κ	Leitfähigkeit
q	Querschnitt
π	Kreiszahl
r	Radius
I_D	Dauerstrom
I_{85}	Strom bei 85°C Schienentemperatur
k_2	Korrekturfaktor
l_k	Klemmlänge
$\frac{l_k}{d}$	Klemmenlängenverhältnis
d	Nenndurchmesser Schraube
D_A	Klemmdurchmesser Material
d_k	Klemmdurchmesser Schraubenkopf
Φ_K	Kraftverhältnis
δ_P	Nachgiebigkeit
F_Z	Verlustkraft
f_z	Setzbetrag
F_M	Montagevorspannkraft
α_A	Anziehfaktor
F_{Kerf}	erforderliche Klemmkraft
n	Krafteinleitungsfaktor
F_A	Betriebskraft
M_A	Anzugsmoment
μ_{Ges}	Reibwert Schraubenauflage + Gewinde
$R_{P0,2}$	Dehngrenze
P	Gewindesteigung
l_{Gew}	Einschraubtiefe
Gew	Gewindegänge
d_{ke}	Kerndurchmesser Schraube
D_F	Flankendurchmesser Schraube
A_s	Spannungsquerschnitt Schraube
σ	Spannung
$\sigma_{0,4G}$	Spannung bei 40% des Gewindes
α_K	Formzahl
σ_K	Kerbspannung

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1; Multibox E-Ducato 1.0	5
Abb. 2; Multibox 500 E	6
Abb. 3; Inverter auf dem E-Ducato 1.0 Motorträger	6
Abb. 4; Hochvolt-Schaltbox [4]	8
Abb. 5; Hochvolt-Schaltbox [6]	9
Abb. 6; Tesla Model S HV-Box	10
Abb. 7; E-Golf Motorraum	11
Abb. 8; Linde-Hauptschütz	15
Abb. 9; Stromsensor	15
Abb. 10; Pre-Charge	16
Abb. 11; Rittal Box, Salzsprühtest	17
Abb. 12; EMV-Verschraubung M20 & M32	17
Abb. 13; Midisicherungshalter	18
Abb. 14; Kfz-Flachsicherungshalter	18
Abb. 15; Kfz-Relais & Halter	19
Abb. 16; E36 Steckverbinder	19
Abb. 17; Reedkontakt mit Magnetschalter	20
Abb. 18; Schaltplan	21
Abb. 19; Trennfugenanzahl mit Mutter	30
Abb. 20; Trennfugenanzahl ohne Mutter	34
Abb. 21; Lastanteil Gewindgänge [18]	35
Abb. 22; Ausrichtung Linde Hauptschütz	39
Abb. 23; Lage EMV-Verschraubungen	40
Abb. 24; Lage Pre-Charge, Relais & Sicherungshalter	41
Abb. 25; Bemaßung Kabelschuh	41
Abb. 26; Lage Stromsammelschienen	42
Abb. 27; Lage Stromsensor	42
Abb. 28; Lage Midisicherung	43
Abb. 29; Reedkontakt mit Magnetschalter	43
Abb. 30; Gesamtüberblick	44
Abb. 31; Grundträger	44
Abb. 32; Abstand zwischen Grundträger & Deckel	45
Abb. 33; Schützhalter	45
Abb. 34; P1 Sammelschiene	46
Abb. 35; Isolierfuß	46
Abb. 36; P2 Sammelschiene	46
Abb. 37; Abstand Stromsensor	47
Abb. 38; Stromsensorzulauf	47
Abb. 39; Stromsensorablauf	48
Abb. 40; Reedkontakt mit montiertem Magnetschalter	48
Abb. 41; Magnetschalter mit Klebevorrichtung	49

Abb. 42; Trägerplatte	49
Abb. 43; Zusammenbau HV-Box	50
Abb. 44; Thermdrill® Verfahren	51
Abb. 45; Thermdrill® Buchse	51
Abb. 46; Montagereihenfolge M32 EMV	52
Abb. 47; Montagereihenfolge M20 EMV	52
Abb. 48; Endlage im Fahrzeug	53

Tabellen- und Diagrammverzeichnis

Tabelle 1; Verzeichnis Schaltplan.....	22
Tabelle 2; Spezifische elektr. Leitfähigkeit [9].....	24
Tabelle 3; Dauerströme für Stromschienen DIN 43671	26
Tabelle 4; Werkstoffverträglichkeit; [12].....	28
Tabelle 5; Reibungskoeffizienten [14].....	29
Tabelle 6; Anzugsmomente [13]	29
Tabelle 7; Richtwert für den Setzbetrag [15].....	30
Tabelle 8; mechanische Eigenschaften Kupfer [17].....	33
Diagramm 1; Auslösezeit Sicherung [8].....	23
Diagramm 2; Korrekturfaktordiagramm [10].....	27
Diagramm 3; Nomogramm für das Kraftverhältnis [16].....	31
Diagramm 4; Nomogramm für die Nachgiebigkeit [16]	32
Diagramm 5; Formzahl αK [19].....	36

1 Einleitung

In Großstädten werden täglich unzählige Personen und Güter transportiert, meist auf kurzen Distanzen. Das Fahrprofil beinhaltet in der Regel einen erheblichen Anteil Stop-and-Go-Betrieb, viele Ampeln, viele Staus. Der urbane Raum ist hart umkämpft, Meter um Meter geht es voran. Diese Fahrzyklen beanspruchen nicht nur Fahrer und Fahrzeug, am meisten leidet die Umwelt darunter. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf Fahrzeugen der Transporterklasse M1/N1 bis 3,5 Tonnen (mit Ausnahmegenehmigung sogar bis 4,25 Tonnen). Typische Anwendungsfälle sind die Paketzustellung oder Personenbeförderungen für beeinträchtigte Menschen. Im reinen Stadtverkehr sind die benötigten Reichweiten meist sehr gering. Aus diesem Grund ist der Einsatz von vollelektrischen Fahrzeugen optimal.

Der Fiat Ducato ist ein gern gekaufter Transporter (siehe Anhang B) mit vielseitigen Einsatzmöglichkeiten vom reinen Transport bis hin zu variablen Bürgerbusumbauten und Wohnmobilen. Weiterhin bestehen eigene Erfahrungen mit dem umgerüsteten Fiat 500 E. Dies sind die Gründe warum sich die emovum GmbH entschied dieses Grundfahrzeug auf einen vollelektrischen Antrieb umzurüsten (Rafalzik, Persönliche Kommunikation, 12. Dezember 2016).

Durch diese Umrüstung kam der Bedarf an diversen Komponenten auf, die ihren festen Platz im Fahrzeug bekommen müssen. So auch die Hochvoltverteilungsbox, kurz HV-Box, die auch in bekannten E- und Hybridautos schon ihren Einsatz findet. Sie verbindet Komponenten miteinander und ist für jeden Fahrzeugtyp anzupassen und auszulegen, um den Gegebenheiten gerecht zu werden.

Durch Weiterentwicklung bestehender Systeme und Analyse der am Markt befindlichen HV-Boxen können Kosten, Montagezeit und Sicherheit verbessert werden.

2 Aufgabenbeschreibung

Die Aufgabe wird im vorhandenen Umfeld für den Kleinserienauftrag eines Kunden aufgestellt. Dieser Auftrag beinhaltet eine Serie von sechs Fahrzeugen die auf elektrischen Antrieb umgerüstet werden. Die Komponente HV-Box soll in diesem Auftrag überarbeitet und optimiert werden. Hierbei sind die vorgegebenen Randbedingungen (Kapitel 6.1) einzuhalten und zu erfüllen.

Durch eine Neugestaltung des Motorraums wird eine bauliche Trennung des Hochvoltbereichs und des Niedervoltbereichs erfolgen. Die vorhandenen Grundfunktionen und die elektrischen Komponenten sollen erhalten bleiben. Für die Reichweitenverlängerung soll optional eine Möglichkeit bestehen bis zu zwei weitere Traktionsbatterien anzuschließen. Diese Anschlüsse, sowie der Kommunikationsanschluss, müssen entgegen der Fahrtrichtung angebracht werden. In Fahrzeugrichtung soll die Leitungseinführung der DC/DC Wandler und der Onboard Ladegeräte erfolgen. Eine Auslegung der stromführenden Teile sowie deren Befestigung sind durchzuführen. Ebenso ist ein elektrischer Anschlussplan zu erstellen.

Die Konstruktion von HV-Box und einzelnen Komponenten wie Stromschienen etc. sind in einem geeigneten Konstruktionsprogramm umzusetzen.

3 Grundlagen und Funktionsanalyse

3.1 Grundlagen

In der Elektromobilität werden Fahrzeuge als HV-Fahrzeug bezeichnet. Unter dieser Bezeichnung laufen zwei Konzepte, die Hybridfahrzeuge und die Elektrofahrzeuge. Unter Hybridfahrzeugen versteht man im Kraftfahrzeuggewerbe diejenigen die zwei verschiedene Antriebsarten vereinen (Verbrennungsmotor und/oder Elektromotor). Die Hybridfahrzeuge werden in weitere Unterkategorien unterteilt, beispielsweise serieller oder parallel Hybrid. Diese Kategorien werden weiter differenziert in dem die elektrische Leistung zur Fahrzeuggesamtleistung betrachtet wird. Die kleinste Stufe wird als Mikrohybrid und die größte als Vollhybrid bezeichnet. Die sogenannten Plug-in-Hybride bezeichnen Fahrzeuge, die eine Ladung des Hochvoltspeichers an einem Stromanschluss realisieren können.

Eine weitere Kategorie sind die Brennstoffzellenfahrzeuge. Die elektrische Energie wird direkt aus elektrochemischer Energie in der Brennstoffzelle erzeugt. Diese Energie dient zum Antreiben des Fahrzeugs und kann/wird im Hochvoltspeicher gespeichert. In Brennstoffzellen können die technischen Möglichkeiten von Hybridfahrzeugen übernommen werden.

Wird die Antriebsenergie ausschließlich aus dem mitgeführten Hochvoltspeicher generiert, spricht man von Elektrofahrzeugen. Dieses Konzept beinhaltet die Hochvoltbatterie mit Batteriemanagement, On-Board-Ladegerät, Elektromotor mit elektronischer Steuerung (Inverter), Lenk- und Bremsunterstützung sowie Heiz- und Klimatisierungssystem. Die Ladung erfolgt ausschließlich über externe Stromquellen an der am Fahrzeug montierten Ladedose [1].

3.2 Funktionsanalyse

Die Funktion eines Elektrofahrzeuges kann in drei Kategorien unterteilt werden: Fahren, Rekuperation, Laden.

Das Fahren beinhaltet eine durch das Batteriemanagement überwachte Stromentnahme aus dem Hochvoltspeicher. Die elektrische Energie wird i.d.R direkt über den Hochvoltkabelbaum zum Inverter übermittelt. Der Inverter invertiert die Gleichspannung in eine Dreiphasenwechselspannung und ändert zeitgleich die Spannungslage. Vom Inverter geht die neue Spannungslage in den Elektromotor und sorgt somit für Vortrieb.

Die Rekuperation ist ein generatorischer Betrieb zum Verzögern des Fahrzeuges. Diese Art der Energierückgewinnung entlastet die hydraulische Betriebsbremse und steigert den Gesamtwirkungsgrad, ebenso wird der Hochvoltspeicher mit Energie gefüllt.

Der Ladevorgang wird stationär an Stromanschlüssen bzw. Ladesäulen durchgeführt. Aktuell gibt es, in Europa verbreitet, sechs verschiedene Typen Stecker: Typ 1 & 2, Combo Stecker CCS, CHAdeMO-Stecker, 3A/C und Tesla Supercharger. [2] Die meisten Fahrzeuge werden über Wechselspannung versorgt und durch On-Board-Ladegeräte wird eine Gleichspannung erzeugt die zum Laden verwendet wird. Der Stand der Technik entwickelt sich zur DC-Ladung. Die Ladung per Gleichspannung erspart das Verbauen von On-Board-Ladegeräten und erhöht den Wirkungsgrad. Der Ladevorgang wird kontinuierlich über das Batteriemanagement überwacht und gesteuert. Es ist ein Parallelschalten von mehreren Ladegeräten möglich um die Ladezeit zu verkürzen.

4 Stand der Technik

Die Bewertung der Antriebssysteme für Automobile nach Energiebedarf und Energieressourcen, sowie nach ökologischen, technischen und wirtschaftlichen Kriterien führt zu der Schlussfolgerung, dass eine universell einsetzbare Konfiguration als optimale Form nicht realistisch ist. [3 S.313] Die Realität bestätigt das, in dem die diversen Automobilhersteller spezielle Anforderungen für die HV-Box erstellen und die Entwicklung generell für einen Fahrzeugtyp stattfindet, Beispiele folgen im Kapitel 5 Benchmarking.

Vergleicht man die verschiedenen HV-Boxen der renommierten Hersteller fällt vor allem auf, dass alle für ihren eigenen Zweck konzipiert worden sind. Es unterscheiden sich folgende Einbauorte: Motorraum, unter der Sitzbank oder im Heckbereich. Aufgrund dessen, dass der größte Teil der Elektro- und Hybridfahrzeuge nur eine Traktionsbatterie besitzt ist die Funktion der HV-Box auf ein Verschalten der Onboard Ladegräte mit dieser reduziert. (ersichtlich im Kapitel 5) Bei dem E-Ducato der ersten Generation (1.0), mit einem Setup von zwei Traktionsbatterien, befinden sich neben den HV-Komponenten auch die NV-Komponenten in einer sogenannten Multibox (Abb. 1).

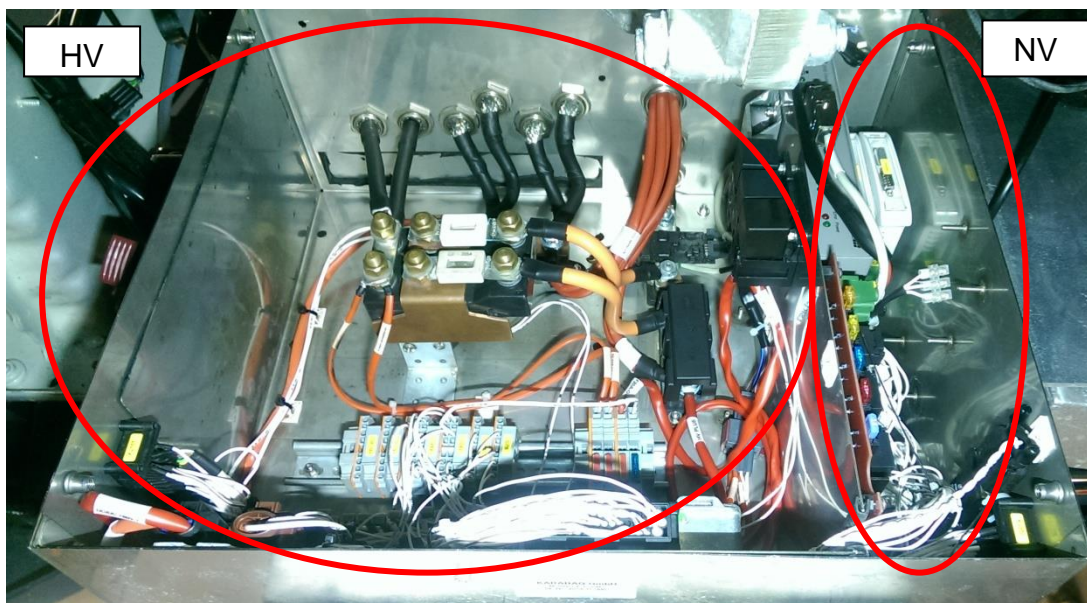


Abb. 1; Multibox E-Ducato 1.0

Entsprechend der Aussage von Rafalzik (Persönliche Kommunikation, 9. Januar 2017), aus Kosten- und Zeitgründen wurde die Multibox aus dem Fiat 500 E (Abb. 2) in den E-Ducato übernommen.

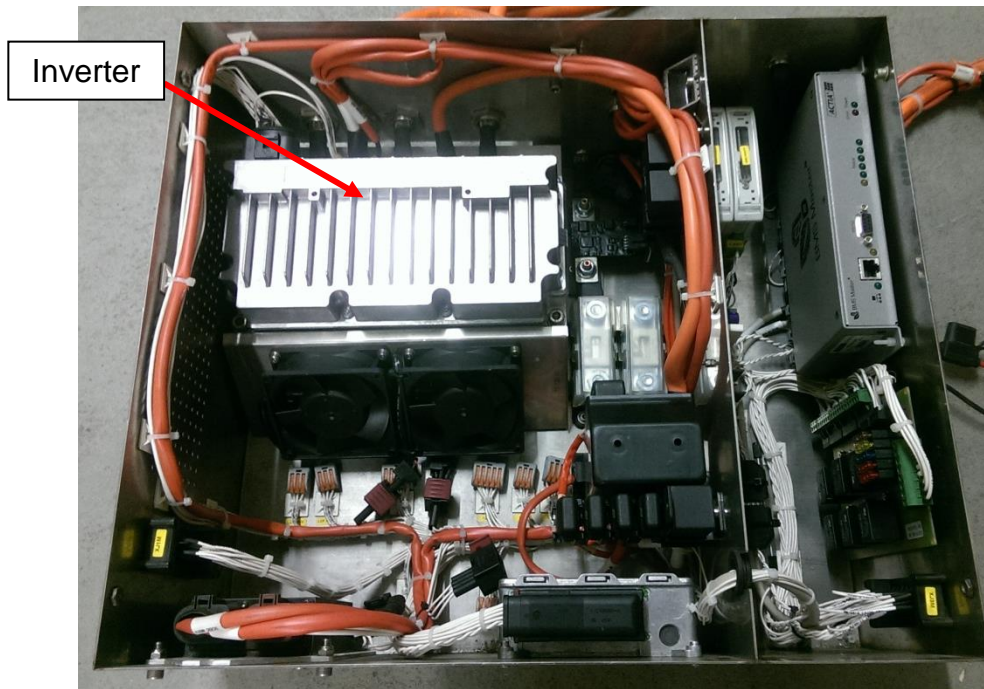


Abb. 2; Multibox 500 E

Jedoch wurde der Inverter im E-Ducato, aus thermischen Gründen, dort entfernt und auf dem Motorträger neu positioniert (Abb. 3). Durch ein höheres Gewicht des E-Ducato resultieren größere Ströme im Fahrbetrieb. Diese verursachen im Inverter höhere Betriebstemperaturen die eine höhere Kühlleistung erfordern. Dies wird am Motorträger durch größere Kühlrippen in Verbindung mit einem Durchströmen mit Luft realisiert.



Abb. 3; Inverter auf dem E-Ducato 1.0 Motorträger

Dieses Konzept beinhaltet für jede Traktionsbatterie vier Leitungen á 35 mm². Durch das längere Fahrzeug und die Lage der Komponenten wurden die Leitungen mit dem Querschnitt 35 mm² verlängert. Durch einen zu hohen Spannungsfall auf der Länge,

wurde parallel ein zweiter Strang pro Leitung eingezogen. Dies wurde aus zeit- und kostentechnischen Gründen ausgeführt. Somit lässt sich eine komplette Überarbeitung der HV-Komponenten einsparen. Diese Aussage wurde von Ruhkiewick (persönliche Kommunikation, 9. Januar 2017). bestätigt. Die Grundfunktion der HV-Box wird mit den Komponenten Hauptschütz (Verschaltung zwischen Traktionsbatterien und Inverter), Stromsensor (Messung der abgehenden und eingehenden Ströme) und Pre-Charge (Ladeschaltung für das Hauptschütz) gewährleistet.

5 Benchmarking

Benchmarking ist ein Vergleich der am Markt befindlichen Unternehmen, Produkte sowie Dienstleistungen. Es ist eine stetig gezielte Analyse nach festgelegten Kriterien, um das eigene Produkt wettbewerbsfähig zu halten. Durch das Vorgehen wird das eigene Produkt beurteilungsfähig und mit den Mitbewerbern vergleichbar. Ebenfalls zeigt diese Analyse etwaige Schwächen oder besondere Vorteile auf. So entstehen neue Ideen und das eigene Produkt kann weiterentwickelt werden. Die bestehenden Lösungen sind im Hinblick auf die Anwendung im E-Ducato zu beurteilen und mit der schon bestehenden Multibox zu vergleichen.

Bei der Benchmark-Analyse wurden die Hersteller Draexlmaier, Tesla und Volkswagen auf Integration im E-Ducato und Wettbewerb der Komponente HV-Box untersucht.

5.1 Dräxlmaier

Die Hochvolt-Schaltbox (Abb. 4) von Dräxlmaier fungiert in den BMW-Modellen i3, 3er, 5er und 7er Active Hybrid bereits im Serieneinsatz als Schnittstelle zwischen Traktionsbatterie und Hochvoltbordnetz. Hierin befinden sich Trennelemente (Schütze), eine Absicherung, hochpräzise Messtechnik und die sicherheitsrelevante und komplexe Steuerelektronik.

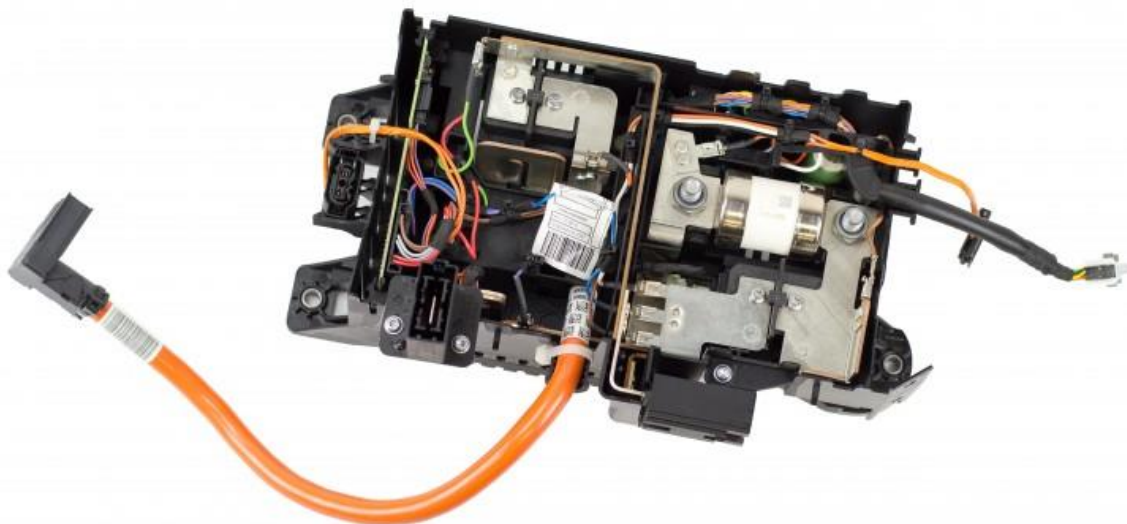


Abb. 4; Hochvolt-Schaltbox [4]

Das verwendete Gehäusematerial, Kunststoff, schließt auf eine Integration im Fahrzeuginneren auf. Die Verwendung bringt isolierende Eigenschaften mit sich. Dies bedeutet ein Einsparen von Potenzialausgleichsleitungen und mindert die Gefahr von Kurzschlüssen im Falle von Unfällen. Des Weiteren reduziert sich das Gesamtgewicht auf 2,6 kg im Vergleich zu einem Metallgehäuse [4]. Durch ein Spritzgussverfahren in der Fertigung senken sich die Produktionskosten bei höheren Stückzahlen. Es gewährleistet weiterhin eine spezifische Gestaltung des Gehäuses für die einzelnen Serieneinsätze von diversen Modellen in verschiedenen Einbaugegebenheiten. Durch die Einbaulage im Inneren kann die IP-Schutzklasse minimiert werden was wiederum Auswirkung auf die Kosten widerspiegelt. Die verwendeten Stromschienen aus verzinnem Kupfer bieten die Vorteile von dauerhaft guter Leitfähigkeit. Durch die Verformung der Beschichtung beim Anziehen stellt diese eine größere Fläche, für eine sichere elektrische Verbindung, her [5]. Zu beachten ist eine Erhöhung der nötigen Vorspannkraft der Verschraubung. Die Trennelemente übernehmen das Verschalten der Traktionsbatterie. Sie schalten beim Ausschalten und Fehlfunktionen den Hochvoltbereich spannungsfrei und beim Einschalten dementsprechend wieder unter Spannung. Das Batteriesteuergerät ist für alle relevanten Daten der Batteriesysteme zuständig, es wertet beispielsweise die Daten des Strom- und Spannungssensors und des Zell-Controllers aus [6]. Durch die Integration aller Komponenten in dem Hochvolt-Schaltkasten besteht der Vorteil von geringen Spannungsverlusten, kurzen Leitungen, kompakter Bauform und mehr Bauraum im Akku für Zellen.

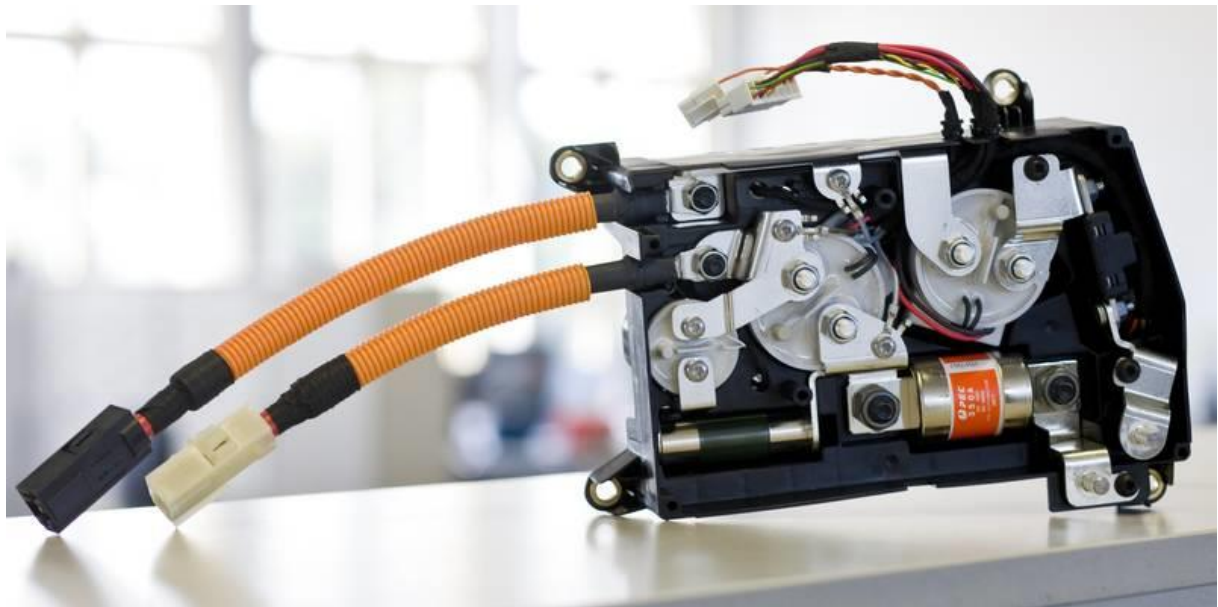


Abb. 5; Hochvolt-Schaltbox [6]

5.2 Tesla Motors

Dieses Unternehmen entwickelt und produziert gesamte Fahrzeugkonzepte, vom Tesla Roadster über Model S, X bis zum Model 3. Hier wird die Hochvoltbox aus dem Model S betrachtet (Abb. 6).

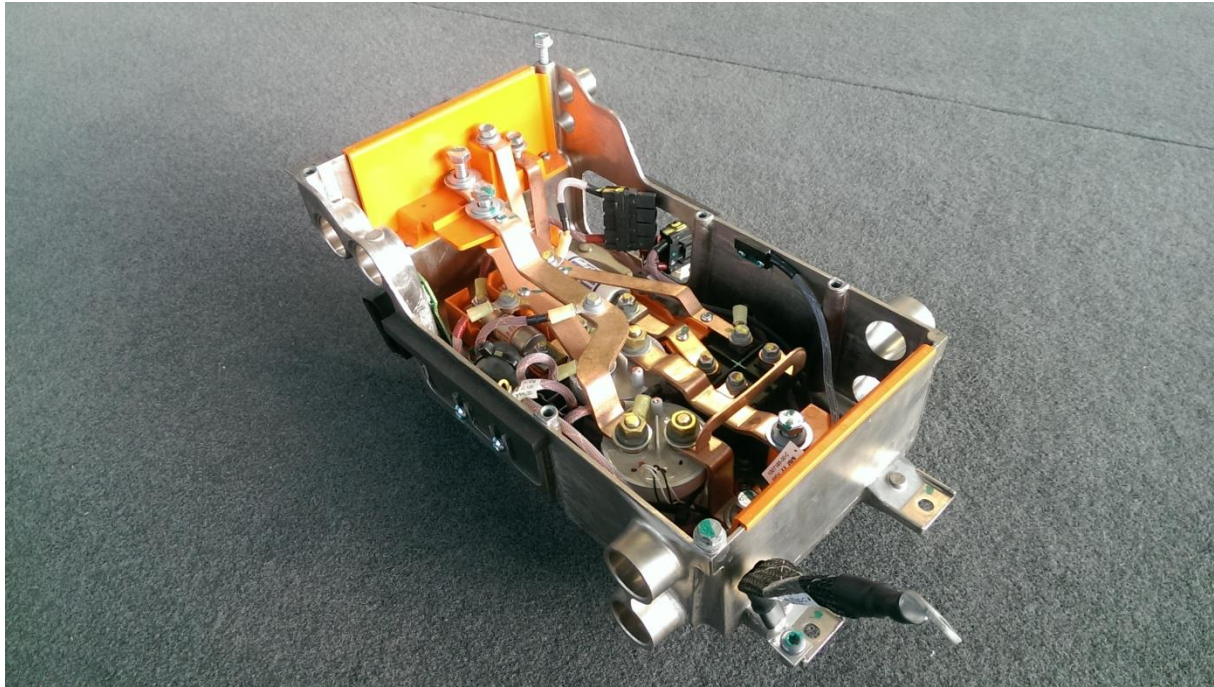


Abb. 6; Tesla Model S HV-Box

Diese Box wird unter der hinteren Sitzbank verbaut, sie ist somit vor Umwelteinflüssen geschützt und dies spart Anforderungen an die IP-Schutzklasse. Als Gehäusematerial wurde Aluminiumdruckguss verwendet. Diese Auswahl bietet die Vorteile von Kosteneinsparung bei größeren Stückzahlen und eine höhere Abschirmung gegen elektrotechnische Störeinflüsse (EMV-Prüfung). Durch die Interlockschaltung, mit einem Reedkontakt, ist die Sicherheit und Spannungsfreiheit bei geöffneter Abdeckung gegeben. Somit gilt diese Baugruppe als HV-eigensicher [1 S.17]. Die Funktion der HV-Box beschränkt sich auf das Verschalten des Ladegerätes, ggf. zwei, mit der Traktionsbatterie. Die Verbindung wird mit Sicherungselementen abgesichert und mit Schützen geschaltet. Die Zugänglichkeit der Sicherungselemente ist durch die konstruktive Verlegung der Stromschienen beeinträchtigt. Die Stromschienen werden aus Kupfer verbaut, dies garantiert geringe Übergangswiderstände. Eine Trennung zu dem Aluminiumgehäuse ist auf Grund von elektrochemischen Potenzialunterschieden und Kurzschlussgefahr durch die Kunststoffbauteile gewährleistet.

5.3 Volkswagen AG

Für eine weitere Untersuchung wird der E-Golf, aus dem Jahr 2014, in den Benchmark aufgenommen. Die Hochvolt-Schaltbox befindet sich im Motorraum direkt über dem Elektromotor (Abb. 7).



Abb. 7; E-Golf Motorraum

Das verwendete Material ist Aluminium und wird als Druckgussbauteil hergestellt. Dies bietet die in Kapitel 5.2 schon benannten Vor- und Nachteile. Die HV-Verteilung wird in der sogenannten Leistungselektronik vorgenommen. In dieser sind der Inverter, Steuer- und die Messelektronik in einem Gehäuse zusammengefasst. Die Abdeckung wird mit einer Interlockschaltung überwacht. Da hier auch nur eine Traktionsbatterie verwendet wird und die Schütze nahe dessen verbaut werden, fällt hier der benötigte Bauraum für eine HV-Box relativ klein aus.

5.4 Integrationsmöglichkeit Fiat E-Ducato

Die analysierten Schaltkästen eignen sich nicht als universelle Plug-and-Play-Lösung für den E-Ducato. Durch die Anforderungen aus Kapitel 6.1 lässt sich kein bestehendes Produkt unverändert einsetzen. Durch die speziellen Anforderungen ist eine Neuentwicklung unerlässlich. Dennoch inspirieren die dargestellten Modelle die weitere Vorgehensweise. Die Interlockeinrichtung aus der Tesla HV-Box ist eine sehr simple und pragmatische Lösung, um die Spannungsfreiheit bei geöffnetem Deckel zu gewährleisten. Diese Bauart wird übernommen und den Gegebenheiten angepasst. Durch den zur Verfügung stehenden Einbauort wird ein Gehäuse aus Metall als zwingend erforderlich gewertet. Durch die Beanspruchung von Witterungseinflüssen wird eine hohe IP-Schutzklasse benötigt. Gegen ein Aluminiumdruckgussgehäuse spricht die geringe Stückzahl, die gefordert ist. Weiterhin zeigt sich, dass die Zugänglichkeit der Sicherungselemente wie bei Abb. 4 und Abb. 5 bedeutend servicefreundlicher als bei Tesla und somit anstrebenswert ist.

Der Benchmark hat weiterhin aufgezeigt, dass es wenig Hersteller in diesem Segment gibt und die, die am Markt sind, sehr wenige Informationen herausgeben. „Yazaki“ ist ein weiteres Unternehmen, was in der Elektromobilität tätig ist, jedoch wurden Anfragen nicht beantwortet. „Bosch“ beschäftigt sich ebenfalls mit diesem Thema, jedoch wird dort die Geheimhaltung bewahrt.

6 Systemintegration in den E-Ducato

6.1 Lastenheft

Kosten:

1. Materialkosten: max. 700€ netto
2. Fertigungszeit: max. 1h

Elektrisch:

1. Die Querschnitte müssen korrekt gewählt werden.
2. Die Übergangswiderstände müssen unter 0,2 Ohm liegen.
3. Die vorgesehenen Funktionen müssen laut Schaltplan umgesetzt werden
(Energieverteilung, Schützsicherung, Pre-Charge, Inter-Lock, Leitungsschutz)
4. Auflegen der Schirmung
5. Potentialausgleich

Mechanisch:

1. Einbauort vorne rechts am Längsträger
2. Inverterausgang zum Fahrzeugende (2x50mm², optional auf 70mm² erweiterbar)
3. Vier Traktionsbatterien müssen angeschlossen werden können (vom Fahrzeugende a' 2x50mm²)
4. Kabeleinführung 2x DC/DC Wandler 12V (Richtung Fahrzeugfront)
5. Kabeleinführung DC/DC Wandler 24V (Richtung Fahrzeugfront)
6. Der Kommunikationsstecker muss zum Fahrzeugende zeigen.
7. Anschluss von 3 Ladegeräten
8. Ausreichend Witterungsbeständigkeit
9. Leichte De- und Montage

Sonstige:

1. Möglichst viele Teile müssen maschinell hergestellt werden können.
2. Montagefreundliches Innenleben
3. Einfache Wartung der Sicherungen
4. Es dürfen keine Störgeräusche entstehen.
5. Wasserablauf
6. Verwendung von Normteilen

6.2 Planung

6.2.1 Pflichtenheft

Für eine Umsetzung des Lastenheftes aus 7.1 wird ein Pflichtenheft erstellt. Dieses dient dazu, dass beschrieben wird mit welchen Lösungen das Geforderte erfüllt wird.

Kosten:

1. Senkung der Kosten durch gezielte Auswahl von Standardkomponenten und Materialien die kostenoptimiert konstruiert werden
2. Fertigungszeit verkürzen durch geringe Anzahl an Komponenten, jedoch Verwendung möglichst vieler maschinell vorproduzierte Einzelkomponenten

Elektrisch:

1. Querschnittsberechnung anhand der vorhandenen Ströme
2. Geeignete Materialien verwenden, die eine hohe elektrische Leitfähigkeit besitzen
3. Untersuchung des Schaltplans aus dem E-Ducato 1.0
4. Entsprechende EMV Verbindungen verwenden
5. Entsprechende Leitung als Potenzialausgleich vorsehen

Mechanisch:

1. Vorgegebenen Platzbedarf ermitteln und als Randbedingung einhalten
2. Ausreichend Platz an den Stirnflächen für Kabeleinführungen sicherstellen
3. Einführung für Ladegeräte ausreichend dimensionieren
4. Geeignetes Gehäusematerial verwenden ggf. Salzprühtest anwenden
5. Gute Zugänglichkeit der Befestigungselemente

Sonstige:

1. CNC optimiertes Konstruieren
2. Ausreichend Platz vor den Sicherungselementen gewährleisten
3. Ausreichend stabile Ausführung der Komponenten
4. Einen wiederverschließbaren Ablauf im Boden vorsehen

6.2.2 Bestehende Komponenten

Anhand des Lastenhefts aus 6.1 werden die zu übernehmenden Komponenten aufgelistet und bewertet. Aus diesem Vorgehen soll ein nötiger Platzbedarf in der HV-Box abgeschätzt werden.

Den größten Platzbedarf nimmt das Linde-Hauptschütz in Anspruch (Abb. 8). Durch die massive Ausführung wird die Masse nicht vernachlässigbar sein. Die Sicherungstreifen sind auf einer Seite halb offen gehalten. Somit ist ein Entfernen der Befestigungsmutter nur auf einer Seite erforderlich, um die Sicherung zu entfernen. Die beiden parallelen Kanäle sind jeweils am Ein- und Ausgang miteinander verbunden. Somit ist es nur erforderlich an einem Kanal die stromführende Leitung anzuschließen.

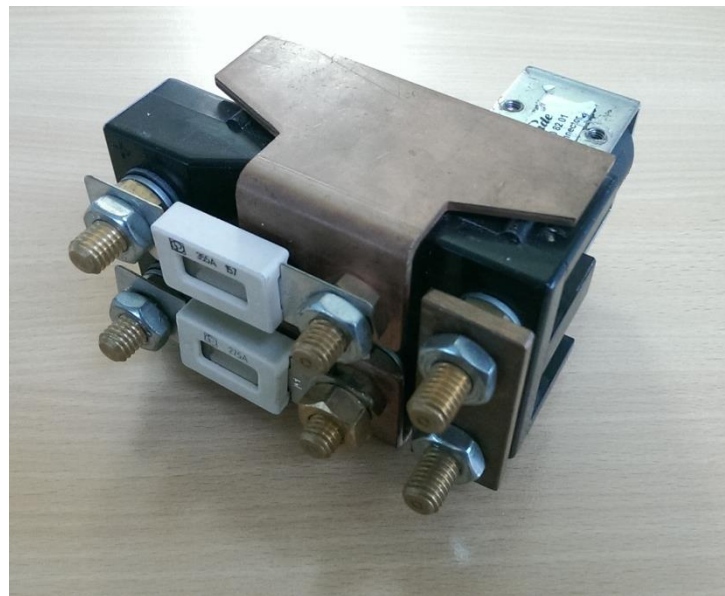


Abb. 8; Linde-Hauptschütz

Der Stromsensor von Actia (Abb. 9) ist mit einem Eingang und einem Ausgang versehen. Dies beeinflusst die zukünftige Einbaulage erheblich. Um bei Entnahme einen negativen Strom zu messen, muss er von B nach A fließen. So ist im Falle der Rekuperation ein positiver Strom messbar. Die Verbindung mit Stromschienen ist empfehlenswert.



Abb. 9; Stromsensor

Der Pre-Charge (die Ladeschützschaltung) von Linde (Abb. 10) besteht aus 3 Komponenten die mit einem Kabelbaum verbunden sind. Durch diese Verbindung ist es erforderlich die Grenzen der Kabelbiegeradien einzuhalten und auf mögliche Scheuerstellen zu achten. Die Länge des Kabelbaums beeinträchtigt die Positionierung der Bauteile.

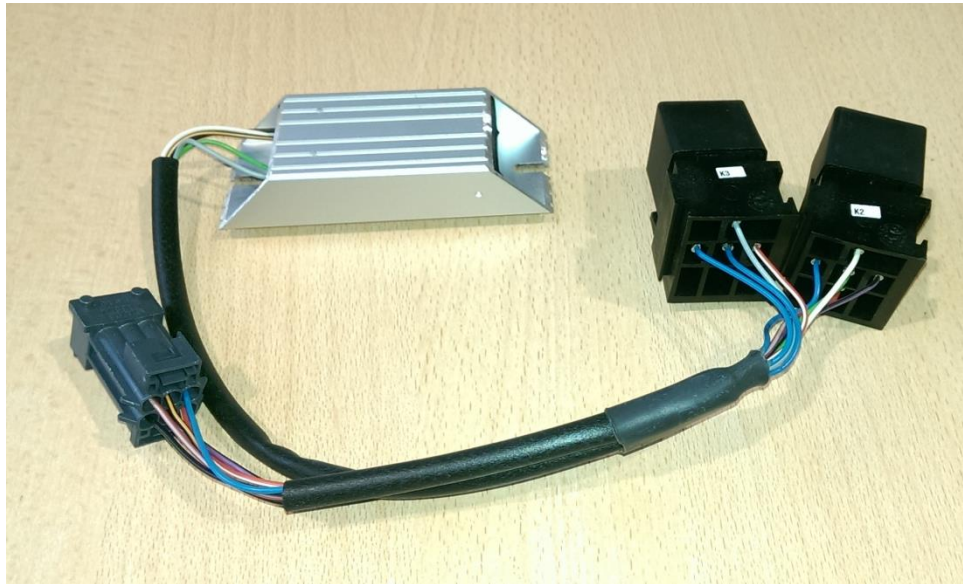


Abb. 10; Pre-Charge

6.2.3 Benötigte Komponenten

Die benötigten Bauteile werden anhand des Lasten- und Pflichtenheftes und durch Eindrücke des Benchmarks hergeleitet. Bei der Beschaffung wurden Kriterien von Kosten, Lieferbedingungen, Integrationsmöglichkeit und bestehenden Lieferanten berücksichtigt.

Durch eine Überprüfung des vorhandenen Bauraums ist ein Kasten erforderlich der kleiner als $400\text{mm} \times 400\text{mm} \times 150\text{mm}$ ($H \times B \times T$) und mind. $250\text{mm} \times 250\text{mm} \times 110\text{mm}$ ist. Für die geringe Stückzahl des Auftraggebers wird ein Serienprodukt herangezogen. Die Firma Rittal GmbH & Co. KG bietet fertige Klemmkästen in entsprechender Größe an. Durch die Beanspruchung durch Witterungseinflüsse und der nahen Lage zur Fahrbahn (Steinschlag) ist ein Gehäuse aus Metall erforderlich. Rittal bietet diese Klemmkästen in Stahl pulverbeschichtet und Edelstahl an. Aus Kostengründen wird ein Stahlschrank mit den Abmaßen $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 120\text{mm}$ verwendet. Diese einfache Ausführung wurde geordert und auf Einsatzmöglichkeit getestet. Der Kasten wurde einem internen Salzsprühstest von 240 Stunden unterzogen und es hat sich herausgestellt, dass es für den Auftrag hinreichend ist (Abb. 11). Durch die gleiche Bauform von Stahl- und Edelstahlkästen wird für Vorführungszwecke, für weitere Auftraggeber, ein Modell aus Edelstahl gefertigt.



Abb. 11; Rittal Box, Salzsprühtest

Die Befestigungsmethode des Klemmkastens erfordert an dem vorgesehenen Platz eine Haltekonstruktion. Die wird in Kapitel 6.4.2 erläutert. Ebenso wird die erforderliche Grundplatte zur Befestigung der Komponenten in der Box dort beschrieben.

Für die Kabeldurchführungen werden geeignete Verbindungen benötigt. Diese müssen ein Auflegen der Schirmung gewährleisten und wasserabweisend sein. Auf Grund der benutzten Nennspannung von 110 V und erwarteten 700 A am Ausgang zum Inverter, werden die am Markt befindlichen Steckverbindungen unbrauchbar. Aus diesem Grund wird eine EMV-Verschraubung von U.I. Lapp GmbH verwendet (Abb. 12). Diese Art der Kabeldurchführung ist für den Anwendungszweck die einzige Variante. Sie erlaubt das Auflegen der Schirmung, ist wasserabweisend und lässt die geforderten Querschnitte zu.



Abb. 12; EMV-Verschraubung M20 & M32

Für die Traktionsbatterieleitungen und Inverterleitungen werden EMV-Verschraubungen M32 und für die DC/DC Wandler und Ladegeräte M20 verwendet.

Um die DC/DC Wandler und Ladegeräte incl. Verkabelung vor Beschädigung zu schützen, müssen entsprechende Sicherungen verbaut werden. Durch die Aussage von Ruhkies (persönliche Kommunikation, 15. Dezember 2016), wird bei drei Ladegeräten eine Absicherung von 80A, für die zwei DC/DC Wandler 12V eine 30A und für den DC/DC Wandler 24V ebenfalls eine 30A Sicherung benötigt. Da eine schnelle Auslösezeit im Automotivbereich üblich ist, werden Kfz-Sicherungen eingesetzt. Aufgrund der Anzahl der Sicherungen werden alle drei in gleicher Bauart verwendet. Dies macht ein Nachrüsten von Komponenten und eine Anpassung der Sicherungsgröße leichter. Durch die Parallelschaltung mehrerer Geräte auf eine Sicherung und der verwendeten Kabelquerschnitte, wird auf die Midi Sicherung nach ISO 8820-5 zurückgegriffen. Der passende Halter wird wie in (Abb. 13) eingesetzt. Dort ist eine Anschlussmöglichkeit von mehreren 4 mm² Leitungen bedenkenlos möglich.



Abb. 13; Midisicherungshalter

Für die Absicherung des Pre-Charge werden zweimal je eine 5A Sicherung vom Hersteller verlangt. Diese sind ebenfalls im 12 V Netz und schnell auslösend. Durch die Gegebenheiten werden Kfz-Flachsicherungen gewählt. Passende Halter werden beim Zulieferer angefordert (Abb. 14).

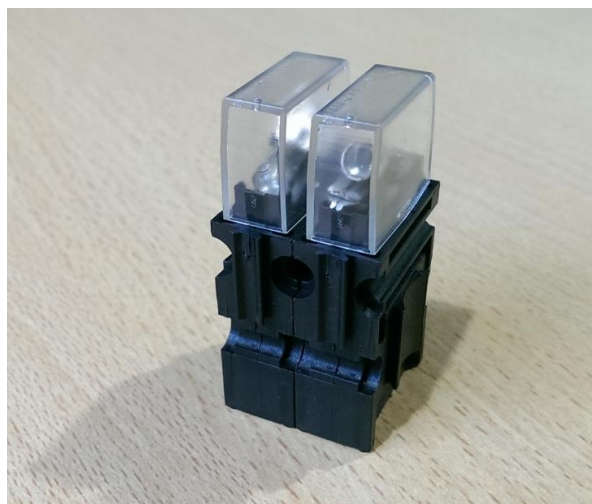


Abb. 14; Kfz-Flachsicherungshalter

Für die Umsetzung der geforderten Funktion wird ein Relais erforderlich. Dieses Relais wird über 12V angesteuert. Somit wird ein herkömmliches Kfz-Relais verwendet. Diese sind am Markt günstig und in ausreichender Stückzahl problemlos zu erhalten. Es wird dementsprechend noch ein passender Halter beim gleichen Zulieferer geordert (Abb. 15).

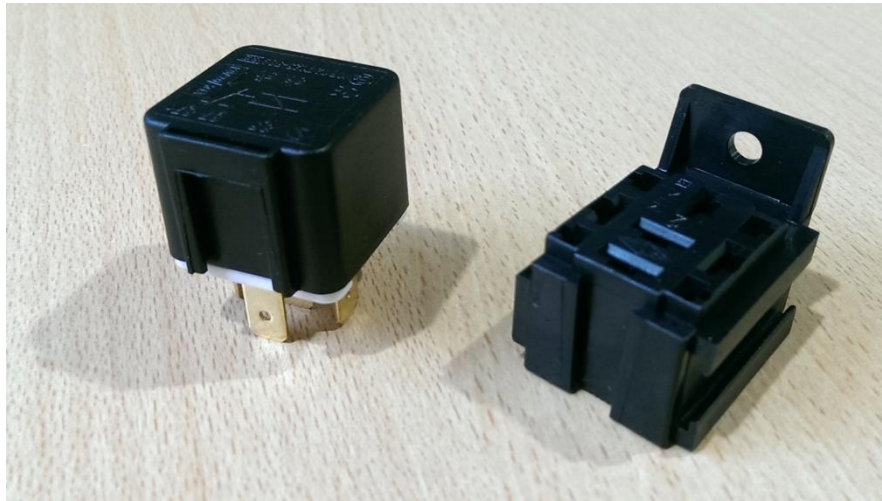


Abb. 15; Kfz-Relais & Halter

Für die elektrische Kommunikation zwischen Steuergerät und HV-Box wird eine Anbindung des Kabelbaums erforderlich. Die Anforderungen an die Verbindung sind wie folgt. Die Steckerkodierung darf nur einmal im Fahrzeug vorhanden sein. Es müssen mind. 20 Anschlusspins belegbar sein und ein Eindringen von Wasser muss verhindert werden. Es wird ein Automotiv Steckverbinder 35 polig gewählt und intern mit „E36“ bezeichnet (Abb. 16). Durch die Lötanschlüsse werden Wackelkontakte minimiert und die Ausfallsicherheit gesteigert.



Abb. 16; E36 Steckverbinder

Um eine Interlock-Schaltung zu realisieren, wird ein elektrischer Schalter, der bei Schließung des Deckels leitend wird, gewählt. Durch die Inspiration der Tesla-Box aus Kapitel 5.2 wird ein Reedkontakt mit entsprechendem Magnetschalter ausgewählt (Abb. 17).



Abb. 17; Reedkontakt mit Magnetschalter

6.2.4 Schaltplan

Die Erstellung eines graphischen Anschlussplans (Abb. 18) wird mit ProfiCAD Home angefertigt. Dieser wird benötigt, um eine Übersicht zu erhalten und in Verbindung mit dem Anschlussplan eine fachgerechte Fertigung des Kabelbaums zu garantieren.

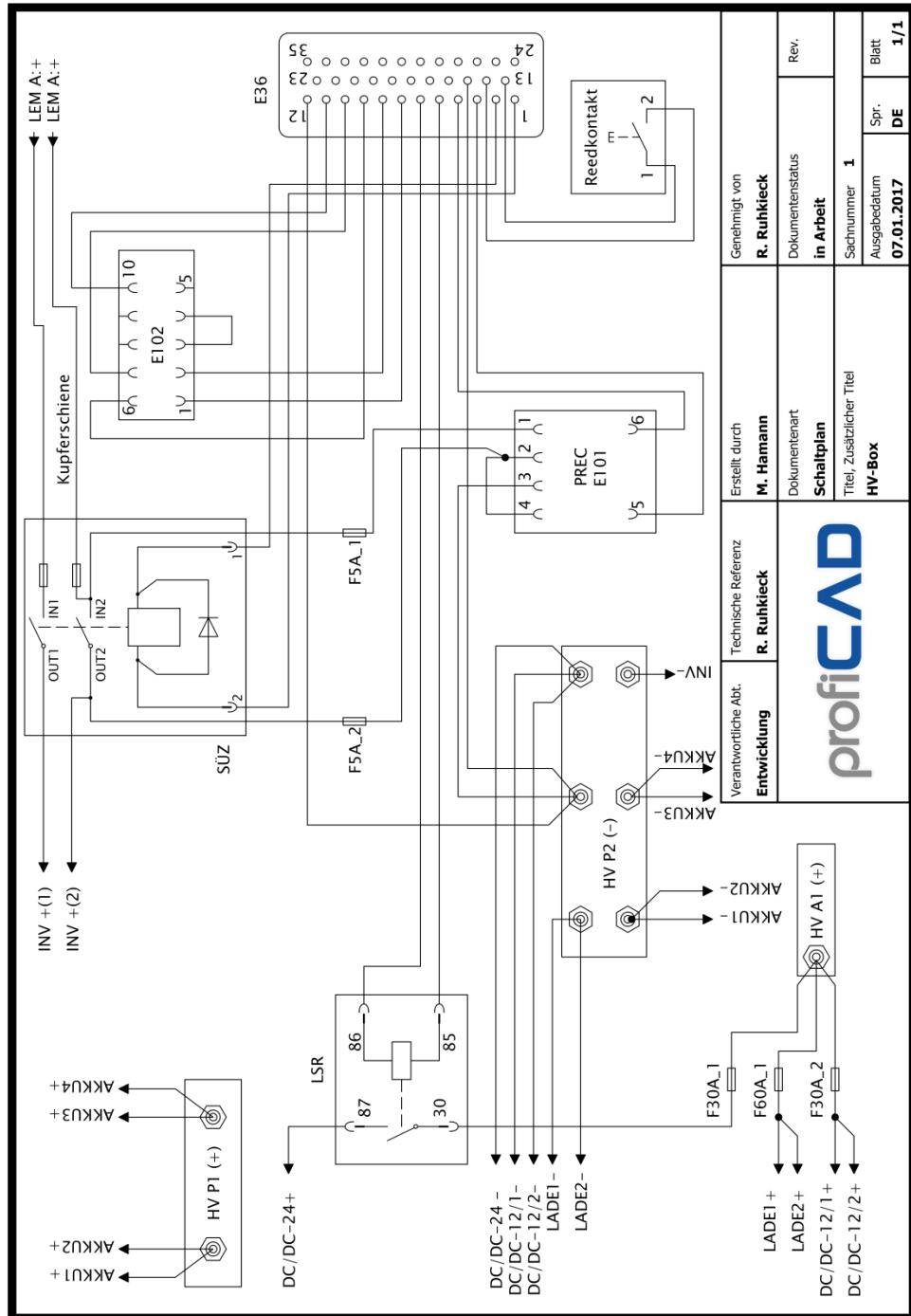


Abb. 18; Schaltplan

Bezeichnungen im Schaltplan:

Bezeichnung	Beschreibung	Kommentare
PREC E101	Stecker Pre Charge	
Reedkontakt	Magnetschalter Interlook	
E36	Kommunikationsstecker	Pins verlöten
E102	Stecker Stromsensor	LEM
LSR	Linde-Start_Relais	
SÜZ	Linde Hauptschütz	
HV P1 (+)	Kupferschiene P1 HV+	RKS 50/8mm
DC/DC-24+	DC/DC Wandler 24 V	Flachkontakt
DC/DC-24-	DC/DC Wandler 24 V	RKS 8mm
DC/DC-12/1+	DC/DC Wandler 12 V Gerät 1	RKS 5mm
DC/DC-12/1-	DC/DC Wandler 12 V Gerät 1	RKS 8mm
DC/DC-12/2+	DC/DC Wandler 12V Gerät 2	RKS 5mm
DC/DC-12/2-	DC/DC Wandler 12 V Gerät 2	RKS 8mm
LADE1+	Ladegerät 1	RKS 5mm
LADE1-	Ladegerät 1	RKS 8mm
LADE2+	Ladegerät 2	RKS 5mm
LADE2-	Ladegerät 2	RKS 8mm
F30A_1	Midisicherung 30 A	LSR Versorgung
F30A_2	Midisicherung 30 A	DC/DC 12 Versorgung
F60A_1	Midisicherung 60 A	LADE Versorgung
HV A1 (+)	Stromabnahme am Stromsensorablauf	
HV P2 (-)	Kupferschiene P2 HV-	RKS 50/8mm & RKS 8mm
INV -	Inverter -	
INV + (1)	Inverter + Leitung 1	
INV + (2)	Inverter + Leitung 2	falls erforderlich
LEMA:+	Stromsensorabgang	
F5A_1	Sicherung Pre-Charge	
F5A_2	Geschaltete Sicherung Pre-Charge	
AKKU1	Traktionsbatterie 1	
AKKU2	Traktionsbatterie 2	
AKKU3	Traktionsbatterie 3	
AKKU4	Traktionsbatterie 4	

Tabelle 1; Verzeichnis Schaltplan

6.3 Auslegung

Die folgende Auslegung wird unter zwei Gesichtspunkten betrachtet. Einmal entsprechend der elektrischen Querschnittsauslegung und zweitens anhand der mechanischen Verbindungselemente. Die Betrachtungen liefern Ergebnisse, die die Ausfallsicherheit erhöhen und aufzeigen wo Schwachstellen sind.

6.3.1 Elektrokomponenten

Die Auslegung der elektrischen Komponenten werden nach den Hauptsicherungen und dem Dauerstrom ausgerichtet [7]. Diese Sicherungen haben eine Auslösecharakteristik wie in Diagramm 1 dargestellt [8]. Es wird im Punkt 1 die vorhandene Sicherung bestimmt. Dann wird ihre Kennlinie bis zum Endpunkt 2 verfolgt. Aus diesem Schnittpunkt wird die kleinste Auslösezeit, Punkt 3, von 0,2s und ein Kurzschlussstrom, Punkt 4, von 2000A ermittelt. Aufgrund der Verwendung von jeweils zwei parallel geschalteten Sicherungen, müssen die Kupferschienen mit einem Gesamtkurzschlussstrom von 4000A ausgelegt werden. Die schnelle Auslösezeit ist erforderlich, um die schon ausgelegten HV-Leitungen vor thermischer Überlastung zu schützen.

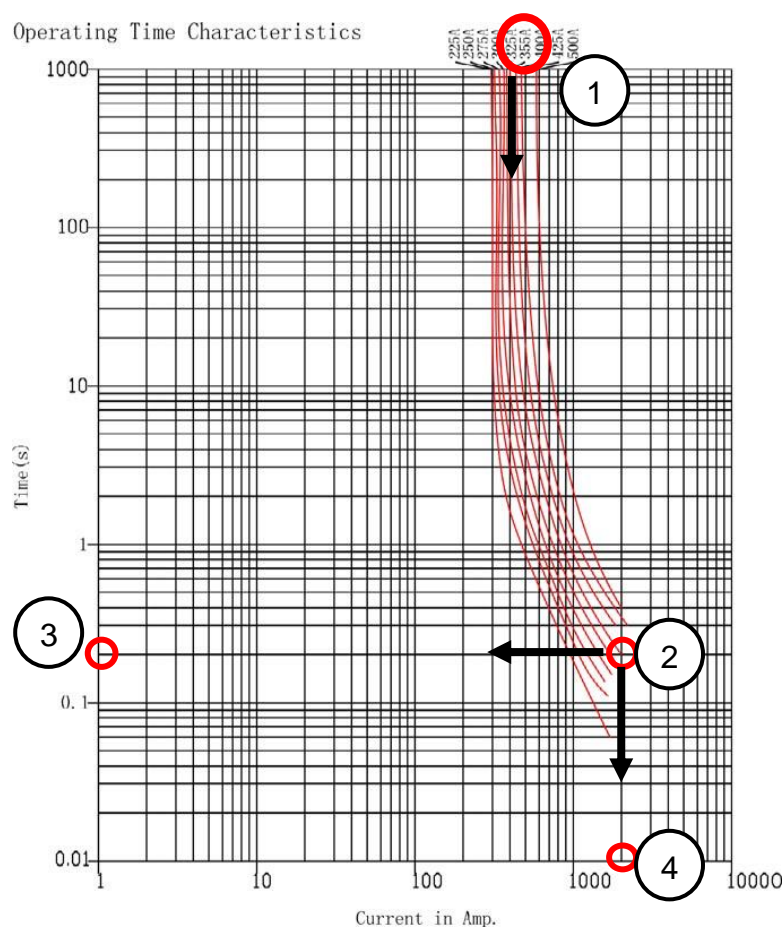


Diagramm 1; Auslösezeit Sicherung [8]

Für die Auslegung sind die Kupferschienen, Stromsensorzulauf und –ablauf, aufgrund der großen Bohrungen im Verhältnis zum Querschnitt, die relevanten Bauteile. Alle Maße werden aus Anhang A entnommen. Der erforderliche min. Querschnitt errechnet sich wie folgt.

Die allgemeine Formel für den Spannungsfall ΔU wird nach dem Querschnitt q umgestellt.

$$\Delta U = \frac{2 \times l \times I}{\chi \times q}$$

Umgestellt nach q :

$$q = \frac{2 \times l \times I}{\chi \times \Delta U}$$

Die aus Tabelle 2 [9] entnommene spezifische elektrische Leitfähigkeit wird für eine Temperatur von 100°C als kritischer Wert angenommen und beträgt $43 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$.

Temperatur	Spez. elektr. Leitfähigkeit	Zustand
°C	MS/m	
-200	460	geglüht
-100	110	
20	57	
100	43	
200	33	
300	24	
20	55 bis 57	kaltumgeformt

Anmerkung: 1 MS/m entspricht 1 m/($\Omega \cdot \text{mm}^2$).

Tabelle 2; Spezifische elektr. Leitfähigkeit [9]

Die Länge der Kupferschiene, Stromsensorzulauf, beträgt ca. $0,149\text{m}$. Der Spannungsfall ΔU wird mit $0,5 - 1\%$ der Nennspannung von 110V als Richtwert angenommen (Ruhkiesck, persönliche Kommunikation, 23. Januar 2017). Für die Berechnung wird $\Delta U = 0,55\text{V}$ angenommen. Daraus ergibt sich ein erforderlicher min. Querschnitt von $50,4 \text{mm}^2$.

$$q = \frac{2 \times 0,149\text{m} \times 4000\text{A}}{43 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2} \times 0,55\text{V}} = 50,4 \text{mm}^2$$

Der kleinste Querschnitt an der Kupferschiene befindet sich an der 10mm Bohrung am Stromsensoreingang. Der dort vorhandene Querschnitt beträgt 75 mm^2 .

$$q = (25\text{mm} - 10\text{mm}) \times 5\text{mm} = 75\text{mm}^2$$

Eine Erhöhung der Sicherheit wird durch den zusätzlichen Querschnitt der Schraube erreicht. Eine M8 Schraube hat einen Querschnitt von ca. 50mm^2 .

$$q = \pi \times r^2 = \pi \times 4\text{mm}^2 = 50,27\text{mm}^2$$

Somit ist genauer betrachtet ein Gesamtquerschnitt von 125mm^2 vorhanden.

Der Stromsensorablauf wird nach gleicher Methodik überprüft. Dort ist die kritische Stelle die 11mm Bohrung für den Anschluss am Hauptschütz. Die Länge wird mit $0,141\text{m}$ angesetzt. Somit ergibt sich ein notwendiger Querschnitt von $47,7\text{mm}^2$.

$$q = \frac{2 \times 0,141\text{m} \times 4000\text{A}}{43 \frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2} \times 0,55\text{V}} = 47,7 \text{ mm}^2$$

Der vorhandene Querschnitt, ohne Schraube, beträgt 70mm^2 . Der zusätzliche Querschnitt der Schraube beträgt $78,54\text{mm}^2$.

$$q = \pi \times r^2 = \pi \times 5\text{mm}^2 = 78,54\text{mm}^2$$

Somit ist genau betrachtet ein Gesamtquerschnitt von $148,5\text{mm}^2$ vorhanden.

Die Querschnitte der Schrauben können, unter Berücksichtigung der Leitfähigkeit, näherungsweise äquivalent angenommen werden. Sie dienen in der Berechnung als Sicherheitsfaktor und werden demnach nicht genauer betrachtet.

Für den Dauerstrom wird der max. Strom aus der DIN 43671 entnommen. Der Dauerstrom wird aus dem Inverterdatenblatt (Anhang D) abgeleitet und beträgt 300A. Die nach DIN vorgeschlagene Kupferschiene 25mm x 5mm kann eine Dauerbelastung von 327A standhalten (Tabelle 3) [10]. Die in der Norm gegebenen Werte sind für Kupferschienen mit einer Dichte von $8,9 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ bei einem Emissionswert von 0,4 angegeben. „Der Emissionsgrad ist eine dimensionslose physikalische Größe zwischen 0 und 1 oder 0 und 100 %. Strahlung, die aus der Messumgebung auf einen realen Strahler trifft, wird abhängig vom Reflektionsgrad des Messobjektes reflektiert. Die Wärmestrahlung folgt dabei den gleichen Strahlungsgesetzen wie das sichtbare Licht. Bei transparenten Objekten (Glas, Folien) kann zusätzlich Wärmestrahlung aus dem Innern des Messobjektes und aus dem Hintergrund kommen. Der Transmissionsgrad

gibt den prozentualen Teil der durch ein Objekt dringenden Strahlung an.“ [11] Aufgrund der verwendeten HV-Box mit einem IP-Schutzgrad von IP66 kann ein um 6 – 10% günstigerer Emissionsgrad angenommen werden [10]. Durch eine Anpassung an das reale System muss der Korrekturfaktor aus Diagramm 2 berücksichtigt werden. Die Lufttemperatur wird mit 50°C (warmer Sommertag mit Sonneneinstrahlung und Stauwärme) und die Schienentemperatur wird mit dem empfohlenen Maximalwert von 85°C angenommen. Somit ergeben sich ein Korrekturfaktor von 1,1 und ein um 6% verbesserter Emissionswert. Daraus ergibt sich ein Dauerstrom von 381A.

$$I_D = I_{85} \times k_2 + 6\%$$

$$I_D = 327A \times 1,1 \times 1,06$$

$$I_D = 381A$$

Mit der, am Fahrzeug im schlechtesten Fall, errechneten möglichen Dauerstrombelastung von 381A besteht eine Sicherheit von 1,27. Der Dauerstrom wird nur während der Fahrt auftreten und somit besteht immer ein Luftstrom der die vorhandene Wärme abführt. Aufgrund der vielen Unbekannten wird dort keine Kühlleistung berechnet. Die Kühlung verbessert in jedem Fall die Leistungsaufnahme der Stromschiene, die Dauerstrombelastung steigt an und der Sicherheitsfaktor steigt.

Dauerströme für Stromschienen

Aus E-Cu mit Rechteck-Querschnitt in Innenanlagen bei 35°C Lufttemperatur und 65°C Schienentemperatur senkrechte Lage oder waagerechte Lage der Schienenbreite.

Breite x Dicke mm	Querschnitt mm ²	Gewicht ¹⁾	Werkstoff ²⁾	Dauerstrom in A			
				Wechselstrom bis 60 Hz		Gleichstrom + Wechselstrom 16 Hz	
				blanke Schiene	gestrichene Schiene	blanke Schiene	gestrichene Schiene
12 x 2	23,5	0,209	E-Cu F30	108	123	108	123
15 x 2	29,5	0,262		128	148	128	148
15 x 3	44,5	0,396		162	187	162	187
20 x 2	39,5	0,351		162	189	162	189
20 x 3	59,5	0,529		204	237	204	237
20 x 5	99,1	0,882		274	319	274	320
20 x 10	199,0	1,770		427	497	428	499
25 x 3	74,5	0,663		245	287	245	287
25 x 5	124,0	1,110		327	384	327	384
30 x 3	89,5	0,796		285	337	288	337
30 x 5	149,0	1,330		379	447	380	448
30 x 10	299,0	2,660		573	676	579	683

Tabelle 3; Dauerströme für Stromschienen DIN 43671

Korrekturfaktordiagramm nach DIN 43 671

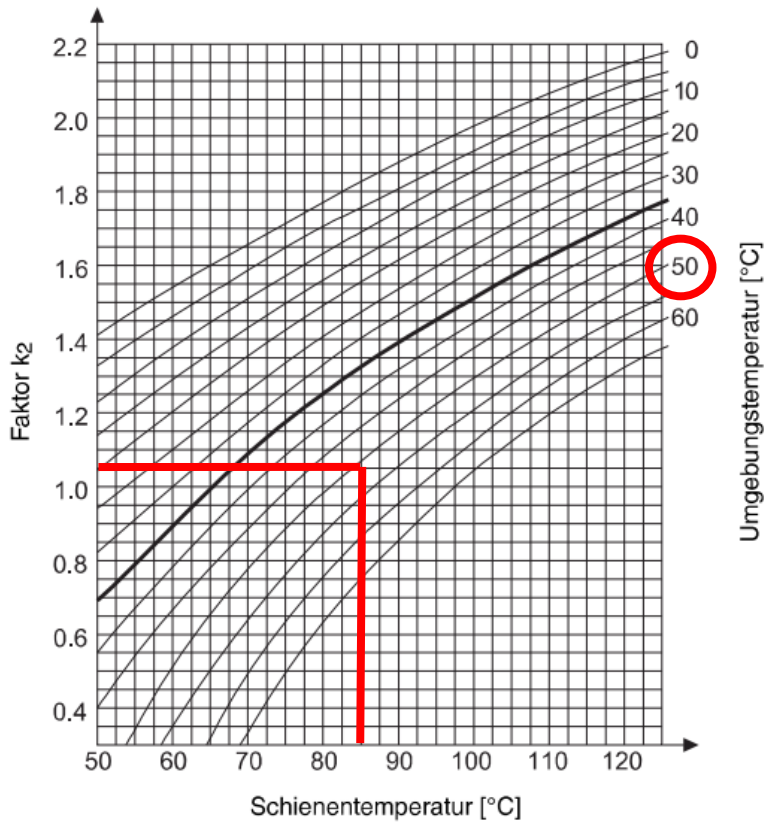


Diagramm 2; Korrekturfaktordiagramm [10]

6.3.2 Verbindungselemente

Um eine optimale Leitfähigkeit und ausfallsichere Verbindung der Kupferschienen zu gewährleisten, wird eine Dimensionierung der lösbaren Verbindungselemente durchgeführt. Die Verbindung muss selbsthemmend sein und darf sich in keinem Fall selbstständig lösen. Die folgenden Berechnungen werden mit Unterstützung von Roloff/Matek Maschinenelemente und Formelsammlung, Vorlesungsskript von Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Jeske, HAW-Hamburg und Berechnung und Gestaltung von Schraubenverbindung durchgeführt. Die Anbindungen werden mit je einer M8 V2A Schraube und einer verkupferten selbstsichernde Mutter mit Metallklemmteil verbunden. Aufgrund der elektrochemischen Spannungsreihe wird eine Edelstahlschraube verwendet. Als Beurteilungskriterium wird die Grafik von der Arthur Flury AG herangezogen (Tabelle 4). Es wird eine Kupfermutter verwendet „um das Fressen zu vermeiden was zu befürchten ist, wenn Sie eine Edelstahlschraube mit einer Edelstahlmutter verschrauben“ (Jeske, persönliche Kommunikation, 4. Januar 2017).

Materialverträglichkeit und Kontaktkorrosion ¹⁾		Werkstoff für Verbindungs- und Befestigungselemente						
Umgebungsbedingung (wirkt als Elektrolyt)	Werkstoff Leiter- oder Konstruktionsmaterial	Kupfer blank	Kupfer verzinkt	nicht rostender Stahl Inox A2	nicht rostender Stahl Inox A4	Stahl feuerverzinkt	Stahl blank	Aluminium
In Luft (Fassadenbleche, Fangleiter, Ableiter)	Kupfer blank	OK	X	X	X			
	Kupfer verzinkt	X	OK	X	X	X		X
	Kupfer-Titan-Zink (Zinkblech)		X	X	X	OK		X
	Stahl verzinkt		X	X	X	OK		X
	nicht rostender Stahl (Inox A2) ²⁾	X	X	OK	OK	X		OK
	Aluminium		X	OK	OK	X		OK
Im Erdreich ³⁾ (Ring-, Strahlen- und Tiefenerder)	Kupfer blank	OK			X			
	nicht rostender Stahl (Inox A4) ²⁾	X			OK			
Im Beton ⁴⁾ (Fundamentender)	Stahl blank oder verzinkt	X		X	X	OK	OK	
	Kupfer blank	OK		X	X	X	X	

Legende zur Bestimmung des Werkstoffes für Verbindungs- und Befestigungselemente.
 OK = optimal X = verwendbar = nicht zulässig / nicht empfohlen

Tabelle 4; Werkstoffverträglichkeit; [12]

Durch die selbstsichernde Kupfermutter (verkupferte Stahlmutter), mit einer Standardzugfestigkeit von $870 \frac{N}{mm^2}$, in Verbindung mit der Edelstahlschraube A2-80, mit einer Zugfestigkeit von $800 \frac{N}{mm^2}$, [13] kann ein allgemeines Anzugsmoment nicht angewandt werden. Es folgt eine Betrachtung hinsichtlich des Reibwertes zwischen den Materialien. Weitere Bedingungen können unberücksichtigt bleiben. Ein ermittelter Reibwert zwischen Edelstahl und Kupfer ist nicht vorhanden, somit wird näherungsweise die Paarung Kupfer-Stahl in Betracht gezogen. Der Reibwert liegt in der Paarung zwischen 0,36 und 0,53 (Tabelle 5). Um ein korrektes Anziehen der

Schraube zu realisieren, muss die Gleitreibung für eine Beurteilung herangezogen werden. Die Tabelle 6 zeigt Werte bei einem Reibwert von 0,12 an. Daraus wird ein Richtwert für das Anzugsmoment von $22Nm$ entnommen.

Reibungskoeffizienten

Tab.1 | Einige Werte für Reibungskoeffizienten:

Stoffpaare	Haftreibungskoeffizient f_H	Gleitreibungskoeffizient f_G
Stahl / Stahl	0,75	0,5
Eisen / Eisen	1,10	0,4
Kupfer / Stahl	0,53	0,36
Gummi / trockener Asphalt	0,9	0,8
Gummi / nasser Asphalt	0,5	0,4
Holz / Holz	0,5	0,3

Tabelle 5; Reibungskoeffizienten [14]

Gewinde	Festigkeitsklasse 50 „z.B. Drehteile“		Festigkeitsklasse 70 „Standard A2-70, A4-70“		Festigkeitsklasse 80 „z.B. A4-80“	
	Vorspannkraft in N	Anziehdreh- moment in Nm	Vorspannkraft in N	Anziehdreh- moment in Nm	Vorspannkraft in N	Anziehdreh- moment in Nm
M 5	M 5	1,7	3.000	3,5	4.750	4,7
M 6	M 6	3	6.200	6	6.700	8,0
M 8	M 8	7,1	12.200	16	13.700	22
M 10	M 10	14	16.300	32	22.000	45
M 12	M 12	24	24.200	56	32.000	75
M 16	M 16	59	45.000	135	60.000	180
M 20	M 20	114	71.000	280	95.000	370
M 24	M 24	198	105.000	455	140.000	605
M 30	M 30	393	191.000	1050	255.000	1400

Tabelle 6; Anzugsmomente [13]

Durch den Metallklemmteil der Mutter wird sich diese Verbindung nicht selbständig lösen, jedoch wird eine Betrachtung mit Berücksichtigung der Setzbeträge vorgenommen.

Die Verbindungen mit Schraube und Mutter verbinden zwei Kupferschienen bzw. den Stromsensor mit einander. Um eine nötige Montagevorspannkraft zu bestimmen, wird die erforderliche Klemmkraft als unbedenklich eingestuft und mit einem Wert von $50N$ abgeschätzt. Es herrscht keine Betriebskraft und es werden nur die Setzbeträge betrachtet. Durch die Verwendung eines Montagefaktors von 1,6, durch Anziehen mit einem Drehmomentschlüssel, bestehen in dieser Vorgehensweise keine weiteren Bedenken. Durch die zu verbindenden Bauteile ergibt sich eine Trennfugenanzahl von 4, incl. Gewinde (Abb. 19).

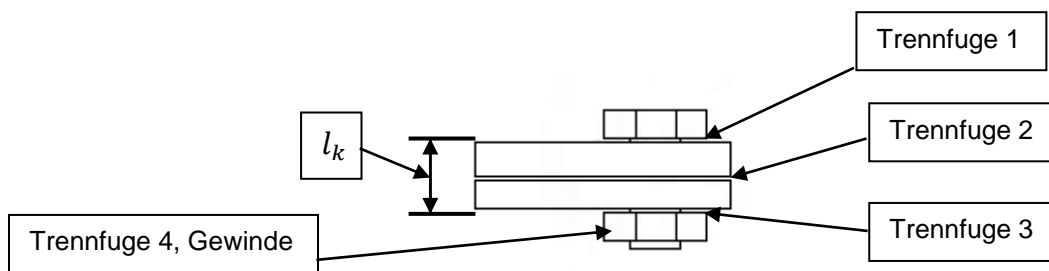


Abb. 19; Trennfugenanzahl mit Mutter

Die Kupferschienen sind gewalzt und vergleichbar mit geschliffen. Aus Sicherheitsgründen wird aus Tabelle 7 ein Setzbetrag von $16\mu\text{m}$ gewählt. In der Tabelle wird die Trennfuge des Gewindes mit eingerechnet und daraus ergibt sich für die Auswahl eine Anzahl von 3.

Trennfugenzahl, Gewinde eingeschlossen	Setzbeträge [μm] (Richtwerte)			
	Zug-/Druck-Beanspruchung		Schub-Beanspruchung	
	gedreht	geschliffen	gedreht	geschliffen
2	13	10	20	13
3	16	12	28	16
4	20	14	35	20
5	25	16	42	25
6	30	18	50	30

Tabelle 7; Richtwert für den Setzbetrag [15]

Das Kraftverhältnis wird mit Hilfe des Nomogramms (Diagramm 3) bestimmt. Als Näherung wird eine Schafschraube bei einem Klemmenlängenverhältnis von 1,125 herangezogen.

$$\frac{l_k}{d} = \frac{9\text{mm}}{8\text{mm}} = 1,125$$

Als Werkstoff ist Grauguss vergleichbar, da beide einen nahezu identischen E-Modul besitzen. Ein Ersatzquerschnitt wird mit dem Klemmdurchmesser des Materials $D_A = 25\text{mm}$ und dem Klemmdurchmesser des Schraubenkopfes $d_k = 12\text{mm}$ gebildet und daraus folgt $D_A = 2d_k$. So ergibt sich ein Kraftverhältnis von $\phi_K = 0,37$.

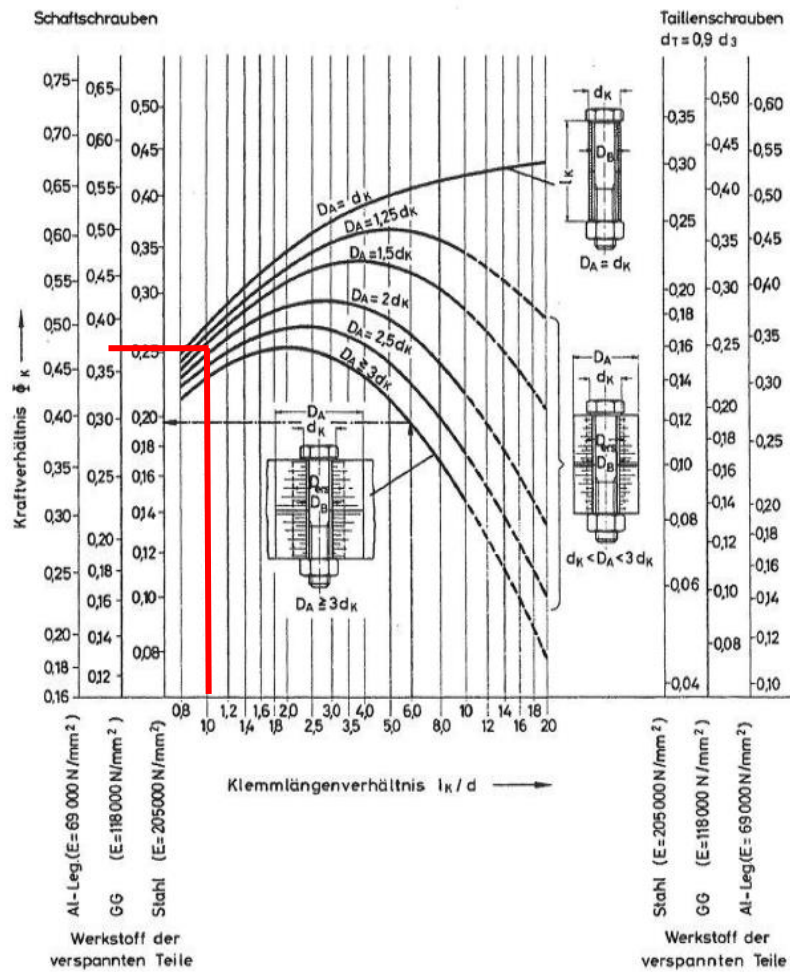


Diagramm 3; Nomogramm für das Kraftverhältnis [16]

Die Nachgiebigkeit $\delta_p = 1,15 \times 10^{-3} \frac{\mu m}{N}$ der verspannten Teile ergibt sich aus Diagramm 4 mit Hilfe des Klemmlängenverhältnisses, Ersatzquerschnitt und Durchmesser der Schraube. Die durch Setzen folgende Verlustkraft F_Z ermittelt sich wie folgt.

$$F_Z = f_Z \times \frac{\phi_K}{\delta_p} = 16 \mu m \times \frac{0,37}{1,15 \times 10^{-3} \frac{\mu m}{N}} = 5150 N$$

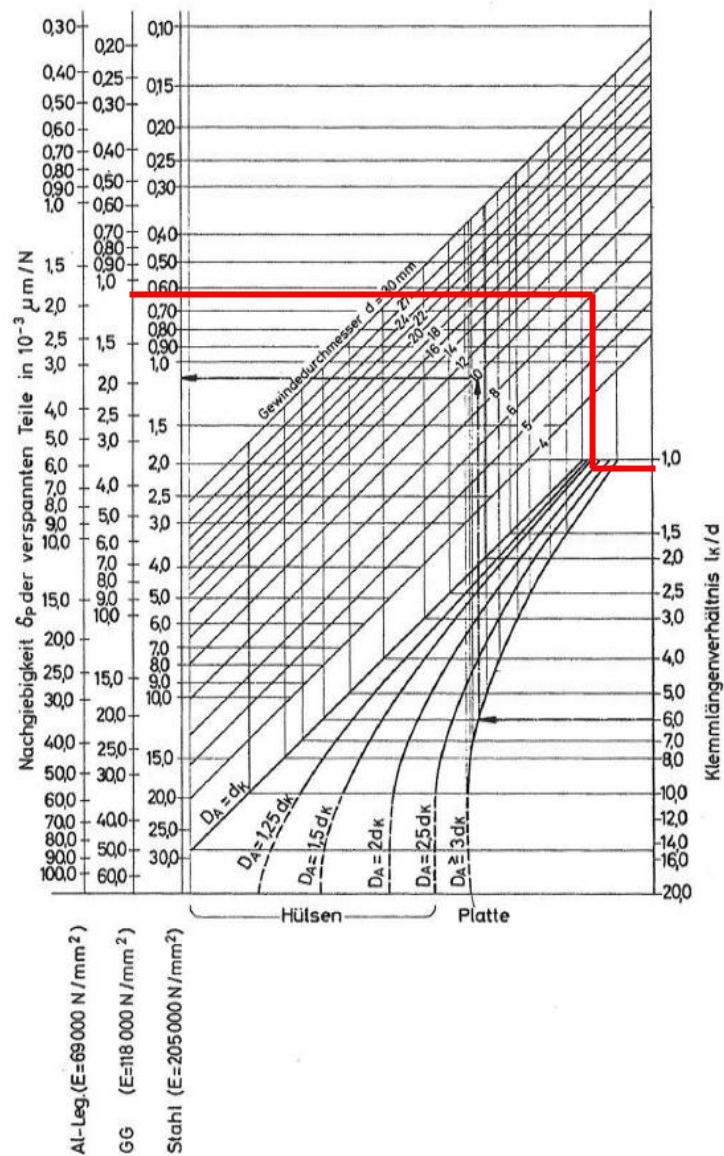


Diagramm 4; Nomogramm für die Nachgiebigkeit [16]

Durch ein Anziehen mit einem Drehmomentschlüssel folgt ein Anziehfaktor von 1,6. So ergibt sich folgende erforderliche Montagevorspannkraft der Schraube.

$$F_M = \alpha_A \times [F_{Kerf} + F_Z + (1 - n \times \phi_K) \times F_A]$$

$$F_M = 1,6 \times [50\text{N} + 5150\text{N} + (1 - 0,5 \times 0,37) \times 0\text{N}]$$

$$F_M = 8320\text{N}$$

Aus dieser Vorspannkraft ergibt sich das erforderliche Anzugsmoment M_A .

$$M_A = F_M \times \left[0,159P + \mu_{ges} \times \left(0,577 \times d + \frac{d_K}{2} \right) \right]$$

$$M_A = 8320N \times \left[0,159 \times 0,00125m + 0,36 \times \left(0,577 \times 0,008m + \frac{0,0165m}{2} \right) \right]$$

$$M_A = 40Nm$$

Bei der Kupfersammelschiene P1 und P2 ist der kritische Punkt, das Gewinde im Kupferteil. Durch die geringere Dehngrenze (Ersatzstreckgrenze) von Kupfer, mit $R_{p0,2} = 160 \frac{N}{mm^2}$ (Tabelle 8), im Vergleich zu Edelstahl, mit $R_{p0,2} = 600 \frac{N}{mm^2}$ [13], ist es erforderlich das Anzugsmoment so auszurichten, dass das Gewinde unbeschadet bleibt. In dieser Betrachtung wird die Vorspannkraft errechnet, die ein Lösen durch Setzen, verhindert. Es finden keinerlei äußere Kräfteinflüsse statt und somit gilt die Verschraubung als unbelastet. Als erforderliche Klemmkraft wird auch hier ein Wert von 50N angenommen. Die Vorgehensweise wird hier bis zur Montagevorspannkraft identisch sein. Die aus den Diagrammen bezogenen Werte werden nicht explizit wiederholt dargestellt, nur den neuen Gegebenheiten angepasst. Für die rechnerische Auslegung wird die Schraube aus Kupfer und eine Mutter aus Edelstahl betrachtet. Grund dafür ist die Anwendung der Formeln, sie sind für Schrauben ausgelegt. Die Anwendung dieses Ersatzmodells ist möglich, da die vorhandenen Querschnitte größer sind als im Ersatzmodell und somit dieses mehr beansprucht wird. Somit ergibt sich eine zusätzliche Sicherheit.

Zugfestigkeit	N/mm^2	200
Streckgrenze $R_{p0,2}$	MPa	160
Dichte	m^3	8944
Schmelzpunkt	$^{\circ}C$	1083
Brinellhärte	HB	40
Zugfestigkeit Kaltverfestigt	N/mm^2	400
Wärmeleitfähigkeit	W/km	383
Elektrische Leitfähigkeit	$m \Omega^{-1}$	57-59

Tabelle 8; mechanische Eigenschaften Kupfer [17]

Die Anzahl der Trennfugen bleibt bei vier und einem Setzbetrag von $16\mu\text{m}$. Der Grund dafür ist, dass zwei Traktionsbatterien (zwei Kabelschuhe) auf der Sammelschiene befestigt werden, jedoch keine Mutter mehr vorhanden ist (Abb. 20).

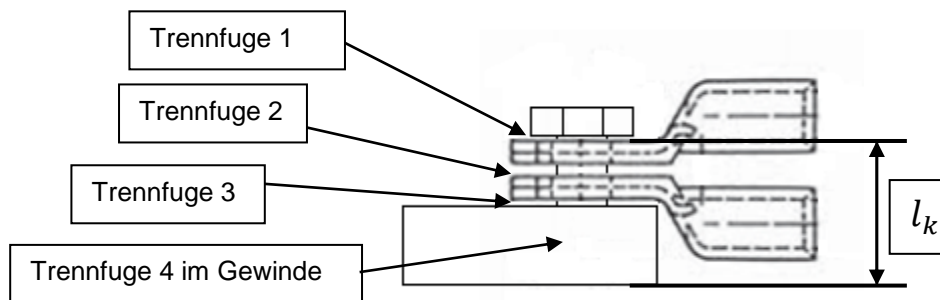


Abb. 20; Trennfugenanzahl ohne Mutter

Aus Diagramm 3 wird mit einem Klemmlängenverhältnis von 2,16 und einem Ersatzquerschnitt von, $D_A = 20\text{mm}$ und $d_k = 12\text{mm}$, $D_A = 1,6d_k$ ein Kraftverhältnis von $\phi_K = 0,45$ ermittelt.

$$\frac{l_k}{d} = \frac{17,3\text{mm}}{8\text{mm}} = 2,16$$

Die Nachgiebigkeit $\delta_p = 2,1 \times 10^{-3} \frac{\mu\text{m}}{\text{N}}$ der verspannten Teile ergibt sich aus Diagramm 4 mit Hilfe des Klemmlängenverhältnisses, Ersatzquerschnitt und Durchmesser der Schraube. Die durch Setzen folgende Verlustkraft F_Z ermittelt sich wie folgt.

$$F_Z = f_Z \times \frac{\phi_K}{\delta_p} = 16\mu\text{m} \times \frac{0,45}{2,1 \times 10^{-3} \frac{\mu\text{m}}{\text{N}}} = 3428\text{N} \approx 3430\text{N}$$

Durch ein Anziehen mit einem Drehmomentschlüssel folgt ein Anziehungsfaktor von 1,6. So ergibt sich folgende erforderliche Montagevorspannkraft der Schraube.

$$F_M = \alpha_A \times [F_{Kerf} + F_Z + (1 - n \times \phi_K) \times F_A]$$

$$F_M = 1,6 \times [50\text{N} + 3430\text{N} + (1 - 0,5 \times 0,37) \times 0\text{N}]$$

$$F_M = 5568\text{N}$$

Mit dieser Kraft wird überschlägig geprüft, ob die Spannungen im Gewinde den maximalen Wert von $R_{p0,2} = 160 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ nicht überschreiten. Für die Ermittlung der auftretenden Spannungen wird der Spannungsquerschnitt einer metrischen ISO-Schraube ermittelt. Das Regelgewinde bei einer metrischen ISO-Schraube besitzt

eine Steigung von $P = 1,25\text{mm}$. Die zur Verfügung stehende Einschraubtiefe von $l_{Gew} = 10\text{mm}$ ergibt eine Anzahl von 8 Gewindegängen.

$$Gew = \frac{l_{Gew}}{P} = \frac{10\text{mm}}{1,25\text{mm}} = 8$$

Die kraftübertragende Fläche wird mit Berücksichtigung der mehr als 10% höheren Zerreißfestigkeit im Vergleich zu glatten Stäben errechnet. Dieser Spannungsquerschnitt ist etwa 6% größer als der Kernquerschnitt einer Schraube [18]. Die Querschnittsfläche A_S ergibt sich aus dem M8 Kerndurchmesser $d_{ke} = 6,466\text{mm}$ und dem Flankendurchmesser $D_F = 7,188\text{mm}$.

$$A_S = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{d_{ke} + D_F}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{6,466\text{mm} + 7,188\text{mm}}{2} \right)^2 = 36,6\text{mm}^2$$

Aus der Literatur ist bekannt, dass der erste belastete Gewindegang den größten Anteil von 40% der Last trägt (Abb. 21).

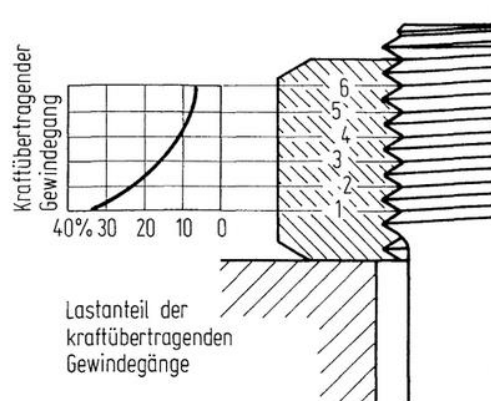


Abb. 21; Lastanteil Gewindegänge [18]

Daraus ergibt sich eine vorhandene Spannung von $\sigma = 152 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$. Somit ergibt sich eine Spannung im ersten Gewindegang von $\sigma_{0,4G} = 61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$.

$$\sigma = \frac{F_M}{A_{Ges}} = \frac{5568\text{N}}{36,6\text{mm}^2} = 152 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{0,4G} = \frac{0,4 \times F_M}{A_S} = \frac{0,4 \times 5568\text{N}}{36,6\text{mm}^2} = 61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{0,4G} \leq \sigma_{Zul}$$

Beide Spannungen sind kleiner als die max. zulässige Spannung von $160 \frac{N}{mm^2}$. Um ein Versagen zu vermeiden, wird im nächsten Schritt die Kerbspannung überprüft. Für dieses Vorgehen wird die Formzahl α_K benötigt. Für die grafische Ermittlung wird Diagramm 5 herangezogen.

TB 3-6 Fortsetzung

c) Rundstab mit Ringnut

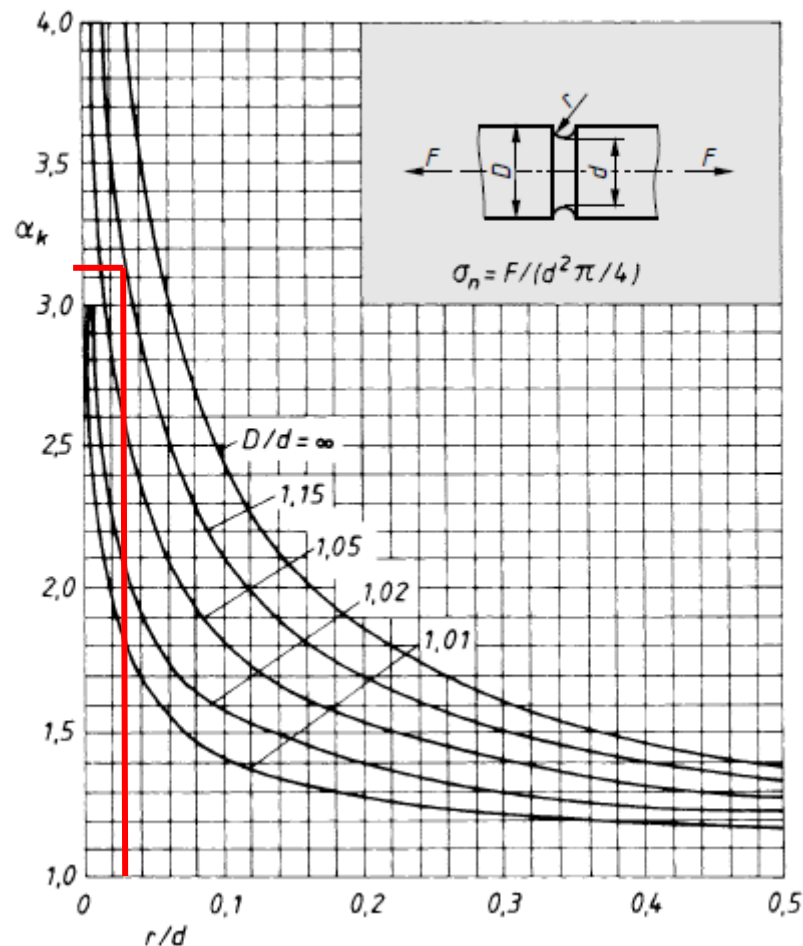


Diagramm 5; Formzahl α_K [19]

$\frac{D}{d}$ und $\frac{r}{d}$ werden wie folgt errechnet. Aus der DIN 13 T1 wird $r = 0,14434 \times P$ entnommen.

$$r = 0,14434 \times P = 0,14434 \times 1,25\text{mm} = 0,18\text{mm}$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0,18\text{mm}}{6,466\text{mm}} = 0,028$$

$$\frac{D}{d} = \frac{7,188\text{mm}}{6,466\text{mm}} = 1,11$$

Daraus folgt aus dem Diagramm ein α_K von 3,15. Mit der Formzahl ergibt sich eine maximale Kerbspannung von $\sigma_K = 192 \frac{N}{mm^2}$ und diese liegt über der maximalen Spannung von $160 \frac{N}{mm^2}$, jedoch unter der Zugfestigkeit von $220 - 260 \frac{N}{mm^2}$. Dieses Ergebnis zeigt auf, dass sich das Gewinde in der Kupfersammelschiene plastisch verformen wird. Dies ist keinesfalls kritisch. Durch diese plastische Verformung wird eine bessere Spannungsverteilung in den Gewindegängen generiert [18]. Des Weiteren findet in den ersten Gewindegängen eine Kaltverfestigung statt und somit erhöht sich dort die Festigkeit. Um eine genauere Betrachtung durchzuführen, werden aufwendige Prüfverfahren notwendig. Dies verursacht zu hohe Kosten und wird damit als unverhältnismäßig gewertet.

$$\sigma_K = \alpha_K \times \sigma_{0,4G}$$

$$\sigma_K = 3,15 \times 61 \frac{N}{mm^2} = 192 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_K \geq \sigma_{zul}$$

Das erforderliche Anzugsmoment wird mit der erforderlichen Montagekraft berechnet.

$$M_A = F_M \times \left[0,159P + \mu_{ges} \times \left(0,577 \times d + \frac{d_K}{2} \right) \right]$$

$$M_A = 5568N \times \left[0,159 \times 0,00125m + 0,36 \times \left(0,577 \times 0,008m + \frac{0,0165m}{2} \right) \right]$$

$$M_A \approx 27Nm$$

Die berechneten Richtwerte werden in simplen praktischen Versuchen überprüft und bewertet. Der Versuch beinhaltet ein Verschrauben der Komponenten untereinander. Die Verbindung wird in einem Klemmbock eingespannt und mit einer nicht fest definierbaren Kraft auf Verdrehung belastet. Lässt sich die Verbindung nur mit erhöhtem Kraftaufwand verdrehen, wird diese als „Gut“ bewertet. Dieses Kriterium ist möglich aufgrund der fehlenden Betriebskraft der Verbindung. Wird zusätzlich eine Betriebskraft erbracht und die Verbindung hält die Komponenten verdrehsicher zusammen, hält diese im laufenden Betrieb ohne Versagen. Dieses Vorgehen wird 10 fach wiederholt um Sonderfälle auszuschließen. Aus praktischer Erfahrung mit der Anwendung diverser Schraubenverbindungen wird somit die Verbindung bewertet. Die Verbindung Schraube - Mutter wird mit $40Nm$ als praktikabel und „Gut“ bewertet. Die Verbindung der Kabelschuhe an der Sammelschiene wird aus Prozessgründen auf

30Nm angehoben. Dies ermöglicht ein leichteres und genaueres Einstellen des Werkzeugs. Die 30Nm werden im gleichen Verfahren überprüft und als sichere Verbindung mit „Gut“ bewertet.

6.4 Konstruktion

Die Konstruktion wird mit Hilfe der Konstruktionssoftware Catia V5 R19 erfolgen. In den ersten Schritten werden die vorhandenen Komponenten als CAD-Datei bei den Herstellern beantragt. Einige Modelle sind nicht erhältlich und werden in Eigenregie vereinfacht dargestellt. Das lokale kartesische Koordinatensystem wird wie folgt festgelegt. X-Achse entgegen der Fahrtrichtung und Z-Achse Richtung Fahrbahn. Es handelt sich um ein rechtshändiges Koordinatensystem.

6.4.1 Positionierung der Bauteile

In erster Auslegung werden mögliche Positionierungen des Linde Hauptschütz untersucht. Durch die Baugröße ist dieses Bauteil die vorgegebene Komponente in der HV-Box. Wichtige Eingangsanschlussgröße ist die Stromzufuhr vom Stromsensor kommend und wichtige Ausgangsanschlussgröße ist der Stromabgang zum Inverter. Durch die Anbringung mehrerer Traktionsbatterien wird eine Sammelschiene notwendig. Die Schiene wird nah an den Kabeldurchführungen vorgesehen, dies vereinfacht die weitere Handhabung, um den Stromsensor einzubinden. Die direkte Anbindung aller Batterien an den Stromsensor ist nicht möglich. Gründe sind zu kleine Anschlussflächen und zu hohe Biegesteifigkeiten der Leitungen. Dadurch muss der Stromsensor über Stromschiene verbunden werden und das macht seine Lage in der HV-Box variabel aber unflexibel. Daraus folgt, dass eine Ausrichtung nach der Eingangsanschlussgröße irrelevant ist.

Praktischer ist es, das Hauptschütz nach dem Ausgang für den Inverter auszurichten. So wird die Anzahl von konstruierten Stromschiene reduziert und für die Verbindung zum Inverter eingespart. Durch die Forderung die Kabeldurchführungen in Richtung Heckpartie (positiv X) zu konstruieren, ist die grobe Ausrichtung des Schützes ermittelt (Abb. 22). Die genaue Endlage wird durch die Lage der EMV-Verschraubungen und Stromsammelschiene definiert.

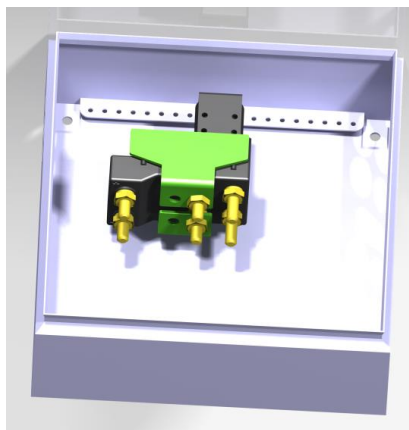


Abb. 22; Ausrichtung Linde Hauptschütz

Um die Anforderung aus Kapitel 6.1 einzuhalten, werden die M32 EMV-Verschraubungen entgegen der Fahrtrichtung eingebunden. Die Platzverhältnisse sind klar definiert und bieten keinen Spielraum. Um die Potenziale der Leitungen zu bündeln werden an der Oberseite vier Plusleitungen, an der Unterseite vier Minusleitungen und direkt unter dem E36 Steckverbinder der Anschluss für den Inverter vorgesehen. Die Lage des Invertereingangs, in Z-Richtung, bestimmt die Ausrichtung des Hauptschützes in dieser Richtungslinie. Durch die Verwendung von flexiblen Leitungen kann das Hauptschütz in einem Bereich von $\pm 30mm$ in Z-Richtung variieren. Die Ausrichtung auf der X-Achse wird unter Berücksichtigung der Stromsammelschienen festgelegt. Die Lage in Y-Richtung wird durch den Grundträger und der Position des Verschlussdeckels beeinflusst. Die M20 EMV-Verschraubung wird in Fahrtrichtung oben an der Stirnseite eingebunden. Diese Lage vermindert die Einwirkung von Spritzwasser und verringert den Bedarf an Kabelschutzrohren. Der Abstand zum oberen Rand wird mit ausreichend Spiel versehen, um die Zugänglichkeit bei der Montage zu optimieren (Abb. 23).

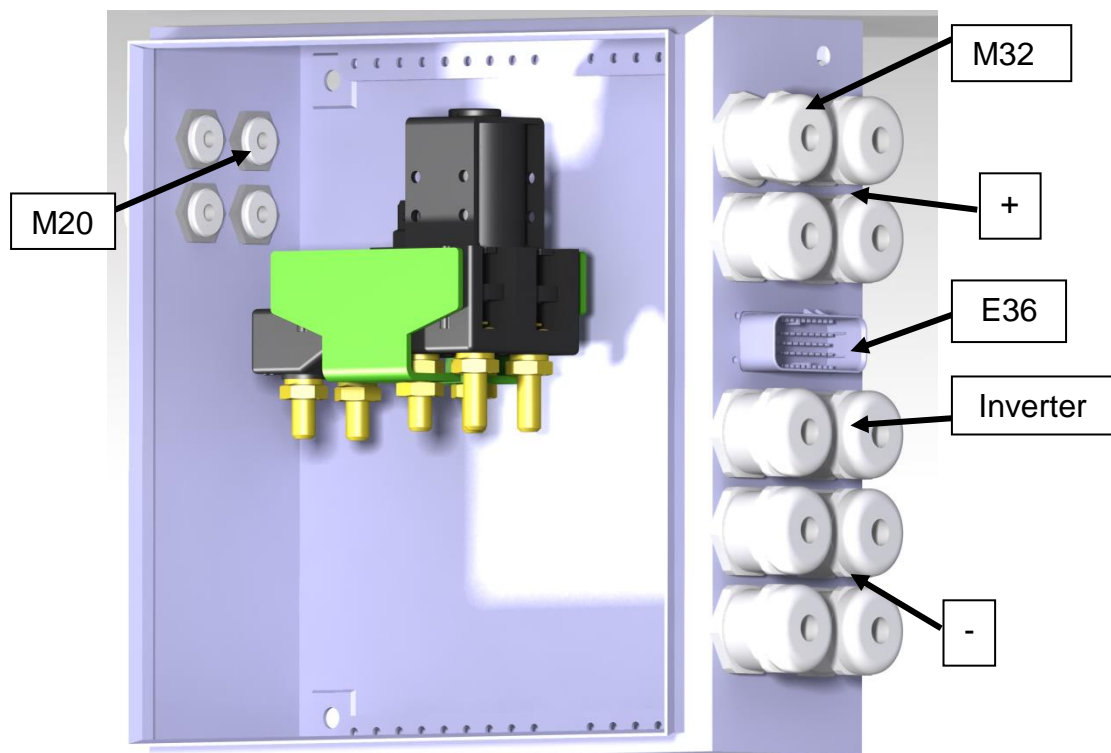


Abb. 23; Lage EMV-Verschraubungen

Für die Lage der Stromsammelschienen ist es erforderlich die Positionierung der Sicherungen, Relais und des Pre-Charge schematisch festzulegen. Die Unterkante eignet sich optimal für Pre-Charge, Relais und den Kfz-Flachsicherungshalter. Damit die HV-Box weitgehend wasserabweisend bleibt und die Montage der Komponenten möglich ist, wird der Grundträger mit einer 90° Abkantung konstruiert. Die Ausrichtung der Bauteile auf dem abgekanteten Blech des Grundträgers wird, unter Berücksichtigung der Kabelbiegeradien, wie folgt angewandt (Abb. 24).

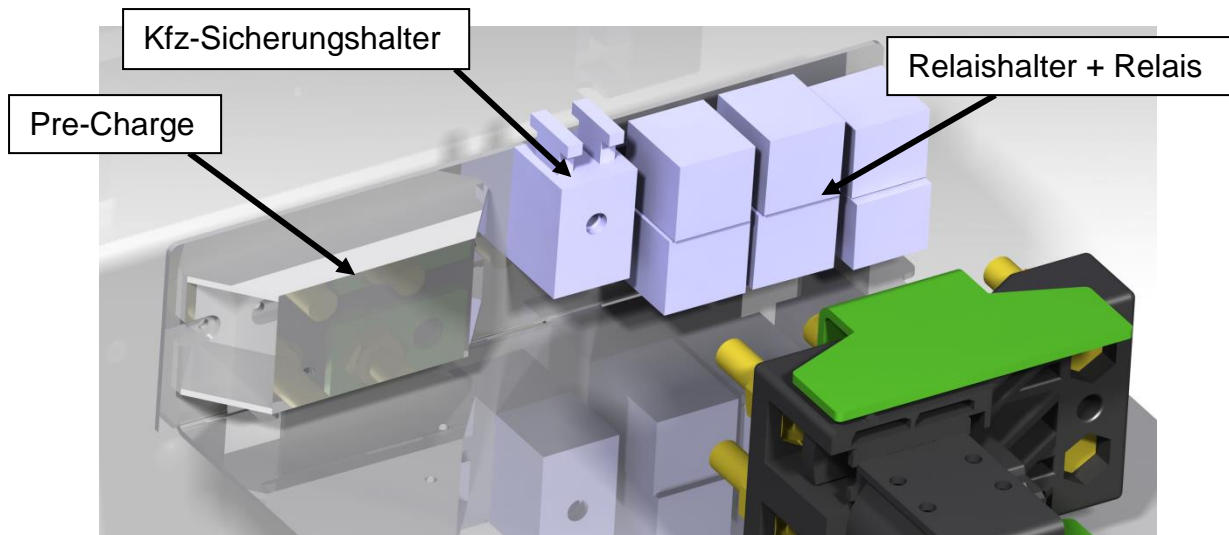


Abb. 24; Lage Pre-Charge, Relais & Sicherungshalter

Durch die neudefinierten Randbedingungen kann eine Lage für die Stromschienen ermittelt werden. Der Abstand zur EMV-Verschraubung wird durch die Kabelschuhe und Biegsamkeit der Leitung beeinflusst. Ein herkömmlicher Kabelschuh für diese Querschnitte besitzt eine Länge (l) von 37mm (Abb. 25).

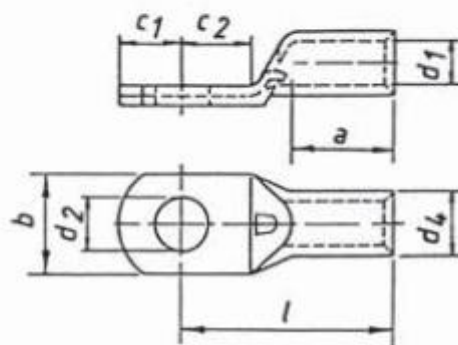


Abb. 25; Bemaßung Kabelschuh

Durch einen praktischen Versuch wurde eine grobe Abschätzung des einsetzbaren Bereichs ermittelt. Es stellte sich heraus, dass eine Mindestlänge zwischen hinterer Stirnwand der HV-Box und der Lochmitte des Kabelschuhs von 60mm nötig ist. Je weiter die Anschlussbohrung vom Rand entfernt ist, desto leichter wird eine Kabelmontage ermöglicht. Die Plussammelschiene (P1) wird oben so ausgerichtet, dass ein spannungsfreies Verlegen der Leitung möglich ist und genügend Abstand zu

den Fremdpotenzialen gewährleistet ist. Die Minussammelschiene (P2) wird unten, fluchtend unter P1 positioniert und ebenfalls mit den gleichen Randbedingungen ausgerichtet (Abb. 26). Detaillierte Angaben zur Konstruktion finden sich unter Kapitel 6.4.2.

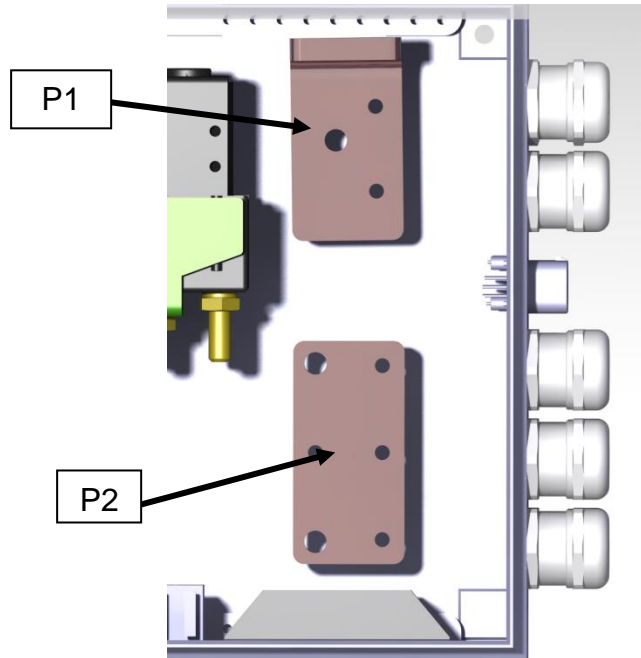


Abb. 26; Lage Stromsammelschienen

Die Position von Hauptschütz und P1 wird die Lage vom Stromsensor beeinflussen. Der Eingang wird mit P1 und der Ausgang mit dem Hauptschützeingang verbunden. Durch eine 45° Neigung des Stromsensors werden die beiden Anschlusswege verkürzt und zeitgleich wird eine bessere Zugänglichkeit der M20 EMV-Verschraubung erzielt (Abb. 27). Es wird beachtet, dass ausreichend Freigängigkeit für Montagewerkzeug vorhanden ist. Die Lage in Y-Richtung wird hier ebenfalls durch den Grundträger und den Verschlussdeckel eingeschränkt.

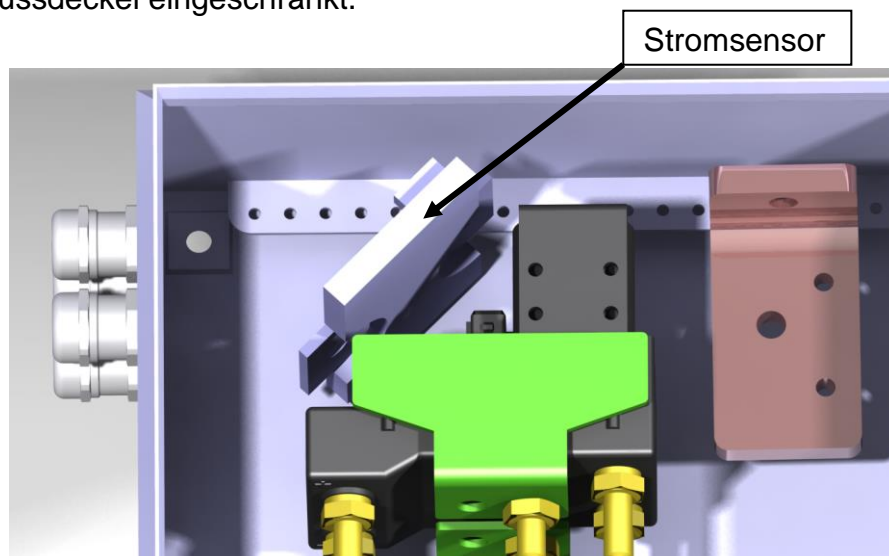


Abb. 27; Lage Stromsensor

Die Midi Sicherungshalter werden unter dem Hauptschütz neben P2 untergebracht. Durch die Stromabnahme für die Sicherungen nach dem Stromsensor werden diese in naher Umgebung am Hauptschützeingang befestigt (Abb. 28). Das bringt kurze Anschlusswege mit sich und alle verbauten Sicherungen sind in einer nahen Umgebung, um eine schnelle Wartung zu ermöglichen. Der Abstand wird unter Berücksichtigung der Kabelbiegeradien definiert.

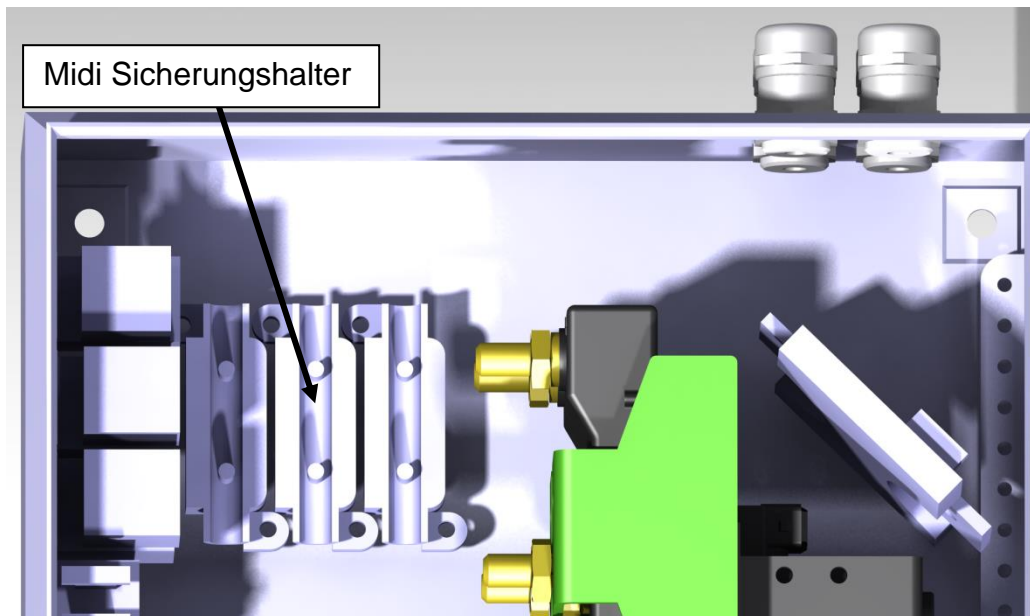


Abb. 28; Lage Midisicherung

Die Ausrichtung des Reedkontakts wird auf der Abkantung der Grundträgerplatte vorgesehen (Abb. 29). Es wird dort ein Steg vorgesehen, sodass er ohne Probleme mit dem Magnetschalter in Flucht liegt. Der Magnetschalter wird am Deckel klebend befestigt, um den IP-Schutzgrad beizubehalten. Seine Position wird durch die Befestigungsschraube vom Deckel und der im Deckel liegenden Dichtung beeinflusst. Um ein genaues Verkleben zu gewährleisten wird eine Klebevorrichtung benötigt (siehe Kapitel 6.4.2).

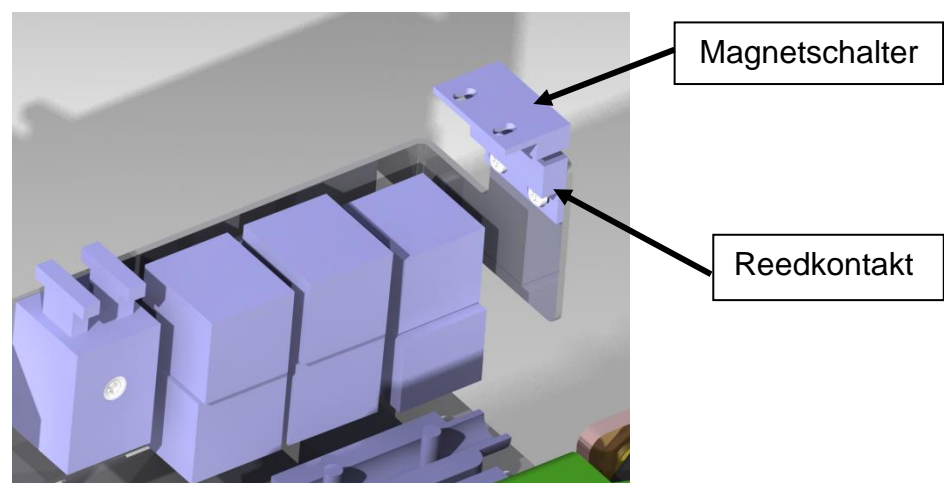


Abb. 29; Reedkontakt mit Magnetschalter

Die schematische Ausrichtung ist die Basis für weitere Schritte. Der Gesamtüberblick dient zur weiteren Planung der Stromschienen und Halterentwicklung (Abb. 30).

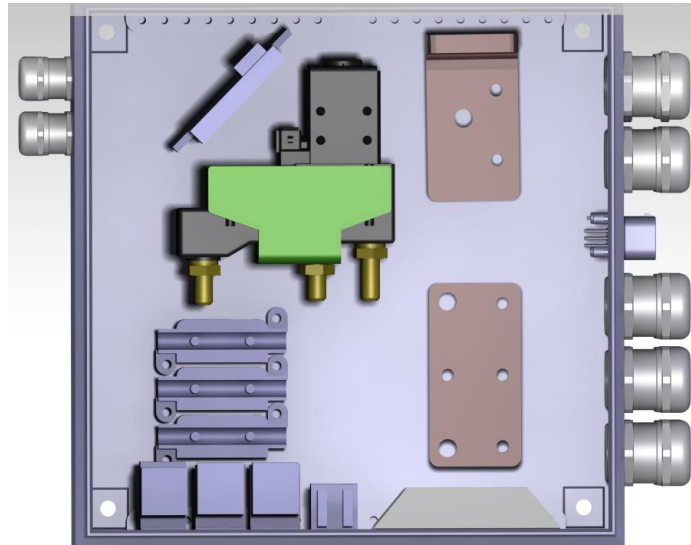


Abb. 30; Gesamtüberblick

6.4.2 Konstruktion Einzelteile

Der Grundträger (Abb. 31) wird aus 2mm Stahlblech gelasert und abgekantet. Alle Ecken werden ausgerundet. Dies verkürzt die Laserzeiten. Die Befestigungslöcher für M4 Edelstahlschrauben werden mit Therm드릴® gefertigt, Erläuterung befinden sich im Kapitel 6.4.3. Um dem Stromsensor ausreichend Freigängigkeit zu gewährleisten, wird dort ein Ausschnitt vorgesehen. Die Aussparungen an der Abkantung sind für die Freigängigkeit der Befestigungsschrauben erforderlich und es erleichtert die Montage. Die Aussparung im Kantradius reduziert den Kraftaufwand beim Abkanten. Um einen Wechsel des Grundträgers zu ermöglichen, wird dieser so konstruiert, dass er ausreichend Platz zu den EMV-Verschraubungen aufweist.

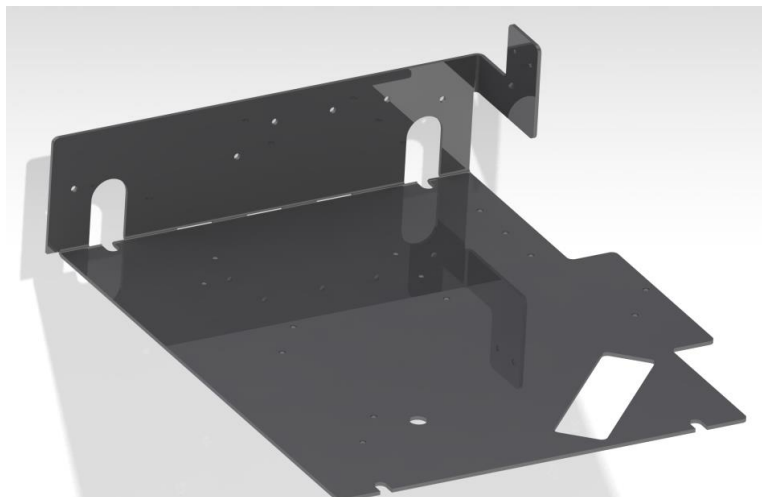


Abb. 31; Grundträger

Der Halter für das Linde Hauptschütz wird aus 2mm Edelstahlblech im Wasserstrahlverfahren geschnitten und gekantet. Die Lage des Hauptschützes in Y-Richtung ist durch den Abstand zwischen Grundträger und Deckelunterseite begrenzt (Abb. 32).

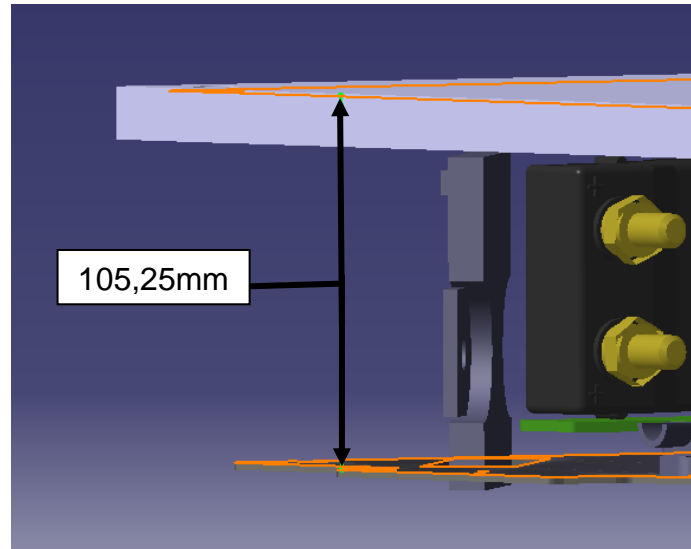


Abb. 32; Abstand zwischen Grundträger & Deckel

Das Hauptschütz besitzt eine Gesamthöhe von $81,25\text{mm}$ und wird zum Grundträger mit 10mm und zum Deckel mit $13,8\text{mm}$ Abstand ausgerichtet. Durch das Komprimieren der Deckeldichtung ist auch hier ein größerer Abstand gefordert. Daraus ergibt sich eine Höhe des Halters von 74mm . Es ist damit gewährleistet, dass die Wärmeleitbleche (diese besitzen Pluspotenzial) ausreichend Abstand zu den masseführenden Blechteilen besitzt. Die untere Anbindung wird mit einer M6 Linsenkopfschraube versehen und die zum Hauptschütz wird mit vier M5 Linsenkopfschrauben getätigt (Abb. 33).



Abb. 33; Schützhalter

Die P1 Sammelschiene wird, wie P2, aus 10mm Cu-ETP wasserstrahlgeschnitten, jedoch zusätzlich abgekantet (Abb. 34). Die Kabelschuhe werden mit je einer M8 V2A Schraube befestigt und der Abstand der Bohrung wird nach der EMV-Verschraubung so ausgerichtet, dass die Leitungen möglichst linear angebonden werden. Weitere Berücksichtigung wird bezüglich des Abstandes zwischen den Kabelschuhen untereinander und der Bohrung für den Befestigungsfuß getroffen (Abb. 35). Die Abkantung ist für eine bessere Anbindung der Verbindungsschiene für den Stromsensor vorgesehen.

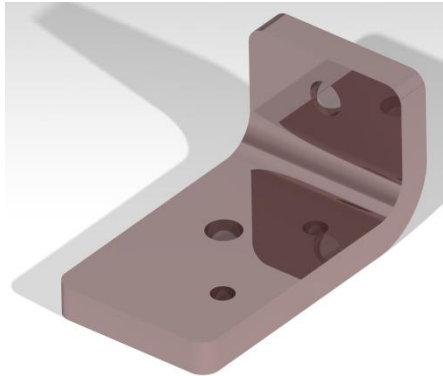


Abb. 34; P1 Sammelschiene



Abb. 35; Isolierfuß

Die Sammelschiene P2 (Abb. 36) hat neben den Aufnahmen für drei bzw. sechs Kabelschuhe in $M8/50mm^2$ noch die Möglichkeit bis zu neun M8 Ringkabelschuhe für $4mm^2$ aufzunehmen (drei je M8 Verschraubung). Die Befestigung der Schiene wird über zwei Isolierfüße an den Grundträger montiert.



Abb. 36; P2 Sammelschiene

Die Endlage des Stromsensors wird so ausgerichtet, dass zwischen Boden und Deckel der HV-Box ausreichend Spiel vorhanden ist (Abb. 37). Der größere Abstand zum Deckel ist auch hier der Dichtung geschuldet. Da eine Prognose für einen genauen

Wert nicht abschätzbar ist, wird dort mit Sicherheit konstruiert. Der Abstand zum Boden wird mit 5mm als praktikabel bewertet.

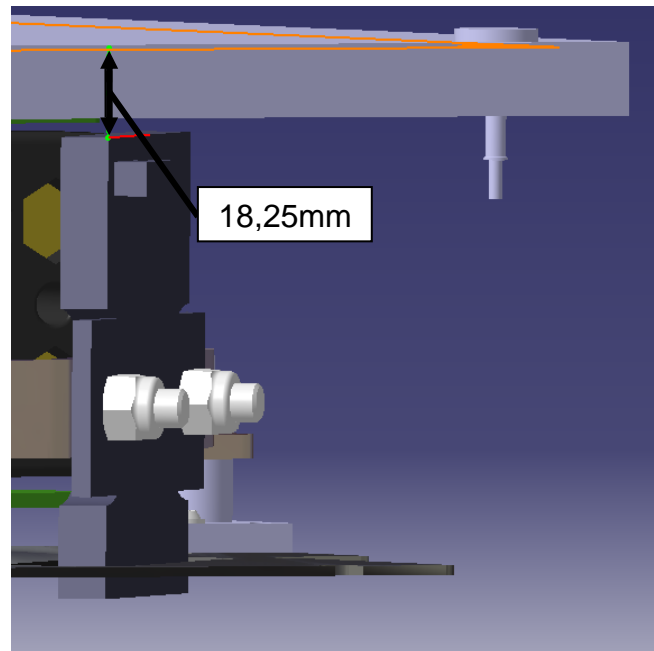


Abb. 37; Abstand Stromsensor

Die Verbindung zwischen P1 und Stromsensor wird ebenfalls aus Cu-ETP mit Wasserstrahl geschnitten und gekantet. Die Verbindungsschiene wird als Stromsensorzulauf bezeichnet (Abb. 38). Die Bohrung für die Aufnahme des Stromsensors wird in $\varnothing 10\text{mm}$ gefertigt, um eine optimale Ausrichtung trotz Fertigungstoleranzen zu gewährleisten. Der Höhenunterschied wird mit einem leicht abfallenden Winkel gestaltet. Dieser beginnt nach der gesamten Kontaktfläche an der P1 Sammelschiene. So wird ein geringer Übergangswiderstand gewährleistet. Die Abkantung beträgt 45° und wird so dimensioniert, dass dort ebenfalls eine optimale elektrische und mechanische Verbindung herrscht. Die Befestigung wird mit V2A Schrauben und verkupferten Stahlmuttern realisiert.

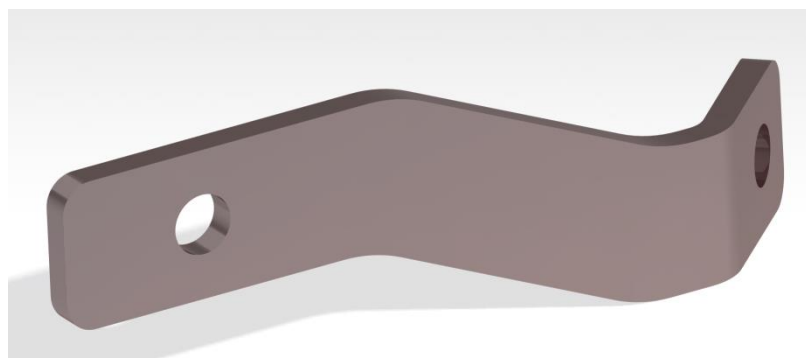


Abb. 38; Stromsensorzulauf

Der Stromsensorablauf (Abb. 39) wird ebenfalls mit V2A Schrauben und Kupfermuttern mechanisch verschraubt. Bei der Verbindung zum Hauptschütz wird die mitgelieferte

M10 Edelstahlmutter verwendet. Die Fertigungsmethoden bleiben bei allen Kupferteilen gleich. Die elektrische Funktion wird durch eine Abstützung auf dem Grundträger erweitert.

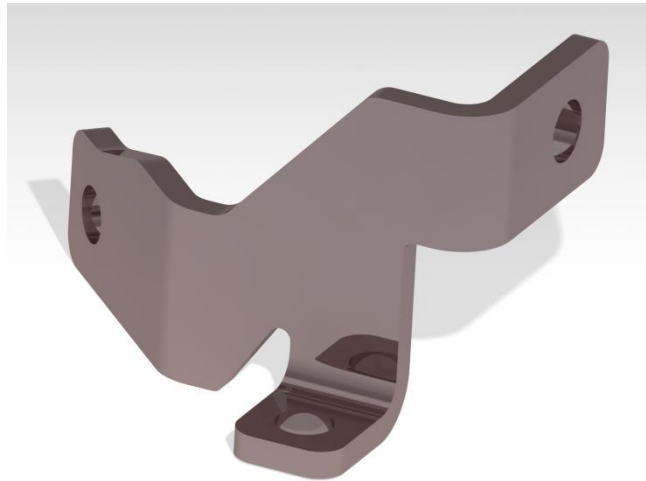


Abb. 39; Stromsensorablauf

Der Reedkontakt wird auf einem abgekanteten Steg so positioniert, dass er bei geschlossenem Deckel einen Abstand von 3mm zum Magnetschalter besitzt. So wird ein Spiel für Toleranzen und ein sicheres Schalten gewährleistet (Abb. 40). Dieser wird dort mit zwei M3 Schrauben befestigt und das Gewinde wird auch hier mit Thermdrill® geformt.

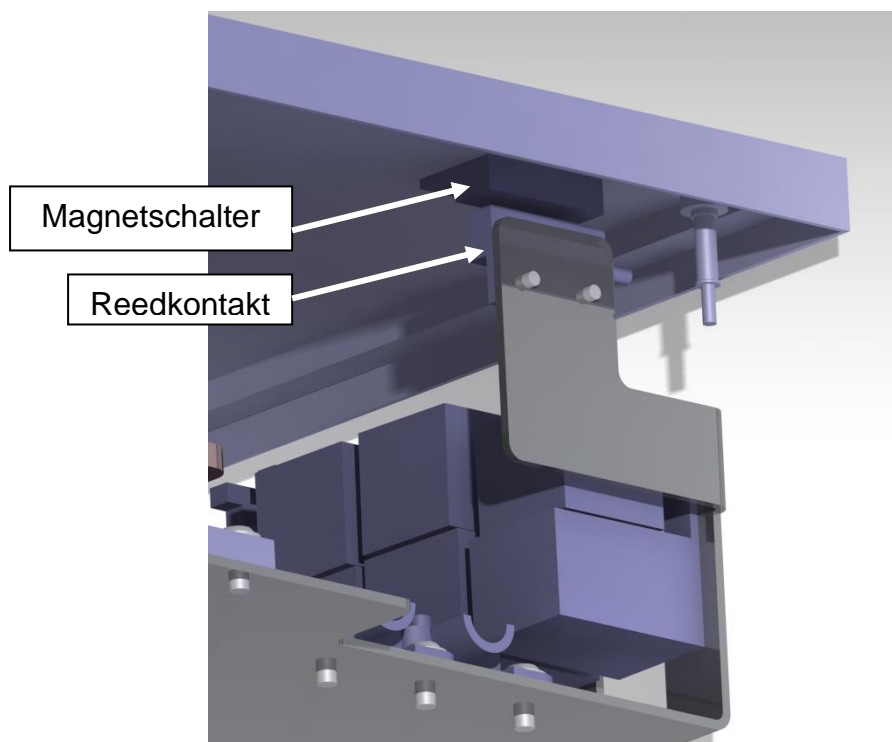


Abb. 40; Reedkontakt mit montiertem Magnetschalter

Der Magnetschalter wird an dem Deckel, mit einem Doppelseitigem Klebeband, klebend befestigt. Um den Montageprozess zu vereinfachen und um große Toleranzen zu vermeiden wird eine passende Klebevorrichtung konstruiert und im 3D-Druck-Verfahren gefertigt (Abb. 41).

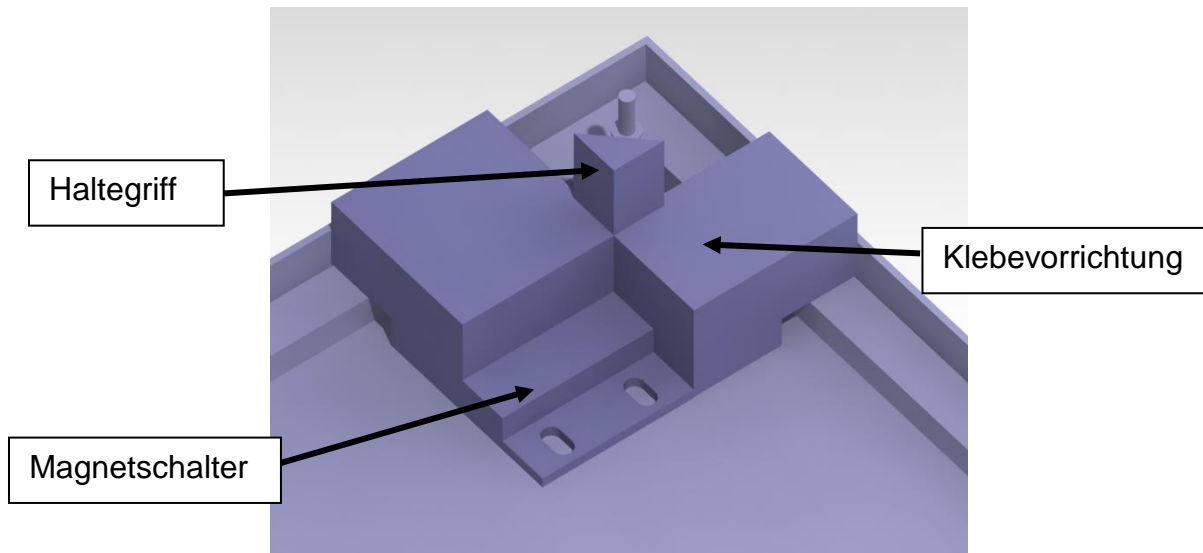


Abb. 41; Magnetschalter mit Klebevorrichtung

Die Trägerplatte (Abb. 42) wird konstruiert, um die Anbindung der HV-Box am Längsträger zu ermöglichen. Sie besteht aus 3mm starkem, verfestigtem Aluminium und wird ebenfalls mit Wasserstrahl geschnitten. Es wird eine Kantung an der Oberseite über der Box benötigt, um den angrenzenden Multiträger abzustützen. Der Kantradius wird mit Ausschnitten versehen, um somit die nötige Kantkraft zu senken. Die Trägerplatte wird mit vier M6 Schrauben in die im Längsträger befindlichen Blindnietmuttern verschraubt. Laut Herstellerangaben (Anhang C) wird ein maximales Anzugsmoment von $20Nm$ vorgeschrieben. Die HV-Box wird mit Befestigungsfüßen von Rittal und der Trägerplatte verschraubt. Die Füße werden mit je einer Dichtung zur HV-Box und mit je einer M8 Schraubenverbindung befestigt. Die Anbindung zur Trägerplatte findet ebenfalls mit je einer M8 Schraube statt, jedoch wird diese in eine passende Blindnietmutter eingesetzt. Hier wird ein maximales Anzugsmoment von $29Nm$ festgesetzt.

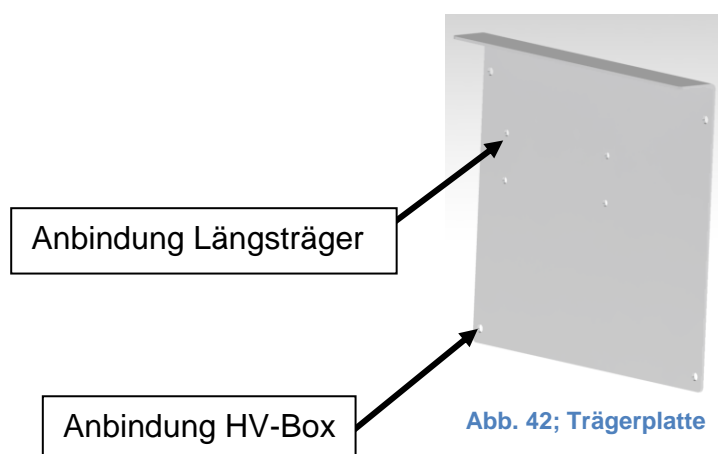


Abb. 42; Trägerplatte

Die Einzelteile werden mit entsprechender Verschraubung in CAD zusammengesetzt (Abb. 43). Die stromführenden Teile werden mit V2A Sechskantschrauben und ggf. mit Kupfermuttern versehen. Alle anderen Teile werden mit V2A Torx Schrauben befestigt.

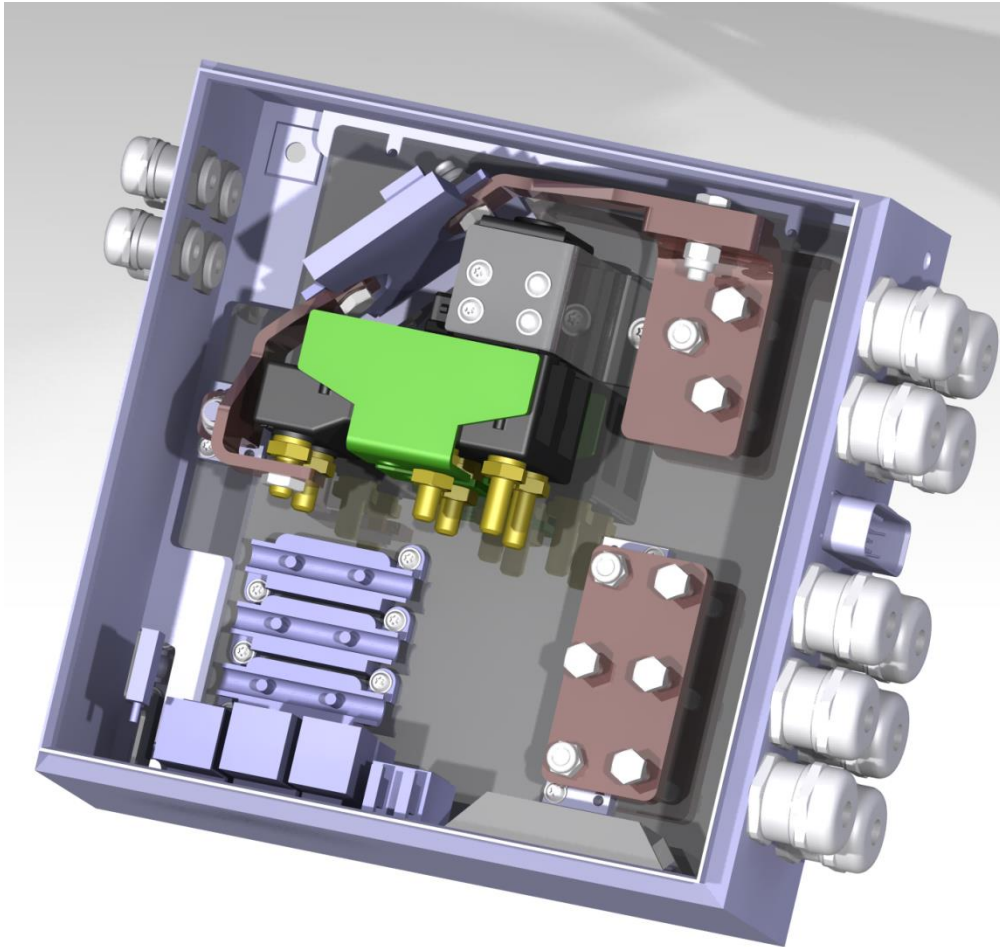


Abb. 43; Zusammenbau HV-Box

6.4.3 Thermdrill®

Thermdrill ist ein Verfahren, um in dünnwandigen Materialien Gewindebuchsen einzubringen (Abb. 44). Im ersten Schritt, Thermobohren, wird mithilfe eines speziell geschliffenen Vollhartmetalls, mittels Reibungshitze, spanlos eine Buchse in das vorhandene Material eingebracht. Durch die Wärmezufuhr wird eine Verfestigung der Buchse erreicht. So entsteht ausreichend Platz für eine tragfähige Gewindelänge. Im zweiten Schritt, Gewindeformen, wird die Gewindelänge im spanlosen Verfahren in die Buchse gedrückt. Durch diese Kaltverformung steigert sich ebenfalls lokal die Festigkeit ohne den genannten „Faserverlauf“ zu durchtrennen. Das Ergebnis (Abb. 45) ist eine Gewindebuchse mit 4-5 tragenden Gewindegängen, die sofort einsetzbar ist [20].



Abb. 44; Thermdrill® Verfahren



Abb. 45; Thermdrill® Buchse

6.5 Montage im Fahrzeug

Die Trägerplatte wird im ersten Schritt mit den vier M8 Blindnietmuttern versehen. Ebenfalls der Längsträger mit den M6 Blindnietmuttern. Es wird die Trägerplatte mit vier M6 Schrauben am Längsträger befestigt. Nach der Anbringung der HV-Box mit den vier M8 Schrauben an der Trägerplatte werden die HV-Leitungen eingebunden. Es ist vorgesehen, die M32 EMV-Verschraubungen nach einer Montagereihenfolge (1-10) zu belegen. Der Ausgangspunkt ist in beiden Richtungen der E36 Stecker. Von dort aus beginnend werden die Leitungen verlegt und befestigt (Abb. 46).

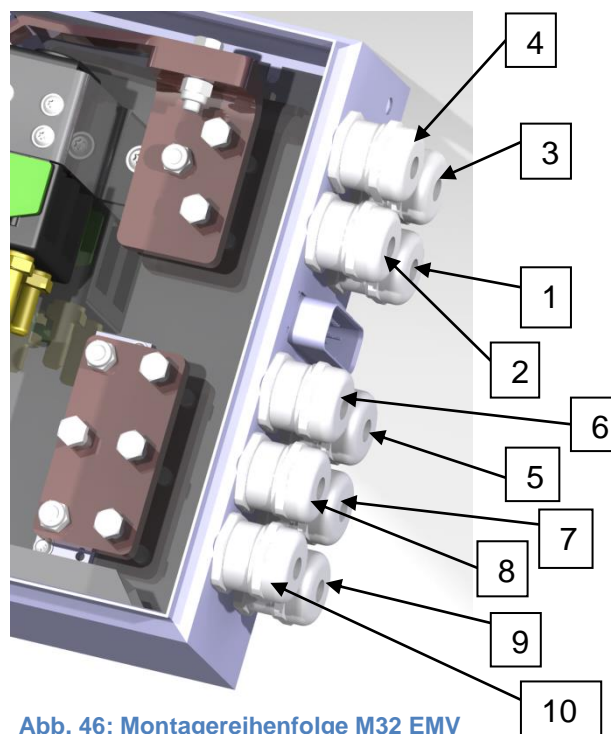


Abb. 46; Montagereihenfolge M32 EMV

Die M20 Verschraubungen werden ebenfalls nach einer Montagereihenfolge (1-4) belegt. Hier ist die obere, am Längsträger dichtere, der Startpunkt (Abb. 47).

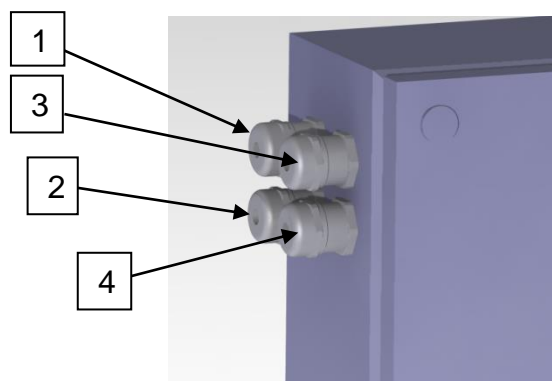


Abb. 47; Montagereihenfolge M20 EMV

Nach dem Anschließen der externen Leitungen und Herstellung der elektrischen Verbindung wird der Deckel geschlossen und mit dem Warnhinweis „Achtung Hochspannung“ versehen. Nach dem erfolgreichen Funktionstest wird die Interlockschaltung geprüft. Bei eingeschalteter Hochvoltanlage wird der Deckel geöffnet und es müssen alle Schütze abfallen und der Hochvoltbereich inaktiv geschaltet werden. Dieser Test darf nur von Fachpersonal mit entsprechender Hochvoltschulung durchgeführt werden.



Abb. 48; Endlage im Fahrzeug

7 Ausblick für zukünftige Entwicklungen

Im Laufe der aktuellen Entwicklung und Fertigung hat sich aufgezeigt, dass das Produkt nicht in allen Punkten die beste Lösung ist. Durch ein Erstellen einer intern geschützten BOM (Bill of Material) wurde ersichtlich, dass die geforderten max. Kosten unterschritten wurden. Jedoch bestehen dort noch Möglichkeiten von Kostenreduktionen. In erster Hinsicht wird der geforderte Bauort in Frage gestellt. Durch diese Bedingung ist es erforderlich je zwei Leitungen pro Traktionsbatterie über den Antriebsstrang zu verlegen. Der dort zur Verfügung stehende Bauraum ist für die größtmögliche Anzahl von Traktionsbatterien zu eng bemessen. Abhilfe könnte ein Verlegen der HV-Box hinter die erste Traktionsbatterie bzw. hinter den Antriebsstrang schaffen. Dadurch lassen sich Leitungslängen und nötiger Bauraum zur Verlegung einsparen. Es folgt die Verlängerung der Inverterleitungen, aber die Anzahl ist auf zwei begrenzt. Die zwei Leitungen lassen sich demnach leichter über den Antriebsstrang verlegen. Die benötigten Halter für Leitungen können ebenfalls kleiner dimensioniert werden und somit werden weitere Kosten eingespart. Die Einkürzung der Leitungen im Allgemeinen bringt den Vorteil von geringeren Spannungsfällen und somit senken sich die Verluste.

Durch eine Erhöhung der Stückzahlen und neue Anforderungen hinsichtlich des Bauorts kann es sinnvoll sein, ein eigens für die Anwendung konstruiertes Aluminiumdruckgussgehäuse zu erstellen.

Optimierung bedarf es auch bei der Kabeleinführung an der HV-Box. Die Montage der EMV-Verschraubung mit den Leitungen ist sehr zeitaufwendig. Durch den begrenzten Bauraum ist ein Einhalten der Montagereihenfolge unerlässlich. Dies erschwert im Servicefall die Zugänglichkeit einzelner Verschraubungen. Der Markt gibt zur aktuellen Zeit keine passenden Alternativen in dem Spannungsbereich von 110V an. Im Bereich von 400V besteht die Möglichkeit von Hochvoltsteckverbindern. Diese garantieren weniger nötigen Bauraum und sind montage- und wartungsfreundlicher. Durch eine Spannungsanhebung im gesamten Fahrzeug lassen sich Querschnitte von Leitungen und Kupferschienen, bei gleicher Leistung, minimieren.

Es besteht die Möglichkeit, dass bei Verwendung mehrerer DC/DC Wandler eine Einzelabsicherung von Nöten sein wird. Wird dies der Fall, sind die Midi Sicherungshalter keine passende Auswahl. Durch eine Einzelabsicherung kann die Dimensionierung der Sicherungen vermindert werden. Eine geringere Belastung erfordert kleinere Sicherungen und somit werden handelsübliche Kfz-Flachsicherungen praktikabler. Durch den begrenzten Bauraum an dieser Stelle und der geringen Bauweise der Flachsicherungen wird ein am Markt erhältlicher Sicherungshalter mit bis zu 10 Sicherungen empfohlen.

8 Literaturverzeichnis

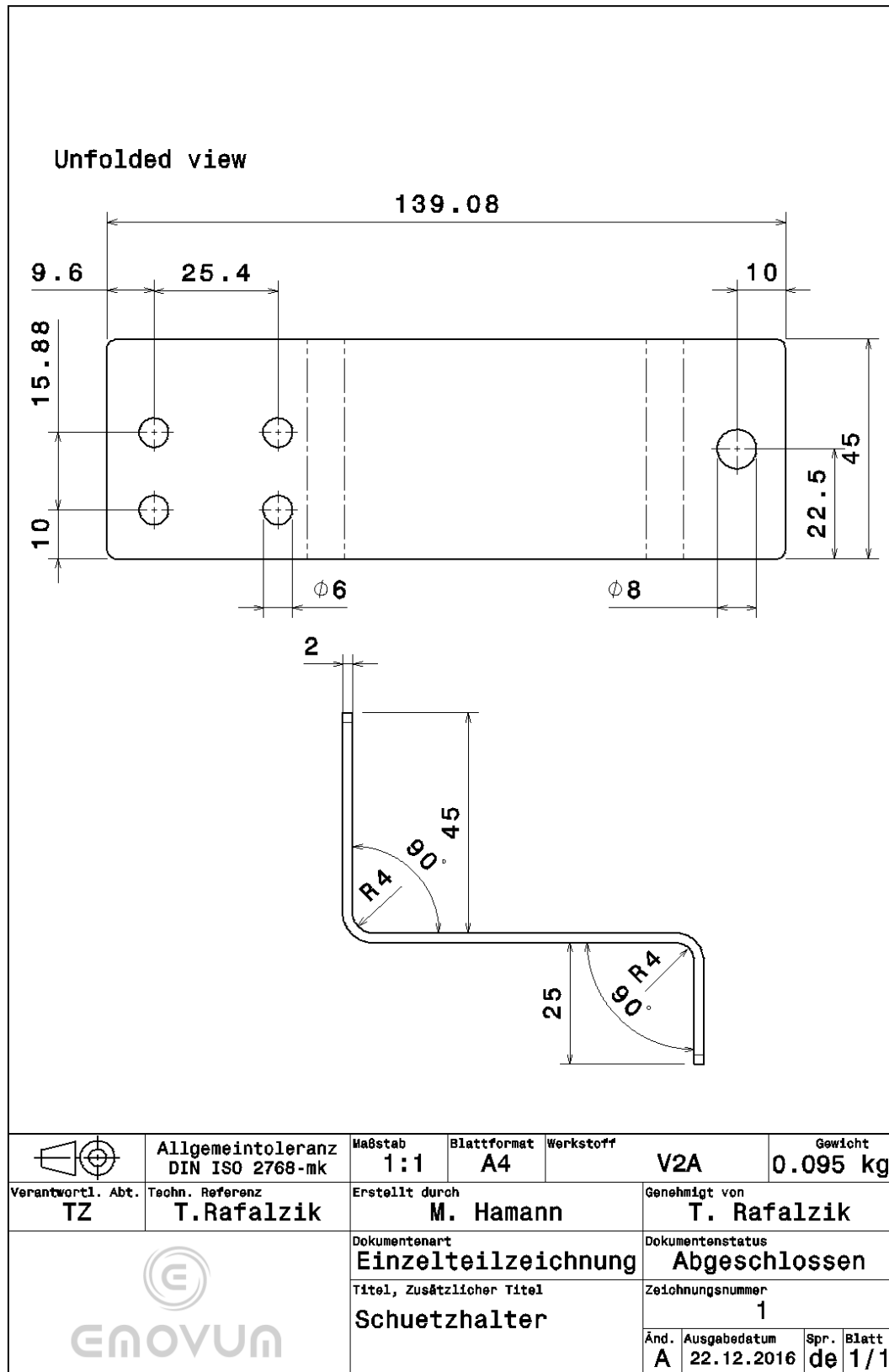
- [1] **Müller, Johannes, Standke, Ingo und Steber, Werner.** *Handbuch zur Schulung von Fachkundigen für Arbeiten an HV-Systemen.* Bonn : Vogel Buchverlag, 2014.
- [2] **Bach, Markus.** e-stations. [Online] 2017. [Zitat vom: 3. Februar 2017.] <https://www.e-stations.de/wissen/stecker>.
- [3] **Stan.** *Alternative Antriebe für Automobile Hybridsysteme, Brennstoffzellen, alternative Energieträger.* Berlin : Heidelberg Springer-Verlag, 2012.
- [4] **Müller, Fabian und Simon, Rainer.** all-electronics. [Online] 2017. [Zitat vom: 11. Januar 2017.] <http://www.all-electronics.de/sensor-und-mehr/>.
- [5] **Aurubis AG; Wieland-Werke AG.** Kupferinstitut. [Online] 2017. [Zitat vom: 9. Februar 2017.] <https://www.kupferinstitut.de/de/werkstoffe/verarbeitung/beschichten/verzinnung-von-kupferwerkstoffen.html>.
- [6] **Dräxlmaier, Fritz, Haslinger, Franz und Gall, Dr. Martin.** draexlmaier. [Online] 2016. [Zitat vom: 2. Dezember 2016.] <https://www.draexlmaier.com/produkte/speichersysteme/hochvolt-schaltboxen/>.
- [7] **Tettngang, Dr.-Ing. Häberle.** *Tabellenbuch Elektrotechnik.* Haan-Gruiten : Europa-Lejrmittel, 2009.
- [8] **Gruber, Sven.** horntools. [Online] 2017. [Zitat vom: 3. Februar 2017.] <http://www.horntools.com/sicherung-355a-p-2698-1.html>.
- [9] **Klassert, Dr. Anton.** kupferinstitut. [Online] 2017. [Zitat vom: 3. Februar 2017.] https://www.kupferinstitut.de/fileadmin/user_upload/kupferinstitut.de/de/Documents/Shop/Verlag/Downloads/Werkstoffe/Datenblaetter/Kupfer/Cu-ETP.pdf.
- [10] **Köhler, Dr.-Ing. Karl-Ulrich.** Rittal. [Online] 2017. [Zitat vom: 3. Februar 2017.] www.rittal.com/imf/none/3_683/.
- [11] **Nippel, Dr. Jochen.** keller-msr. [Online] 2017. [Zitat vom: 3. Februar 2017.] <http://www.keller-msr.de/applikation/definition-und-einfluss-emissionsgrad.php>.

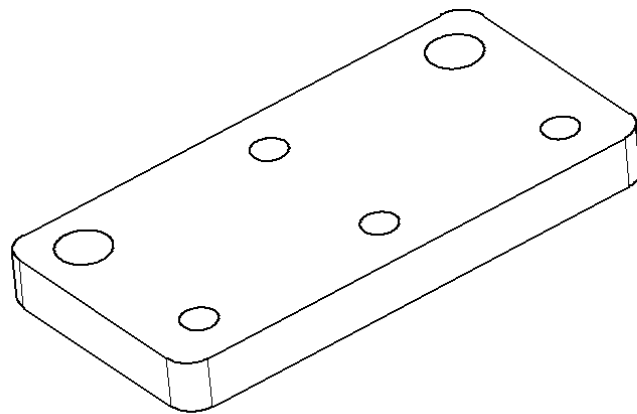
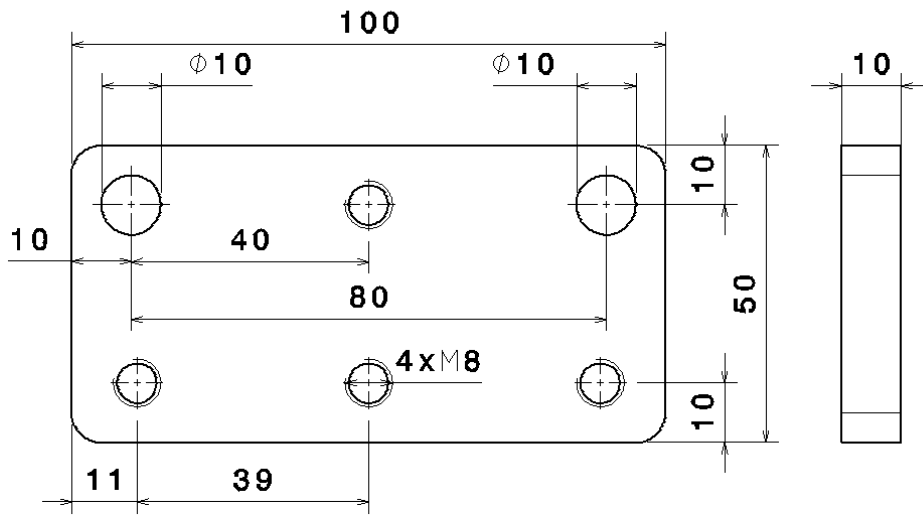
- [12] **Arthur Flury AG.** aflury. [Online] 2017. [Zitat vom: 3. Februar 2017.]
<http://www.aflury.ch/GetAttachment.axd?attaName=63998a90-ef1d-4ae2-b6ce-55d5e30e1e54>.
- [13] **Wegertseder, Manfred.** wegertseder. [Online] 2017. [Zitat vom: 4. Februar 2017.]
<https://www.wegertseder.com/TechDat/TechDat.aspx?ShowTechDat=MaterialStainlessSteel4&Anchor=440>.
- [14] **Lang, Stefanie, Suleder, Michael und Heuer, Prof. Dr. Dieter.** chemgapedia. [Online] 2017. [Zitat vom: 4. Februar 2017.]
http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/dynamik/reibung.vlu/Page/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/dynamik/kap3_reibung/reibung_01/reibung_01_01.vscml.html.
- [15] **Jeske, Prof. Dr.-Ing. Michael.** Maschinenelemente Vorlesungsskript. Hamburg : s.n., 2013. SS13/14.
- [16] **Illgner, Karl H. und Blume, Dietrich.** *Schrauben-Vademecum*. Neuss : Bauer u. Schaurte Karcher, 1985.
- [17] **Nagler, André.** normalien. [Online] 2017. [Zitat vom: 4. Februar 2017.]
http://www.normalien.de/pdf/de/Kupfer_D.pdf.
- [18] **Wiegand, Heinrich und Illgner, Karl-Heinrich.** *Berechnung und Gestaltung von Schraubenverbindungen*. s.l. : Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1962.
- [19] **Wittel, Herbert, Jannasch, Dieter und Voßiek, Joachim.** *Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung*. Berlin; Heidelberg : Springer-Verlag, 2016.
- [20] **Waldmann, Oliver.** Thermdrill. [Online] 2017. [Zitat vom: 7. Februar 2017.]
<http://www.thermdrill.de/gewindebuchse-fliessbohren-statt-nietmutter>.

9 Anhang

Anhang A	Technische Zeichnungen
Anhang B	Auszug KBA
Anhang C	Datenblatt Blindnietmutter Würth
Anhang D	Datenblatt Inverter
Anhang E	Selbstständigkeitserklärung

Anhang A

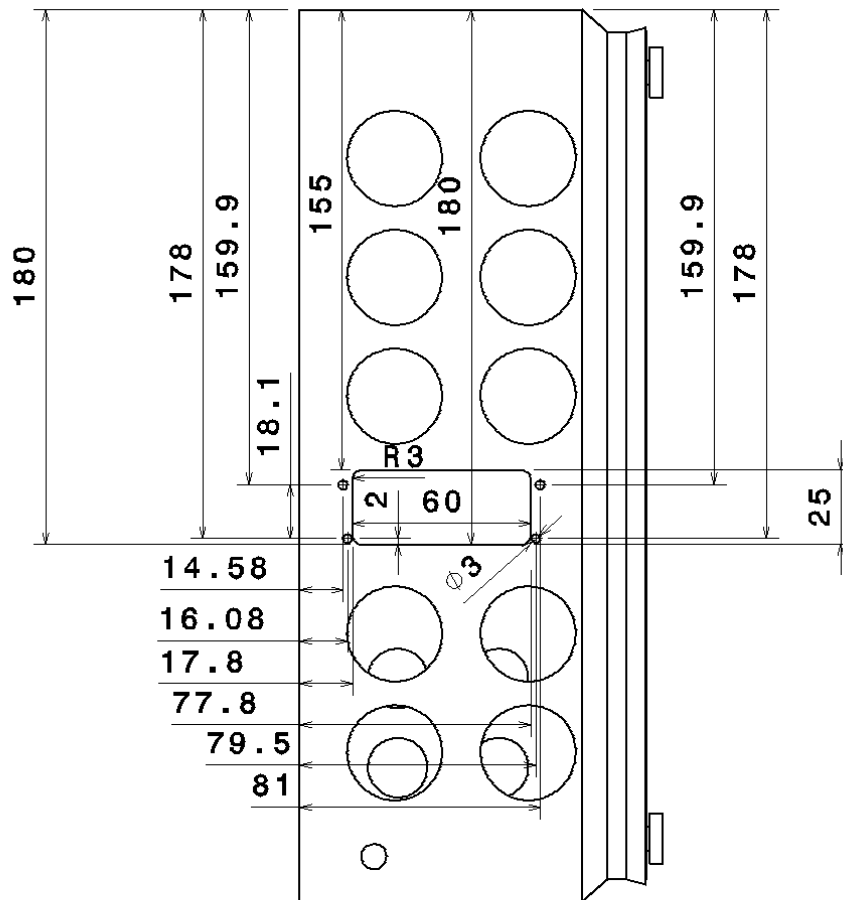




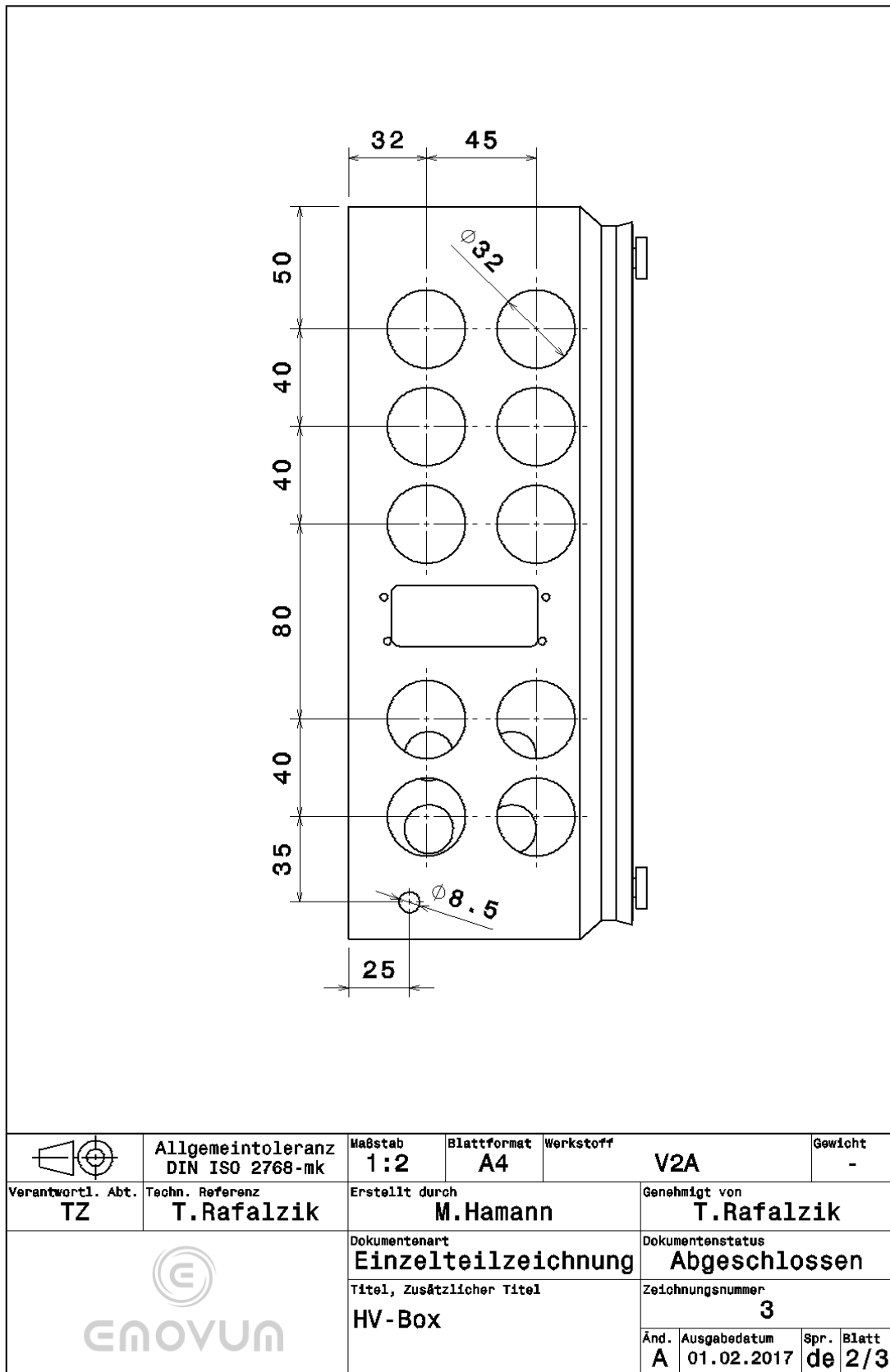
Isometric view

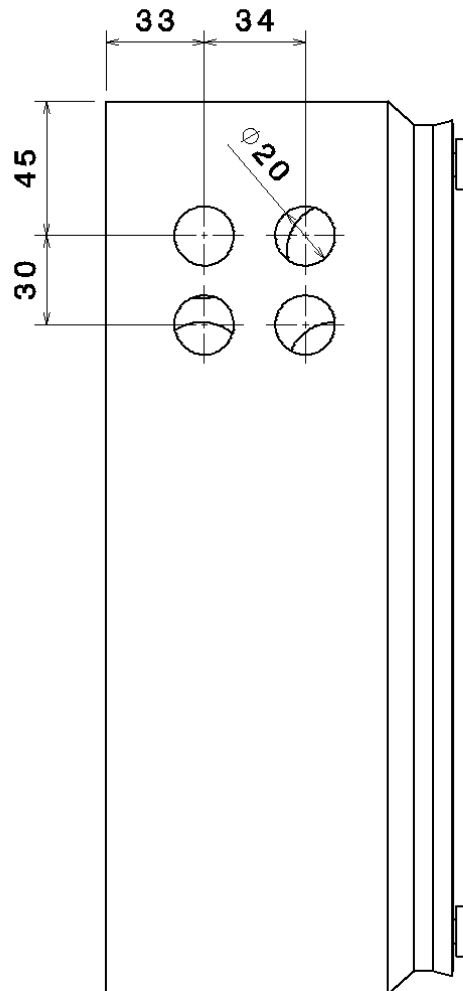
Alle nicht bemaßten Radien sind 5 mm

	Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-mk	Maßstab 1:1	Blattformat A4	Werkstoff Cu-ETP	Gewicht 0.417 kg
Verantwortl. Abt. TZ	Techn. Referenz T. Rafalzik	Erstellt durch M. Hamann		Genehmigt von T. Rafalzik	
		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus Abgeschlossen	
		Titel, Zusätzlicher Titel P2		Zeichnungsnummer 2	
		Änd. A	Ausgabedatum 22.12.2016	Spr. de	Blatt 1/1

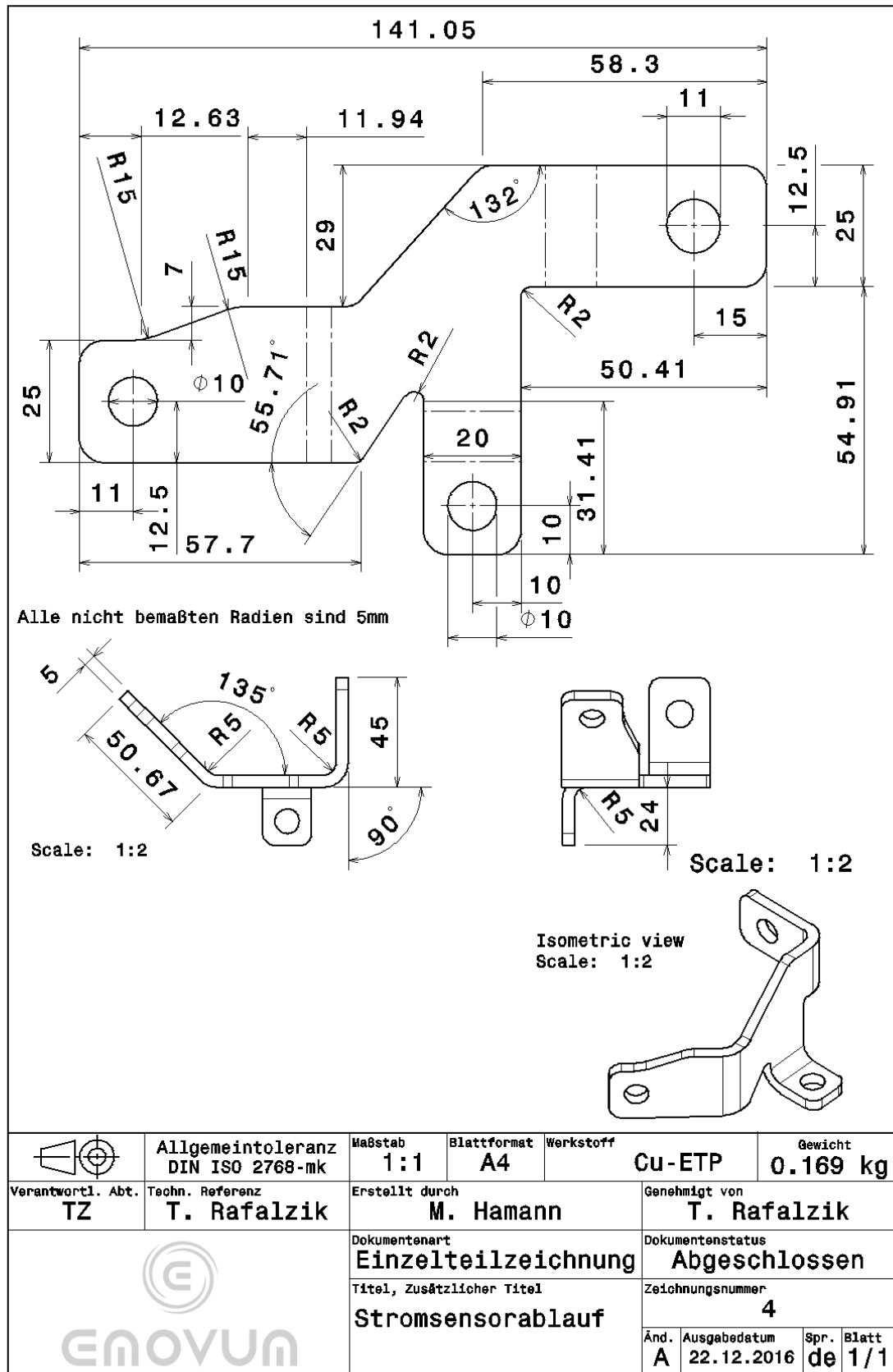


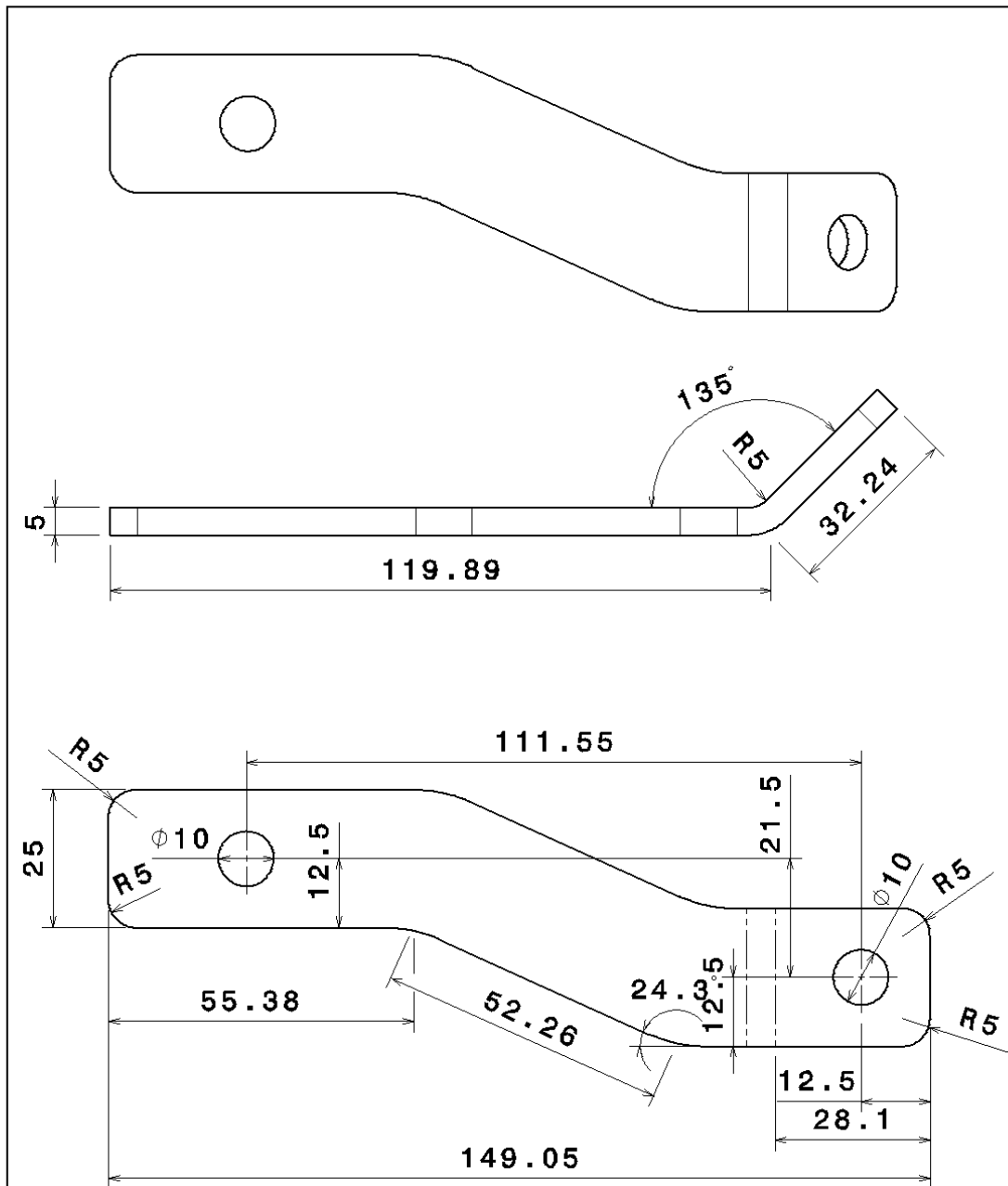
	Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-mk	Maßstab 1:2	Blattformat A4	Werkstoff V2A	Gewicht -
Verantwortl. Abt. TZ	Techn. Referenz T.Rafalzik	Erstellt durch M.Hamann		Genehmigt von T.Rafalzik	
		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus Abgeschlossen	
		Titel, Zusätzlicher Titel HV-Box		Zeichnungsnummer 3	
Änd. A	Ausgabedatum 01.02.2017	Spr. de	Blatt 1/3		





	Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-mk	Maßstab 1:2	Blattformat A4	Werkstoff V2A	Gewicht -
Verantwortl. Abt. TZ	Techn. Referenz T.Rafalzik	Erstellt durch M.Hamann		Genehmigt von T.Rafalzik	
		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus Abgeschlossen	
		Titel, Zusätzlicher Titel HV-Box		Zeichnungsnummer 3	
		Änd. A	Ausgabedatum 01.02.2017	Spr. de	Blatt 3/3

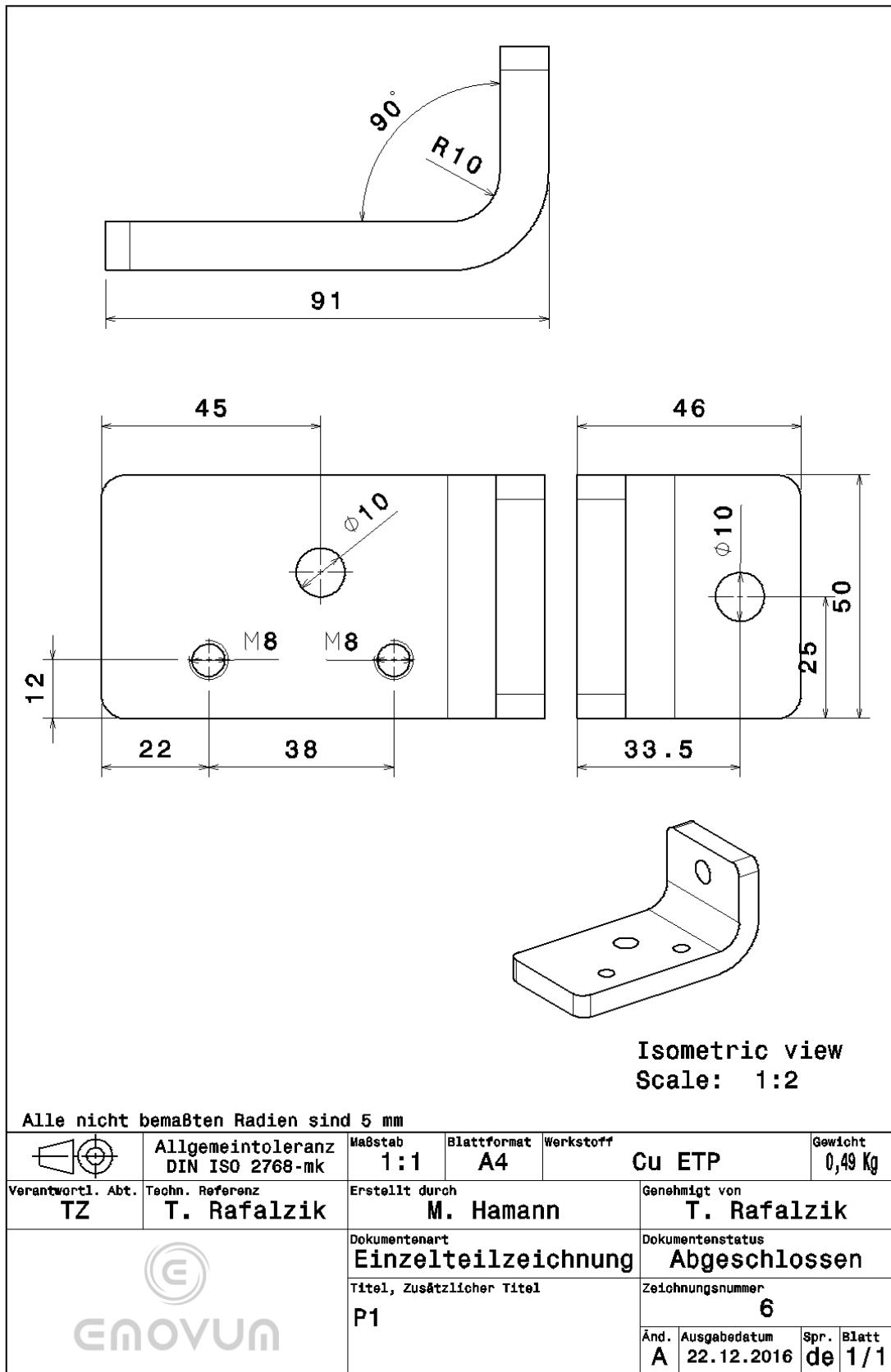


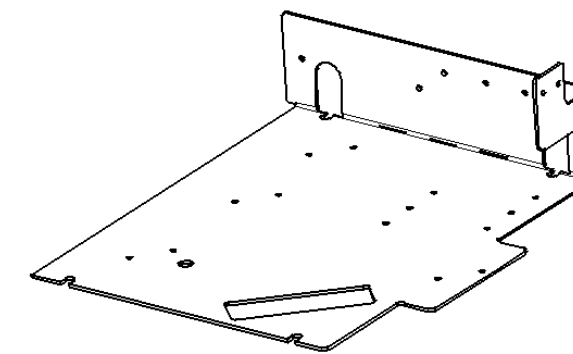
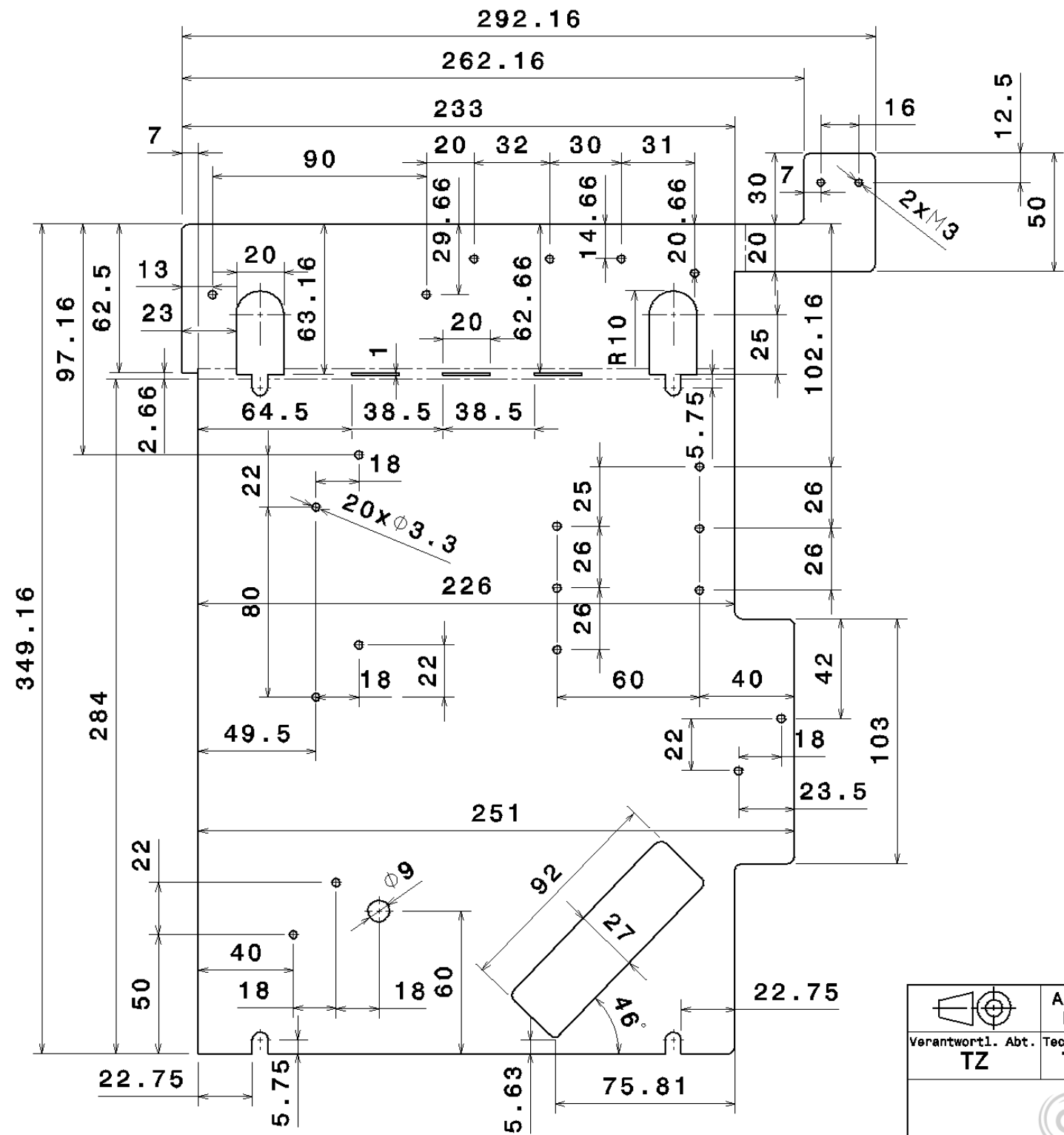


Unfolded view

Alle nicht bemaßten Radien sind 50mm

	Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-mk	Maßstab 1:1	Blattformat A4	Werkstoff Cu-ETP	Gewicht 0,14 Kg
Verantwortl. Abt. TZ	Techn. Referenz T. Rafalzik	Erstellt durch M. Hamann		Genehmigt von T. Rafalzik	
		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus Abgeschlossen	
		Titel, Zusätzlicher Titel Stromsensorzulauf		Zeichnungsnummer 5	
		Änd. A	Ausgabedatum 02.01.2017	Spr. de	Blatt 1/1





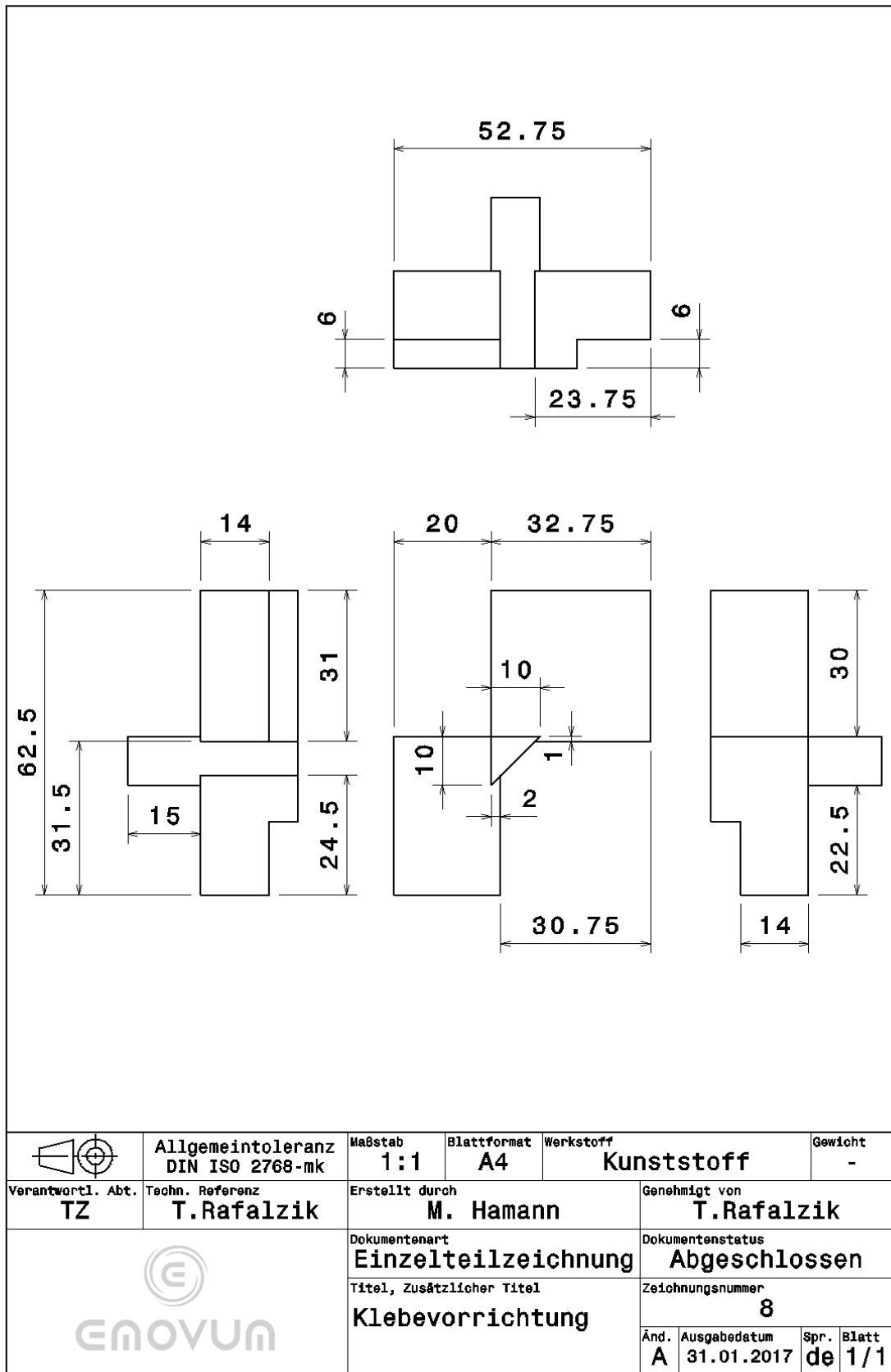


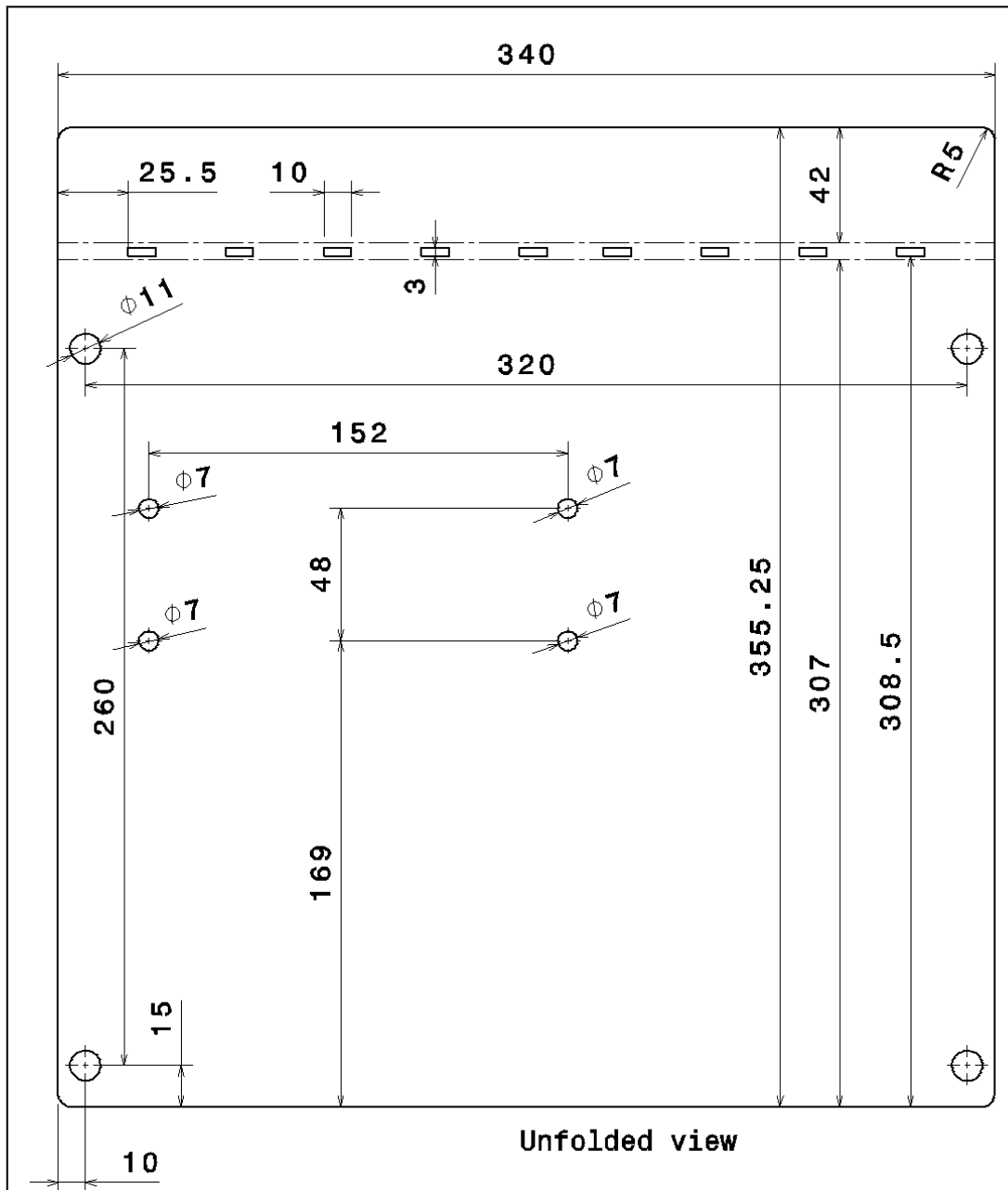
Isometric view
Scale: 1:4

Alle nicht bemaßten Radien sind 3.25 mm
Der Kantwinkel beträgt 90°
Der Kantradius beträgt 2mm

Unfolded view

	Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-mk	Maßstab 1:2	Blattformat A3	Werkstoff Stahl	Gewicht 1,23kg
Verantwortl. Abt. TZ	Techn. Referenz T. Rafalzik	Erstellt durch M. Hamann		Genehmigt von T. Rafalzik	
			Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus Abgeschlossen
			Titel, Zusätzlicher Titel Grundtreager		Zeichnungsnummer 7
Änd.	Ausgabedatum	Spr.	Blatt		
A	02.01.2017	de	1/1		





Der obere Teil wird mit $R=3\text{mm}$ um 90° gekantet, es steht orthogonal auf der Zeichnungsebene. Dicke $t=3\text{mm}$

	Allgemeintoleranz DIN ISO 2768-mk	Maßstab 1:2	Blattformat A4	Werkstoff Aluminium	Gewicht 970g
Verantwortl. Abt. TZ	Techn. Referenz T.Rafalzik	Erstellt durch M.Hamann		Genehmigt von T.Rafalzik	
		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus Abgeschlossen	
		Titel, Zusätzlicher Titel Traegerplatte		Zeichnungsnummer 9	
		Änd. A	Ausgabedatum 01.02.2017	Spr. de	Blatt 1/1

Anhang B

KBA Neuzulassungen von Personenkraftwagen im Juni 2016 nach Segmenten und Modellreihen.

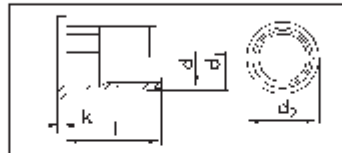
Segment/ Modellreihe ¹⁾	Juni 2016				Januar-Juni 2016			
	Anzahl	Anteil in %	Veränderung gegenüber Juni 2015 in %	darunter gewerbl. Halter Anteil in %	Anzahl	Anteil in %	Veränderung gegenüber Jan.-Juni 2015 in %	darunter gewerbl. Halter Anteil in %
	1	2	3	4	5	6	7	8
UTILITIES								
CITROEN BERLINGO	1 079	7,7	+ 38,3	64,5	5 774	7,9	+ 28,9	62,1
CITROEN JUMPER	39	0,3	X	74,4	177	0,2	+ 50,0	83,1
CITROEN JUMPY	2	0,0	- 98,5	100,0	26	0,0	- 96,9	73,1
DACIA DOKKER	547	3,9	+ 0,4	25,0	2 907	4,0	+ 25,4	21,5
FIAT DOBLO	124	0,9	- 23,5	48,4	732	1,0	- 7,2	61,3
FIAT DUCATO	82	0,6	+ 2,5	57,3	514	0,7	- 0,6	71,8
FIAT FIORINO	35	0,2	X	62,9	210	0,3	- 12,1	70,5
FIAT SCUDO	1	0,0	- 98,9	100,0	31	0,0	- 93,0	64,5
FORD TRANSIT CONNECT	676	4,8	+ 49,6	73,7	2 894	3,9	- 6,7	74,0
FORD TRANSIT COURIER	305	2,2	+ 17,8	53,8	1 667	2,3	- 1,7	58,8
FORD TRANSIT, TOURNEO	515	3,7	- 36,7	90,9	3 872	5,3	- 27,9	91,7
HYUNDAI H-1 STAREX	77	0,5	+ 92,5	75,3	352	0,5	+ 65,3	77,3
MERCEDES CITAN	336	2,4	+ 46,1	51,8	1 861	2,5	+ 30,0	57,9
MERCEDES SPRINTER	382	2,7	+ 30,8	91,4	1 932	2,6	+ 25,2	92,2
MERCEDES VITO	1 227	8,7	X	91,8	4 263	5,8	X	87,9
NISSAN NV200	243	1,7	-	72,8	1 134	1,5	- 2,6	79,6
NISSAN NV400	11	0,1	X	100,0	63	0,1	+ 57,5	87,3
OPEL COMBO	128	0,9	+ 20,8	79,7	510	0,7	+ 30,1	80,2
OPEL MOVANO	26	0,2	+ 4,0	92,3	169	0,2	+ 30,0	88,8
OPEL VIVARO	490	3,5	+ 7,5	93,3	2 077	2,8	- 2,4	90,6
PEUGEOT BOXER	43	0,3	- 10,4	88,4	318	0,4	+ 45,2	89,0
PEUGEOT PARTNER	290	2,1	+ 45,0	55,2	1 580	2,2	+ 61,9	52,2
RENAULT KANGOO	396	2,8	+ 15,5	63,1	2 171	3,0	- 10,3	66,7
RENAULT MASTER	28	0,2	- 3,4	78,6	157	0,2	- 11,3	86,0
RENAULT TRAFIC	255	1,8	- 36,6	78,0	1 356	1,9	+ 42,4	79,9
VW CADDY	2 670	19,0	+ 7,9	69,0	16 108	22,0	+ 10,8	74,6
VW CRAFTER	81	0,6	- 24,3	95,1	555	0,8	+ 14,4	94,1
VW TRANSPORTER	3 988	28,3	+ 13,0	77,2	19 836	27,1	+ 8,1	77,0
SONSTIGE	2	0,0	- 95,8	50,0	30	0,0	- 92,0	80,0
ZUSAMMEN	14 078	4,1	+ 17,9	72,9	73 276	4,2	+ 11,7	73,6

Anhang C



EINNIETMUTTERN

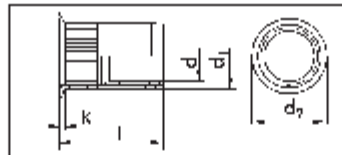
Einnietmutter mit Flachrundkopf



Ge- winde d	Bohr- loch-Ø mm	Klemm- bereich mm	d ₂ +0/-0,5 mm	Kopf- höhe k mm	d ₁ mm	l mm	Art.-Nr.	VE/St.
M3	5,0 - 5,1	0,5 - 2,5	7,0	0,9	4,9	10,5	0948 20 03	100
M4	6,0 - 6,1	0,5 - 3,0	9,0	1,1	5,9	11,0	0948 20 04	100/500
M4	6,0 - 6,1	3,0 - 5,5	9,0	1,1	5,9	14,0	0948 22 04	100/500
M5	7,0 - 7,1	0,5 - 3,0	10,0	1,1	6,9	13,0	0948 20 05	100/500
M5	7,0 - 7,1	3,0 - 5,5	10,0	1,1	6,9	16,0	0948 22 05	100/500
M6	9,0 - 9,1	0,5 - 3,0	12,0	1,6	8,9	16,0	0948 20 06	100/250
M6	9,0 - 9,1	3,0 - 5,5	12,0	1,6	8,9	18,5	0948 22 06	100/250
M8	11,0 - 11,1	0,5 - 3,0	15,0	1,6	10,9	17,5	0948 20 08	100/250
M8	11,0 - 11,1	3,0 - 5,5	15,0	1,6	10,9	20,0	0948 22 08	100/250
M10	12,0 - 12,1	0,5 - 3,0	16,0	2,1	11,9	19,0	0948 20 10	100/250
M10	12,0 - 12,1	3,0 - 6,0	16,0	2,1	11,9	24,0	0948 22 10	100/250
M12	16,0 - 16,1	1,0 - 4,0	22,0	2,1	15,9	25,0	0948 20 12	100

ORSY®-lagerfähig

Einnietmutter mit Senkkopf



Ge- winde d	Bohr- loch-Ø mm	Klemm- bereich mm	d ₂ +0,2/-0,3 mm	Kopf- höhe k mm	d ₁ mm	l mm	Art.-Nr.	VE/St.
M4	6,0 - 6,1	1,5 - 4,0	8,5	1,5	5,9	12,5	0948 32 04	100/500
M5	7,0 - 7,1	1,5 - 4,0	9,5	1,5	6,9	13,5	0948 32 05	100/500
M6	9,0 - 9,1	1,5 - 4,0	11,5	1,5	8,9	15,5	0948 32 06	100/250
M8	11,0 - 11,1	1,5 - 4,0	13,5	1,5	10,9	18,5	0948 32 08	100/250
M10	12,0 - 12,1	2,0 - 4,5	14,5	1,7	11,9	21,0	0948 32 10	100/250
M12	16,0 - 16,1	2,0 - 4,5	19,0	1,9	15,9	24,5	0948 32 12	100

ORSY®-lagerfähig

Mit Schafrändelung

Ausführungen:

Flachrundkopf und Senkkopf

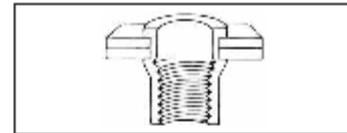
Werkstoff: Stahl verzinkt,
blau passiviert (A2K)

Chrom(VI)-frei: erfüllt die EU-Altauto-
richtlinie

- Einnietmutter kombinieren 2 Befestigungsarten: Blindnietverbindung und eine zusätzliche Schraubverbindung.
- Dadurch besteht vor allem die Möglichkeit, Schraubverbindungen in relativ dünnwandigen Konstruktionselementen einzusetzen.

Vorteile der Schafrändelung:

- Erhöhte Verdrehesicherung und Anzugsdrehmomente.
- Geeignet für die Befestigung aller Materialien besonders für Aluminium, Kunststoff, Fiberglas.



Passende Verarbeitungswerkzeuge



Einnietmutter-Satzzange
Art.-Nr. 0017 1



Einnietmutter-Satzzange HES 510
Art.-Nr. 0048 800



Einnietmutter-Satzzange HES 512
Art.-Nr. 0048 870



Handniet-Satzzange HES 412
Art.-Nr. 0064 048 000



AUSZUGSWERTE DER EINNIETMUTTERN

Bei den angegebenen Werten handelt es sich um **Richtwerte**, die Angaben können deshalb variieren, abhängig je nach Werkstück, Bohrloch-toleranz und Rauigkeit der Oberfläche.

Einniетmuttern mit Flachrundkopf, Stahl			
Art.-Nr.	max. Zugkraft des Gewindes in N	max. Scherkraft in N	max. Anzugsdrehmoment in Nm
0948 20 03	4.900	990	3,0
0948 20 04	7.840	1.660	4,5
0948 22 04	7.840	1.660	4,5
0948 20 05	11.070	2.760	7,8
0948 22 05	11.070	2.760	7,8
0948 20 06	17.640	3.430	20,0
0948 22 06	17.640	3.430	20,0
0948 20 08	27.440	4.410	29,0
0948 22 08	27.440	4.410	29,0
0948 20 010	29.400	4.900	32,0
0948 22 010	29.400	4.900	32,0
0948 20 012	48.020	6.860	43,7

Einniетmuttern mit Senkkopf, Stahl			
Art.-Nr.	max. Zugkraft des Gewindes in N	max. Scherkraft in N	max. Anzugsdrehmoment in Nm
0948 32 04	7.860	2.210	4,0
0948 32 05	10.780	2.320	5,0
0948 32 06	16.660	3.660	16,0
0948 32 08	30.840	4.720	20,0
0948 32 010	34.300	5.050	20,0
0948 32 012	48.000	6.800	43,0

Einniетmuttern mit Flachrundkopf, Aluminium			
Art.-Nr.	max. Zugkraft des Gewindes in N	max. Scherkraft in N	max. Anzugsdrehmoment in Nm
0948 20 3	1.500	-	1
0948 20 4	2.600	-	3
0948 22 4	2.600	-	3
0948 20 5	4.300	-	4
0948 22 5	4.300	-	4
0948 20 6	6.700	-	6
0948 22 6	6.700	-	6
0948 20 8	11.000	-	18
0948 22 8	11.000	-	18
0948 20 10	17.500	-	28
0948 22 10	17.500	-	28

Einniетmuttern mit Senkkopf, Aluminium			
Art.-Nr.	max. Zugkraft des Gewindes in N	max. Scherkraft in N	max. Anzugsdrehmoment in Nm
0948 32 4	2.600	-	3
0948 42 4	2.600	-	3
0948 32 5	4.300	-	4
0948 42 5	4.300	-	4
0948 32 6	6.700	-	6
0948 42 6	6.700	-	6
0948 32 8	11.000	-	18
0948 42 8	11.000	-	18
0948 32 10	17.500	-	28
0948 42 10	17.500	-	28

Anhang D

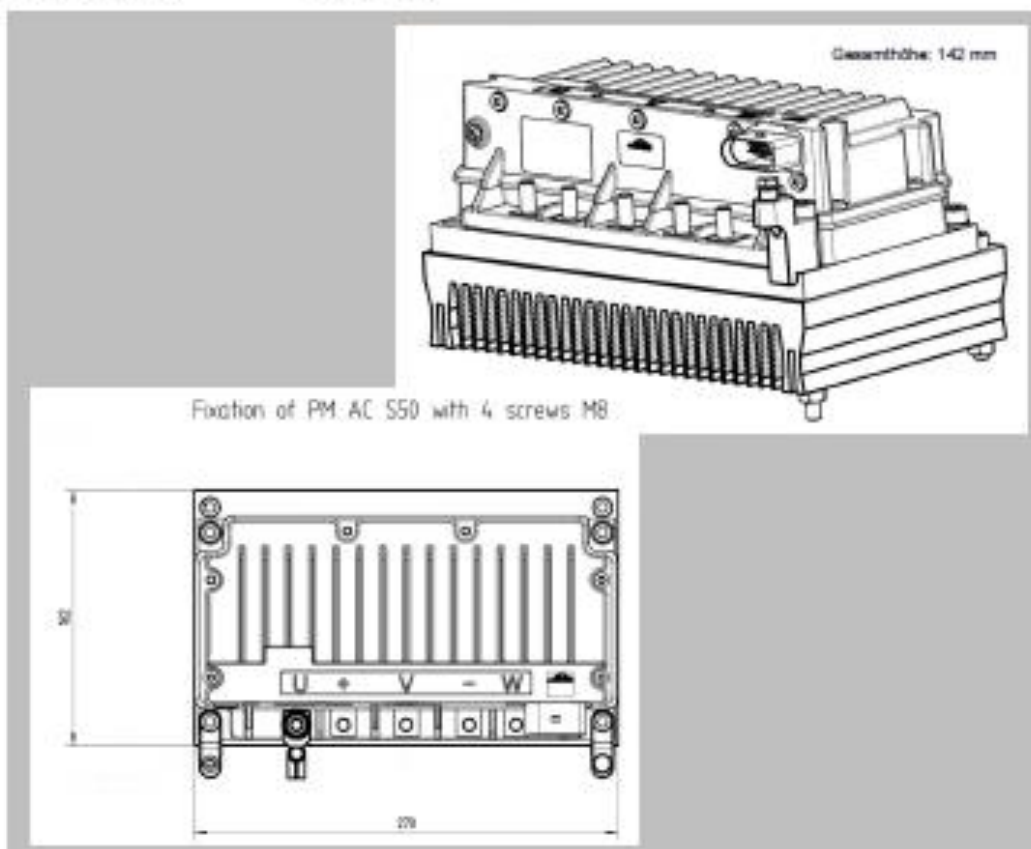
Datenblatt Linde Inverter

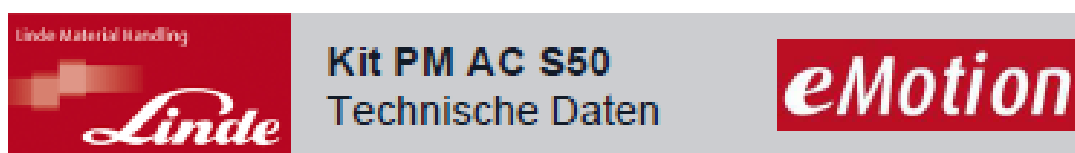


Zielanwendung	Vektorregelung Linde Elektromotoren
Leistung	5 - 50 kW
Maximalstrom	750 A

Komponenten

Leistungsmodul	PM AC S50 80V
Kühlkörper	Hochleistungskühlkörper
Lüfter	Schutzklasse IP54
Luftführung	optional





Elektrisch

Maximalströme (75°C Bodenplattentemperatur)

I_{Dauer}	300 A
$I_{2 \text{ min}}$	600 A
$I_{3 \text{ sec}}$	750 A

Spannungsversorgung

Batterienennspannung	24V, 48V, 80V
Max. Zwischenkreisspannung	140 V (Hardware)
Min. Batteriespannung	24 V
Nennsignalversorgungsspannung	12V (DC) oder 24 V (DC)
Signalversorgungsspannung	8...16 V oder 17...32 V
Stromaufnahme	< 250 mA (PWM aktiv)

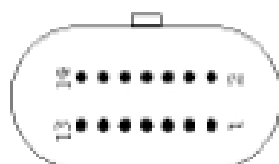
Kurzschlusschutz

Die Motorphasen U, V und W sind durch Stromsensoren überwacht. Ein Überstrom oder Kurzschluss der Phasen gegen Batterieplus, Batterieminus oder gegen die anderen Phasen wird erkannt und abgeschaltet.

Ein Überstrom oder Kurzschluss im Motor wird erkannt und abgeschaltet.

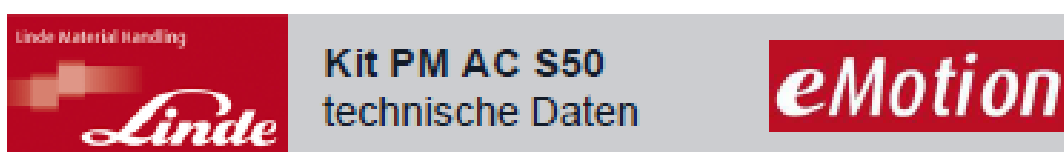
Ein harter Kurzschluss direkt an den Umrichterklammern, sowie eine Verpolung ist zu vermeiden.

Anschlussstecker



Pin	Funktion	Pin	Funktion
13	nc	14	Temp_Mot_2
11	nc	12	Temp_Mot_1
9	nc	10	/Freigabe_UMR
7	+Sens_ext	8	+24V_Bus
5	SG_DZB_IN	6	CAN_L
3	SG_DZA_IN	4	CAN_H
1	GND	2	GND_Bus

Passende Buchse am Kabelbaum VW-Nr. 6X0 973 717



Mechanisch

Lebensdauer

>20.000 Bh oder 15 Jahre

Umgebungstemperatur

Umgebungstemperatur Fahrzeug: $-40^{\circ}\text{C} \leq \delta_{\text{U}} \leq 40^{\circ}\text{C}$

Temperatur Einbauraum: $-40^{\circ}\text{C} \leq \delta_{\text{E}} \leq 70^{\circ}\text{C}$

Temperatur Bodenplatte: $-40^{\circ}\text{C} \leq \delta_{\text{B}} \leq 75^{\circ}\text{C}$

Schutzklasse

IP65 (außer Leistungskontakte)

Außenabmessungen

Grundfläche 140x262 mm (ohne Kühlkörper)

Höhe 85 mm (ohne Kühlkörper)

Anhang E



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Hamann

Vorname: Michael

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Entwicklung und Auslegung einer Hochvoltverteilungsbox für die Umrüstung eines Fiat Ducatos auf Elektroantrieb

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Hamburg
Ort

24.2.17
Datum

[Handwritten Signature]
Unterschrift im Original