



Hochschule Anhalt
Anhalt University of Applied Sciences

emw

Fachbereich
Elektrotechnik, Maschinenbau
und Wirtschaftsingenieurwesen

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Engineering (B. Eng.)

Fabian Pischel

Vorname Nachname

Fernstudium Elektrotechnik, 2012, 4057039

Studiengang, Matrikel, Matrikelnummer

Thema:

**Konzeption und Projektierung einer mobilen
Weichenheizanlage für den temporären Einsatz
im Bahnbetrieb**

Prof. Dr. Jürgen Schwarz

Vorsitzende(r) der Bachelorprüfungskommission/1. Prüfer(in)

Prof. Dr. Hilmar Killmey

2. Prüfer(in)

10. 05. 2017

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen, einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software, verwendet wurden.

Halle/Saale, 10.05.2017,

Ort, Datum, Unterschrift

Sperrvermerk

Sperrvermerk: ja nein

wenn ja: Der Inhalt der Arbeit darf Dritten ohne Genehmigung der/des (Bezeichnung des Unternehmens) nicht zugänglich gemacht werden. Dieser Sperrvermerk gilt für die Dauer von X Jahren.

10.05.2017,

Datum, Stempel und Unterschrift

Angaben zum Unternehmen

Logo des Unternehmens



Name des Unternehmens

DB Netz AG – Regionalbereich Südost

Abteilung

Leit- und Sicherungstechnik

Name des Betreuers

Dipl.-Ing. (FH) Mandy Barth

Kontaktdaten

Anschrift des Standortes, an dem
die Arbeit verfasst wurde

DB Netz AG, PD Halle (Saale)
Delitzscher Straße 12, 06112 Halle

E-Mail-Adresse des Betreuers

mandy.barth@deutschebahn.com

Kurzzusammenfassung

Die nachfolgende Bachelorarbeit „Konzeption und Projektierung einer mobilen Weichenheizanlage für den temporären Einsatz im Bahnbetrieb“ wurde von Fabian Pischel, geb. am 26.09.1986 in Halle/Saale, im Jahr 2017 erstellt. In der Arbeit wurde ein Konzept entwickelt, kurzfristig auszurüstende Weichen oder defekte Weichenheizungen mit einem mobilen Energiesystem zu versorgen. Nach dem aktuellen Stand der Technik werden Weichenheizeinrichtungen aus dem 50-Hz-Versorgungsnetz oder dem 16,7-Hz-Oberleitungsnetz gespeist. Eine Anbindung an diese Netze lohnt sich aber nicht immer, denn kurze Standzeiten machen eine solche Planung ineffizient. Die mobile Weichenheizanlage soll diese Lücke schließen. Bei der Auslegung und Projektierung der Anlage müssen diverse Richtlinien der Deutschen Bahn AG integriert werden. Zuerst wurde die Anlage unabhängig von der Einspeiseform konzeptioniert. Die Heizstäbe und die Steuerung der mobilen Anlage sind für beide Energiebezüge dieselben. Die Schutzmaßnahmen und das Erdungskonzept müssen in jeden Fall angewendet werden. Die Dimensionierung der Anlage umfasst den Leistungsstromkreis mit seinen Heizabgängen und den Steuerstromkreis für die Leistungsabgänge mit der Steuereinheit. Im Rahmen des Energiemanagements werden Witterungssensoren in die Anlage integriert, um eine effiziente Anlage zu gestalten. Die Überwachung der Anlage wird über ein Funkmodul realisiert und kann aus der Ferne geschehen. Für die Energieeinspeisung gibt es zwei unterschiedliche Varianten, die Eine wird von einem Dieselaggregat und die Andere von einer Brennstoffzelle mit Wechselrichter betrieben. Beide erfordern ein erhöhtes Sicherheitsrisiko in Folge vom Umgang mit Brenn- und Kraftstoffen. Die Arbeit soll nun die Grundlage für die Erstellung einer solchen Anlage darstellen.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	II
TABELLENVERZEICHNIS	III
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IV
FORMELVERZEICHNIS	V
1 MOTIVATION UND ZIELSETZUNG	1
1.1 EINLEITUNG IN DIE THEMATIK.....	1
1.2 ZIELSETZUNG DER ARBEIT.....	1
2 STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK	2
2.1 ENERGIEBEZUG VON WEICHENHEIZANLAGEN.....	2
2.1.1 WEICHENHEIZANLAGEN AM 16,7-HZ-OBERLEITUNGSNETZ.....	2
2.1.2 WEICHENHEIZANLAGEN AM 50-HZ-VERSORGUNGSNETZ.....	13
2.2 WEICHENHEIZEINRICHTUNG.....	15
2.2.1 HEIZKÖRPER.....	15
2.2.2 BACKENSCHIENEN-, HERZSTÜCK- UND VERSCHLUSSFACHHEIZUNG.....	16
2.3 DIESELAGGREGATE ALS NETZERSATZANLAGEN BEI DER DEUTSCHEN BAHN.....	18
2.4 BRENNSTOFFZELLEN ALS NETZERSATZANLAGEN BEI DER DEUTSCHEN BAHN.....	19
3 AUSLEGUNG UND PROJEKTIERUNG DER MOBILEN WEICHENHEIZANLAGE	20
3.1 PROJEKTIERUNG UNABHÄNGIG VOM ENERGIEBEZUG.....	20
3.1.1 RANDPARAMETER DER AUFSTELLUNG.....	20
3.1.2 SCHUTZMAßNAHMEN.....	23
3.1.3 ERDUNGSKONZEPT.....	25
3.1.4 LEISTUNGSBEDARF.....	26
3.1.5 ENERGIEMANAGEMENT.....	27
3.1.6 DIMENSIONIERUNG DER WEICHENHEIZANLAGE.....	29
3.1.7 FERNÜBERWACHUNG DER ANLAGE.....	36
3.2 ENERGIEBEZUG AUS DIESELAGGREGAT.....	38
3.2.1 ENERGIEGEWINNUNG AUS DIESELKRAFTSTOFF.....	39
3.2.2 NORMEN, RECHT UND SICHERHEITSHINWEISE.....	40
3.2.3 AUFSTELLUNGSVARIANTEN.....	41
3.2.4 DIMENSIONIERUNG DES AGGREGATES.....	42
3.3 ENERGIEBEZUG AUS BRENNSTOFFZELLE.....	45
3.3.1 PRINZIP DER BRENNSTOFFZELLE.....	45
3.3.2 POLYMERELEKTROLYT-BRENNSTOFFZELLE.....	47
3.3.3 NORMEN, RECHT UND SICHERHEITSHINWEISE.....	49
3.3.4 AUFSTELLUNGSVARIANTEN.....	51
3.3.5 DIMENSIONIERUNG DER BRENNSTOFFZELLENANLAGE.....	52
3.3.6 DIMENSIONIERUNG DES WECHSELRICHTERS.....	56
3.3.7 ÜBERWACHUNG DER ANLAGE.....	57
4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	58
LITERATURVERZEICHNIS	VI
QUELLENVERZEICHNIS	VII
ANLAGENVERZEICHNIS	VIII

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ANLAGE IN FERTIGBETONSTATION.....	3
ABBILDUNG 2: ANLAGE MIT TRANSFORMATOR AM MAST	4
ABBILDUNG 3: ANSCHLUSSSCHALTPLAN FÜR TRANSFORMATOREN	5
ABBILDUNG 4: ABDECKBLECH FÜR DEN RÜCKLEITER	5
ABBILDUNG 5: PRINZIP DER STEUERUNG UND ÜBERWACHUNG.....	8
ABBILDUNG 6: PRINZIP DER BEFEHLS- UND MELDUNGSÜBERTRAGUNG	10
ABBILDUNG 7: SYSTEMAUFBAU EINER WEICHENHEIZANLAGE AM 15-kV/16,7-HZ-NETZ.....	12
ABBILDUNG 8: SYSTEMAUFBAU EINER WEICHENHEIZANLAGE AM 400-V/50-HZ-NETZ	14
ABBILDUNG 9: ANBRINGUNG DES HEIZSTABES AN DIE BACKENSCHIENE	16
ABBILDUNG 10: ANBRINGUNG DER HEIZSTÄBE IM HERZSTÜCKBEREICH.....	17
ABBILDUNG 11: BEHEIZUNG DER VERSCHLUSSFÄCHER.....	18
ABBILDUNG 12: FÜHLERSTATION MIT STÄNDER	28
ABBILDUNG 13: ENERGIEEINSPARUNG BEI KONSTANTREGELUNG GEGENÜBER ZWEIPUNKTREGELUNG.....	28
ABBILDUNG 14: TAKTUNG DER GRUPPEN	28
ABBILDUNG 15: BACKENSCHIENE MIT WÄRMEDÄMMUNG	29
ABBILDUNG 16: BELASTBARKEIT VON KABEL UND LEITUNGEN AUS KUPFER IN DER ERDE	31
ABBILDUNG 17: ANSCHLUSSKASTEN MIT ERDFUß	33
ABBILDUNG 18: VERTEILUNG FÜR FREILUFTAUFSTELLUNG	33
ABBILDUNG 19: LEISTUNGSSCHALTGERÄT ISR25-4.1	34
ABBILDUNG 20: PRINZIPDARSTELLUNG WEICHENHEIZUNGSANLAGE.....	35
ABBILDUNG 21: BEDIEN- UND ANZEIGEEINHEIT BEA-2	36
ABBILDUNG 22: PRINZIPDARSTELLUNG DATENÜBERTRAGUNG EWHA	37
ABBILDUNG 23: KURBELTRIEB MIT WIRKSAMEN KRÄFTEN	39
ABBILDUNG 24: AGGREGAT AUF TANDEMANHÄNGER	41
ABBILDUNG 25: AGGREGAT IN CONTAINER.....	42
ABBILDUNG 26: KRAFTSTOFFVERBRAUCH DES DIESELAGGREGATES	43
ABBILDUNG 27: SCHÜTZLOGIK LEISTUNGSSCHALTER.....	44
ABBILDUNG 28: KOMPAKTSYSTEM J130K.....	45
ABBILDUNG 29: AUFBAU EINER ZELLE (OBEN) UND EINES STACKS (UNTEN).....	46
ABBILDUNG 30: SCHEMATISCHER AUFBAU EINER POLYMERELEKTROLYT-BRENNSTOFFZELLE	48
ABBILDUNG 31: KENNZEICHNUNG EXPLOSIONSGEFÄHRDETER BEREICHE	50
ABBILDUNG 32: BEISPIEL DRUCKGASFLASCHEN IN KÄFIG	52
ABBILDUNG 33: BEISPIEL CONTAINER MIT NATÜRLICHER BELÜFTUNG FÜR DRUCKGASFLASCHEN.....	52
ABBILDUNG 34: SCHEMA BRENNSTOFFZELLE IN CONTAINER MIT SEPARATER WASSERSTOFFLAGERUNG	52
ABBILDUNG 35: BLOCKSCHALTBILD BRENNSTOFFZELLENSYSTEM.....	54

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ABSCHALTZEITEN IM TT-SYSTEM.....	7
TABELLE 2: SCHUTZLEITERQUERSCHNITTE.....	24
TABELLE 3: BETRIEBSMELDUNGEN MOBILE WEICHENHEIZANLAGE	37
TABELLE 4: STÖRMELDUNGEN MOBILE WEICHENHEIZANLAGE.....	38

Abkürzungsverzeichnis

BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BUV	Unfallversicherung Bund und Bahn
CEE	Internationale Kommission für die Regelung der Zulassung elektrischer Ausrüstungen
DC	Gleichstrom
DCC	Data Communication Computer, ein Netzwerk-Router für X.25-Netzwerke
DIANA	Diagnose- und Analyseplattform der DB Netz AG
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMFC	Direktmethanolbrennstoffzelle
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EN	Europäische Norm
ESTW	Elektronisches Stellwerk
EUK	Eisenbahn-Unfallkasse
EWHA	Elektrische Weichenheizanlage
GSM	Global System for Mobile Communications
GSM-R	Global System for Mobile Communications – Rail(way)
HD	Harmonisierungsdokument
HES	Haupterdungsschiene
HPAS	Hauptpotentialausgleichsschiene
IP	International Protection, Schutzart
ISO	Internationale Organisation für Normung
MAS 90	Meldeanlagensystem 90 der Deutschen Bahn
MEA	Membrane-Electrode-Assembly
MRE	Melderegistereinheit
MÜV	Meldeüberwachungsverfahren
NEA	Netzersatzanlage
PEFC	Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle
PEMFC	Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle
RCD	Residual Current Device, Fehlerstrom-Schutzeinrichtung
SOFC	Festoxidbrennstoffzelle
TA	Technische Anleitung
TAB	Technische Anschlussbestimmungen
Tk	Telekommunikation
TT-System	geerdetes Netz mit separater Erdung der Betriebsmittel
UiG	Unternehmensinterne Genehmigung
VAwS	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdeten Stoffen
VbF	Verordnung über brennbare Flüssigkeiten
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.
VNB	Verteilungsnetzbetreiber
VV BAU-STE	Verwaltungsvorschrift für die Bauaufsicht über Signal-, Telekommunikations- und Elektrotechnische Anlagen

Formelverzeichnis

FORMEL 1: BETRIEBSSTROM DER HEIZKREISE.....	30
FORMEL 2: BERECHNUNG DES LEITERWIDERSTANDS.....	30
FORMEL 3: BERECHNUNG DES LEITERQUERSCHNITTS.....	30
FORMEL 4: BERECHNUNG DES SPANNUNGSABFALLS	31
FORMEL 5: BERECHNUNG DES SPANNUNGSABFALLS AN EINEM BEISPIEL	32
FORMEL 6: LEITERQUERSCHNITT HEIZABGANG 1.....	32
FORMEL 7: LEITERQUERSCHNITT HEIZABGANG 2.....	32
FORMEL 8: LEITERQUERSCHNITT HEIZABGANG 3.....	32
FORMEL 9: LEITERQUERSCHNITT HEIZABGANG 4.....	32
FORMEL 10: LEITERQUERSCHNITT HEIZABGANG 5	32
FORMEL 11: LEITERQUERSCHNITT HEIZABGANG 6	32
FORMEL 12: LEITERQUERSCHNITT HEIZABGANG 7	32
FORMEL 13: LEITERQUERSCHNITT HEIZABGANG 8	32
FORMEL 14: REDOXGLEICHUNG BRENNSTOFFZELLE.....	45
FORMEL 15: ZUSTANDSGLEICHUNG IDEALER GASE	54
FORMEL 16: ZUSTANDSGLEICHUNG IDEALER GASE	54
FORMEL 17: GLEICHUNG FÜR DIE LADUNG.....	54
FORMEL 18: THEORETISCHE WASSERSTOFFBILDUNG EINER ZELLE	55
FORMEL 19: THEORETISCHE WASSERSTOFFBILDUNG EINER ZELLE	55
FORMEL 20: THEORETISCHE WASSERSTOFFBILDUNG DER GESAMTANLAGE.....	55
FORMEL 21: ANZAHL AN GASDRUCKBEHÄLTER.....	55

1 Motivation und Zielsetzung

1.1 Einleitung in die Thematik

Im Winter ist es wichtig, dass Teile einer Weiche schnee- und eisfrei gehalten werden. Geschieht dies nicht, können Störungen an den Weichen auftreten und somit extreme Verspätungsminuten hervorgerufen werden. Dies ist unangenehm für Reisegäste und führt zu außerplanmäßigen Kosten für die Deutsche Bahn AG. Viele Stellwerke und die damit verbundenen Weichen verfügen deshalb schon über Weichenheizanlagen, die im Winter Störungen und Ausfälle minimieren. Die Speisung für diese Anlagen erfolgt entweder aus dem 50-Hz-Ortsnetz oder aus dem 16,7-Hz-Oberleitungsnetz. Die Planung einer Weichenheizanlage ist zeitintensiv und somit unflexibel gegenüber kurzfristigen Ereignissen. Hierzu ist der Einsatz einer mobilen Weichenheizanlage vorgesehen, die besonders vorgehalten werden soll. Die mobile Weichenheizanlage soll dann in Erscheinung treten, wenn die vorhandene Weichenheizanlage ausgefallen ist und der Schaden nicht schnell behoben werden kann. Sie soll außerdem als Sofortlösung bei kurzfristig auszurüstenden Weichen dienen, die durch Änderungen im Betriebsprogramm häufiger benutzt oder nur temporär eingesetzt werden (z.B. Bauweichen). Die nachfolgende Bachelorarbeit thematisiert die Konzeption und Projektierung einer solchen mobilen Weichenheizanlage und wurde bei der DB Netz AG in der Produktionsdurchführung Halle (Saale) erstellt.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

In der Bachelorarbeit soll nun ein Konzept entwickelt werden, welches einen schnellen und einfachen Einbau der mobilen Weichenheizung bei den in **1.1** erwähnten Situationen gewährleistet. Die Ausführung der mobilen Variante sollte dabei nicht von der Standardausführung einer Weichenheizanlage abweichen, bei der Backenschiene, Verschlussfach und bewegliche Herzstücke beheizt werden sollen. Die Erdungsverhältnisse sind dabei zu beachten. Die Stromversorgung der Anlage soll autonom über eine Brennstoffzelle oder ein Dieselaggregat aufgebaut werden. Im Rahmen der Energieeffizienz sollen Maßnahmen ergriffen werden, um die Anlage ressourcenschonend zu betreiben. Die Überwachung der Anlage soll wie bei der festinstallierten Variante mittels Anbindung an eine technische Stelle und vorausschauend an das neue Projekt DIANA über GSM (bzw. GSM-R) geschehen.

2 Stand von Wissenschaft und Technik

2.1 Energiebezug von Weichenheizanlagen

Die Deutsche Bahn AG ist in Deutschland das Unternehmen mit dem größten Stromverbrauch. Im Jahr 2015 betrug der Bedarf an elektrischer Energie ca. 23,5 TWh. Diese teilt sich in die Traktionsenergie mit 8,644 TWh und die stationären Energien mit 14,865 TWh auf. Zu letzteren gehören auch die Weichenheizanlagen mit einem Verbrauch von ca. 200 GWh im Jahr [21].

Grundlagen zum Planen und Betreiben von elektrischen Weichenheizanlagen findet man in [2]. Der Leistungsbedarf einer einzelnen Weichenheizanlage ergibt sich aus der Anzahl und der Bauart der zu beheizenden Weichen. Vom Besteller ist außerdem vorzugeben, welche Ausstattung die Weichenheizung besitzen soll. Liegen mehrere Weichen in unmittelbarer Nähe zueinander, so sind sie sinnvoll zu einer gemeinsamen elektrischen Weichenheizanlage zusammenzufassen. Dabei ist zu beachten, dass aus wirtschaftlichen Gründen die Obergrenze von 400 kVA nicht überschritten werden sollte. Falls Weichenheizungen mehr als 300 m von der Einspeisung entfernt liegen, ist außerdem zu prüfen, ob der Bau einer weiteren Anlage rentabler wäre. 78 % alle EWHA werden aus dem 15-kV/16,7-Hz-Oberleitungsnetz gespeist und auf 462 V/16,7 Hz bzw. 2 x 231 V/16,7 Hz heruntertransformiert. Die restlichen Heizanlagen beziehen ihre Energie aus dem öffentlichen oder bahneigenen 400-V/50-Hz-Versorgungsnetz. Diese Variante kommt meistens bei nicht elektrifizierten Bahnstrecken, Gleichstrombahnen und aus wirtschaftlichen Gründen auch bei Wechselstrombahnen zur Anwendung. Zur Ermittlung der wirtschaftlicheren Methode ist ein vereinfachtes Kostenvergleichsverfahren anzuwenden. Über eine Niederspannungsverteilung wird die Heizenergie dann auf die einzelnen Heizstäbe verteilt. Die EWHA ist im TT-System aufgebaut und führt somit keinen Schutzleiter im Kabel mit sich. Alle elektrisch leitenden Bauteile werden an der Bahnrückstromführung geerdet [1], [2].

2.1.1 Weichenheizanlagen am 16,7-Hz-Oberleitungsnetz

Anlagen, die ihre elektrische Energie aus dem Oberleitungsnetz entnehmen, sind über einen Masttrennschalter ohne Erdkontakt und mit einem freigegebenen Schalterantrieb anzuschließen. Die EWHA beginnt dabei an der Abgangsklemme des Masttrennschalters. In der Regel sind Weichenheizanlagen in einer Fertigbetonstation zu errichten und über ein Mittelspannungskabel Typ N2XS2Y unterirdisch mit dem Masttrennschalter zu verbinden. Hierzu ist ein Freiluftkabelendverschluss und ein Innenraumkabelendverschluss (jeweils

$U_m = 36 \text{ kV}$) erforderlich. Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Anlage in einer Fertigbetonstation [2].

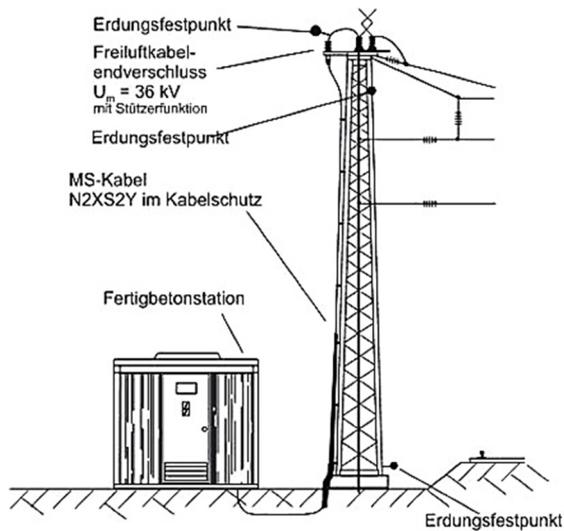


Abbildung 1: Anlage in Fertigbetonstation
(Quelle: RIL 954.9101; Fachautor: I.NPF 23(O); Bruno Braun: Elektrische Energieanlagen, Elektrische Weichenheizanlagen, 01.10.2016, S. 4 [1].)

Der Kabelschirm ist isoliert in der Station aufzulegen und am Mast zu erden. Sein Querschnitt richtet sich nach der örtlichen Kurzschlussleistung. Das Kabel vom Masttrennschalter zur Fertigbetonstation ist in Abständen von 1,5 m mit klemmbaren Schellen am Mast zu befestigen und vom Erdaustritt bis zu einem Abstand von mindestens 2,5 m über dem Erdboden in einem Kunststoffkabelschutz zu verlegen. Die Einführung in den Kabelschutz und in die Betonstation ist dabei gegen Feuchtigkeit abzudichten. Die Erdungspunkte am Mast sind mit Kugelbolzen ($\varnothing = 25 \text{ mm}$) und Befestigungsschellen zu realisieren [2].

Muss durch die örtlichen Gegebenheiten von der Ausführung in einer Fertigbetonstation abgewichen werden, so kann die Installation auch an einem geeigneten Oberleitungsmast ausgeführt werden. In Abbildung 2 ist der Aufbau so einer Anlage zu sehen. Der Mast und die Größe des Fundamentes sind statisch zu überprüfen. Der Transformator darf eine maximale Leistung von 100 kVA besitzen und ist auf der Gleis abgewandten Mastseite an einem Winkel- oder Schleuderbetonmast anzubringen. Vom Stützisolator zur Hochspannungssicherung und von dort aus bis zum Transformator ist eine Kupferschiene zu installieren. Auch bei dieser Variante sind Erdungsfestpunkte anzubringen. An der Sekundärseite des Transformators sind Niederspannungskabel am Mast abzuführen. Der Außenschrank der Freiluft-Verteilung ist in der Fahrtrichtung hinter einem Oberleitungsmast mit der Tür vom Gleis abgewandt aufzustellen [2].

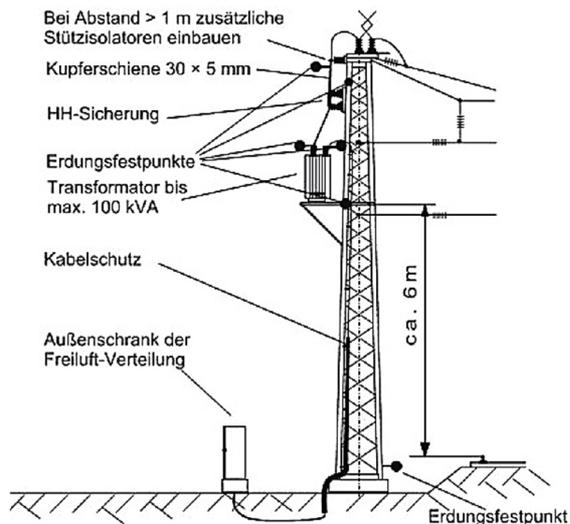


Abbildung 2: Anlage mit Transformator am Mast
 (Quelle: RIL 954.9101; Fachautor: I.NPF 23(O); Bruno Braun: Elektrische Energieanlagen, Elektrische Weichenheizanlagen, 01.10.2016, S. 5 [2].)

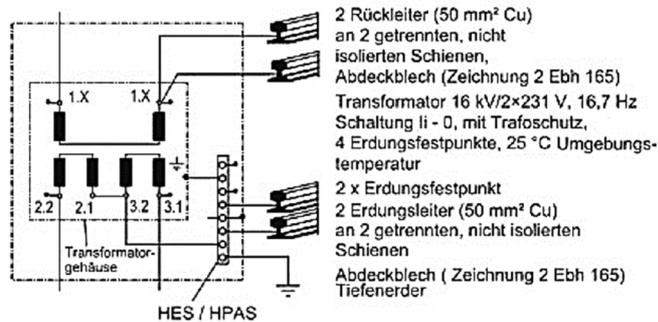
Die Fertigbetonstation teilt sich in den Hochspannungsraum und den Niederspannungsraum auf, wobei beide Räume durch eine eigene Tür von außen zugänglich sein müssen. Im Hochspannungsraum sind der Transformator und die Hochspannungssicherungen untergebracht. Grundsätzlich sind Einphasen-Öltransformatoren in hermetisch geschlossener Bauweise mit folgenden technischen Daten zu benutzen:

- Nennleistung: 30 bis 400 kVA
- Nennfrequenz: 16,7 Hz
- Nennoberspannung: 16 kV
- Nennunterspannung: 2 x 231 V
- Nennkurzschlussspannung: 6 %
- Schaltgruppe: li0
- Umgebungstemperatur für Innenaufstellung: + 25 °C
- Umgebungstemperatur für Freiluftaufstellung: + 5 °C

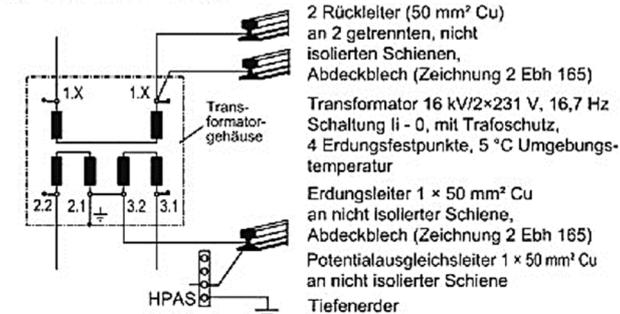
Zum Schutz des Transformators ist ein Druckwächter und ein Temperaturwächter einzubauen. Die Transformatoren sind an die Bahnerdung gemäß Abbildung 3 anzuschließen. Dabei sind zwei NYY-O Rückleiter aus Kupfer mit einem Querschnitt von jeweils 50 mm² an zwei getrennte nicht isolierte Schienen mittels eines bei der DB Netz AG für derartige Verbindungen zugelassenen Verfahrens anzubringen. Es darf jeweils nur ein Rückleiter an eine Anschlussstelle angeschlossen werden. Das Fließen des Rückstroms über die Fahrschienen muss hierbei immer gewährleistet werden. Die Rückleiter sind mit einem Abdeckblech gemäß Abbildung 4 an der Schiene zu kennzeichnen. Als Erdungsleitungen können nach [3] auch in Beton eingebettete, blanke Stahlleiter mit ausreichenden Querschnitten verwendet werden.

Dabei sind die Vorgaben für Kurzschlussströme größer als 25 kA zu beachten, so dass Querschnitte von mindestens 200 mm² zu verwenden sind. Die Stahlleiter müssen mit der schlaffen Bewehrung verbunden werden. Die mechanische Festigkeit der Gebäude muss ausreichen, um alle statischen und dynamischen Belastungen, wie zum Beispiel Überdruck, aufzunehmen, die beim bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage auftreten können [2], [3].

a) in Fertigbetonstation



b) Transformator am Mast



Verbindung Klemme 2.1 - Transformatorgehäuse
werkssseitig angebracht, ggfs. Kabel 50 mm² Cu nachrüsten !



Abbildung 3: Anschlussschaltplan für Transformatoren (Quelle: RIL 954.9101; Fachautor: I.NPF 23(O); Bruno Braun: Elektrische Energieanlagen, Elektrische Weichenheizeanlagen, 01.10.2016, S. 8 [3].)

Abbildung 4: Abdeckblech für den Rückleiter (Quelle: <http://www.cembre.de/assets/PRC1/media/abdeckblech-nach-2ebh-165-bl.-1-prc1-default-anwendung-01.jpg>, gespeichert am 27.03.2017)

Gemäß [4] sind die mit Oberleitung überspannten Gleise miteinander über Gleisverbinder zu vermaschen. Nicht überspannte Gleise, die aber beheizte Weichen enthalten, sind in die Vermaschung einzubeziehen. Dasselbe gilt für elektrische Weichenheizeanlagen an nicht elektrifizierten Strecken. Bei der Planung des Kabelkellers und der Kabeldurchführungen ist darauf zu achten, dass im Schadensfall kein Transformatorenöl in die Umwelt gelangt. Nach DIN VDE 0101 können die örtlichen Behörden in den Schutzzonen 1 und 2 von Wasserschutzgebieten Forderungen zum Gewässerschutz stellen. In Abstimmung mit dem zuständigen Anlagenmanagement können hierbei auch Gießharztransformatoren verwendet werden. Die Belüftung des Hochspannungsraumes ist für die maximale Transformatorenleistung auszulegen. Bei der Errichtung des Raumes ist die DIN VDE 0101 „Hochspannungsanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV“ zu beachten.

Hochspannungssicherungen sind mit den Bemessungsspannungen $U_m = 24 \text{ kV}$ für Innenanlagen und $U_m = 36 \text{ kV}$ für Außenanlagen einzusetzen. Bei der Auswahl der Sicherung ist auf die abgestufte Selektivität gegenüber der Überstromschutzeinrichtung im Unterwerk zu achten. Die Sicherungsnennstromstärke muss mindestens das 2,5 bis 3-fache der Nennstromstärke des Transformators betragen und darf nicht innerhalb von 100 ms bei der 12 bis 15-fachen Nennstromstärke des Transformators auslösen. Bei der Hochspannungsprüfung an EWHA sind Spannungsprüfer nach DIN VDE 0682 Teil 411 mit der Aufschrift „Auch bei Niederschlägen verwendbar“ zu benutzen. Bei Arbeiten im Hochspannungsraum und an Hochspannung führenden Anlagenteilen sind handgeführte Erdungseinrichtungen zu verwenden. Spannungsprüfer und handgeführte Erdungseinrichtungen werden im Niederspannungsraum vorgehalten [2], [4].

Der Niederspannungsraum ist nach der DIN VDE 0100 „Errichten von Niederspannungsanlagen“ aufzubauen und beinhaltet die Niederspannungsverteilung. Der Schaltschrank der Niederspannungsverteilung ist aus Isolierstoff auszuführen. Ein Standverteiler aus pulverbeschichtetem Stahlblech ist nur in Fertigbetonstationen zulässig. Bei einer Innenraumaufstellung ist die Verteilung mindestens in Schutzart IP 31 und in Schutzklasse I auszuführen. Bei Freiluftanlagen ist die Verteilung in Schutzart IP 54 und in Schutzklasse II zu installieren. Bei der Freiluftinstallation ist auf eine ausreichende natürliche Belüftung zu achten, dabei ist der Schranksockel bis zur Erdoberfläche mit Granulat aufzufüllen. Eine Beleuchtung und eine 16-A-Schutzkontaktsteckdose sind sowohl in der Fertigbetonstation, wie auch im Außenschrank einzubauen und durch eine RCD mit $I_{\Delta n} = 0,03 \text{ A}$ abzusichern. Die Verteilung und alle elektronischen Komponenten sind mit einem geeigneten Überspannungsschutz zu schützen. Ein Tiefenerder mit $R_E < 10 \Omega$ zur Stoßableitung von induktiven Einkopplungen in das Schienennetz ist zur Sicherung der EWHA vorzusehen. Der Erdübergangswiderstand wird nach dem Errichten gemessen und protokolliert. Die Erdsammelschiene wird mit dem Erdungsanschluss der Fertigbetonstation und dem Tiefenerder verbunden. Zur Erfassung der verbrauchten Heizenergie ist ein Wirkleistungszähler erforderlich, bei dem eine Datenfernauslesung möglich sein sollte. Die Sekundärseite des Transformators ist durch Kabel vom Typ NYY-0 als Einleiterkabel mit der Verteilung zu verbinden. Der Kabelquerschnitt richtet sich dabei nach der Transformatorleistung. Die Kabel sind kurzschlussfest und besonders sicher zu verlegen. In der Nähe der zu beheizenden Weichen werden die Anschlusskästen aus Kunststoff auf einen Erdfuß gesetzt und am Lagereisen des Weichenantriebs oder am Lagereisen des Endlagenprüfers befestigt. Die Anschlusskästen besitzen schraubenlose Reihenklammern und Zugentlastungen für das ankommende Kabel und die abgehenden Leitungen. Bei der

Speisung mit 462 V/16.7 Hz werden zwei Heizstäbe gleicher Leistung in Reihe geschaltet, wobei bei der Speisung mit 2 x 231 V/16,7 Hz die Heizstäbe gegen eine Phase und den Neutralleiter geschaltet werden. Vorkonfektionierte Leitungen 2 x 1,5 mm² werden zwischen dem Anschlusskasten und den Heizstäben verlegt. Im Gleisbereich werden die Leitungen quer zur Schiene in einem Kunststoffkabelschutz verlegt, welcher mit geeigneten Mitteln an den Schwellen befestigt wird. Werden Kabel längs zur Schiene verlegt, so müssen diese gebündelt an der Backenschienenaußenseite bis auf Höhe des Anschlusskastens verlegt werden. Das Zuleitungskabel von der Verteilung zum Anschlusskasten an der Weiche ist bis zu einer maximalen Leistung von 11,5 kW für einen einzelnen Stromkreis ebenfalls mit NYY-0 Kabel vorzusehen. Der Spannungsfall von der Verteilung zu den Heizstäben darf dabei maximal 5 % betragen, wobei 3 % anzustreben sind. Der Kabelquerschnitt ist dementsprechend festzulegen. Die Verteilung der EWHA ist im TT-System aufgebaut. Dabei sind die Abschaltbedingungen nach Richtlinie 954.0107 „Elektrische Energieanlagen – Schutz gegen elektrischen Schlag“ einzuhalten. In Tabelle 1 sind die maximal zulässigen Abschaltzeiten im TT-System angegeben. Die Tabelle gilt für Endstromkreise mit einem Nennstrom ≤ 32 A. Bei Nennströmen über 32 A sollen Abschaltzeiten von einer Sekunde nicht überschritten werden [2].

Spannung gegen Erde U_0 [V]	Abschaltzeit [s]
$120 \text{ V} < U_0 \leq 230 \text{ V}$	0,2
$230 \text{ V} < U_0 \leq 400 \text{ V}$	0,07
$U_0 > 400 \text{ V}$	0,04

Tabelle 1: Abschaltzeiten im TT-System
(Quelle: RIL 954.0107; Fachautor: I.EBZ 4; Ludwig Linke: Elektrische Energieanlagen, Schutz gegen elektrischen Schlag, 01.03.2012, S. 22 [5].)

Elektrische Weichenheizanlagen sind sowohl in besetzten als auch in unbesetzten Standorten mit einer aus Schneewächter und Temperaturregelung bestehenden und selbsttätig arbeitenden Steuerung auszurüsten. Unabhängig davon muss eine manuelle Bedienung vor Ort an der Steuerung der Weichenheizung und über Fernwirk- und Meldeeinrichtungen von der betrieblich besetzten und der technischen Stelle aus möglich sein. Das Handbuch Eisenbahninfrastruktur definiert dabei die betrieblich besetzte und technische Stelle folgendermaßen: „Die betrieblich besetzte Stelle ist die Stelle, die die erforderlichen Schalthandlungen durchführt, die zur Bedienung im Normalbetrieb und zur Abwendung von Gefahren notwendig sind, und die im Bedarfsfall den manuellen Betrieb von elektrischen

Weichenheizanlagen ermöglicht. Die technische Stelle ist die Stelle, die dazu bestimmt ist, Überwachungs-, Entstörungs- und Instandhaltungsmaßnahmen an elektrischen Weichenheizanlagen zu veranlassen und über Fernübertragung auf diese Anlagen einzuwirken.“ Im Regelfall sind als Steuerspannung 230 V/50 Hz zu verwenden. Das Prinzip der Steuerung und Überwachung ist in Abbildung 5 dargestellt. Die abgebildeten Befehle „Anlage Ein“, „Anlage Aus“ und „Kurzzeit Ein“ sind in jeder Weichenheizanlage mindestens vorzusehen. Genauso wie die Meldungen „Kurzzeit ist Ein“, „Mastschalter ist Ein“ und „Mastschalter ist Aus“ vorhanden sein müssen. Die Störmeldungen „Betriebsspannung fehlt“, „Heizkreis gestört“, „Trafoschaden“ und Isolationsfehler“ gehören auch zur Mindestanforderung einer EWHA [2].

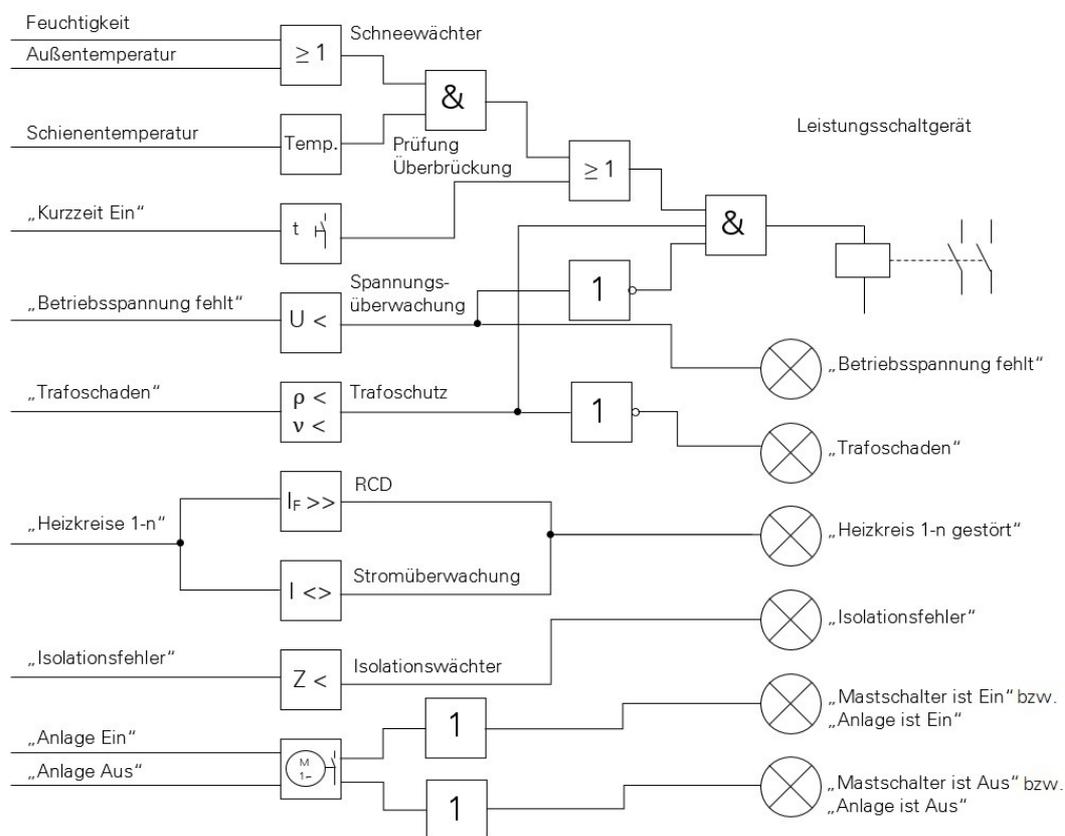


Abbildung 5: Prinzip der Steuerung und Überwachung
 (Quelle: (vgl.) RIL 954.9101; Fachautor: I.NPF 23(O); Bruno Braun: Elektrische Energieanlagen, Elektrische Weichenheizanlagen, 01.10.2016, S. 15 [8].)

Zugelassene Befehls- und Meldeeinrichtungen können dabei ein Befehlstaster mit Leuchtmelder, eine Lampenprüfeinrichtung, ein Bedientableau, eine PC-Bedienung mit grafischer Bedienoberfläche und eine in der betrieblichen Stelle zu quittierende akustische Anzeige sein. Die EWHA wird mit dem Befehlstaster „Anlage Ein“ eingeschaltet. Ist die Anlage betriebsbereit, so wird dies dem Bediener über die Betriebsmeldung „Mastschalter ist Ein“ angezeigt. Das Betätigen des Befehlstaster „Anlage Aus“ führt zur sofortigen

Ausschaltung der Anlage und aller Heizstäbe. Ein selbsttätiger Betrieb ist dann erst wieder nach dem Betätigen des Taster „Anlage Ein“ möglich. Die Bedienhandlung „Kurzzeit Ein“ mit einer Einschaltdauer bis maximal 45 Minuten dient sowohl zur Funktionsprüfung als auch zur Überbrückung der Regelung. Kommen mikroprozessorgesteuerte EWHA zum Einsatz, so muss durch einen separaten Schalter die Möglichkeit geschaffen werden, die Anlage im Bedarfsfall (z.B. Defekt der Steuereinheit) kurzzeitig im Dauerbetrieb weiter betreiben zu können. Diese Schalthandlung ist in der Verteilung der Weichenheizanlage vor Ort zu realisieren. Dabei muss darauf geachtet werden, dass beim Ansprechen des Druck- bzw. Temperaturwächters des Transformators ein Einschalten der Anlage ausgeschlossen wird. Befehls- und Meldeeinrichtungen sind immer in einer besetzten betrieblichen Stelle vorzusehen. In der Regel ist diese beim Fahrdienstleiter. Befehle und Meldungen der örtlichen EWHA sind bevorzugt über verfügbare Fernwirkssysteme zu übertragen. Diese werden über potentialfreie und galvanisch getrennte Kontakte an das Übertragungssystem übergeben. Die eingesetzten Telekommunikationskabel werden in der Steuerung und vor dem Bedientableau zur Potentialtrennung an Repeater angeschlossen. Die Kabelschirme werden abisoliert und an der Zugentlastung des Repeaters untergeklemmt. Die Zugentlastung ist hier mit der Gehäusemasse des Repeaters verbunden. Über die Hutschiene und das Gerüst der Steuerung bzw. das Bedientableau ergibt sich daraus eine galvanische Verbindung zur Potentialausgleichsschiene, welche wiederum über eine Verbindung zur nichtisolierten Schiene bahngeerdet ist. Dadurch ergibt sich eine zweiseitige Bahnerdung. Die Bedienung und Überwachung durch das Instandhaltungspersonal muss außerdem vor Ort an der Verteilung möglich sein. Das Prinzip der Befehls- und Meldungsübertragung über verfügbare Fernwirkssysteme ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Regelung der elektrischen Weichenheizanlage erfolgt über eine kombinierte Feuchtigkeits- und Außentemperaturmessung, die Schneefall und Flugschnee erkennt. In Verbindung mit dem Schienentemperaturfühler wird ein Schaltbefehl auf das Leistungsschaltgerät des jeweiligen Heizkreises ausgelöst. Die Fühlerstation mit Feuchtigkeits- und Temperatursensor soll dabei direkt neben dem am stärksten befahrenen Gleis aufgestellt werden. Das gewährleistet, dass auch der Flugschnee der vorbeifahrenden Züge erfasst wird. Der Schienentemperaturfühler ist an der führenden Weiche etwa 50 mm vor der Weichenzunge anzubringen. Die führende Weiche ist die Weiche, die den ungünstigsten klimatischen Verhältnissen ausgesetzt ist. Bei vorhandener Feuchtigkeit ist der Einschaltpunkt der Weichenheizung mit konventionellen Schützen mit + 3 °C Schienentemperatur zu wählen. Die Schalthysterese sollte 4 K betragen. Bei negativen Umgebungstemperaturen bewirkt die Außentemperaturregelung eine Erhöhung der Schalthysterese. Bei einer Außentemperatur die von – 5 °C bis – 15 °C eingestellt werden kann und fehlender Feuchtigkeit soll ein Heizen auch gewährleistet

werden. Der Endwert dieser Vorheizfunktion bei trockener Kälte muss bei einer Schienentemperatur von -10 °C bis $+3\text{ °C}$ parametrierbar sein. Hierbei sind bevorzugt leistungselektronische Schalteinrichtungen, wie z.B. Thyristorschaltglieder und Hybridschütze, einzusetzen. Die Ansteuerung der Heizkörper erfolgt dann mittels Schwingungspaketsteuerung. Mit einem Spannungsmessgerät, das auf der Sekundärseite vor dem Leistungsschaltgerät angeschlossen wird, wird die Oberleitungsspannung indirekt überwacht und das Fehlen mit der Anzeige „Betriebsspannung fehlt“ nach ca. drei Minuten gemeldet. Das Leistungsschaltgerät wird bei Ausfall der Betriebsspannung selbsttätig ausgeschaltet. Wird die Betriebsspannung wieder zugeschaltet, so erfolgt eine zeitverzögerte Wiedereinschaltung des Leistungsschaltgerätes. Die Meldung „Trafoschaden“ wird beim Ansprechen des Druck- bzw. Temperaturwächters des Transformators ausgelöst. Dabei kommt es zu einer unverzögerten, sekundärseitigen Lastabschaltung und sofern die Steuerspannung ansteht, zu einem Ausschalten des Masttrennschalters. Vor dem Wiedereinschalten des Masttrennschalters muss die Störungsursache beseitigt und die Meldung „Trafoschaden“ vor Ort quittiert werden [2].

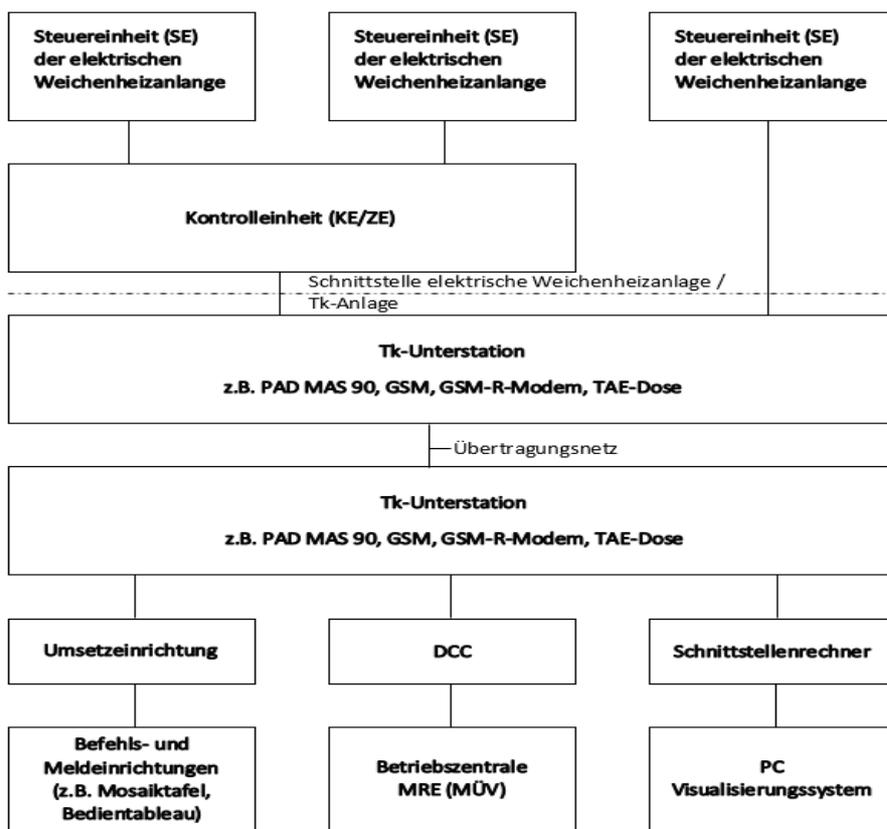


Abbildung 6: Prinzip der Befehls- und Meldungsübertragung
 (Quelle: (vgl.) RIL 954.9101; Fachautor: I.NPF 23(O); Bruno Braun: Elektrische Energieanlagen, Elektrische Weichenheisanlagen, 01.10.2016, S. 16 [9].)

Kommt es zu Störungen einzelner Heizkreise, z.B. RCD ausgelöst oder Stromüber- bzw. Stromunterschreitung, so wird dies über die Einzelmeldung „Heizkreis 1-n gestört“ angezeigt. Ein Ausfall von mindestens zwei Heizstäben muss erkannt werden. Das Auslösen einer RCD eines beliebigen Heizkreises wird in der Sammelmeldung „RCD ausgelöst“ angezeigt. Ein ununterbrochener selbsttätiger Heizbetrieb von über drei Stunden soll als eine Störung interpretiert werden und an die zuständige technische Stelle (Instandhalter, Anlagenverantwortlicher) gemeldet werden. Da aufgrund von umweltbedingten Einflüssen die Heizstäbe der EWHA altern und sich der Isolationswiderstand der Anlage dadurch verringert, muss eine ständige Überwachung des Isolationswiderstandes erfolgen. Außerhalb der Heizperiode kann es außerdem durch Einflüsse aus dem Eisenbahnbetrieb zu Schäden an den Außenanlagen der EWHA kommen, die erst zur nächsten Heizperiode erkannt werden. Der Isolationswiderstandwert ist somit ein Indiz für den Zustand der gesamten elektronischen Weichenheizanlage. Eine kontinuierliche, automatisierte Isolationsmessung kann Isolationsfehler oder Beschädigungen schon vor dem Ausfall der Anlage erkennen und an die technische Stelle melden. Die Verfügbarkeit der Anlage wird damit erhöht und eine bedarfsorientierte Instandhaltung ermöglicht. Soweit wirtschaftlich möglich, soll die Isolationsüberwachung für jeden Heizkreis extra erfolgen. Sie soll mindestens einmal täglich stattfinden. Die Geräte zu Isolationsüberwachung müssen technisch freigegeben sein. Um eine ausreichende Abkühlung der Heizstäbe zu gewährleisten, darf eine Messung frühestens drei Minuten nach der letzten Heizphase geschehen. Sobald zwölf Stunden lang keine Heizanforderung vorliegt, muss sich der Masttrennschalter automatisch ausschalten. Kommt es zu einer Heizanforderung durch die Regelung, sofern nicht der Befehl „Anlage Aus“ betätigt wurde, ist das selbsttätige Einschalten des Masttrennschalters zu gewährleisten. In der Verteilung vor Ort ist ein Betriebsartenschalter vorzusehen, der sich nur auf den Masttrennschalter bezieht. Der Betriebsartenschalter soll folgende Stellungen aufweisen:

- „Betrieb“ - automatische Steuerung des Masttrennschalters durch die Steuereinheit
- „Aus“ – Masttrennschalter ist manuell ausgeschaltet
- „Gesperrt“ – kein Zugriff der Steuerung auf den Masttrennschalter, galvanische Trennung der Steuerleitung von Steuereinheit zum Masttrennschalter

Wie in **2.1.1** detailliert beschrieben, ist in Abbildung 7 noch einmal der allgemeine Systemaufbau einer Weichenheizanlage am 15-kV/16,7-Hz-Oberleitungsnetz aufgezeigt [2].

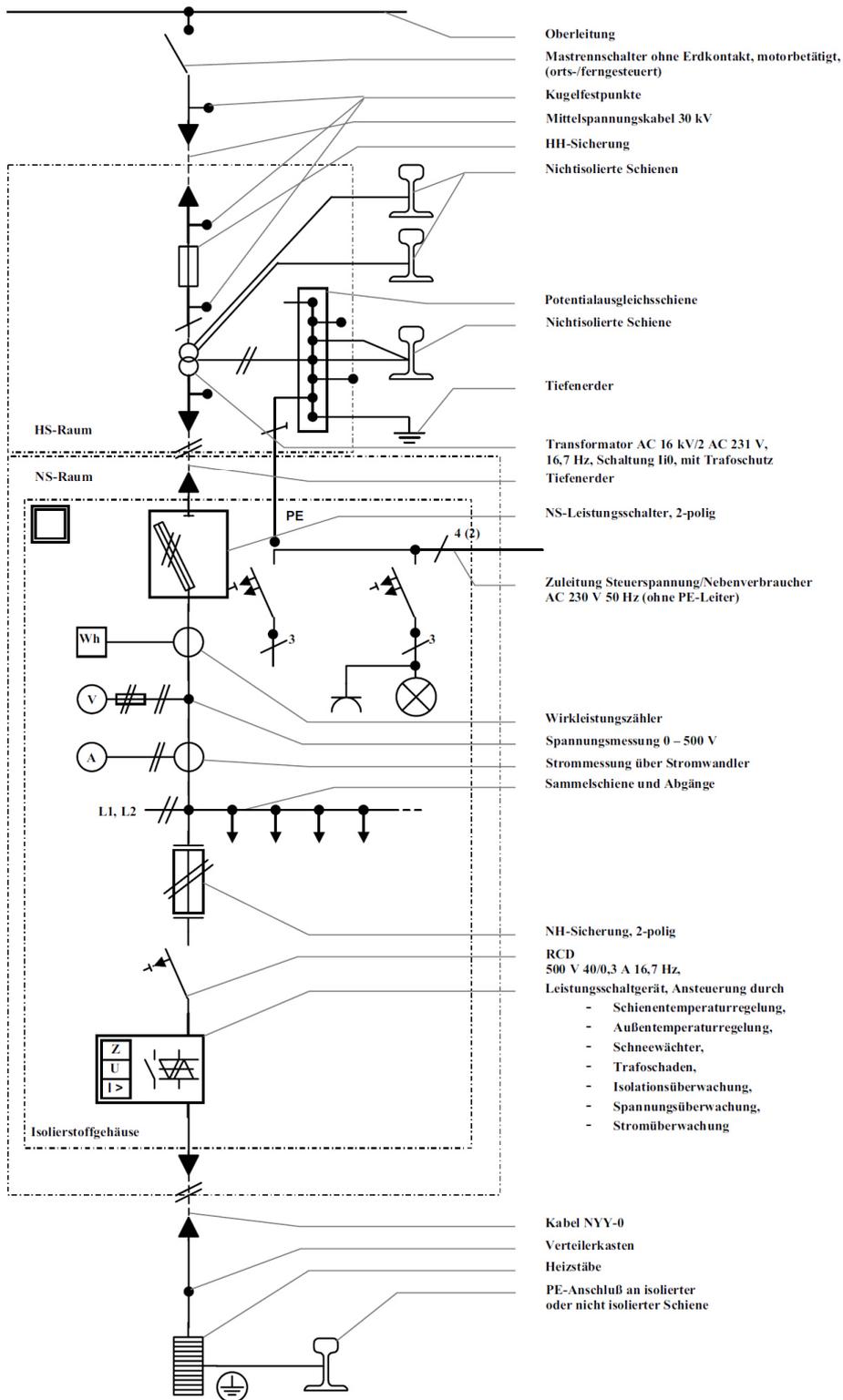


Abbildung 7: Systemaufbau einer Weichenheizanlage am 15-kV/16,7-Hz-Netz
(Quelle: Fendrich, L. [Hrsg.]: Handbuch Eisenbahninfrastruktur, Springer, 2007, S. 485 [10.16].)

2.1.2 Weichenheizanlagen am 50-Hz-Versorgungsnetz

Bei der Planung von elektronischen Weichenheizanlagen kann auch über die Möglichkeit der Einspeisung aus dem bahneigenen 50-Hz-Netz, sowie über eine 50-Hz-Einspeisung aus einem VNB-Netz entschieden werden. Die Festlegungen aus der TAB-DB sind dabei zu beachten. Die 50-Hz-Heizenergie wird hier von einer vorhandenen, zu erweiternden oder neu zu errichtenden Transformatorenstation entnommen. Über einen Trenntransformator in der Transformatorenstation wird eine galvanische Trennung der EWHA hergestellt. Die Heizenergie (400 V/50 Hz) wird dabei über ein Starkstromkabel von der Station zu Weichenheizanlage übertragen. Die Schnittstelle zwischen dem Versorgungsnetz und der Weichenheizanlage liegt beim bahneigenen Netz bezüglich der Anlagenzuordnung an der Abgangsklemme des Starkstromkabels zur Weichenheizanlage oder an der Eingangsklemme der Niederspannungsverteilung der EWHA. Beim VNB-Netz liegt die Schnittstelle am Anschlusskasten der Niederspannungsverteilung der Weichenheizanlage mit anschließender Zähl- und Verrechnungseinheit. Falls es keine andere Möglichkeit gibt, sind alle standardisierten 16,7-Hz-Weichenbauteile zu verwenden. Das Versorgungskabel, der Niederspannungsverteilerschrank, sowie der Anschlusskasten sind den technischen Erfordernissen anzupassen. Bei der Aufteilung der Stromkreise ist auf eine gleichmäßige Belastung der Außenleiter und auf eine Maximalleistung von 15 kW pro Stromkreis zu achten. Die Heizstäbe werden im Stern gegen den Neutralleiter geschaltet. Die Steuerung, Überwachung und Bedienung ist wie in **2.1.1** für 16,7-Hz-Anlagen auszuführen. Die Meldungen „Mastschalter ist Ein“ und „Mastschalter ist Aus“ werden wie in Abbildung 5 zu sehen ist, durch die Meldungen „Anlage ist Ein“ und „Anlage ist Aus“ ersetzt. Wird ein fernsteuerbarer Niederspannungsleistungsschalter mit Motorantrieb verwendet, so wirken die Befehle „Anlage Ein“ und „Anlage Aus“ auf den Leistungsschalter. Hierbei muss die Steuerspannung und die Versorgungsspannung von Nebenverbrauchern vor dem NS-Leistungsschalter abgegriffen werden. Eine Meldung „Hauptschalter hat ausgelöst“ ist vorzusehen. Läuft die EWHA als einziger Verbraucher an einem gezählten VNB-Anschluss, so ist kein zusätzlicher Wirkleistungszähler vorzusehen. Die Verteilung ist in Schutzklasse II und die Schutzarten analog zu **2.1.1** in Schutzart IP 31 bei Innerraumverteilern, sowie Schutzart IP 54 bei Freiluftverteilern auszuführen. Bei den Schutzmaßnahmen ist darauf zu achten, dass RCDs nach DIN VDE 0664-1 „Fehlerstrom-Schutzeinrichtung“ für eine Frequenz von 50 Hz einzusetzen sind. Auch hier ist die Verteilung im TT-System aufzubauen und überspannte Gleise im Bereich der EWHA sind gemäß [4] zu vermaschen. Nicht überspannte Gleise, in denen sich Weichenheizungen befinden sind in die Vermaschung einzubeziehen. Abbildung 8 zeigt den allgemeine Systemaufbau einer Weichenheizanlage am 400-V/50-Hz-Netz [1], [2].

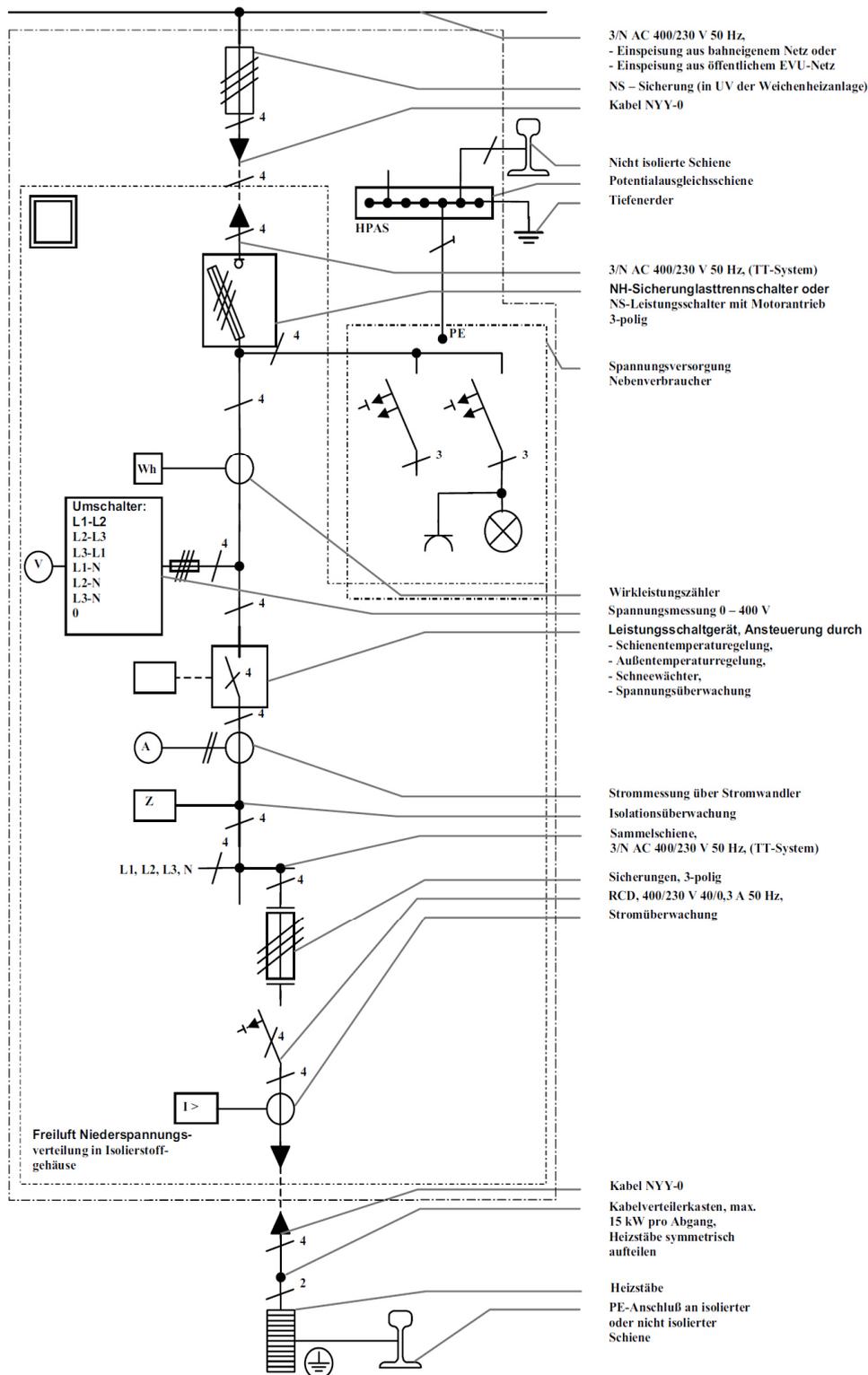


Abbildung 8: Systemaufbau einer Weichenheizanlage am 400-V/50-Hz-Netz
 (Quelle: Fendrich, L. [Hrsg.]: Handbuch Eisenbahninfrastruktur, Springer, 2007, S. 486 [10.17].)

2.2 Weichenheizeinrichtung

Die Regelausführung einer Weichenheizeinrichtung sieht die Beheizung von Backenschiene, Verschlussfach und beweglichen Herzstücken vor. Beim Einbau ist darauf zu achten, dass in allen Schwellenfächern der beheizten Weiche unterhalb der Schienenunterkante ein Freiraum von ≥ 65 mm vorhanden ist, um die Befestigungselemente der Weichenheizstäbe an den Schienen anbringen zu können. Die jeweilige Einbauanleitung, die bei jeder Heizstablieferung durch den Hersteller beigelegt wird, ist zu beachten. Auf die hochfeste Schraubverbindung der Anschlusskopfbefestigung ist besonderen Wert zu legen. Diese ist mit einem Drehmomentschlüssel auf ein Drehmoment von 68 Nm anzuziehen. Beim Zusammenbauen dürfen nur die gelieferten Bauteile verwendet werden. In Abbildung 20 ist die Anbringung der Heizstäbe an der Weichenspitze dargestellt. Nach dem Errichten der Anlage ist eine technische Dokumentation gemäß Richtlinie 954.0102 „Elektrische Energieanlagen – Anlagen planen, errichten und abnehmen“ zu erstellen. Für jede Bedienstelle der EWHA ist durch den Errichter eine anlagen- und standortspezifische Bedienungsanleitung zu erstellen. Die Anleitung muss Beschreibungen der Anlage, Lage- und Übersichtsschaltpläne, sowie eine ausführliche Beschreibung der Bedienung der Anlage durch das örtliche Betriebspersonal enthalten. An jeder Bedienstelle ist diese Bedienungsanleitung vorzuhalten. Handlungsanweisungen für einen Störfall sind checklistenartig darzustellen. Eine Störungsmeldestelle ist an der Bedienstelle der EWHA zu benennen. Erforderliche Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten sind vom Errichter der Anlage mit den durchzuführenden Wartungsintervallen zu dokumentieren. Der Prüfablauf zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Anlage ist detailliert zu beschreiben [2].

2.2.1 Heizkörper

Der stabförmige Heizkörper mit flachovalem Querschnitt arbeitet nach dem Prinzip der elektrischen Widerstandsheizung mit einer spezifischen Heizleistung von ca. 330 W/m. Die Heizstäbe sind gemäß [5] herzustellen. Dabei sind als Heizleiter eine Chromnickel-Legierung NiCr 80/20 oder eine Kupfernicket-Legierung CuNi 44 zu verwenden. Als Isoliermasse kommt Magnesiumoxid zum Einsatz. Das Anschlussende ist mit Gießharz wasserdicht verschlossen. Der Querschnitt des Heizstabes hat die Abmessungen $13^{+0,5}_{-0,25} \times 5,5^{\pm 0,25}$ mm. Die Toleranz der Leistungsaufnahme darf - 10 %/ + 5% betragen, bezogen auf den jeweiligen Nennwert der jeweiligen Leistung des Stabes. Die Heizstäbe müssen der Schutzklasse I entsprechen, dabei ist aber kein grünelber Schutzleiter von Nöten, da die Anschlusskopfbefestigung die Schutzleiterverbindung zwischen Heizstab und Schiene darstellt. Die Anschlusskopfbefestigung muss so gestaltet werden, dass sie eine dauerhafte elektrische Verbindung zwischen Heizstabmantel und Schiene gewährleistet. Der Schutzleiteranschluss

muss gekennzeichnet werden. Als Schutzart für die Heizstäbe und der Leitung H07BQ-F 2 x 1,5 mm² bzw. dem vergossenen Anschlusskopf ist IP 65 zu erfüllen. Der Anschlusskopf und der Stab werden mit geeigneten Befestigungseinrichtungen, die einen guten Wärmeübergang sicherstellen und trotzdem die Längendehnung des Heizstabes nicht behindern, montiert. Durch Wärmeleitung wird die Wärme auf die zu beheizenden Bauteile der Weiche übertragen. Die Bestückung der jeweiligen Weichen ist vom Schienenprofil (S49, S54, UIC 60) und vom Weichenradius abhängig und können bei oberbautechnischen Zwängen um 180° gedreht werden [2], [5].

2.2.2 Backenschienen-, Herzstück- und Verschlussfachheizung

Bei der Backenschienenheizung werden die Heizstäbe auf dem Schienenfuß mittels Klemmbügel und einer Anschlusskopfbefestigung pro Heizstab befestigt (siehe Abbildung 9). Der Heizstab ragt im Zungenspitzenbereich 200 – 600 mm über die Zungenspitze hinaus. Bei Weichen, deren Zungenanfang mehr als 200 mm über die erste Rippengleitplatte hinausragt, wird der Heizstab zur Vermeidung von möglichen Beschädigungen nach der tiefer liegenden Außenkante des Schienenfußes hin abgebogen. Der Biegeradius am Heizstab beträgt ≥ 100 mm. Die Wärmeübertragung erfolgt über die Gleitstühle zur Weichenzunge hin. Es stehen folgende Heizstäbe [Leistung / Länge] zur Verfügung:

- 900 W / 2870 mm,
- 1200 W / 3720 mm,
- 1500 W / 4700 mm [2].

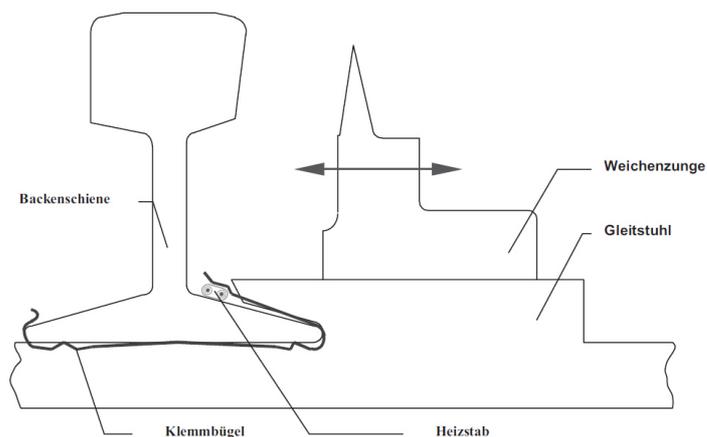


Abbildung 9: Anbringung des Heizstabes an die Backenschiene
(Quelle: Fendrich, L. [Hrsg.]: Handbuch Eisenbahninfrastruktur, Springer, 2007, S. 494 [10.27].)

Bei elektrisch beheizten Herzstücken an Eisenbahnweichen wird zwischen gelenkig beweglichen und federnd beweglichen Herzstücken unterschieden. Bei federnd beweglichen Herzstücken wird der Heizstab am Schienensteg mittels Schellen befestigt. Abbildung 10

zeigt die Anbringung der Heizstäbe im Herzstückbereich. Die Herzstückheizung wird zusammen mit der Backenschienenheizung gesteuert. Hier stehen folgende Heizstäbe [Leistung / Länge] zur Verfügung:

- 600 W / 1680 mm,
- 900 W / 2385 mm,
- 1050 W / 2740 mm,
- 1100 W / 2880 mm,
- 1300 W / 3350 mm,
- 1600 W / 4100 mm,
- 2000 W / 5200 mm [2].

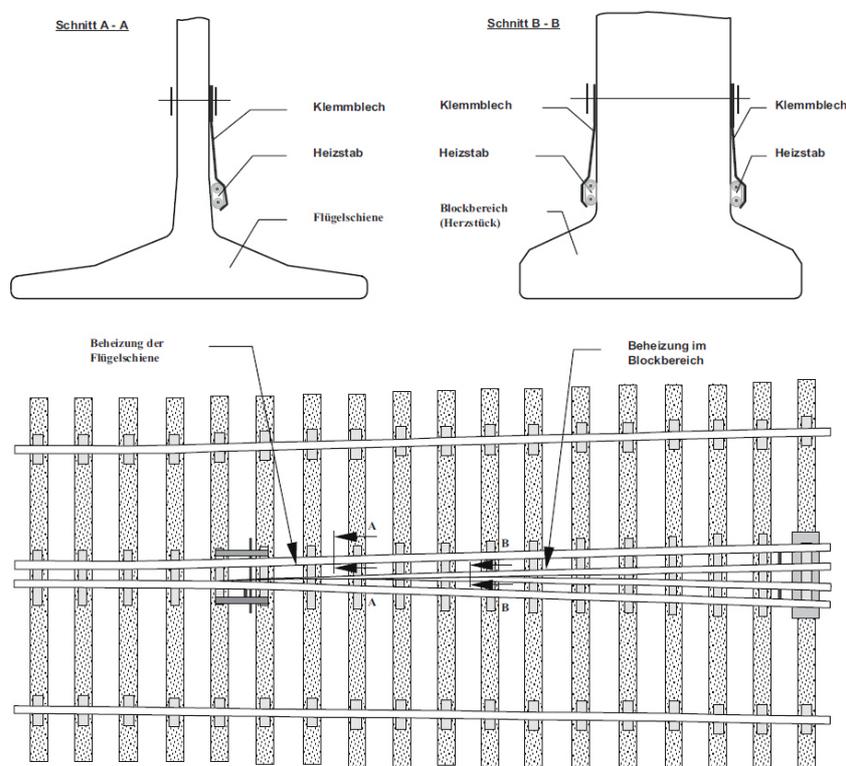


Abbildung 10: Anbringung der Heizstäbe im Herzstückbereich
(Quelle: Fendrich, L. [Hrsg.]: Handbuch Eisenbahninfrastruktur, Springer, 2007, S. 495 [10.28].)

Um die Verschlusseinrichtungen einschließlich der Gestänge schnee- und eisfrei zu halten, werden in Verbindung mit der Backenschienenheizung und der Temperaturregelung immer Verschlussfachheizungen vorgesehen. Die zweiteilige Trägerplatte (3 mm dick) wird unbefestigt in das Verschlussfach eingebracht und mit zwei Laschen mechanisch und elektrisch leitend verbunden. In Abbildung 11 ist die Beheizung der Verschlussfächer dargestellt. Die gesamte Trägerplatte wird mit einem flexiblen isolierten Erdungsseil 1 x 35 mm² im nächsten Schwellenfach mit der nicht isolierten Schiene verbunden. Die Heizleistung beträgt im Regelfall 250 W je Heizstab [2].

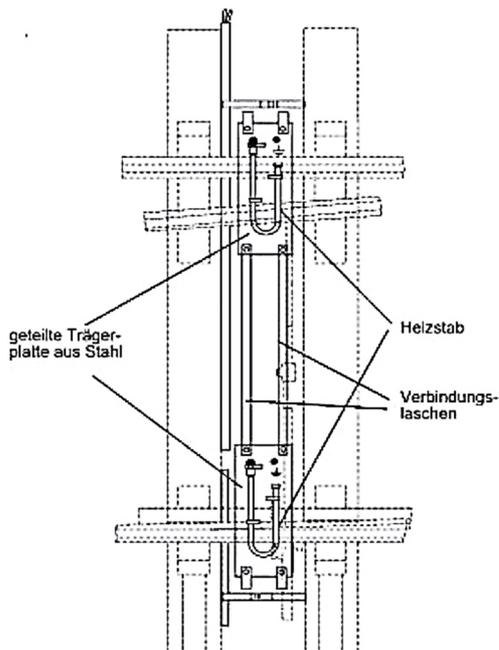


Abbildung 11: Beheizung der Verschlussfächer

(Quelle: RIL 954.9101; Fachautor: I.NPF 23(O); Bruno Braun: Elektrische Energieanlagen, Elektrische Weichenheizanlagen, 01.10.2016, S. 27 [14].)

2.3 Diesellaggregate als Netzersatzanlagen bei der Deutschen Bahn

Netzersatzanlagen sind Einrichtungen, die aus vorhandenen Ressourcen elektrischen Strom erzeugen, um eine Verfügbarkeit von elektrischer Energie unabhängig von den örtlichen Stromnetzen zu gewährleisten. Diesellaggregate sind dabei eine Stromerzeugungseinheit aus einer Verbrennungskraftmaschine und einem Generator. Bei der Deutschen Bahn kommen Aggregate unterschiedlicher Größe und Leistung zum Einsatz. Tragbare Kleingeräte werden beispielshalber bei Baumaßnahmen zur Versorgung von Kleinverbrauchern oder von Baustrahlern genutzt. Währenddessen werden mobile Netzersatzanlagen, die auf fahrbaren Anhängern montiert sind, für die Ersatzstromversorgung von kleineren Anlagen (z.B. GSM-R-Stationen, Bahnübergänge) genutzt. Stationäre Aggregate werden für die Notstromzufuhr von Stellwerken fest installiert und sollen bei einem Netzausfall automatisch starten und spätestens nach 15 Sekunden die Versorgung der Verbraucher übernehmen. Die Versorgung durch Dieselkraftstoff erfolgt über einen angeschlossenen Tank, der auch während des Betriebes nachgefüllt werden kann. Um bei kurzzeitigen Spannungsschwankungen oder beim Hochfahren des Aggregates keinen Rechnerausfall hervorzurufen, werden bei elektronischen Stellwerken immer unterbrechungsfreie Stromversorgungen verbaut. Dabei werden die Verbraucher im ESTW kurzzeitig über die Stellwerksbatterie und den daran angeschlossenen Wechselrichter versorgt.

2.4 Brennstoffzellen als Netzersatzanlagen bei der Deutschen Bahn

Eine weitere Möglichkeit der Notstromversorgung ist die mittels Brennstoffzelle. Heutzutage ist es wichtig, dass die Ressourcen unserer Erde geschont werden und der CO₂-Austoß reduziert wird. Auch die Deutsche Bahn hat als globales Unternehmen eine große Verantwortung gegenüber der Umwelt und hat mit der „Strategie DB 2020“ das Ziel ausgegeben, ein „Umwelt-Vorreiter“ zu werden. Die DB Bahnbaugruppe hat deswegen 2015 die Brennstoffzelle in ihr Produktportfolio aufgenommen. Bis Juni 2016 hat sie drei Brennstoffzellensysteme entwickelt, die auf die bahnspezifischen Anforderungen abgestimmt sind. Die Polymerelektrolytbrennstoffzelle (PEMFC) mit Wasserstoff als Brennstoff deckt Leistungsklassen von 2 kW bis 100 kW ab und hat einen Wirkungsgrad von ca. 54 %. Mit der Direktmethanolbrennstoffzelle (DMFC) mit Methanol als Kraftstoff werden kleiner Leistungsklassen bis 500 W abgedeckt, wobei ein elektrischer Wirkungsgrad von ca. 40 % erreicht wird. Mit einem Wirkungsgrad von ca. 35 % und Leistungen bis 1 kW wird die Festoxidbrennstoffzelle (SOFC) betrieben. Sie benutzt Flüssiggas, Propan oder Butan als Brennstoff. Bei Anlagen im Wasserstoffbetrieb wird der Wasserstoff im Regelfall über Druckgasflaschen (50 l/300 bar) zugeführt. Eine Bereitstellung in einem Wasserstofftank oder die direkte Erzeugung über einen Reformier ist aber auch möglich. Ende 2016 wurde eine PEMFC-Netzersatzanlage für das Stellwerk Berlin-Hoppegarten in Betrieb genommen. Die Anlage ist für eine Leistung von 20 kW ausgelegt und wird im Ernstfall mit 15 Druckgasflaschen Wasserstoff betrieben. Ein Netzausfall von ca. 25 Stunden kann damit überbrückt werden. Außerdem können netzferne Baustellen mit Energie versorgt werden. Weitere Einsatzmöglichkeiten für die PEMFC bei der Deutschen Bahn sind die Stromversorgung von Geschwindigkeitsprüfeinrichtungen und einzelstehenden Formsignalen und die Dauerversorgung von Funkstationen. Die DMFC kommt hingegen bei kleineren Leistungsbereichen zum Einsatz, so dass im September 2015 eine NEA für analogen Zugfunk in Bayern mit einer Leistung von 110 W in Betrieb genommen wurde. Außerdem kommen Tunnel- und Videoüberwachungssysteme oder dynamische Schriftanzeiger in Betracht [6].

3 Auslegung und Projektierung der mobilen Weichenheizanlage

3.1 Projektierung unabhängig vom Energiebezug

Bei der mobilen Weichenheizung sind die Außenanlage und Teile der Innenanlage unabhängig vom Energiebezug zu realisieren. Im **Kapitel 3.1** soll nun die Projektierung dieser Anlagenteile erfolgen. Bei der Planung und Errichtung einer elektrischen Weichenheizanlage sind folgende technische Unterlagen zu beachten:

- Richtlinie 954.9101 „Elektrische Energieanlagen – Elektrische Weichenheizanlagen“
- Richtlinie 954.010X „Elektrische Energieanlagen“
- Richtlinie 954.020X „50-Hz-Elektrizität beziehen, abgeben, abrechnen“
- Richtlinie 997.01XX „Oberleitungsanlagen – Oberleitungsanlagen planen, errichten und instandhalten“
- Richtlinie 997.02XX „Oberleitungsanlagen – Rückstromführung, Bahnerdung und Potentialausgleich“
- DIN-VDE-Normen, DIN-Normen und EN-Normen
- Unfallverhütungsvorschriften der BUV, Betriebssicherheitsverordnung
- Technische Lieferbedingungen und Deutsche Bahn Standards
- Regelzeichnungswerke Elh, Ebgw, Eku und Ebs
- Technische Anschlussbedingungen der Versorgungsnetzbetreiber
- Richtlinien des Eisenbahn-Bundesamtes insbesondere VV BAU-STE

Die Planung ist außerdem mit den für Fahrbahn, sowie für Leit- und Sicherungstechnik zuständigen Stellen abzustimmen [2].

3.1.1 Randparameter der Aufstellung

Für die beiden Ausführungen mit Brennstoffzelle oder mit Dieselaggregat werden in den jeweiligen Kapiteln zwei Varianten vorgestellt. Die Varianten sehen vor, die Anlage entweder auf einem mobilen PKW-Anhänger oder in einem ISO-Container zu installieren. Für beide Varianten muss im Vorfeld ein geeigneter Stellplatz gefunden werden. Dabei ist zu beachten, dass für Mensch und Natur keine Gefahren oder Beeinträchtigungen auftreten und gleichzeitig die Leitungslängen geringgehalten werden. Sollten funktionstüchtige Zuleitungen, Anschlusskästen und Heizeinrichtungen vorhanden sein, so sind diese im Regelfall auch zu nutzen. Bei Neuanfertigung von Leitungen und Heizeinrichtungen sind diese wie im **Kapitel 2** beschrieben anzufertigen und anzubringen. Da die mobile Weichenheizung nur bei befristeten Maßnahmen zu tragen kommt und ein schneller Einbau erforderlich ist, kann auf die

Neuanfertigung von Kabeltrassen oder eine Erdverlegung verzichtet werden. Jedoch können Starkstromkabel ≤ 1000 V ohne besondere Vorkehrungen und ohne Einschränkungen gemeinsam mit Signal- und/oder Fernmeldekabel in Rohrzügen, Trögen, Gräben und Schächten verlegt werden. Außerdem ist eine Kabelverlegung am Schienenfuß zulässig. Bei der Schienenfußverlegung ist auf die vorgeschriebenen Befestigungselemente zu achten (Schienenfußklammern, Schienenfußabzweig). Bei der Stromversorgung ist darauf zu achten, dass folgende Teilsysteme und Komponenten für den Einsatz eine Freigabe der DB Netz AG besitzen:

- Unterbrechungsfreie Stromversorgungen
- Gleich- und Wechselrichter
- Frequenzwandler
- Gleichspannungswandler
- Batterie
- Stationäre Netzersatzanlagen.

Die freigegebenen Komponenten findet man innerhalb einer Freigabeliste. Änderungen werden per technischer Mitteilung bekanntgegeben. Von der Freigabe ausgenommen sind Bauteile wie: Schütze, Relais, Trafos, Installationsmaterial, Sicherungen und Ähnliches. Diese müssen aber den zutreffenden Europäischen Normen (EN oder HD) bzw. den geltenden DIN-VDE-Bestimmungen entsprechen. Eine CE-Konformität muss außerdem bescheinigt sein. Abweichungen vom Regelwerk sind grundsätzlich nicht erlaubt. Werden im Einzelfall Abweichungen erforderlich, so müssen die geplanten Abweichungen begründet und bei der geschäftsführenden Stelle formlos beantragt werden. Die Zustimmung der geschäftsführenden Stelle wird dann als unternehmensinterne Genehmigung (UiG) herausgegeben [7], [8], [9].

Vor der Erstinbetriebnahme der Anlage ist eine Erstprüfung nach DIN VDE 0100-600 zu erbringen und folgende Prüfnachweise zu erstellen:

- Prüfungsnachweis für elektrische Energieanlagen bis 1000 V (Vordruck 954.0102V01 – **siehe Anlage 1**)
- Messprotokoll für elektrische Energieanlagen bis 1000 V (Vordruck 954.0102V02 – **siehe Anlage 2**)
- Mängelliste zum Prüfungsnachweis (Vordruck 954.0102V03 – **siehe Anlage 3**)
- Errichterbescheinigung über die ordnungsgemäße Errichtung der elektrischen Energieanlage incl. Bestätigung nach § 5 Absatz 4 der Unfallverhütungsvorschrift „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ (BGV A3) bzw. GUV – V A3)

- Für die elektrischen Energieanlagen in explosionsgefährdeten Bereichen ist zusätzlich eine Prüfbescheinigung durch eine zugelassene Überwachungsstelle bzw. eine befähigte Person zu erstellen

Vor der Erstinbetriebnahme ist außerdem eine Abnahmeprüfung erforderlich. Die technische und funktionale Abnahme ist gemäß VV BAU-STE durch einen vom EBA anerkannten Abnahmeprüfer durchzuführen, um einen Nachweis der rechts- und normgerechten Errichtung zu erbringen. Außerdem wird die betriebliche Gebrauchsfähigkeit unter Zugrundelegung bahnspezifischer Forderungen an die Anlage nachgewiesen. Die Prüfung ist dabei gewissenhaft, mit der notwendigen Sorgfalt und erforderlichen Prüftiefe, sowie ohne Zeitdruck durchzuführen. Der Abnahmeprüfer überprüft die Anlage auf:

- die Übereinstimmung mit den genehmigten Ausführungsunterlagen,
- die einschlägigen Rechtsvorschriften und die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik,
- die qualitätsgerechte Ausführung,
- ausreichende Mess- und Prüfergebnisse,
- Betriebssicherheit.

Damit leistet die technische und funktionale Abnahme einen Beitrag zu Qualitätssicherung. Wurde die Anlage ordnungsgemäß abgenommen, wird ein Inbetriebnahmeverantwortlicher benannt, der die Anlage dem Anlagenbetreiber mit allen Dokumenten und Prüfnachweisen übergibt. Dabei sind alle Unterlagen, die für den Betrieb und die Instandhaltung der Anlage erforderlich sind, zu übergeben. Die mit dem Betrieb oder der Instandhaltung beauftragten Mitarbeiter sind über alle Gefährdungen zu unterweisen. Basis dafür ist unter anderem die Gefährdungsbeurteilung. Um die Zuverlässigkeit, Sicherheit und Leistungsfähigkeit der Anlage und deren Betriebsmittel während ihres gesamten Lebenszyklus sicher zu stellen und die prognostizierte Lebensdauer bei bestimmungsgemäßen Betrieb zu erreichen, müssen Instandhaltungsmaßnahmen im Voraus geplant werden. Die Verantwortung zur Durchführung der Instandhaltung liegt bei dem Betreiber der mobilen Weichenheizeanlage. Die Instandhaltung muss mit Elektrofachkräften bzw. mit befähigten Personen durchgeführt werden. Art und Umfang der Instandhaltung richtet sich nach der Bauart der Anlage, deren Beschaffenheit, Zustand, Einsatzzweck, der geforderten Versorgungsverfügbarkeit, spezifische Betriebs- und Umgebungsbedingungen, sowie betriebliche Historie der Betriebsmittel. Herstellerempfehlungen sind zu bewerten und gegebenenfalls in die Instandhaltungsstrategie zu integrieren. Die Durchführungszeitpunkte und -häufigkeiten werden je nach gewählter Instandhaltungsart bzw. dem Ergebnis einer

Gefährdungsbeurteilung definiert. Die ordnungsgemäße Durchführung der Instandhaltung ist lückenlos nachzuweisen [7].

3.1.2 Schutzmaßnahmen

Unter Schutzmaßnahmen in der Elektrotechnik versteht man den Brandschutz und alle Vorkehrungen zum Schutz von Personen und Tieren gegen einen elektrischen Schlag infolge von einer gefährlichen Berührungsspannung. Diese liegt bei einem erwachsenen und gesunden Menschen dann vor, wenn eine Wechselspannung größer 50 V oder eine Gleichspannung größer 120 V vorhanden ist. Man unterscheidet dabei den Basis- und den Fehlerschutz. Beim Basisschutz dürfen gefährliche und aktive Teile nicht direkt berührbar sein. Der Schutz gegen direktes Berühren wird mit den folgenden Schutzmaßnahmen realisiert:

- Schutz durch Isolierung
- Schutz durch Abdeckung oder Umhüllung
- Schutz durch Hindernisse
- Schutz durch Abstand
- Schutzkleinspannung

Im Fehlerfall können elektrisch leitfähige Teile einer Anlage eine unzulässige Berührungsspannung führen und somit zu einem indirekten Berühren führen. Der Fehlerschutz soll Vorkehrungen bei indirektem Berühren mit nachfolgenden Schutzmaßnahmen treffen:

- Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung
- Schutz durch doppelte Isolierung
- Schutzkleinspannung
- Schutztrennung
- Schutz durch nichtleitende Räume [7]

Die mobile Weichenheizanlage soll wie die normale EWHA im TT-System aufgebaut sein. Dabei ist die anzuwendende Schutzmaßnahme bei indirektem Berühren der Schutz durch eine automatische Abschaltung der Stromversorgung. Diese Schutzmaßnahme benötigt einen Schutzleiter, der an die Körper der Betriebsmittel anzuschließen ist und diese an ihrem Standort erdet. Der Sternpunkt der Einspeisung ist außerdem zu erden. Jeder Fehlerstrom wird dann über das Erdreich zur Spannungsquelle zurückgeführt. Ein Körperschluss wird im TT-System nur zu einem Erdschluss und nicht wie im TN-System zu einem Kurzschluss. Daher ist der Fehlerstrom im Vergleich zum TN-Netz auch sehr niedrig. Als Schutzeinrichtungen im TT-System sind Überstromschutzeinrichtungen und Fehlerstromschutzschalter anerkannt. Da die Überstromschutzeinrichtungen beim Fehlerfall zu lange Auslösezeiten aufweisen und

mögliche Beeinflussungen von Leit- und Sicherungstechnikanlagen auftreten können, sind in den Heizkreisen RCDs mit $I_{\Delta N} = 0,3 \text{ A}$ oder $I_{\Delta N} = 0,5 \text{ A}$ einzusetzen. Die maximal zulässigen Abschaltzeiten im TT-System sind in Tabelle 1 auf Seite 7 dargestellt. Die RCDs müssen für eine Temperatur bis -25 °C zugelassen und mit dem Symbol „Schneekristall“ gekennzeichnet sein. Da im Regelfall die Steuerspannung mit einer Frequenz von 50 Hz zu gewährleisten ist und ein Aufbau der mobilen Weichenheizanlage mit zwei Frequenzen zu aufwendig wäre, wird die ganze Anlage mit einer Netzfrequenz von 50 Hz betrieben. Der Fehlerstromschutzschalter für den Steuerstromkreis ist ebenfalls mit einem Nenn-differenzstrom von 0,3 A auszulegen. Die Beleuchtung, die Heizung und die Service-Steckdose in dem jeweiligen Verteiler sind mit einer RCD $I_{\Delta N} = 0,03 \text{ A}$ abzusichern. Für alle Fälle sind RCDs nach DIN VDE 0664-1 „Fehlerstrom-Schutzschalter für Wechselspannung bis 500 V und bis 63 A“ für eine Frequenz von 50 Hz einzusetzen. Der Mindestquerschnitt von Schutzleitern ist nach Tabelle 2 auszuwählen:

Querschnitt S der Außenleiter der Anlage [mm²]	Mindestquerschnitt des entsprechenden Schutzleiters [mm²]
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

Tabelle 2: Schutzleiterquerschnitte
(Quelle: RIL 954.0107; Fachautor: I.EBZ 4; Ludwig Linke: Elektrische Energieanlagen, Schutz gegen elektrischen Schlag, 01.03.2012, S. 5 [1].)

Zur Verwendung von Schutzleiter stehen zur Verfügung:

- Leiter in mehradrigen Kabeln und Leitungen
- isolierte oder blanke Leiter in gemeinsamer Umhüllung mit aktiven Leitern
- fest verlegte blanke Leiter (z.B. Schienen)
- fest verlegte isolierte Leiter
- metallische Umhüllung wie Mantel, Schirm und konzentrischer Leiter bestimmter Kabel (NYCY, NYCWY)
- andere Metallumhüllungen (wenn ihre durchgehende elektrische Verbindung durch die Bauart sichergestellt ist, ihre Leitfähigkeit mindestens dem Querschnitt aus Tabelle 2 entspricht und an jeder dafür vorgesehenen Stelle Schutzleiter angeschlossen werden können)

Zur Kennzeichnung des Schutzleiters muss die Kombination aus den zwei Farben grün und gelb benutzt werden. Diese Farbkombination darf nicht für andere Leiter verwendet werden.

Isolierte Schutzleiter müssen in ihrem ganzen Verlauf durchgehend grün und gelb gekennzeichnet sein. Blanke Leiter oder Sammelschienen, die als Schutzleiter verwendet werden, müssen mit einem geschlossenen, aneinander liegenden, gleichbreiten, grünen und gelben Streifen, der eine Breite zwischen 15 und 100 mm besitzt, gekennzeichnet sein. Die vorhandene Schutzmaßnahme bei indirektem Berühren muss bei jeder Einspeiseform wirksam bleiben [7].

Als erstes Abschaltorgan nach der Speisung aus dem Wechselrichter oder dem Diesel-Aggregat wird ein NH-Sicherungslasttrennschalter in der Niederspannungsverteilung verwendet. Um den direkten Berührungsschutz einzuhalten, müssen die verteilerinternen Verbindungsleitungen zwischen Lasttrennschalter und der Sammelschienen mit verstärkter Isolierung ausgeführt und besonders sicher verlegt werden. Die Schutzmaßnahme Schutzkleinspannung kommt bei der Brennstoffzellenvariante zum Einsatz. Die Gleichspannungsseite vor dem Wechselrichter muss hier eine Spannung unter der maximal zulässigen Berührungsspannung von 120 V aufweisen.

3.1.3 Erdungskonzept

In [7] steht zur Anforderung an Erdungsanlagen: „Erdungsanlagen dürfen für Schutz- und Funktionszwecke, entsprechend den Anforderungen der EEA, gemeinsam oder getrennt verwendet werden. Die Festlegungen für Schutzzwecke müssen immer Vorrang haben. Die Anforderungen dienen dazu, eine Verbindung über Erdungsleiter zur Erde herzustellen die für die Schutzanforderungen der EEA geeignet und zuverlässig ist, Erdfehlerströme und Schutzleiterströme sicher zur Erde ableiten kann und äußeren Einflüssen und Korrosion widerstandsfähig ist.“ Erdungsanlagen sollen also Schutzmaßnahmen gegen das indirekte Berühren von Spannungen aus **3.1.2** unterstützen und sind für den Personenschutz im TT-System unabkömmlich. Als Erder kommen die Bahnerde, Gleisanlagen an nichtelektrifizierten Strecken, Fundamenterder und sonstige künstliche Erder (z.B. Tiefenerder oder Ringerder) in Frage. Wird die mobile Weichenheizung über die Bahnerde geerdet, so ist bei Gleisen mit einschieniger Isolierung der Erdungsleiter an die nichtisolierte Schiene anzuschließen. An elektrifizierten Strecken ist bei Gleisen mit zweischieniger Isolierung die Anschlussstelle des Erdungsleiters im Benehmen der Fachlinie Leit- und Sicherungstechnik festzulegen. Die Erdungsleiter von der Haupterdungsschiene für die Betriebserdung sind immer zweifach auszuführen. An die Betriebserdung wird auch der Sternpunkt der jeweiligen Einspeisung geerdet. Wird eine Standdauer von zwei Wochen nicht überschritten, können diese mit einem Behelfsverbinder an zwei verschiedenen Hauptgleisen angeschlossen werden. Ist das nicht der Fall, müssen diese mit einem technisch freigegebenen

Schienenanschlussverfahren an die Schiene angebracht werden. Die Anschlussstellen sind mit einem Abdeckblech (siehe Abbildung 4) zu kennzeichnen und die Gleise sind zu vermaschen, wie es in **2.1.1** angegeben wurde. Der Erdungsleiter besteht aus Kupfer mit einem Querschnitt von 50 mm². Leitwertgleiche Erdungsleiter sind ebenfalls zulässig. Da in der mobilen Weichenheizanlage auch ein Hauptpotentialausgleich installiert werden muss, kann dieser zusammen mit der Haupterdungsschiene kombiniert werden. Die HES/HPAS ist über einen weiteren Erdungsleiter mit einem künstlichen Erder zu verbinden. Steht die Bahnerde nicht zur Verfügung, ist die HES/HPAS an zwei unabhängige Erder über Erdungsleiter anzuschließen. Werden Tiefenerder genutzt, dürfen diese einen Erdungswiderstand von 10 Ω nicht überschreiten. An den Hauptpotentialausgleich sind alle leitfähigen und berührbaren Teile der Anlage anzuschließen. Dazu gehören die Erdungsleiter, die Schutzleiter, leitfähige Rohrleitungen, Lüftungskanäle, Metallteile der Gebäudekonstruktion und Ähnliches. Die Heizstäbe werden über die Anschlusskopfbefestigung an der Schiene mit der Bahnerdung verbunden [7].

3.1.4 Leistungsbedarf

Die mobile Weichenheizung soll sich komplett autark versorgen. Durch diesen Inselbetrieb müssen einerseits die Leistungen der Heizeinrichtungen und andererseits die Leistungen der Steuerung und Überwachung der Anlage berücksichtigt werden. Die Beleuchtung und Schutzkontaktsteckdosen spielen hierbei nur eine untergeordnete Rolle, da diese nur im Bedarfsfall genutzt werden. Die Leistung der jeweiligen Heizeinrichtung richtet sich nach der Standardausführung einer Weiche, die in der Richtlinie 954.9101 Anhang 2 „Bestückungsliste für gebräuchliche Weichenarten“ vorgegeben ist. In **Anlage 4** ist die Bestückungsliste noch einmal übersichtlich dargestellt. Die Standardbestückung richtet sich nach der Weichenart, dem Schienenprofil und dem Zweiggleisradius. Nachfolgend sind die Abkürzungen für die Weichenart in der Bestückungsliste aufgeführt:

- EW: Einfache Weiche
- ABW: Außenbogenweiche
- Kr: Kreuzung
- EKW: Einfache Kreuzungsweiche
- DKW: Doppelte Kreuzungsweiche

Die Zahl nach der Weichenart stellt das verwendete Schienenprofil dar. Die gängigsten Schienenprofile bei der Deutschen Bahn sind S49, S54 und UIC 60. Die letzte Angabe ist der Radius im Zweiggleis. Dieser stellt damit auch die Größe einer Weiche dar und somit wieviel Heizstäbe benötigt werden. Einfache Weichen mit dem Schienenprofil UIC 60 und bis zu einem Zweiggleisradius mit 1200 m können zusätzlich mit einem beweglichen Herzstück

ausgerüstet werden. Alle anderen Weichen aus **Anlage 4 Seite 2** mit größeren Radien müssen zwingend mit einem beweglichen Herzstück ausgerüstet werden. Somit benötigt eine einfache Weiche mit dem Schienenprofil UIC 60 und einem Zweiggleisradius von 7000/6000 m eine Leistung von 32,4 kW an der Weichenspitze und 12,6 kW am beweglichen Herzstück. Die Gesamtleistung von 45 kW stellt damit die größte Leistung für eine einzelne Weiche dar. Die EW 49-190 ist mit 5,9 kW die Weiche mit dem niedrigsten Leistungsbedarf. Unter der Voraussetzung, dass die Maximalleistung der Anlage mindestens 2 Weichen beheizen soll, ergibt sich ein abzudeckender Heizleistungsbereich von 5,9 kW bis 90 kW. Die Steuer- und Regelgeräte der einzelnen Heizabgänge besitzen eine Leistungsaufnahme von 5 W. Die Versorgung der einzelnen Rechnerbaugruppen und den Sensoren erfolgt über 24 V Gleichrichter mit 48 bzw. 96 W Leistung. Des Weiteren soll die Verteilung mit einer Schrankheizung (60 W), Schaltschrankbeleuchtung (10 W) und einer Schutzkontaktsteckdose bis zu 16 A (3,68 kW) ausgerüstet werden. Für die Containerlösung kann auf die Schaltschrankbeleuchtung verzichtet werden, da dort zwei Leuchtstofflampen mit jeweils 18 W Leistung an der Decke angebracht werden.

3.1.5 Energiemanagement

Unter dem Aspekt des Umweltschutzes und der Tatsache, dass die Weichenheizanlage vor Ort nur mit begrenzt vorrätigen Kraftstoffen betrieben wird, ist es wichtig die Anlage energiesparend zu betreiben. Das größte Einsparungspotential hat man hierbei bei der aufzubringenden Heizleistung. Ein einfaches Einschalten in den Dauerbetrieb ist unwirtschaftlich, nicht gut für die Umwelt und erfordert ein ständiges Auffüllen der Kraftstoffvorräte. Deshalb ist eine intelligente Steuer- und Regelschaltung für die mobile Weichenheizung enorm wichtig. Sie dient dazu, dass nur geheizt wird, wenn es die Witterungsverhältnisse erfordern. Sensoren sollen die Wetterdaten am jeweiligen Standort erfassen und an eine Fühlerstation übermitteln. Die Fühlerstation ist wiederum mit einer Steuereinheit im Schaltschrank verbunden, die die Daten letzten Endes auswertet und über die Heizanforderung entscheidet. Die Sensorik an der Fühlerstation (Abbildung 12) umfasst Niederschlagsfühler, Lufttemperaturfühler, Schienentemperaturfühler und optional einen Flugschneefühler. Wann die Anlage nun anfängt zu heizen, muss in der Steuereinheit parametrisiert werden. Die einstellbaren Parameter wurden im Abschnitt **2.1.1** beschrieben und sind auch hier anzuwenden. Abbildung 13 zeigt, dass herkömmliche Weichenheizungen über ein Heizschütz mit Zweipunktregelung und einer Hysterese von vier Kelvin geschaltet werden. Dabei entsteht aufgrund der Schienenmasse ein Über- und Unterschwingen der Schienentemperatur. Mit dem Steuer- und Regelgerät „ISR25-4.1“ von ESA Grimma kann mittels Konstantregelung über einen PI-Regler die Schienentemperatur auf 3,5 °C gehalten

und der Energieeinsatz um ca. 35 % reduziert werden. Über die Steuereinheit und die daran angeschlossenen Steuer- und Regelgeräte ist es möglich, einen getakteten Gruppenbetrieb herzustellen. Im Gruppenbetrieb werden die Heizstäbe in mehrere Gruppen aufgeteilt und im Heizbetrieb wird dann zyklisch zwischen den Gruppen gewechselt.



Abbildung 12: Fühlerstation mit Ständer
(Quelle: Rahmenvertrag 564 92224990, ESA Grimma, 11/2015)

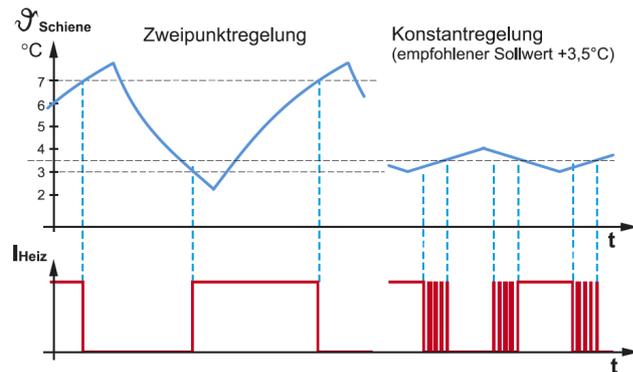


Abbildung 13: Energieeinsparung bei Konstantregelung gegenüber Zweipunktregelung
(Quelle: Prospekt ISR25-4, ESA Grimma, 05/2014)

In Abbildung 14 ist die Taktung der Gruppen dargestellt. Bei einer Einteilung in vier Gruppen sind die jeweiligen Heizstäbe nacheinander ein Takt ausgeschaltet und drei Takte eingeschaltet. Je nach Aufteilung der Stromkreise ergibt sich eine Ersparnis der maximalen Heizleistung von bis zu 25 % [10], [11].

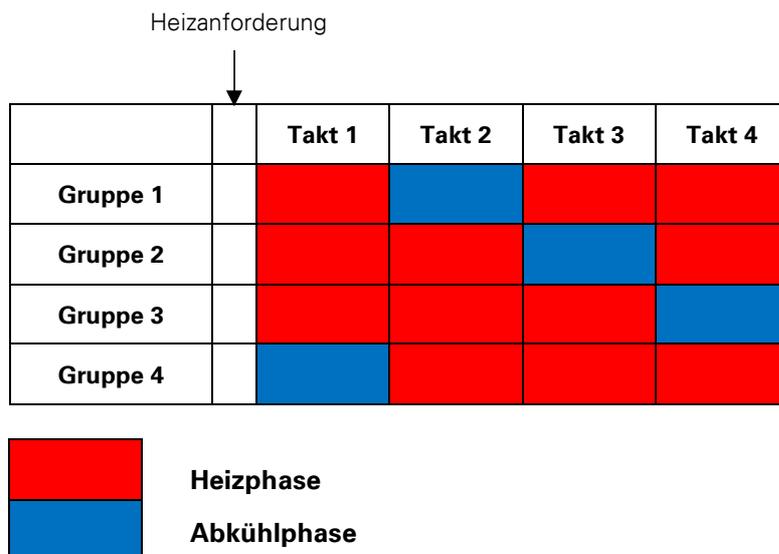


Abbildung 14: Taktung der Gruppen
(Quelle: **(vgl.)** Energiemanagement für elektrische Weichenheizungen zur Energieeinsparung und höheren Verfügbarkeit, ESA Grimma)

Zusätzlich kann über eine Wärmedämmung der Schiene nachgedacht werden. Dabei wird die Backenschiene einer Weiche außen und am Schienenfuß mit Wärmedämmungssegmenten durchgängig über die beheizte Schienenlänge versehen. Die Segmente bestehen aus teilkristallinen Thermoplast und werden mit Federstahlklemmen befestigt. Die Wärmedämmungssegmente sind in Abbildung 15 dargestellt. Vorteile sind die Minimierung der Wärmeverluste, die Verringerung des Windeinflusses und das schnellere Erwärmen bzw. das langsamere Abkühlen der Schiene. Hierbei wirbt ESA Grimma mit einer Energieeinsparung von ca. 15 %. Die Segmente und Klemmbügel sind mehrfach verwendbar und können einfach montiert und demontiert werden [10], [11].

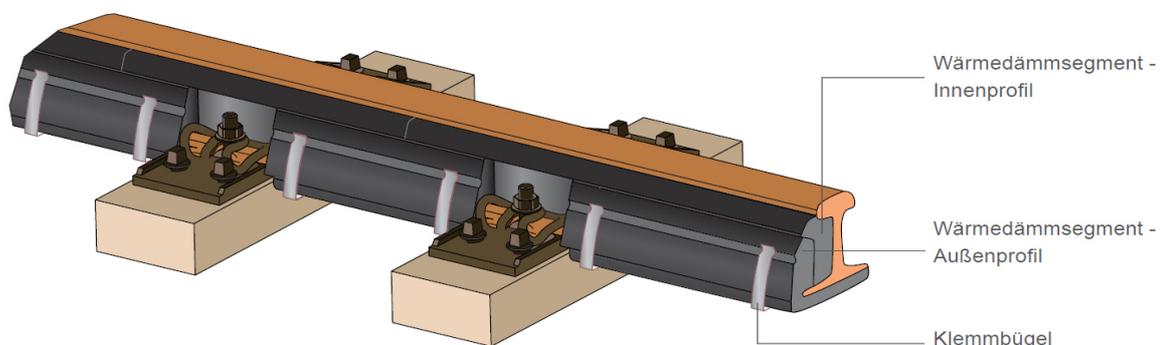


Abbildung 15: Backenschiene mit Wärmedämmung
 (Quelle: Typ WD-S, Wärmedämmung für Eisenbahnschienen – Elektrische Weichenheizungsanlagen WHVI, ESA Grimma, 05/2014)

3.1.6 Dimensionierung der Weichenheizanlage

Unabhängig davon, ob die Einspeisung aus der Brennstoffzelle oder dem Dieselaggregat betrieben wird, soll die Anlage an einem Dreiphasenwechselstromnetz mit einer Außenleiterspannung von 400 V und einer Frequenz von 50 Hz betrieben werden. Somit könnte die mobile Weichenheizanlage bei einer örtlichen Versorgungsmöglichkeit auch an das bahneigene oder an ein fremdes 50-Hz-Netz angeschlossen werden. In diesem Kapitel wird nun der Steuer- und Leistungsstromkreis der Heizanlage dimensioniert. Angaben zu der jeweiligen Einspeisung werden in den Kapitel **3.2.4** bzw. **3.3.6** getätigt. Wie im Kapitel **3.1.4** „Leistungsbedarf“ beschrieben, soll die Anlage mindestens zwei Weichen mit dem größten Heizbedarf laut **Anlage 4** versorgen. Als Beispiel werden deswegen jetzt zwei Weichen vom Typ EW 60-7000/6000 mit beweglichem Herzstück konfiguriert. Somit wird gewährleistet, dass auch alle anderen Weichentypen problemlos durch die Anlage versorgt werden können. Die Weichen sind als Weiche 1 und Weiche 2 bezeichnet. Als Erstes müssen die Heizstromkreise sinnvoll in einer Weichentabelle (**Anlage 5**) aufgeteilt werden. Bei der

Aufteilung ist darauf zu achten, dass die Außenleiter gleichmäßig belastet werden und eine Maximalleistung von 15 kW pro Stromkreis nicht überschritten wird. Die zwischen einem Außenleiter (L1, L2, L3) und dem Neutraleiter (N) geschalteten Heizstäbe bilden jeweils einen Heizkreis. Die drei Heizkreise an den unterschiedlichen Außenleitern bilden dabei einen Heizabgang. Die Heizkreise und Abgangsnummern werden fortlaufend nummeriert. Aus der Gesamtleistung P pro Heizkreis wird die Stromstärke über die Formel

$$I_B = \frac{P_H}{230 \text{ V}} \quad (1)$$

P_H = Heizkreisleistung

I_B = Betriebsstrom im Heizkreis

berechnet. Aus dem Betriebsstrom I_B ergibt sich die erforderliche Nennstromstärke der Sicherung für den jeweiligen Heizkreis. Diese muss größer sein als der errechnete Betriebsstrom. Als Sicherung werden NH-Sicherungen der Größe 00 und der Auslösecharakteristik gG „trägflink“ genutzt. Zum Schutz der Heizkreise gegen Fehlerströme werden wie in **3.1.2** beschrieben, RCDs mit einem Nenndifferenzstrom von 0,5 A und einer Nennstromstärke von 63 A verwendet. Das Kabel für die Heizabgänge verläuft dann von der Hauptverteilung zu den jeweiligen Anschlusskästen im Gleis. Dabei wird vieradriges Kabel des Typ NYY-O verwendet. Da die mobile Weichenheizung nur im Winter eingesetzt wird und nur bei maximalen Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt anläuft, kann bei der Auswahl des Leiterquerschnittes von vereinfachten Bedingungen ausgegangen werden. Der Querschnitt des Kabels errechnet sich somit aus der Formel

$$R = \frac{U}{I} = \frac{l}{q \cdot \kappa} \quad (2)$$

R = Widerstand

q = Leiterquerschnitt

κ = elektrische Leitfähigkeit der Leitung

l = Leiterlänge

I = maximale Stromstärke

U = Spannung

Umstellen der Formel nach dem Leiterquerschnitt, für die Spannung den zulässigen Spannungsabfall einsetzen und im Drehstromsystem die Verkettung beachten, ergibt die Formel

$$q = \frac{l \cdot \sqrt{3} \cdot I}{\Delta u \cdot U_N \cdot \kappa} \quad (3)$$

Δu = maximal zulässiger relativer Spannungsabfall

U_N = Nennspannung

Der errechnete Querschnitt wird dann auf den nächsthöheren Normquerschnitt (1,5 mm²; 2,5 mm²; 4 mm²; 6 mm²; 10 mm²; 16 mm²; 25 mm²; 35 mm²) aufgerundet. In Abbildung 16 ist die Belastbarkeit von NYY-Kabeln dargestellt. Liegt die Höhe der Stromstärke im Heizkreis über der maximalen Belastung für den jeweiligen Querschnitt, so muss ein höherer Querschnitt ausgewählt werden.

Leitungsart Verlegeart	NYY		NYCWY	
	Einzelader	Mehradern	Einzelader	Mehradern
1,5 mm ²	30	27	31	27
2,5 mm ²	39	36	40	36
4 mm ²	50	47	51	47
6 mm ²	62	59	63	59
10 mm ²	83	79	84	79
16 mm ²	107	102	108	102
25 mm ²	138	133	139	133
35 mm ²	164	159	166	160
50 mm ²	195	188	196	190
70 mm ²	238	232	238	234
95 mm ²	286	280	281	280
120 mm ²	325	318	315	319
150 mm ²	365	359	347	357

Abbildung 16: Belastbarkeit von Kabel und Leitungen aus Kupfer in der Erde
 (Quelle: Marcel Kalsen-Friese [Hrsg.]: <http://www.mkfgf.de/Leitungsberechnung.pdf> (02.05.2017, 18:00),
 Gespeichert als: Leitungsberechnung.pdf

Im Beispiel wird jetzt davon ausgegangen, dass die Spitze der „Weiche 1“ 50 m, das Herzstück der „Weiche 1“ 100 m, die Spitze der „Weiche 2“ 150 m und das Herzstück der „Weiche 2“ 200 m entfernt von der Hauptverteilung liegt. Der maximal zulässige relative Spannungsabfall auf der Zuleitung beträgt 5 %, wobei 3 % angestrebt werden. Die Nennspannung auf der Zuleitung zu den Anschlusskästen beträgt 400 V, da die Heizstäbe in Sternschaltung an ein Drehstromnetz angeschlossen werden. Somit liegt der maximal zulässige absolute Spannungsabfall zwischen 12 und 20 V. Außerdem hat die Kupferleitung eine elektrische Leitfähigkeit von $56 \frac{\text{m}}{\text{mm}^2 \cdot \Omega}$. Der Spannungsabfall der vorgefertigten 2 x 1,5 mm² Leitung von den Anschlusskästen zu den Heizstäben ergibt sich aus Formel 3 mit

$$U_A = \frac{2 \cdot I}{q \cdot \kappa} \quad (4)$$

U_A = Spannungsabfall

Nimmt man als Beispiel einen 1500-W-Heizstab mit einer Zuleitungslänge von 20 m, dann ist der Spannungsabfall U_A auf der Leitung

$$U_A = \frac{2 \cdot 20 \text{ m} \cdot \frac{1500 \text{ W}}{230 \text{ V}}}{56 \frac{\text{m}}{\text{mm}^2 \cdot \Omega} \cdot 1,5 \text{ mm}^2} = 3,1 \text{ V.} \quad (5)$$

Für die Berechnung der Querschnitte der jeweiligen Heizabgänge sind die Heizstäbe mit den höchsten Spannungsabfällen in den Stromkreisen relevant. Der Spannungsabfall der Heizstäbe muss dann vom maximal zulässigen absoluten Spannungsabfall abgezogen werden. Im Beispiel wird nun immer von den 3,1 V ausgegangen. Damit berechnet sich der Querschnitt der jeweiligen Heizabgänge nach Formel 3 mit

$$\text{Heizabgang 1:} \quad q = \frac{50 \text{ m} \cdot \sqrt{3} \cdot 16,96 \text{ A}}{(12 \text{ V} - 3,1 \text{ V}) \cdot 56 \frac{\text{m}}{\text{mm}^2 \cdot \Omega}} = 2,94 \text{ mm}^2 \text{ aufgerundet auf } 4 \text{ mm}^2 \quad (6)$$

$$\text{Heizabgang 2:} \quad q = \frac{50 \text{ m} \cdot \sqrt{3} \cdot 19,57 \text{ A}}{(12 \text{ V} - 3,1 \text{ V}) \cdot 56 \frac{\text{m}}{\text{mm}^2 \cdot \Omega}} = 3,40 \text{ mm}^2 \text{ aufgerundet auf } 4 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

$$\text{Heizabgang 3:} \quad q = \frac{50 \text{ m} \cdot \sqrt{3} \cdot 11,74 \text{ A}}{(12 \text{ V} - 3,1 \text{ V}) \cdot 56 \frac{\text{m}}{\text{mm}^2 \cdot \Omega}} = 2,04 \text{ mm}^2 \text{ aufgerundet auf } 2,5 \text{ mm}^2 \quad (8)$$

$$\text{Heizabgang 4:} \quad q = \frac{100 \text{ m} \cdot \sqrt{3} \cdot 18,70 \text{ A}}{(12 \text{ V} - 3,1 \text{ V}) \cdot 56 \frac{\text{m}}{\text{mm}^2 \cdot \Omega}} = 6,50 \text{ mm}^2 \text{ aufgerundet auf } 10 \text{ mm}^2 \quad (9)$$

$$\text{Heizabgang 5:} \quad q = \frac{150 \text{ m} \cdot \sqrt{3} \cdot 16,96 \text{ A}}{(12 \text{ V} - 3,1 \text{ V}) \cdot 56 \frac{\text{m}}{\text{mm}^2 \cdot \Omega}} = 8,84 \text{ mm}^2 \text{ aufgerundet auf } 10 \text{ mm}^2 \quad (10)$$

$$\text{Heizabgang 6:} \quad q = \frac{150 \text{ m} \cdot \sqrt{3} \cdot 19,57 \text{ A}}{(12 \text{ V} - 3,1 \text{ V}) \cdot 56 \frac{\text{m}}{\text{mm}^2 \cdot \Omega}} = 10,20 \text{ mm}^2 \text{ aufgerundet auf } 16 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

$$\text{Heizabgang 7:} \quad q = \frac{150 \text{ m} \cdot \sqrt{3} \cdot 11,74 \text{ A}}{(12 \text{ V} - 3,1 \text{ V}) \cdot 56 \frac{\text{m}}{\text{mm}^2 \cdot \Omega}} = 6,11 \text{ mm}^2 \text{ aufgerundet auf } 10 \text{ mm}^2 \quad (12)$$

$$\text{Heizabgang 8:} \quad q = \frac{200 \text{ m} \cdot \sqrt{3} \cdot 18,70 \text{ A}}{(12 \text{ V} - 3,1 \text{ V}) \cdot 56 \frac{\text{m}}{\text{mm}^2 \cdot \Omega}} = 13,00 \text{ mm}^2 \text{ aufgerundet auf } 16 \text{ mm}^2 \quad (13)$$

Vom Anschlusskasten in Abbildung 17 werden die einzelnen Heizstäbe dann mit vorkonfektionierten Leitungen $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$ angeschlossen. Die Anschlusskästen besitzen die Schutzart IP 65 und das Gehäuse besteht aus glasfaserverstärktem Polyester. Damit können sie in der Nähe der Weiche im Gleis montiert werden [12].



Abbildung 17: Anschlusskasten mit Erdfuß
(Quelle: Rahmenvertrag 564 92224990, ESA
Grimma, 11/2015)

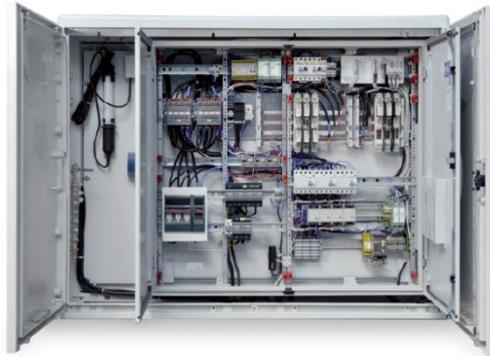


Abbildung 18: Verteilung für Freiluftaufstellung
(Quelle: Rahmenvertrag 564 92224990, ESA Grimma,
11/2015)

Die Hauptverteilung muss für die Variante auf einem mobilen Anhänger für eine Freiluftaufstellung geeignet sein. Dabei ist das Gehäuse doppelt gekapselt und die Innenverteilung in einem Kabelverteilerschrank eingebaut (Abbildung 18). Bei der Container-Lösung genügt es die Hauptverteilung für eine Innenaufstellung zu nutzen. Beide Versionen sind in der Schutzart IP 54 aufgebaut. In jedem Heizabgang ist ein elektronisches Leistungsschaltgerät mit Strom- und Isolationsüberwachung eingebaut. Die Verteilung besitzt eine Schaltschrankbeleuchtung, Arbeitssteckdose und Schaltschrankheizung. Die integrierte Steuereinheit dient zur Steuerung und Diagnose der Anlage. Die Verteilung besitzt neun Abgänge für eine maximale Anschlussleistung von 100 kW. In **Anlage 6** sind die Stromlaufpläne der Hauptverteilung dargestellt. Die Seiten 1-9 zeigen die neun Abgänge der Weichenheizanlage. Die Beispielkonfiguration belegt acht Abgänge, der neunte Abgang ist die Reserve für andere Konfigurationen. Die Nennstromstärke der NH-Sicherungen für die Heizabgänge ist für jeden Standort der mobilen Weichenheizanlage neu zu ermitteln. Fehlerschutzschalter, Schütze 0x.1-0x.3 und Leistungsschaltgerät sind in der Regel nicht auszuwechseln. Das Leistungsschaltgerät ISR25-4.1 (Abbildung 19) ist ein 6-poliges Steuer- und Regelgerät nach DIN EN 60947-4 für den Einsatz in elektrischen Weichenheizungsanlagen. Es dient zum sicheren und verschleißarmen Schalten, Regeln und Überwachen von Heizkreisen. Wie im Abschnitt **3.1.5** beschrieben, kann in ihm eine Zweipunkt- oder Konstantregelung parametrisiert werden. Über eine Spannungs- und Strommessung pro Leiter erfolgt die Impedanz-Überwachung im Gerät. Zwischen den Heizzyklen erfolgt dann die Isolations- und Kurzschlussüberwachung der Heizabgänge. Bei einer Sollwertunter- oder -überschreitung wird ein Einschalten der Anlage verhindert das Gerät grenzt den Fehler auf den jeweiligen Heizabgang ein. Über einen separaten Not-Ein-Schalter

(S10) können die Heizschütze bei Störungen am Steuer- und Regelgerät direkt eingeschaltet werden. Über einen Kontakt der RCD überwacht das ISR25-4.1 zusätzlich noch das Auslösen der Fehlerstromschutzeinrichtung [12].



Abbildung 19: Leistungsschaltgerät ISR25-4.1
(Quelle: Rahmenvertrag 564 92224990, ESA Grimma, 11/2015)

Auf Seite 10 der **Anlage 6** ist die Absicherung des Steuerstromkreises und der Beleuchtung, Steckdose und Schrankheizung zu sehen. Nach Richtlinie 954.9101A05 ist die Steuerspannung mit einem Leitungsschutzschalter für einen Nennstrom von 16 A und Charakteristik B, sowie einer RCD mit einem Nennstrom von 25 A und einem Nenndifferenzstrom von 0,3 A abzusichern. Bei Freiluftschränken ist die Steuerspannung für einen Nennstrom von 10 A abzusichern. Die Absicherung der Beleuchtung, Steckdose und der Schrankheizung erfolgt über einen Leitungsschutzalter mit 10 A Nennstrom und einer RCD mit einem Nennstrom von 25 A, sowie einem Nenndifferenzstrom von 30 mA. Über die Gleichrichter auf Seite 13 werden die 24 V Gleichspannung für den Steuerstromkreis bereitgestellt. Auf Seite 11 und 12, sowie auf den Seiten 15 bis 18 ist die Steuereinheit SEK2-Uni-R2 dargestellt. Über sie erfolgt die Steuerung der Gesamtanlage, in dem sie die einzelnen Leistungsschaltgeräte über die CAN-Bus-Station auf Seite 14 koordiniert. Die Steuereinheit verfügt über 24 analoge Eingänge, 16 digitale Eingänge, 16 digitale Ausgänge, einer CAN-Bus-Schnittstelle und mehreren RS232/RS485-Schnittstellen. In der mobilen Weichenheisanlage werden die digitalen Eingänge für die Stellung des Betriebsartenschalters der jeweiligen Einspeisung genutzt. Die Stellung des Leistungsschalters in der Einspeisung wird ebenfalls über die Eingänge „Anlage ist Ein“ und „Anlage ist Aus“ überwacht. Des Weiteren wird ein Kontakt der Überbrückungsschaltung zur Überwachung dieser angeschlossen. Die Überbrückungsschaltung wird, wie auf Seite 10 zu sehen, über den Schalter „S10“ ausgelöst und führt zum Einschalten der Heizung. Über die digitalen Ausgänge kann die Überbrückungsschaltung auch direkt über die Steuereinheit angesprochen und bei einem Softwarefehler der „Watchdog“ ausgelöst werden. Das Auslösen des „Watchdogs“ hat zur Folge, dass die Steuerung wiederum überbrückt wird. Die Dauer der Überbrückung darf dabei

45 Minuten nicht überschreiten. Über die Ausgänge „Anlage EIN“ und „Anlage AUS“ werden Schütze angesprochen, die den motorbetriebenen Leistungsschalter der Einspeisung in die Ein- oder Aus-Stellung bringen. An die analogen Eingänge können Sensoren zur Heizüberwachung, Drucküberwachung bei der Brennstoffzelle oder zur Füllstandsmessung des Kraftstofftankes angeschlossen werden. Über einen COM-Port und die 24 V – Versorgung ist die Witterungsstation angeschlossen. Der Stromlaufplan der Fühlerstation ist in **Anlage 7** dargestellt. An ihr sind über die analogen Eingänge Sensoren für Niederschlag, Flugschnee, Lufttemperatur und Schienentemperatur angeschlossen. Die Auswertung erfolgt in der Station und die Datenübertragung erfolgt zurück zur Steuereinheit. In Abbildung 20 ist die Verbindung von Hauptverteilung, Anschlusskästen, Heizstäben und Fühlerstation dargestellt [12].

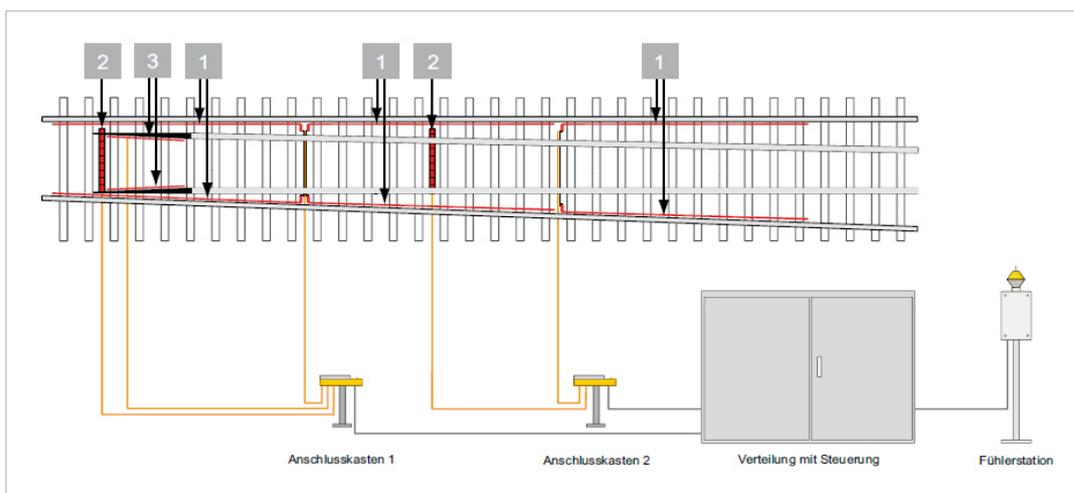


Abbildung 20: Prinzipdarstellung Weichenheizungsanlage
 (Quelle: System WHVI, Elektrische Weichenheizungsanlagen & Spezielle Stromversorgung für Bahnen, ESA Grimma, 08/2015)

Die Bedien- und Anzeigeeinheit (Abbildung 20) ist in **Anlage 6** auf Seite 18 zu sehen. Sie dient zur Anzeige von Betriebs-, Warn- und Störmeldungen von der Steuereinheit. Über ein Textdisplay können auch Parametrierungen der Steuereinheit vorgenommen und die Weichenheizungsanlage vor Ort bedient werden. Da die mobile Anlage jederzeit ihren Standort ändern kann, ist eine Verbindung zu einer externen Stelle über eine Standleitung nicht möglich. Eine Funkübertragung ist hier optimal geeignet. Auf Seite 17 und 19 sieht man die Anbindung des Web-Connectors MPG-WBC-31 über eine RS232-Schnittstelle. Zusammen mit dem GSM/GPRS Modem stellt es die Mobilfunkstandleitung zur Außenwelt dar. Damit können alle überwachenden Systeme unabhängig vom Standort über eine zentrale Stelle abgerufen und Steuerungen fernprogrammiert werden. Bei einer gestörten Verbindung erfolgt ein Langzeitdatenspeicher. Die Datenübertragung erfolgt hierbei ereignisgesteuert [12].



Abbildung 21: Bedien- und Anzeigeeinheit BEA-2
(Quelle: Rahmenvertrag 564 92224990, ESA Grimma, 11/2015)

3.1.7 Fernüberwachung der Anlage

Elektrische Weichenheizungsanlagen müssen an zentralen Stellen periodisch überwacht und gesteuert werden. Im Kapitel **2.1.1** wurde die technische und betriebliche Stelle bereits beschrieben. Normalerweise geschieht die Anbindung an diese über eine serielle MAS90-Verbindung, hier wird aber die Übertragung mit Funk genutzt. Für die betriebliche Stelle kann die für die Entstörungsveranlassung zuständige Stelle (EVZS) und für die technische Stelle der jeweilige Anlagenverantwortliche für den Standort der mobilen Weichenheizanlage bestimmt werden. In Abbildung 22 ist das Prinzip der Datenübertragung zu den jeweiligen Stellen dargestellt. An den jeweiligen zentralen Stellen verwaltet eine Steuereinheit die ankommenden Informationen und gibt sie in Richtung der Melde- und Registriereinrichtung (MRE) weiter. Über einen Monitor und die Tastatur der MRE können dann Anzeigen und Befehle vorgenommen werden. Von der betrieblichen Stelle müssen die Schalthandlungen „Anlage Ein“, „Anlage Aus“ und „Kurzzeit Ein“ ausführbar sein. Bei der technischen Stelle kommt noch der Befehl „Kurzzeit Aus“ dazu. Die Parametrierung der Weichenheizung soll gleichrangig über das Fernwirksystem von der technischen Stelle aus und vor Ort an der Bedien- und Anzeigeeinheit möglich sein. Parameter für einstellbare Größen sind:

- Einschalttemperatur
- Ausschalttemperatur
- Sollwerttemperatur der Regelung
- Einschaltzeit für Kurzzeitheizen
- Einschaltverzögerungszeit
- Vergleichsheizstrom
- Toleranz der Heizströme
- Einschalttemperatur bei Tieftemperaturheizen
- Ausschalttemperatur bei Tieftemperaturheizen

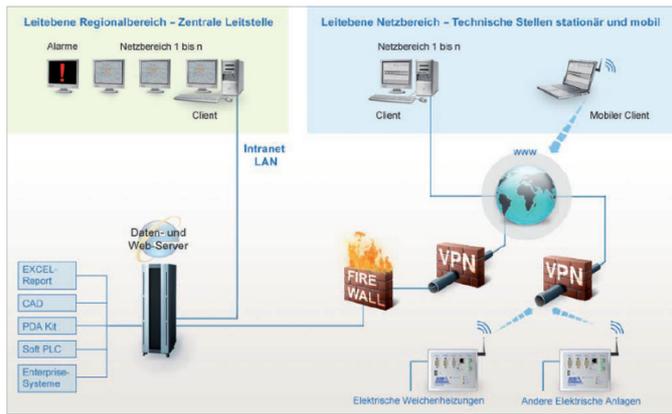


Abbildung 22: Prinzipdarstellung Datenübertragung EWHA

(Quelle: System WHVI, Elektrische Weichenheizungsanlagen & Spezielle Stromversorgung für Bahnen, ESA Grimma, 08/2015)

Das Zurückstellen aller Parameter auf die Werkseinstellung muss über einen besonderen Befehl möglich sein. Eine Parametrierung vor Ort ist für die Nenndaten der Wandler, für die Betriebsstrommessung und die Anzahl der Leistungsschaltgeräte ausreichend. Für die betriebliche und technische Stelle sind die Betriebsmeldungen in der Tabelle 3 und die Störmeldungen in der Tabelle 4 bereitzustellen [2].

	Betriebliche Stelle	Technische Stelle	Anzeige
Priorität 1			
Anlage ist EIN	X	X	optisch
Anlage ist AUS	X	X	optisch
Kurzzeit ist EIN	X	X	optisch
Fernsteuerung ist aus	X	X	optisch
Priorität 2			
Feuchte vorhanden		X	optisch
Lufttemperatur		X	Wert
Schienentemperatur		X	Wert
Betriebsspannung		X	optisch
Betriebsstrom		X	Wert

Tabelle 3: Betriebsmeldungen mobile Weichenheizanlage

	Betriebliche Stelle	Technische Stelle	Anzeige
Priorität 1			
Anlage gestört	X	X	optisch + akustisch
Leistungsschaltgerät 1, 2, ..., n gestört		X	optisch
RCD ausgelöst		X	optisch
Heizkreis gestört		X	optisch
Witterungssensorik gestört		X	optisch
Schientemperaturfühler 1-n gestört		X	optisch
Kommunikationsstörung	X	X	optisch
Isolationsfehler		X	optisch
Anlage befindet sich im Dauerbetrieb (> 3 Std.)		X	optisch

Tabelle 4: Störmeldungen mobile Weichenheisanlage

Über die Funkübertragung kann später auch eine Anbindung an die neue Diagnose- und Analyseplattform „DIANA“ geschehen. Diese wurde geschaffen, da jeder Hersteller ein spezifisches und proprietäres Diagnosesystem zu seinem Produkt anbietet und die DB Netz AG als Großnetzbetreiber die zahlreichen Systeme weder technisch beherrschen, noch im praktischen Betrieb auswerten kann. Für die Instandhaltung, Instandsetzung oder Entstörung ist es daher wichtig, ein System zu haben, welches alle Diagnosedaten zusammenführt. Als Erstes wurden daher Weichen mit einer Weichenantriebsdiagnose ausgerüstet. In den nächsten Jahren folgen dann die Weichenheizungen, Bahnübergänge und weitere Anlagen. Über DIANA können dann auch Anzeigen und Befehle ausgeführt werden, sowie eine Parametrierung der Weichenheisanlage durchgeführt werden.

3.2 Energiebezug aus Dieselaggregat

Wird die mobile Weichenheisanlage von einem Dieselaggregat mit elektrischer Energie eingespeist, so werden die elektrischen Verbraucher in der Anlage über einen Generator versorgt. Ein Verbrennungsmotor nimmt die im Dieselmotorkraftstoff gespeicherte Energie auf und wandelt sie in Wärmeenergie und mechanische Energie um. Mit der mechanischen Energie aus dem Verbrennungsmotor wird dann der Generator zur Stromerzeugung angetrieben. Die Speisung kann direkt aus dem Generator des Aggregates erfolgen, eine Umwandlung der elektrischen Energie ist nicht mehr notwendig.

3.2.1 Energiegewinnung aus Dieselkraftstoff

Verbrennungsmotoren nutzen die chemisch gebundene Energie bei der Verbrennung von Brennstoff und Sauerstoff. Bei dieser chemischen Reaktion verbindet sich der Brennstoff unter Wärmefreisetzung mit dem molekularen Sauerstoff. Die Einleitung der Verbrennung erfolgt durch die Zündung. Dann wird Luft durch einen Kolben angesaugt und verdichtet. In die verdichtete Luft wird zum geeigneten Zeitpunkt Kraftstoff eingespritzt. Das Reaktionsgemisch muss eine bestimmte Zusammensetzung aufweisen. Ist der Anteil eines Reaktionspartners zu hoch, reichen die möglichen Molekülkollisionen nicht aus, um eine stabile, sich selbst tragende Reaktion auszulösen. Eine sichere Zündung ist somit nur innerhalb der Zündgrenzen (Luft-Kraftstoff-Verhältnis ca. 0,6 bis 1,0) möglich. Die Wärmemenge, die durch die Verbrennung freigesetzt wird, bestimmt im Zusammenhang mit dem Wärmetausch zwischen Arbeitsstoff, brennraumbegrenzenden Wänden, sowie dem flüssigen Kraftstoff den Gasdruck- und Temperaturverlauf im Brennraum. Damit werden Mitteldruck, Kraftstoffverbrauch und die Höhe der mechanischen und thermischen Belastung der Motorenbauteile definiert. Ein Teil der freigesetzten Wärme im Brennraum des Zylinders wird mittels des Kurbeltriebs in mechanische Energie umgewandelt, die restliche Wärmeenergie wird mit dem Abgas abgeführt und über die brennraumbegrenzenden Wände an ein Kühlmittel und die Umgebung abgegeben. In Abbildung 23 ist der Kurbeltrieb mit seinen wirksamen Kräften dargestellt. Der Kolben wird durch den entstehenden Gasdruck angetrieben und bewegt sich dabei oszillierend. Das kleine Pleuelauge, welches am Kolbenbolzen angelenkt ist, bewegt sich ebenfalls oszillierend. Das große Pleuelauge ist am Hubzapfen angelenkt und macht dessen Drehbewegung mit. Der Pleuelschaft schwingt in der Kurbelkreisebene und bringt die Kurbelwelle zum Rotieren [13].

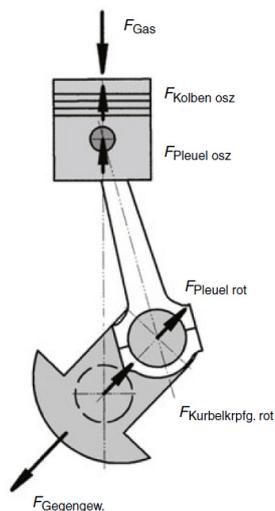


Abbildung 23: Kurbeltrieb mit wirksamen Kräften

(Quelle: Schäfer, F. [Hrsg.]: Handbuch Verbrennungsmotor, Springer, 2015, S. 52 [6-9].)

Über die rotierende Kurbelwelle wird nun eine Drehstrom-Synchronmaschine angetrieben. Die Synchronmaschine wird als Generator betrieben und dient in der mobilen Weichenheizanlage als Speisung für die Heizstäbe und den Steuerstromkreis. Der Generator wird entweder über eine Kupplung direkt an den Motor angeflanscht oder mittels Keilriemen mit dem Motor verbunden. Die Frequenz der Netzspannung des Generators wird über die Generatordrehzahl beeinflusst. Um ein 50-Hz-Netz zu erzeugen, müssen Maschinen, die die Polpaarzahl $p = 1$ besitzen, mit einer Drehzahl von $n = 3000 \frac{1}{\text{min}}$ betrieben werden. Maschinen mit der Polpaarzahl $p = 2$ müssen mit einer Drehzahl von $n = 1500 \frac{1}{\text{min}}$ laufen. Diese muss mit einem Drehzahlregler konstant gehalten werden. Der mechanische Drehzahlregler wird direkt in die Einspritzpumpe eingebaut, um bei einem Lastwechsel die Kraftstoffzufuhr zu regeln. Die Generatorspannung ergibt sich aus der Polradspannung, die über die Stärke des Polradfeldes einstellbar ist. Sie wird über einen elektronischen Regler konstant auf die erforderlichen 400/230 V gehalten [14].

3.2.2 Normen, Recht und Sicherheitshinweise

Bei der Lagerung und Handhabung von Kraft- und Schmierstoffen des Dieselaggregates sind die Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdeten Stoffen (VAwS) und die Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) zu beachten. Die Anlagen müssen so beschaffen sein, dass wassergefährdende Stoffe nicht austreten können. Die Montage, die Installation und der Betrieb der Anlage bedürfen einer Erlaubnis der zuständigen Behörde. Für die Immissionsrichtwerte sind die Vorgaben der TA Lärm zu beachten. Diese sind beim Betrieb des Aggregates nicht zu überschreiten und müssen eventuell durch schalldämmende Maßnahmen unterdrückt werden. Für die Immission in Luft ist außerdem die TA Luft zu beachten. Sie soll den Schadstoffausstoß reduzieren und die Anlagen auf den Stand der Technik bringen. Außerdem sind folgende DIN- und EN-Normen zu beachten:

- DIN ISO 8528-1:2005-06 „Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren - Teil 1: Anwendung, Bemessungen und Ausführungen“
- DIN 6280 „Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren“
- EN 60034-22 VDE 0530-22:2010-08 „Drehende elektrische Maschinen - Teil 22: Wechselstromgeneratoren für Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren“
- DIN VDE 0100-551:2011-06 „Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-55: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Andere Betriebsmittel – Abschnitt 551: Niederspannungsstromerzeugungseinrichtungen“

3.2.3 Aufstellungsvarianten

Um mit der mobilen Weichenheizanlage auch wirklich mobil zu sein, bietet sich als erste Variante die Montage auf einem Kraftfahrzeuganhänger (Abbildung 24) an. Die Aggregate werden dabei im Wetter- und Schallschutzgehäuse auf dem Anhänger montiert und der Tank mit der Schaltanlage unter der Verhaubung untergebracht. Der Tank der Anlage soll bei Volllast im Dauerbetrieb eine Zeit von 48 Stunden überbrücken können, um ein ständiges Nachtanken zu vermeiden. Bei einer Gesamtleistung von ca. 100 kW hat der Tank dadurch ein enormes Eigengewicht und das Aggregat muss auf einem zweiachsigen LKW-Anhänger montiert werden. Hierfür ist ein spezieller Führerschein notwendig (C1E). Eine andere Möglichkeit ist, den Tank extra anzuliefern und neben der Heizanlage zu positionieren. Dadurch könnte man das Aggregat auf einem PKW-Anhänger transportieren. Die Anschaffung von Stromerzeugern kleinerer Nennleistung wäre auch denkbar, diese würden dann aber die maximale Heizleistung der Anlage einschränken.



Abbildung 24: Aggregat auf Tandemanhänger

(Quelle: https://www.sab-hamburg.de/images/stories/produkte/mobile_stromaggregate/anhaenger/5121e_110kva50C_deutz.jpg, gespeichert am 06.05.2017.)

Eine weitere Variante wäre, die Anlage komplett in einem Norm-Container (20 – 40 Fuß) unterzubringen (siehe Abbildung 25). Das Container-Aggregat ist eine kompakte und komplette Einheit, die als betriebsfertige Anlage inklusive Lüftung, Schalldämmung, Tank und Schaltanlage installiert wird. Die Zu- und Abluft des Dieselaggregats ist über geeignete Kanäle zur Außenwand zu führen. Geregelt Lüftungsklappen am Luftein- und -austritt sollen zur Lärminderung beitragen. Die Luftein- und -austrittsöffnungen sind mit einem Vandalismusschutz zu versehen. Der Transport der Anlage ist hier schwieriger zu realisieren, dennoch ist eine Versetzbarkeit jederzeit möglich. Über Transportösen könnte der Container auf den Auflieger eines LKW gesetzt werden und so transportiert werden.



Abbildung 25: Aggregat in Container
(Quelle: Prospekt Aggregate, G-Power Dieselaggregate, Firma Hitzinger)

Bei beiden Varianten muss auf Grund des Eigengewichtes ein geeigneter fester Untergrund gefunden werden. Es muss außerdem darauf geachtet werden, dass eine Betankung der Anlage jederzeit möglich ist. Die Heizabgänge können von außen über CEE-Drehstromsteckdosen an die jeweilige Schaltanlage angeschlossen werden.

3.2.4 Dimensionierung des Aggregates

Die Gesamtleistung der Anlage setzt sich nun aus folgenden Komponenten zusammen:

- maximale Heizleistung: 90 kW
- maximale Leistung der Schutzkontaktsteckdose: 3,68 kW
- Schrankheizung: 60 W
- Schrankbeleuchtung: 10 W
- Containerbeleuchtung: 2 x 18 W
- Steuerstromkreis 24 V: 1 x 48 W, 2 x 96 W
- Spannungs- und Frequenzwächter: max. 1,38 kW
- Leistungsumschalter: 230 W

Somit ergibt sich eine maximale Gesamtleistung von 95,64 kW. Da nie alle Komponenten gleichzeitig im Betrieb sind und die Schutzkontaktsteckdose nur im Bedarfsfall genutzt wird, reicht ein Aggregat mit einer Dauernennleistung von 96 kW vollkommen aus. Durch die in **3.1.5** beschriebene Taktung der Anlage kann die Maximalheizleistung bis zu 25 % gesenkt werden. Im Beispiel wurde jetzt ein Kompaktsystem der Firma SDMO ausgesucht (siehe Abbildung 28). Das Aggregat ist vom Typ „J 130 K“ der Firma John Deere und besitzt eine Dauernennleistung von 96 kW mit einem $\cos \varphi$ von 0,8. Die angegebene Kurzzeitspitzenleistung liegt bei 106 kW. Das Aggregat liefert eine Spannung von 400 / 230 V mit einer Frequenz von 50 Hz. Der integrierte Tank hat eine Kapazität von 1630 Liter und reicht bei einer Nennleistung von 96 kW mit einem Verbrauch von 26 Liter pro Stunde

ca. 63 Stunden. Aus der Abbildung 26 lässt sich der angegebene Kraftstoffverbrauch für die jeweilige Leistung der Anlage ablesen.

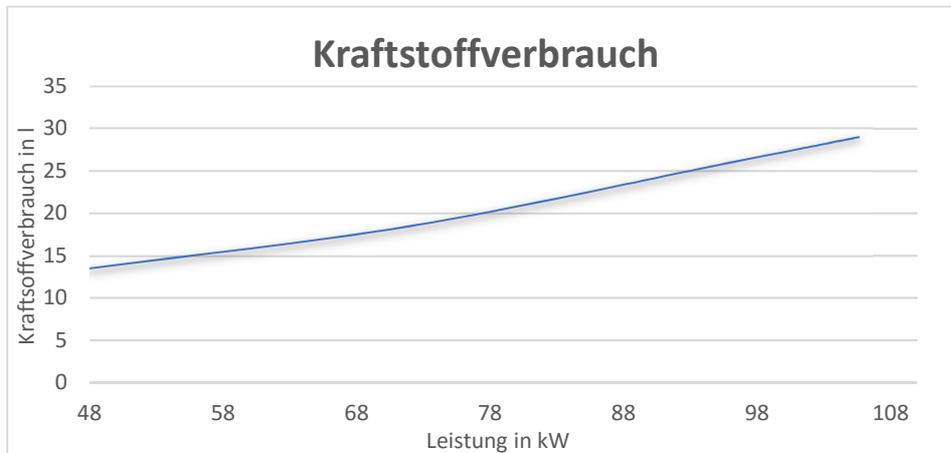


Abbildung 26: Kraftstoffverbrauch des Dieselaggregates
(Quelle: Datenblatt J130K – Angaben zum Kraftstoffverbrauch, Kohler SDMO)

In **Anlage 8** ist die Einspeisung aus dem Aggregat im Stromlaufplan dargestellt. Um elektrische Verbraucher nicht zu schädigen, soll die Anlage die Netzspannung permanent überwachen und erst die Lastaufschaltung vornehmen, wenn die definierten Parameter für Spannung und Frequenz erreicht sind. Bei Abweichungen während des Betriebes soll die Netzspannung außerdem selbständig abgeschaltet werden. Auf Blatt 2 ist der Spannungs- und Frequenzwächter zu sehen. Im Beispiel wurde der Wächter UFR1001E der Firma Ziehl ausgewählt. Dieser betätigt bei Erreichen der vorgegebenen Spannung und Frequenz die Schütze K1 und K2. Dadurch wird die Spannung des Aggregates für die Anlage freigegeben. Die Spannungen dürfen maximal $\pm 10\%$ von 230 V und die Frequenzen $\pm 5\%$ von 50 Hz abweichen. Abweichungen von weniger als 2,5 Sekunden haben keine Auswirkung auf die Anlage. Die 50-Hz-Netzeinspeisung muss nicht überwacht werden, da das Netz bei Spannungs- oder Frequenzabweichungen durch den VNB abgeschaltet wird. Die Einspeisung wird, wie auf Blatt 1 zu sehen, jeweils mit einem NH-Sicherungslasttrennschalter für eine Stromstärke von 200 A abgesichert. Über den Lastumschalter „Q1“ wird die Auswahl des Netzes getätigt und die Heizanlage kann vom Netz getrennt werden. Auf Blatt 3 ist die Auswahl zu sehen. Über den Schalter „S10“ wird der 24 V – Steuerstromkreis über die jeweilige Netzauswahl gespeist. Ist der Schalter in der Stellung „Aus“ so ist der Steuerstromkreis stromlos. Bevor die Anlage über den Betriebsartenschalter ausgeschaltet wird, muss der Leistungsumschalter in die Stellung „0“ gebracht werden. Das Schütz K4 zeigt an, dass die Anlage aus einem öffentlichen Netz gespeist wird, während das Schütz K5 den Betrieb über das Aggregat anzeigt. Auf Blatt 4 ist der Steuerstromkreis des Leistungsumschalters dargestellt. Ist die Anlage in Betrieb geschaltet, wird der

Leistungsumschalter über das Schütz K4 bzw. über das Schütz K5 angeschaltet. Mit dem Schalter „S2“ kann die Fernsteuerung der Anlage ein- und ausgeschaltet werden. Im Beispiel wurde der Leistungsumschalter HIB4xxM der Firma Hager ausgewählt. Über die Schütze K7, K8 und K9 geschieht die Auswahl der Stellung des Leistungsumschalters. In Abbildung 27 ist die Schützlogik für die Stellungen des Umschalters zu sehen.

Schützlogik:

Das Produkt wird in eine spezifische Position (**I** or **II**) gebracht, so lange der Befehl beibehalten wird.

- Befehl **O** wird beibehalten. (Überbrückung 316-317).
- Die Befehle **I** und **II** haben gegenüber Befehl **O** Priorität.
- Die Befehle **I** und **II** haben die gleiche Priorität. (Der 1. eingegangene Befehl wird gehalten, bis er nicht mehr beibehalten wird).
- Wenn die Befehle **I** oder **II** nicht mehr vorhanden sind, kehrt das Gerät in die Nullstellung zurück. (Bei verfügbarer Stromversorgung).



Abbildung 27: Schützlogik Leistungsumschalter

(Quelle: Datenblatt HIB4xxM, ferngesteuerter Leistungsumschalter, Firma Hager)

Das Schütz K7 bewirkt dabei die Stellung „II“ und das Schütz K8 die Stellung „I“ des Leistungsumschalters. K9 muss die ganze Zeit angezogen sein, um die Schützlogik zu realisieren. K7 und K8 werden je nach Stellung des Betriebsartenschalters über das Schütz OKAE „Anlage EIN“ in der Hauptverteilung der Anlage angesprochen. K9 wird über das Schütz OKAA „Anlage AUS“ gesteuert. Beide Schütze „Anlage EIN“ und „Anlage AUS“ bekommen ihre Befehle von der Steuereinheit. Um die angegebene Schützlogik zu realisieren, müssen die entsprechenden Ausgänge der Steuereinheit für den jeweiligen Anwendungsfall konfiguriert werden. Über den Überbrückungsschalter „S10“ wird bei „Kurzzeit Ein“ das Relais „Anlage EIN“ überbrückt und die Anlage eingeschaltet. Die Schütze K10 und K11 geben die Stellung des Leistungsumschalters wieder. Ist der Umschalter in Stellung „I“ oder „II“ so zieht das Schütz K10 an und zeigt der Steuereinheit an, dass die Anlage in Betrieb ist. Ist er in Stellung „0“ so zieht das Schütz K11 an und zeigt an, dass die „Anlage Aus“ ist. In Stellung „I“ und „II“ wird die Speisung der Hauptverteilung aktiviert. Der Not-Aus-Schalter „S0“ deaktiviert den Steuerstromkreis, macht die ganze Anlage stromlos und muss dafür sorgen, dass das Aggregat zum Stehen kommt. Steuerstromkreis und Beleuchtung für die Containervariante werden mit dem Zuschalten der Anlage aktiviert. Das Netzschütz K6 bewirkt ein sicheres Trennen der Hauptverteilung, wenn die Anlage ausgeschaltet ist und der Leistungsumschalter nicht in Stellung „0“ gebracht wurde. Für Weichen mit kleinerer Leistung kann entweder ein Aggregat mit weniger Leistung genommen werden oder mehr als zwei Weichen in die Anlage eingebunden werden. Um den Tankinhalt zu überwachen kann

zusätzlich noch eine Pegelsonde installiert werden. Diese wird mit einem analogen Eingang der Steuereinheit verbunden und kann rechtzeitig das Nachfüllen des Tankes anzeigen.



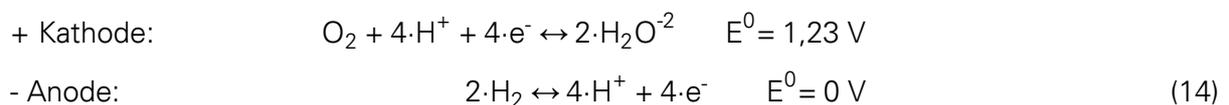
Abbildung 28: Kompaktsystem J130K
(Quelle: Datenblatt J130K – Angaben zum Kraftstoffverbrauch, Kohler SDMO)

3.3 Energiebezug aus Brennstoffzelle

Bei der Speisung aus der Brennstoffzelle muss die Gleichspannung, die die Brennstoffzelle liefert, durch einen Wechselrichter in 400/230 V umgewandelt werden. Über die Wechselrichteranlage werden die Verbraucher in der mobilen Weichenheizanlage dann versorgt. Die Brennstoffzelle bezieht ihre elektrische Energie dabei aus komprimierten Wasserstoff. Dieser Wasserstoff zählt zu den explosionsgefährdeten Stoffen und benötigt besondere Sicherheitsvorkehrungen.

3.3.1 Prinzip der Brennstoffzelle

Anders als beim Dieselmotor wird bei der Brennstoffzelle der Wasserstoff nicht mit einer Feuererscheinung unter Freisetzung von Wärme verbrannt. Der Wasserstoff wird durch elektrochemische Vorgänge verstromt und die im Brennstoff gespeicherte chemische Energie direkt in elektrische Energie umgewandelt. Dabei kommt es zur keiner Umsetzung von Wärmeenergie. Die Brennstoffzelle besteht aus einer Brenngas- und einer Sauerstoffelektrode. Zwischen den beiden Elektroden befindet sich ein Elektrolyt, z.B. eine Säure oder Lauge. An den Grenzflächen zwischen den Elektroden und des Elektrolyt kommt es zu stromerzeugenden Reaktionen. Die Redoxgleichung für diesen elektrochemischen Vorgang an den Elektroden der Wasserstoff-Sauerstoff-Zelle lautet:



Die Wasserstoffelektrode bildet die Anode und die Sauerstoffelektrode die Kathode. An der Kathode findet die Reduktion (Elektronenaufnahme) und an der Anode die Oxidation (Elektronenabgabe) statt. Die Sauerstoffatome haben jeweils zwei Elektronen aufgenommen und negativ geladene Teilchen (Anionen) gebildet. Das Wasserstoffmolekül zerfällt in unbeständige Wasserstoffatome. Mit dem Normalpotential E^0 wird die Tendenz der Elemente, in wässrigen Lösungen Ionen zu bilden, angegeben. Die Differenz der Normalpotentiale wird als reversible Zellspannung oder Leerlaufspannung gemessen. Durch Reihenschaltung einzelner Brennstoffzelle können höhere Spannungen realisiert werden. Die Betriebsspannung wird aus der Anzahl der Zellen, multipliziert mit den Einzelzellspannungen, berechnet. Die Zusammenführung mehrerer Einzelzellen wird Stack genannt. In Abbildung 29 ist das Prinzip der Brennstoffzelle und der Aufbau eines Stacks zu sehen. Die reale Zellspannung, wenn elektrische Energie aus der Brennstoffzelle entnommen wird, ist kleiner als die reversible Zellspannung. Je höher der Strom ist, der entnommen wird, je mehr bricht diese zusammen. Die Momentanleistung ist das Produkt aus Zellspannung und Strom. Über den Innenwiderstand der Stromquelle wird ein Spannungsabfall erzeugt, der Abwärme erzeugt. Die Maximalleistung erzeugt eine Brennstoffzelle bei der halben Leerlaufspannung. Dann ist der Verbraucherwiderstand genauso groß wie der Innenwiderstand der Quelle [15].

Funktion einer Brennstoffzelle

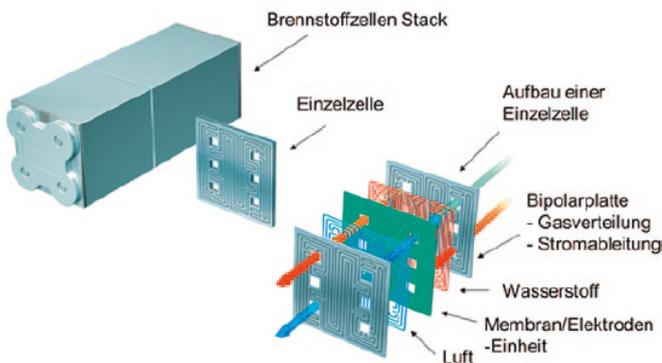
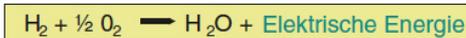
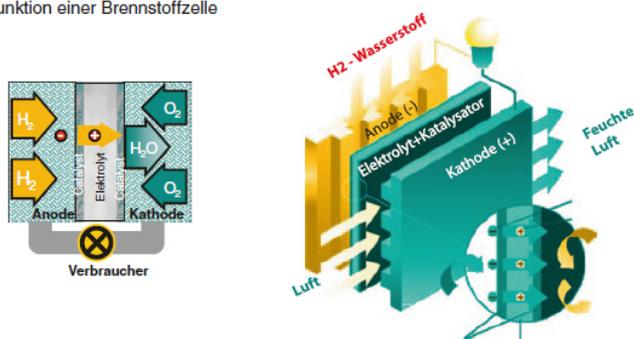


Abbildung 29: Aufbau einer Zelle (oben) und eines Stacks (unten)

(Quelle: Töpler, J.; Lehmann, J. [Hrsg.]: Wasserstoff und Brennstoffzelle, Springer Vieweg, 2014, S. 78 [4.22].)

Typische Arten der Brennstoffzelle sind:

- AFC: Alkalische Brennstoffzelle
- PAFC: Phosphorsäure Brennstoffzelle
- PEFC: Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle
- DMFC: Direktmethanol-Brennstoffzelle
- MCFC: Carbonatschmelzen-Brennstoffzelle
- SOFC: Festoxid-Brennstoffzelle

In unserer Anlage wird nun eine Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle verwendet, weil diese durch ihre hohe Leistungsdichte ($0,7 \text{ W/cm}^2$) sehr gut zu unseren Anforderungen passt.

3.3.2 Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle

Die Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle besitzt neben dem Stack als Herzstück noch den Anodenkreis, den Kathodenkreis, den Kühlkreis und die Leistungselektronik. Anode und Kathode setzen sich aus einer porösen Diffusionsschicht (Gas Diffusion Layer) und der Reaktionsschicht zusammen. Die mechanische Stabilität und der Gasaustausch des Systems finden in der Diffusionsschicht statt. Die Reaktionsschicht ist mit fein verteilten Platin-Partikeln aufgebracht, die als Katalysator für die Anoden- und Kathodenreaktion fungieren. Der elektrische Wirkungsgrad der Zellen beträgt 50 – 68 %. Die Medienversorgung der Zellen mit Wasserstoff, Sauerstoff und Kühlwasser erfolgt dabei parallel. Dem Stack wird mittels eines Kathodengebläses Luftsauerstoff eingeblasen. Der überschüssige Sauerstoff verlässt das Stack mit den restlichen Luftbestandteilen am Kathodenausgang. Hierbei wird auch das entstandene Produktwasser aus dem Stack befördert. Die Leistungselektronik besteht aus einem Wechselrichter, der die Gleichspannung der Brennstoffzelle in eine Wechselspannung umwandelt. Die niedrigen Ausgangsspannungen und damit hohen Ströme der Brennstoffzelle stellen eine Herausforderung dar. Der Kühlkreis soll die im Stack aufgrund von Überspannungen entstehende Wärme abführen. Der Anodenkreis soll das Stack mit ausreichend Wasserstoff bei einer definierten Temperatur und relative Feuchte versorgen. Es muss mehr Wasserstoff zugeführt werden, als durch die Reaktion verbraucht werden kann. Der zugeführte Wasserstoff muss befeuchtet und temperiert werden. Die Brennstoffzellen verfügen deswegen über eine Wasserkühlung. Als Elektrolyt wird eine 50 – 150 μm dicke und protonenleitende Polymermembran genutzt, die sich aus perfluorierten und sulfonierten Polymeren zusammensetzt. Diese fungiert außerdem als Katalysatorträger und Separator für die Reaktionsgase. Die Membran darf weder austrocknen, noch mit Wasser geflutet werden. Die Be- und Entfeuchtung kann aktiv und passiv erfolgen durch:

- Befeuchtung von Brenngas und Sauerstoff

- passive Entwässerung mit hydrophil-porösen Dochtschichten im Gasraum oder mit heißgepresstem porösen Polyesterfasergewebe
- dynamische Entwässerung im Kathodenraum durch Ausblasen mit einem Luftüberschuss im Oxidansstrom

Bei der Gasbefeuchtung werden Brenngas und Sauerstoff mit einer relativen Feuchte von 100 – 110 % bzw. 70 – 80 % angefeuchtet, dabei bestimmt die Sauerstoffkathode die Membranfeuchte und somit den Membranwiderstand, Elektrodenwiderstand, Elektrodenkinetik und Leistung der Zelle. Höhere Leistungen erfordern eine hohe Einströmtemperatur und Befeuchtung der Wasserstoffanode. Die Anode arbeitet mit einem variablen Druck. Dieser wird so geregelt, dass der Differenzdruck der Membran zwischen Anode und Kathode minimal ist. Die Stack-Anode wird meist im Bereich einiger hundert Millibar betrieben. Deshalb befindet sich ein Druckminderer am Anodeneingang. Die Membran und beiden Elektroden werden als eine Einheit in Form der Membrane-Electrode-Assembly (MEA) geliefert. In Abbildung 30 ist der schematische Aufbau einer Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle dargestellt. Die beiden Bipolarplatten sind aus Graphit aufgebaut und fungieren als elektrische Kontaktierung von Anode und Kathode. Sie dienen außerdem zur gleichmäßigen Verteilung der Gase über die Membranfläche. Die Betriebstemperatur von der PEFC liegt üblicherweise bei 80 °C. Temperaturen unter diesem Wert wirken eher kühlend. Die Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle ist wenig empfindlich gegen Kohlendioxid und kann deswegen mit Luft betrieben werden. Im oberen Lastbereich steigert ein Luftüberschuss die Kathodenleistung. Langfristig verringert das Kohlendioxid im Brenngas jedoch die Zellspannung schleichend und irreversibel [15], [16], [17], [18].

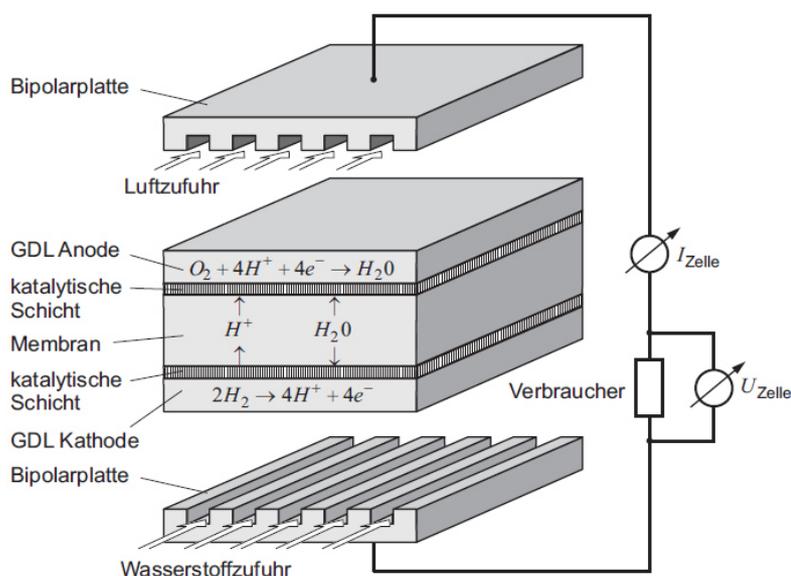


Abbildung 30: Schematischer Aufbau einer Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle
(Quelle: Niemeyer, J.: Modellprädikative Regelung eines PEM-Brennstoffzellensystems, Universitätsverlag Karlsruhe, 2008, S. 17 [2.2].)

3.3.3 Normen, Recht und Sicherheitshinweise

Um mit Wasserstoff gefahrenlos umgehen zu können, müssen Mitarbeiter die an der Wasserstoffanlage arbeiten, Kenntnisse über die Eigenschaften des Wasserstoffes und zweckmäßige Sicherheitsmaßnahmen besitzen. Das wichtigste Gefahrenmerkmal des Wasserstoffes ist seine Brennbarkeit. Um brennbar oder explosiv zu sein, benötigt es aber immer einen Reaktionspartner. Reiner Wasserstoff ist nicht explosionsfähig. Erst mit der Vermischung mit Luft kann es zur Oxidation des Gases kommen. Ein weiteres Merkmal von Wasserstoff ist, dass es die kleinste Dichte besitzt und somit den leichtesten Stoff darstellt. Das hat zur Folge, dass austretender Wasserstoff immer einen Auftrieb hat und aufsteigen wird. Für die Benutzung von Wasserstoff in geschlossenen Räumen stellt das eine Gefahrenquelle dar. Ausströmender Wasserstoff kann sich unter der Decke ansammeln und an Deckenlampen entzünden. Das Wasserstoffmolekül weist außerdem eine geringe Viskosität aus. Damit treten bei einem Leck in der Wasserstoffversorgung auch größere Mengen des Gases aus. Bei der Freisetzung von Wasserstoff vermischt es sich dann sehr schnell mit anderen Gasen und breitet sich rasend in alle Richtungen aus. Zur Speicherung von Wasserstoff muss das Gas komprimiert und tiefkalt in aufwändig isolierten Behältern gelagert werden. Diese kalten Temperaturen sind ein weiterer Gefahrenpunkt beim Umgang mit Wasserstoff. Einerseits kann die direkte Berührung mit dem Gas schädlich für organisches Gewebe sein und andererseits können beim Kontakt von Metallteilen, die durch die Berührung mit dem Wasserstoff sehr kalt geworden sind, Verletzungen entstehen [16].

Bei einer gewerblichen explosionsgefährdeten Anlage ist der Arbeitgeber verpflichtet Explosionsschutzzonen auszuweisen. Diese Zonen richten sich nach der Häufigkeit oder Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer gefahrdrohenden Menge eines explosionsgefährlichen Gasgemisches. Die Zonen teilen sich in

- Zone 0: ständig oder oft;
- Zone 1: häufig oder für längere Zeit;
- Zone 2: selten und für kurze Zeit auf.

Das Warnzeichen „Warnung vor explosionsfähigen Atmosphären“ und das Verbotsschild „Feuer, offenes Licht und Rauchen verboten“ sind zur Kennzeichnung explosionsgefährdeter Bereiche aufzuhängen (siehe Abbildung 31). Der Explosionsschutz umfasst alle Maßnahmen, die eine Explosion gar nicht erst zu Stande kommen lassen. Dieser teilt sich in den primären, den sekundären und dem konstruktiven Explosionsschutz auf. Beim primären Explosionsschutz geht es darum, unerwünschte Gasgemische nicht erst entstehen zu lassen. Dabei muss die Anlage technisch dicht ausgeführt werden und lösbare Verbindungen auf ein Minimum eingeschränkt werden. Rohrleitungen sollen geschweißt ausgeführt und eine

Wartung der Anlage in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden. Unter den primären Explosionsschutz zählt außerdem die schnellstmögliche Entdeckung und Ableitung beim Austreten des Gases. Zum sekundären Explosionsschutz gehört, die Zündung eines vorhandenen Gemisches zu vermeiden. Dazu müssen Zündquellen, die genug Energie zur Zündung des Gasgemisches liefern können, weit genug entfernt aufgestellt werden. Das heißt alle elektrischen und sonstigen Anlagen, die mit einem explosionsgefährdeten Gemisch in Berührung kommen können, müssen explosionsgeschützt ausgeführt werden oder durch andere (z.B. Pneumatikbauteile) ersetzt werden. Die Betriebsmittel sind entsprechend der Zone, der Temperaturklasse und der Explosionsgruppe der brennbaren Stoffe auszuwählen. Leuchten, welche in explosionsgefährdeten Bereichen der Eisenbahninfrastrukturunternehmen eingesetzt werden dürfen, sind der Leuchtauswahlliste (LAWL) zu entnehmen. Anlagen für brennbare Flüssigkeiten und brennbare Gase im Freien müssen so geplant werden, dass den explosionsgefährdeten Bereich bzw. die Schutzbereiche nicht in den Oberleitungsbereich ragen. Der konstruktive Explosionsschutz umfasst die Maßnahmen zur Beschränkung des Schadens einer Explosion. Bei Räumen oder Gebäuden besteht dieser in Regel darin, dass Fenster, Türen oder Wände so zu gestalten sind, dass sie schon bei geringen Druckerhöhungen öffnen oder herausfallen und somit der entstehende Druck entweichen kann [16], [7].



Abbildung 31: Kennzeichnung explosionsgefährdeter Bereiche
(Quelle: Eichseder, H.; Klell, M.: Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik, Vieweg + Teubner, 2008, S. 255 [9-1].)

Für Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen gelten die Bestimmungen der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) in Verbindung mit der DIN EN 50122-1 unter Berücksichtigung der gültigen ATEX-Richtlinien und der DIN EN 60079. Gemäß der BetrSichV sind diese Anlagen überwachungsbedürftig. Überwachungsbedürftige Anlagen dürfen erstmalig und nach einer wesentlichen Veränderung nur in Betrieb genommen werden, wenn die Anlage durch eine zugelassene Überwachungsstelle geprüft wurde. In bestimmten Fällen können dies auch befähigte Personen vornehmen. Für die Ausführungsplanung elektrischer Energieanlagen bei der DB Netz AG muss zusätzlich ein besonderer Schutzplan aufgestellt werden. Im Maßstab 1:50 oder 1:100 sind darzustellen:

- die explosionsgefährdeten Bereiche der Anlage

- die Lage der Potentialausgleichsleitungen
- die Maßnahmen für den Blitzschutz
- die Maßnahmen zum Ausgleich statischer Aufladungen
- die Maßnahmen zur Verhinderung der Durchleitung von Rückströmen
- die Maßnahmen des kathodischen Korrosionsschutzes mit Angabe der Anoden, der Zuleitungen und der Messstellen sowie der Isolierstöße und der Ex-Funkenstrecken
- die Kennzeichnung der Behälter, Leitungen und Zapfsäulen nach der Gefahrenklasse der gelagerten brennbaren Flüssigkeiten bzw. Gase und die Lage der Gefahrenschalter [7].

Folgende Rechtsnormen finde bei der Anlage außerdem Anwendung:

- DIN 1871 „Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase – Dichte und andere volumetrische Größen“
- DIN 51857 „Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase – Berechnung von Brennwert, Heizwert, Dichte, relativer Dichte und Wobbeindex von Gasen und Gasgemischen“
- DIN EN ISO 7225 „Ortsbewegliche Gasflaschen – Gasflaschen-Kennzeichnung“
- ISO 15916 „Sicherheitsaspekte von Wasserstoff-Systemen“
- ISO 14687 „Wasserstoff als Kraftstoff – Produktspezifikation“
- ISO 16111 „Transportierbare Gasbehälter – Wasserstoffabsorbierung in reversiblen Metallhydriden“ [18]

3.3.4 Aufstellungsvarianten

Auch hier kann man die beiden Aufstellungsvarianten aus **3.2.3** in Betracht ziehen. Da hier aber die Brennstoffversorgung über Druckgasflaschen erfolgt und diese bei großen Nennleistungen einen großen Platz einnehmen würden, muss über eine separate Aufstellmöglichkeit der Wasserstoffflaschen nachgedacht werden. Die Variante, die Brennstoffzellenanlage auf einem mobilen Anhänger zu installieren, ist hier sehr günstig, da eine ausreichende Belüftung und im Fehlerfall der Abzug von Wasserstoff immer gewährleistet ist. Bei der Aufstellung muss nur darauf geachtet werden, nicht in die Nähe der Bahnoberleitung zu geraten. Bei kleinen Nennleistungen können die Druckgasflaschen in einem Käfig (Abbildung 32) auf dem Hänger installiert werden, bei größeren Leistungen muss neben dem Anhänger ein Container (Abbildung 33) zur Aufbewahrung der Flaschen aufgestellt werden. Die Brennstoffzellenanlage muss hierbei in einem witterungsfesten Gehäuse aufgebaut werden. Soll die Brennstoffzellenanlage in einem Container aufgebaut werden, können die Wasserstoffvorräte in einem separaten und gut belüfteten Raum innerhalb des Containers untergebracht werden (siehe Abbildung 34). Größere Nennleistung ab ca. 50 kVA erfordern wiederum ein externes Gaslager mit ausreichender Belüftung.



Abbildung 32: Beispiel Druckgasflaschen in Käfig
 (Quelle: <https://www.crowdshop.eu/media/image/e7/75/fb/GFC-M0.jpg>)



Abbildung 33: Beispiel Container mit natürlicher Belüftung für Druckgasflaschen
 (Quelle: https://www.crowdshop.eu/media/image/25/e0/ff/p10339_und_alle_kinder_30.jpg)

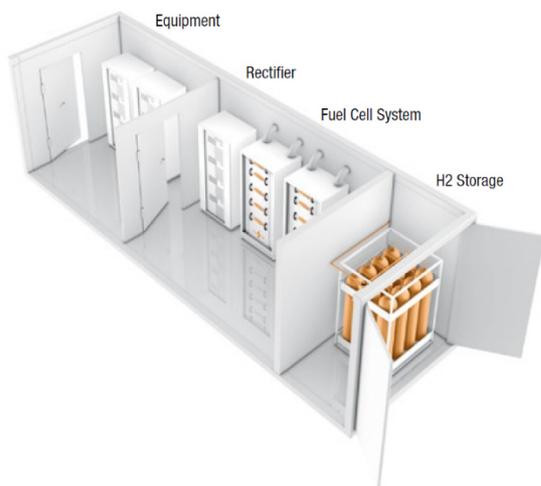


Abbildung 34: Schema Brennstoffzelle in Container mit separater Wasserstofflagerung
 (Quelle: Prospekt FutureE, Fuel Cell Solutions, Jupiter Product Family)

Der Wasserstoff wird dabei üblicherweise in Gasdruckflaschen mit einem Volumen von 50 Litern und einem Druck von 200 bzw. 300 bar bereitgestellt. Die Flaschen werden miteinander gekoppelt und stellen ein komplettes System dar. Es gibt jedoch auch die Möglichkeit einen 700-bar-Behälter, wie in der Fahrzeugindustrie, zu nutzen. Das hat den Vorteil, dass man mehr Brennstoff im selben Volumen unterbringen kann. Für den Wechselrichter muss außerdem ein geeigneter Platz gefunden werden.

3.3.5 Dimensionierung der Brennstoffzellenanlage

Laut der Freigabeliste „Brennstoffzellen für Netzersatz“ sind Brennstoffzellensystem der Firma Heliocentris für den Einsatz bei der DB Netz AG zugelassen. Brennstoffzellen aus der

Reihe „Jupiter“ sind schon in den ersten Anlagen als Netzersatzanlage tätig. Das Brennstoffzellensystem setzt sich zusammen aus einem oder mehreren Brennstoffzelleneinschüben, die von dem zentralen Jupiter Controller überwacht und gesteuert werden. Ohne den Controller sind die Einschübe nicht funktionsfähig. Im Gehäuse des Systems sind außerdem Funktionselemente für die Wasserstoffversorgung und den Lufteinlass integriert. Wird nicht die vollständige Leistung der Einschübe genutzt, dann werden einzelne Geräte durch den Controller abgeschaltet. Über eine Schnittstellenebene auf der Rückseite des Einschubgehäuses wird der elektrische Kontakt hergestellt, die Systemkommunikationsschnittstellen der einzelnen Einschübe kontaktiert und die Verbindung zur Wasserstoffversorgung hergestellt. Durch die automatische Kupplung der Schnittstellenkomponenten erfolgt eine einfache Installation und Deinstallation. Die Kühlung erfolgt über die Luft. Dabei wird die benötigte Kühl- und Reaktionsluft über die integrierten Lüfter in den Einschüben angesaugt und über den gegenüberliegenden Auslass wieder abgeführt. Jeder Einschub des Brennstoffzellensystem erzeugt eine elektrische Nennleistung von 2,3 kW und enthält zusätzliche Sensoren und Aktuatoren zur Überwachung und Regelung der Anlage. Über einen Druckregler wird im Wasserstoffversorgungsstrang der Betriebsüberdruck konstant auf 0,45 bar gehalten. Sensoren zur Überwachung des Betriebsdrucks sind außerdem integriert. Herzstück des Brennstoffzellensystems ist der Jupiter Controller. Er ist das Überwachungs- und Steuergerät. Die Kommunikation über diesen mit den Einschüben erfolgt über einen CAN-Bus. Somit könnte er auch an die Steuereinheit der Weichenheizanlage angebunden werden. Die 48-V-DC-Batteriespannung wird im Standby überwacht. Sobald diese unter einen Grenzwert abfällt, beginnt das Brennstoffzellensystem zu arbeiten. Wird die Ausschaltsschwelle erreicht, schaltet der Controller das System wieder in den Standby-Betrieb. Ein Controller kann 20 Einschübe verwalten. Deswegen ist die Maximalleistung pro Controller auf 46 kW bei einem Nennstrom von 1000 A beschränkt. Die Module erzeugen eine unregelmäßige Ausgangsspannung von 40,5 – 57,0 V DC. Zur Absicherung und Verteilung der elektrischen Last sind Lastverteiler in das Systemgehäuse eingebaut. Interne und externe elektrische Sicherungen können in diesen aufgenommen werden. Der Lastverteiler hat interne Sammelschienen, an denen Stromerzeuger und Stromverbraucher angeschlossen werden können. An die Lastabgänge können interne Verbraucher der Anlage und anwenderseitige Lastabgänge angebracht werden. In Abbildung 35 ist das Basissystem mit seinen optionalen Erweiterungen zu sehen. Eine Brennstoffüberwachung über Druckwächter ist sinnvoll, um die Anlage rechtzeitig nachzutanken. Die Brennstoffzelle muss nun so dimensioniert werden, dass die Heizanlage mit den Steuerstromkreisen, die Verluste im Wechselrichter, sowie die Versorgung der eigenen Anlage übernehmen kann. Ein Controller mit jeweils 20 Einschüben könnte hierbei

immer eine Phase der Anlage übernehmen. Somit würde die Brennstoffzelle die kompletten Anlagenteile mit maximal 138 kW versorgen können. Geht man wieder von einer Maximalleistung der Heizanlage von 96 kW aus, sollte für die zusätzliche Versorgung von Controllern und Überwachungseinrichtungen eine 100 kW Anlage ausreichen. Verbraucht die Anlage weniger Leistung, werden einige Module in den Standby-Modus gefahren, so dass das Brennstoffzellensystem mit einem optimalen Wirkungsgrad arbeiten kann [20].

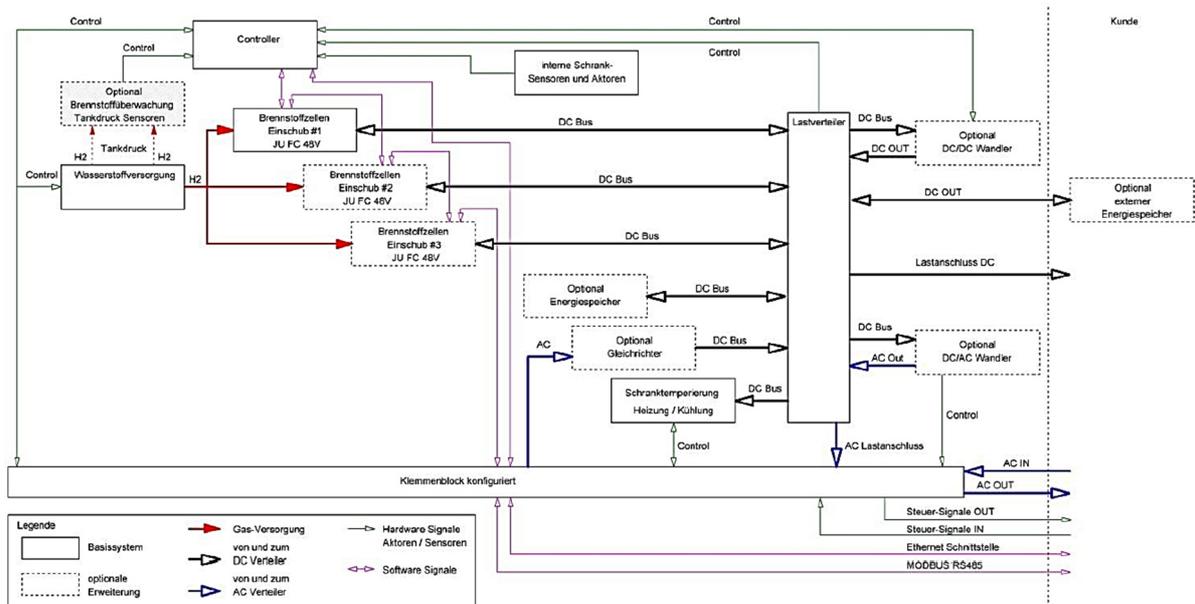


Abbildung 35: Blockschaltbild Brennstoffzellensystem
(Quelle: Bedienungsanleitung Heliocentris, Jupiter Fuel Cell System, 2015)

Will man den benötigten Brennstoffvorrat berechnen, muss man von der Zustandsgleichung für ideale Gase ausgehen und diese nach dem Volumen umstellen.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (15)$$

$$V_{\text{theo}} = \frac{n_{\text{H}_2} \cdot R \cdot T}{p} \quad (16)$$

T = absolute Temperatur

V = Volumen des Gases

n = Stoffmenge des Gases

p = Luftdruck

R = universelle Gaskonstante = $8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

Die Stoffmenge n_{H_2} ist proportional zum Strom I und der Ladung Q.

$$Q = I \cdot t = z \cdot e \cdot N_A \cdot n_{\text{H}_2} \quad (17)$$

N_A = Avogadrokonstante = $6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$

z = Anzahl der Elektronen die zur Bildung des Moleküls H_2 benötigt werden = 2

e = Elementarladung = $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ A} \cdot \text{s}$

I = Stromstärke in A

Damit erhält man das 1. faradaysche Gesetz:

$$V_{\text{theo}} = \frac{I \cdot t \cdot R \cdot T}{z \cdot e \cdot N_A \cdot p} \quad (18)$$

Setzen wir nun die Konstanten, Zahlenwerte, sowie für $t = 3600 \text{ s}$ (1 h), $T = 273,15 \text{ K}$ und $p = 101.325 \text{ Pa}$ ein, erhalten wir folgende Abhängigkeit des Volumens vom Strom:

$$V_{\text{theo}} = 4,1818 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{A}} \cdot I = 0,41818 \cdot I \cdot \frac{1}{\text{A}} \quad (19)$$

Setzt man den Betriebsstrom in die Gleichung ein, so bekommt man das theoretisch verbrauchte Volumen an Wasserstoff pro Brennstoffzelle heraus. Für den Verbrauch pro Stack muss der Wert noch mit der Anzahl der Zellen im Stack multipliziert werden. Da wir für jede Phase ein eigenes Brennstoffzellensystem haben muss dieser Wert dann mit drei multipliziert werden und wir haben den Gesamtverbrauch der Anlage in einer Stunde heraus.

$$V_{\text{theo Anlage}} = 3 \cdot n_{\text{Zellen}} \cdot 0,41818 \cdot I \cdot \frac{1}{\text{A}} \quad (20)$$

n_{Zelle} = Anzahl der Zellen im Stack

Das Volumen einer Gasdruckflasche lässt sich näherungsweise aus der Volumenangabe des Gasdruckbehälters und dem Druck im Behälter berechnen. Multipliziert mit der gesuchten Anzahl an Gasflaschen, gleichsetzen mit dem theoretischen Anlagenvolumen und festlegen einer Zeit im Dauerbetrieb ohne Nachfüllen ergibt folgendene Näherungsformel:

$$n_{\text{Behälter}} \approx \frac{3 \cdot n_{\text{Zellen}} \cdot 0,41818 \cdot I \cdot \frac{1}{\text{A}} \cdot t}{V_{\text{Behälter}} \cdot p_{\text{Behälter}}} \quad (21)$$

t = Zeitangabe für die Dauerleistung der Anlage in Stunden

$V_{\text{Behälter}}$ = Volumenangabe des Behälters

$p_{\text{Behälter}}$ = Druckangabe des Behälters

Da das nur einen Idealwert darstellt, muss noch ein Puffer für die Energieverluste der Gesamtanlage (Wechselrichter, Wärmeverluste) eingebaut werden. Für eine 10-prozentige Überdimension, muss die Anzahl der Druckgasflaschen zum Beispiel noch mit 1,1 multipliziert werden. Heliocentris gibt die elektrische Kapazität einer Wasserstoffflasche mit einem Volumen von 50 Litern und einem Innendruck von 300 bar mit 16 – 18 kWh an. Für eine 200-bar-Flasche mit selbem Volumen wird eine Kapazität von 13 kWh angegeben.

Einmal in zwölf Monaten sind folgende Wartungsarbeiten an der Anlage durchzuführen:

- Sichtkontrolle des Gesamtsystems auf Beschädigung, Alterung, Farbschäden
- Kontrolle der Tragkonstruktion auf Beschädigung
- Kontrolle der Kabel auf Beschädigung
- Kontrolle der zugänglichen Stecker und Anschlüsse auf feste Verbindung
- Kontrolle der Erdung
- Kontrolle der eingebauten Lüfter und Heizung
- Reinigung (Entstaubung)
- Kontrolle und ggf. Reinigung der Zu- und Abluftkanäle
- Softwarestand (ggf. Softwareupdate zwecks Debugging)
- Kontrolle der Gasversorgung und -Einhausung
- Anschlusskontrolle des Wechselrichters und Überprüfung der Funktion
- Prüfung der Alarmschwellen der Spannungsüberwachung
- Prüfen der Alarmschwellen für den H₂-Füllstand
- Sichtkontrolle der Gesamtverrohrung auf Beschädigung, Alterung
- Dichtigkeitsprüfung der Rohrleitungen
- Prüfung der Umschalteneinrichtung & Schutzeinrichtungen
- Kontrolle des Wasserstoffstandes pro Strang

Die Wartungsintervalle können auf 24 Monate verlängert werden, wenn eine Fernüberwachung der Anlage eingerichtet ist [20].

3.3.6 Dimensionierung des Wechselrichters

Der Wechselrichter hat die Aufgabe, den Gleichstrom, den die Brennstoffzellenanlage produziert, in einen netzkonformen Wechselstrom umzuwandeln und den elektrischen Wechselstromverbrauchern zur Verfügung zu stellen. Dabei soll er den Gleichstrom in einen möglichst sinusförmigen Wechselstrom umwandeln. Der Wirkungsgrad eines Wechselrichters ist sehr hoch. Er wandelt ca. 95 % seiner aufgenommen elektrischen Energie um. In unserer Anlage muss das Wechselrichtersystem drei um 120° verschobene Spannungen erzeugen. Die Nennleistung des Wechselrichters muss \geq der Maximalleistung

der Brennstoffzellenanlage sein. Somit sollte der Wechselrichter zwischen 100 kW und 110 kW Nennleistung besitzen. In **Anlage 9** ist die Einspeisung über die Brennstoffzelle und dem Wechselrichter dargestellt. Über die drei Brennstoffzellensystem werden die Phasen L1, L2 und L3 bereitgestellt. Die richtige Phasenlage wird über die Phasenüberwachung kontrolliert. Auch hier muss Frequenz und Spannung von der Anlage dauerhaft überwacht werden. Der Steuerstromkreis für Frequenz- und Spannungswächter, Leistungsumschalter und der Anlage selber ist genauso wie in **3.2.4** beschrieben. Für das Brennstoffzellensystem kommt lediglich eine 48-V-Batterie hinzu.

3.3.7 Überwachung der Anlage

Für die Überwachung von Brennstoffanlagen müssen umfangreiche Test- und Sicherheitseinrichtungen mit mechanischen und elektrischen Komponenten bereitgestellt werden. Bei der Gasversorgung sind Rückschlagventile gegen die Vermischung von Wasserstoff und Sauerstoff einzusetzen. Durchflussmesser und Strömungswächter überwachen die Wasserstoffzufuhr im System. Über Drucksensoren kann der Füllstand der Wasserstoffbehälter überwacht werden und beim Unterschreiten eines Grenzwertes (z.B. 70 bar) können Maßnahmen zur Befüllung eingeleitet werden. Der Niederdruckbereich kann außerdem mit einem Druckwächter kontrolliert werden. Heizregler temperieren die Betriebstemperatur in den jeweiligen Stacks und regeln die Zu- und Abluft. Für die Containerversion sind Wasserstoffdetektoren an der Decke anzubringen, sie zeigen an, wenn Wasserstoff aus der Anlage austreten sollte. Eine Brandmeldeanlage würde die Anlage zusätzlich absichern. Beim Brand ist dafür zu sorgen, dass die Wasserstoffzufuhr automatisch abgesperrt wird. Der Einsatz eines Löschmittels, speziell Wasser, ist hier wegen der Explosionsgefahr nicht zulässig. Die Anbindung der Überwachung der Anlage kann über das Brennstoffzellensystem von Heliocentris selber geschehen oder über die Steuereinheit in der Hauptverteilung. Über die Fernüberwachung können dann Sensoren und Aktoren abgerufen werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Planung und Errichtung einer Weichenheizanlage stellt ein aufwendiges Verfahren dar. Manche Situationen lassen ein Aufstellen einer komplett neuen Heizanlage einfach nicht zu. Weichen sind teilweise weit entfernt von Versorgungsnetzen aufgestellt und müssten somit aufwendig angebunden werden oder die Standdauer ist einfach zu kurz. Hier macht ein mobiles Weichenheizsystem mit autarker Stromversorgung durchaus Sinn. Der enorme Leistungsbedarf, der anfallen könnte, stellt hierbei aber ein Problem hinsichtlich der Mobilität dar. Je größer die angebundene Heizleistung ist, desto unbeweglicher muss die Anlage aufgebaut werden. Anlagenteile müssen vergrößert werden, Aggregate und Brennstoffzellensysteme größer dimensioniert und der Brennstoffvorrat auf ein Vielfaches angehoben werden. Die Auswahl des Standortes wird deshalb bei der Planung der einzelnen Anlagen eine Herausforderung sein. Sehr oft liegen Weichen in unwegsamem Gelände und sind von außen nur sehr schwer zugänglich. Ein Abstellen und Betanken der Anlage wird in solchen Gebieten ein Problem darstellen. Sinnvoll ist deshalb eine Staffelung in mehrere Leistungsbereiche. Damit wird gewährleistet, dass die mobile Weichenheizanlage auch wirklich immer ein größtmögliches Maß an Mobilität besitzt und die Stromversorgung nicht ständig überdimensioniert betrieben wird. Egal welche Größe das Gesamtsystem letzten Endes hat, die Sicherheit muss immer an erster Stelle stehen. Der Umgang mit Brenn- und Kraftstoffen ist gefährlich und erfordert geschultes Personal. Brennstoffzellensysteme erfordern ein erhöhtes Maß an Sicherheit und sind in der Anschaffung teurer als vergleichbare Stromversorgungssysteme. Dennoch sind Abgase von Dieselmotoren schädlich für die Umwelt und sollten langfristig durch regenerativere Systeme abgelöst werden. Die Deutsche Bahn hat hier als selbsternannter „Umweltvorreiter“ eine große Verantwortung zu übernehmen. Im Großen und Ganzen stellt die mobile Heizanlage eine gute Ergänzung zu den bisherigen Systemen dar und kann den Bahnbetrieb noch sicherer und zuverlässiger machen. Für eine mögliche Erprobung sollte erst einmal eine kleinere Anlage aufgebaut und getestet werden. Erkenntnisse über Laufzeitverhalten, Kraftstoffverbrauch oder Sicherheitsmaßnahmen könnten dann auf größere Anlage übertragen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Fendrich, L.; Fengler, W. [Hrsg.]: Handbuch Eisenbahninfrastruktur (2. Aufl.), Springer Vieweg, 2013
- [2] RIL 954.9101; Fachautor: I.NPF 23(O); Bruno Braun: Elektrische Energieanlagen, Elektrische Weichenheizanlagen, 01.10.2016
- [3] RIL 997.0205; Fachautor: I.EBZ 3; Christian Budde: Oberleitungsanlagen, Bahnerdung errichten, 01.03.2013
- [4] RIL 997.0203; Fachautor: I.EBZ 3; Christian Budde: Oberleitungsanlagen, Rückstromführung errichten, 01.03.2013
- [5] DBS 918 156; DB Systemtechnik, TZF 73 Frankfurt / Main; April 2003
- [6] Luckau, F., Danzeisen, N.: Brennstoffzellen zur nachhaltigen Energieerzeugung. In: Der Eisenbahningenieur (9/2016), S. 2 – 4
- [7] RIL 954.01XX; Fachautor: I.EBZ 4; Ludwig Linke; I.EBZ 1; Frank Butzbach: Elektrische Energieanlagen, 01.03.2012
- [8] RIL 819.09XX; Fachautor: I.NVT 342; Alexander Geis: LST-Anlagen planen, 01.01.2015
- [9] RIL 819.2101; Fachautor: VTZ 128; Bernd Koch: LST-Anlagen planen, Kabel; Planung von Kabeltrassen, 01.05.2008
- [10] ESA Grimma: System WHVI, Elektrische Weichenheizungsanlagen & Spezielle Stromversorgung für Bahnen, Übersichtskatalog (8/2015)
- [11] ESA Grimma: EMG, Energiemanagement für elektrische Weichenheizungsanlagen zur Energieeinsparung und höheren Verfügbarkeit (8/2010)
- [12] ESA Grimma: Rahmenvertrag 564 92224990, 11/2015)
- [13] van Basshuysen, R.; Schäfer, F. [Hrsg.]: Handbuch Verbrennungsmotor (7. Aufl.), Springer Vieweg, 2015
- [14] Fuest, K.; Döring, P.: Elektrische Maschinen und Antriebe (7. Aufl.), Springer Vieweg, 2008
- [15] Kurzweil P.: Brennstoffzellentechnik (3. Aufl.), Springer Vieweg, 2016
- [16] Töpler, J.; Lehmann, J. [Hrsg.]: Wasserstoff und Brennstoffzelle, Springer Vieweg, 2014
- [17] Schulz, D. [Hrsg.]: Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern, Springer Vieweg, 2015
- [18] Eichlseder, D.; Klell, M.: Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik, Vieweg + Teubner, 2008
- [19] Niemeyer, J.: Modellprädikative Regelung eines PEM-Brennstoffzellensystems, Universitätsverlag Karlsruhe, 2008
- [20] Heliocentris: Bedienungsanleitung Jupiter Fuel Cell System, 2015

Quellenverzeichnis

[21] Deutsche Bahn AG [Hrsg.]: https://www1.deutschebahn.com/file/ecm2-db-de/1488952/TeDlhT0o5Oj4ytQM5Pt8QFPZoV4/10948128/data/2015_duf.pdf (19.02.2017, 18:00), Gespeichert als: daten_fakten.pdf

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 – Prüfungsnachweis für elektrische Energieanlagen bis 1000V (Vordruck 954.0102V01)	2 Seiten
Anlage 2 – Messprotokoll für elektrische Energieanlagen bis 1000V (Vordruck 954.0102V02)	1 Seite
Anlage 3 – Mängelliste zum Prüfungsnachweis (Vordruck 954.0102V03)	2 Seiten
Anlage 4 – Bestückungsliste für gebräuchliche Weichenarten	2 Seiten
Anlage 5 – Weichentabelle (fiktives Beispiel)	1 Seite
Anlage 6 – Stromlaufplan Hauptverteilung „Mobile Weichenheizanlage“	19 Seiten
Anlage 7 – Stromlaufplan Fühlerstation „Mobile Weichenheizanlage“	2 Seiten
Anlage 8 – Stromlaufplan Einspeisung „Dieselaggregat“	4 Seiten
Anlage 9 – Stromlaufplan Einspeisung „Brennstoffzelle“	4 Seiten

Prüfungsnachweis für elektrische Energieanlagen bis 1000V



Auftraggeber:		Auftragnehmer:	
Auftragsnummer:		Techn. Anlagenkennzeichen /	
Ort:		Anlagen Nr.:	
Anlage:		Netzspannung:	
VNB:		Netz: <input type="checkbox"/> TN-System <input type="checkbox"/> TT-System <input type="checkbox"/> IT-System	
Zählstellennummer:		Zählerstand:	
Prüfung	<input type="checkbox"/> Erstprüfung nach DIN VDE 0100-600 <input type="checkbox"/> Wiederholungsprüfung nach DIN VDE 0105-100	<input type="checkbox"/> Besondere Prüfgrundlage 954.0107 Abschnitt <input type="checkbox"/> Erstprüfung nach GUV-V A3 §5	
Besichtigen			
a) Allgemein			
i.O. n.i.O. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Richtige Auswahl der Betriebsmittel <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Brandschottung <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> _____	i.O. n.i.O. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Zugänglichkeit <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Schäden o. Mängel an Betriebsmitteln <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Richtige Auswahl und Einstellungen der Überstromschutzeinrichtungen <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kabel, Leitungen, Stromschienen	i.O. n.i.O. <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Schilder, Aushänge <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Schutz gegen direktes Berühren <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kennzeichnung der Stromkreise und Betriebsmittel <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> _____	
b) Hauptpotentialausgleich			
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Querschnitt Potentialausgleichsleiter <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Hauptpotentialausgleich vorhanden <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Fundamenterder, Blitzschutzender <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Fm- und Sig-Anschlüsse	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Hauptschutzleiter <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Rohrsysteme <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Überspannungsableiter <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Bahnerde <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Gebäudekonstruktion <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Lüftung <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> _____	
c) TN-, TT- und IT-System			
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Querschnitt PE-, Erdungsleiter <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Keine Vertauschung PE/PEN – Leiter <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PE/PEN nicht für sich allein schaltbar <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Zusätzlicher Potentialausgleich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Verlegung PE-, Erdungs- u. PA-Leiter <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kennzeichnung PE und N <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Richtige Auswahl der Schutzeinrichtung <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Keine Vertauschung PE und N <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Keine Überstromschutzeinrichtung in PE oder PEN <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> _____	
zusätzlich bei IT-System		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kein aktiver Leiter direkt geerdet <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Körper mit PE-Leiter verbunden	
d) Schutzkleinspannung und Funktionskleinspannung mit sicherer Isolierung			
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Stromquelle nach DIN VDE 0100-410 zusätzlich bei Schutzkleinspannung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Schutzisolierung bei ortsveränderl. Trafo <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Keine Verbindung aktiver Teile mit Erde oder PE bzw. aktiven Teilen anderer Stromkreise	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Verwechslungsfreie Steckvorrichtung <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Keine absichtliche Verbindung der Körper mit Erde, PE oder Körper anderer Stromkreise	
e) Schutzisolierung (Schutzklasse II)			
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Keine Schäden an der Isolierstoffumhüllung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Leitfähige berührbare Teile nicht an PE-Leiter angeschlossen		
f) Schutztrennung			
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Stromquelle nach DIN VDE 0100-410 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Flexible Leitungen mindestens H07RN-F / A07RN-F	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Keine Verbindung des Sekundärstromkreises mit Erde oder anderer Stromkreise <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Anschluss nur eines Verbrauchsmittels wenn Schutztrennung gefordert	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sichere Trennung des Sekundärstromkreises <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Ungeerdeter, isolierter PA-Leiter bei mehreren Verbrauchsmitteln	

Erproben

i.O. n.i.O.

Funktionsprüfung der Anlage

Fehlerstromschutzeinrichtung

Isolationsüberwachung

i.O. n.i.O.

Rechtsdrehfeld Netzanschluss

Rechtsdrehfeld Steckdosen

i.O. n.i.O.

Funktion der Schutz- und Sicherheitseinrichtungen

Funktion aller Überwachungseinrichtungen (Melder, Leuchten)

Messen

Siehe Messprotokoll Vordruck **954.0102V02**

Messprotokoll besteht aus Blatt 1 bis

Prüfergebnis: mängelfrei

Prüfergebnis: nicht mängelfrei

Mängel siehe Vordruck **954.0102V03**

Bemerkungen:

Die elektrische Anlage entspricht den anerkannten Regeln der Technik

Die elektrische Anlage entspricht nicht den anerkannten Regeln der Technik

Prüfer (Elektrofachkraft)

verantwortlicher Auftragnehmer für die Errichtung oder Instandhaltung ^{x)}

(Ort, Datum, Name, Unterschrift)

(Stempel, Datum, Unterschrift)

Messprotokoll für elektrische Energieanlagen bis 1000V



Auftraggeber: _____ **Auftragnehmer:** _____ **Ort:** _____ **Blatt:** _____
Auftragsnummer: _____ **Anlage:** _____
Verwendete Messgeräte: _____ **Technischer Platz / Anlagen Nr.:** _____ **Gesamterdungswiderstand:** _____ Ω
Fabrikat: _____ **Nr.:** _____ **Künstlicher Erder:** _____ Ω
Fabrikat: _____ **Typ:** _____ Zuverlässige Verbindung Schutzleiter
Fabrikat: _____ **Nr.:** _____ **Typ:** _____ **Bemerkung:** _____

Nr.	Stromkreis / Messpunkt		Leitung/Kabel		Überstrom-Schutzeinrichtung			Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD)			R _{isol} * mit <input type="checkbox"/> Ohne <input type="checkbox"/> Verbraucher [M Ω]	PE/PA Durch- gang R _d [Ω]	Netzform	Bemerkung
	Abgang/Schutzorgan - Zielbezeichnung/Betriebsmittel		Typ	Leiter Anzahl	Charakt. taristik	I _n [A]	Z _s [Ω]	I _k [A]	I _n /Art [A]	I _{Δn} [mA]				

Für die Richtigkeit der Messung: _____ * Schlechtester Wert der Messungen nach DIN VDE 0100-600
Prüfer _____

Mängelliste zum Prüfungsnachweis für elektrische Energieanlagen

Blatt

Auftraggeber:	Auftragnehmer:
Auftragsnummer:	
Ort:	Techn. Anlagenkennzeichen /
Anlage:	Anlagen Nr.:

Ifd. Nr.	Mängelbeschreibung	Bemerkungen

Behebungsfrist: _____

Mängel wurden behoben

(Bauüberwachende Stelle)

(Ort, Datum, Name, Unterschrift)

Bestückungsliste für gebräuchliche Weichenarten

Weichenart (Profil und Radius)	Backenschienenheizung				Verschlussfachheizung			Gesamtleistung je Weiche	
	Leistung [W]			Nennleistung [kW]	Leistung [W]		Nennleistung [kW]		
	900 Stück	1200 Stück	1500 Stück		2 x 250 (2 x 450) Satz				
EW 49-190		2	2	5,4	1	0,5	(0,9)	5,9	(6,3)
EW 49-300	2	4		6,6	1	0,5	(0,9)	7,1	(7,5)
EW 49-500		4	2	7,8	2	1,0	(1,8)	8,8	(9,6)
EW 49-760			6	9,0	2	1,0	(1,8)	10,0	(10,8)
EW 49-1200	2	2	4	10,2	2	1,0	(1,8)	11,2	(12,0)
ABW 49-215			2	3,0	1	0,5	(0,9)	3,5	(3,9)
Kr 49-1:14	4		4	9,6	2	1,0	(1,8)	10,6	(11,4)
Kr 49-1:18,5	4		4	9,6	2	1,0	(1,8)	10,6	(11,4)
Kr 49-1200/∞	4	4		8,4	2	1,0	(1,8)	9,4	(10,2)
EKW 49-190	4	4		8,4	2	1,0	(1,8)	9,4	(10,2)
DKW 49-190	8	8		16,8	2	1,0	(1,8)	17,8	(18,6)
EW 49-Pa-190		2	2	5,4	1	0,5	(0,9)	5,9	(6,3)
EW 49-Pa-300	2	4		6,6	1	0,5	(0,9)	7,1	(7,5)
EW 49-Pa-500		4	2	7,8	2	1,0	(1,8)	8,8	(9,6)
EW 54-190		2	2	5,4	1	0,5	(0,9)	5,9	(6,3)
EW 54-300	2	4		6,6	1	0,5	(0,9)	7,1	(7,5)
EW 54-500	4	2	2	9,0	2	1,0	(1,8)	10,0	(10,8)
EW 54-760		4	4	10,8	3	1,5	(2,7)	12,3	(13,5)
EW 54-1200			8	12,0	3	1,5	(2,7)	13,5	(14,7)
ABW 54-215			2	3,0	1	0,5	(0,9)	3,5	(3,9)
EKW 54-190	4	4		8,4	2	1,0	(1,8)	9,4	(10,2)
DKW 54-190	8	8		16,8	2	1,0	(1,8)	17,8	(18,6)
EKW 54-500	4		4	9,6	4	2,0	(3,6)	11,6	(13,2)
DKW 54-500	8		8	19,2	8	4,0	(7,2)	23,2	(26,4)
Kr 54-1:14		8		9,6	2	1,0	(1,8)	10,6	(11,4)
Kr 54-1:18,5	4		4	9,6	2	1,0	(1,8)	10,6	(11,4)
Kr 54-1200/∞	4	4		8,4	2	1,0	(1,8)	9,4	(10,2)
EW 60-300	2	4		6,6	2	1,0	(1,8)	7,6	(8,4)
EW 60-500			6	9,0	2	1,0	(1,8)	10,0	(10,8)
EW 60-760		2	6	11,4	3	1,5	(2,7)	12,9	(14,1)
EW 60-1200		4	6	13,8	3	1,5	(2,7)	15,3	(16,5)
EW 60-2500			10	15,0	4	2,0	(3,6)	17,0	(18,6)
EW 60-6000/3700	2		14	22,8	7	3,5	(6,3)	26,3	(29,1)
EW 60-7000/6000	2	2	14	25,2	8	4,0	(7,2)	29,2	(32,4)
Kr 60-1:14	4	4		8,4	2	1,0	(1,8)	9,4	(10,2)
Kr 60-1:18,5	4		4	9,6	2	1,0	(1,8)	10,6	(11,4)
Kr 60-1200/∞	4	4		8,4	2	1,0	(1,8)	9,4	(10,2)

Anlage 4: Bestückungsliste für gebräuchliche Weichenarten Seite 1/2

(Quelle: (vgl.) RIL 954.9101A02; Fachautor: I.NPF 23(O); Bruno Braun: Elektrische Energieanlagen, Elektrische Weichenheizanlagen, 01.10.2016)

Bestückungsliste für gebräuchliche Weichenarten

Weichenart (Profil und Radius)	Herzstückheizung											
	federnd beweglich					Nennleistung [kW]	gelenkig beweglich					Nennleistung [kW]
	Leistung [W]						Leistung [W]					
	1050	1100	1300	1600	2000		600	900	1100	1200	1300	
Stück	Stück	Stück	Stück	Stück	Stück	Stück	Stück	Stück	Stück	Stück		
EW 60-300							2	2				5,1 ¹⁾
EW 60-500		4				6,2 ²⁾		4				5,7 ¹⁾
EW 60-760	2		2			6,5 ²⁾			4			6,5 ¹⁾
EW 60-1200			4			7,0 ²⁾				2	2	7,1 ¹⁾
EW 60-2500				2	2	9,0 ²⁾						
EW 60-6000/3700		2	2		2	10,6 ²⁾						
EW 60-7000/6000		4		4		12,6 ²⁾						

1) einschließlich Heizplatte (1200 W) und Verschlussfachheizung 2 x 450 W

2) einschließlich Verschlussfachheizung 4 x 450 W

Anlage 4: Bestückungsliste für gebräuchliche Weichenarten Seite 2/2

(Quelle: **(vgl.)** RIL 954.9101A02; Fachautor: I.NPF 23(O); Bruno Braun: Elektrische Energieanlagen, Elektrische Weichenheizanlagen, 01.10.2016)

Weichentabelle

Heizkreisnummer	Verteiler	Abgangsnummer	Weichenbezeichnung	Heizregime	Weichentyp	Weichenbestückung										Leistung in kW	Leistung in A	Abgangssicherung		Auslösecharakteristik	FI-Bezeichnung	FI-Nennstrom	Abgangsklemme		Kabel	Außenleiter	Leistung in kW	Strom in A
						900W	1200W	1500W	1750W	250W	450W	600W	750W	1100W	1300W			1600W	2000W				Bezeichnung	Größe				
1	HV	1	Weiche 1	BH	EW 60-7000/6000	1	2											F1.1	20 A / NH00	gG	F1	63/0,5A	1	6	NY-Y-O 4x4	L1	30,35	131,957
2	HV	1	Weiche 1	BH	EW 60-7000/6000	1	2											F1.2	20 A / NH00	gG	F1	63/0,5A	2	6	NY-Y-O 4x4	L2	30,35	131,957
3	HV	1	Weiche 1	BH	EW 60-7000/6000	2	1											F1.3	20 A / NH00	gG	F1	63/0,5A	3	6	NY-Y-O 4x4	L3	29,30	127,391
4	HV	2	Weiche 1	BH	EW 60-7000/6000		3											F2.1	20 A / NH00	gG	F2	63/0,5A	5	6	NY-Y-O 4x4			
5	HV	2	Weiche 1	BH	EW 60-7000/6000		3											F2.2	20 A / NH00	gG	F2	63/0,5A	6	6	NY-Y-O 4x4			
6	HV	2	Weiche 1	BH	EW 60-7000/6000		3											F2.3	20 A / NH00	gG	F2	63/0,5A	7	6	NY-Y-O 4x4			
7	HV	3	Weiche 1	VH	EW 60-7000/6000			6										F3.1	16 A / NH00	gG	F3	63/0,5A	9	6	NY-Y-O 4x2,5			
8	HV	3	Weiche 1	VH	EW 60-7000/6000			5										F3.2	10 A / NH00	gG	F3	63/0,5A	10	6	NY-Y-O 4x2,5			
9	HV	3	Weiche 1	VH	EW 60-7000/6000			5										F3.3	10 A / NH00	gG	F3	63/0,5A	11	6	NY-Y-O 4x2,5			
10	HV	4	Weiche 1	BH	EW 60-7000/6000				1	2								F4.1	20 A / NH00	gG	F4	63/0,5A	13	6	NY-Y-O 4x10			
11	HV	4	Weiche 1	BH	EW 60-7000/6000				1	2								F4.2	20 A / NH00	gG	F4	63/0,5A	14	6	NY-Y-O 4x10			
12	HV	4	Weiche 1	BH/VH	EW 60-7000/6000					4								F4.3	20 A / NH00	gG	F4	63/0,5A	15	6	NY-Y-O 4x10			
13	HV	5	Weiche 2	BH	EW 60-7000/6000	1	2											F5.1	20 A / NH00	gG	F5	63/0,5A	17	10	NY-Y-O 4x10			
14	HV	5	Weiche 2	BH	EW 60-7000/6000	1	2											F5.2	20 A / NH00	gG	F5	63/0,5A	18	10	NY-Y-O 4x10			
15	HV	5	Weiche 2	BH	EW 60-7000/6000		2	1										F5.3	20 A / NH00	gG	F5	63/0,5A	19	10	NY-Y-O 4x10			
16	HV	6	Weiche 2	BH	EW 60-7000/6000			3										F6.1	20 A / NH00	gG	F6	63/0,5A	21	10	NY-Y-O 4x16			
17	HV	6	Weiche 2	BH	EW 60-7000/6000			3										F6.2	20 A / NH00	gG	F6	63/0,5A	22	10	NY-Y-O 4x16			
18	HV	6	Weiche 2	BH	EW 60-7000/6000			3										F6.3	20 A / NH00	gG	F6	63/0,5A	23	10	NY-Y-O 4x16			
19	HV	7	Weiche 2	VH	EW 60-7000/6000				5									F7.1	16 A / NH00	gG	F7	63/0,5A	25	6	NY-Y-O 4x10			
20	HV	7	Weiche 2	VH	EW 60-7000/6000				6									F7.2	10 A / NH00	gG	F7	63/0,5A	26	6	NY-Y-O 4x10			
21	HV	7	Weiche 2	VH	EW 60-7000/6000				5									F7.3	10 A / NH00	gG	F7	63/0,5A	27	6	NY-Y-O 4x10			
22	HV	8	Weiche 2	BH	EW 60-7000/6000					1	2							F8.1	20 A / NH00	gG	F8	63/0,5A	29	10	NY-Y-O 4x16			
23	HV	8	Weiche 2	BH	EW 60-7000/6000					1	2							F8.2	20 A / NH00	gG	F8	63/0,5A	30	10	NY-Y-O 4x16			
24	HV	8	Weiche 2	BH/VH	EW 60-7000/6000					4	2							F8.3	20 A / NH00	gG	F8	63/0,5A	31	10	NY-Y-O 4x16			

Legende: HV - Hauptverteilung

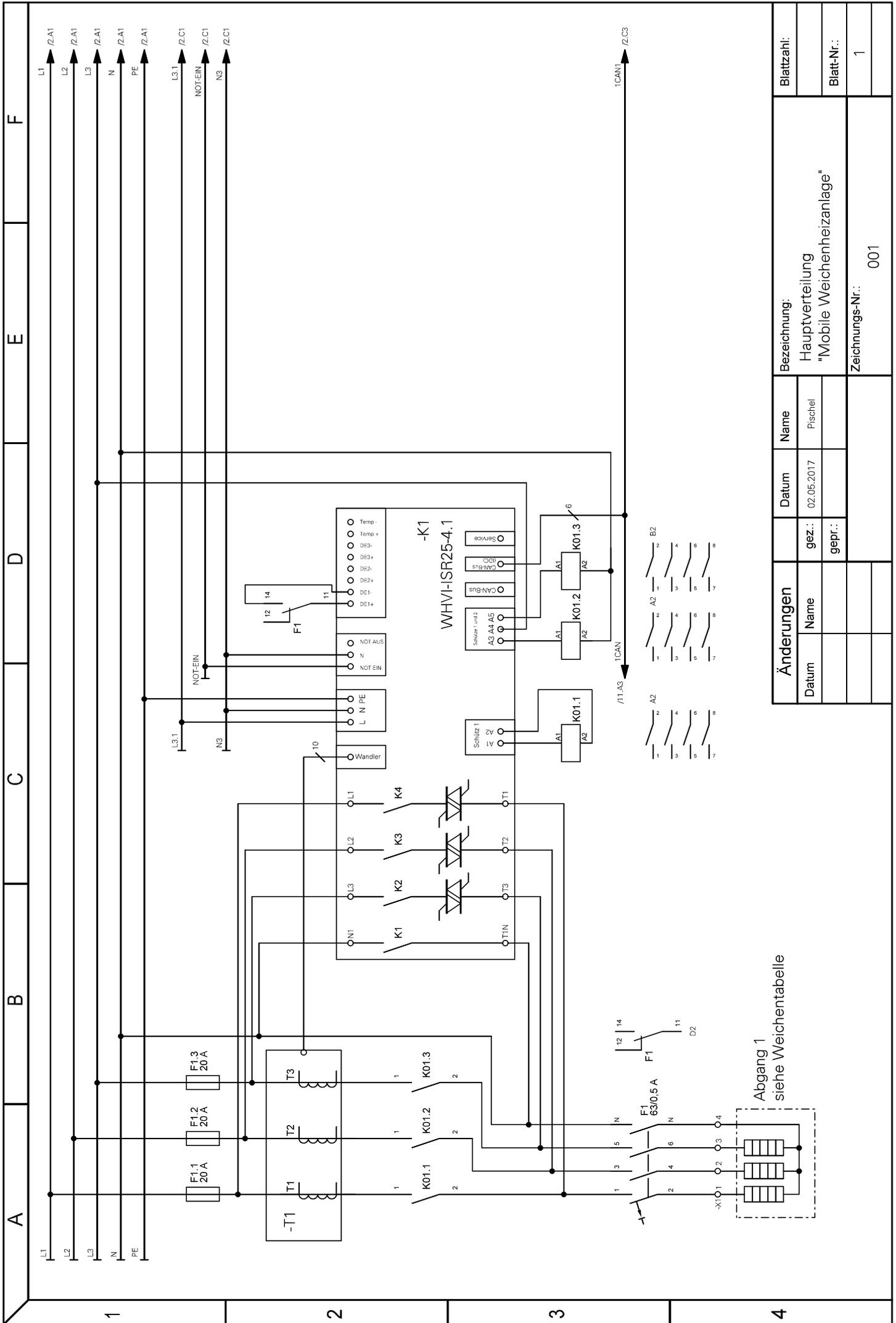
BH - Backenschieneheizung

VH - Verschlussfachheizung

gG - Ganzbereichs-Schutz: Standardtyp für allgemeine Anwendung (träglink)

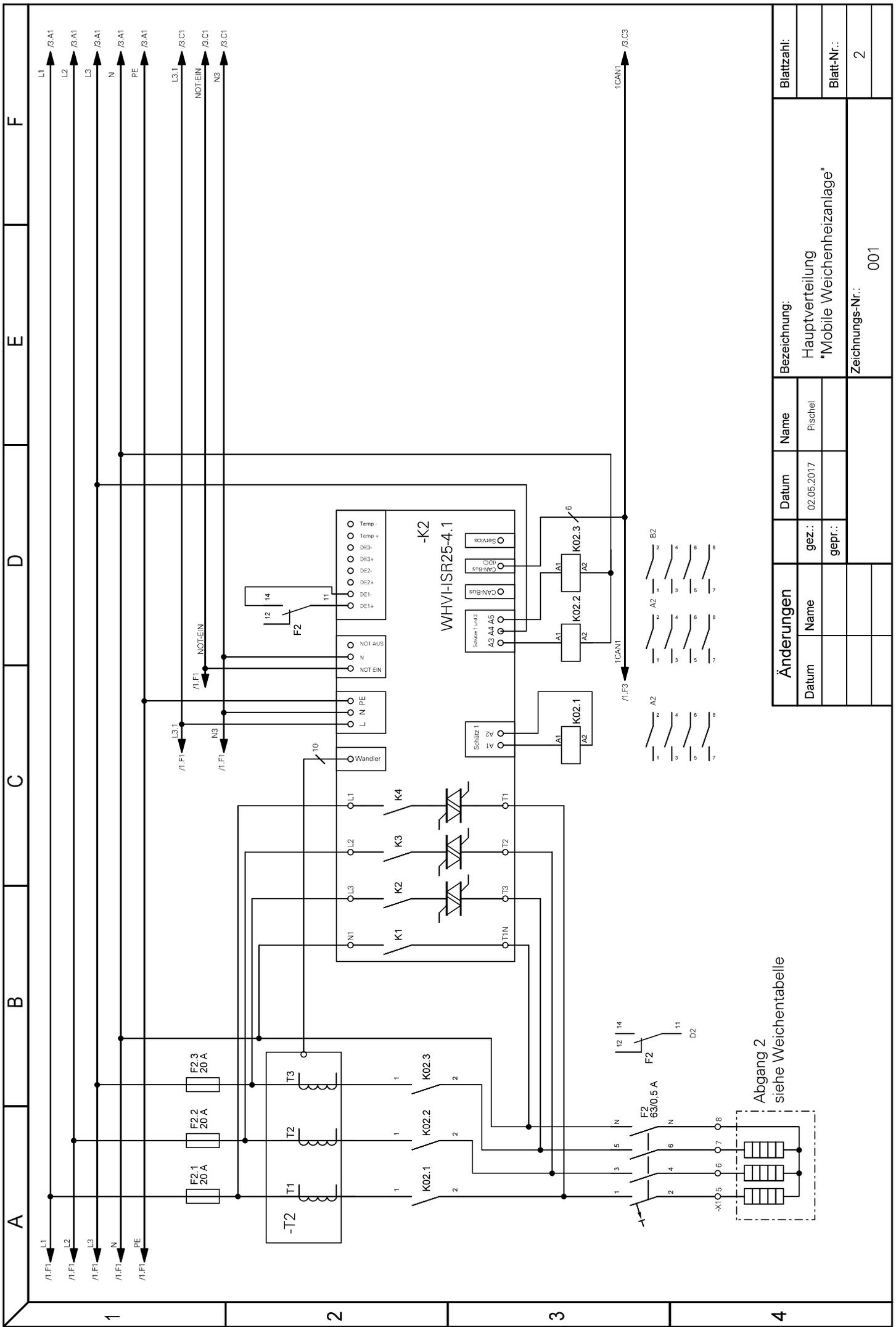
NH00 - Niederspannungs-Hochleistungssicherung Größe 00

Anlage 5: Weichentabelle (fiktives Beispiel)



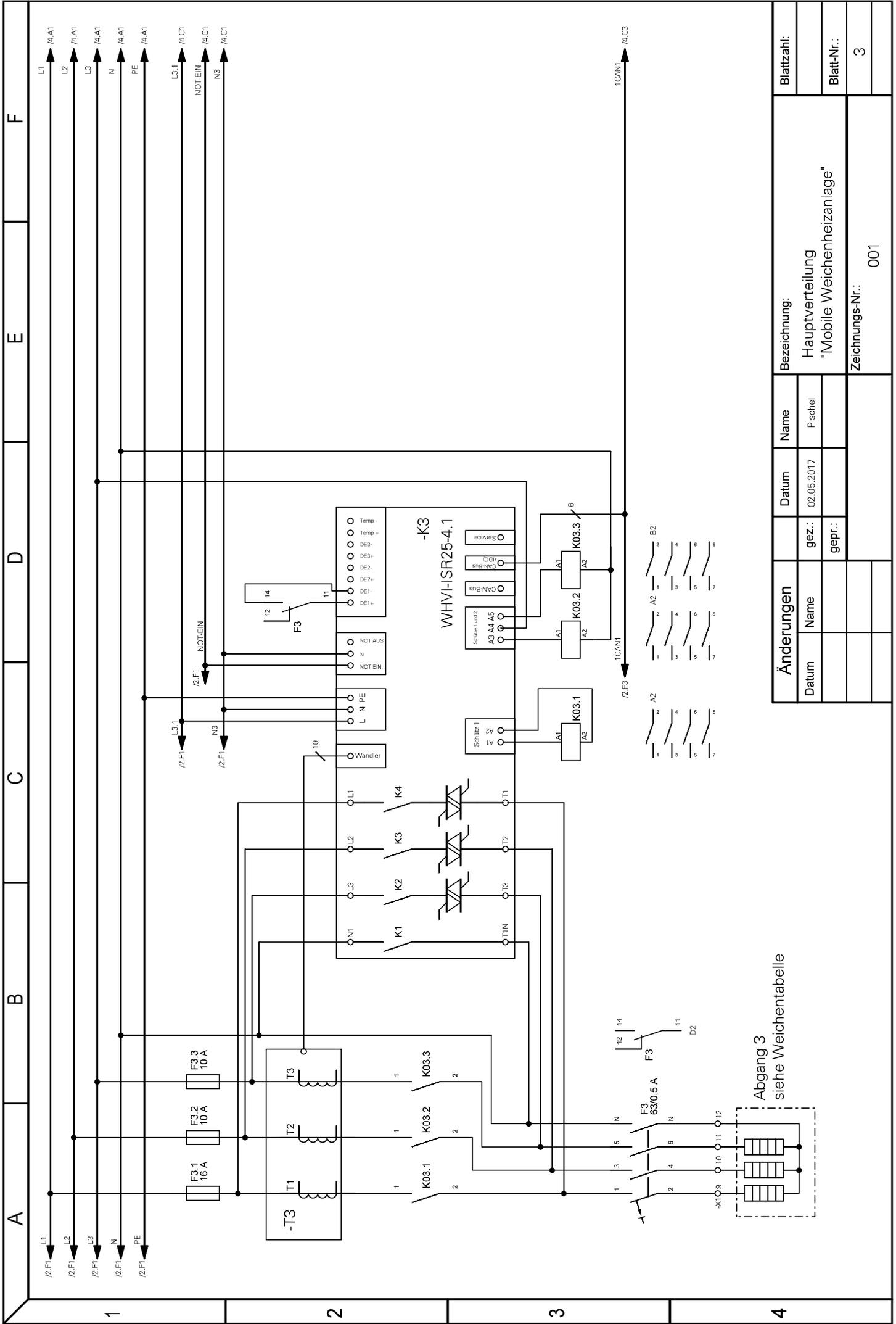
Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	02.05.2017	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenheisanlage"		
	gez.:			Zeichnungs-Nr.: 001		
	gepr.:					1

Abgang 1
siehe Weichentabelle

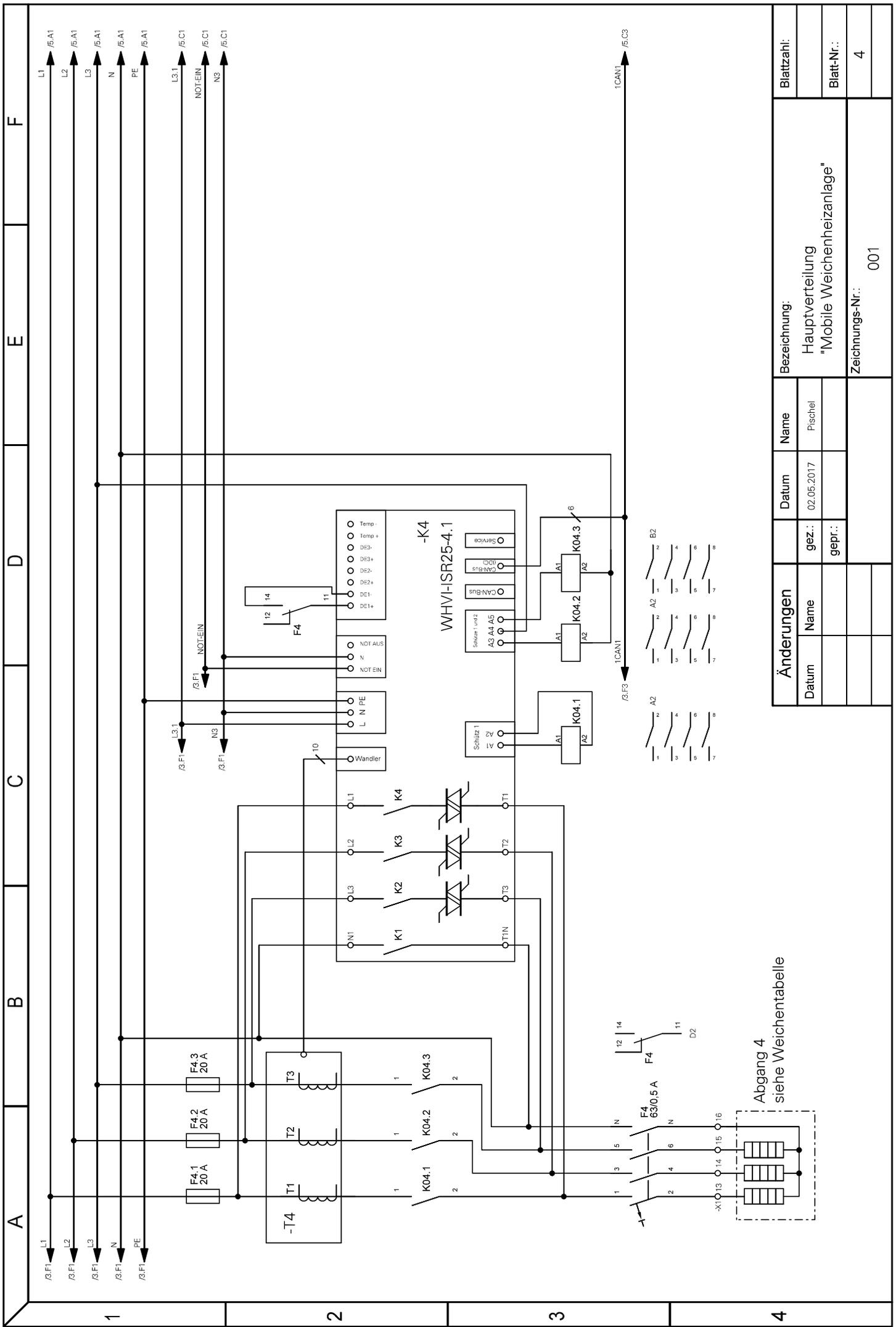


Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenheizung"		
		gepr.:		Zeichnungs-Nr.: 001		Blatt-Nr.: 2

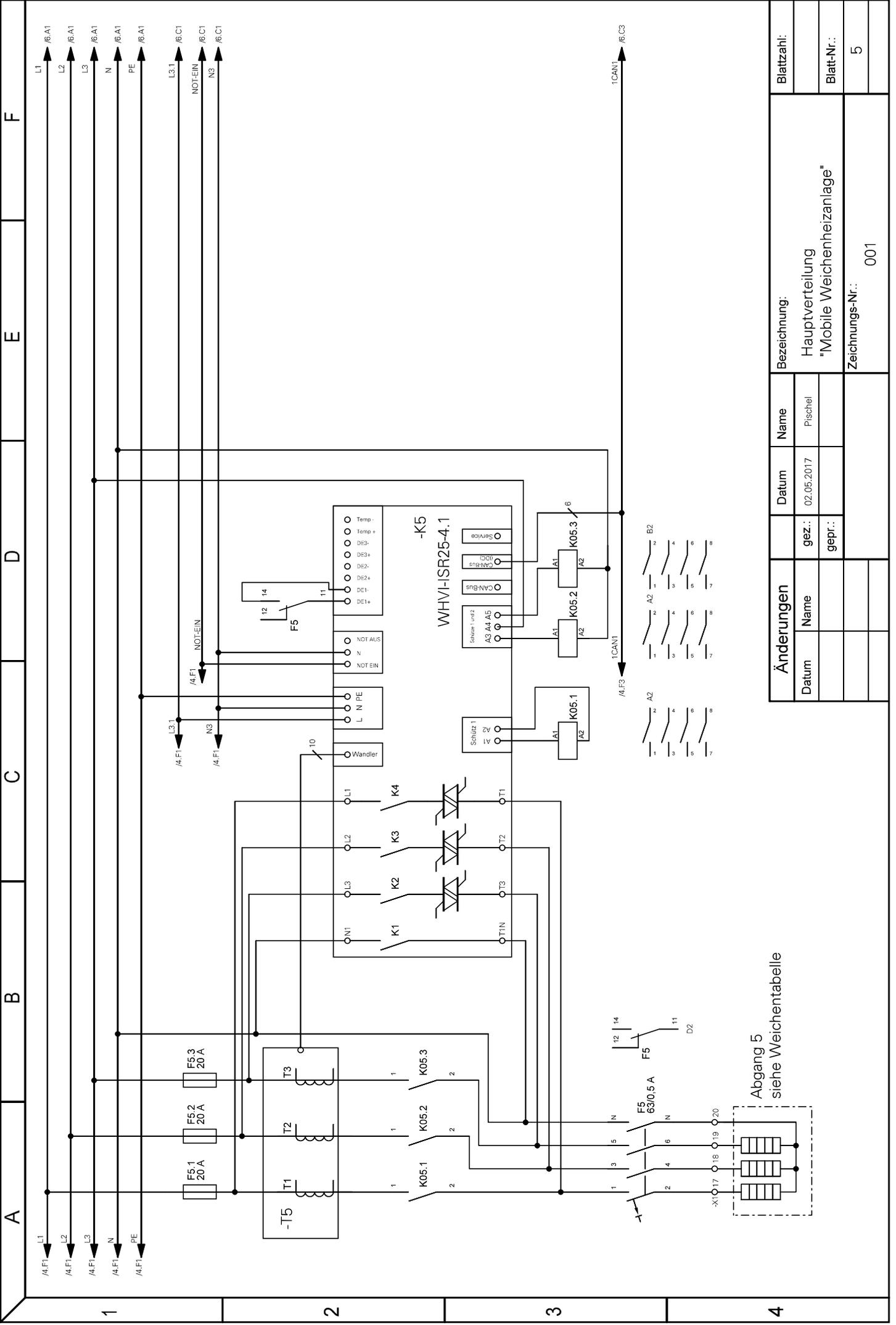
Abgang 2
siehe Weichentabelle



Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenheizung"		
		gepr.:		Zeichnungs-Nr.: 001		
						3

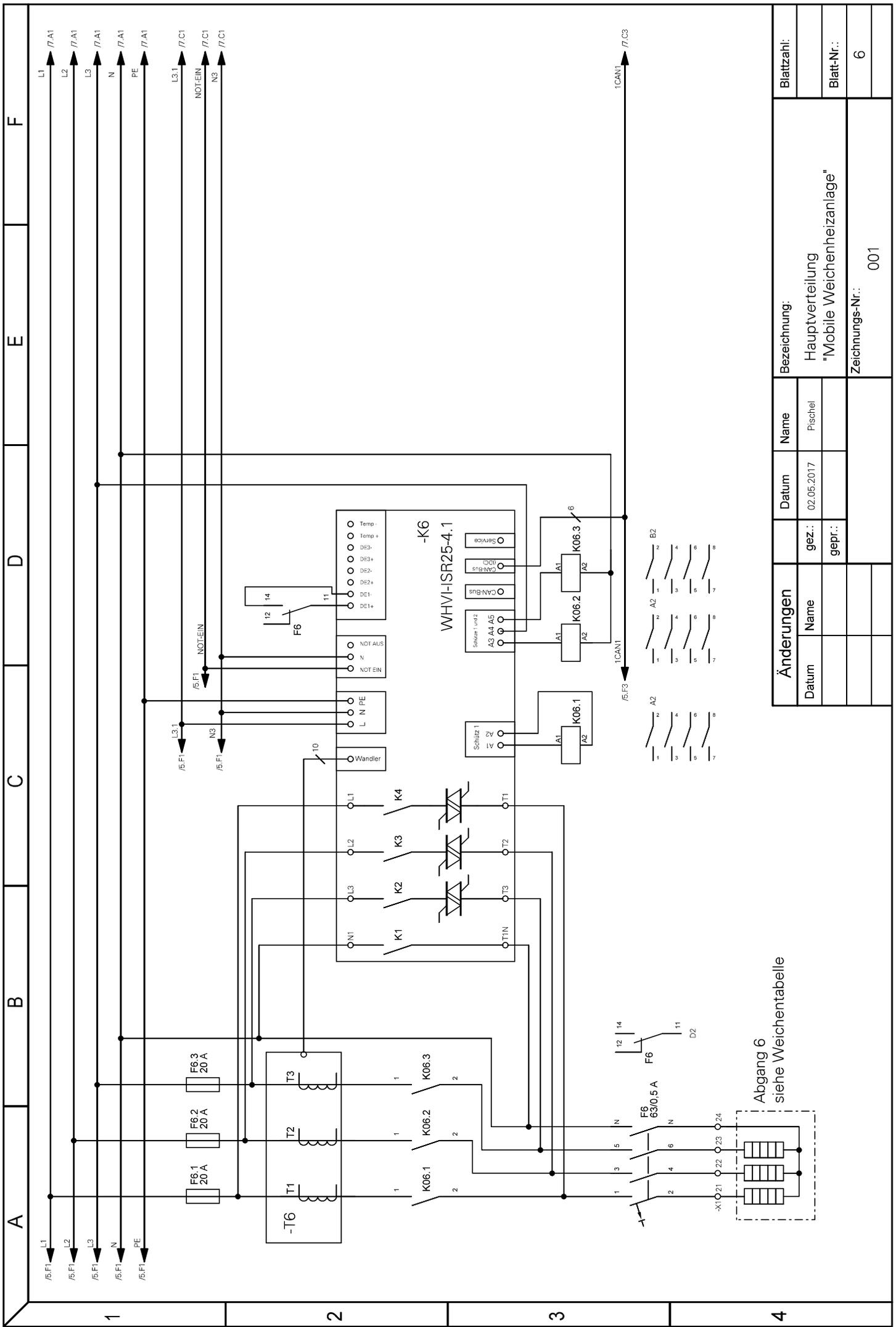


Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenheizanlage"		
		geprt.:		Zeichnungs-Nr.: 001		
						4



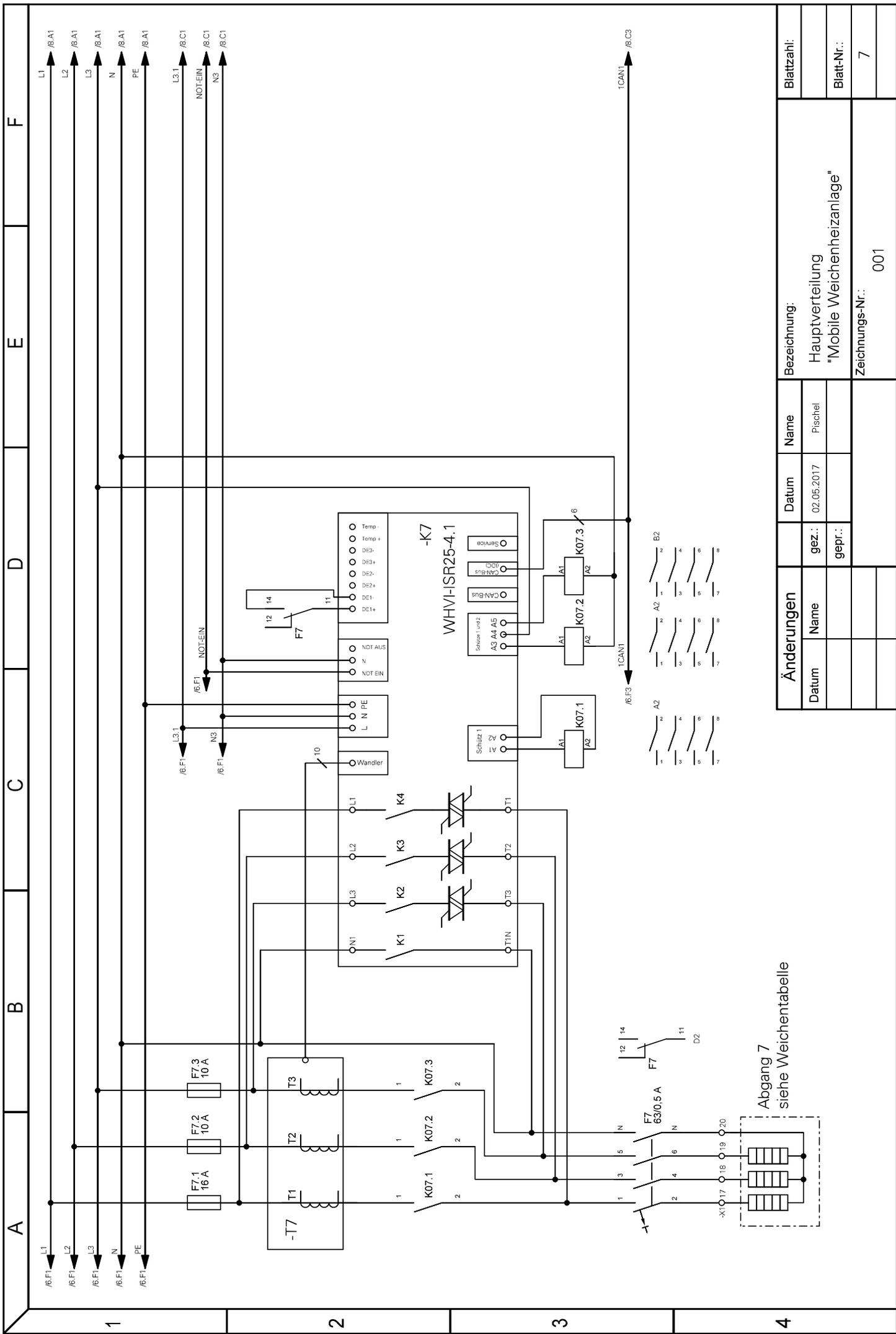
Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:	
Datum	Name	gez.:	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenanlage"			
		gepr.:		Zeichnungs-Nr.: 001		Blatt-Nr.: 5	

Abgang 5
siehe Weichentabelle

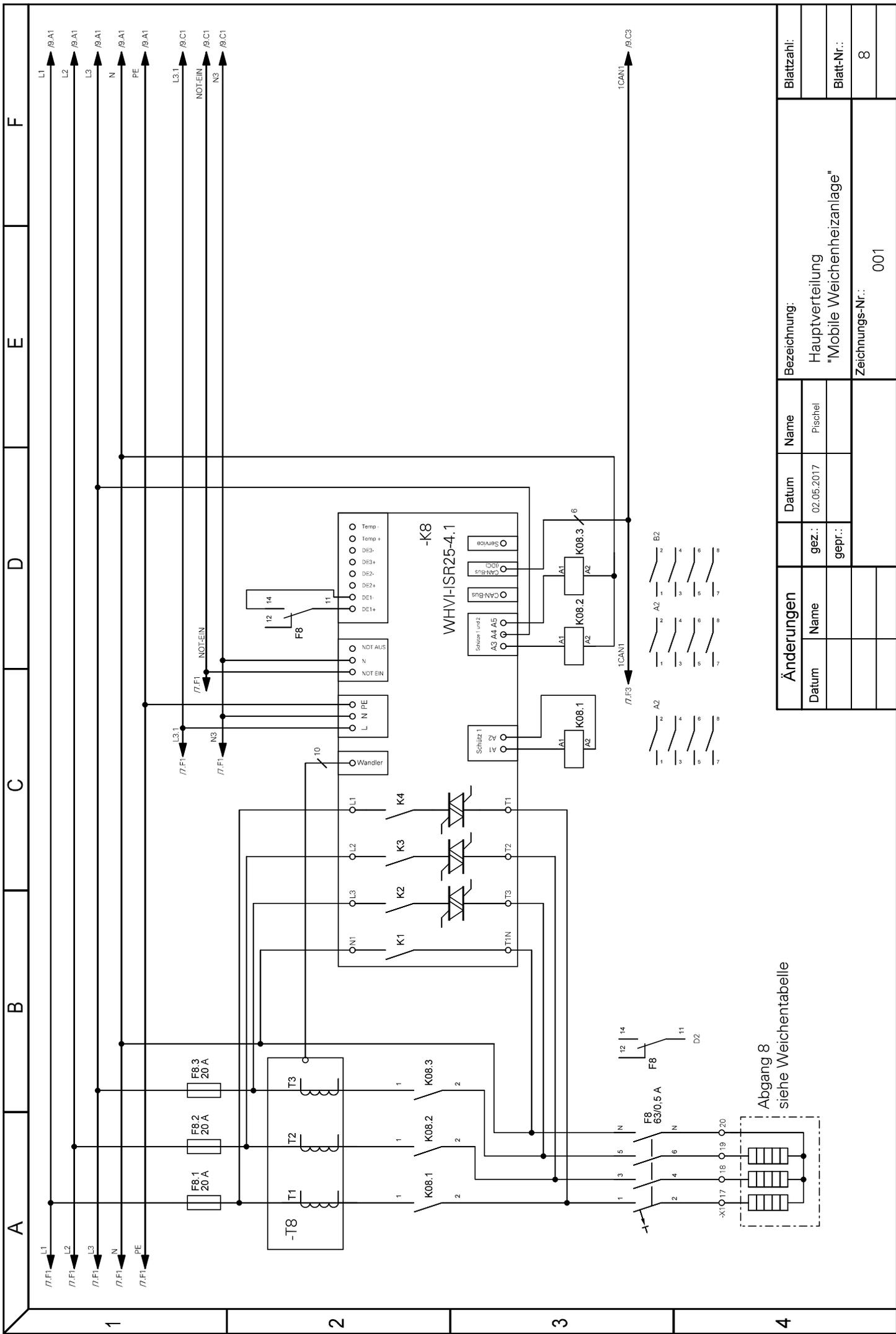


Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenheizung"		
		gepr.:		Zeichnungs-Nr.: 001		
						Blatt-Nr.: 6

Abgang 6
siehe Weichentabelle

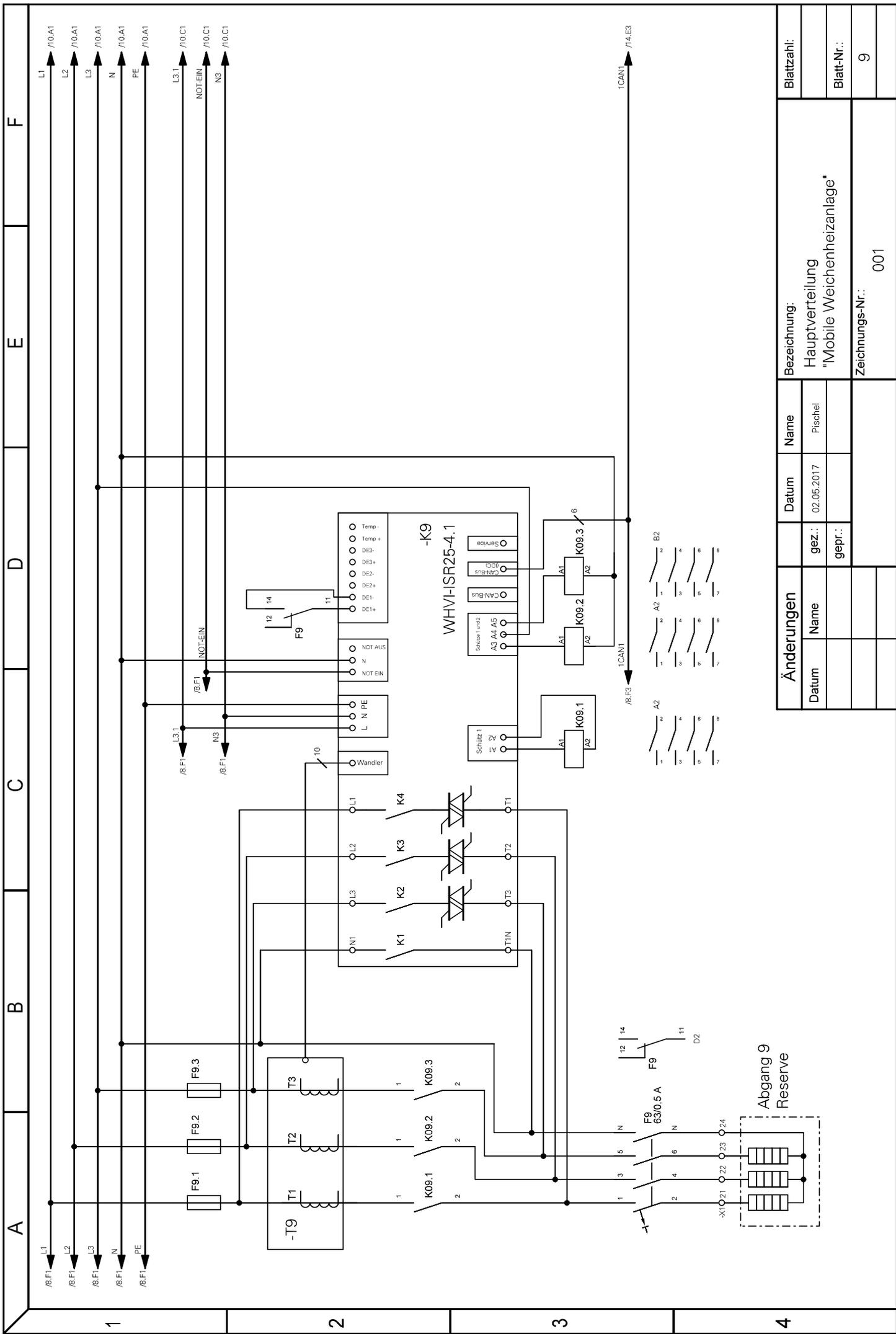


Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:	
Datum	Name	gez.:	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenheizung"			
		gepr.:		Zeichnungs-Nr.: 001		Blatt-Nr.: 7	

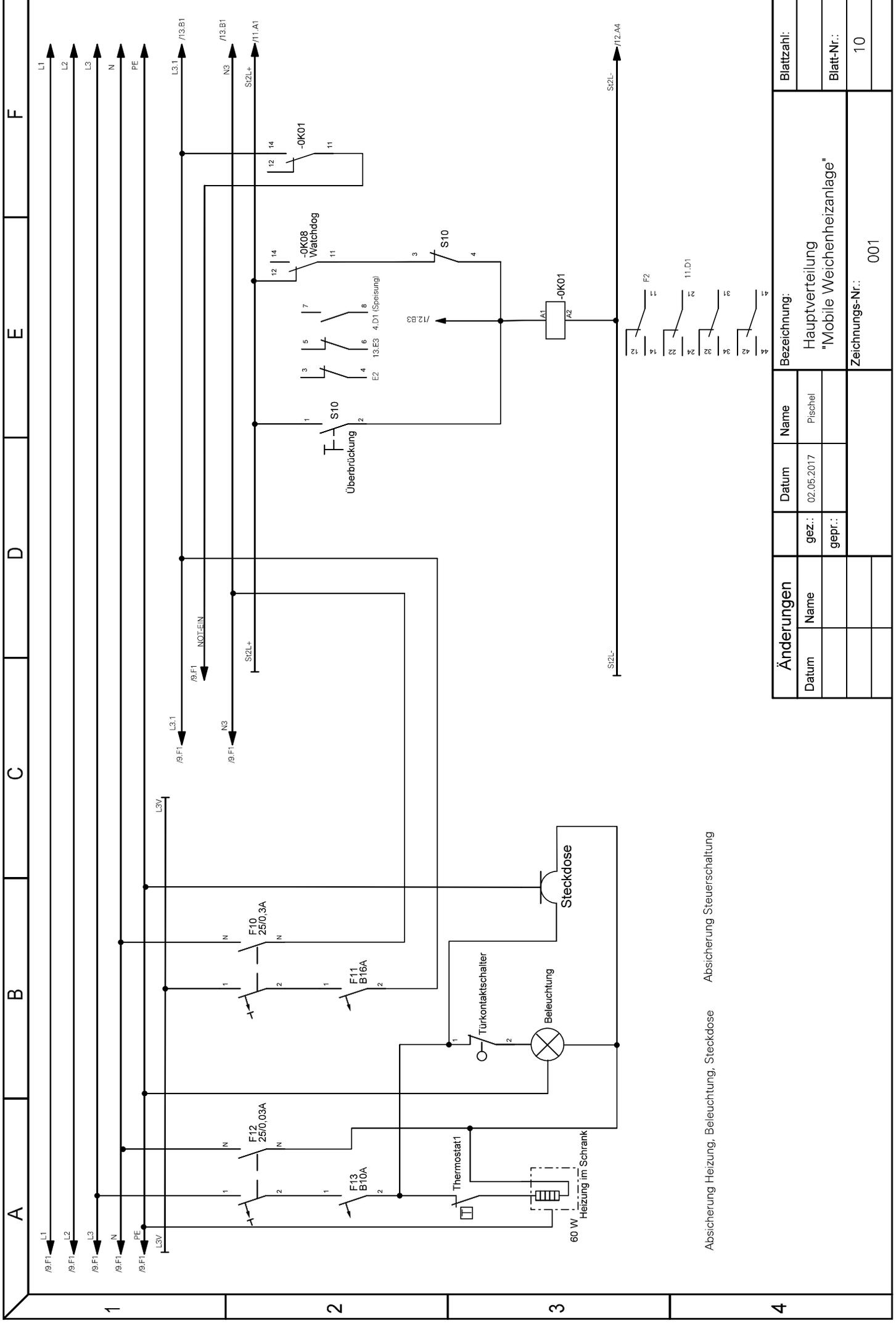


Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	02.05.2017	Hauptverteilung "Mobile Weichenanlage"		
		gepr.:		Zeichnungs-Nr.: 001		
						Blatt-Nr.: 8

Abgang 8
siehe Weichentabelle



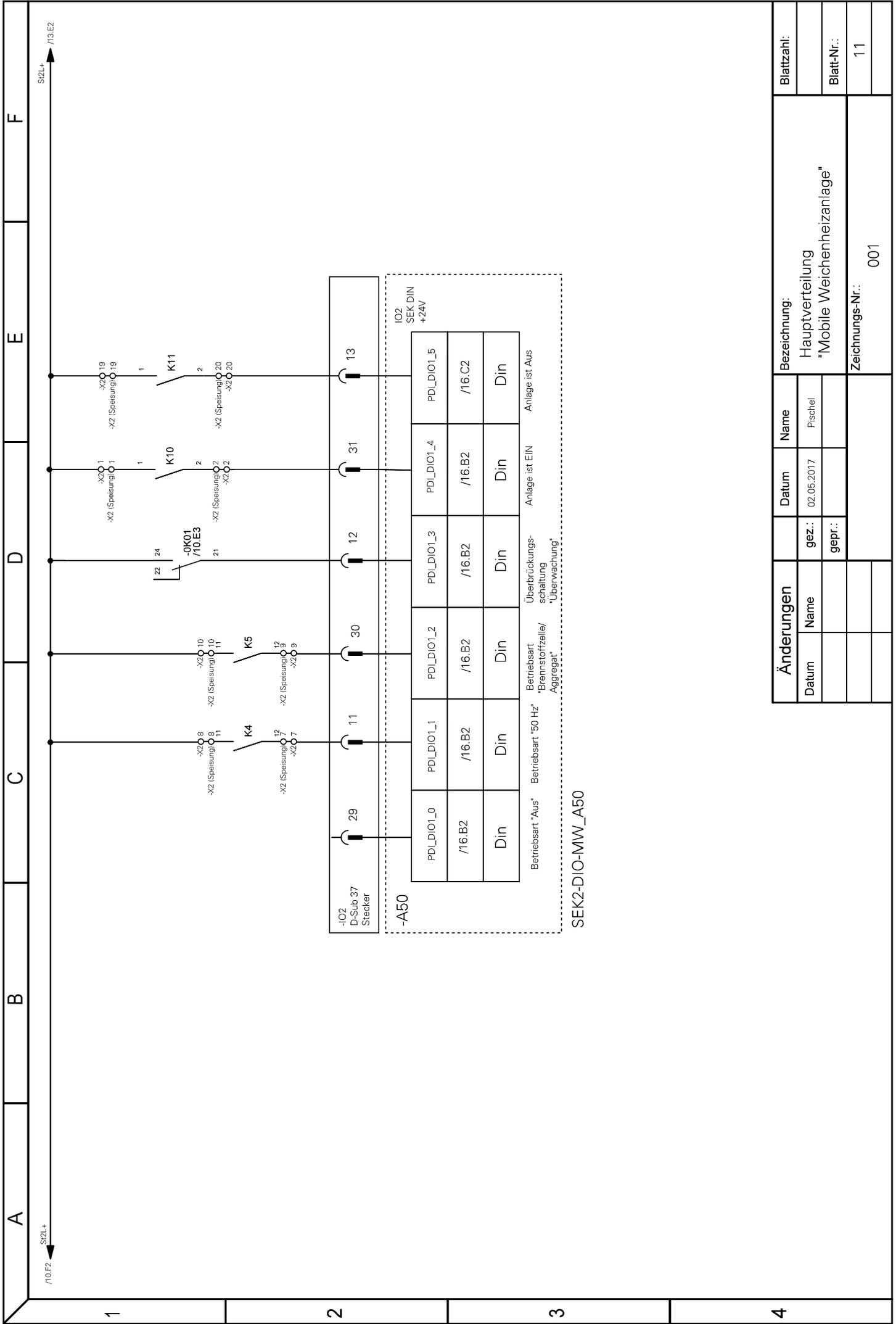
Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:	Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenanlage"	9
		gepr.:			Zeichnungs-Nr.: 001



A B C D E F

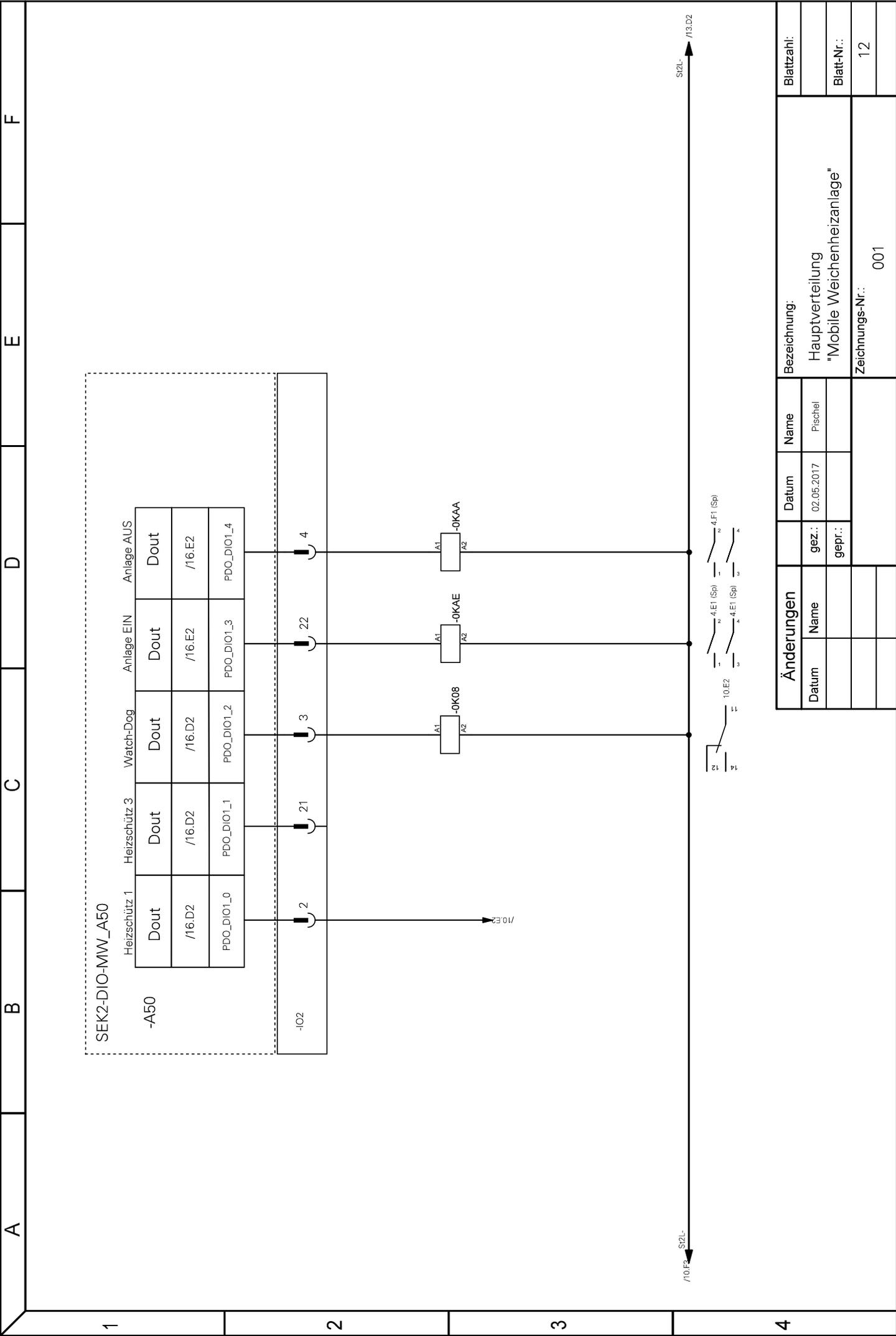
Absicherung Heizung, Beleuchtung, Steckdose Absicherung Steuerschaltung

Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:	
Datum	Name	gez.:	02.05.2017	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenanlage"
		gepr.:			
				Zeichnungs-Nr.: 001	
				Blattzahl:	
				Blatt-Nr.: 10	



Änderungen		Datum	Name
Datum	Name	gez.: 02.05.2017	Pischel
		gepr.:	

Blattzahl:	Hauptverteilung "Mobile Weichenanlage"
Blatt-Nr.:	
Zeichnungs-Nr.:	001



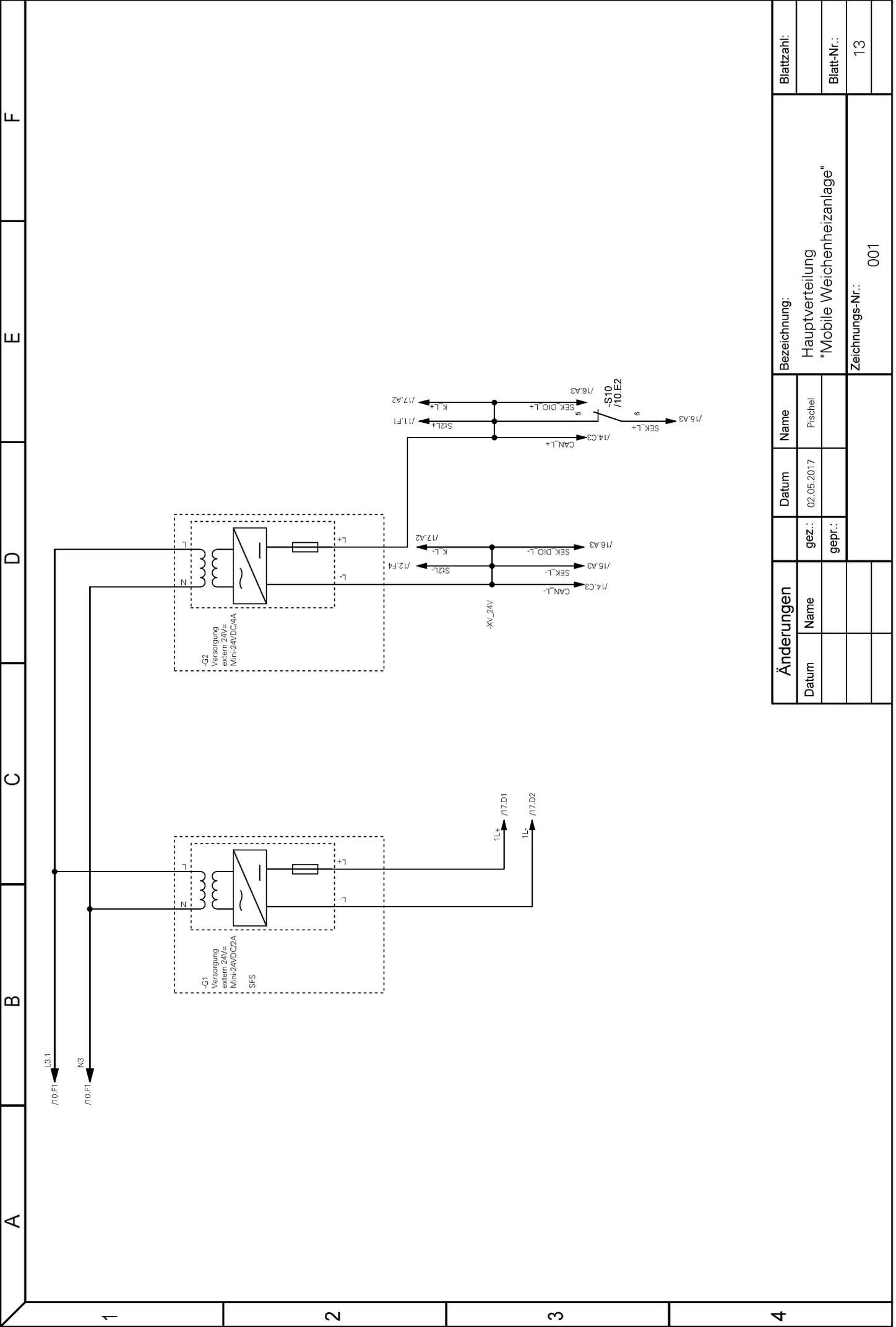
SEK2-DIO-MW_A50

Heizschütz 1	Heizschütz 3	Watch-Dog	Anlage_EIN	Anlage_AUS
Dout	Dout	Dout	Dout	Dout
/16.D2	/16.D2	/16.D2	/16.E2	/16.E2
PDO_DIO1_0	PDO_DIO1_1	PDO_DIO1_2	PDO_DIO1_3	PDO_DIO1_4

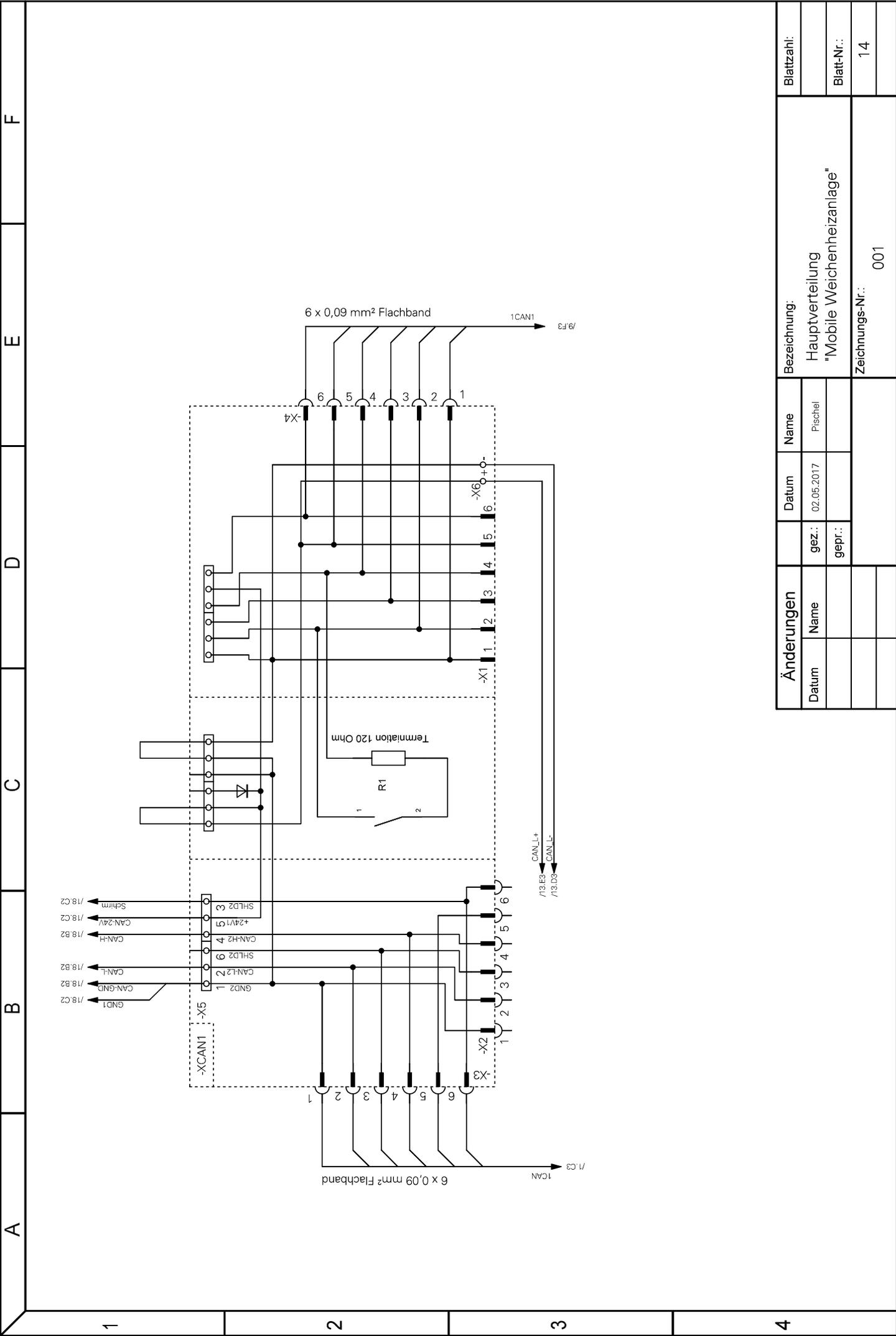
-A50

-IO2

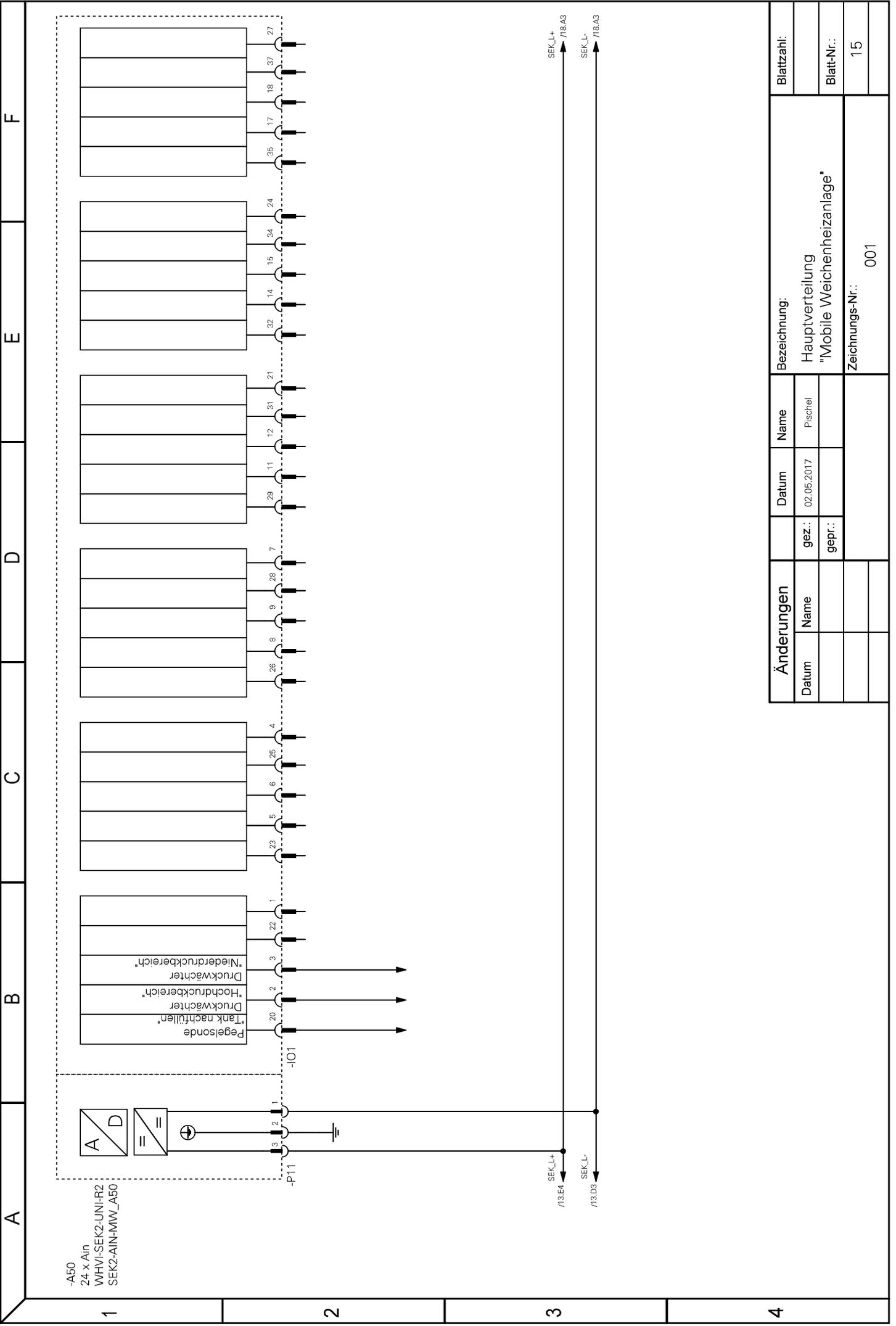
Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	02.05.2017	Hauptverteilung		
		gepr.:		"Mobile Weichenheizanlage"		Blatt-Nr.:
				Zeichnungs-Nr.: 001		12



Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:	
Datum	Name	gez.:	02.05.2017	Hauptverteilung	
		gepr.:		"Mobile Weichenheizanlage"	
				Zeichnungs-Nr.: 001	
				Blattzahl:	
				Blatt-Nr.: 13	



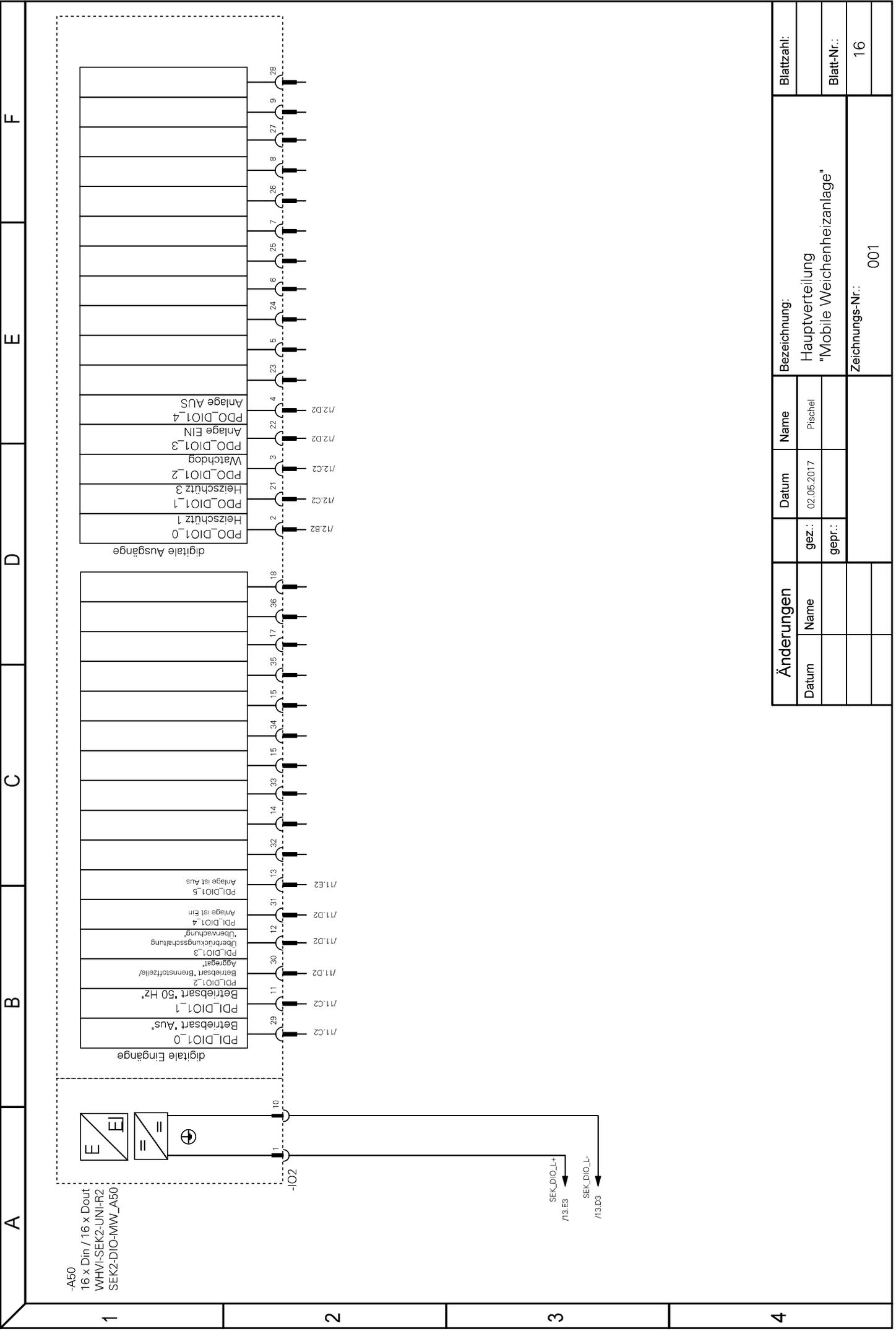
Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:	
				Hauptverteilung	
				"Mobile Weichenheizanlage"	
		gez.:	Pischel	Blattzahl:	
		gepr.:		Blatt-Nr.:	14
				Zeichnungs-Nr.:	001



-A50
24 x AIn
WHVI-SEK2-UNI-R2
SEK2-AIN-MW_A50

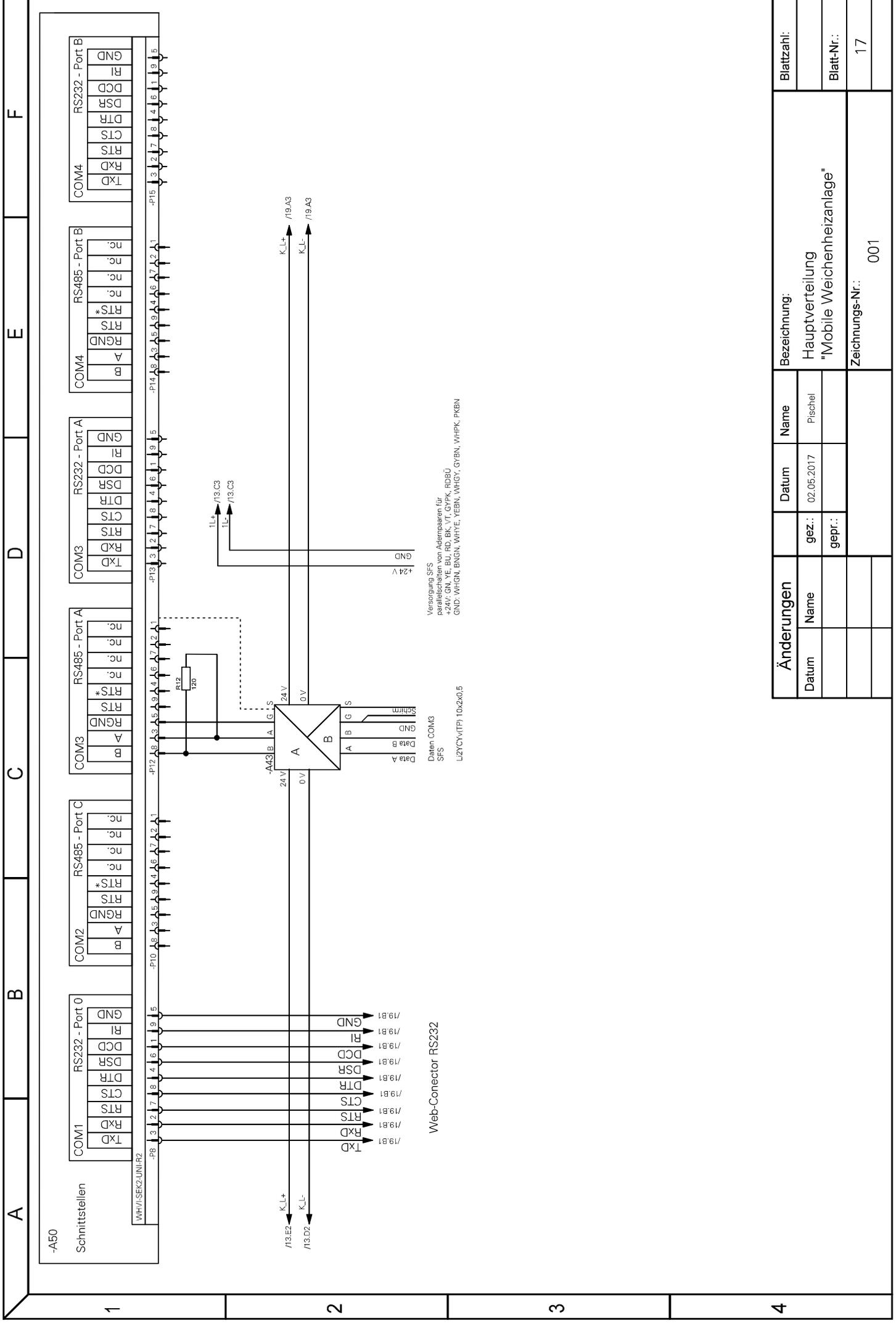
Pegelsonde
"Tank nachfüllen"
Druckwächter
"Hochdruckbereich"
Druckwächter
"Niederdruckbereich"

Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	02.05.2017	Hauptverteilung "Mobile Weichenanlage"		
		gepr.:		Zeichnungs-Nr.: 001		Blatt-Nr.: 15



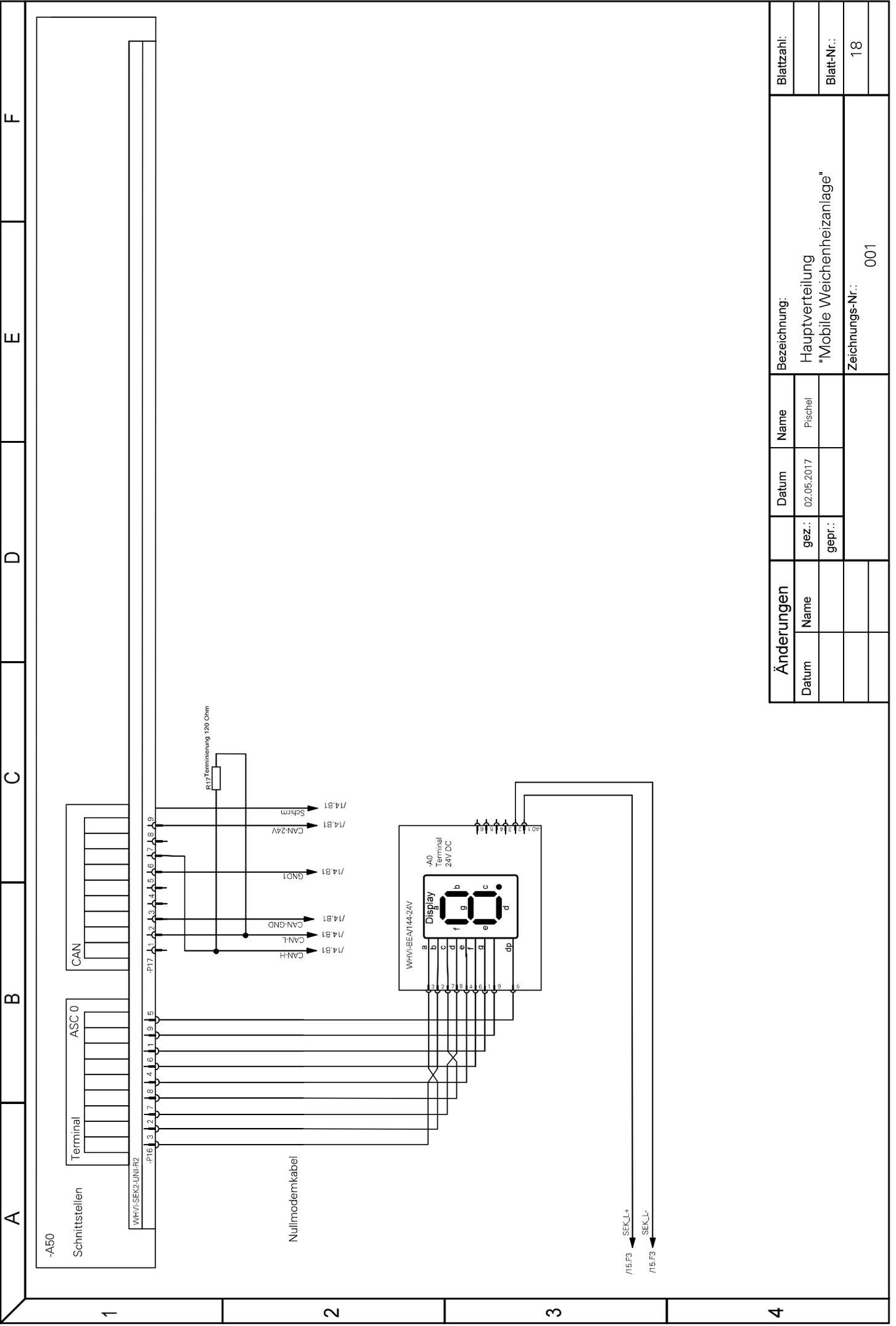
-A50
 16 x Din / 16 x Dout
 WHVI-SEK2-UNI-R2
 SEK2-DIO-MW_A50

Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.: 02.05.2017	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenheizanlage"		Blatt-Nr.: 16
		gepr.:		Zeichnungs-Nr.: 001		

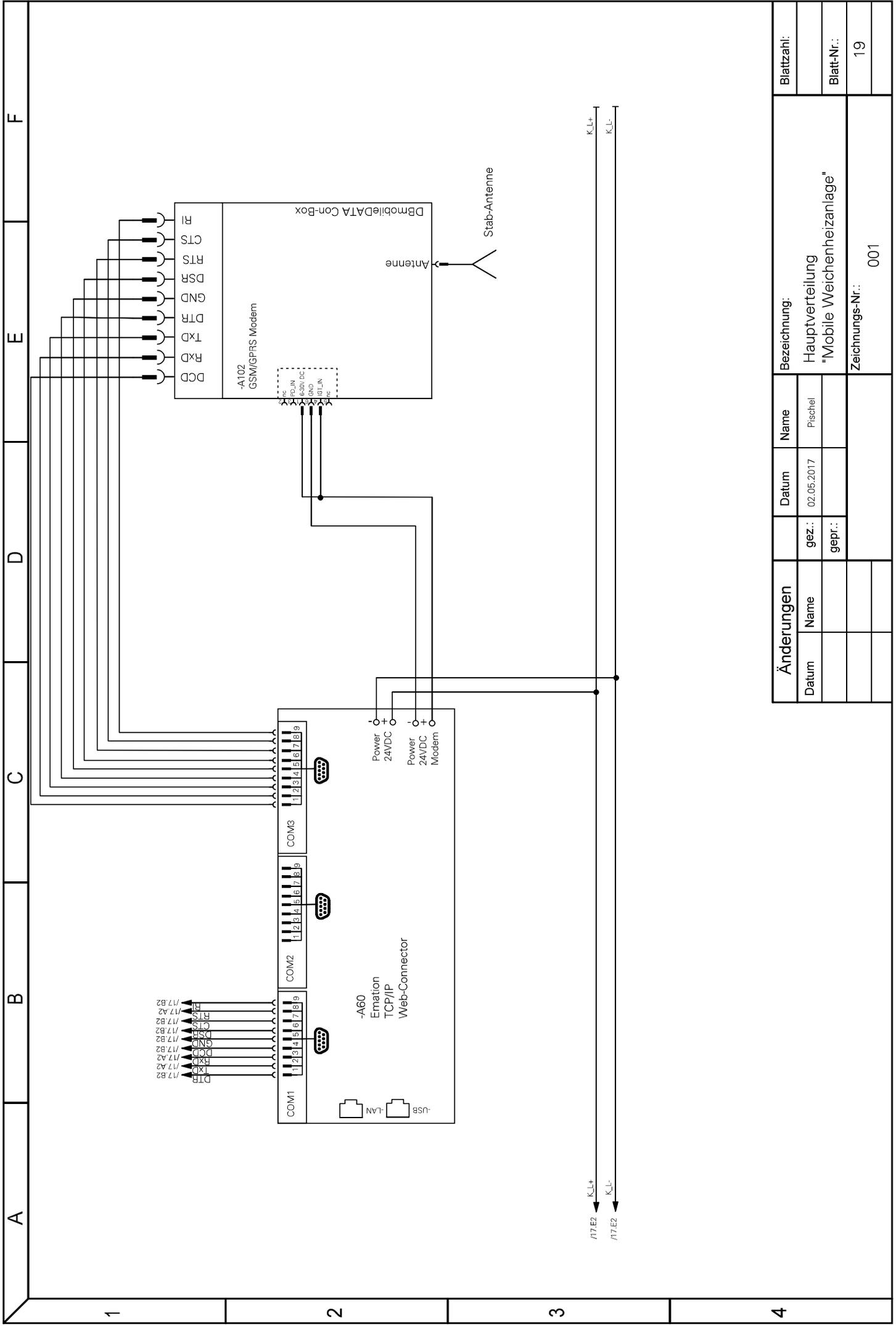


Versorgung SFS
 Parallel- und Adressen für
 P10: B, A, G, S, B, A, G, S
 P12: B, A, G, S, B, A, G, S, B, A, G, S
 GND: WHGN, BNGN, WHYE, YEBN, WHGY, GYBN, WHPK, PKBN

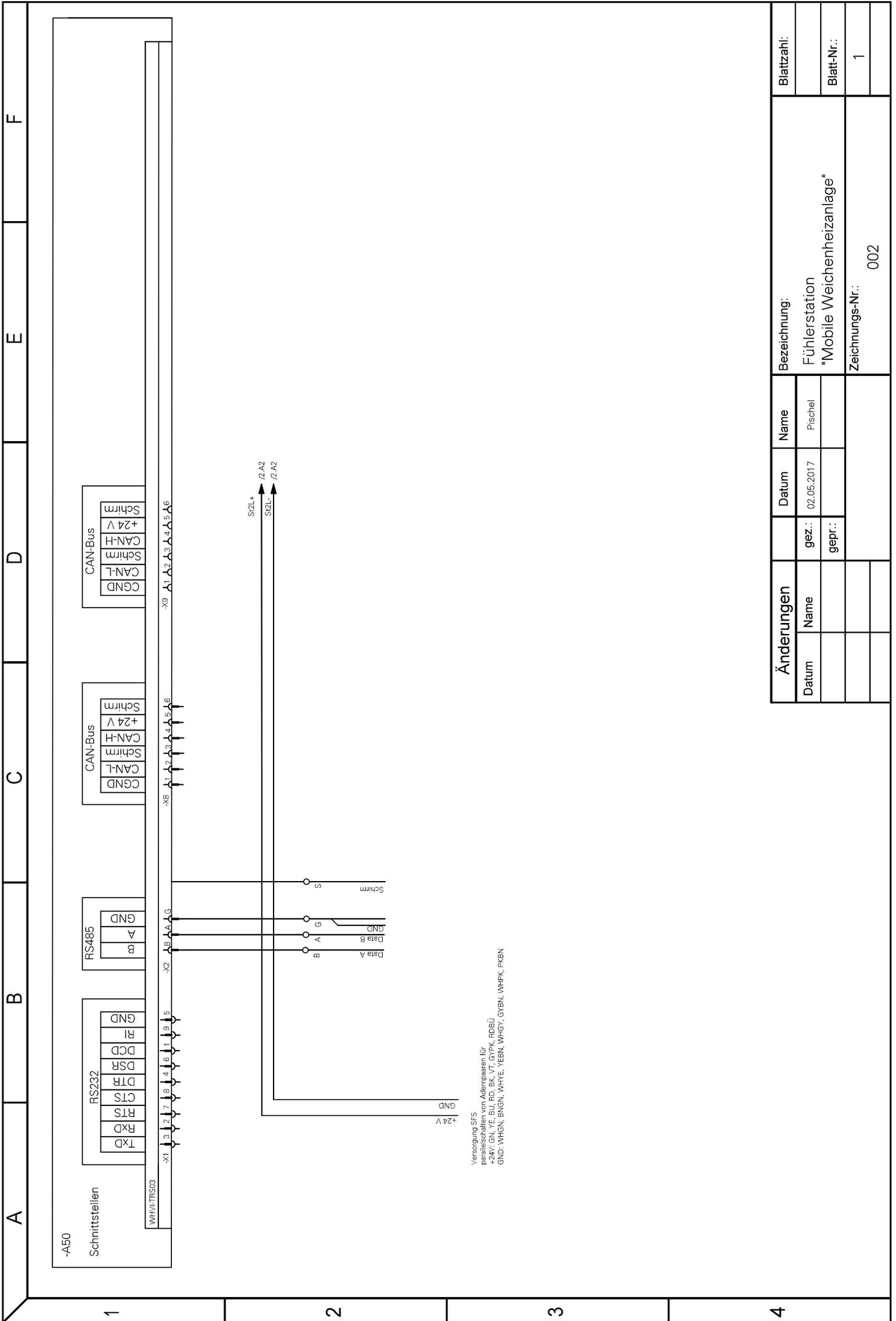
Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenanlage"		Blatt-Nr.:
		gepr.:				
				Zeichnungs-Nr.:		17
				001		



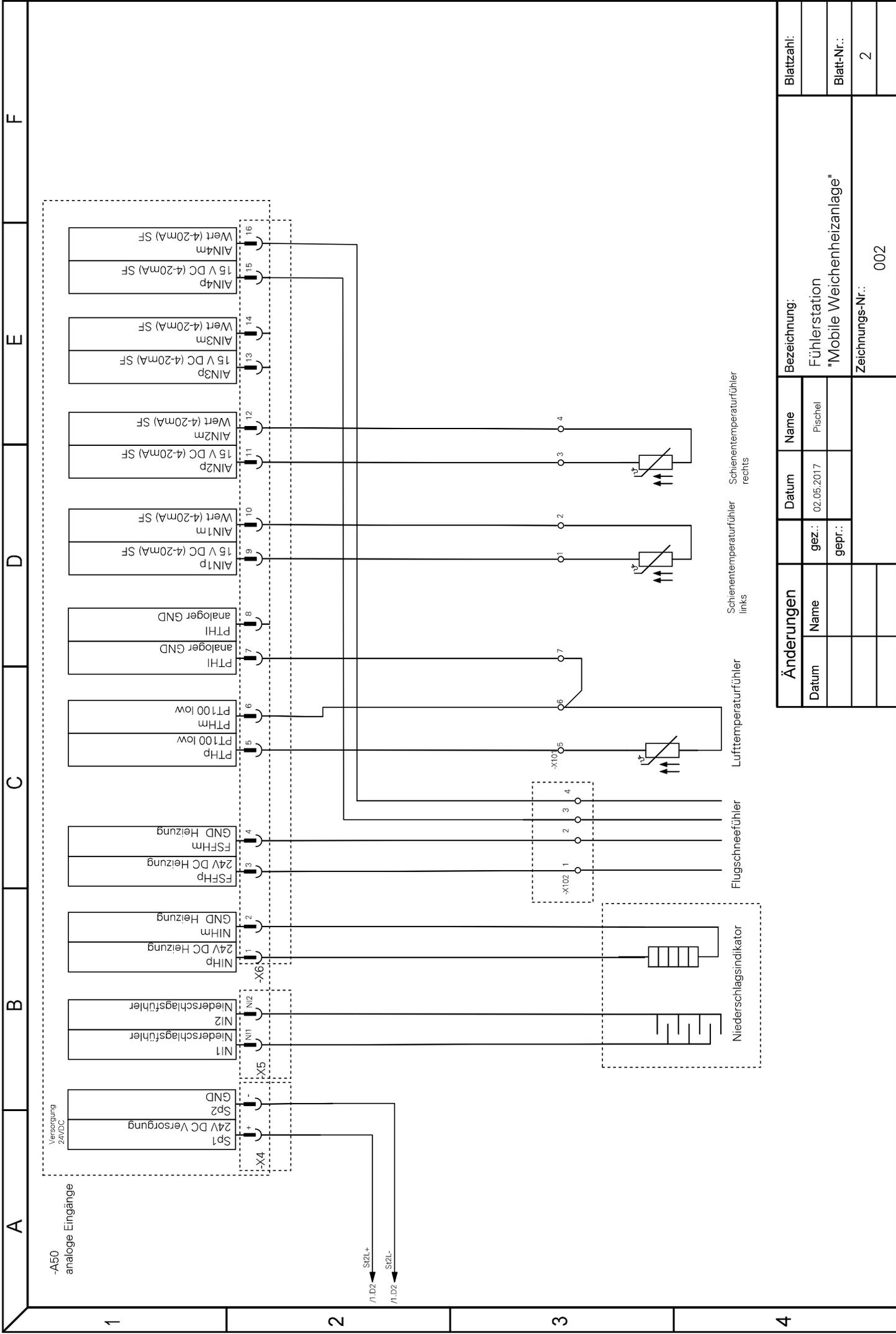
Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	02.05.2017	Hauptverteilung "Mobile Weichenanlage"		
		gepr.:				Blatt-Nr.:
				Zeichnungs-Nr.: 001		18



Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.: 02.05.2017	Pischel	Hauptverteilung "Mobile Weichenanlage"		
		gepr.:		Zeichnungs-Nr.: 001		Blatt-Nr.: 19

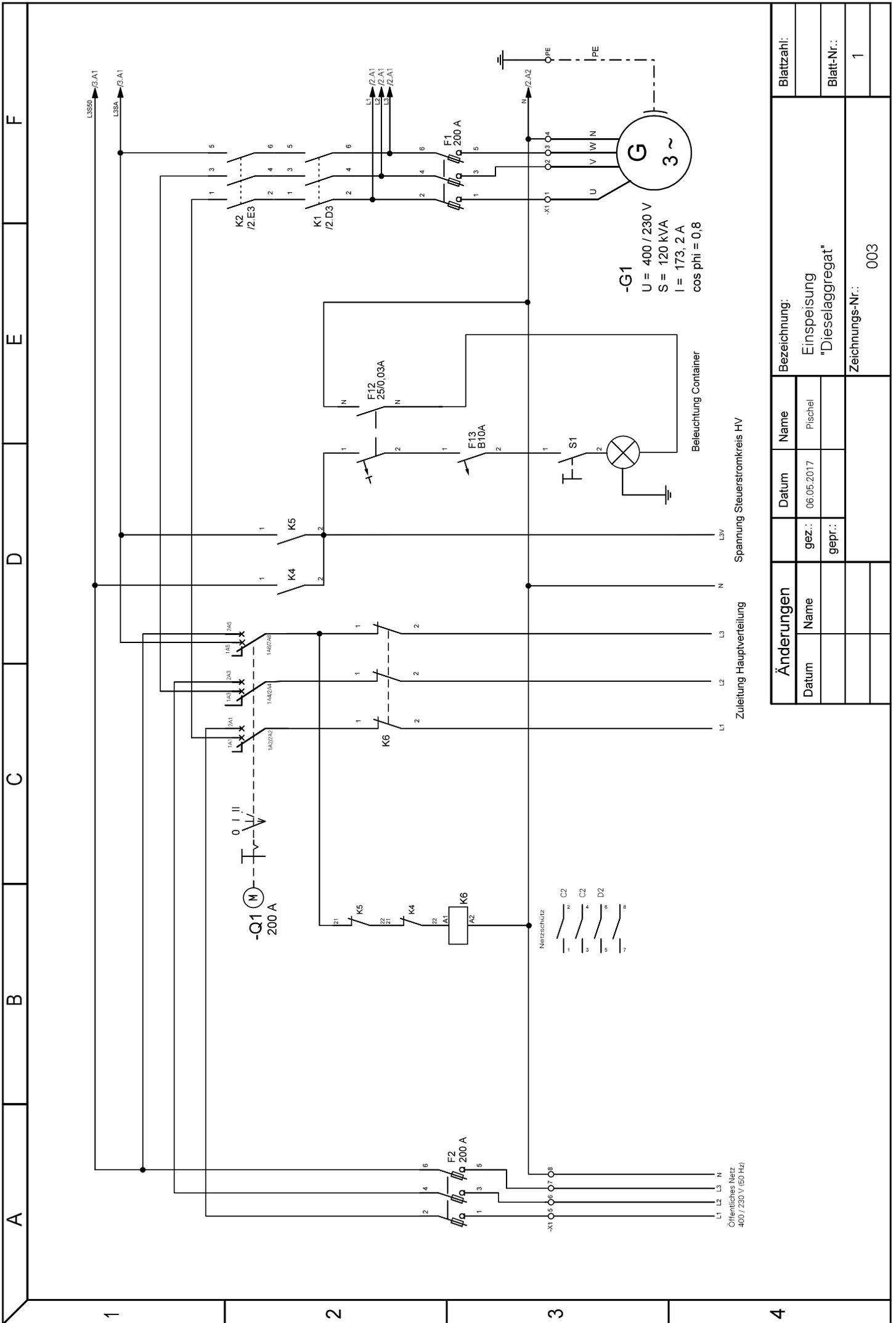


Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	02.05.2017	Führerstation	"Mobile Weichenheizanlage"	
		gepr.:				Blatt-Nr.:
				Zeichnungs-Nr.:	002	1

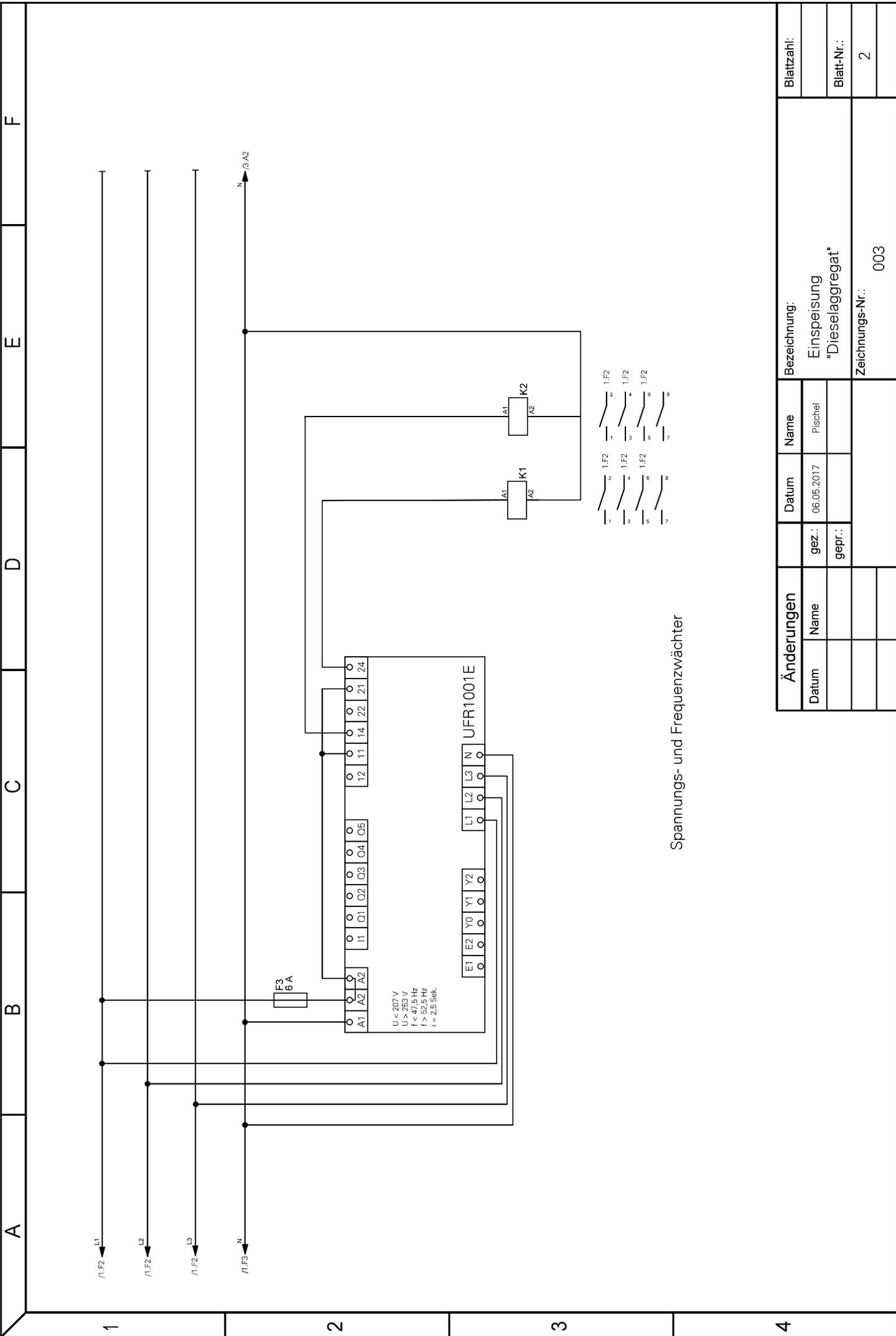


Änderungen		Datum	Name
		02.05.2017	Pischel
		gez.:	
		gepr.:	

Bezeichnung:		Blattzahl:
Fühlerstation "Mobile Weichenheizanlage"		
Zeichnungs-Nr.: 002		
		Blatt-Nr.: 2



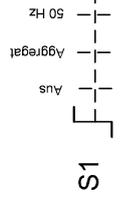
Änderungen		Datum	Name	Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
		gez.:	06.05.2017		Pischel	Einspeisung "Diesellaggregat"		
		gepr.:				Zeichnungs-Nr.: 003		Blatt-Nr.: 1



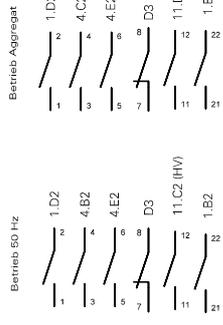
Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	06.05.2017	Pischel	Einspeisung "Dieselaggregat"	Blatt-Nr.: 2
		gepr.:				
					Zeichnungs-Nr.: 003	



1



2

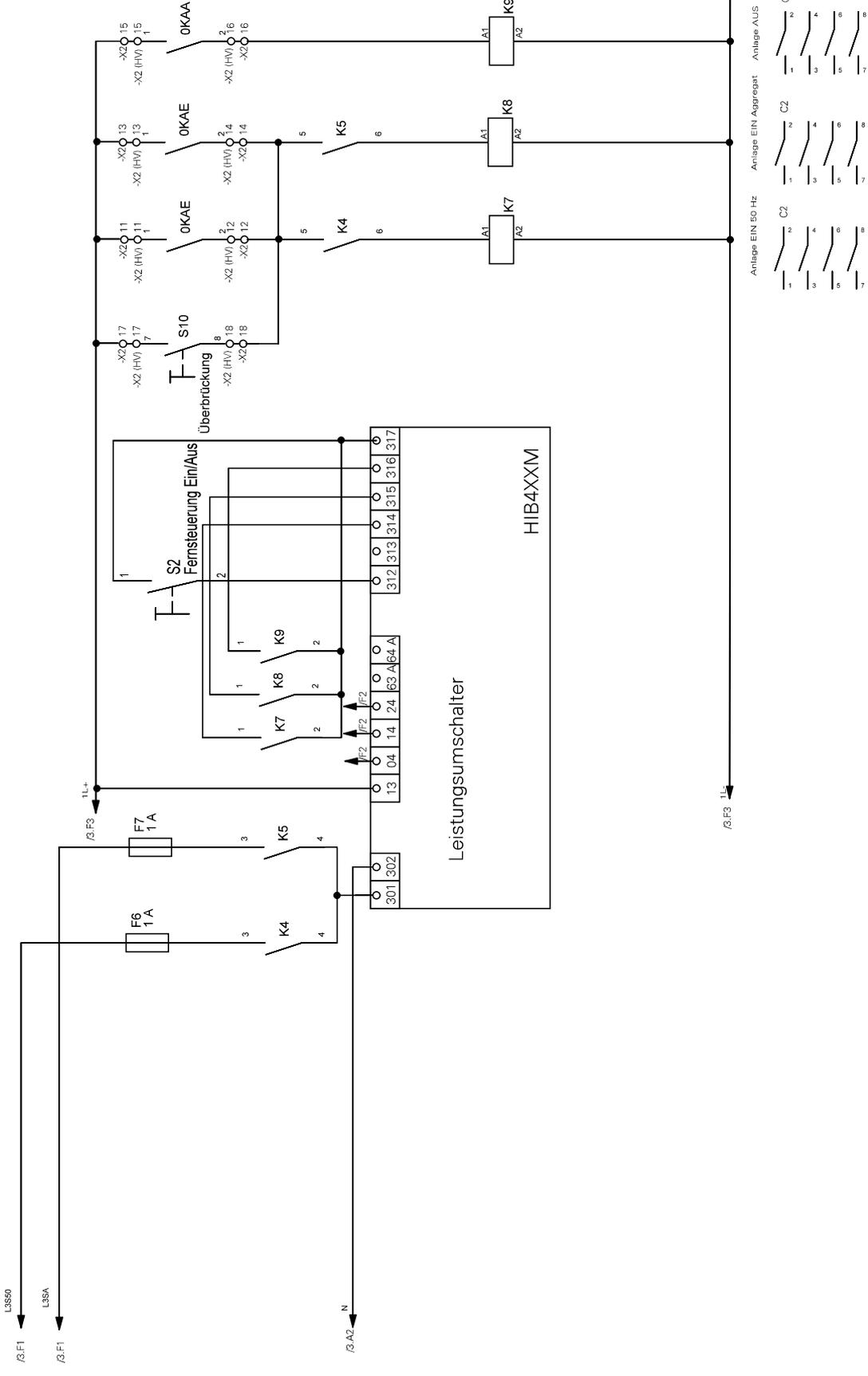


3

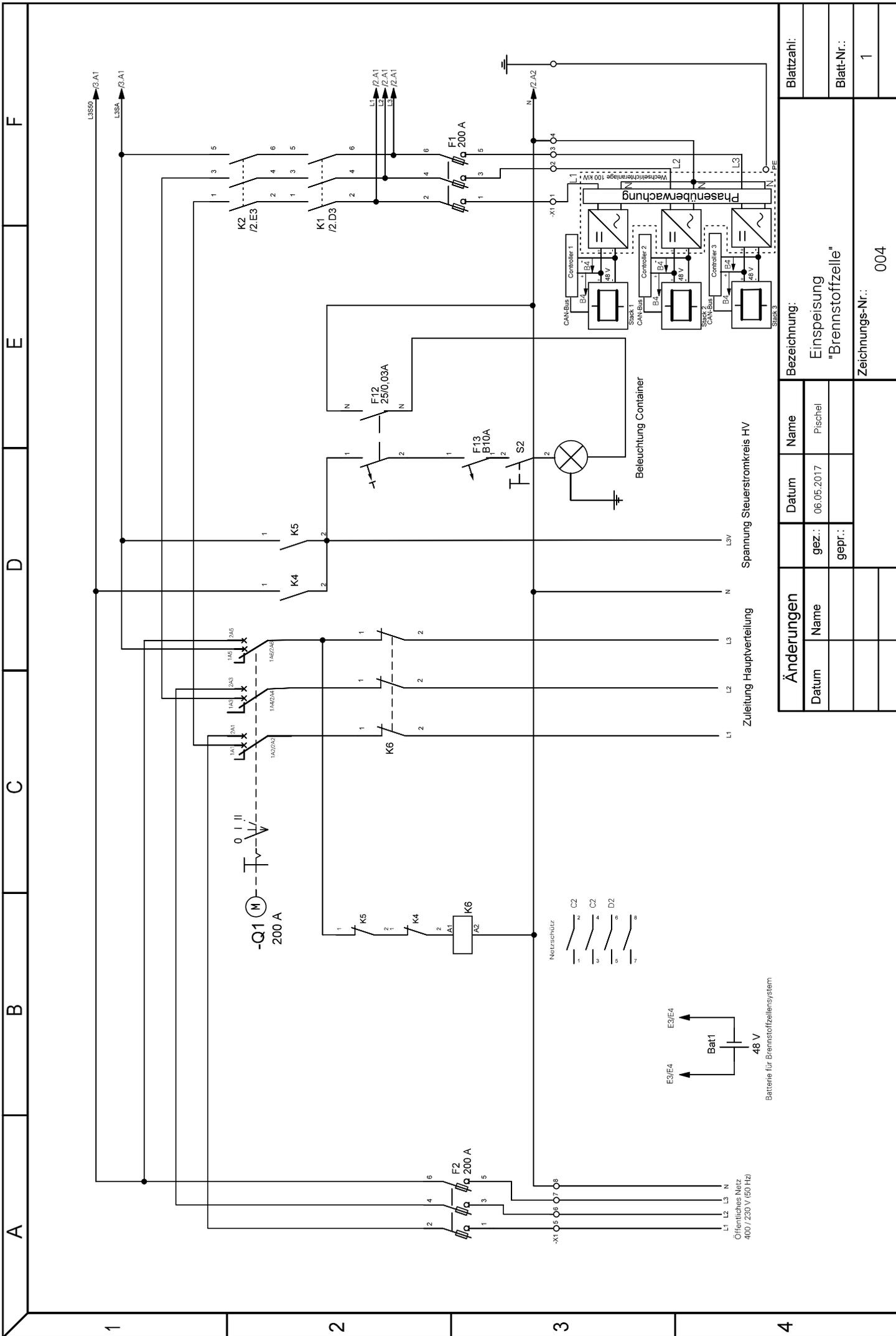
Änderungen		Datum		Name	
Datum		gez.:	06.05.2017		Pischel
		gepr.:			

Bezeichnung:		Blattzahl:
Einspeisung "Dieselaggregat"		
Zeichnungs-Nr.: 003		
		Blatt-Nr.: 3

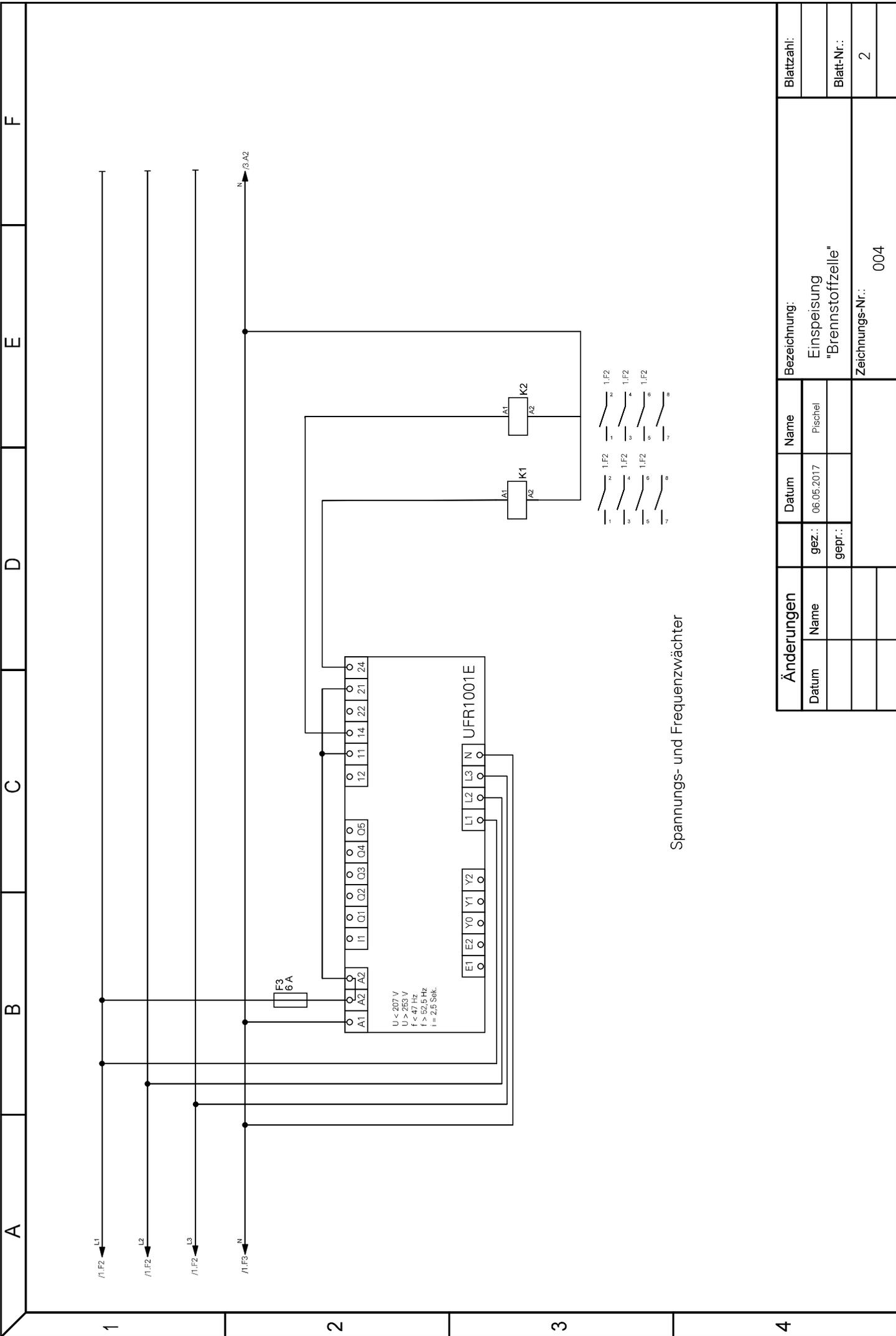
4



Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	Pischel	Einspeisung "Dieselaggregat"		
		gepr.:		Zeichnungs-Nr.: 003		Blatt-Nr.: 4
						4



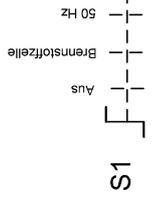
Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
	Name	gez.:	06.05.2017	Pischel	Einspeisung "Brennstoffzelle"	
		gepr.:				Blatt-Nr.:
					Zeichnungs-Nr.: 004	1



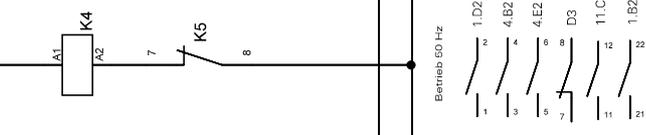
Änderungen		Datum	Name	Bezeichnung:		Blattzahl:
Datum	Name	gez.:	06.05.2017	Einspeisung "Brennstoffzelle"		
		gepr.:				Blatt-Nr.:
				Zeichnungs-Nr.: 004		2



1



2



Betrieb Brennstoffzelle

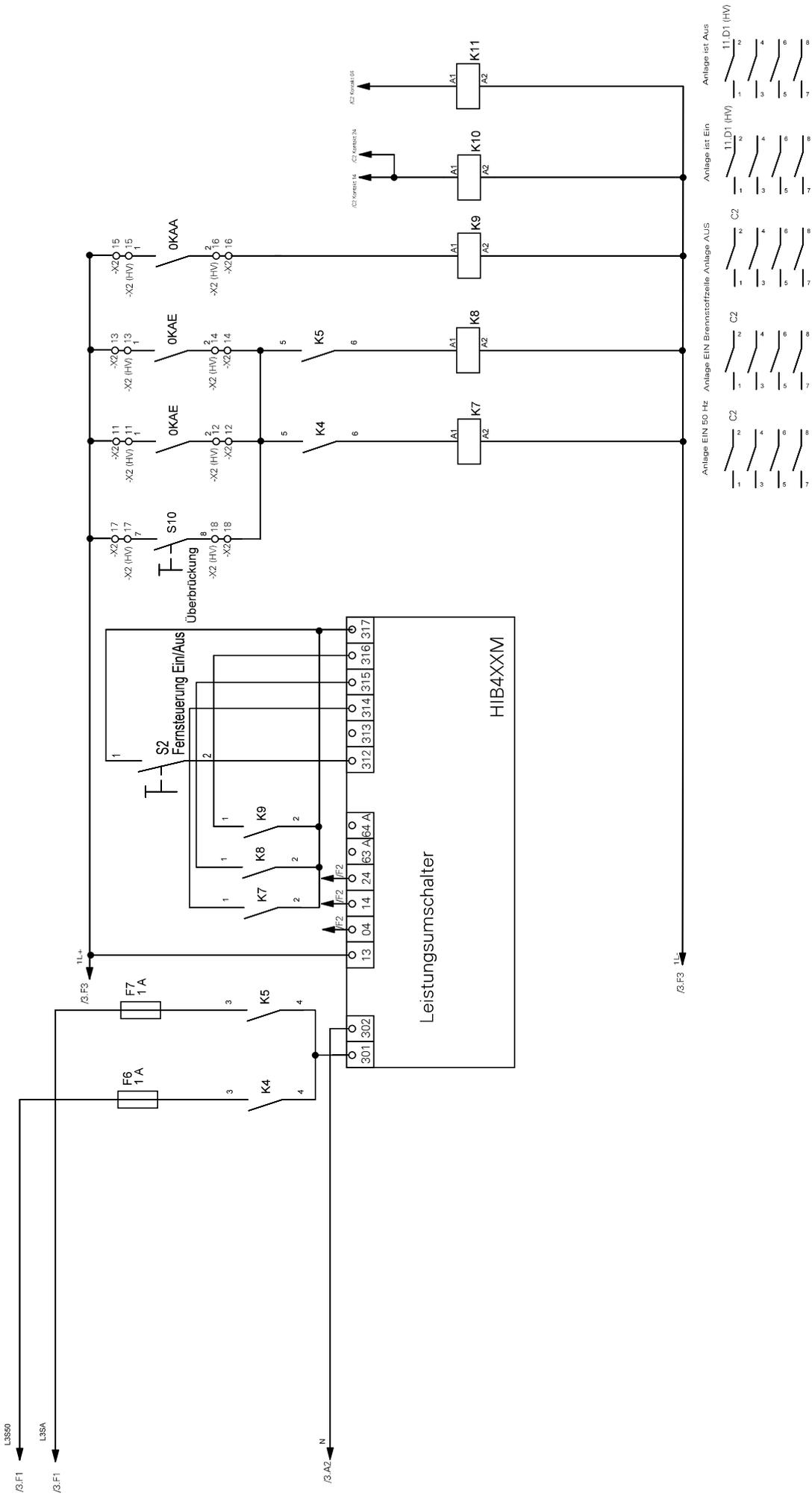
Betrieb 50 Hz

3

Änderungen		Datum		Name	
Datum	Name	gez.:	06.05.2017	Pischel	
		gepr.:			

Bezeichnung:	Einspeisung "Brennstoffzelle"	Blattzahl:	
Zeichnungs-Nr.:	004	Blatt-Nr.:	3

4



Änderungen		Datum	Name
	Name	gez.: 06.05.2017	Pischel
		gepr.:	
		Zeichnungs-Nr.: 004	

Bezeichnung:		Blattzahl:
Einspeisung "Brennstoffzelle"		
Blatt-Nr.:		4