

# Abschlussbericht

## Schwerpunktstudienarbeit

Thema: Inbetriebnahme der Labor-  
Espressomaschine

Arbeitsgruppe:

Rawad Alshikh (42463415), MBB6B, alshikh.rawad@hm.edu

Frank Hadwiger (20614315), MBB6A, frank.hadwiger@gmail.com

Sieber Timo (52059315), MBB6A, timosieber@arcor.de

## 1 Abstract

Dieser Bericht soll die Arbeiten zur Inbetriebnahme der Labor-Espressomaschine dokumentieren. Er ist als Ergänzung und Vorsetzung der Abschlussarbeit von Killian Stach zu verstehen.

## 2 Formelzeichen

U	[V]	Spannung
$U_m$	[V]	Brückenspannung
R	[ $\Omega$ ]	Widerstand
$R_M$	[ $\Omega$ ]	Messwiderstand
I	[A]	Strom
T	[ $^{\circ}\text{C}$ ]	Temperatur

### 3 Inhaltsverzeichnis

1	Abstract .....	1
2	Formelzeichen .....	1
3	Inhaltsverzeichnis.....	2
4	Einleitung und Aufgabenstellung.....	3
5	Hauptteil.....	4
5.1	Mechanischer und hydraulischer Aufbau der Maschine (Verantwortlich: Frank Hadwiger)..	4
5.1.1	Ausgangssituation .....	4
5.1.2	Realisierung des hydraulischen Konzepts.....	4
5.1.3	Realisierung des elektrischen Konzepts.....	6
5.1.4	Konstruktion der Platineninseln.....	6
5.1.5	Realisierung des Gehäuses.....	8
5.1.6	Probleme & Verbesserungen.....	8
5.2	Elektrische Komponenten .....	12
5.2.1	Elektroplan und Bezeichnungen (Verantwortlich: Timo Sieber).....	12
5.2.2	Temperaturmessplatine (Verantwortlich: Timo Sieber) .....	15
5.2.3	Relaisplatine (Verantwortlich: Rawad Alshikh) .....	17
5.3	Hydraulisches Konzept (Verantwortlich: Rawad Alshikh).....	20
6	Zusammenfassung und nächste Schritte aus Sicht der Inbetriebnahme.....	22
7	Abbildungsverzeichnis.....	23
8	Tabellenverzeichnis.....	23
9	Anhang .....	23

## 4 Einleitung und Aufgabenstellung

Neben dem Aufbau der Maschine steht das Erstellen eines Hydraulik- und Elektrolans im Vordergrund. Weiterhin sollte das bestehende Rahmenkonzept so erweitert werden, dass alle elektrischen Bauteile sicher platziert werden können. Es stellte sich heraus, dass sowohl die Temperaturmessplatine als auch die Relaisplatine/GPIO-Erweiterungsplatine untauglich waren. Deshalb wurden diese Elemente von der Inbetriebnahme grundlegend überarbeitet. Abschließend sollen Erkenntnisse abgeleitet werden, welche die Entwicklung der Serienmaschine voranbringen.

## 5 Hauptteil

### 5.1 Mechanischer und hydraulischer Aufbau der Maschine (Verantwortlich: Frank Hadwiger)

#### 5.1.1 Ausgangssituation

Für den Aufbau der Maschine stand ein separater Arbeitsplatz, sowie die das gesamte Laborwerkzeug und Halbzeug zur Verfügung. Beim Projektbeginn waren bereits folgende Punkte getan:

- Mechanisch
  - Grundsätzliches Gerüst der Maschine aus Aluminiumprofilen war bereits aufgebaut.
  - Winkel, Nutensteine und Lochbleche waren besorgt.
  - Bodenblech war ohne Lochbild vorhanden
  - Boiler waren geschweißt und mit den nötigen Gewinden versehen
- Hydraulisch
  - E61 Brühgruppe war vorhanden und bereits für die Messsensoren bearbeitet.
  - PTFE Schlauch für die Hydraulik innerhalb der Maschine war vorhanden.
  - Pumpe samt Motor war vorhanden.

#### 5.1.2 Realisierung des hydraulischen Konzepts

Das hydraulische Konzept der Bachelorarbeit wurde in einigen Punkten überarbeitet. Mehr dazu in Kapitel 5.3. Nun soll besonderes Augenmerk auf die Realisierung gelegt werden.

Ein Großteil der Komponenten sind über die Kaffeewerkstatt bezogen worden. Es wurden nur Ersatzteile oder standardisierte Bauteile verwendet.

Vor der Maschine wurde ein separates Entkalkungssystem geschaltet. An diesem kann eingestellt werden, wie viel Wasser durch den Filter geleitet werden soll und welcher Anteil per Bypass nicht entkalkt zugeführt werden soll. Es sollte stets auf die Bypassfunktion verzichtet werden. Um die Langlebigkeit der Maschine zu steigern muss das gesamte Wasser durch das Entkalkungssystem geleitet werden.



Abbildung 1: Ausschnitt der Hydraulik

In Abbildung 1 sieht man einen Ausschnitt der Hydraulik. Das entkalkte Leitungswasser kommt über flexible Edelstahlschläuche in die Pumpe. Die Schläuche können in jedem größeren Baumarkt erworben werden. Über ein T-Stück wurde die Leitung nach der Pumpe getrennt. Anschließend wurden nur noch PTFE-Schläuche mit Steckverbindern verwendet um die Komponenten zu verbinden. Alle Einschrauber wurden mit PETEC-Gewindedichtmittel abgedichtet. Das Wasser wird den Boilern jeweils von unten zugeführt und von oben entnommen.

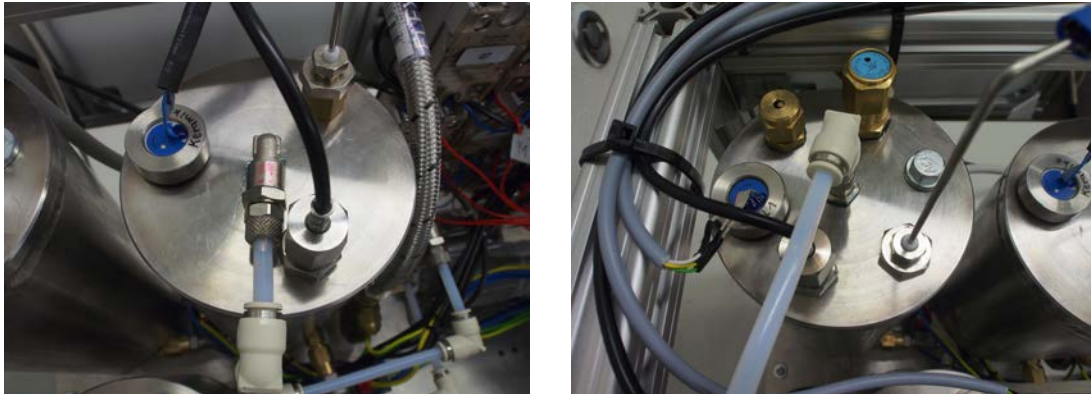


Abbildung 2: Sensoren am Vorbrühboiler (l) & Dampfboiler (r)

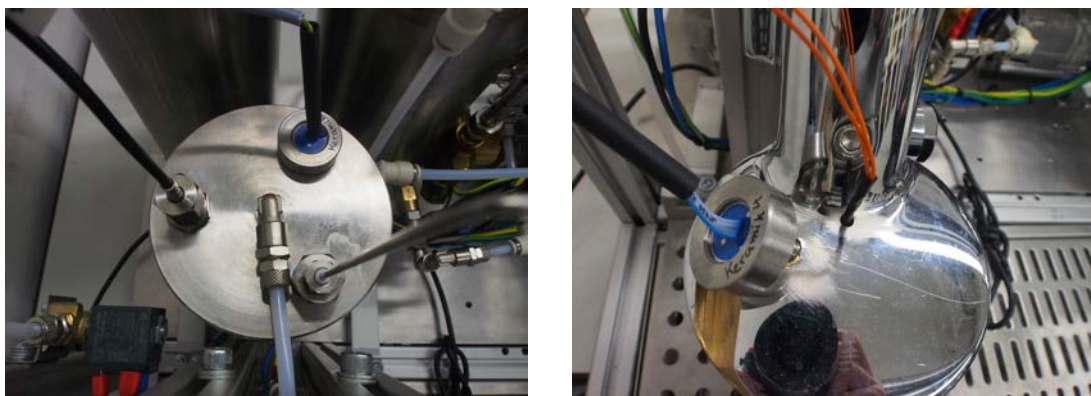


Abbildung 3: Sensoren am Kaffeeboiler (l) & E61 (r)

In Abbildung 2 & Abbildung 3 werden die bestehenden Sensoren an den Boilern und der E61 gezeigt. In den Vorbrühboiler, der Brühgruppe und den Kaffeeboiler wurden die in der Bachelorarbeit vorgesehenen Sensoren eingebaut. Nur der Füllstand wurde am obersten Punkt der Boiler befestigt. Somit kann im späteren Programm abgerufen werden, ob die Boiler vollständig gefüllt sind. Beim Dampfboiler wurden einige Änderungen im Vergleich zur Bachelorarbeit vorgenommen. Die geplanten zwei Füllstandssensoren wurden reduziert. Nur eine Sonde, die den gewünschten Wasserstand im Boiler festlegt, wurde eingebaut. Dieser Stand wird zukünftig geregelt.

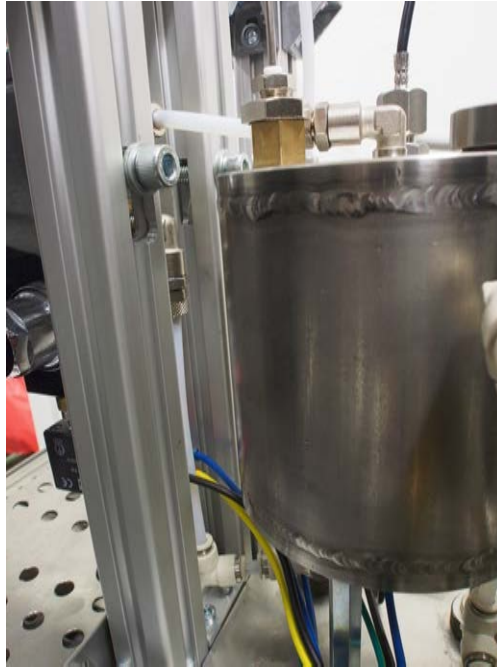


Abbildung 4: Thermosyphon der E61

In Abbildung 4 sieht man den Einbau des Thermosyphons der E61. Ein ständiger Kreislauf zwischen dem Kaffeeboiler und der Brühgruppe stellt sicher, dass die Temperatur der E61 immer im gewünschten Bereich liegt. Der Zulauf der Brühgruppe muss dabei höher liegen als der Ablauf des Boilers. Das Thermosyphon wurde nach Vorgabe korrekt eingebaut. Ob sich eine Zirkulation einstellt muss allerdings noch getestet werden.

Die Brühgruppe E61 füllt intern ein Wasserreservoir auf, welches nach dem Espresso Bezug automatisch geleert wird. Ein Tropfblech unterhalb der Maschine ist somit unerlässlich. In der Bachelorarbeit wurden Pläne für einen Eigenbau des Auffangbehälters vorgestellt. Die Inbetriebnahme verwarf diese Pläne und kaufte das nun eingebaute System. Der Ausguss mit Schlauchanschluss wurde im Nachhinein integriert. Das Abwasser wird in das Waschbecken im Nebenraum geleitet.

Bisher sind die Boiler nicht auf das Bodenblech verschraubt. Dies ist für die Labormaschine auch nicht erforderlich. Die Boiler sind über die jeweiligen Heizelemente geerdet. Das Gehäuse an sich ist ebenfalls geerdet.

#### 5.1.3 Realisierung des elektrischen Konzepts

Das elektrische Konzept wurde unter Einhaltung aller Regeln umgesetzt. Auf die korrekte Farbgebung der Kabel, sowie ausreichend Beschriftungen wurde viel Wert gelegt. Alle Kabel wurden mit Aderendhülsen versehen.

#### 5.1.4 Konstruktion der Platineninseln

Die Platineninseln wurden völlig neu konzipiert. An der rechten Außenseite des Gehäuses wurden zwei Balkone installiert. Auf jedem Balkon sind zwei Hutschienen befestigt. Darauf wurden nun diverse elektrische Komponenten angebracht. Der untere Balkon beinhaltet hauptsächlich Bauteile von 15V-230V. Die obere Insel beinhaltet hauptsächlich die mit 5V versorgte Platinen (siehe Abbildung 7).

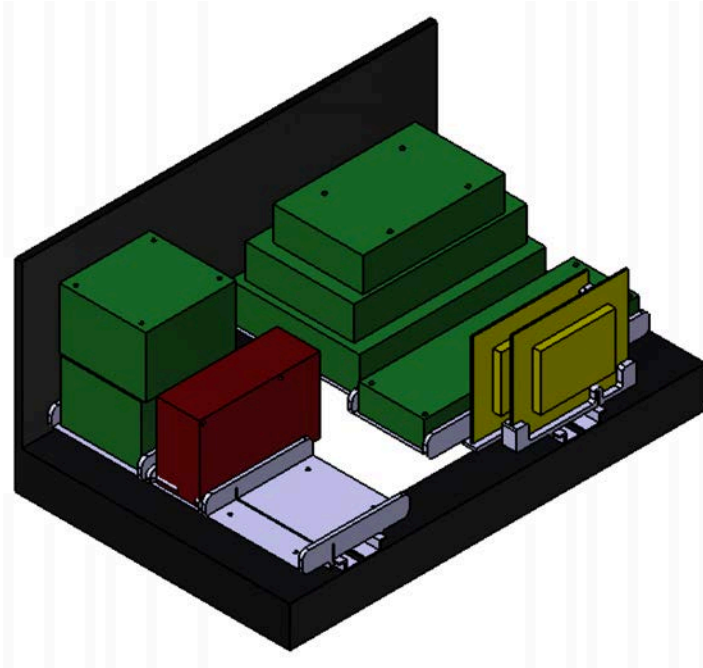


Abbildung 5: Bauraumplanung der Platineninsel

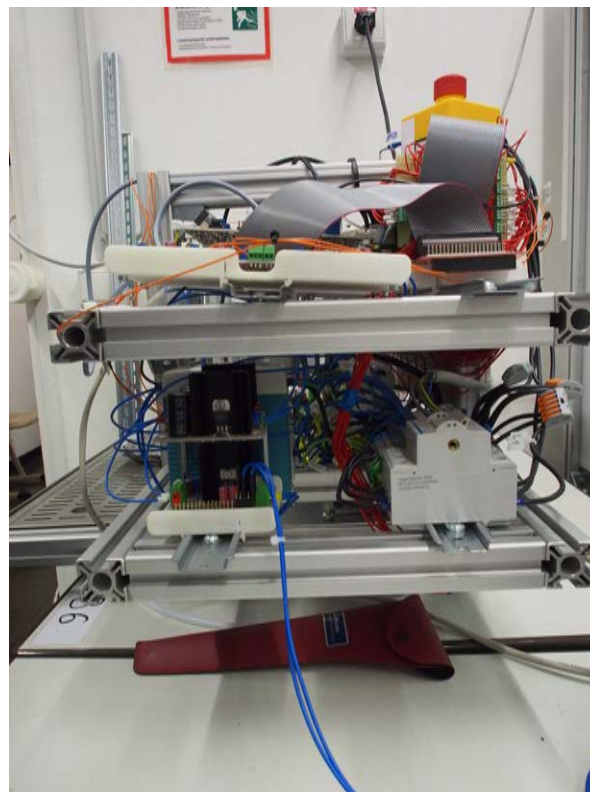


Abbildung 6: Aufbau der beiden Platineninseln



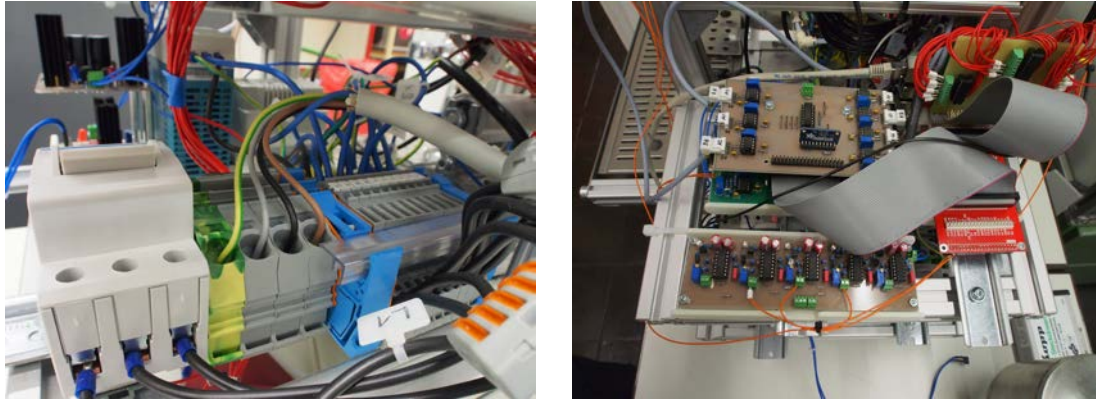


Abbildung 7: Untere Platineninsel (l) & obere Platineninsel (r)

Jede der Platine wurden auf einer 3D-gedruckten Basis adaptiert. Diese kann auf der Hutschiene frei positioniert werden (siehe Abbildung 5). Um den Bauraum der Insel kompakt zu halten, wurden teilweise mehrere Platinen sinnvoll auf einer Basis zusammengefasst. Beispielsweise die Platinen für die stabilisierte +5V Gleichspannung &  $\pm 5V$  Gleichspannung teilen sich eine Basis.

#### 5.1.5 Realisierung des Gehäuses

Das Gehäuse besteht aus 30x30 mm Aluminiumprofilen. Anbauteile können flexibel mit Nutensteinen an den gewünschten Positionen befestigt werden. So wurden Bodenblech, Relaisinsel, Magnetventile, Notausschalter und weitere Komponenten angebaut.

#### 5.1.6 Probleme & Verbesserungen

Es folgt eine Beschreibung der Probleme und empfohlenen Verbesserungen.

##### 5.1.6.1 Volumenmessung

Die Messmethode der Gewichtsmessung durch Wägezellen funktioniert nicht wie in der Bachelorarbeit geplant. Ein grundsätzlicher Denkfehler verhindert die Inbetriebnahme unter vertretbarem Aufwand. Wägezellen sollten beim Kaffeebezug eine Durchbiegung messen. Die Biegebalken waren lose mit einem Blech unter der E61 befestigt. Dieses war in einer Aufnahme am Gehäuse vertikal frei verschieblich. Durch einfüllen des Kaffees in eine Tasse sollte sich das Blech in der Führung verschieben. Diese Verschiebung sollte gemessen werden (siehe Abbildung 8). Erwartungsgemäß leitet das Gewicht der Kaffeetasse allerdings ein Moment in die Führung ein. Dadurch war keine Verschiebung des Blechs, sondern ein Verkanten innerhalb der Führung der Fall. Das Messsystem ist somit unbrauchbar und muss vollständig überdacht und neu entwickelt werden. Diese Aufgabe wird an ein weiteres separates Projektteam übergeben.



Abbildung 8: Geplante Volumenmessung durch Wägezellen

#### 5.1.6.2 Gehäuse

Das Lochbild der Bodenplatte muss im Rahmen der Gehäuseentwicklung vollständig überdacht werden. Nur wenige Bohrungen passen zu den vorhandenen Anbauteilen. Außerdem sollte zukünftig auf einen geeigneten Öffnungsmechanismus der Maschine gedacht werden, sodass Wartungsarbeiten und Reparaturen gut möglich sind. Die Inbetriebnahme empfiehlt, dass mindestens zwei Wände und der Deckel abnehmbar sein muss. Mehr Abnehmbare Gehäuseteile erleichtern die Arbeit im inneren der Maschine.

#### 5.1.6.3 Montage unter den Boilern

Um die Höhe der Maschine klein zu halten, müssen die Boiler so nah wie möglich am Boden stehen. Allerdings muss ein Mindestabstand unter den Kesseln gewährleistet sein, da hier Hydraulikleitungen verlaufen. Außerdem benötigen die Flachstecker der Heizung und des Thermoschutzschalters viel Platz nach unten. Eventuell kann hier ein flacheres Steckersystem entwickelt werden (siehe Abbildung 9).

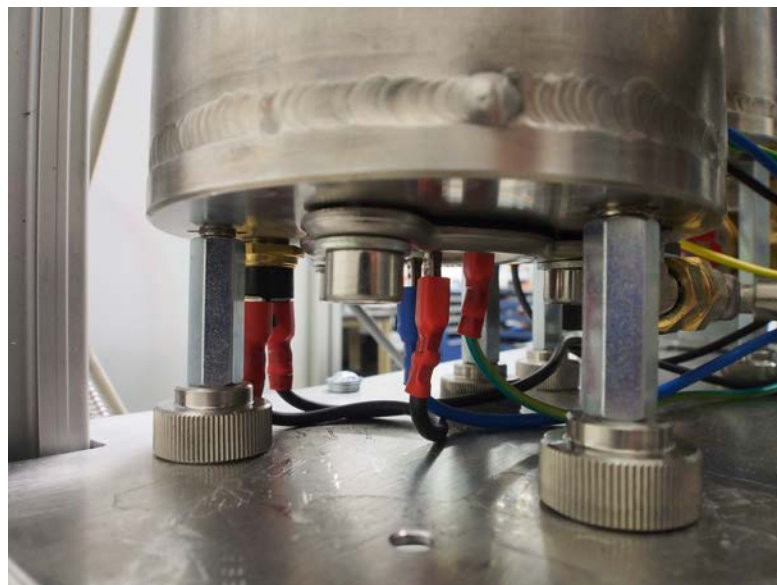


Abbildung 9: Platzsituation unter dem Dampfdurckboiler

#### 5.1.6.4 Relaisinsel

Die bisherige Ausführung der Relaisinsel ist konstruktiv noch zu verbessern. Derzeit kann die obere Relais-Reihe nur mit einer Schraube befestigt werden. Außerdem kann die Relaisinsel grundsätzlich überarbeitet werden, da die Verwendung von 12 Solid State Relais fragwürdig ist. Grundsätzlich sind Solid State Relais sinnvoll um Verbraucher mit hohen Leistungen sehr oft zu schalten. Die Relais aller Magnetventile könnten somit durch günstigere ersetzt werden, da hier geringe Leistung herrscht und weniger Schaltzyklen erwartet werden. Für den Motor und die Heizungen sollten die Solid State Relais erhalten bleiben.

Zum Design der Relaisinsel wird empfohlen, auf die jetzt bestehende flächige Anordnung zu verzichten (siehe Abbildung 10). Diese ist für die Labormaschine zwar sinnvoll, denn es können Schaltvorgänge und Verkabelungen einfach nachvollzogen werden. Für eine Serienproduktion sollte ein bauraumoptimiertes Design gewählt werden, beispielsweise ein Stapeln der Relais.



Abbildung 10: Relaisinsel

#### 5.1.6.5 Anschluss der Hydraulik

Mit flexiblen Edelstahlschläuchen soll der spätere Besitzer der Kaffeemaschine Wasser an die Maschine führen. Eventuell sollte aus Sicht eines ganzheitlichen Produktes das Entkalkungssystem in die Maschine integriert werden. Außerdem sollte der Hydraulikanschluss fest am Gehäuse angebracht werden. Ein Eingreifen des Kunden in das Innenleben der Maschine sollte verhindert werden.

#### 5.1.6.6 Konstruktion der Boiler

An der Unterseite der Boiler sind drei Standfüße angebracht. Die Anzahl erwies sich als sinnvoll, da ein Kippen durch die statische Bestimmtheit ausgeschlossen ist. Allerdings sind jeweils Gewindebolzen an der Unterseite angebracht. Wenn nun Komponenten, zum Beispiel 90°-Winkel für die hydraulische Rohrleitung, eingeschraubt werden sollten, konnte durch die Bolzen teilweise keine vollständige Umdrehung durchgeführt werden. Es ist darauf zu achten, dass bei der Boilerkonstruktion das Montieren der Einschraubungen durchgeführt werden kann.

#### 5.1.6.7 Gewinde

Die meisten Sensoren werden über Gewinde an die Maschine angebracht. Einige Sensoren haben selbst ein Gewinde integriert, wie zum Beispiel der Thermoschutzschalter oder die Drucksensoren. Andere Sensoren werden in eine Aufnahme eingespannt, die ebenfalls in den Boiler oder das Gehäuse

eingeschraubt wird. Da viele Gewinde im hydraulischen Bereich Zollgewinde sind gilt hier besondere Aufmerksamkeit auf die richtige Konstruktion zu legen. Der Konstrukteur sollte sich im ersten Schritt mit den britischen Zollgewinden – gerade und konisch – sowie mit den amerikanischen NPT und metrischen Gewinden auseinandersetzen. Weiter ist der Unterschied der Maße zwischen Innen- und Außengewinde zu beachten. Auch wenn dies oft als einfach und selbstverständlich angesehen wird, kommt es hier oft zu Verwechslungen. Im Nachhinein ein Gewinde zu verändern ist äußerst aufwändig und sollte unter allen Umständen vermieden werden.

#### 5.1.6.8 Erdung der Boiler

Die Boiler sind derzeit über das Heizelement geerdet. Sie sind nicht mit dem Bodenblech der Maschine verschraubt, sondern stehen lediglich darauf. Im nächsten Entwicklungsschritt sollte eine gesonderte Erdung für die Kessel vorgesehen werden. Eine feste Verbindung zum Gehäuse ist hier ebenfalls eine Option.

#### 5.1.6.9 Verkabelung der Magnetventile

Die Pole der Magnetventile sind derzeit einzeln mit Flachsteckern verkabelt. Für die Zukunft sollte aber auf klassische Ventilstecker SVS umgestellt werden. Dies gilt ebenfalls für die Heizelemente. So kann die Menge der Kabel auf ca. ein Drittel reduziert werden.

Bei späteren Weiterentwicklungen der Maschine ist eventuell an eine Konstruktion eines separat gefertigten Kabelbaums zu denken. Die nötigen Längen, Lagen und Abzweigungen können schon jetzt an der Labormaschine getestet werden.

#### 5.1.6.10 Modularer Aufbau der Maschine

Es wäre sinnvoll, die Labormaschine modularer aufzubauen. Es sollte an jedem Boiler, zu- und ablaufseitig, jeweils ein Kugelhahnventil installiert werden. So könnte man die Boiler zu Wartungszwecken ausbauen, ohne die gesamte Hydraulik zu entleeren. Weiter könnten neukonstruierte Kessel zu Testzwecken adaptiert werden.

In der fertigen Maschine sollte jeder Boiler einen manuellen oder elektrisch ansteuerbaren Ablauf haben. So kann das Wasser bei längerer Lagerung der Maschine abgelassen werden. Sinnvoll wäre ebenfalls ein vom Betriebssystem gesteuerter Wasserwechsel der Boiler nach einer gewünschten Zeit leert.

#### 5.1.6.11 Verkabelung auf den Platineninseln

Aktuell sind die Verkabelungen zwischen den Platinen durch 40-Pol Kabel realisiert. Zumeist werden aber nur einige Pins wirklich benötigt. Um übersichtlicher zu Verkabeln und Bauraum in der Maschine zu sparen sollten nur die benötigten Pins verkabelt werden.

#### 5.1.6.12 Zusammenfassung der Platinen

Derzeit gibt es für jede Messung (Druck, Temperatur, Volumen, Füllstand) je eine Platine. Später sollten diese zu einer Messplatine zusammengefasst werden. So kann Bauraum gespart werden.

## 5.2 Elektrische Komponenten

### 5.2.1 Elektroplan und Bezeichnungen (Verantwortlich: Timo Sieber)

Der im Anhang 1 befindliche Elektroplan gliedert sich grundsätzlich in zwei große Bereiche. Wie Abbildung 11 anzeigt beschäftigt sich Bereich eins mit den Leistungsbauteilen (Heizer, Pumpe, Ventile usw.). Hauptmerkmal hierbei ist die direkte Versorgung mit 220 Volt Wechselspannung. Bereich zwei gibt eine Übersicht über die Steuerung (Raspberry Pi) und ihrer hardwareseitigen Beziehung zur Messtechnik.

**Inhalt**

Seite	Beschreibung	
1	Deckblatt	
2	Inhalt	
3	230V-Plan Teil 1	Bereich 1
4	230V-Plan Teil 2	
5	230V-Plan Teil 3	
6	GPIO Übersicht am Raspberry Pi	Bereich 2
7	GPIO Multiplikator-Übersicht	
8	GPIO-Erweiterungsplatine (Relais & Füllstandsplatine)	
9	Temperaturmessplatine mit Sensoren	
10	Druckmessplatine mit Sensoren	
11	Gewichtsmessplatine mit Sensoren	

Abbildung 11: Gliederung des Elektroplans

Mit der Erstellung des Elektroplans sind nun wesentliche Eigenschaften bezüglich des aktuellen Aufbaus festgelegt. So beispielsweise das Notauskonzept, vergleiche hierzu Abbildung 12. Dieses sieht bei der Betätigung des Öffners Q2 vor, dass der Außenleiter L1 nicht getrennt wird. Dieser dient ausschließlich zur Spannungsversorgung der Steuerung und der Messtechnik, wie aus Seite 3 des Elektroplans hervor geht. Die restlichen Lasten sind auf die verbleibenden Außenleiter L2 und L3 gleichmäßig verteilt. Damit sollten im Notfall sämtliche Vorgänge der Maschine beherrschbar (Trennung der wesentlichen Lasten) und nachvollziehbar (Aufrechterhaltung der Versorgung der Steuerung) bleiben. Für die gleichmäßige Verteilung der Lasten vergleiche Seite drei bis fünf des Elektroplans im Anhang 1.

Grundsätzlich bietet der Elektroplan eine verlässliche Zuordnung aller Bauelemente, ihre Beziehung untereinander und ihre Funktionsabsicht beim Betrieb der Maschine. Beispielfhaft dargestellt in Abbildung 13.

Es wird darauf hingewiesen, dass der im Anhang befindliche Elektroplan bis auf wenige Ausnahmen den Übergabezustand der Maschine zeigt.

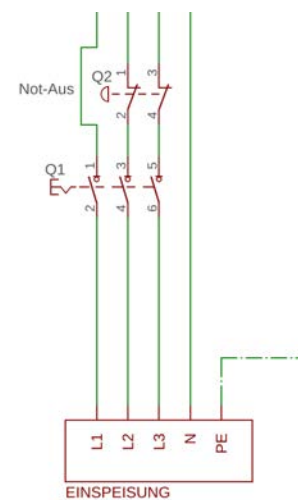


Abbildung 12: Festlegung Not-Aus-Konzept

Einzig auf die Feinsicherungen F6 bis F9 (vgl. Elektroplan Seite 3) wird im Moment noch verzichtet. Als einer der ersten Schritte, bevor weitere ausführliche Test gemacht werden, sollten diese dimensioniert und eingebaut werden.

Weiter sind die Bezeichnungen der elektrischen Betriebsmittel an die geltende Normung angepasst, und entsprechen nun zum Großteil nicht mehr jenen in der Bachelorarbeit. In Tabelle 1 sind die Änderungen prinzipiell dargestellt. Die Sensoren tragen nun alle ein „B“ um sie nach der Norm als solche zu kennzeichnen. Es wurde festgelegt, dass 40-polige Steckverbindung fortlaufend ab 50 nummeriert sind, sonstige Steckverbindungen tragen also Nummern kleiner 50. Die Konsequenz daraus zeigt Abbildung 14. Der Abbildung ist auch zu entnehmen, wie die einzelnen Messtechnikmodule mit der Steuerung (Raspberry Pi) verbunden sind.

An dieser Stelle wird auch darauf hingewiesen, dass der Kennbuchstabe S in der Bachelorarbeit mehrfach belegt ist!

1. Die Bits für die Multiplexer tragen die Bezeichnung S0, S1, S2, E
2. Die Ausgänge der Füllstandsplatine tragen die Bezeichnung S1, S2, S3, S4, S5
3. Es ist vorgesehen, dass die Schalter/Taster für die Nutzereingabe die Bezeichnung S1-S6 tragen sollen.

Da die Inbetriebnahme kaum Berührungspunkte mit den drei genannten Themenbereichen hatte wird die sinnvolle Umbenennung an nachfolgende Bearbeiter übergeben.

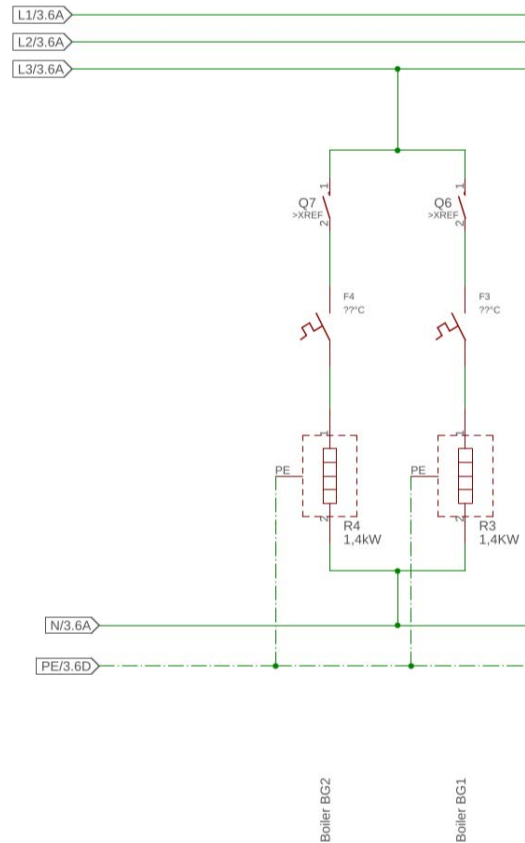


Abbildung 13: Beispielhafter Ausschnitt aus dem Elektroplan.

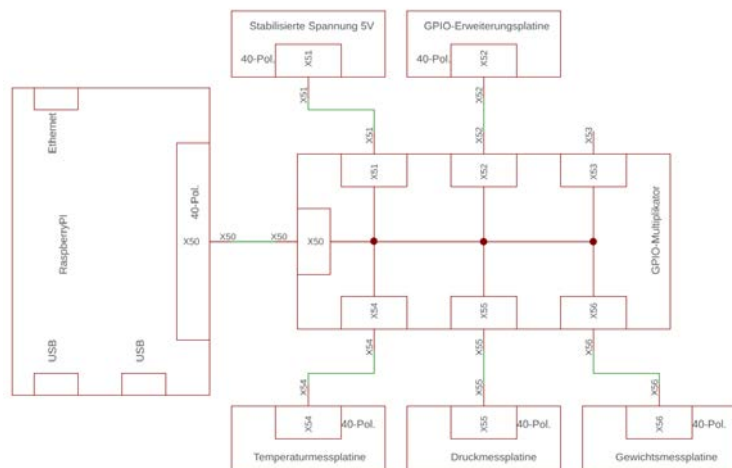


Abbildung 14: Übersichtsplan der Steuerungs- und Messtechnik

Tabelle 1: Bezeichnungen der elektrischen Betriebsmittel

Betriebsmittel	Alte Bezeichnung aus der Bachelorarbeit	Neue normgerechte Bezeichnung
Schalter und Schütze	R	Q
Ventile	V	Y
Steckverbindungen	-	X
Sicherungen	-	F
Widerstände	R	R
Motor	M	M
Temperatursensor	T	BT
Drucksensor	D oder P	BP
Kraftsensor (Wägezelle)	G	BW
Füllstandsensor	FS	BFS

Tabelle 2 zeigt alle relevanten Sensoren und die zugeordneten Multiplexer-Adressen. Auf eine Tabelle für andere Betriebsmittel wie Relais und Ventile wird verzichtet. Diese Informationen sind künftig dem Elektroplan (Anhang 1) zu entnehmen.

Tabelle 2: aktuell verbaute Sensoren

Sensorart	Bezeichnung	Eingang MUX	Einsatzort
Pt 100	BT1	A4	Dampfboiler
Pt 100	BT2	A6	Vorwärmboiler
Pt 100	BT3	A7	Hauptbrühboiler BG1
Pt 100	BT4	A2	BG1; nah an Dusche
Edelstahl	BP1	A4	Dampfboiler
Keramik	BP2	A6	Vorwärmboiler
Keramik	BP3	A2	BG2; nah an Dusche
Keramik	BP7	A0	Hauptbrühboiler BG2
Tauchsonde	BFS1	-	
Tauchsonde	BFS2	-	
Tauchsonde	BFS3	-	

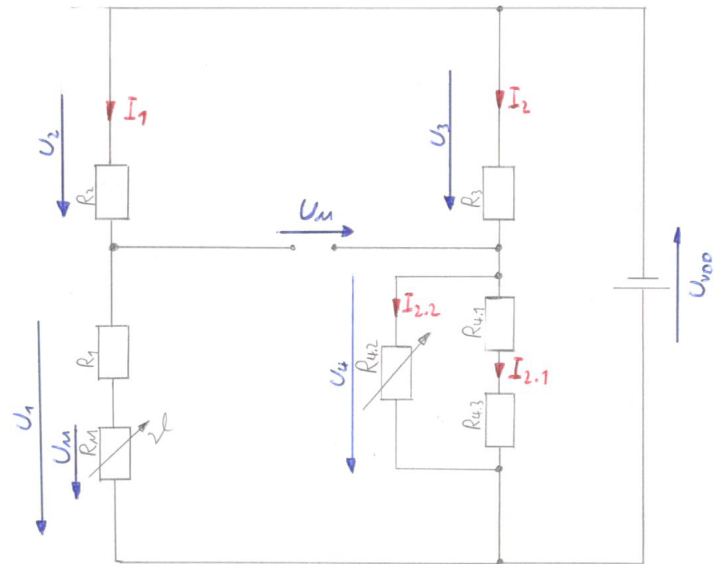
## 5.2.2 Temperaturmessplatine (Verantwortlich: Timo Sieber)

### Konzept

Die ursprüngliche Temperaturmessplatine war aus verschiedenen Gründen untauglich. Der Strom durch die PT100 Sensoren entsprach nicht den Vorgaben aus dem Datenblatt. Der Spannungsbereich der Platine (Brückenschaltung inklusive Verstärker) passte nicht zu dem des AD-Wandlers und der Nullpunktgleichung mit einem 20 kΩ Potentiometer stellte sich als zu ungenau heraus.

Die Hauptziele der neuen Temperaturmessplatine sind demnach die Folgenden:

1. Verwendung von nur einem Sensortyp (PT100)
2. Ausnutzung des richtigen Spannungsbereichs des AD-Wandlers von -256 mV bis +256 mV
3. Strom durch die Sensoren im unteren Teil des angegebenen Bereichs (zwecks Eigenerwärmung)
4. Leichte Einstellbarkeit des Nullpunktes der Messbrücke.



Die Verwendung von nur einem Sensortyp ist nun möglich, da ein kleiner PT100-Fühler vom Lehrbeauftragten empfohlen wurde. Abbildung 15: Prinzipskizze der Brückenschaltung für die Temperaturmessplatine

Der Bereich für die zu messenden Temperaturen ist so gewählt, dass er zwischen 0°C und 150°C liegt. Damit liegt die Messbereichsmitte bei 75°C und hier soll die Brückenspannung  $U_M = 0 V$  sein. Aus der Bachelorarbeit (S. 41) geht hervor, dass die Sensoren bei 75°C ungefähr einen Widerstand von  $R_{M_{mitte}} = 128\Omega$  haben.

Der Strom, der durch die Sensoren fließt sollte laut Datenblatt zwischen 0,3 mA und 1,0 mA liegen. Deshalb haben die Widerstände R1, R2 und R3 einen Wert von 6,8 kΩ. Die Werte werden stellvertretend für alle Auftretenden an den Messbereichsenden und in der Messbereichsmitte berechnet. Die Berechnungen beziehen sich auf das Schalbild in Abbildung 15. Diesem sind auch die Lage der Strom und Spannungspfeile zu entnehmen.

$$I_{1_{mindest}} = \frac{U_{VDD}}{R_1 + R_2 + R_{M_{mindest}}} = \frac{5V}{(6800 + 6800 + 100)\Omega} = 0,365mA$$

$$I_{1_{mitte}} = \frac{U_{VDD}}{R_1 + R_2 + R_{M_{mitte}}} = \frac{5V}{(6800 + 6800 + 128)\Omega} = 0,3642mA$$

$$I_{1_{höchst}} = \frac{U_{VDD}}{R_1 + R_2 + R_{M_{höchst}}} = \frac{5V}{(6800 + 6800 + 156)\Omega} = 0,3635mA$$

Geht man davon aus, dass über die Spannungsmessung von  $U_M$  kein Strom abfließt gilt.

$$U_{1_{mindest}} = (R_{M_{mindest}} + R_1) \cdot I_{1_{mindest}} = (100 + 6800)\Omega \cdot 3,365mA = 2,5182V$$

$$U_{1_{mitte}} = (R_{M_{mitte}} + R_1) \cdot I_{1_{mitte}} = (128 + 6800)\Omega \cdot 3,3652mA = 2,5233 V$$



$$U_{1\text{höchst}} = (R_{M\text{höchst}} + R_1) \cdot I_{1\text{höchst}} = (156 + 6800)\Omega \cdot 3,3635\text{mA} = 2,5284\text{V}$$

Der verwendete Platinen Rohling sieht zur Verbesserung des Nullpunktgleichs ein hochohmiges Potentiometer parallel zu  $R_{4.1}$  vor. Wie folgend gezeigt wird hat dies den Vorteil das sich der Ersatzwiderstand  $R_{4\text{ersatz}}$  aus  $R_{4.1}$  und  $R_{4.2}$  in sehr kleinen Schritten eingestellt werden kann. Das gewählte  $5\text{M}\Omega$  Potentiometer ( $R_{4.2}$ ) lässt laut Datenblatt die Wahl von Widerstandswerten in  $0,1\%$  Schritten vom Widerstandsenswert zu.

$$R_{\Delta\text{poti}} = \frac{0,1}{100} \cdot R_{\text{poti}} = \frac{0,1}{100} \cdot 5\text{M}\Omega = 5000\Omega$$

Wird  $R_{4.3}$  zunächst ignoriert gilt für den Ersatzwiderstand.

$$R_{4\text{ersatz}} = \frac{R_{4.1} \cdot R_{4.2}}{R_{4.1} + R_{4.2}}$$

Errechnet man alle somit möglichen Ersatzwiderstände ergibt sich der in Abbildung 16 gezeigte Verlauf. Dieser zeigt, dass sich der Ersatzwiderstand in einem kleinen Fenster gut einstellen lässt. Für die gewählten Widerstände liegt dieses zwischen ca.  $6200\Omega$  und  $6970\Omega$ . Dafür ist die Einstellung im relevanten Bereich um  $6928\Omega$  herum jedoch sehr fein, wie der flache Verlauf der Kurve anzeigt. Die kleinste mögliche Widerstandsänderung beträgt bei  $6928\Omega$  ungefähr  $0,28\Omega$ .

Nimmt man den Idealwert für den Ersatzwert an gilt folgendes.

$$R_{4\text{ersatz}} = \frac{R_{4.1} \cdot R_{4.2}}{R_{4.1} + R_{4.2}} = 6928\Omega$$

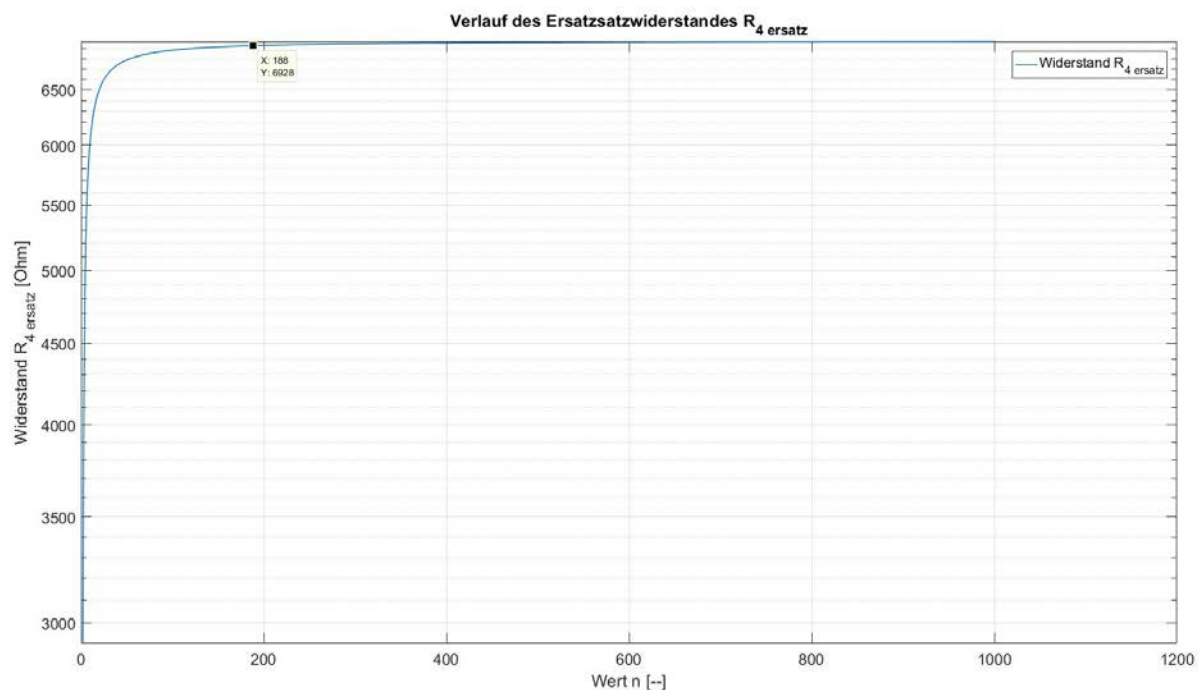


Abbildung 16: Verlauf des Ersatzwiderstandes

$$I_2 = \frac{U_{VDD}}{R_3 + R_{4\text{ersatz}}} = \frac{5\text{V}}{(6800 + 6928)\Omega} = 0,3642\text{mA}$$

$$U_4 = R_{4\text{ersatz}} \cdot I_2 = 2,5233\text{V}$$

Nach der „Maschenregel“ kann  $U_M$  errechnet werden.

$$U_{M_{mindest}} = U_{1_{mindest}} - U_4 = 2,5182 \text{ V} - 2,5233 \text{ V} = -5,06 \text{ mV}$$

$$U_{M_{mitte}} = U_{1_{mitte}} - U_4 = 2,5233 \text{ V} - 2,5233 \text{ V} = -0,001 \text{ mV}$$

$$U_{M_{höchst}} = U_{1_{höchst}} - U_4 = 2,5284 \text{ V} - 2,5233 \text{ V} = 5,04 \text{ mV}$$

Abschließend werden noch der nötige Verstärkungsfaktor und der Widerstand berechnet um diesen einzustellen.

$$G = \frac{V_{ADmin}}{U_{M_{höchst}}} = \frac{-256 \text{ mV}}{-5,0623 \text{ mV}} = 50$$

$$R_{Gain} = \frac{50 \text{ k}\Omega}{G - 1} = \frac{50 \text{ k}\Omega}{50 - 1} = 1009 \text{ }\Omega$$

R1, R2 und R3 sind präzise Widerstände mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1\%$ . R4.1 ist nur mit einer Genauigkeit von  $\pm 1\%$  verfügbar. Die Schaltung reagiert sehr empfindlich auf Änderungen von R4.1. Beim Aufbau der Platine hat sich gezeigt, dass die erworbenen Widerstände am unteren Ende des Toleranzbereichs liegen. Somit hätte sich der Ersatzwiderstandswert zu stark abgesenkt und die erforderlichen  $6928 \text{ }\Omega$  wären nicht erreicht worden. Um dies zu kompensieren ist in jede Brückenschaltung ein weiterer Widerstand von  $R_{4.3} = 56\Omega$  eingelötet. Da die Platine dafür nicht konzipiert ist, sind diese hochkant verbaut.  $R_{4.3}$  ist nur von praktischer Bedeutung wurde er bei der obigen Erläuterung des Konzepts nicht beachtet.

## Kalibrierung

Die Kalibrierung wird an zwei Punkten vorgenommen. Zunächst wird der Nullpunkt einer jeden Messbrücke eingestellt. Anschließend ein geeigneter Verstärkungsfaktor. Für den Nullpunktgleich wird eine Serienschaltung von Widerständen verwendet, deren Widerstand dem eines PT100 Sensors bei  $75^\circ\text{C}$  entspricht. Das Nullpunkt-Potentiometer wird so eingestellt, dass der AD-Wandler keine nennenswerte Brückenspannung misst.

Anschließend werden die zugeordneten Sensoren angeschlossen. Die Verstärkung wird so eingestellt, dass der verstärkte Spannungswert dem Erwarteten, bezogen auf die Raumtemperatur, entspricht. Konkret werden alle Verstärkungen auf einen AD-Wandlerwert von 1700 kalibriert. Abschließend werden mittels eines Matlab-Codes Abkühlkurven aufgenommen. Dabei wird die Kennlinie eines jeden Messkanals mit seinem zugewiesenen Sensorelement erfasst. Hierzu sind die einzelnen Sensoren, zusammen mit einem Referenzsensor, in einem abkühlenden Wasserbad zu vermessen. Für jede Kombination von Sensor und Messkanal werden etwa 1000 Messpunkte aufgenommen. Diese Informationen ermöglichen es später die verbliebenen Toleranzen der einzelnen Messelemente mittels Software zu kompensieren.

### 5.2.3 Erweiterung der GPIOs des Raspberry Pi (Verantwortlich: Rawad Alshikh)

Da am *Raspberry Pi* nur 24 GPIOs zur Verfügung stehen, war es notwendig diese über ein Expandermodul zu erweitern. Dazu eignet sich der IC *MCP23017-E/SP*, der mit dem I<sup>2</sup>C-Datenbus des RPi verbunden wird. Somit belegt der IC lediglich zwei GPIOs (SDA und SCL) und stellt insgesamt 16 weitere Ein- und Ausgänge zur Verfügung.

Damit die Espressomaschine den Betriebsbedingungen gerecht wird und die geforderte Funktion erfüllt ist, wurden die alten zwei Expanderplatinen durch eine neue Expanderplatine ersetzt. Dabei wurden die Darlingtonttransistoren für die Ausgänge und die Klemmschrauben für die Eingänge bestückt und

verlötet. Zusätzlich mit der Erweiterungskarte (IO-PI Plus) wurden alle Komponenten auf der Lochrasterplatine verlötet.

Damit die Darlington-Schaltung korrekt funktioniert, muss darauf geachtet werden, dass der Pin (I9) auf Masse angelegt wird und der Pin (O9) frei (oder mit VCC verbunden) ist.

Mit ihr ist es über eine kleine Steuerspannung möglich, Ströme bis 500 mA und Spannungen bis 50 V zu schalten, ohne dass die GPIOs des *MCP23017* zu stark belastet werden. Als Schaltspannung werden 12 V Gleichspannung verwendet, die das Hutschienennetzteil *MDR-60-12* liefert.

Auf dem IO-PI Plus befinden sich die zwei Erweiterungsmodule *MCP23017*, mit denen 32 digitale (16) Ein- und (16) Ausgänge an den Raspberry Pi angeschlossen sind. Der IO Pi Plus Expander wird über den Host-Raspberry Pi durch einen GPIO-Port mit Strom versorgt. Die erweiterten Pins am GPIO-Anschluss ermöglichen es, den IO Pi Plus zusammen mit anderen Erweiterungsplatinen anzusteuern.

An den Klemmverschraubungen werden die Versorgungsleitungen angeschlossen.

Zusätzliche Pull-Up-Widerstände an den Ein- sowie Ausgängen werden nicht benötigt. INTA und INTB können so konfiguriert werden, dass sie unabhängig voneinander oder zusammen arbeiten. Versorgungsspannung Vdd beträgt (5V Eingangs-Pin, wenn der Isolations-Jumper entfernt ist) 4.5V - 5.5V, der Strom am E / A-Pin beträgt 25 mA und der maximale Strom an einer einzelnen E / A-Bank ist 125 mA.

Für die Einbindung in den I<sup>2</sup>C-Bus sind der SCL- und SDA-Pin am *Raspberry Pi* angeschlossen. A0, A1 sowie A2 sind mit + 5V verbunden, womit die Adresse 0x21 am Bus festgelegt ist.

Die Expanderplatine dient zur Hälfte dem Schalten der Relais, zur anderen Hälfte dem Abfragen des Füllstandes und der Bedientasten.

Tabelle 3: Übersicht der verwendeten GPIOs am RPi

Pin-Nr.	GPIO-Nr.	Verwendung
2		+ 5 V
3	GPIO 2	SDA (I <sup>2</sup> C)
4		+ 5 V
5	GPIO 3	SCL (I <sup>2</sup> C)
6, 9, 14, 20, 25, 30, 34, 39		GND (Masse)

Tabelle 4: Übersicht der verwendeten GPIOs am Expansion Bus 2 für die Ausgänge

GPO-Nr. MCP23017_SO	PIN-Nr.	PIN-Nr. ULN2803A	Relais- Verzeichnis	Last	Betriebs- mittel
	PORT 0	IC2			
GPA0	1	O 1	Q9	Ventil Dampfboiler	Y2
GPA1	2	O_2	Q10	Ventil Warmwasserbezug	Y3
GPA2	3	O 3	Q11	Ventil Dampfbezug	Y4
GPA3	4	O_4	Q12	Ventil Kaffeebezug BG1	Y5
GPA4	5	O 5	Nicht belegt	-	-
GPA5	6	O 6	Nicht belegt	-	-
GPA6	7	O 7	Nicht belegt	-	-
GPA7	8	O 8	Nicht belegt	-	-
		I 9	GND		
	PORT 1	IC3			
GPB0	9	O 1	Q7	Heizer Boiler BG2	R4
GPB1	10	O 2	Q6	Heizer Boiler BG1	R3
GPB2	11	O_3	Q14	Nicht belegt (vorgesehen für ein Ventil)	-
GPB3	12	O_4	Q13	Ventil Kaffeebezug BG2	Y6
GPB4	13	O 5	Q8	Ventil Vorwärmboiler	Y1
GPB5	14	O 6	Q5	Heizer Dampfboiler	R2
GPB6	15	O 7	Q4	Heizer Vorwärmboiler	R1
GPB7	16	O 8	Q3	Pumpe	M1
		I 9	GND		

Tabelle 5: Übersicht der verwendeten GPIOs am Expansion Bus 1 für die Eingänge

GPO-Nr. MCP23017_SO	PIN-Nr.	Sensoren	Last	Betriebsmittel
	PORT0			
GPA0	1	S1	Füllstand Dampfboiler min.	BFS1
GPA1	2	S2	Füllstand Dampfboiler max.	BFS2
GPA2	3	S3	Füllstand Vorwärmboiler	BFS3
GPA3	4	S4	Füllstand Boiler BG1	BFS4
GPA4	5	S5	Füllstand Boiler BG 2	BFS5
GPA5	6	Nicht belegt	-	-
GPA6	7	Nicht belegt	-	-
GPA7	8	Nicht belegt	-	-
	PORT1			
GPB0	9	Nicht belegt	-	-
GPB1	10	Nicht belegt	-	-
GPB2	11	Nicht belegt	-	-
GPB3	12	Nicht belegt	-	-
GPB4	13	Nicht belegt	-	-
GPB5	14	Nicht belegt	-	-
GPB6	15	Nicht belegt	-	-
GPB7	16	Nicht belegt	-	-

Die Steuer- und Versorgungsleitungen müssen stabilisiert werden.

Das Relais SSR verfügt über eine integrierte RC-Widerstandskapazität, deshalb werden die Widerstände R3 bis R14 (1 k $\Omega$ ) nicht benötigt.

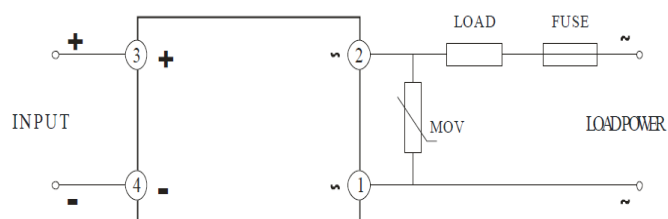


Abbildung 17: Schematische Darstellung eines beschalteten Solid-State-Relais

Jetzt kann die vollständige labortechnische espressomaschine über den Einplatinencomputer *Raspberry Pi 3 Modell B* gesteuert werden.

### 5.3 Hydraulisches Konzept (Verantwortlich: Rawad Alshikh)

#### 5.3.1 Wasserversorgung und Pumpe

In der labortechnischen espressomaschine wird eine Rotationspumpe verbaut. Da der von der Pumpe generierte Druck jedoch höher ist als nötig, wird er über eine in die Pumpe integrierte Druckbegrenzung reduziert. Ein Asynchronmotor treibt die Rotationspumpe an, die dazu direkt auf der Welle des Motors befestigt wird. Vor der Pumpe ist ein Filter angebracht, der den Mineraliengehalt des zugeführten

Wassers senkt und Unreinheiten entfernt, um Verkalkung der Komponenten wie Boiler oder Brühgruppen und das Eintreten von Schmutzpartikeln zu verhindern. Hinter der Pumpe sind zwei 2-Wege-Ventil (Y1,Y2) installiert, die den Wasserfluss zum einen in den Vorwärmboiler, zum anderen in den Dampfboiler leiten. Damit kann sichergestellt werden, dass stets nur einer der beiden Zweige von der Pumpe versorgt wird, um eine konstante Versorgung der Brühgruppe zu gewährleisten und gleichzeitig die Überfüllung des Dampfboilers zu verhindern. Die Durchflussrichtung, die die Ventile freigibt, hängt davon ab, welcher Wasserkreis neues Wasser benötigt. Die Feinregulierung des geförderten Massenstroms sowie des Förderdrucks erfolgt über ein Ventil innerhalb der Brühgruppen.

### 5.3.2 Vorwärmboiler

Nachdem das Wasser durch das 2-Wege-Ventil (Y1) gelangt ist und in den Vorwärmboiler (Heißwasserreservoir) gepumpt, kann die anschließende Temperierdauer im Kaffeeboiler verkürzt werden. Der Vorwärmboiler weist dabei ein Volumen von etwa 1,5 Litern auf. Der Rückfluss in das vorherige System wird durch den Einbau eines Rückschlagventils unterbunden. In diesem ersten Boiler wird das Wasser mithilfe eines Heizelements (R1) auf eine Temperatur von etwa 85 °C erhitzt und durch die Pumpe ein Druck von ungefähr 9 bar erzeugt. Der Druck sowie die Temperatur im Inneren des Kessels werden über passende Sensoren erfasst. Zusätzlich ist eine Sonde (BFS3) integriert, die den Wasserstand überwacht. Diese Maßnahme ist vorgesehen, um die Heizung vor Überhitzung zu schützen, sollte sie nicht vollständig von Wasser umgeben sein.

### 5.3.3 Kaffeeboiler

Der Vorwärmboiler versorgt den Kaffeeboiler mit vortemperiertem Wasser. Um Rücklaufes von Wasser aus dem Kaffeeboiler in den Vorwärmboiler zu gewährleisten, ist an dieser Stelle kein Rückschlagventil vorgesehen. Im Hauptbrühboiler wird das Wasser auf die finale Brühtemperatur gebracht. Zusätzlich werden Temperaturverluste, die auf dem Weg des Wassers vom Vor- zum Kaffeeboiler entstehen, durch Nachtemperieren ausgeglichen. Um die Temperatur im Boiler stabil regeln zu können, muss diese über einen Sensor (PT3, PT4) aufgenommen und der gewonnene Wert an den Raspberry Pi (RPi) weitergegeben werden. Das im Kessel verbaute Heizelement wird über den RPi mittels programmierter PID-Regelung angesteuert und heizt das Wasser auf. Der Druck im Kaffeeboiler soll weiterhin dem Grunddruck der Pumpe entsprechen und wird von einem Drucksensor (DP3, DP4) gemessen. Aus zuvor genannten Gründen wird auch in diesem Boiler der minimale Füllstand (DFS4, DFS5) des Wassers überwacht.

### 5.3.4 Brühgruppen

Vom Hauptbrühboiler aus gelangt das heiße Wasser in die Brühgruppe. Hier wird der Siebträger mit dem gemahlene Espressoehl eingespannt. Zusätzlich ist die Brühgruppe für die gleichmäßige Verteilung des Wassers auf dem Mehl zuständig. Die erste Brühgruppe ist die Gastronomie-Variante der FAEMA E61. Im Vergleich zur Standardausführung wird diese, anstelle einer mechanischen Betätigung, über ein magnetisches Ventil gesteuert. Bei Betätigung eines Bezugstasters wird das in die Brühgruppe integrierte 2-Wege-Ventil (Y5) geöffnet und die Pumpe gestartet. Der Durchfluss des heißen Wassers zum Siebträger ist somit möglich. Nach Erreichen der gewünschten Espressomenge schaltet sich der Pumpenmotor ab und das Ventil gibt den Durchfluss zur Auffangschale frei. Dadurch wird der Druck im Siebträger auf den Umgebungsdruck abgesenkt und der Siebträger kann ausgespannt werden. Anschließend schaltet das Ventil in Neutralposition, blockiert die Wasserzufuhr zur Brühgruppe und läuft das heiße Wasser durch die zusätzliche Rücklaufleitung in den Kaffeeboiler zurück. Dadurch werden die Temperaturverluste reduziert und die Brühgruppe behält ihre Wärme bei. Für die spätere Erweiterung der Espressomaschine wird bei der Konstruktion die mögliche Anbringung einer zweiten Brühgruppe, einen Durchflussbegrenzer sowie den Dampfkreis berücksichtigt. Das genaue Modell wurde im Rahmen dieser Projektarbeit jedoch noch nicht festgelegt. Jedes Bauteil in dem vorherigen beschriebenen hydraulischen System ist mit der zugehörigen Bezeichnung des

verantwortlichen elektronischen Betriebsmittel vorgesehen, das aus dem elektrischen Schaltplan entnommen ist.

## 6 Zusammenfassung und nächste Schritte aus Sicht der Inbetriebnahme

Es folgt eine Liste der offenen Punkte:

- Leistungsaufnahme der Messplatinen bei üblichen Betriebsbedingungen ermitteln.
- Um empfindliche elektrische Bauteile der Maschine zu schützen sollten die Feinsicherungen, wie im Elektroplan vorgesehen, dimensioniert und eingebaut werden.
- I<sup>2</sup>C Adressen für die AD-Wandler und den GPIO Expander vergeben.
- Langzeittest um Dichtigkeit der Boiler unter Druck auch nach mehreren Aufheizzyklen sicherzustellen.
- Temperaturregler programmieren.
- Sensorik an der E61 sowie am Siebträger vollständig einbauen/verkleben.
- Manuelles Bedienkonzept der Maschine erarbeiten.
- Taster für die manuelle Bedienung auswählen und implementieren.
- Passende Dampfplanze auswählen und verbauen.
- Ermittlung der Kaffee-Bezugsmenge durch Wägezellen oder ein alternatives Konzept realisieren.
- Zweite Brühgruppeneinheit einbauen sobald dieses definiert ist.

Abschließend bleibt zu sagen, dass die Inbetriebnahme zuversichtlich ist, mit dem jetzigen Stand der Maschine alle weiteren Tests und Versuche durchführen zu können

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausschnitt der Hydraulik .....	4
Abbildung 2: Sensoren am Vorbrühboiler (l) & Dampfboiler (r).....	5
Abbildung 3: Sensoren am Kaffeeboiler (l) & E61 (r).....	5
Abbildung 4: Thermosyphon der E61.....	6
Abbildung 5: Bauraumplanung der Platineninsel.....	7
Abbildung 6: Aufbau der beiden Platineninseln.....	7
Abbildung 7: Untere Platineninsel (l) & obere Platineninsel (r) .....	8
Abbildung 8: Geplante Volumenmessung durch Wägezellen .....	9
Abbildung 9: Platzsituation unter dem Dampfdruckboiler.....	9
Abbildung 10: Relaisinsel.....	10
Abbildung 11: Gliederung des Elektroplans .....	12
Abbildung 12: Festlegung Not-Aus-Konzept.....	12
Abbildung 13: Beispielhafter Ausschnitt aus dem Elektroplan. ....	13
Abbildung 14: Übersichtsplan der Steuerungs- und Messtechnik.....	13
Abbildung 15: Prinzipskizze der Brückenschaltung für die Temperaturmessplatine.....	15
Abbildung 16: Verlauf des Ersatzwiderstandes.....	16
Abbildung 17: Schematische Darstellung eines beschalteten Solid-State-Relais.....	20

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bezeichnungen der elektrischen Betriebsmittel .....	14
Tabelle 2: aktuell verbaute Sensoren .....	14
Tabelle 3: Übersicht der verwendeten GPIOs am RPi.....	18
Tabelle 4: Übersicht der verwendeten GPIOs am Expansion Bus 2 für die Ausgänge.....	19
Tabelle 5: Übersicht der verwendeten GPIOs am Expansion Bus 1 für die Eingänge .....	20

## 9 Anhang

Folgend werden der Elektroplan und der Hydraulikplan angehängt.

Zusätzlich wird der Anhang digital eingereicht. Der ZIP-Ordner enthält folgenden Inhalt:

- 01\_Elektroplan mit Bauteilbibliothek
- 02\_Auslegung der Temperaturmessplatine
- 03\_Hydraulikplan
- 04\_Unterlagen zur Relaisplatine
- 05\_Abschlusspräsentation

### 9.1 Elektroplan



# Projekt: Labor-Espressomaschine

Beschreibung

Schaltplan zur Inbetriebnahme

Bearbeitet

Timo Sieber

12.03.2018

Freigegeben

A. Rohnen & E. Weidler

Seitenzahl

11

Deckblatt

Gesamtschaltplan\_V5

nicht gespeichert!

Sheet: 1/11

# Inhalt

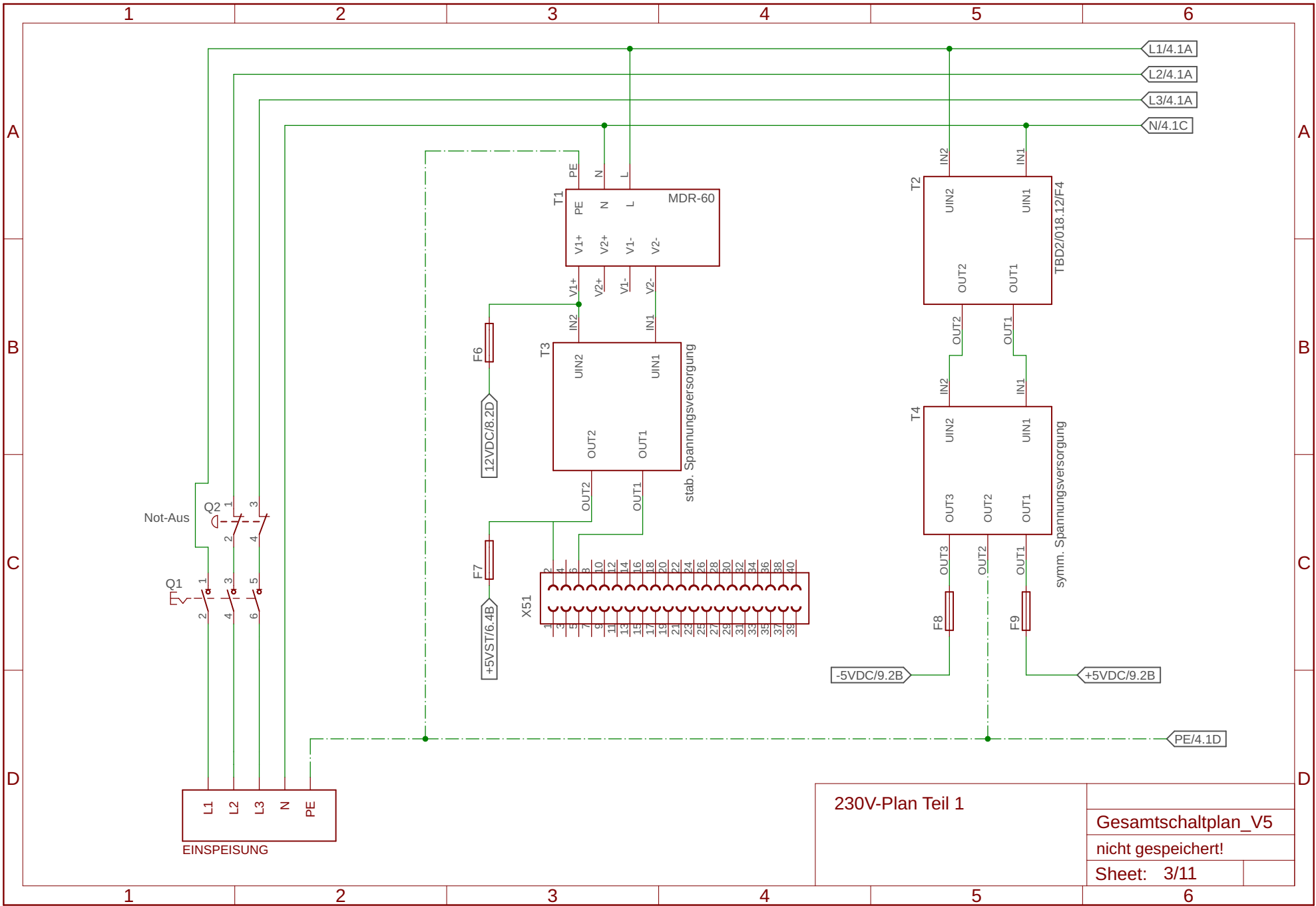
Seite	Beschreibung
1	Deckblatt
2	Inhalt
3	230V-Plan Teil 1
4	230V-Plan Teil 2
5	230V-Plan Teil 3
6	GPIO Übersicht am Raspberry Pi
7	GPIO Multiplikator-Übersicht
8	GPIO-Erweiterungsplatine (Relais & Füllstandsplatine)
9	Temperaturmessplatine mit Sensoren
10	Druckmessplatine mit Sensoren
11	Gewichtsmessplatine mit Sensoren

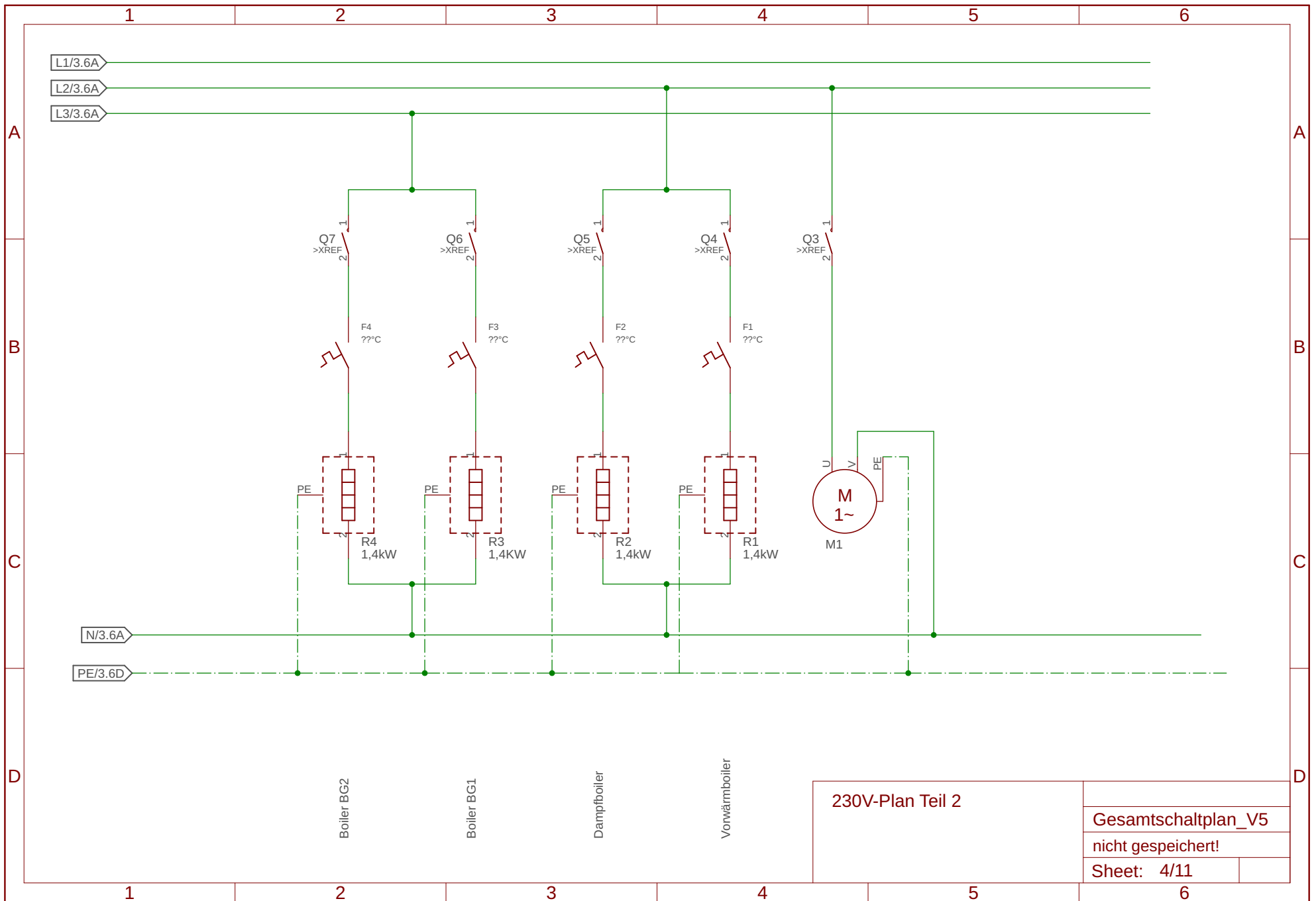
Inhalt

Gesamtschaltplan\_V5

nicht gespeichert!

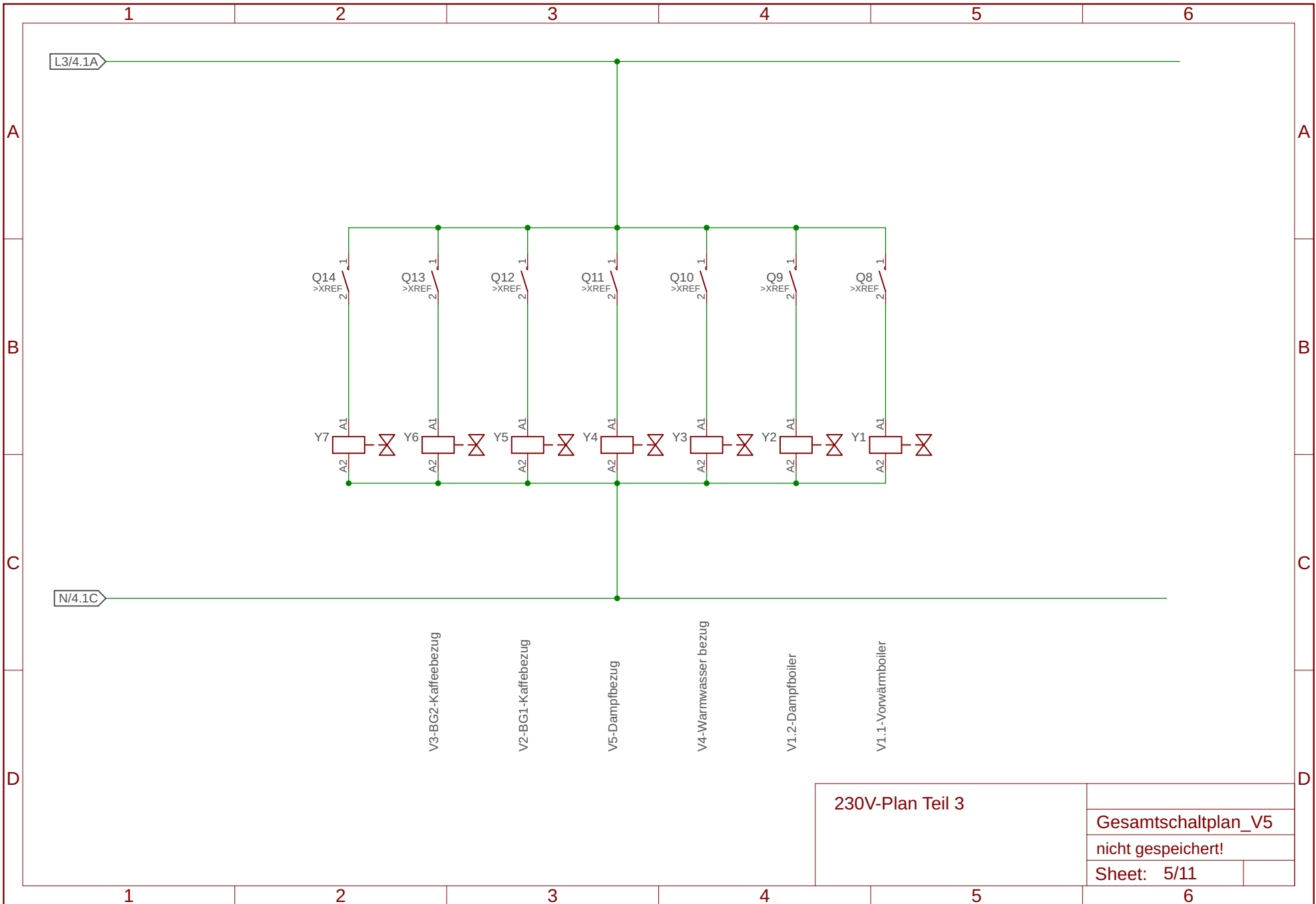
Sheet: 2/11



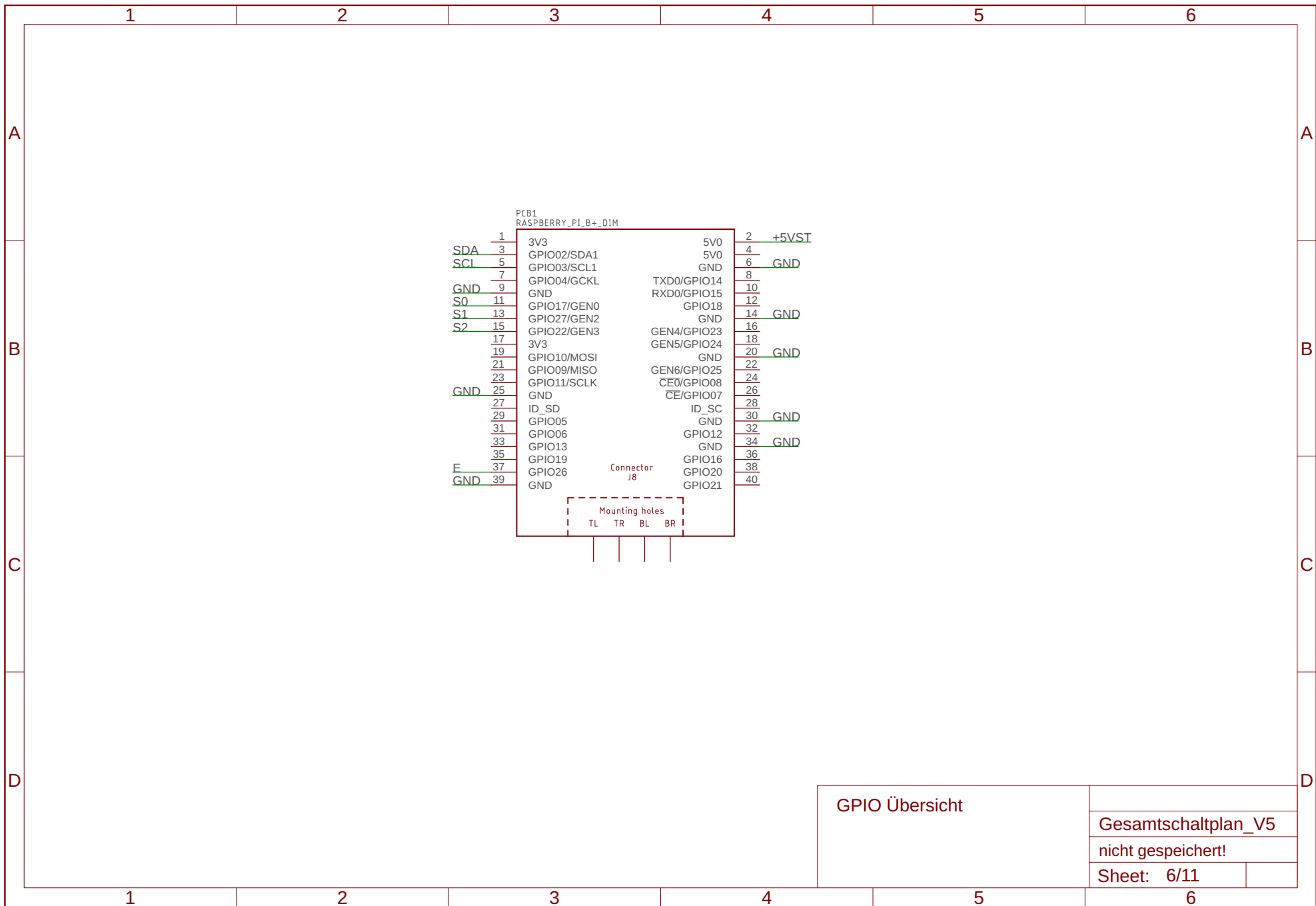


230V-Plan Teil 2

Gesamtschaltplan_V5	
nicht gespeichert!	
Sheet: 4/11	



230V-Plan Teil 3	
Gesamtschaltplan_V5	
nicht gespeichert!	
Sheet: 5/11	

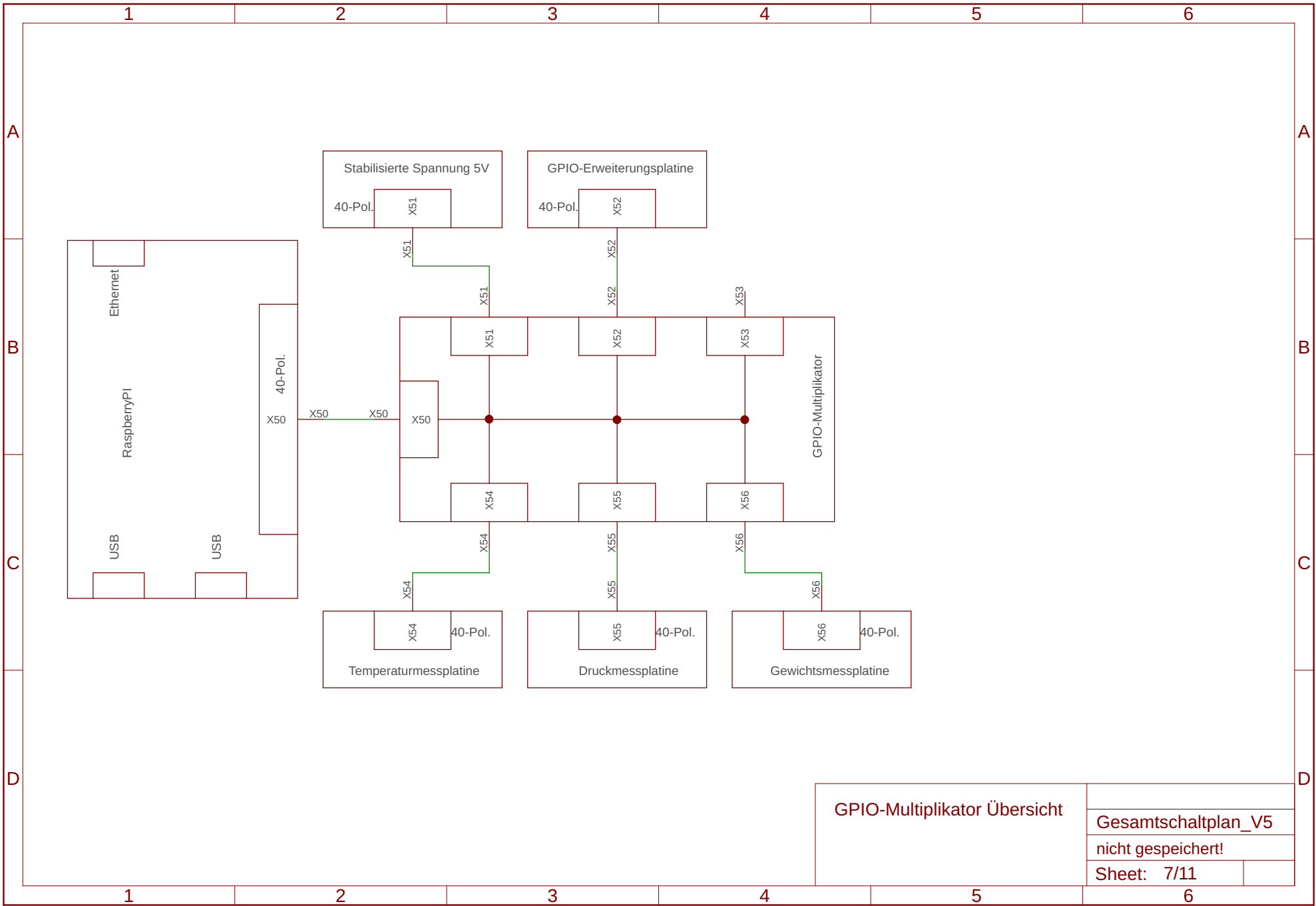


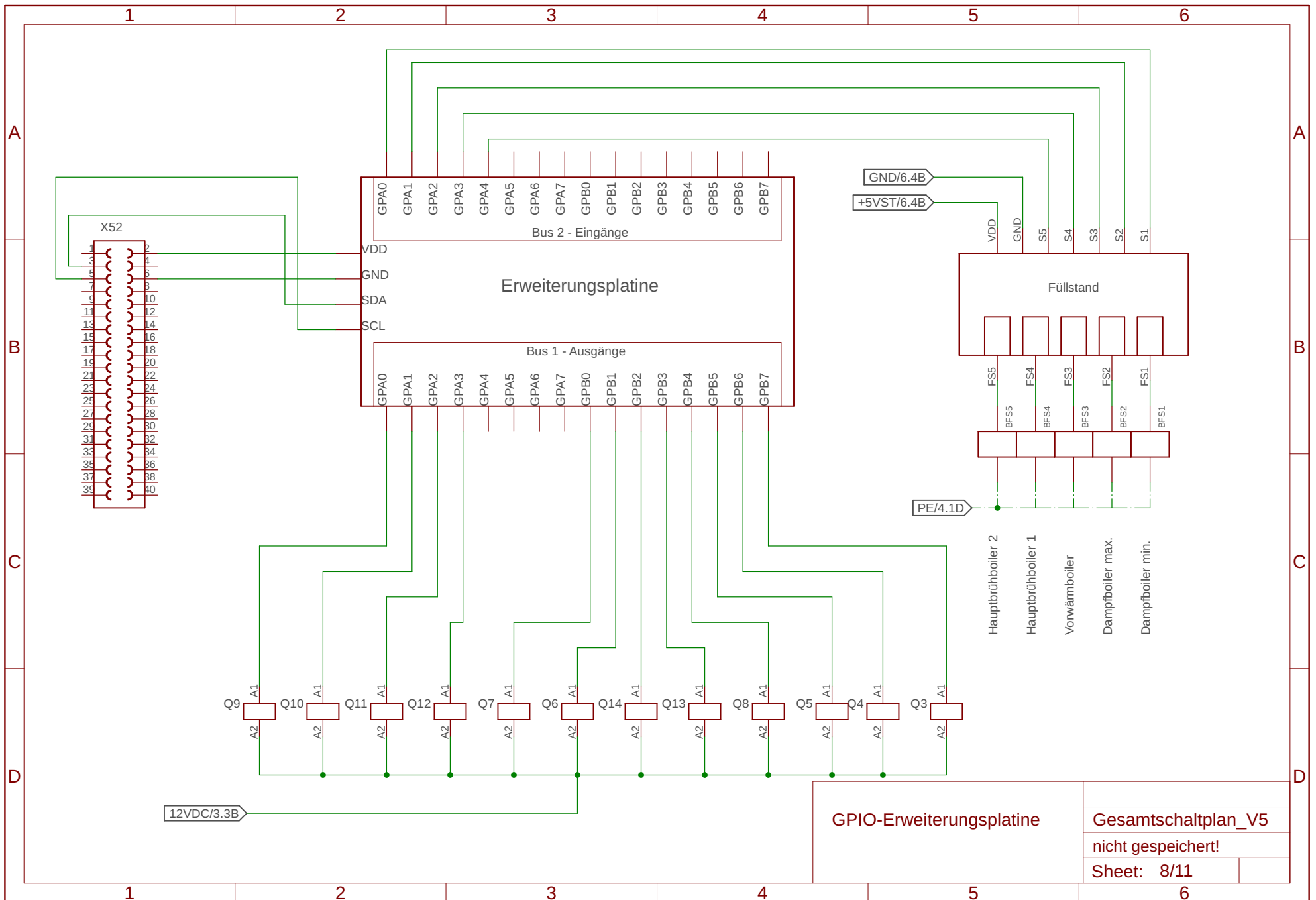
GPIO Übersicht

Gesamtschaltplan\_V5

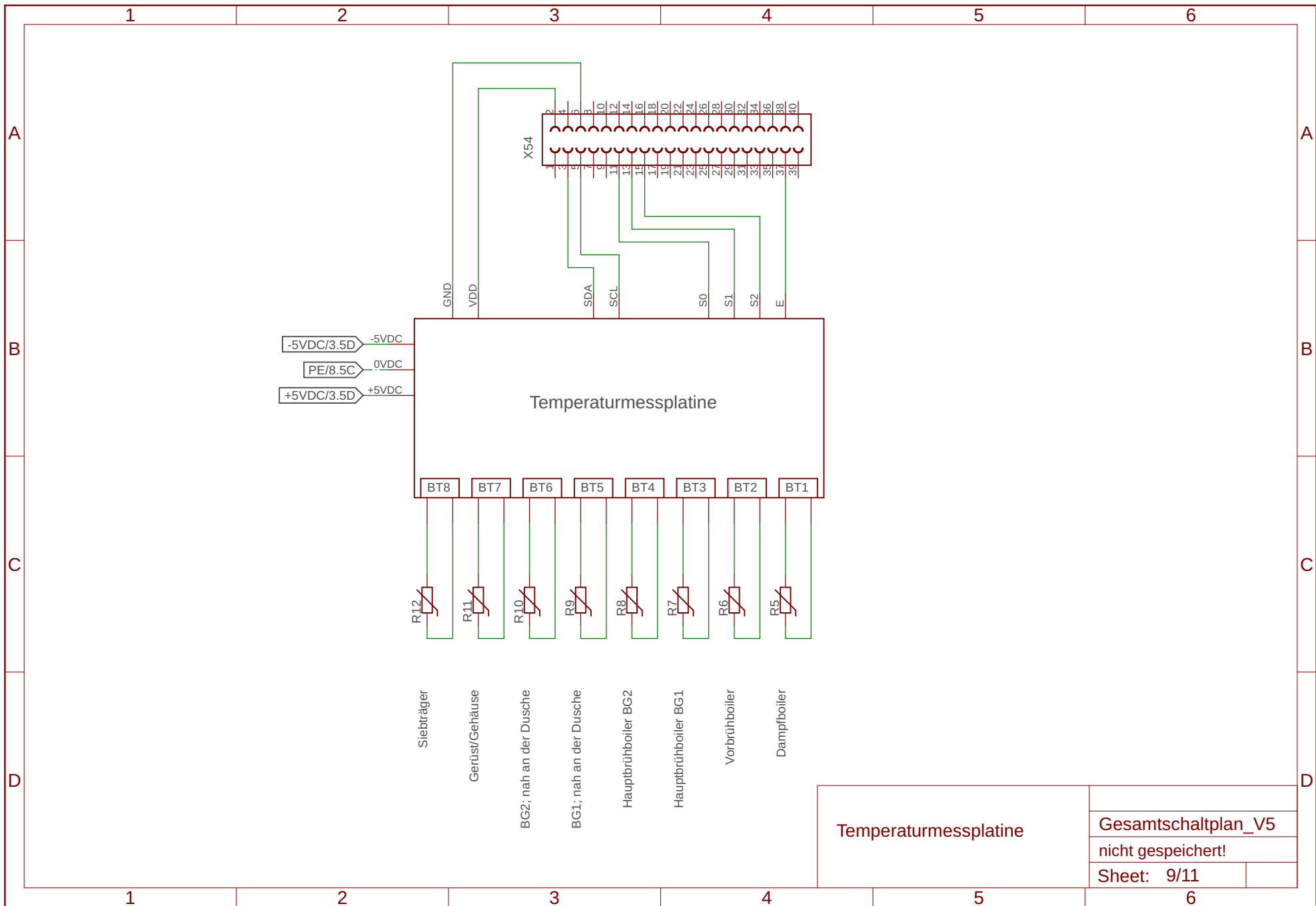
nicht gespeichert!

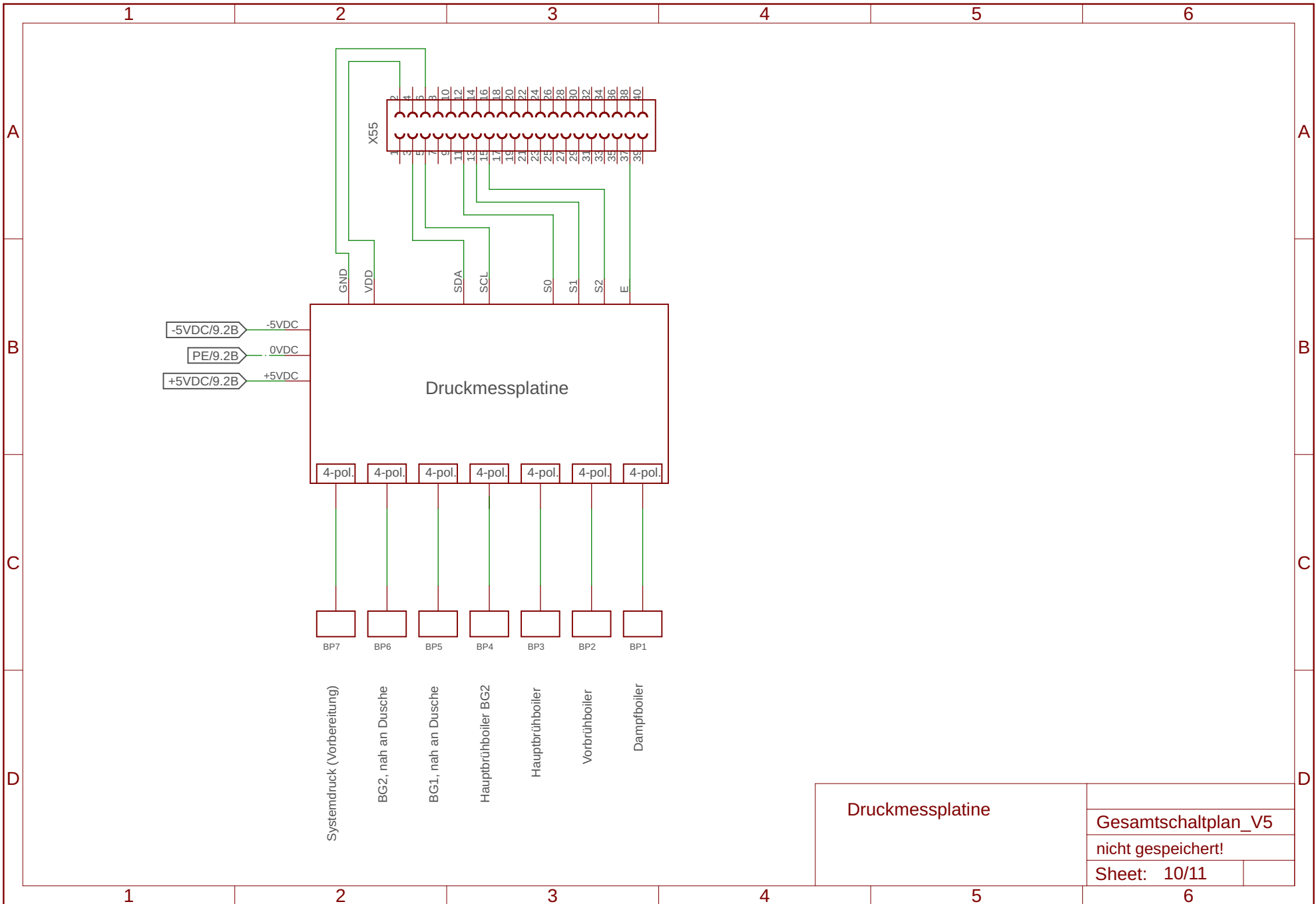
Sheet: 6/11

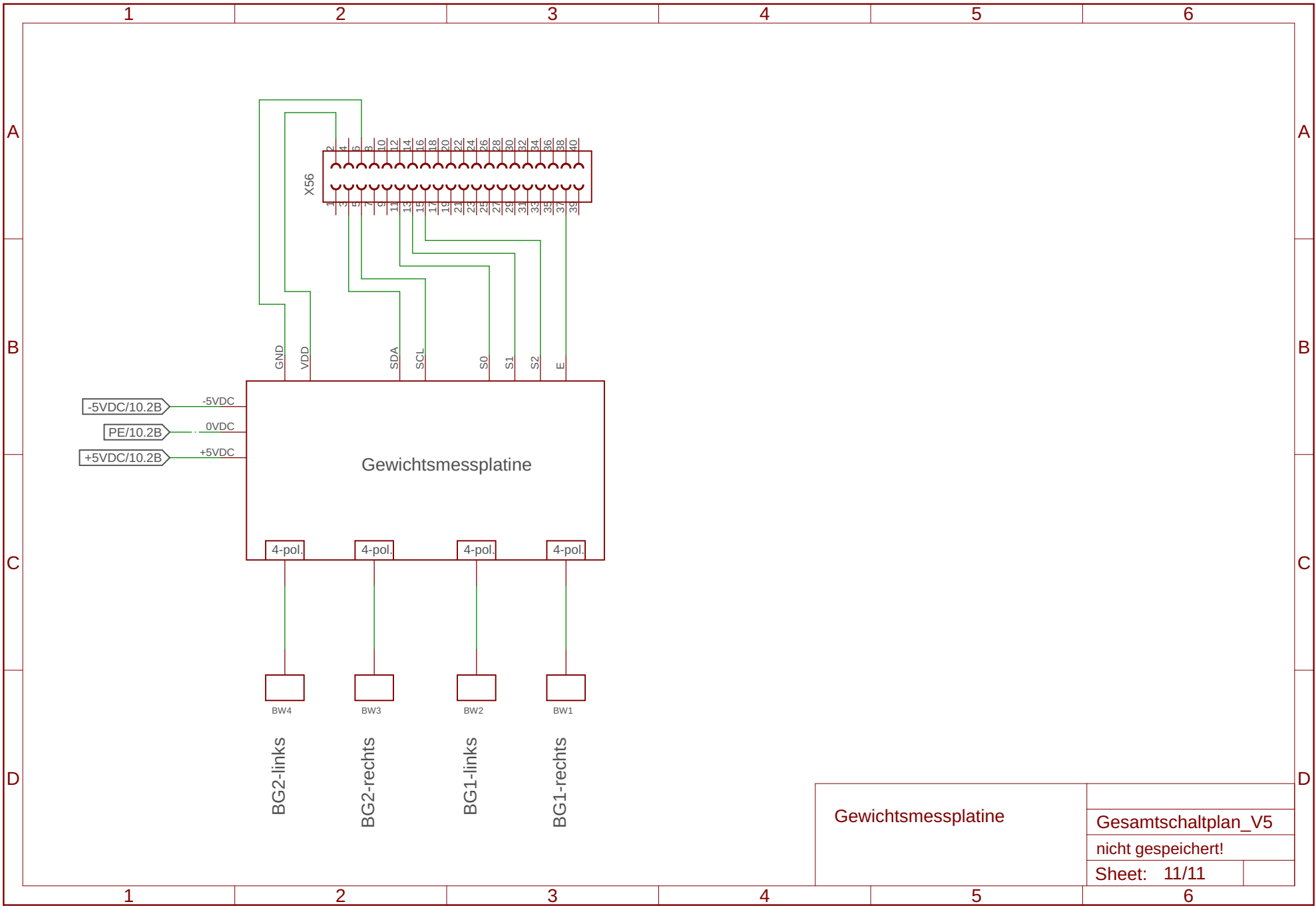












Gewichtsmessplatine	
	Gesamtschaltplan_V5
	nicht gespeichert!
	Sheet: 11/11

## 9.2 Hydraulikplan

