

Technische Universität Graz  
Dekanat für Elektrotechnik  
Institut für Elektronik

# **Entwicklung einer Weichensimulation**

**Masterarbeit**  
**von**  
**Gernot Stradner, BSc**

ausgeführt am  
Institut für Elektronik  
der Technischen Universität Graz  
Leiter: Univ.-Prof. DI Dr. techn. Wolfgang Pribyl  
von  
Gernot Stradner; F033235 / 0630468

Betreuer Universität:  
Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gunter Winkler  
  
Betreuer voestalpine HYTRONICS GmbH:  
Ing. Georg Sostaric  
Dipl. Ing. (FH) Dieter Steiner

Zeltweg, Dezember 2011

## Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, im Februar 2012

.....

## Danksagung

Hiermit möchte ich mich in erster Linie bei der voestalpine HYTRONICS GmbH, für die zur Verfügungsstellung aller benötigten Dokumente und der finanziellen Mittel bedanken.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Kollegen in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung der voestalpine HYTRONICS GmbH bedanken.

Ein ganz besonderer Dank gilt dabei den Betreuern meiner Arbeit, Herrn Dipl. Ing. (FH) Dieter Steiner und Herrn Ing. Georg Sostaric, für ihre ständige Unterstützung im Laufe des gesamten Projekts.

Zusätzlich möchte ich meinen Kollegen im Hochspannungszeichensaal der TU Graz für deren Hilfe und Support bei technischen Fragen danken.

Einen weiteren Dank möchte ich meiner Freundin Veronika Reumüller für ihre Geduld und Unterstützung aussprechen, da sie mir immer zur Seite stand und vollstes Verständnis in den arbeitsintensiven Wochen und Monaten zeigte.

## Kurzfassung

Die Masterarbeit behandelt die Entwicklung einer Weichensimulation.

In den ersten Kapiteln wird erklärt, aus welchen Kernkomponenten eine Eisenbahnweiche besteht, und wie diese funktioniert.

Dabei wird unter anderem genauer auf das System HYDROSTAR<sup>®</sup> ZV, welches ein vollständig gekapseltes und auf linearer Basis arbeitendes hydraulisches Weichenstellsystem ist, eingegangen.

Diese Weiche wurde genau auf ihre Umschaltzeitpunkte in den einzelnen Überwachungsebenen vermessen und die Ergebnisse ausgewertet.

Auf Grundlage der Messergebnisse wurde eine Weichensimulation entwickelt. Dabei wählte man einen modularen Aufbau, mit welchem es möglich ist, jede Überwachungsebene einzeln zu simulieren. In Zusammenschaltung mehrerer Ebenen, kann eine gesamte Weiche simuliert werden.

Dabei beschreibt die Masterarbeit die Entwicklung der einzelnen Platinen und aller Komponenten die notwendig waren um das System aufzubauen.

Kernelement der Simulationseinrichtung ist ein Mikrocontroller.

Daher wird dessen Einbindung und Programmierung genauso erklärt, wie auch die mechanische Bearbeitung der einzelnen Gehäuseteile.

Mit den fertigen Modulen sollten nun Peripheriegeräte, welche an die Simulation angeschlossen werden, keinen Unterschied merken, ob sie nun an einer echten Weiche oder an der Weichensimulation angeschlossen sind.

## Abstract

The master thesis deals with the development of a simulation tool for turnouts. The first chapters explain the main components of a turnout and the mode of operation.

Especially considered is the setting system HYDROSTAR<sup>®</sup> ZV which is a fully encapsulated solution and works hydraulically, based on a linear principle.

This system was measured for its switching times at the several detecting and setting points and the results were evaluated.

Based on the measurement results a simulation tool was developed. A modular structure was chosen which enables the simulation of each individual monitoring level.

Therefore, a complete turnout with several locking positions could be simulated, interconnecting multiple levels.

This master thesis describes the development of the individually printed circuit boards and all the components that were necessary to replicate the whole turnout system.

The core element of the simulation device is a microcontroller. Its integration and programming as well as the mechanical treatment of the individual housing parts are explained in this thesis.

Applying the completed modules, peripherals that are connected to the simulation device should no longer notice any difference whether they are linked to a real turnout or to the simulation.

## Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung.....	2
Danksagung .....	3
Kurzfassung.....	4
Abstract .....	5
Inhaltsverzeichnis .....	6
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>12</b>
1.1 Die Weiche .....	12
1.2 Aufgaben von Weichen .....	13
1.3 Arten von Weichen .....	13
1.3.1 Einfache Weichen.....	13
1.3.2 Kreuzungen und Kreuzungsweichen .....	14
1.3.3 Bogenweichen .....	14
1.3.4 Scheitelklothoidenweichen .....	14
1.3.5 Weichen mit beweglichem Herzstück .....	14
1.3.6 Weitere Weichentypen.....	15
1.4 Aufbau und Hauptkomponenten einer Weiche .....	15
1.4.1 Weichenzunge .....	16
1.4.2 Backenschiene .....	16
1.4.3 Herzstück.....	16
1.4.4 Radlenker .....	17
1.4.5 Schwellen .....	17
1.4.6 Gleitstuhl.....	18
1.4.7 Weichenverschluss.....	18
1.5 Wichtige Begriffe .....	18
1.5.1 Weiche zur Fahrt nach rechts.....	19
1.5.2 Weiche zur Fahrt nach links .....	19
1.5.3 Umstellung.....	19
1.5.4 Auffahrung .....	19
1.5.5 Klinkprobe.....	20

1.5.6	Ordnungsstellung der Weichenschalter .....	20
1.5.7	Schräge Kontaktbrücke .....	20
1.5.8	Stellwerk .....	21
2	HYDROSTAR® ZV .....	22
2.1	Hydraulischer Weichenantrieb .....	22
2.1.1	Hydraulischer Weichenantrieb allgemein .....	22
2.1.2	Vorteile von hydraulischen Weichenantrieben .....	23
2.2	Aufbau des Gesamtsystems HYDROSTAR® ZV .....	23
2.2.1	Lageschalter Schaltbau S800 .....	24
2.2.2	Nomenklatur im Eisenbahnwesen .....	25
2.2.3	Spitzenverschluss SpV .....	26
2.2.4	Verbindungsstange VS .....	28
2.2.5	Innenliegender Endlagenprüfer IE2010 .....	30
2.3	Funktion des Gesamtsystems .....	33
2.3.1	Zusammenschaltung der Einzelkomponenten .....	33
2.3.2	Wirkungsweise in Verbindung mit Stellwerk .....	35
3	Vorgangsweise .....	40
3.1	Gliederung der einzelnen Arbeitsschritte .....	40
3.1.1	Erstellung eines Lasten- und Pflichtenhefts .....	40
3.1.2	Messungen an der Weiche .....	40
3.1.3	Messung der Schnappschalter und Wahl der Schaltelemente .....	40
3.1.4	Aufbau eines Prototyps .....	41
3.1.5	Erstellung des Slave-Moduls .....	41
3.1.6	Mechanischer Aufbau .....	41
3.1.1	Programm in C .....	42
4	Messungen an der Weiche .....	43
4.1	Aufnahme der Funktionsweise der Schalter .....	43
4.2	Messaufbau und Anordnung an den einzelnen Überwachungsebenen .....	43
4.2.1	Messaufbau allgemein .....	43
4.2.2	Aufbau bei Spitzenverschluss (SpV): .....	44
4.2.3	Aufbau bei Verbindungsstange (VS): .....	47
4.2.4	Aufbau bei IE 2010 .....	49

4.3	Erwartetes Schaltverhalten.....	52
4.4	Gemessenes Schaltverhalten.....	53
4.4.1	Verwendete Messgeräte und belegte Kanäle des Transienten-Recorders 54	
4.4.2	Aufzeichnung bei Umstellung von linker in rechte Endlage.....	56
4.4.3	Aufzeichnung bei Umstellung von rechter in linke Endlage.....	61
4.4.4	Messung Störungen.....	65
4.4.5	Referenzmessung mit Oszilloskop .....	68
5	Messung der Schnappschalter und Wahl der Schaltelemente .....	72
5.1	Messung der Schnappschalter .....	72
5.2	Wahl der Schaltelemente der Weichensimulation .....	74
5.2.1	Vor- und Nachteile von Halbleiterrelais gegenüber elektromechanischen Relais 74	
5.2.2	Entscheidung über die Wahl der Schaltelemente .....	75
5.3	Wechselstromrelais .....	75
5.3.1	Messung der Verzögerungszeiten .....	76
5.3.2	Messung an 400VAC.....	77
5.4	Gleichstromrelais.....	80
5.4.1	Messung der Verzögerungszeiten .....	80
5.4.2	Messung an 144VDC.....	82
5.5	Verhalten an der Spule.....	83
5.5.1	Messung Wechselspannungsrelais: .....	84
6	Aufbau des Prototyps .....	85
6.1	Aufbau und Funktion des ersten Prototyps.....	85
6.1.1	Elektronische Komponenten.....	85
6.2	Aufbau und Funktion des zweiten Prototyps .....	88
6.2.1	ElektronischeKomponenten.....	88
7	Erstellung des Slave-Moduls .....	90
7.1	Aufbau des Slave-Moduls.....	90
7.2	EMV Schutz.....	91
7.2.1	Erwartete Störungen.....	91
7.2.2	Maßnahmen gegen galvanische Kopplung .....	92

7.2.3	Maßnahmen gegen induktive Kopplung .....	93
7.2.4	Maßnahmen gegen kapazitive Kopplung .....	93
7.2.5	Layout Maßnahmen .....	95
7.2.6	Verwendete Entstörbauteile .....	95
7.3	Aufbau der Steuereinheit .....	96
7.3.1	Aufbau Platine 1 .....	96
7.3.2	Funktion Platine 1 .....	97
7.3.3	Aufbau und Layout der Platine 2 .....	104
7.3.4	Funktion Platine 2 .....	104
7.3.5	Aufbau und Layout der Platine 3 .....	110
7.3.6	Funktion Platine 3 .....	110
7.4	Aufbau der AC- und DC-Module .....	112
7.4.1	Aufbau und Layout der Platine AC-Modul .....	112
7.4.2	Funktion der Platine AC-Modul .....	113
7.4.3	LEDs zur Zustandsanzeige: .....	117
7.4.4	Aufbau und Layout der Platine DC-Modul .....	117
7.4.5	Funktion der Platine DC-Modul .....	118
8	Mechanischer Aufbau der Slave Module .....	119
8.1	Bearbeitung beim Slave-Modul .....	119
8.1.1	Bearbeitung der Vorderseite des Unterteils .....	119
8.1.2	Bearbeitung der Hinterseite des Unterteils .....	120
8.1.3	Bearbeitung der Stirnseiten des Unterteils .....	120
8.1.4	Bearbeitung der Bodenseite des Unterteils .....	120
8.1.5	Bearbeitung der Deckfläche des Oberteils .....	120
8.1.6	Beschriftung des Gehäuses .....	121
8.2	Fertigung des Befestigungsbleches .....	122
8.3	Bearbeitung des AC-Moduls und des DC-Moduls .....	122
8.3.1	Bearbeitung der Unterseite .....	122
8.3.2	Bearbeitung der Stirnseiten .....	123
8.3.3	Bearbeitung der Vorderseite .....	123
8.3.4	Bearbeitung der Oberseite .....	123
8.3.5	Beschriftung der Oberseite .....	123
8.3.6	Zusammenbau des AC- und DC-Moduls .....	124
8.4	Zusammenbau des Slave-Moduls .....	125

9	Programm in C .....	128
9.1	„timer“ .....	128
9.2	Displayroutine .....	129
9.3	State machine .....	130
9.3.1	Startup .....	130
9.3.2	State0 .....	130
9.3.3	State1 bis n .....	130
9.3.4	Modell der State machine .....	131
10	Zukunftsaussichten und aktueller Stand .....	132
10.1	Aktueller Stand .....	132
10.2	Zukunftsaussichten .....	132
	Literaturverzeichnis .....	133
	Abbildungsverzeichnis .....	136
	Tabellenverzeichnis .....	139
	Diagrammverzeichnis .....	141
	Formelverzeichnis .....	141
	Anhang 1 Unterseite Slave -Modul .....	142
	Anhang 2 Oberseite Slave -Modul .....	143
	Anhang 3 AC- Modul .....	144
	Anhang 4 DC-Modul .....	145
	Anhang 5 Befestigungsblech .....	146
	Anhang 6 Schaltplan Platine 1 .....	147
	Anhang 7 Schaltplan Platine 2 .....	148
	Anhang 8 Schaltplan Platine 3 .....	149

Anhang 9 Schaltplan AC -Modul.....	150
Anhang 10 Schaltplan DC -Modul .....	151
Anhang 11 Layout Platine 1 Originalgröße .....	152
Anhang 12 Layout Platine 2 Originalgröße .....	152
Anhang 13 Layout Platine 3 Originalgröße .....	153
Anhang 14 Layout Platine AC-Modul Originalgröße .....	153
Anhang 15 Layout Platine DC-Modul Originalgröße .....	154

## 1 Einleitung

Um dem Leser einen Überblick über das System Weiche geben zu können, beschäftigt sich das erste Kapitel hauptsächlich mit dem allgemeinen Aufbau von Weichen und deren wichtigsten Hauptkomponenten. Dabei wird dargestellt, wie eine Weiche allgemein aufgebaut ist, welche Arten von Weichen es gibt und welche speziellen Aufgaben die bestimmten Kernelemente übernehmen.

### 1.1 Die Weiche

Weichen sind Oberbaukonstruktionen und nehmen im Eisenbahnverkehrswesen eine besondere Stellung ein. Sie dienen der Zusammenführung und der Teilung von einzelnen Gleisen und sind notwendig für die Bildung von Eisenbahnnetzen.

Die ersten Weichen wurden Ende des 18. Jahrhunderts gebaut. Es waren hauptsächlich gusseiserne Winkelschienenweichen, welche im Kohlebergbau eingesetzt wurden und meist von Nutztieren oder auch von Menschenhand in die gewünschte Lage gezogen wurden. Im Jahr 1832 wurde erstmals ein Patent über eine Eisenbahnweiche erwähnt. Erfinder beziehungsweise Patenhalter war Sir Charles Fox aus England.

Bevor Eisenbahnweichen genutzt wurden, war der Begriff Weiche für eine Ausweichstelle im Flussschiffsverkehr reserviert.

Wenn man in der Literatur nach genauen Begriffsbezeichnungen sucht, trifft man auf unterschiedliche Definitionen, welche aber allesamt die gleiche Bedeutung haben.

Folgend sollen einige Definitionen aus Büchern oder Onlinemedien die obige Begriffserklärung noch etwas genauer definieren:

„Weichen nehmen bei der Eisenbahn eine besondere Stellung ein; sie sind die Voraussetzung für die Netzbildung, d.h. für das Verzweigen und Zusammenführen von Gleisen. Die Leistungsfähigkeit und Fahrgeschwindigkeit einer Eisenbahn wird von der Anzahl und Form von Weichen wesentlich beeinflusst. Die Konstruktion von Weichen ist um ein Vielfaches aufwendiger als jene des Gleisrostes.“ [10]

„Eisenbahnweichen sind Gleiskonstruktionen, die Schienenfahrzeugen den Übergang von einem Gleis auf ein anderes ohne Fahrtunterbrechung ermöglichen.“ [27]

„Weichen sind Oberbaukonstruktionen, die Schienenfahrzeugen den Übergang von einem Gleis auf ein anderes ohne Unterbrechung der Fahrt ermöglichen.“ [7]

## 1.2 Aufgaben von Weichen

Wie schon aus dem vorherigen Kapitel zu entnehmen ist, sind die Hauptaufgaben von Weichen ganz klar definiert und können in folgenden Punkten zusammengefasst werden.

- Weichen ermöglichen die unterbrechungsfreie Fahrt von einem Gleis in das andere. [10]
- Sie sind Durchschneidungen oder Kreuzungen von mindestens zwei Gleisen. [10]
- Weichen sind passive Fahrbahnelemente, deren Lage von außen überwacht wird, und die durch von außen wirkende Kräfte umgestellt werden. [27]

Allgemein ist nicht viel mehr zu den Aufgaben und dem geschichtlichen Hintergrund zu sagen. Der Aufbau und die Arten der Weichen werden in den folgenden Kapiteln behandelt.

## 1.3 Arten von Weichen

Grundsätzlich gibt es verschiedene Arten von Weichen, welche in diesem Kapitel kurz beschrieben werden.

Es wird bei der Beschreibung hauptsächlich auf das Buch „Handbuch Gleis“, welches im Literaturverzeichnis an erster Stelle aufgelistet ist, referenziert.

Folgende Arten sind in der mitteleuropäischen Eisenbahntechnik gebräuchlich:

- Einfache Weichen
- Kreuzungen und Kreuzungsweichen
- Bogenweichen
- Scheitelklothoidenweichen
- Weichen mit beweglichem Herzstück

### 1.3.1 Einfache Weichen

Von einer einfachen Weiche spricht man, wenn aus einem geraden Stammgleis, ein Zweiggleis abzweigt. Genau genommen kann diese Weiche noch als gerade Weiche bezeichnet werden. Diese Art macht eigentlich den Löwenanteil aller Weichen weltweit aus.

Hervorzuheben ist noch die Tatsache, dass man entweder von linken oder von rechten Weichen spricht. Um zu definieren, ob es sich um eine linke, oder um eine rechte handelt, sollte man am Anfang der Weiche, sprich der Weichenspitze stehen und seinen Blick in Richtung des Weichenherzes richten. Zweigt die Weiche nach links ab, ist die Rede von einer einfachen Linksweiche. Wenn die Abbiegung nach rechts geneigt ist, spricht man von einer Rechtsweiche. [7], [10], [27]

### 1.3.2 Kreuzungen und Kreuzungsweichen

Bei einer einfachen Kreuzung handelt es sich um eine Überschneidung von zwei Gleisen, bei welcher es nicht möglich ist, die Richtung der über die Kreuzung fahrenden Fahrzeuge zu ändern.

Bei einer Kreuzungsweiche handelt es sich um eine modifizierte Kreuzung, welche es ermöglicht mindestens in eine Richtung das Gleis zu wechseln. Hierbei wird grundlegend zwischen einfachen und doppelten Kreuzungsweichen unterschieden.

Die einfachen Kreuzungsweichen ermöglichen nur den Übergang von einem Gleis in ein anderes. Bei einfachen bestehen daher drei verschiedene Fahrtmöglichkeiten. Bei den doppelten Kreuzungsweichen bestehen statt drei, vier verschiedene Fahrtmöglichkeiten. Es werden in beide Richtungen Übergänge ermöglicht. [7], [10], [27]

### 1.3.3 Bogenweichen

Diese sind im Prinzip ähnlich ausgeführt wie die einfachen Weichen, mit dem Unterschied, dass das Stammgleis einen Bogen macht. Auch das Zweiggleis ist meist gekrümmt oder gebogen, weshalb man auch wieder genauer zwischen einer Innenbogen und einer Außenbogenweiche unterscheiden kann. [10], [27]

### 1.3.4 Scheitelklothoidenweichen

Diese sind eine Sonderbauform einer Weiche. Der Name ist auf die geometrische Form der abzweigenden Weiche zurückzuführen, welche einem klothoidischen Verlauf hat, um die Fahrdynamik zu verbessern und so den Komfort in Personenwaggons zu steigern. [10], [27]

### 1.3.5 Weichen mit beweglichem Herzstück

Auch diese Art von Weiche ist eine Sonderform und wird auch meist bei Hochgeschwindigkeitsstrecken oder Schwerlaststrecken eingesetzt. Bei einfachen Herzstücken wird der Radsatz kurzfristig nicht seitlich geführt und daher die Führung von Radlenkern übernommen. Dies kann aber zu kurzen, jedoch sehr starken Schlägen führen, wodurch der Komfort stark eingeschränkt wird. Findet man nun jedoch ein bewegliches Herz vor, werden diese Lücken geschlossen. Die bewegliche Herzspitze dient nun der seitlichen Führung und für gewöhnlich ist es nicht mehr nötig einen Radlenker einzusetzen. Dadurch werden die als äußerst störend empfundenen Schläge vermieden oder zumindest sehr stark reduziert. [7], [10], [27]

### 1.3.6 Weitere Weichentypen

Es gibt neben den soeben erwähnten Weichenarten auch noch weitere Typen, die hier noch kurz erwähnt werden, denen aber weiter keine Beachtung geschenkt wird. Diese sind unter anderem: [10], [27]

- Rückfallweiche
- Sandweiche
- Schleppweiche
- Zungenlose Weiche
- usw.

### 1.4 Aufbau und Hauptkomponenten einer Weiche

Der grundsätzliche Aufbau einer herkömmlichen Weiche wird in der folgenden Abbildung beschrieben. Sie setzt sich dabei aus den folgenden Kernkomponenten, welche, um ein bestimmtes Grundverständnis zu erhalten, noch etwas genauer beschrieben werden, zusammen:

- Zunge
- Backenschiene
- Herzstück
- Radlenker
- Schwellen
- Gleitstuhl
- Weichenverschluss

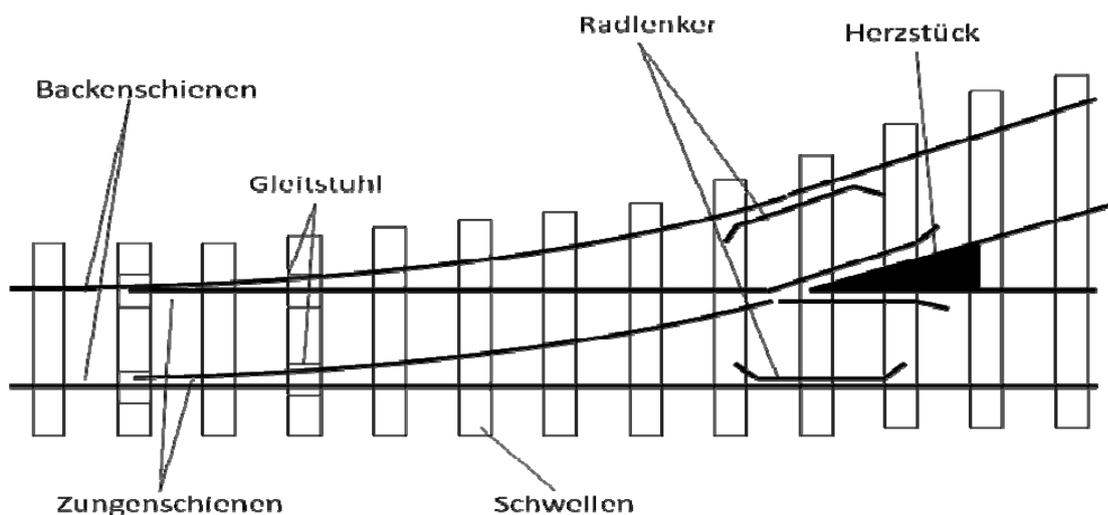


Abbildung 1.4.1 Weiche allgemein (rechte Endlage)

### 1.4.1 Weichenzunge

Die Zunge ist ein Teil der gesamten Zungenvorrichtung. Die Zungenvorrichtung beinhaltet die Backenschiene sowie die Weichenzunge. Die Zunge selbst ist dabei der bewegliche Teil der Vorrichtung. Sie ist auf den Gleitstühlen gelagert, was für bessere Gleiteigenschaften sorgt. Angetrieben wird die Zunge vom Weichenantrieb, welcher meist vom Stellwerk aus ferngesteuert wird. Die Weichenzunge gleitet zwischen den Backenschienen hin und her und steuert damit die Fahrtrichtung des Schienenfahrzeugs. Es wird zwischen einer rechten und einer linken Endlage unterschieden, was etwas später in der Einleitung noch genauer definiert wird.

Die Zungen sowie auch die Backenschiene sind speziell bearbeitet, sodass es der Zunge in Endlage ermöglicht wird, an der Spitze, teilweise unter der Backenschiene anzuliegen. Somit sollte für eine harmonische Überfahrt gesorgt werden, sodass keine Schläge und Stöße zu verspüren sind.

Wenn die Zunge nicht nahe genug an der Backenschiene anliegt, könnte dies unter Umständen zu einer Entgleisung führen.

Bei den Zungen wird wieder zwischen verschiedenen Bauarten unterschieden. Hierbei gibt es vier verschiedene Arten, welche vollständigshalber noch aufgezählt werden sollten. „Dies wären:

- Gelenkzungen
- Federzungen
- Federzungen ohne Zungenplatten
- und Federschienenzungen“ [7], [10], [27]

### 1.4.2 Backenschiene

Der feststehende Teil der Zungenvorrichtung wird Backenschiene genannt. In Endlage liegt immer eine Zungenschiene an ihr an, beziehungsweise leicht unterhalb um eine kontinuierlichere Überfahrt zu ermöglichen. Der abliegende Teil der Backenschiene dient immer als Fahrtschiene. Die anliegende Hälfte dient der Zungenschiene als Anlage und Stabilisation nach außen. [7], [10], [27]

### 1.4.3 Herzstück

Dieses befindet sich genau am Teilungspunkt der beiden Gleisstränge. Dieser Teil unterbricht den ansonsten geschlossenen Schienenverlauf mit einer kurzen Lücke, um es den Radsätzen zu ermöglichen, in den abzweigenden Strang zu fahren. Um eine bessere Fahrdynamik zu erwirken, gibt es auch bewegliche Herzspitzen. Diese werden aber meist in Hochgeschwindigkeitsweichen verbaut. Dabei wird die Herzspitze auf ähnliche Weise wie die Weichenzunge gestellt, sodass die Überfahrt

ohne Lücke möglich ist. [7], [10], [27]

Bei den Herzstücken kann daher wieder zwischen verschiedenen Arten unterschieden werden. Diese werden auch hier wieder vollständigshalber angeführt. Die verschiedenen Arten wurden wieder dem Buch „Handbuch Gleis“ entnommen:

„Herzstücke mit Fahrkantenunterbrechung:

- Schienenherzstück
- Teilblockherzstück
- Monoblockherzstück

Herzstücke ohne Fahrkantenunterbrechung:

- Herzstück mit beweglicher Spitze
- Herzstück mit beweglicher Flügelschiene und in
- Herzstück mit Keilverschlossener Rille“ ([10], S 338)“

#### 1.4.4 *Radlenker*

Die Radlenker befinden sich auf Höhe der Herzstücke an den Schienen gegenüber den Herzen. Ihre Aufgabe ist es, für die fehlende Radführung im Bereich der Lücke der Herzspitzen zu sorgen. Damit soll gewährleistet werden, dass der Radsatz der Triebfahrzeuge oder der Waggonen nicht gegen die Herzspitze prallen und diese beschädigen kann. [10], [27]

#### 1.4.5 *Schwellen*

Schwellen werden in der heutigen Zeit vorwiegend als Stahlbeton gefertigt. Früher wurden diese meist aus Holz gefertigt. Da die Stahlbetonschwellen aber zahlreiche Vorteile gegenüber den Holzschwellen aufweisen, verdrängen sie bei Neubaustrecken ihr hölzernes Pendant immer mehr. In manchen Fällen werden auch noch Stahlschwellen eingesetzt. Dieser Anwendungsfall ist aber mittlerweile selten geworden. Weiters gibt es auch noch Hohlschwellen aus Stahl, welche in der Weichentechnik eingesetzt werden und die diversen technischen Komponenten aufnehmen.

Die Aufgabe von Schwellen im Eisenbahnbereich ist sehr vielfältig. Sie dienen in erster Linie dazu die Spurweite herzustellen und dafür zu sorgen, dass diese beibehalten wird. Dabei halten sie die Schienen fest und sichern damit auch den Fahrweg. Des Weiteren sind sie dafür verantwortlich, die bei einer Überfahrt entstehenden Kräfte aufzunehmen und an das darunterliegende Schotterbett weiterzuleiten. Durch die verschiedenen Bauweisen und ihre Einbettung in den Fahrbahnschotter dämpfen sie entstehende Schwingungen der Schienen und

verringern den Einfluss von Schall, welcher von den meisten Menschen als sehr störend empfunden wird. [10]

#### 1.4.6 *Gleitstuhl*

Der Gleitstuhl dient der Lagerung der Weichenzunge. Auf ihm kann die Weichenzunge bei einer Umstellung von einer Endlage in die andere gleiten. Das Problem dabei ist meist, dass die Gleitstühle mit Schmierfetten oder Ähnlichem behandelt wurden, und diese Schmiermittel unter freiem Himmel stark dem Wetter ausgesetzt sind. Daher müssen diese in sehr geringen Wartungsintervallen manuell nachgeschmiert werden. Als Alternative gibt es allerdings Vorrichtungen mit Rollen oder einer speziellen Beschichtung. Diese sind immer mehr im Kommen, haben sich aber noch lange nicht zur Gänze durchgesetzt. [10], [27]

#### 1.4.7 *Weichenverschluss*

Der Weichenverschluss ist in der Überblicksgrafik zwar nicht dargestellt, ist aber ein ganz entscheidendes Bauteil in der Weichentechnik. Der Weichenverschluss hat die wichtige Aufgabe, die Weichen in ihrer erreichten Endlage festzuhalten. Dabei wird die anliegende Zunge an der Backenschiene fixiert. Somit wird sichergestellt, dass die Weiche nicht durch Schläge, welche von den Radsätzen herrühren, aus ihrer Endlage gehoben wird und es somit zu einer Entgleisung kommt. Da der Verschluss meist mit dem Antrieb in Verbindung steht, ist er auch für die Umstellung mitverantwortlich. Es gibt auch wieder verschiedene Typen von Weichenverschlüssen. Die wichtigsten wären unter anderem der Hakenverschluss sowie der Klammerverschluss. Des Weiteren gibt es auch noch den Innenverschluss. Mit diesen drei Arten sind eigentlich die Hauptarten von Verschlüssen abgedeckt. [7], [10], [27]

### 1.5 **Wichtige Begriffe**

Da in den vorherigen Punkten schon einige Begriffe erwähnt wurden, welche dem Laien vielleicht etwas fremd erscheinen, und in den Folgekapiteln auch noch weitere Begriffe verwendet werden, sollte diese für das allgemeine Verständnis in diesem Unterpunkt ein wenig genauer erklärt werden.

### 1.5.1 *Weiche zur Fahrt nach rechts*

Eine Weiche steht zur Fahrt nach rechts, wenn das Schienenfahrzeug bei einer Überfahrt über die Weiche in den rechten Strang abbiegt. Dabei wird die Weiche immer von der Zungenspitze aus mit Blickrichtung Weichenherz betrachtet. Die Lage kann auch mit einem Blick auf die Weichenzunge definiert werden. Liegt die Weichenzunge links an der Backenschiene an und ist an der rechten Backenschiene abliegend, ist die Weiche zur Fahrt nach rechts gestellt. Des Weiteren sind für diese Lage der Zunge noch andere Begriffe zulässig. In dieser Dokumentation wird aber ausschließlich die Bezeichnung „Weiche steht zur Fahrt nach rechts“ oder „rechte Endlage“ gewählt, um weitere Verwirrung zu vermeiden.

### 1.5.2 *Weiche zur Fahrt nach links*

Die Endlage „Weiche steht zur Fahrt nach links“ ist das Gegenteil zur rechten Endlage. Auch für diese Weichenlage wird in diesem Dokument ausschließlich die Bezeichnung „Weiche steht zur Fahrt nach links“ oder „linke Endlage“ gewählt. Die Lage ist vorzufinden, wenn das Schienenfahrzeug bei einer Überfahrt der Weiche in den linken Strang abbiegt. Dabei wird links auch wieder an der Zungenspitze stehend mit Blickrichtung Weichenherz definiert. Weiters ist diese Endlage wieder über die Position der Weichenzunge definiert. Wenn die Weichenzunge rechts an der Backenschiene anliegt und die rechte Zungenschiene abliegend ist, so steht die Weiche zur Fahrt nach links.

### 1.5.3 *Umstellung*

Von einer Umstellung spricht man, wenn die Weiche von der Fahrt nach links zur Fahrt nach rechts gestellt wird oder eben auch umgekehrt. Die Umstellung wird im Regelfall von einem Stellwerk aus ferngesteuert vorgenommen und über verschiedene Systeme überwacht, auf welche teilweise später bei der Erklärung des Systems HYDROSTAR<sup>®</sup> eingegangen wird. Meist ist es auch möglich, die Weiche vor Ort manuell mit einer Kurbel oder einer Handpumpe umzustellen.

### 1.5.4 *Auffahrung*

Zu einer Auffahrung kommt es, wenn eine Weiche von einem Strang aus befahren wird, für dessen Durchfahrt diese nicht gestellt ist. Dabei wird vom Spurkranz eines Rades zuerst die abliegende Zunge weggedrückt. Durch die Schieberstange, welche ein Teil des Verschlusses ist, wird der Verschluss der anliegenden Zunge geöffnet

und diese dadurch für die Durchfahrt freigegeben. Da es bei bestimmten, nicht auffahrbaren Weichentypen während einer Auffahrung zu Beschädigungen kommen kann und dadurch die Sicherheit nicht mehr gegeben ist, darf eine solche aufgefahrene Weiche nicht mehr weiter befahren werden. Erst nach einer eingehenden Inspektion darf diese wieder für den Normalbetrieb freigegeben werden, sofern keine Beschädigungen festgestellt wurden.

#### 1.5.5 *Klinkprobe*

Eine Klinkprobe wird meist bei der Inbetriebnahme der Weiche durchgeführt. Sie dient dazu, den Verschluss und andere Komponenten, welche die Lage der Weichenzungen ermitteln, einzustellen. Dabei wird mit verschiedenen dicken Klinkeisen, jene Schwelle eingestellt ab welcher, der Verschluss verriegelt. Die Klinkeisen werden zwischen die Weichenzunge und die Backenschiene an einer genau definierten Position, meist auf Höhe der einzustellenden Komponente gehalten. Des Weiteren ist es möglich mit einer Klinkenprobe bei einer Umstellung einen Fremdkörper zu simulieren, sodass die Weiche nicht in Endlage kommt und im Stellwerk eine Störmeldung ausgegeben wird.

#### 1.5.6 *Ordnungsstellung der Weichenschalter*

Die in den Weichen eingesetzten Schalter sind je nach Weichenhersteller sehr unterschiedlich. In dem System HYDROSTAR<sup>®</sup> werden durchgehend in allen Komponenten zur Ermittlung und Detektion der Lage dieselben Endschalter eingesetzt. Dabei handelt es sich um die Schalter S800 der Firma Schaltbau. Diese verfügen über einen Öffnerkontakt und einen Schließerkontakt. Der Öffnerkontakt ist dabei zwangsöffnend ausgeführt. Näheres kann dabei dem Datenblatt des Schalters [21] entnommen werden. Die Ordnungslage oder Ordnungsstellung ist je nach Stellung der Weiche und je nach betrachteter Komponente verschieden. Es sind allerdings immer zwei Schalter, also vier Schaltkontakte, die für eine Ordnungslage sorgen. Welcher der beiden Schalter nun betätigt ist immer verschieden. Auf alle Fälle wird immer entweder der Kontakt 1-2 oder 3-4 geschlossen sein oder der Kontakt im anderen Schalter, also der Kontakt 11-12 oder 13-14.

#### 1.5.7 *Schräge Kontaktbrücke*

Eine schräge Kontaktbrücke sollte aufgrund der formschlüssigen Einbaulage der Kontaktschalter im Normalfall nicht möglich sein. Allerdings muss dieser Fall nach der Norm EN 50129 [15] im Sicherheitsnachweis betrachtet werden. Daher sollte es auch mit der Weichensimulation möglich sein, diese Schalterstellung zu simulieren. Aus diesem Grund wird diese Schalterstellung in diesem Punkt genauer erklärt.

Dabei sind die Schalter nicht wie in der Ordnungslage geschlossen, sondern es bestünde die Möglichkeit, dass die schräg gegenüberliegenden Kontakte eine leitende Verbindung miteinander eingehen.

Das würde bedeuten, dass im Schalter nicht die Öffnerkontakte 1-2 beziehungsweise 11-12 und auch nicht die Schließerkontakte 3-4 beziehungsweise 13-14 leitend miteinander verbunden sind, sondern ein Öffnerkontakt mit einem Schließerkontakt. Dies wären dann entweder 2-3 beziehungsweise 12-13 oder die Kontakte 1-4 beziehungsweise die Kontakte 11-14.

### 1.5.8 *Stellwerk*

Als Stellwerk wird eine Einrichtung bezeichnet, von welcher aus die Eisenbahnweichen ferngesteuert umgestellt werden. Dabei ist das Stellwerk nicht nur für die Umstellung selbst, sondern auch für die Überwachung zuständig.

Es gibt verschiedene Arten von Stellwerken. Dabei ist die Art des Stellwerks meist auch von der Zeit abhängig, in welcher es errichtet wurde.

Die ersten Stellwerke waren rein mechanische, gefolgt von elektromechanischen Stellwerken.

Die nächste Generation von Stellwerken waren die Relaisstellwerke, welche immer mehr von den elektronischen Stellwerken abgelöst werden.

Doch die Kernelemente von elektronischen Stellwerken sind noch immer Steuerbaugruppen welche vorwiegend aus Relaisgruppen bestehen und die Hauptaufgabe der Umstellung und Überwachung übernehmen. Dies hat hauptsächlich sicherheitstechnische Überlegungen als Grundlage. Jedoch wird die Umstellung selbst elektronisch eingeleitet und auch überwacht.

Doch die für eine Umstellung ausschlaggebenden Komponenten sind noch immer Relais in den Weichenstellteilen. Die wichtigsten werden im Kapitel 2 noch genauer erklärt, um den Umstellvorgang einer HYDROSTAR<sup>®</sup>-Weiche besser verstehen zu können.

## 2 HYDROSTAR<sup>®</sup> ZV

Der HYDROSTAR<sup>®</sup> ZV ist ein hydraulisches Weichenantriebssystem, welches vollständig gekapselt und auf linearer Basis arbeitet [20]. Das Antriebssystem wird in diesem Kapitel genauer beschrieben, da es Grundlage für die vorliegende Diplomarbeit war, und die gesamte Weichensimulation auf Messdaten basiert, welche am HYDROSTAR<sup>®</sup> aufgenommen wurden. Dieser Absatz sollte keinesfalls eine Werbung sein, sondern nur ein grundlegendes Verständnis für die elektrischen Komponenten schaffen, welche bei dem Aufbau der Weichensimulation und der weiteren Dokumentation von Bedeutung sind.

### 2.1 Hydraulischer Weichenantrieb

#### 2.1.1 *Hydraulischer Weichenantrieb allgemein*

Der Grund für die Verwendung von hydraulischen Weichenantrieben liegt darin, dass es mit zunehmenden Geschwindigkeiten und daher immer länger und schwerer werdenden Weichen einfacher und unkomplizierter ist, diese zu stellen, anstatt der Verwendung von vielen Einzelantrieben, die teilweise auch noch mit mechanischen Gestängen arbeiten.

Durch die Vielzahl von Umstell-, Verriegelungs- und Überwachungspunkten, welche miteinander verbunden sind, kommt man bei konventionellen mechanischen Umstellsystemen bald an die Grenzen des Systems. Daher werden hydraulische Umstellsysteme eingesetzt, bei welchen die Gestänge durch hydraulische Stellsysteme ersetzt werden, welche miteinander über Hydraulikleitungen gekoppelt sind und von einem zentralen Stellteil aus gesteuert werden.[10]

Beim genauer betrachteten System, dem Hydrostar<sup>®</sup>-ZV, wird eine einzige Antriebseinheit von einem Stellwerk aus gesteuert und leitet die Stellkräfte auf hydraulischer Basis an die einzelnen Umstelleinheiten weiter. Diese sind mit gekapselten Verschlüssen kombiniert, welche zu einer formschlüssigen, mechanischen Verriegelung der Zungenschienen führen. [29]

Die Lage der Zungenschiene wird in erster Ebene von Schaltern im Spitzenverschluss, sowie in der Verbindungsstange überwacht. Zwischen weiteren Ebenen kommt dann meist ein Endlagenprüfer zum Einsatz, um die Lage der Zunge zu überwachen.

### 2.1.2 Vorteile von hydraulischen Weichenantrieben

Der Grund, weshalb solche Systeme vor allem im Hochgeschwindigkeitsbereich eingesetzt werden, ist vielseitig. Die wichtigsten Punkte sind aus dem Betriebshandbuch für den HYDROSTAR® ZV entnommen und werden kurz aufgelistet.

- Vollständige Ausrüstung einer Weiche durch einen Hersteller.[29]  
Dies ist in diesem Sinne vorteilhaft, da bei herkömmlichen Weichen die einzelnen Komponenten von verschiedenen Herstellern kommen, und daher erst aufwendig aneinander angepasst werden müssen.
- Hoher Sicherheitslevel durch mehrfachen Verschluss und Ausfalls offenbarung. [29]
- Aufgrund von mehreren Überwachungsebenen und der Tatsache dass jeder hydraulische Stellzylinder mit einem Verschluss kombiniert ist, wird ein sehr hoher Sicherheitslevel garantiert.
- Eine Antriebseinheit für eine Mehrzahl von Umstellpunkten. [29]
- Synchroner Umstellbewegung.[29]
- Modularer Aufbau. [29] (Aus diesem Grund wurde auch bei der Realisierung der Weichensimulation ein modularer Aufbau gewählt.)
- Geräuscharm bei der Umstellung und der Überfahrt (Schwingungen). [29]
- ...

Die aufgezählten Punkte sind nur ein Bruchteil aller Vorteile, welche durch ein solches System geboten werden. Doch auch noch die weiteren Punkte zu nennen, würde den Rahmen sprengen und ist in diesem Zusammenhang für das Erlangen eines Systemverständnisses nicht relevant.

## 2.2 Aufbau des Gesamtsystems HYDROSTAR® ZV

In diesem Punkt wird nur mehr auf die elektrischen Komponenten beziehungsweise die Lageschalter eingegangen, welche für spätere Messungen interessant sind. Die mechanische Funktion bleibt außen vor und ist nicht Teil dieser Arbeit.

Ein Gesamtsystem, so wie es im Gleisbereich eingebaut ist, wird in der folgenden Abbildung dargestellt. Dabei werden die mechanischen Komponenten, welche für die Umstellung verantwortlich sind beziehungsweise als Verschluss dienen, nicht mehr beschrieben. Sie sind zwar in der schematischen Darstellung noch vorhanden, um einen Überblick geben zu können, werden aber nicht mehr bezeichnet.

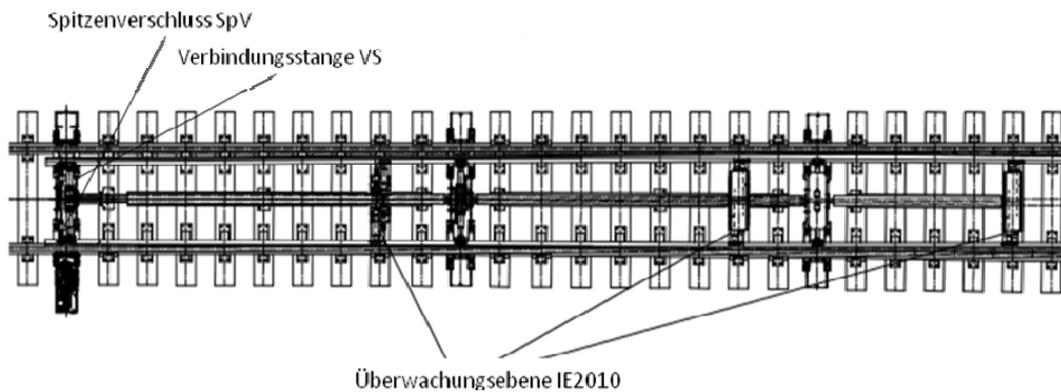


Abbildung 2.2.1: Draufsicht Weiche [7]

Die einzelnen elektrischen Komponenten, welche eingezeichnet sind, sind:

- Spitzenverschluss SpV
- Verbindungsstange VS
- Innenliegender Endlagenprüfer IE2010

Die einzelnen Komponenten werden in den nächsten Kapiteln noch eingehender beschrieben.

Der letzte IE2010, welcher in der oberen Abbildung dargestellt ist, dient in dieser Anwendung als Auffahrmeldeeinrichtung und wurde im Zuge des Projekts nicht untersucht.

Doch bevor man sich den einzelnen Baugruppen zur Lagedetektion widmet, sollte noch der verwendete Lageschalter der Firma Schaltbau kurz erläutert werden und auch die etwas fremd wirkende Nomenklatur.

### 2.2.1 Lageschalter Schaltbau S800

Es ist in allen Ebenen zur Lagedetektion der Weichenzunge der gleiche Schnappschalter verbaut. Dieser Schalter wird von der Firma Schaltbau produziert und enthält einen Öffner und einen Schließer.[21] Dabei ist der Öffnerkontakt zwangsöffnend ausgeführt. Das bedeutet, dass ein Verklemmen des Schalters in der Grundstellung nicht möglich ist und der Kontakt bei Betätigung immer öffnet. Der Schließerkontakt ist in diesem Fall nicht zwangsöffnend und es könnte unter Umständen zu einer Kontaktverschweißung kommen.

Der Schalter sieht wie folgt aus.



Abbildung 2.2.2: Schnappschalter [21]

Der Schalter weist eine Schutzklasse von IP40 auf und hat eine Lebensdauer von bis zu 10 Millionen Schaltspielen.[21]

### 2.2.2 Nomenklatur im Eisenbahnwesen

Da sich die Nomenklatur im Eisenbahnwesen etwas von der allseits bekannten Schreibweise der Schaltersymbole unterscheidet, wird auch noch die Schreibweise in diesem Kapitel erklärt.

- Zahlenbezeichnung für Öffner und Schließer:  
Die Bezeichnung bleibt in diesem Fall die gängige Methode. Der Öffnerkontakt wird mit den Nummern 1 und 2 gekennzeichnet. Der Schließerkontakt mit den Nummern 3 und 4.  
Ist ein Kontakt ein zweites Mal, im gleichen Einbauraum vorhanden, was in dieser Anwendung immer der Fall ist, wird bei den Kontakten des zweiten Schalters eine 1 vor die Kennzahl gesetzt. Daher sind auch Kontakten mit den Nummern 11, 12, 13 und 14 zu finden.
- Schaltersymbolik:  
Die Symbolik ist im Eisenbahnwesen jedoch unterschiedlich zu herkömmlichen Schaltplänen. Es wird grundsätzlich immer die vorliegende Schalterstellung eingezeichnet. Das heißt, sollte ein Öffner offen sein, wird dieser auch so gezeichnet. Das gleiche gilt in umgekehrter Weise für einen Schließer.  
Grundsätzlich wird dabei in Schaltplänen immer von rechter Endlage ausgegangen, das heißt die Schalter werden alle so gezeichnet, wie sie in der Stellung „Weiche zur Fahrt nach rechts“ betätigt wären. Ist man dann mit der anfangs etwas fremd wirkenden Symbolik besser vertraut, kann auf diese Weise direkt im Stromlaufplan der Stromfluss in der jeweiligen, vorherrschenden Endlage nachverfolgt werden.

Die Schaltsymbole für „Durchgang“ und „Schaltkontakt geöffnet“ sehen wie folgt aus.

- $\begin{array}{|c} 1 \\ \hline 2 \end{array}$  Öffner unbetätigt: Kontakt 1-2 geschlossen
- $\begin{array}{|c} 1 \\ \hline 2 \end{array}$  Öffner betätigt: Kontakt 1-2 unterbrochen
- $\begin{array}{|c} 3 \\ \hline 4 \end{array}$  Schließer unbetätigt: Kontakt 3-4 unterbrochen
- $\begin{array}{|c} 3 \\ \hline 4 \end{array}$  Schließer betätigt: Kontakt 3-4 geschlossen

Abbildung 2.2.3: Nomenklatur Schaltsymbole

### 2.2.3 Spitzenverschluss SpV

Der Spitzenverschluss befindet sich in vorderster Ebene der Weiche und ist in der Trogschwelle montiert. Hierbei handelt es sich um eine Stahltragschwelle, welche innen hohl ist, um die Technikkomponenten aufzunehmen. In der gleichen Schwelle sind neben dem Spitzenverschluss auch noch die Verbindungsstange und die Antriebseinheit verbaut.

Der Aufbau des Spitzenverschlusses ist in der folgenden Abbildung dargestellt und besteht aus mehreren mechanischen und elektrischen Funktionseinheiten.

Dies sind der hydraulische Stellzylinder, welcher für den Hub der Zungenschienen zwischen den Backenschienen sorgt, und die nach außen übertragenen Stellkräfte begrenzt. Über spezielle Ventile wird für einen Druckausgleich zwischen den einzelnen Verschlüssen der gesamten Anlage gesorgt. [18]

Eine weitere funktionelle Einheit ist der Verschluss, welcher für ein formschlüssiges Verriegeln der Zungenschienen in den Endlagen sorgt, und damit diese dort auch fixiert. [20]

Die dritte mechanische Haupteinheit ist der Zungenangriff. Seine Aufgabe ist es in erster Linie eine Verbindung zur beweglichen Zunge herzustellen. Des Weiteren hat der Zungenangriff eine mechanische Stützwirkung und sichert somit die anliegende und die abliegende Zunge. [20]

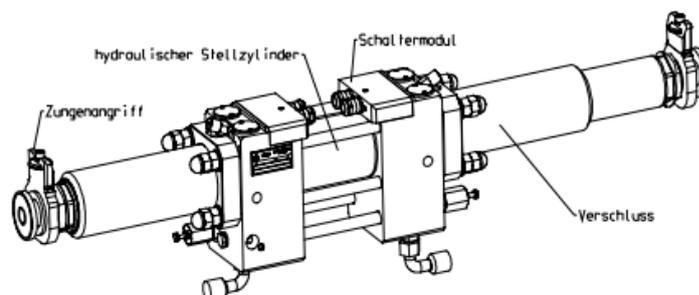


Abbildung 2.2.4: Umstelleinheit Spitzenverschluss [20]

Die Umstelleinheit Mittelverschluss, welche hier nicht weiter behandelt wird, ist funktionell komplett gleich aufgebaut, mit dem einzigen Unterschied, dass diese im Normalfall keine elektrische Verschlussüberwachung besitzt. Das heißt, das Schaltermodul, welches anschließend beschrieben wird, ist im Mittelverschluss nicht integriert.

Die elektrische Funktionseinheit im Spitzenverschluss ist das Schaltermodul. Es beinhaltet die schon beschriebenen S800 Schnappschalter und dient der Lagedetektion. Pro Spitzenverschluss sind zwei Schaltermodule präsent. Jedes Schaltermodul enthält wieder zwei Schalter, sodass sich in Summe eine Anzahl von vier Stück und acht Kontakten ergibt.

In der folgenden Abbildung wird noch etwas genauer gezeigt wie die Schalter im Modul verbaut sind.

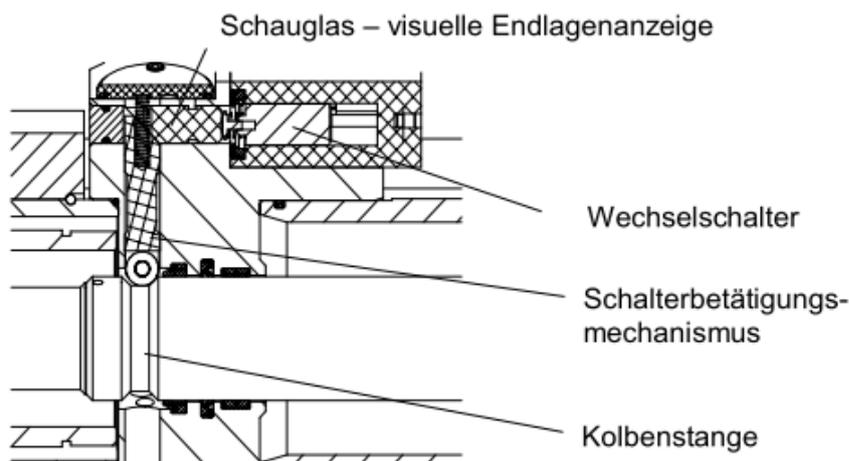


Abbildung 2.2.5: Zwangsöffnende Endlagenschalter im Spitzenverschluss [18]

Betätigt werden die genannten Schalter über zwei Betätigungsmechanismen, welche voneinander unabhängig sind, beziehungsweise wird jeder Schalter von einem eigenen Mechanismus, welcher strikt vom anderen getrennt ist, betätigt. In den Enden der Kolbenstange sind Nuten eingedreht. Ist ein Kolben der Umstelleinheit in Endlage, können die Stößel der Schalterbetätigung in die Nut einfallen und die Schalter werden entlastet. Wird die Kolbenstange wieder verschoben, werden die Schalter auch wieder betätigt. [20]

Um darstellen zu können, wie die Schaltermodule aufgebaut sind, werden diese nochmals separat mit dem für diese zuständigen Anschlussleitungen dargestellt. Die Schaltermodule werden in ein Schaltermodul AB und ein Schaltermodul CD unterteilt. Die Buchstaben A bis D bezeichnen jeweils einen Schnappschalter mit zwei

Kontakten. Da die beiden ident aufgebaut sind, werden diese mit unterschiedlichen Steckverbindungen kodiert, um ein falsches Stecken vermeiden zu können.

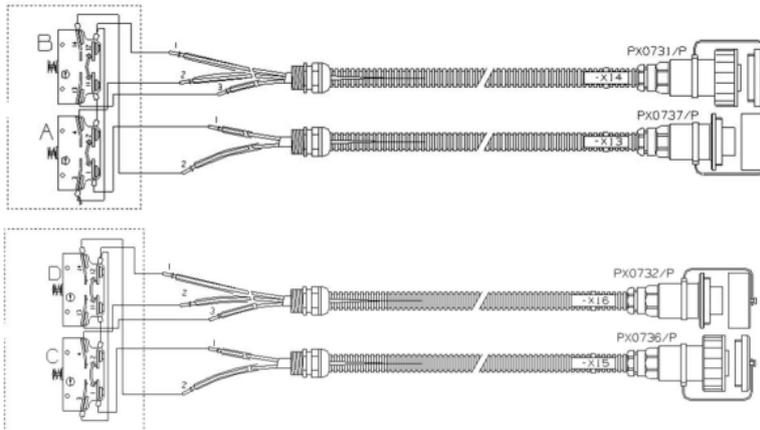


Abbildung 2.2.6: Kabelsätze der Schaltermodule AB sowie CD [20]

Die Aufgaben der beiden Schaltermodule sind aber unterschiedliche. Das Modul AB ist für die Überwachung in der rechten Endlage und das Modul CD für die Überwachung in der linken Endlage zuständig. In der Zeit einer Umstellung von der Fahrt nach rechts in die Fahrt nach links oder auch umgekehrt, sind sowohl AB als auch CD betätigt.

Um veranschaulichen zu können, wie die einzelnen Schaltkontakte zur Überwachung eingesetzt werden, ist ein Ausschnitt des Stromlaufplanes des HYDROSTAR®-ZV mit 4-Draht-Kaskadenschaltung dargestellt.

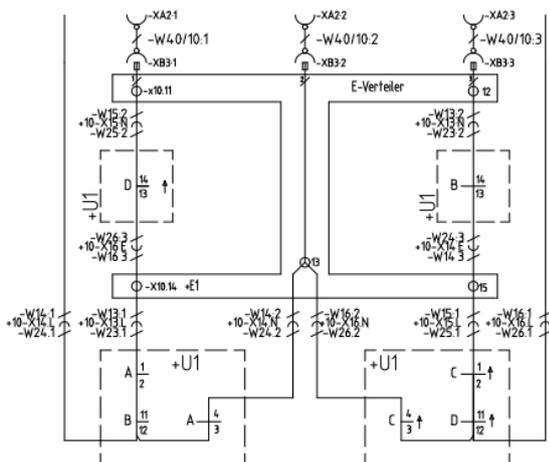


Abbildung 2.2.7: Schaltung des Spitzenverschlusses im HYDROSTAR® ZV [29]

### 2.2.4 Verbindungsstange VS

Die Verbindungsstange ist so wie auch der Spitzenverschluss in der ersten Trogschwelle auf Höhe der Zungenspitze lokalisiert. Ihre Aufgabe ist es, bei einem Bruch oder Versagen des Spitzenverschlusses, die mechanische Sicherung der

Zungenschiene zu übernehmen. Weiters liefert sie eine Lageinformation der einen Zungenschiene relativ zur anderen Zungenschiene.

Sollte nun wirklich der Fall eintreten, dass der Verschluss bricht, würde die Verbindungsstange die ungesicherte Zunge festhalten.

Somit ist ihre Aufgabe, die Rückfallebene für den Spitzenverschluss zu bilden und in weiterer Instanz übernimmt sie die Aufgabe eines Endlagenprüfers. [20]

Der mechanische Aufbau der Verbindungsstange ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

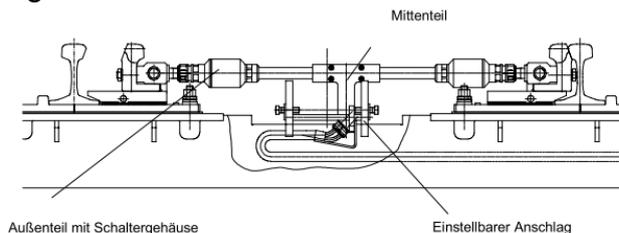


Abbildung 2.2.8: Verbindungsstange im Gleis [20]

Im markierten Schaltergehäuse, befinden sich wieder jeweils zwei S800 Schnappschalter. Dies ergibt in Summe wieder vier Schalter mit insgesamt acht Kontakten.

Durch die Schalter werden die Ausgleichswege der Stange überwacht.

Die Schalter sind am Mittenteil befestigt, und die Außenteile sind gegen den Mittenteil verschiebbar gelagert. Über eine Bewegung des Außenteils werden nun die Schalter betätigt.

Kommt es zu einer Umstellbewegung, wird die Stange auf ihre größte Länge auseinandergezogen und an einer Seite wieder bis zum mechanischen Anschlag und einer Schalterbetätigung zusammengeschoben. [20]

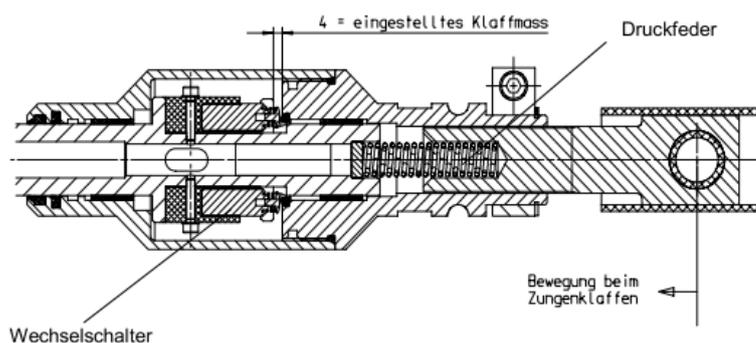


Abbildung 2.2.9: Schaltergehäuse Verbindungsstange [20]

Die Lokalisierung der einzelnen Schalter wird in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Kabelstecker sind wieder so gewählt, dass diese nirgendwo sonst angesteckt werden können und auch nicht miteinander vertauscht werden können. Somit wird wieder für eine Verwechslungssicherheit gesorgt.

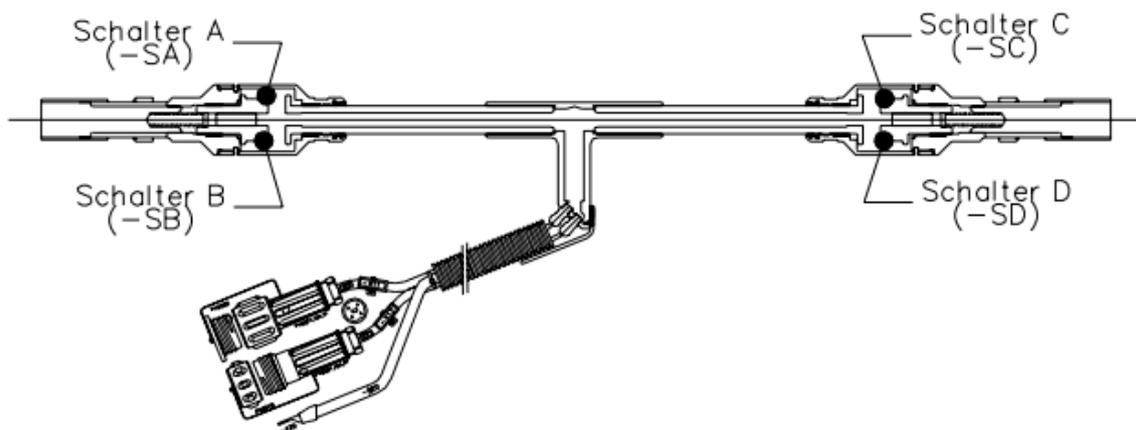


Abbildung 2.2.10: Verbindungsstange mit Kabelsätzen [20]

Die Schalter sind so angeordnet, dass in der linken Endlage die Schalter AB betätigt sind und die Schalter CD nicht. Steht die Weiche zur Fahrt nach rechts, ist die Betätigung der Schalter genau umgekehrt. In dieser Endlage sind nun die Schalter CD betätigt und die Schalter AB nicht. Während einer Umstellung von der Fahrt nach links in die Fahrt nach rechts oder umgekehrt, ist keiner der vier Schalter betätigt.

Eine Darstellung darüber wie die einzelnen acht Kontakte miteinander verschaltet sind, bietet wieder ein Ausschnitt aus dem Stromlaufplan des HYDROSTAR®-ZV mit 4-Draht-Kaskadenschaltung.

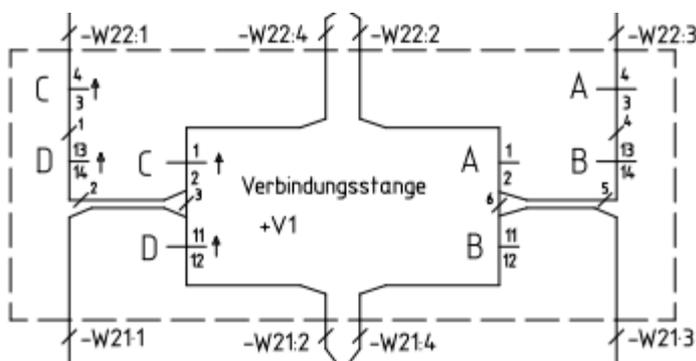


Abbildung 2.2.11: Schaltung der Verbindungsstange im HYDROSTAR®-ZV [29]

### 2.2.5 Innenliegender Endlagenprüfer IE2010

Der innenliegende Endlagenprüfer IE2010 dient zur Lageüberwachung der Weichenzungen zwischen den Verschlüssen. Er wird nicht wie die beiden zuvor beschriebenen Systeme in einer Hohlschwelle verbaut, sondern ist für die Montage auf einer Standardschwelle aus Beton oder Holz konstruiert.

Seine Aufgaben sind unter anderem die Überwachung der Lage der an- sowie der abliegenden Zunge. Zusätzlich kann er Spurerweiterungen oder Spurverengungen erkennen.

Eine weitere wichtige Aufgabe, für welche das Bauteil eingesetzt wird, ist die einer Auffahrmeldeeinrichtung. Doch dieses Einsatzgebiet wird im Zuge dieser Arbeit nicht benötigt und daher auch nicht mehr weiter behandelt.

Wie man aus der folgenden Abbildung entnehmen kann, besteht eine Überwachungsebene immer aus zwei Prüferhälften. Dabei überwacht die eine die abliegende Weichenzunge und die andere die anliegende Weichenzunge. Vom mechanischen Aufbau her, sind die beiden Hälften komplett ident. Jedoch unterscheidet sich die interne Verdrahtung der beiden leicht voneinander. Da diese ab Werk schon vorgenommen ist und am Einbauort nicht mehr verändert wird, spricht man von einem Typ A und einem Typ B.

Typ A ist ausschließlich für die Überwachung der rechten Zunge und Typ B ist ausschließlich zur Überwachung der linken Weichenzunge vorgesehen.

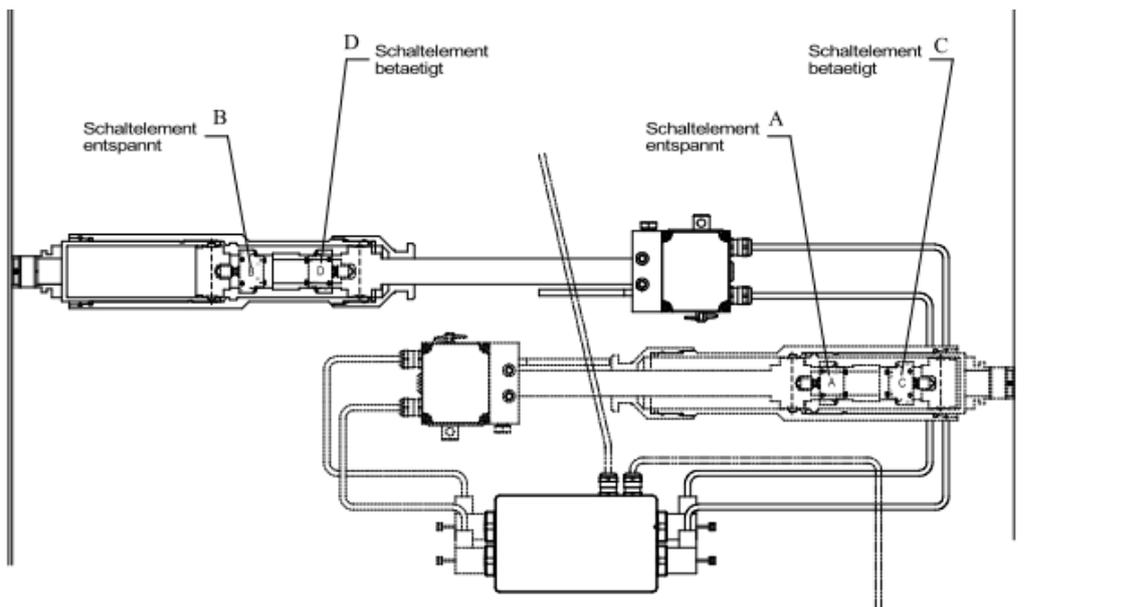


Abbildung 2.2.12: IE2010 im Gleis [29]

Die interne Verdrahtung kann aber je nach Stellwerk oder Überwachungssystem frei vorgenommen werden. Die einzige Vorgabe, die dabei besteht, ist die durch konstruktive Maßnahmen vorgegebene Anzahl der Schalter. Es sind auch hier wieder die Schnappschalter der Type S800 verbaut. In jeder Hälfte sind zwei Stück mit je einem Öffner und einem Schließer.

In weiterer Betrachtung wird aber nur noch auf die 4-Draht-Kaskadenschaltung eingegangen.

Der Aufbau der Endlagenprüfer ist in einen feststehenden Teil und einen beweglichen Teil getrennt. Der feststehende Teil besteht aus dem Kabelkasten und der Schaltstange, welche auf der Lagerplatte befestigt sind. Zusätzlich sind am feststehenden Teil die Lageschalter montiert. Davon übernimmt ein Schalter die Detektion der anliegenden und ein Schalter die Detektion der abliegenden Zunge. Der bewegliche Teil besteht aus den Außenrohren mit den Schaltnuten zur Schalterbetätigung und ist über den Zungenangriff mit der Weichenzunge verbunden. Bei einer Umstellung kommt es zur Bewegung der Zungenschiene und dadurch werden die Außenrohre der Schaltzylinder bewegt. In den Zylindern befinden sich Schaltnuten, welche für die Betätigung der einzelnen Schalter zuständig sind. In der jeweiligen Endlage ist ein Schalter der an- und ein Schalter der abliegenden Zunge entspannt und je ein Schalter betätigt. Tritt eine Störung auf, sodass eine Zunge nicht in Endlage kommt, so ist mindestens ein Schalter nicht entspannt, und die Störung würde signalisiert werden. [29]

Bei einer Umstellung werden vorübergehend alle Schnappschalter betätigt, bis die andere Endlage erreicht wurde. Ist die Weiche nun in der gegenüberliegenden Endlage, sind die beiden Schalter welche zuvor betätigt waren entspannt. Steht die Weiche zur Fahrt nach rechts, sind die Schalter C und D betätigt. Steht die Weiche in Endlage zur Fahrt nach links, sind demzufolge genau die anderen Schalter, nämlich A und B betätigt. C und D sind in diesem Fall entspannt. Um auch hier eine Vorstellung zu haben, wie die einzelnen Schaltkontakte in die Gesamtschaltung integriert werden, ist wieder ein Ausschnitt aus dem Schaltplan des HYDROSTAR<sup>®</sup>-ZV mit 4-Draht-Kaskadenschaltung dargestellt.

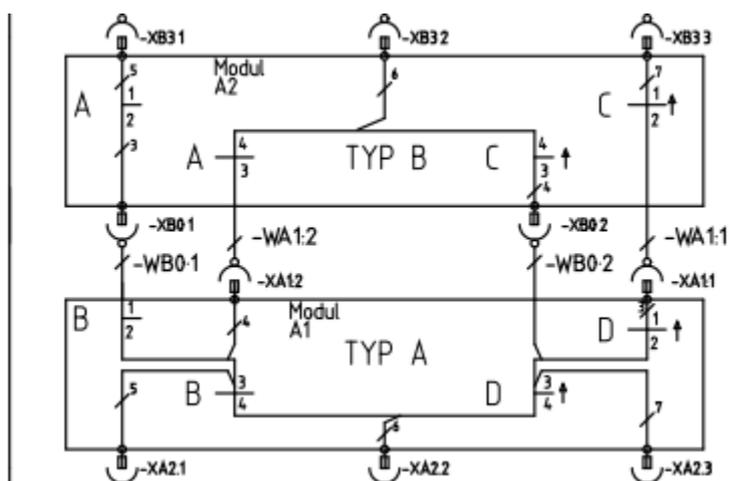


Abbildung 2.2.13: Schaltung des IE 2010 im HYDROSTAR<sup>®</sup>-ZV [29]

## 2.3 Funktion des Gesamtsystems

### 2.3.1 Zusammenschaltung der Einzelkomponenten

Die einzelnen, im vorherigen Kapitel beschriebenen Komponenten werden im Zuge der 4-Draht-Kaskadenschaltung oder auch einer anderen Schaltung zur Überwachung zusammengeschaltet. Dabei übernehmen die einzelnen Komponenten in der jeweiligen Endlage die Überwachung der Weichenlage. Des Weiteren wird bei einer Umstellung typischerweise auch der Motorstrom über die Schnappschalter geschaltet. Dabei ist ein Dreiphasenasynchronmotor für die Umstellung verantwortlich. Der Anlauf des Motors ist immer im sogenannten T-Betrieb. Dabei wird eine Wicklung des Motors zwischen einem Außenleiter und dem Neutralleiter geschaltet und die anderen beiden Wicklungen sind in Serie und werden zwischen den verbleibenden Außenleitern geschaltet. Dieser Anlauf hat zwar ein sehr stark verringertes Drehmoment, ist aber aus bahngeschichtlich gewachsenen Gründen, sowie sicherheitstechnisch von der Stellwerksseite her, nicht anders möglich. Nachdem der Anlauf erfolgt ist, werden die ersten Schnappschalter betätigt, und über diese werden die Motorwicklungen in den Sternbetrieb umgeschaltet. Danach läuft die Weiche von einer Endlage in die andere und bei Erreichen der gegenüberliegenden Lage schalten die Schnappschalter den Motorstrom ab. Genauer wird noch im nächsten Kapitel erklärt, wo man sieht, wie sich die Weiche in Kombination mit dem Stellwerk verhält.

In der Konfiguration der 4-Draht-Kaskadenschaltung ist die Anordnung der Komponenten so, dass das Stellwerk mit dem Motor direkt verbunden ist. Nach den Motorwicklungen sind dann die einzelnen Komponenten geschaltet. Dabei kommt als Erstes die Verbindungsstange. Danach sind je nach Weichenlänge eine bestimmten Anzahl von Endlagenprüfer geschaltet, und im Anschluss an diese ist noch der Spitzenverschluss in Serie zu den anderen Baugruppen eingeschlossen. Der Aufbau der Schaltung wird in der folgenden Abbildung am Beispiel der 4-Draht-Kaskadenschaltung dargestellt.

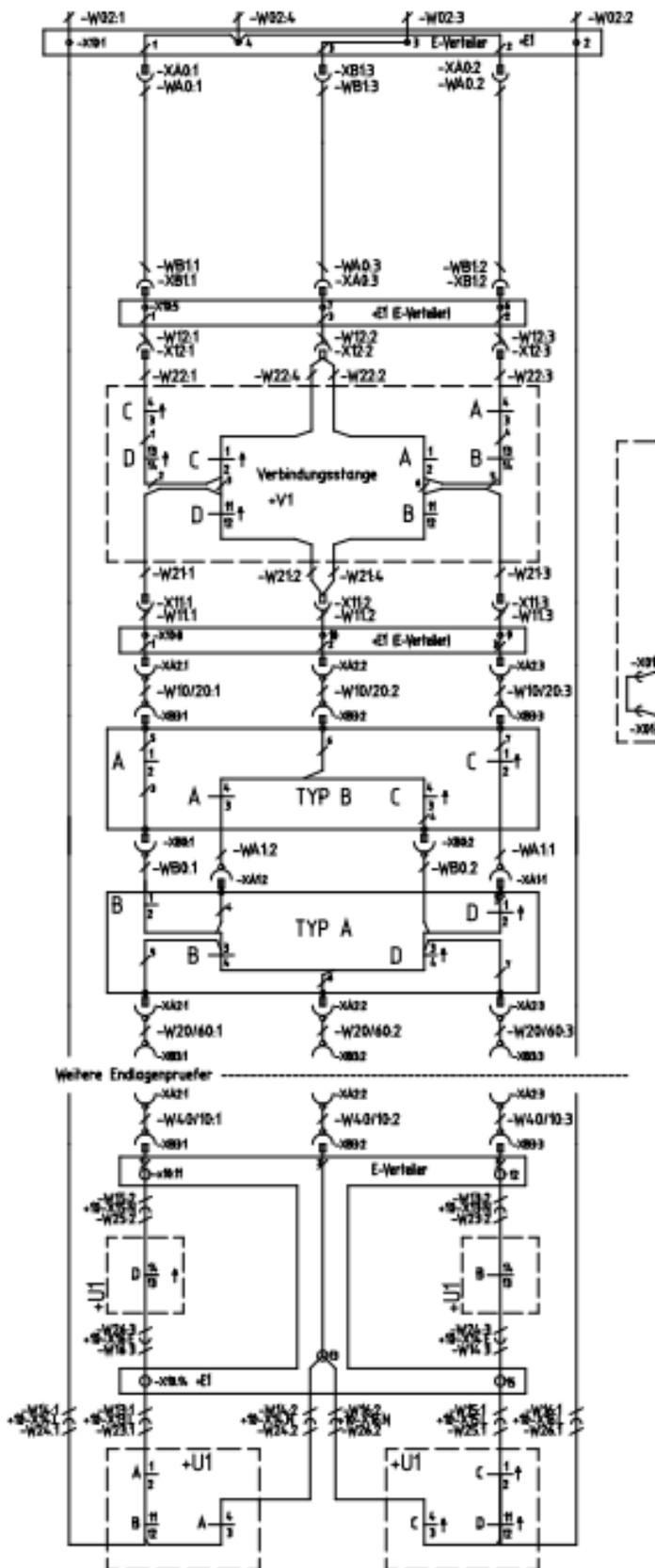


Abbildung 2.3.1: Schaltplan HYDROSTAR®-ZV -4D mit IE2010 als Überwachungsebene[29]

### 2.3.2 Wirkungsweise in Verbindung mit Stellwerk

Um die Wirkungsweise der 4-Draht-Kaskadenschaltung besser erklären zu können, wird die Schaltung in einem einfachen Ersatzschaltbild vereinfacht. Dabei ist zu beachten, dass Schalter, welche im Schaltplan HYDROSTAR<sup>®</sup>-ZV-4D mit IE2010 als Überwachungsebene in Serie sind, zu einem Schalter zusammengefasst wurden und auch sämtliche Stecker und Klemmen mit Absicht weggelassen wurden.

Doch nur so ist es möglich, auf eine relativ einfache und übersichtliche Weise den Ablauf einer Umstellung zu erklären.

Das Ersatzschaltbild der Motorwicklungen mit dem nachgeschalteten Schalterpaket sieht dann wie in der folgenden Abbildung aus.

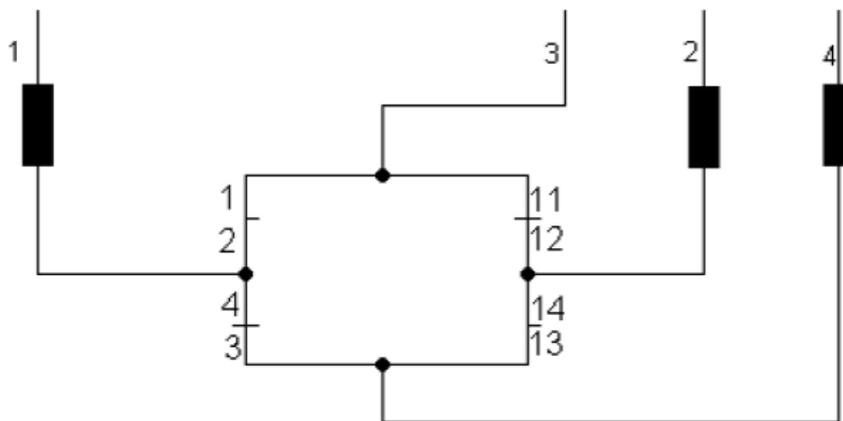


Abbildung 2.3.2: Ersatzschaltbild Schaltplan HYDROSTAR<sup>®</sup> ZV 4D

Das in den nächsten Abbildungen zusätzlich eingezeichnete Stellwerk oder Stellteil wurde auch stark vereinfacht gezeichnet und sollte auch nur schematisch ein Stellwerk darstellen.

Die einzelnen Kontakte oder Bezeichnungen, welche verwendet werden, beziehen sich auf Relais, welche im Stellwerk zwar eine wichtige Funktion einnehmen, aber für die hier benötigten Zwecke nicht mehr weiter erklärt werden, da dies jeden Rahmen sprengen würde.

Es werden lediglich die wichtigsten Begriffe erklärt:

- WU-: Weichenüberwachungsrelais; ist angezogen, wenn die Weiche in Endlage zur Fahrt nach links steht.
- WU+: Weichenüberwachungsrelais; ist angezogen, wenn die Weiche in Endlage zur Fahrt nach rechts steht.
- WAM: Weichenauffahrmelderelais; ist angezogen, wenn die Weiche zur Fahrt nach links oder rechts steht, aber dann in Verbindung mit dem

Weichenüberwachungsrelais oder alleine, wenn eine Auffahrmeldung generiert wird.

- WL: Weichenlagerrelais; übernehmen unter anderem die Steuerung des Strompfades vom Stellwerk in die Weiche, in Abhängigkeit von der Weichenendlage.
- U: Weichenumstellrelais; trennt bei der Umstellung den Stromkreis für die Stellspannung von der Überwachungsspannung.
- ST1-ST3: Steuerrelais; diese sind hauptsächlich an der Umstellung beteiligt und lösen diese erst aus. Da die gesamte Darstellung aber nur schematisch ist, sind in den folgenden Abbildungen nur einige Kontakte der Steuerrelais abgebildet.

Um einen gesamten Umlauf zu erklären werden die einzelnen Ersatzschaltbilder mit den eingezeichneten Strompfaden hintereinander dargestellt. Dabei sollte der Ablauf einer Umstellung von der rechten in die linke Endlage gezeigt werden.

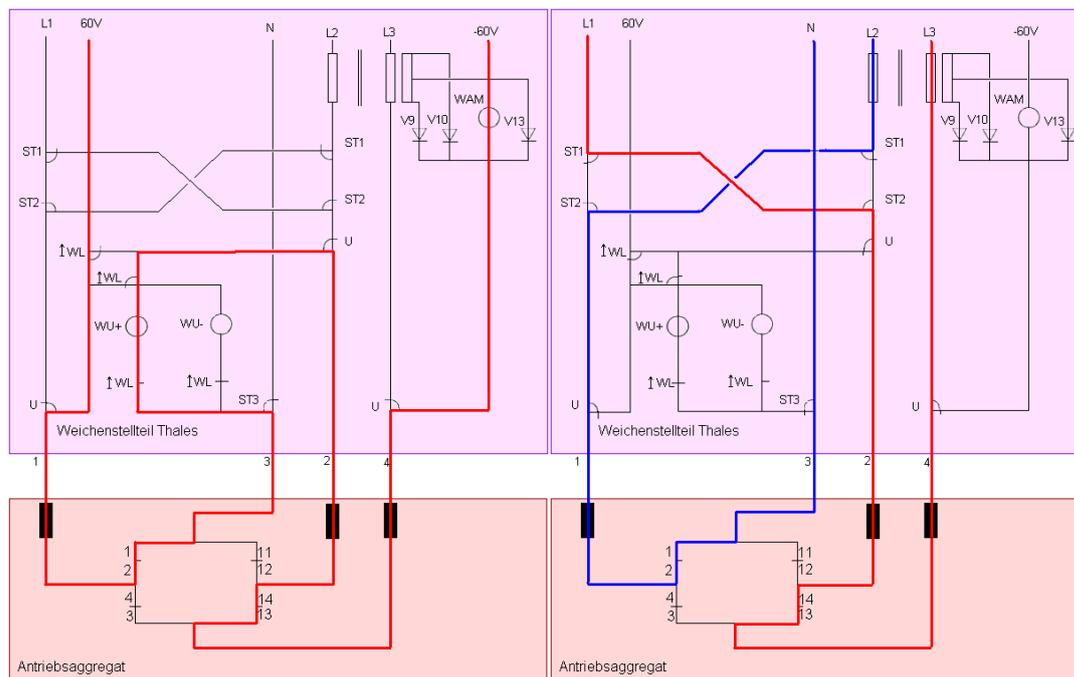


Abbildung 2.3.3: Umstellung von rechts nach links Schritt 1 [13]

Man sieht in der ersten Abbildung noch den 60VDC Überwachungsstromkreis, welcher in rechter Endlage geschlossen ist.

Wird die Umstellung eingeleitet, wird der 60VDC Kreis weggeschaltet und eine Spannung von 400VAC angelegt. Zuerst geschieht der Anlauf im T-Betrieb. Dabei

liegt eine Wicklung zwischen einer Phase und dem Neutralleiter an 230V und die anderen Wicklungen in Serie an den verbleibenden Außenleitern an 400V.

Dadurch hat man zwar ein relativ schlechtes Moment, aber es genügt, um den Motor anzuwerfen und für die nötige Kraft zu sorgen, sodass die ersten Lageschalter ansprechen können.

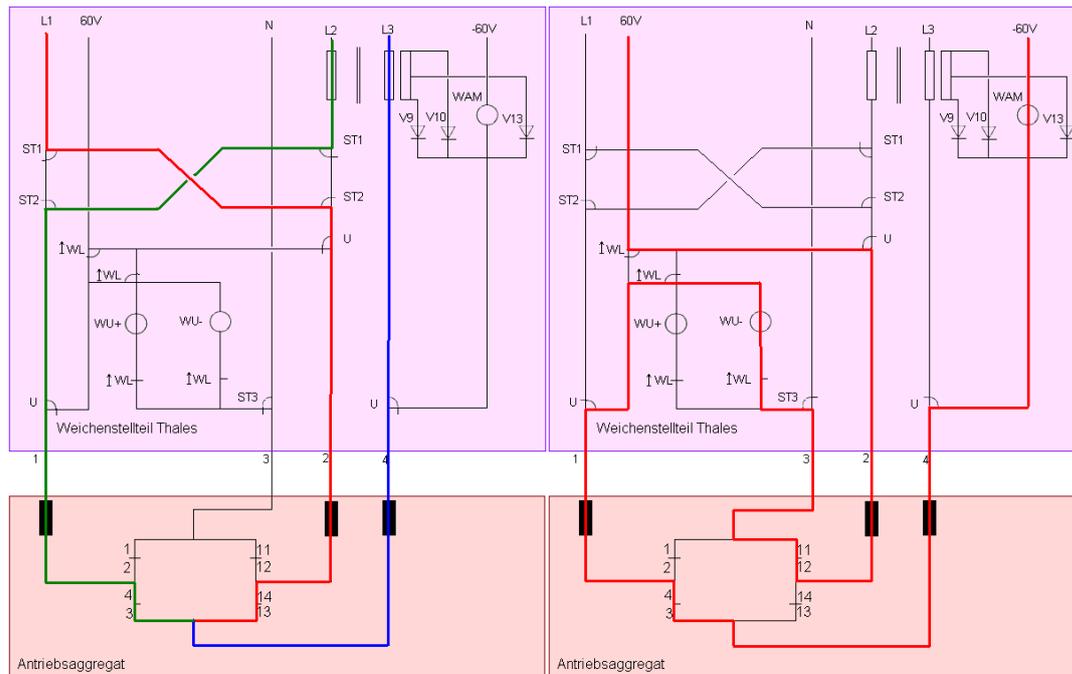


Abbildung 2.3.4: Umstellung von rechts nach links Schritt 2 [13]

Durch die Drehung des Motors und der Bewegung der Weichenzunge schalten im Spitzenverschluss die Schalter A und B um. Dadurch wird der Neutralleiter weggeschaltet und es kommt zu einer Sternpunktbildung.

Der Motor läuft nun im Sternbetrieb weiter und die Schalter C und D der Verbindungsstange schalten um. Dadurch bleibt der Sternbetrieb erhalten. Danach schalten die innenliegenden Endlagenprüfer die Kontakte A und B um und im Anschluss die Kontakte C und D. Auch hier bleibt die Sternschaltung noch aktiv und der Motor dreht noch immer. Nachdem die Umstellung in den Endlagenprüfern schon beendet ist, schalten die verbleibenden Schalter in der Verbindungsstange und erhalten auch nach diesem Schritt den Sternbetrieb noch aufrecht.

Erst wenn die Schnappschalter C und D im Spitzenverschluss umschalten, wird die Umstellung beendet. Dies wird dadurch eingeleitet, dass es nun zu einer Verbindung über die Motorwicklung und den Schaltern von L1 und N sowie L2 und L3 kommt. Dadurch werden im Summenstromwandler beide Wicklungen vom gleichen Strom durchflossen und in der Sekundärwicklung keine Spannung mehr induziert. Infolge dessen fällt das Relais WAM ab und schaltet die weiteren Relais und Kontakte weg, sodass das Stellwerk wieder den Überwachungskreis an der Weiche anlegt.

Dieser kompliziert wirkende Mechanismus dient dazu, die Weiche umzustellen und während der Umstellung auch das Drehfeld zu ändern, sodass der Motor bei der Umstellung von der anderen Endlage ein entgegengesetztes Drehfeld aufweist. Die Umstellung von „Weiche zur Fahrt nach links“ in „Weiche zur Fahrt nach rechts“ läuft eigentlich äquivalent ab. Daher wird die Umstellung nicht mehr so ausführlich erklärt und nur noch auf die Ersatzschaltbilder verwiesen, mit denen man erkennen sollte, wie eine weitere Umstellung abläuft.

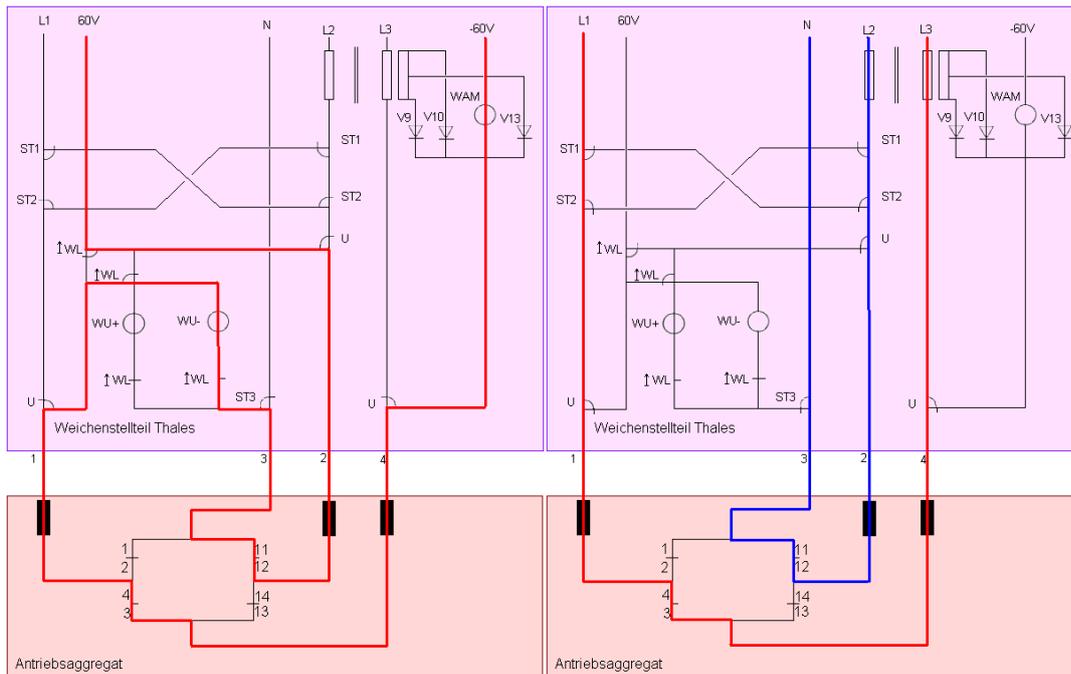


Abbildung 2.3.5: Umstellung von links nach rechts Schritt 1 [13]

Nach Anlauf im T-Betrieb wird der Motor durch die Lageschalter wieder in den Sternbetrieb umgeschaltet. Dieser bleibt solange aufrecht, bis die Weiche vollständig umgelaufen ist.

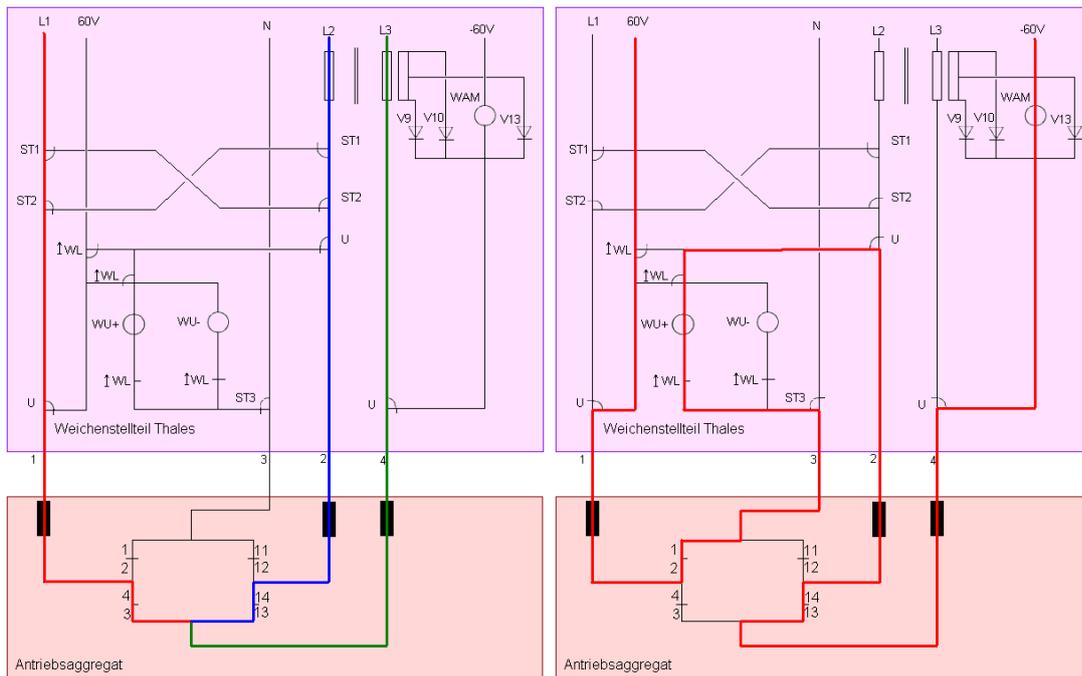


Abbildung 2.3.6: Umstellung von rechts nach links Schritt 2 [13]

Nach einem erfolgten Weichenumlauf geht das Stellwerk wieder in die Überwachung und weist die Lage „Weiche zur Fahrt nach rechts“ aus.

Neben der Detektion der beiden Endlagen ist es auch noch möglich mit dem Stellwerk eine Auffahrung zu erkennen. Dabei wird über die Lageschalter der Stromkreis so verändert, dass das Relais WU überbrückt wird, und dadurch nur mehr WAM angezogen bleibt und auf diese Weise eine Auffahrmeldung generiert wird.

Die weiteren Vorteile dieser Schaltung sind unter anderem auch noch, dass in mindestens einer Endlage jeder Kurzschluss oder jede Unterbrechung erkannt wird, und auf diese Weise für eine vollkommene Überwachung gesorgt wird.

### 3 Vorgangsweise

In diesem Kapitel wird erklärt, wie in weiterer Folge vorgegangen wurde, um einen Prototypen zu erstellen und aus diesem dann anschließend die fertige Weichensimulation zu entwickeln.

Die Vorgangsweise wurde in der Dokumentation in einzelne Kapitel gegliedert, welche alle für einen eigenen, selbstständigen Entwicklungsschritt stehen.

#### 3.1 Gliederung der einzelnen Arbeitsschritte

Hier wird nochmals genauer auf die einzelnen Schritte eingegangen und erklärt, wann und wie die jeweiligen Punkte abgearbeitet wurden, um einen stetigen Fortschritt zu haben.

##### 3.1.1 *Erstellung eines Lasten- und Pflichtenhefts*

Als erster Schritt wurden sämtliche Anforderungen an die Weichensimulation im Lastenheft definiert.

Nach einem Brainstorming und einer Ideenfindungsphase, wie die einzelnen Punkte am einfachsten realisiert werden konnten, wurde im Anschluss ein Pflichtenheft erstellt, in dem die einzelnen Lösungsvorschläge zu den jeweiligen Punkten festgehalten wurden. Neben den Lösungsvorschlägen waren auch noch eine voraussichtliche Kostenaufstellung und ein Zeitplan im Pflichtenheft zu finden.

##### 3.1.2 *Messungen an der Weiche*

Um die Hard- sowie auch die Software entwickeln zu können, war es nötig eine HYDROSTAR® Weiche auf die Zustände der Lageschalter bei den Umstellungen zu vermessen. Die Ergebnisse sowie der Aufbau der Messung selbst wurden im Kapitel 4 niedergeschrieben.

Die erhaltenen Ergebnisse waren die Grundlage für die gesamte weitere Vorgehensweise beim Bau der Weichensimulation.

##### 3.1.3 *Messung der Schnappschalter und Wahl der Schaltelemente*

Die in den einzelnen Überwachungsebenen verbauten Schnappschalter wurden einzeln vermessen und die Ergebnisse ausgewertet. Auf dieser Grundlage wurde entschieden, mit welcher Art von Schaltelementen die Weichensimulation realisiert wurde. Es standen elektronische sowie auch mechanische Relais zur Diskussion.

Nach der Findung der richtigen Elemente war es nötig, diese zu messen und mit den Schnappschaltern zu vergleichen.

#### 3.1.4 *Aufbau eines Prototyps*

Nachdem die Weiche vollständig vermessen war und die Entscheidung über die Schaltelemente getroffen war, wurde ein Prototyp aufgebaut. Dieser sollte die Grundlage für die weiteren Simulationsebenen liefern. Das C-Programm, welches den Ablauf einer Umstellung bestimmt, wurde mit Hilfe dieses Prototyps geschrieben und getestet.

Auch der mechanische Aufbau der endgültigen Version wurde auf Grundlage des Prototyps festgelegt und nur mehr minimal modifiziert.

Die Verschaltung der elektronischen Komponenten wurde hier auf Lochrasterplatten aufgebaut und auf ihre Funktion geprüft.

#### 3.1.5 *Erstellung des Slave-Moduls*

Hier wird erklärt, wie bei der Erstellung der einzelnen Slaves vorgegangen wurde. Da im Lastenheft ganz klar ein modularer Aufbau gefordert wurde, sind die einzelnen Slaves alle baugleich aufgebaut worden. Es wird hier der grundlegende Aufbau eines solchen Moduls beschrieben und welche Komponenten es beinhaltet. Auch die Schaltungen auf den einzelnen Leiterplatten sowie die Verschaltung der einzelnen Prints miteinander zu einem funktionierenden Gesamtsystem werden in diesem Kapitel beschrieben.

Dabei wurde auch auf die Funktion einzelner Bauteile eingegangen, wie sich diese im Speziellen verhalten und auch positiv oder negativ auf die Schaltung auswirken. Es ist allerdings darauf verzichtet worden, in diesem Kapitel das Programm zu beschreiben, da dieser Punkt für ein einziges Kapitel viel zu umfassend wäre. Daher wird dieser Punkt in den folgenden Kapiteln abgehandelt.

#### 3.1.6 *Mechanischer Aufbau*

Das Kapitel über den mechanischen Aufbau befasst sich mit dem Aufbau des Gehäuses. Dabei wird beschrieben, wie welche Bohrungen und Ausnehmungen für die einzelnen Anschlüsse gemacht wurden und wie das gesamte Slave Modul zusammengebaut wurde.

### 3.1.1 *Programm in C*

Der Aufbau und die grundlegenden Funktionen in dem C-Programm, welches über den Mikrocontroller die Zeitroutine steuert werden in diesem Teil beschrieben. Es wird dabei nicht auf jede Zeile Code eingegangen, aber trotzdem der grundlegende Aufbau des Programms beschrieben.

Dabei wird dargestellt, wie sich die einzelnen States zueinander verhalten und wann welcher State wie abgearbeitet wird. Des Weiteren wird anfangs noch einmal auf den zeitlich ermittelten Ablauf aus Kapitel 4 eingegangen und dieser so aufgearbeitet und dargestellt, dass es beim Programmieren nachvollziehbar ist, wann welcher Schalter ein- oder ausgeschaltet wird.

## 4 Messungen an der Weiche

### 4.1 Aufnahme der Funktionsweise der Schalter

Die Funktionsweise der Schalter wurde beim Weichenumstellsystem HYDROSTAR®ZV bei der Demonstrationsweiche EW 10000, in der Konfiguration 60 E1- 1200 aufgezeichnet.

Diese Konfiguration weicht in der Verdrahtung von der im Kapitel 2 erklärten 4-Draht-Kaskadenschaltung etwas ab. Die Rangierung zwischen den einzelnen Kontakten der S800 Schalter ist anders als bei der erklärten Schaltung. Diese Tatsache sollte aber weiterhin kein Problem darstellen, da die einzelnen Ebenen oder auch Zustände der Schalter nicht im Verbund, sondern getrennt voneinander aufgezeichnet wurden. Genaugenommen wurden die Schaltzustände am Spitzenverschluss, der Verbindungsstange, sowie den ersten beiden innenliegenden Endlagenprüfern IE2010 aufgenommen.

Die Zustände wurden mit einem Transienten-Recorder gemessen. Dabei wurde mit einem Labornetzteil eine Spannung von 10 Volt an die diversen Schalter angelegt und die Veränderung der Spannungspegel während einer Umstellung aufgezeichnet. Die Messwerte sind dabei auf eine Floppy-Disc gespeichert worden und konnten anschließend mit Hilfe des PCs und Excel tabellarisch dargestellt und ausgewertet werden. Am Messgerät standen 16 Eingangskanäle zur Verfügung, von welchen auch 15 genutzt wurden.

Anschließend an die Messung mit dem Transienten-Recorder wurden die Ergebnisse mit Hilfe einer Referenzmessung validiert. Die Referenzmessung wurde mit einem portablen Oszilloskop an der gleichen Weiche und in derselben Konfiguration aufgezeichnet.

### 4.2 Messaufbau und Anordnung an den einzelnen Überwachungsebenen

#### 4.2.1 Messaufbau allgemein

Um die Messung schneller und effizienter durchführen zu können, ist ein eigener Klemmkasten gefertigt worden. Dieser war so aufgebaut, dass auf der einen Seite die Kabel mit den entsprechenden Längen direkt zu den einzelnen Schalteebenen führten. Auf der anderen Seite waren kurze Laborstrippen, welche es ermöglichten, die Schalter direkt über BNC /2x Polklemme-Adapter mit dem Transienten-Recorder zu verbinden.

Der Belegung der eingesetzten Reihenklemmen im Klemmkasten war, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

VCC	1	Stecker X15	Messstrippen	1	A X1: 12				
VCC	2	Stecker X15	Messstrippen	2	C X1: 2				
Messstrippen	3	Stecker X13	Messstrippen	3	B X1: 2				
Messstrippen	4	Stecker X13	Messstrippen	4	D X1: 12	Messstrippen	1	A X1: 12	
			VCC	5	VCC	Messstrippen	2	C X1: 2	
			VCC	6	VCC	Messstrippen	3	B X1: 2	
			VCC	7	VCC	Messstrippen	4	D X1: 12	
			VCC	8	VCC	Messstrippen	5	A X1: 12	
NC	1	NC	VCC	9	VCC	Messstrippen	6	C X1: 2	
NC	2	NC	VCC	10	VCC	Messstrippen	7	B X1: 2	
VCC	3	Stecker XA2	Messstrippen	11	A X1: 12	Messstrippen	8	D X1: 12	
VCC	4	Stecker XA2	Messstrippen	12	C X1: 2				
Messstrippen	5	Stecker XB1	Messstrippen	13	B X1: 2				
Messstrippen	6	Stecker XB1	Messstrippen	14	D X1: 12				
Messstrippen	7	Stecker XB1	GND	15	GND				
Messstrippen	8	Stecker XB1	GND	16	GND				

Abbildung 4.2.1 Belegung Klemmkasten

Die Messung und Kontaktierung der einzelnen Schaltebenen sollte in den nächsten Unterpunkten genauer beschrieben werden. Dabei wird nochmals auf die etwas anderen Verdrahtungen eingegangen und beschrieben, wo die Spannungen angelegt und an welchen Stellen diese auch wieder abgegriffen wurden.

#### 4.2.2 Aufbau bei Spitzenverschluss (SpV):

Der allgemeine Aufbau des Spitzenverschlusses ist im Kapitel 2 beschrieben. Da die verwendete Konfiguration für eine andere Sicherheitsphilosophie als die der 4-Draht-Kaskadenschaltung ausgelegt war, sieht die Schaltung daher nicht gleich aus wie die in Kapitel 2 beschriebene Schaltung. Die mechanische Anordnung und Stellung der Schalter bleibt aber bei allen HYDROSTAR®-Schaltungen die gleiche, weshalb die Ergebnisse dieser Messung als allgemein gültig betrachtet werden können.

Schaltungstechnisch war der Spitzenverschluss wie in den folgenden Abbildungen dargestellt aufgebaut. Das Durchschaltverhalten in den jeweiligen Endlagen ist farblich hervorgehoben, um erkennen zu können, dass sich in den Endlagen „Weiche zur Fahrt nach links“ und „Weiche zur Fahrt nach rechts“ ein unterschiedliches Schaltverhalten ergibt.

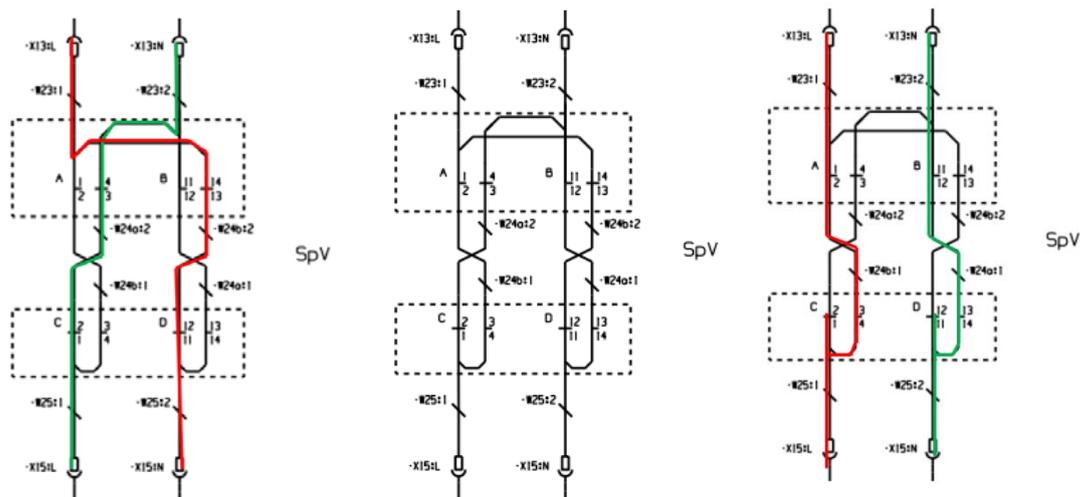


Abbildung 4.2.2 Schaltung Spitzenverschluss [Quelle: Signalplan HYDROSTAR® ZV Polen/ EBILOCK 950 STC]

Diese unterschiedlichen Strompfade sind wieder darauf zurückzuführen, dass das Stellwerk erkennen können muss, in welcher Lage sich die Weiche befindet. Daher sind für die linke und die rechte Endlage zwei verschiedene Strompfade notwendig, um diese auch klar voneinander unterscheiden zu können.

Das linke Bild zeigt dabei den Strompfad in linker Endlage und das rechte Bild zeigt den Strompfad in rechter Endlage.

Bei der Stellung „Weiche zur Fahrt nach links“ ist der Steckerkontakt X15:L mit X13:N und der Kontakt X15:N mit X13:L verbunden. Bei der Stellung „Weiche zur Fahrt nach rechts“ besteht eine elektrische Verbindung zwischen X15:L und X13:L sowie X15:N und X13:N.

Aufgrund der fertigen Verdrahtung und der formschlüssigen Einbaulage der Bauteile war es nicht möglich, direkt an den Schaltern die Schaltzeitpunkte zu messen. Daher wurde an den Anschlusssteckern des Bauteils über beide Schaltermodule gleichzeitig gemessen und auf diese Weise die Betätigungszeiten der Schnappschalter aufgenommen.

Die Stecker X13 und X15 waren dabei in Verbindung mit dem Klemmkasten. An den Kontakten von X15 war die Messspannung von 10VDC angelegt und die Kontakte von X13 standen dabei über den Klemmkasten in Verbindung mit dem Transienten-Recorder.

Der Aufbau im Klemmkasten sah wie folgt aus:

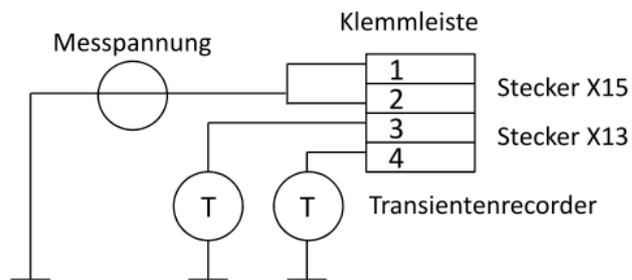


Abbildung 4.2.3: Anschluss Spitzenverschluss

Auch wenn nicht an jedem Schalter punktuell gemessen wurde, sondern immer zwei Schalter in Serie waren, lässt es sich genau vorhersagen, zu welchem Zeitpunkt welcher Schalter geschaltet hat. Dies kommt daher, da man die mechanische Schalterfolge, beziehungsweise das Schaltverhalten kennt und so durch das Zu- und Wegschalten der Spannung bei der Umstellung, der genaue Schaltzeitpunkt jedes einzelnen Schalters ermittelt werden kann.

Man weiß unter anderem, dass beim Spitzenverschluss die Schaltfolge der einzelnen Schnappschalter bei der Umstellung von der linken in die rechte Endlage so sein muss, dass zuerst, vor Start der Umstellung, in der linken Endlage A und B betätigt sind, während C und D entspannt sind. Während der Umstellung sind alle Schalter betätigt und gegen Ende der Umstellung fallen A und B in die Schaltnuten ein und werden entspannt. Bei der Umstellung von rechter in die linke Endlage ist diese Gegebenheit genau umgekehrt.

Zusammenfassend wird die Schalterstellung in der folgenden Grafik vereinfacht dargestellt.

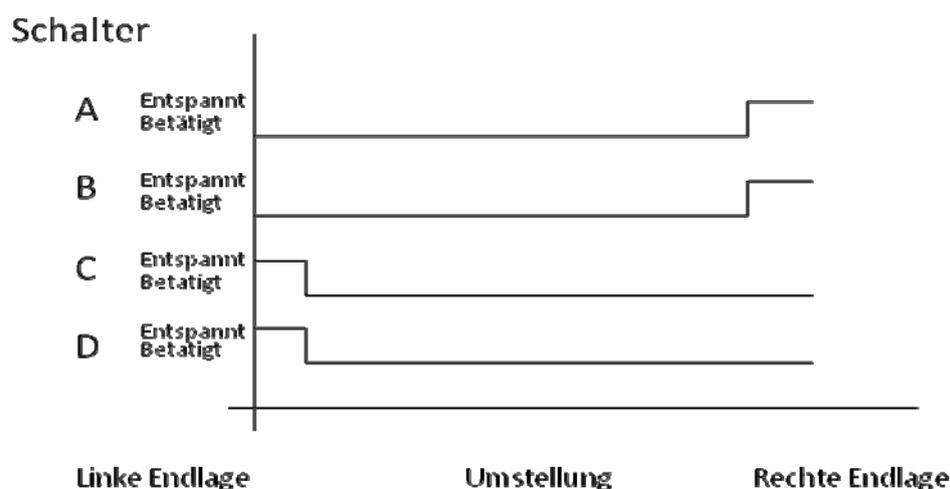


Abbildung 4.2.4: Schalterstellung Spitzenverschluss

Aufgrund der Kenntnis der inneren Verschaltung und der mechanischen Schaltfolge kann nach einer Messung an nur zwei Punkten am Stecker X13 jeder Spannungspegeländerung ein Schalter zugeordnet werden und auf diese Weise der genaue Schaltzeitpunkt jedes einzelnen Schalters bestimmt werden.

#### 4.2.3 Aufbau bei Verbindungsstange (VS):

Der allgemeine Aufbau der Verbindungsstange wurde auch schon im Kapitel 2 beschrieben.

Die Konfiguration ist hier auch wieder eine andere als bei der erklärten 4-Draht-Kaskadenschaltung. Das mechanische Schaltverhalten, beziehungsweise die Schalterfolge bleibt aber auch wieder dieselbe und ist allgemein gültig, da der mechanische Aufbau der Verbindungsstange bei allen Schaltungskonfigurationen derselbe bleibt.

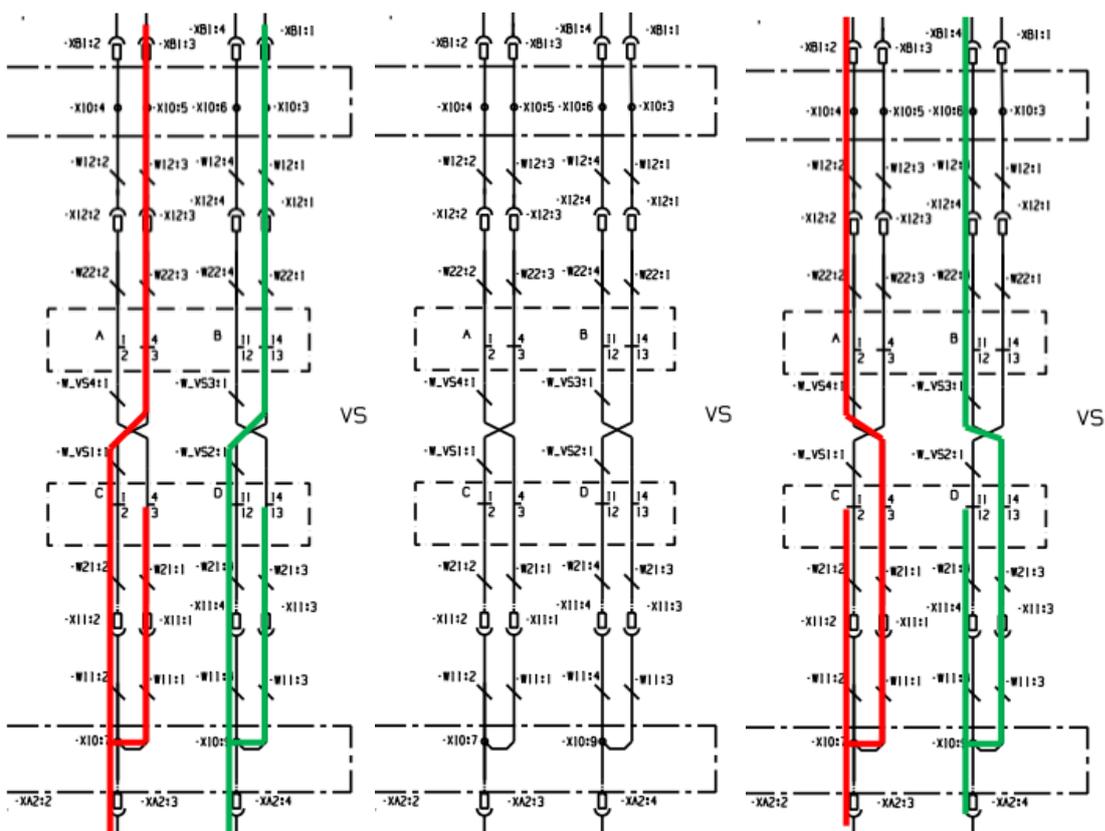


Abbildung 4.2.5: Schaltung Verbindungsstange [Quelle: Signalplan HYDROSTAR® ZV Polen/ EBILOCK 950 STC]

Der Stromverlauf beim Durchschalten der Verbindungsstange sieht wie in den dazugehörigen Abbildungen aus. Dabei zeigt die linke Darstellung den Verlauf des

Stromes in der linken Endlage und die rechte Darstellung den Strompfad in der rechten Endlage.

Da auch in dieser Anwendung aufgrund der formschlüssigen, modularen Aufbauweise nicht direkt auf die Schaltelemente zugegriffen werden konnte, wurde die Spannung am Stecker XA2, genaugenommen an den Kontakten XA2:3 und XA2:4, angelegt und mit dem Transienten-Recorder am Stecker XB1 abgegriffen, beziehungsweise das Schaltverhalten gemessen. Bei der Messung selbst waren in diesem Fall vier Kanäle des Transienten-Recorders nötig. Diese wurden an den Stecker-Kontakten XB1:1 bis XB1:4 angeschlossen.

Dabei sind bei der Verbindungsstange vor jeder Umstellung, je nach Endlage, zuerst zwei der vier Kontakte von XB1 an Spannung. Bei Fahrt nach rechts sind dies XB1:1 und XB1:3 und bei der Fahrt nach links sind dies XB1:2 und XB1:4.

Während der Umstellung sollte keiner der vier angesprochenen Kontakte an einer Testspannung liegen. Nach Beendigung des Umstellungsvorgangs muss dann das umgekehrte Kontaktpaar an den angelegten 10 V liegen.

Der Testaufbau selbst erfolgte auch über den eigens dafür angefertigten Klemmkasten und war mit den Steckern XA2 und XB1 mit der Verbindungsstange kontaktiert. Auf der anderen Seite war der Klemmkasten mit dem Transienten-Recorder verbunden. Der genaue Aufbau kann aus der folgenden Abbildung entnommen werden.

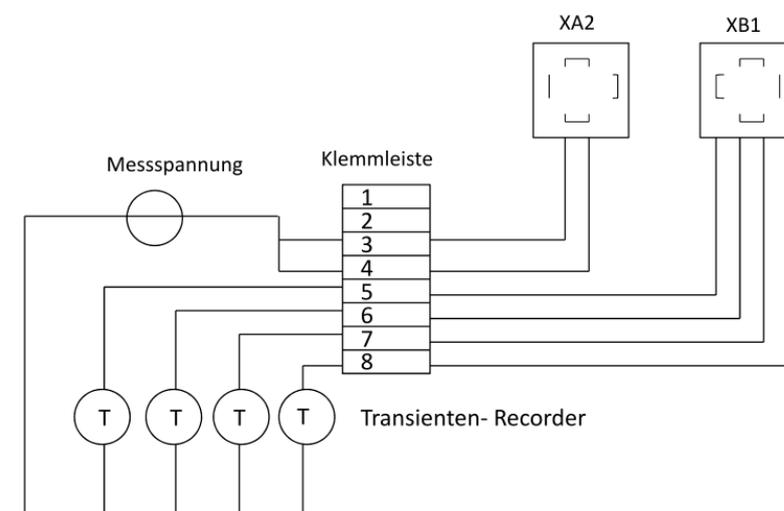


Abbildung 4.2.6: Anschluss Verbindungsstange

Die mechanische Schaltfolge von der linken in die rechte Endlage und umgekehrt, kann wieder dem dazugehörigen Diagramm entnommen werden. Somit kann auch wieder jede aufgezeichnete Spannungspegeländerung einem bestimmten Schalter zugeordnet werden.

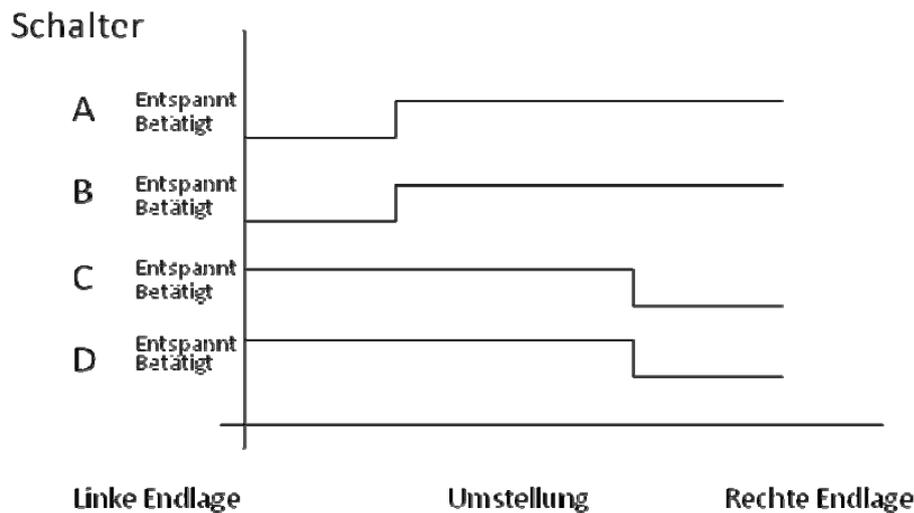


Abbildung 4.2.7: Schalterstellung Verbindungsstange

#### 4.2.4 Aufbau bei IE 2010

Der mechanische Aufbau der Endlagenprüferhälften wurde bereits ausführlich in Kapitel 2 beschrieben.

Wenn man sich nun den mechanischen Aufbau näher ansieht, wird man feststellen, dass die Prüferhälften am Ende jeder Hälfte einen Klemmkasten besitzen, in denen die innere Rangierung vorgenommen wurde. Daher war es bei der Messung an diesem Bauteil möglich, jeden einzelnen Schnappschalter für sich zu messen.

Dazu musste nur der Klemmkasten geöffnet werden und die interne Rangierung entfernt werden. Danach war es möglich, jeden Kontakt einzeln zu messen. In dieser Messung wurde an dem Schließer-Kontakt, jedes einzelnen Schnappschalters eine Spannung angelegt und an der anderen Seite mit dem Transienten-Recorder abgegriffen. Je nach Schaltzustand war dann ein Spannungspegel zu detektieren.

Der Aufbau der beiden IE2010 Endlagenprüfer ist ident, weshalb die Beschreibung der Messung an einem Klemmkasten genügt.

Die Rangierung im Signalplan sah in der gemessenen Konfiguration wieder anders aus als in der bekannten 4-Draht-Kaskadenschaltung und wird vollständigshalber in der folgenden Abbildung dargestellt.

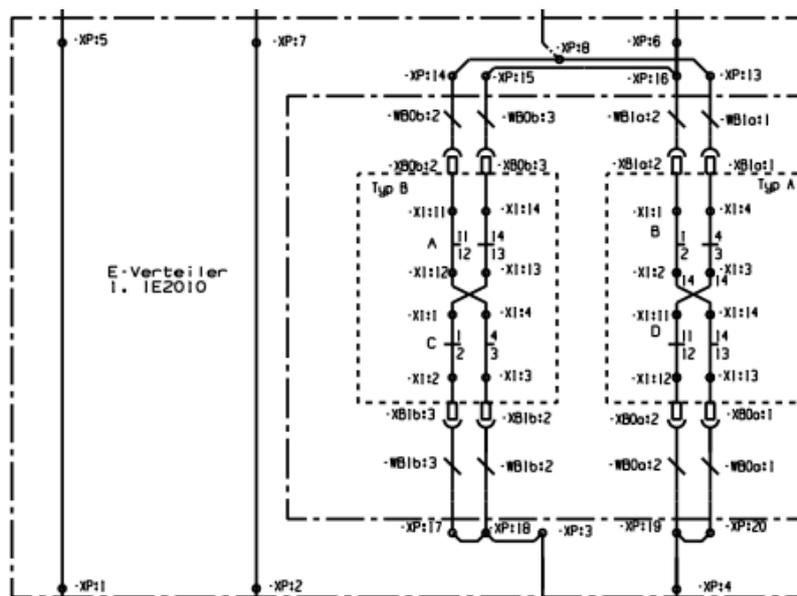


Abbildung 4.2.8: Schaltung IE 2010 [Quelle: Signalplan HYDROSTAR® ZV Polen/ EBILOCK 950 STC]

An den Kontakten 1 beziehungsweise 11 wurde die Testspannung von 10 V angelegt. An den Kontakten 2 beziehungsweise 12 wurde das Messgerät angeschlossen, um die Umstellung zu überwachen.

Es wurde wieder über den speziell angefertigten Klemmkasten gemessen.

Die vereinfachte Messschaltung wird in der folgenden Darstellung gezeigt. Es wurde hierbei bewusst eine andere Darstellungsform der Öffner- und Schließkontakte gewählt, um den Messaufbau etwas übersichtlicher gestalten zu können. Die roten Quermarkierungen sollten darstellen, an welchen Stellen die Rangierungen aufgetrennt wurden, um die Schalter einzeln messen zu können, sodass die Ergebnisse nicht durch Rückkopplungen verfälscht werden.

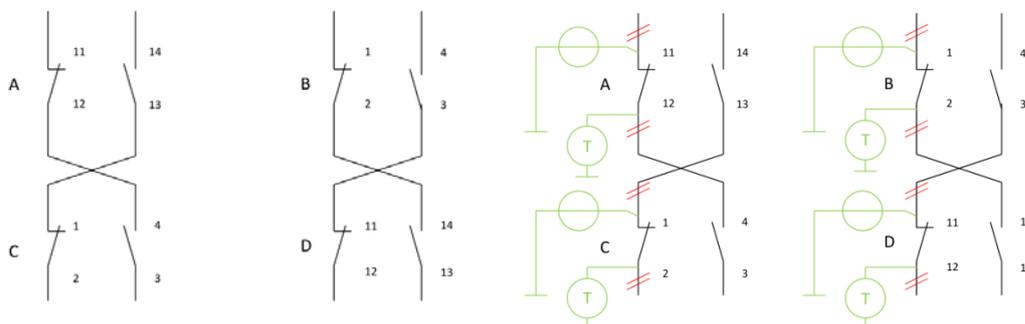


Abbildung 4.2.9: Anschluss der IE2010

In dieser Anwendung ist zwar direkt zu messen, wann die einzelnen Schalter ansprechen, trotzdem wird aber noch beschrieben, wie die Schaltfolge aus mechanischer Sicht betrachtet sein sollte.

In der folgenden Abbildung wird dargestellt, wie die einzelnen Schalter, abhängig von der Endlage, betätigt oder entspannt sind.

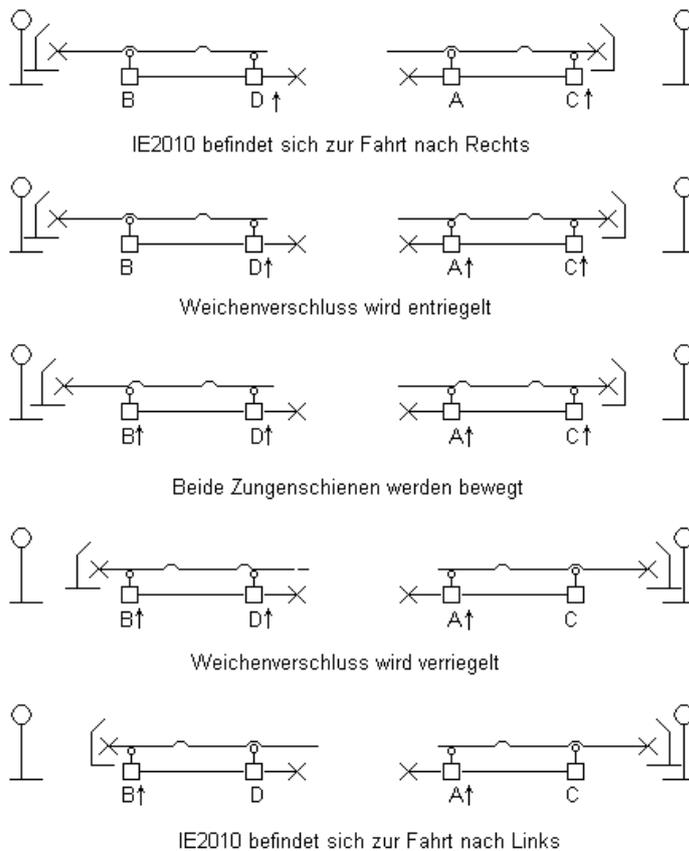


Abbildung 4.2.10: Funktionsablauf des IE2010 bei Weichenumstellung [13]

Daraus lässt sich wieder ein Ablaufdiagramm erstellen, wie es schon beim Spitzenverschluss oder der Verbindungsstange gezeigt wurde.

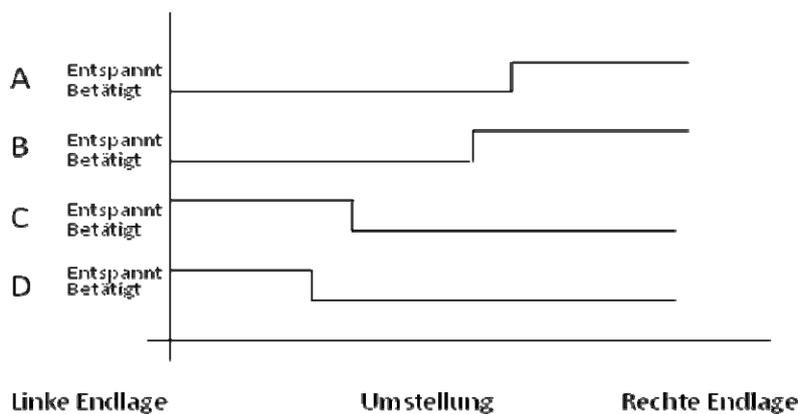


Abbildung 4.2.11: Schalterstellung IE2010

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass in der Stellung „Weiche steht zur Fahrt nach links“ die Schalter A und B betätigt sind und C und D entspannt sind. Während der

Umstellung sind alle vier Schalter betätigt und in der Stellung „Weiche steht zur Fahrt nach rechts“ sind die Schalter A und B entspannt und die Schalter C und D betätigt.

### 4.3 Erwartetes Schaltverhalten

Der Spitzenverschluss liegt physikalisch in erster Ebene und sollte daher auch als Erster aller Schalterebenen betätigt werden. Sein Spannungsverlauf sollte aufgrund der Serienschaltung der einzelnen Schaltkontakte eine Wannenform aufweisen.

In linker Endlage sind der Kontakt 3 und 4 von B und der Kontakt 1 und 2 von D in Serie, sowie auch der Kontakt 3 und 4 von A und der Kontakt 1 und 2 von C. In der rechten Endlage sind der Kontakt 1 und 2 von A in Serie mit dem Kontakt 3 und 4 von C und der Kontakt 1 und 2 von B in Serie mit dem Kontakt 3 und 4 von D.

Das heißt, dass an den Messkontakten vor und nach der Umstellung 10V anliegen sollten. Während des Umstellvorgangs sollte allerdings keine Spannung anliegen, sodass eine Wannenform erreicht wird.

Der Spitzenverschluss wird beim Entriegeln der Zunge betätigt und die Verbindungsstange erst bei einer Bewegung der Weichenzunge. Daher wird der Spitzenverschluss immer vor der Verbindungsstange betätigt werden. Im Gegenzug wird aber die Verbindungsstange vor dem Spitzenverschluss seine Endlage erreichen.

Es werden bei der Messung auch immer zwei Schalter in Serie gemessen. Dabei sind aber in dieser Anwendung vier Ausgänge vorhanden, an denen ein Signal abgegriffen werden kann. In linker Endlage sind der Öffner von C und der Schließer von A sowie der Öffner von D und der Schließer von B in Serie. In der rechten Endlage sind der Schließer von C und der Öffner von A sowie der Schließer von D und der Öffner von B in Serie.

An zwei der vier Messkontakte wird also vor der Umstellung eine Spannung anliegen und an den beiden anderen wird nach der Umstellung eine Spannung anliegen.

Die beiden innenliegenden Endlagenprüfer sind physikalisch noch weiter nach hinten verschoben und werden aus diesem Grund als Letzter auf die Umstellung ansprechen und als Erster wieder in Endlage gehen.

Bei der Messung selbst war es möglich über jeden Schalter direkt zu messen. Daher hat man bei jedem der beiden Prüfer insgesamt vier Spannungspegel, welche aufzunehmen waren.

Gesamt wurden für die Messung 14 Kanäle benötigt, um die Schaltzustände abzufragen. Ein weiterer, fünfzehnter Kanal wurde noch benötigt, um den Motorstrom abzufragen, um zu wissen, wann die Umstellung physikalisch wirklich startet. Damit war es möglich einen Nullpunkt ab der ersten Messung eines Motorstroms zu definieren.

Die erwarteten zeitlichen Pegeländerungen werden im nächsten Diagramm dargestellt.

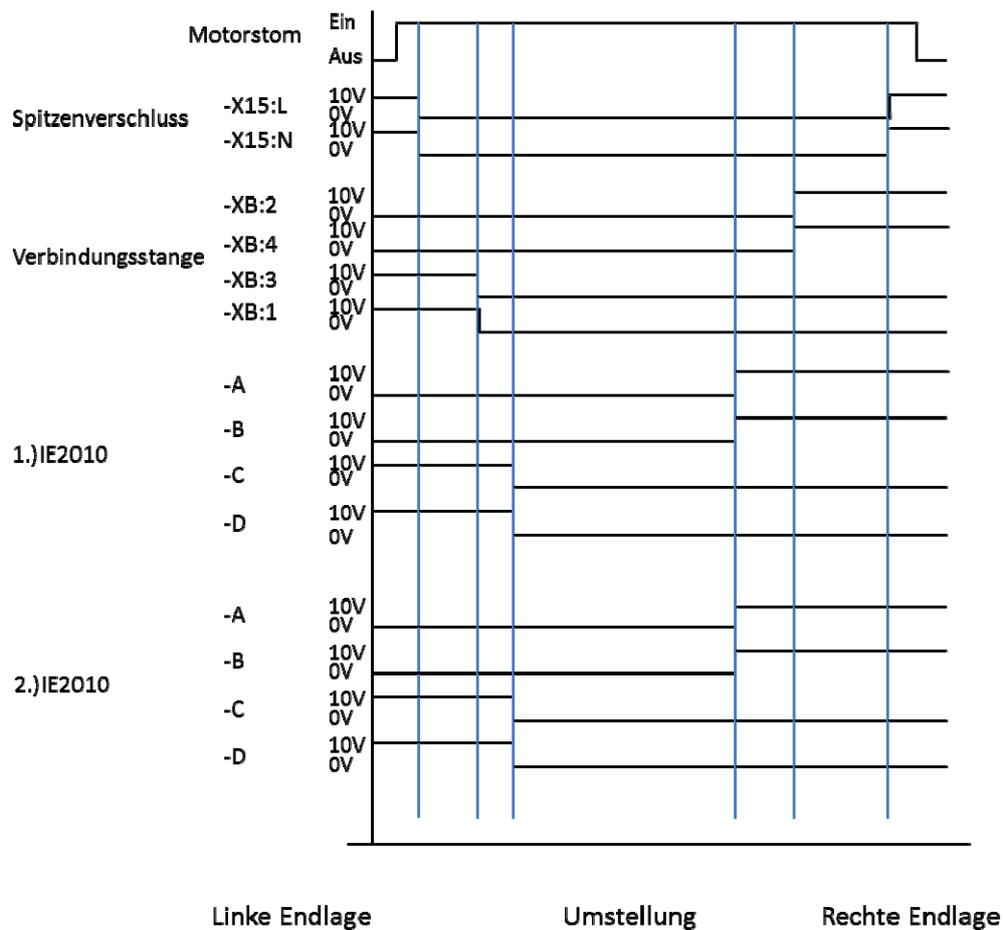


Abbildung 4.3.1: Erwartetes Zeitverhalten der einzelnen Überwachungsebenen

#### 4.4 Gemessenes Schaltverhalten

Das Schaltverhalten bei einer Umstellung wurde mit einem Transienten-Recorder aufgezeichnet. Dabei wurden für jede Umstellung, also von linker in die rechte Endlage und von der rechten in die linke Endlage, je zehn Messungen an zwei verschiedenen Tagen gemacht. Mit den erhaltenen Messwerten wurde ein Mittelwert gebildet, um sich nicht auf eine Zufallsmessung verlassen zu müssen. Dabei sind keine groben statistischen Ausreißer aufgetreten, weshalb auch keine Messungen zu verwerfen waren.

Neben den gewöhnlichen Umstellungen von „Weiche steht zur Fahrt nach rechts“ auf „Weiche steht zur Fahrt nach links“ und umgekehrt wurden auch noch Messungen aufgezeichnet, in denen bewusst Fehler, wie zum Beispiel Fremdkörper zwischen Zungen und Backenschiene, eingebaut waren.

Die erhaltenen Werte wurden in diesem Kapitel zusammengefasst, da in der Dokumentation kein Platz wäre, um gesamte Messreihen aufzulisten. Eine Aufzeichnung hatte eine Größe von 16 Spalten und 8000 Zeilen, wobei der Großteil aller Werte reine Redundanz war. Somit würden genaue Auflistungen hier jeden Rahmen sprengen.

Grundsätzlich erfolgte eine Aufzeichnung über einen Zeitraum von acht Sekunden. Es wurde pro Millisekunde einmal abgetastet und somit für jede Messreihe 8000-mal aufgezeichnet.

Für eine Umstellung wurde von vornherein eine Umstellzeit von ca. vier bis fünf Sekunden erwartet, was sich später auch bestätigte.

Als Startzeitpunkt für die Umstellung wurde der Motorstrom gewählt. Dieser wurde mit einer Strommesszange aufgenommen. Die Umstellung wurde mit einem Umschalter manuell eingeleitet, weshalb auch die Messung des Motorstromes als Triggersignal notwendig war.

Dabei wurden die realen Schaltzeiten aufgezeichnet und mit Hilfe des Startzeitpunktes des Motorstroms konnten die Absolutzeitpunkte der Umstellung errechnet werden. Diese waren mit geringen Abweichungen von Messung zu Messung immer ziemlich zeitgleich, weshalb die folgenden Messungen alle als korrekt angesehen werden können.

Als Messsignal wurde an den Eingängen der verschiedenen Schalteebenen ein Spannungssignal mit 10VDC aus einem Labornetzteil angelegt. Da die einzelnen Ebenen und Schalter galvanisch voneinander getrennt gemessen wurden, konnte ein Signal parallel auf alle Eingänge gelegt werden.

#### 4.4.1 *Verwendete Messgeräte und belegte Kanäle des Transienten-Recorders*

Die verwendeten Messgeräte sind aufgelistet, um eine mögliche genaue Rekonstruktion der Messergebnisse zu gewähren. Verwendet wurden:

Transienten-Recorder: YOKOGAWA AR 1600 Analyzing Recorder mit 16 Kanälen  
Firmeninterne Bezeichnung MB1/F

Strommesszange: CHAUVIN ARNOUX MN38 current clamp  
20-200AAC/ 2VAC  
Einstellung: 20A x 100  
Firmeninterne Bezeichnung MF5/F

Spannungsquelle: thandar TS3023S  
Spannung out –Master

Multimeter: Fluke 187 TrueRMS Multimeter  
 Firmeninterne Bezeichnung MF1/F

Die Kanäle am Transienten-Recorder wurden wie folgt belegt:

- Kanal:
- 1) Motorstrom X13:32
  - 2) Spitzenverschluss X13:3
  - 3) Spitzenverschluss X13:4
  - 4) Verbindungsstange XB1:1
  - 5) Verbindungsstange XB1:2
  - 6) Verbindungsstange XB1:3
  - 7) Verbindungsstange XB1:4
  - 8) IE 2010\_A
  - 9) IE 2010\_C
  - 10) IE 2010\_B
  - 11) IE 2010\_D
  - 12) IE 2010\_A
  - 13) IE 2010\_C
  - 14) IE 2010\_B
  - 15) IE 2010\_D

Als Beispiel wie eine Aufzeichnung einer Messung des Transienten-Recorders aussah, wird hier nachfolgend ein Header mit den ersten zwei der 8000 Zeilen eingefügt.

```
"AR-1000"
"Number of data", 8000
"Trigger point", C
"Trigger time","11/04/28 11:58"
"Sample rate", 1,"kHz"
"Tag name", " CH1", " CH2", " CH3", " CH4", " CH5", " CH6", " CH7", " CH8", " CH9", "CH10", "CH11", "CH12", "CH13", "CH14", "CH15"
"Range", "600mV", " 20V", " 20V"
"Unit", "mV", " V", " V"
"Data
type", "Analog", "
Analog"
"No."
C, -0.0003, 10.10, 10.10, 0.01, 10.10, 0.01, 10.10, 10.10, 0.00, 10.10, 0.00, 10.10,
0.00, 10.10, 0.00
1, -0.0004, 10.10, 10.10, 0.01, 10.10, 0.01, 10.10, 10.10, 0.00, 10.10, 0.01, 10.10,
0.01, 10.10, 0.01
```

Abbildung 4.4.1: Header einer Messreihe

Die Messreihe wurde bei der Umstellung von rechter Endlage in die linke Endlage am 28.04 2011 um 11:58 aufgezeichnet.

#### 4.4.2 Aufzeichnung bei Umstellung von linker in rechte Endlage.

Es wurden hierbei insgesamt zehn Messungen vorgenommen. Vier Messungen am 26.04.11 und die restlichen sechs am 28.04.11. Nachdem die Messreihen in eine Excel-Tabelle konvertiert und die Messwerte modifiziert wurden, konnte die Auswertung der einzelnen Messungen erfolgen. Modifiziert wurde in diesem Fall die Zeitbasis, indem sie von Millisekunden in Sekunden umgerechnet wurde, und der Motorstrom mit dem Teilerfaktor der Strommesszange bereinigt und für eine bessere Lesbarkeit mit dem Faktor 2 multipliziert wurde.

Aus Anschauungsgründen wird auch hier eine Tabelle einer ausgewerteten Messreihe dargestellt.

	1.) Messung vom 28.04 von links nach rechts			
	Zeitpunkt [s]	ON/OFF	Zeit absolut [s]	Rang
Start Umstellung (Motorstrom)	1,16		0	
Spitzenverschluss W13:1	1,278	OFF	0,118	1.
Spitzenverschluss W13:2	1,281	OFF	0,121	2.
Verbindungsstange XB1:1	1,599	OFF	0,439	3.
Verbindungsstange XB1:2	4,831	ON	3,671	13.
Verbindungsstange XB1:3	1,601	OFF	0,441	4.
Verbindungsstange XB1:4	4,832	ON	3,672	14.
1.IE2010_A	3,95	ON	2,79	10.
1.IE2010_B	4,012	ON	2,852	11.
1.IE2010_C	2,156	OFF	0,996	7.
1.IE2010_D	2,056	OFF	0,896	6.
2.IE2010_A	4,071	ON	2,911	12.
2.IE2010_B	3,822	ON	2,662	9.
2.IE2010_C	2,312	OFF	1,152	8.
2.IE2010_D	1,992	OFF	0,832	5.
Spitzenverschluss W13:1	5,086	ON	3,926	15.
Spitzenverschluss W13:2	5,086	ON	3,926	16.

Tabelle 4.4.1: 1.) Messung von links nach rechts vom 28.04.11

Es ist in der Tabelle gut zu sehen, wie eine Umstellung vor sich ging. Dabei wurde als Erstes der Motorstrom gemessen und auf dessen Basis anschließend die Absolutwerte der einzelnen Schaltebenen berechnet.

Nach Auswertung aller einzelnen Reihen und einer tabellarischen Darstellung der einzelnen Werte konnten sämtliche Messungen in einer neuerlichen Tabelle gegenübergestellt werden. Dies ermöglichte einen direkten Vergleich der einzelnen Werte und gab Aufschluss darüber, wie sehr die Werte voneinander abweichen oder wie verwertbar die Ergebnisse waren.

Weiters wurde ein Diagramm erstellt, mit welchem man graphisch veranschaulichen konnte, in welcher Reihenfolge die einzelnen Ebenen schalten, und wie groß die Zeitfenster zwischen den Umstellungen sind.

In den folgenden Tabellen wurden die erhaltenen Messwerte der einzelnen Überwachungsebenen gegenübergestellt, um die zeitlichen Abweichungen zwischen den zu verschiedenen Zeitpunkten aufgezeichneten Messungen zu sehen.

Dabei wurden die einzelnen Werte jeder Ebene in einer Tabelle zusammengefasst, um eine bessere Übersicht zu haben.

	SpV W13:L Schalter B [s]	SpV W13:N Schalter A [s]	SpV W13:L Schalter C [s]	SpV W13:N Schalter D [s]
1.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,118	0,121	3,926	3,926
2.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,119	0,122	3,933	3,933
3.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,118	0,121	3,927	3,927
4.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,119	0,122	3,928	3,928
5.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,12	0,123	3,93	3,93
6.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,119	0,12	3,922	3,922
3.Messung vom 26.04 v.li n. re	0,12	0,12	3,934	3,934
4.Messung vom 26.04 v.li n. re	0,121	0,121	3,937	3,937
5.Messung vom 26.04 v.li n. re	0,122	0,122	3,936	3,936
6.Messung vom 26.04 v.li n. re	0,127	0,128	3,962	3,962
Mittelwert	0,1203	0,122	3,9335	3,9335
Reihenfolge	1	2	15	16

Tabelle 4.4.2: Spitzenverschluss: Vergleich der einzelnen Messungen

	VS XB1:1 Schalter D [s]	VS XB1:2 Schalter A [s]	VS XB1:3 Schalter C [s]	VS XB1:4 Schalter B [s]
1.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,439	3,671	0,441	3,672
2.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,442	3,678	0,445	3,678
3.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,439	3,672	0,442	3,672
4.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,442	3,674	0,444	3,674
5.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,442	3,675	0,445	3,675
6.Messung vom 28.04 v.li n. re	0,439	3,67	0,441	3,67
3.Messung vom 26.04 v.li n. re	0,44	3,691	0,444	3,691
4.Messung vom 26.04 v.li n. re	0,44	3,694	0,443	3,694
5.Messung vom 26.04 v.li n. re	0,439	3,699	0,442	3,699
6.Messung vom 26.04 v.li n. re	0,443	3,72	0,447	3,72
Mittelwert	0,4405	3,6844	0,4434	3,6845
Reihenfolge	3	13	4	14

Tabelle 4.4.3: Verbindungsstange: Vergleich der einzelnen Messungen

	1.IE2010_A [s]	1.IE2010_B [s]	1.IE2010_C [s]	1.IE2010_D [s]
1.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,79	2,852	0,996	0,896
2.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,797	2,861	0,997	0,909
3.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,789	2,858	1	0,908
4.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,792	2,86	1	0,908
5.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,793	2,864	1,002	0,909
6.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,786	2,856	1,005	0,908
3.Messung vom 26.04 v.li n. re	2,799	2,858	0,988	0,893
4.Messung vom 26.04 v.li n. re	2,801	2,86	0,996	0,891
5.Messung vom 26.04 v.li n. re	2,797	2,85	1	0,882
6.Messung vom 26.04 v.li n. re	2,817	2,869	1,022	0,894
Mittelwert	2,7961	2,8588	1,0006	0,8998
Reihenfolge	10	11	7	6

Tabelle 4.4.4: 1.) IE2010: Vergleich der Messungen

	2.IE2010_A [s]	2.IE2010_B [s]	2.IE2010_C [s]	2.IE2010_D [s]
1.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,911	2,662	1,152	0,832
2.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,923	2,672	1,153	0,838
3.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,914	2,665	1,146	0,835
4.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,918	2,668	1,147	0,837
5.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,916	2,669	1,148	0,837
6.Messung vom 28.04 v.li n. re	2,907	2,658	1,142	0,833
3.Messung vom 26.04 v.li n. re	2,933	2,674	1,179	0,828
4.Messung vom 26.04 v.li n. re	2,935	2,677	1,179	0,826
5.Messung vom 26.04 v.li n. re	2,925	2,669	1,176	0,824
6.Messung vom 26.04 v.li n. re	2,949	2,69	1,179	0,827
Mittelwert	2,9231	2,6704	1,1601	0,8317
Reihenfolge	12	9	8	5

Tabelle 4.4.5: 2.) IE2010: Vergleich der Messungen

Wie man nun aus den Tabellen erkennen kann, ergeben sich für die verschiedenen Stellebenen fast idente Schaltzeitpunkte für die gleichen Messungen an verschiedenen Tagen und Tageszeiten. Die einzelnen Messwerte werden im nächsten Schritt, geordnet nach der Stellebene, analysiert.

4.4.2.1 Spitzenverschluss:

Dabei ist zu beachten, dass die beiden Kontakte W13:L und W13:N fast zeitgleich schalten.

Erster Wert ist dabei L mit einem Mittelwert von 0,1203sec.

Der schnellste gemessene Wert ergibt sich bei 0,118sec und der späteste bei 0,127sec. Dies ergibt nach oben eine maximale Abweichung von 6.7ms und nach unten eine Abweichung von 4.3ms.

Vorgegangen wurde dabei in folgender Weise. Zuerst wurde der Mittelwert aller Schaltzeitpunkte der jeweiligen Überwachungsebene berechnet. Dabei ging man nach folgender Formel vor:

$$m = \frac{i_1 + i_2 + i_3 + i_n}{n}$$

Formel 4.4.1: Mittelwert

Nachdem der Mittelwert errechnet war, konnte man nach oben und unten die größten Abweichungen errechnen.

$$\text{Abweichung nach oben} = \text{höchster Wert nach oben} - \text{Mittelwert}$$

$$\text{Abweichung nach unten} = \text{Mittelwert} - \text{höchster Wert nach unten}$$

Formel 4.4.2: Abweichung nach oben und unten

Mit den höchsten Werten der Abweichung nach oben und unten konnte im Anschluss die jeweilige prozentuelle Abweichung errechnet werden.

$$\text{Abweichung in \%} = \frac{\text{Abweichung [ms]}}{\text{Mittelwert [ms]}} \times 100$$

Formel 4.4.3: Abweichung in %

Die weiteren Auswertungen erfolgen ohne genauere Erklärung nur mehr in Tabellenform.

	Mittelwert [ms]	Abweichung nach oben [ms]	Abweichung nach oben [%]	Höchster Wert nach oben [ms]	Abweichung nach unten [ms]	Abweichung nach unten [%]	Höchster Wert nach unten [ms]
W13:L	120,3	6,7	5,57	127	4,3	3,39	118
W13:N	122	6	4,9	128	2	1,56	120
W13:L	3933,5	11,5	0,29	3922	28,5	0,73	3962
W13:N	3933,5	11,5	0,29	3922	28,5	0,73	3962

Tabelle 4.4.6: Auswertung Spitzenverschluss von links nach rechts

### 4.4.2.2 Verbindungsstange

Auswertung nur mehr in tabellarischer Form

	Mittelwert [ms]	Abweichung nach oben [ms]	Abweichung nach oben [%]	Höchster Wert nach oben [ms]	Abweichung nach unten [ms]	Abweichung nach unten [%]	Höchster Wert nach unten [ms]
XB1:1	440,5	2,5	0,57	443	1,5	0,34	439
XB1:2	3684,4	35,6	0,97	3720	13,4	0,36	3671
XB1:3	443,4	3,6	0,81	447	2,4	0,54	441
XB1:4	3684,5	14,5	0,39	3699	14,5	0,39	3670

Tabelle 4.4.7: Auswertung Verbindungsstange von links nach rechts

### 4.4.2.3 1.IE2010

	Mittelwert [ms]	Abweichung nach oben [ms]	Abweichung nach oben [%]	Höchster Wert nach oben [ms]	Abweichung nach unten [ms]	Abweichung nach unten [%]	Höchster Wert nach unten [ms]
1.IE2010_A	2796,1	20,9	0,75	2817	6,1	0,22	2790
1.IE2010_B	2858	11	0,39	2869	6	0,21	2852
1.IE2010_C	1000	22	2,2	1022	4	0,4	996
1.IE2010_D	899,8	9,2	1,02	909	17,8	1,98	882

Tabelle 4.4.8: Auswertung 1.IE2010 von links nach rechts

### 4.4.2.4 2.IE2010

	Mittelwert [ms]	Abweichung nach oben [ms]	Abweichung nach oben [%]	Höchster Wert nach oben [ms]	Abweichung nach unten [ms]	Abweichung nach unten [%]	Höchster Wert nach unten [ms]
2.IE2010_A	2923,1	25,9	0,89	2949	12,1	0,41	2911
2.IE2010_B	2670,4	19,6	0,73	2690	12,4	0,46	2658
2.IE2010_C	1160,1	18,9	1,63	1179	18,1	1,6	1142
2.IE2010_D	831,7	6,3	0,76	838	7,7	0,93	824

Tabelle 4.4.9: Auswertung 2.IE2010 von links nach rechts

Die Toleranzen sind bei diesen Messungen in einem angemessenen Rahmen von meist nicht mehr als zwei Prozent. Die höchste Abweichung ergibt sich bei der Umstellung von rechter in die linke Endlage im Kapitel bei der Verbindungsstange. Der höchste Wert weicht vom Mittelwert um ca. 8,49% ab. Da die Abweichung in dieser Höhe aber eine Ausnahme ist, kann dieser Wert als statistischer Ausreißer betrachtet werden und ist zu vernachlässigen.

Weiters sind die Werte auch in der vorausbestimmten Reihenfolge und aufgrund der geringen Abweichung untereinander als richtig zu werten.

Es mag anfangs vielleicht etwas merkwürdig erscheinen, dass der Kontakt D des 2.IE2010 weit vor den Kontakten des ersten IE schaltet. Dies ist aber aufgrund der hydraulischen Verschaltung nicht anders möglich, da der hintere Mittenschluss zuerst angesteuert wird. Daher ist dies in diesem Kontext als mechanische Gegebenheit hinzunehmen und muss nicht mehr näher behandelt werden:

Stellt man nun die verschiedenen Stell- und Überwachungsebenen in einem Diagramm dar, erhält man folgenden Signalverlauf.

Die dabei eingezeichneten Spannungen waren in der realen Messung alle 10V, wurden aber aus Gründen der Übersichtlichkeit auf verschiedene Spannungspegel geändert.

Auf der Ordinate wurde die Spannung in Volt und auf der Abszisse der Zeitbereich in Sekunden aufgetragen.

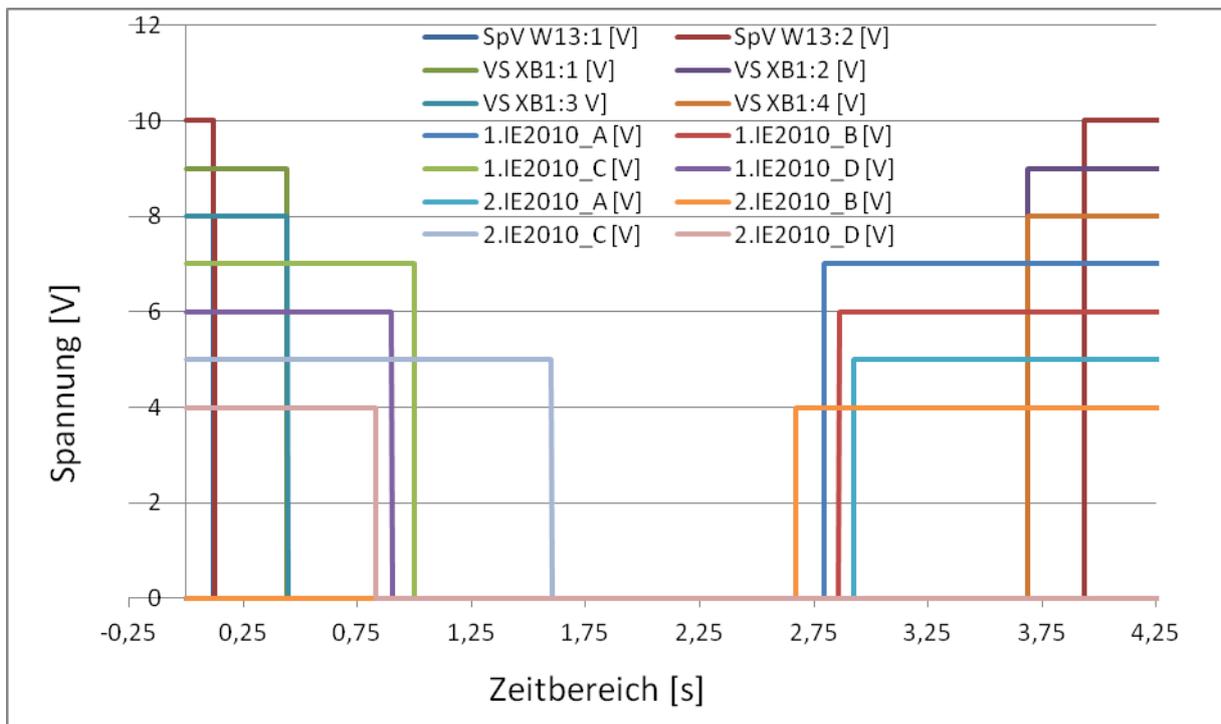


Diagramm 4.4.1: Umstellung von links nach rechts

#### 4.4.3 Aufzeichnung bei Umstellung von rechter in linke Endlage

Bei der Umstellung von rechts nach links wurde gleich wie zuvor bei Umstellung von Fahrt nach links auf Fahrt nach rechts vorgegangen.

Auch hier wurden zehn verschiedene Messungen miteinander verglichen, wobei auch hier vier am 26.04.11 und die restlichen sechs am 28.04.11 aufgenommen wurden.

Die Messungen wurden zuerst wieder einzeln ausgewertet und im Anschluss in einer gemeinsamen Tabelle einander gegenübergestellt.

Die Gegenüberstellung der Messwerte kann in der folgenden Tabelle wieder eingesehen werden. Im Anschluss wurde auch bei dieser Messung wieder ein Diagramm gezeichnet, um die Schaltpegel während einer Umstellung graphisch darstellen zu können.

	SpV W13:L [s]	SpV W13:N [s]	SpV W13:L [s]	SpV W13:N [s]
1.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,318	0,327	4,095	4,095
2.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,321	0,329	4,008	4,008
3.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,325	0,333	4,025	4,025
4.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,323	0,331	4,003	4,003
5.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,327	0,335	4,027	4,027
6.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,325	0,333	4,001	4,001
1.Messung vom 26.04 v.re n. li	0,322	0,33	4,099	4,099
2.Messung vom 26.04 v.re n. li	0,332	0,341	4,088	4,088
3.Messung vom 26.04 v.re n. li	0,32	0,328	4,098	4,098
4.Messung vom 26.04 v.re n. li	0,324	0,322	4,062	4,062
Mittelwert	0,3237	0,3309	4,0506	4,0506
Reihenfolge	1	2	15	16

Tabelle 4.4.10: Spitzenverschluss: Vergleich der Messungen

	VS XB1:3 [s]	VS XB1:4 [s]	VS XB1:3 [s]	VS XB1:4 [s]
1.Messung vom 28.04 v.re n. li	3,812	0,70	3,812	0,70
2.Messung vom 28.04 v.re n. li	3,723	0,699	3,723	0,699
3.Messung vom 28.04 v.re n. li	3,74	0,70	3,74	0,70
4.Messung vom 28.04 v.re n. li	3,718	0,668	3,718	0,668
5.Messung vom 28.04 v.re n. li	3,743	0,7	3,743	0,7
6.Messung vom 28.04 v.re n. li	3,716	0,634	3,716	0,634
1.Messung vom 26.04 v.re n. li	3,819	0,707	3,819	0,707
2.Messung vom 26.04 v.re n. li	3,807	0,726	3,807	0,726
3.Messung vom 26.04 v.re n. li	3,816	0,704	3,816	0,704
4.Messung vom 26.04 v.re n. li	3,78	0,698	3,78	0,698
Mittelwert	3,7674	0,69	3,7674	0,69
Reihenfolge	14	3	14	3

Tabelle 4.4.11: Verbindungsstange: Vergleich der Messungen

	1.IE2010_A [s]	1.IE2010_B [s]	1.IE2010_C [s]	1.IE2010_D [s]
1.Messung vom 28.04 v.re n. li	1,251	1,193	3,386	3,17
2.Messung vom 28.04 v.re n. li	1,252	1,204	3,287	3,094
3.Messung vom 28.04 v.re n. li	1,261	1,212	3,3	3,105
4.Messung vom 28.04 v.re n. li	1,241	1,192	3,282	3,086
5.Messung vom 28.04 v.re n. li	1,27	1,223	3,306	3,115
6.Messung vom 28.04 v.re n. li	1,231	1,187	3,273	3,079
1.Messung vom 26.04 v.re n. li	1,244	1,247	3,373	3,182
2.Messung vom 26.04 v.re n. li	1,263	1,261	3,364	3,173
3.Messung vom 26.04 v.re n. li	1,24	1,222	3,374	3,18
4.Messung vom 26.04 v.re n. li	1,226	1,201	3,334	3,14
Mittelwert	1,2479	1,2142	3,3279	3,1324
Reihenfolge	7	6	12	11

Tabelle 4.4.12: 1.)IE2010: Vergleich der Messungen

	2.IE2010_A [s]	2.IE2010_B [s]	2.IE2010_C [s]	2.IE2010_D [s]
1.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,829	1,27	2,748	3,042
2.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,844	1,269	2,695	2,943
3.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,855	1,281	2,704	2,963
4.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,852	1,287	2,69	2,949
5.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,872	1,29	2,721	2,964
6.Messung vom 28.04 v.re n. li	0,856	1,296	2,684	2,954
1.Messung vom 26.04 v.re n. li	0,85	1,279	2,771	3,06
2.Messung vom 26.04 v.re n. li	0,869	1,297	2,768	3,045
3.Messung vom 26.04 v.re n. li	0,85	1,274	2,787	3,058
4.Messung vom 26.04 v.re n. li	0,843	1,265	2,733	3,024
Mittelwert	0,852	1,2808	2,7301	3,0002
Reihenfolge	5	8	9	10

Tabelle 4.4.13: 2.)IE2010: Vergleich der Messungen

#### 4.4.3.1 Spitzenverschluss:

Auch hier erfolgt die Auswertung wieder wie zuvor.

	Mittelwert [ms]	Abweichung nach oben [ms]	Abweichung nach oben [%]	Höchster Wert nach oben [ms]	Abweichung nach unten [ms]	Abweichung nach unten [%]	Höchster Wert nach unten [ms]
W13:L	323,7	7,3	2,25	331	5,7	1,76	318
W13:N	330,9	10,1	3,05	341	8,9	2,68	322
W13:L	4050,6	48,4	1,19	4099	49,6	1,22	4001
W13:N	4050,6	48,4	1,19	4099	49,6	1,22	4001

Tabelle 4.4.14: Auswertung Spitzenverschluss von rechts nach links

#### 4.4.3.2 Verbindungsstange

	Mittelwert [ms]	Abweichung nach oben [ms]	Abweichung nach oben [%]	Höchster Wert nach oben [ms]	Abweichung nach unten [ms]	Abweichung nach unten [%]	Höchster Wert nach unten [ms]
XB1:1	3767,3	50,7	1,34	3818	51,3	1,36	3716
XB1:2	693,9	58,9	8,49	635	32,1	4,62	726
XB1:3	3767,4	51,6	1,37	3819	51,4	1,36	3716
XB1:4	690	36	5,21	726	22	3,19	668

Tabelle 4.4.15: Auswertung Verbindungsstange von rechts nach links

#### 4.4.3.3 1.IE2010

	Mittelwert [ms]	Abweichung nach oben [ms]	Abweichung nach oben [%]	Höchster Wert nach oben [ms]	Abweichung nach unten [ms]	Abweichung nach unten [%]	Höchster Wert nach unten [ms]
1.IE2010_A	1247,9	22,1	1,771	1270	21,9	1,75	1226
1.IE2010_B	1214,2	46,8	3,85	1261	27,2	2,24	1187
1.IE2010_C	3327,9	58,1	1,85	3386	54,9	1,65	3273
1.IE2010_D	3132,4	49,6	1,58	3182	53,4	1,70	3079

Tabelle 4.4.16: Auswertung 1.IE2010 von rechts nach links

#### 4.4.3.4 2.IE2010

	Mittelwert [ms]	Abweichung nach oben [ms]	Abweichung nach oben [%]	Höchster Wert nach oben [ms]	Abweichung nach unten [ms]	Abweichung nach unten [%]	Höchster Wert nach unten [ms]
2.IE2010_A	852	20	2,34	872	23	2,7	829
2.IE2010_B	1280,8	16,2	1,26	1297	15,8	1,23	1265
2.IE2010_C	2730,1	56,9	2,08	2787	61,1	2,24	2669
2.IE2010_D	3000,2	57,2	1,91	2943	57,8	1,93	3058

Tabelle 4.4.17: Auswertung 2.IE2010 von rechts nach links

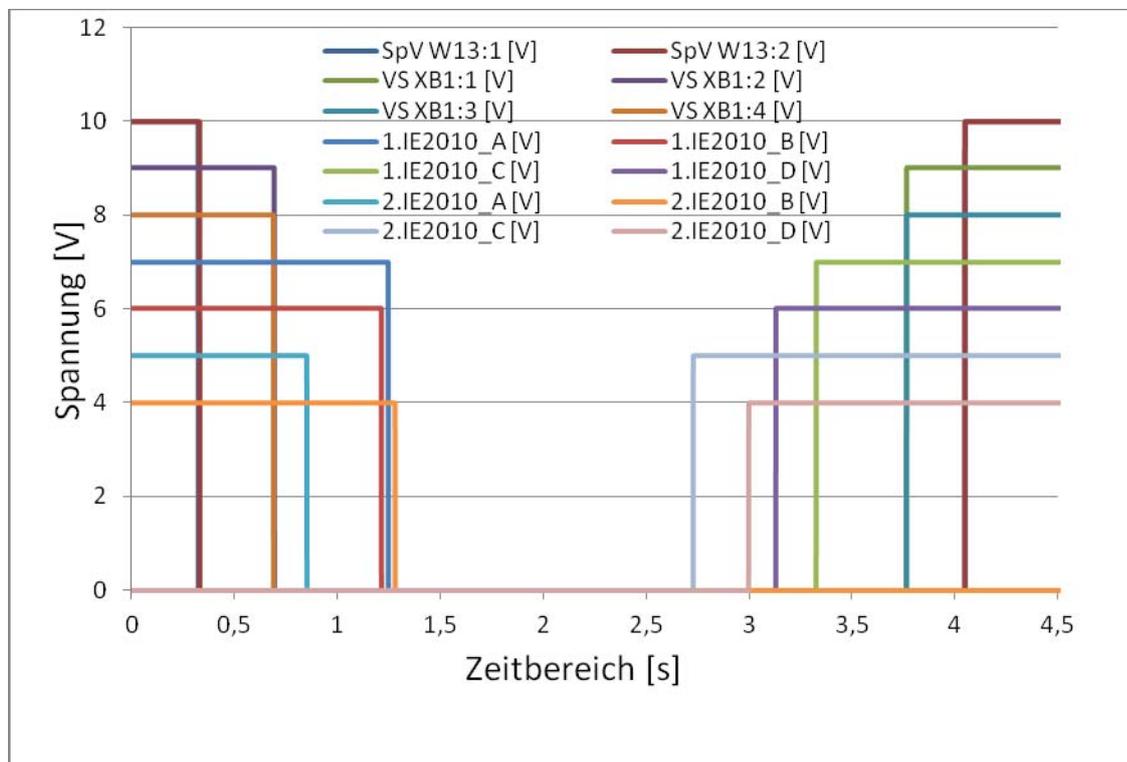


Diagramm 4.4.2: Umstellung von rechts nach links

#### 4.4.4 Messung Störungen

Hierbei wurde eine Umstellung auf Fahrt nach rechts und eine Umstellung auf Fahrt nach links gemacht.

Die Störungen, welche dabei eingebaut wurden, waren eine Klinkenprobe, ein Fremdkörper im ersten und ein Fremdkörper im zweiten IE2010. Die Umstellungen bei gestörtem Betrieb wurden hintereinander aufgezeichnet. Somit erhielt man sechs voneinander unabhängige Messreihen. Zusätzlich wurde noch eine Auffahrung beim

zweiten innenliegenden Endlagenprüfer simuliert. Dies geschah bei der Fahrt nach rechts und bei Fahrt nach links. Somit sind insgesamt acht Messungen die in diesem Kapitel ausgewertet wurden.

Die Fehler möchte im folgenden Kapitel erklären.

#### 4.4.4.1 Klinkprobe:

Dabei wird ein Klinkeisen mit einer Dicke von circa 4mm auf gleicher Höhe der Verbindungsstange zwischen fester Schiene und Weichenzunge gehalten, so dass es nicht möglich ist, mit Verbindungsstange und Spitzenverschluss eine Endlage zu erreichen. Die IE2010 sollten dabei jedoch ohne Probleme ihre Endlage erreichen können und diese auch schaltungstechnisch signalisieren.

#### 4.4.4.2 Fremdkörpererkennung:

Dabei wird ein Klinkeisen mit einer Dicke von ca. 10mm auf gleicher Höhe mit den innenliegenden Endlagenprüfern zwischen feststehender Schiene und beweglicher Weichenzunge gehalten. Somit soll es für die jeweilige gestörte Schalterebene nicht möglich sein, in Endlage zu kommen. Für alle anderen Ebenen jedoch schon.

#### 4.4.4.3 Auffahrung:

Dabei wird bei der Fahrt nach rechts der abliegende Endschalter A des IE2010 und bei der Fahrt nach links der abliegende Endschalter D betätigt.

Bei dieser Messung wurde die Auffahrung auf diese Weise simuliert, dass die entsprechende Prüferhälfte ausgehängt worden ist und während des Aufzeichnungszeitraumes von 8 Sekunden somit betätigt wurde.

Die Messungen wurden wie schon bei der fehlerfreien Umstellung vorgenommen. Alle Messungen stammen vom 27.04.11.

Sie wurden wieder einzeln ausgewertet und im Anschluss in einer Tabelle zusammengefasst, welche hier zur Veranschaulichung abgebildet wird.

	SpV W13:1 [s]	SpV W13:2 [s]	SpV W13:1 [s]	SpV W13:2 [s]
Mittelwert von links n. rechts	0,1203	0,122	3,9335	3,9335
Reihenfolge von links n. rechts	2	1	15	16
27.04.1mess.v.li.n.re.klinkenprobe	0,119	0,118	kein Wert	kein Wert
27.04.2mess.v.li.n.re.fremdk.1.IE2010	0,12	0,122	3,994	3,995
27.04.3mess.v.li.n.re.fremdk.2.IE2010	0,12	0,122	3,937	3,937
27.04.7mess.Auffahrung.fahrt.n.re				
Mittelwert von rechts n. links	0,3237	0,3309	4,0506	4,0506
Reihenfolge von rechts n. links	1	2	15	16
27.04.4mess.v.re.n.li.klinkenprobe	0,334	0,341	kein Wert	kein Wert
27.04.5mess.v.re.n.li.fremdk.1.IE2010	0,319	0,327	4,035	4,035
27.04.6mess.v.re.n.li.fremdk.2.IE2010	0,317	0,325	4,137	4,137
27.04.8mess.auffahrung.fahrt.n.li				

Tabelle 4.4.18: Spitzenverschluss: Auswertung der Störungen vom 27.04.11

	VS XB1:1 [s]	VS XB1:2 [s]	VS XB1:3 [s]	VS XB1:4 [s]
Mittelwert von links n. rechts	0,4405	3,6844	0,4434	3,6845
Reihenfolge von links n. rechts	3	13	4	14
27.04.1mess.v.li.n.re.klinkenprobe	0,438	kein Wert	0,44	kein Wert
27.04.2mess.v.li.n.re.fremdk.1.IE2010	0,453	3,739	0,456	3,74
27.04.3mess.v.li.n.re.fremdk.2.IE2010	0,443	3,699	0,446	3,699
27.04.7mess.Auffahrung.fahrt.n.re				
Mittelwert von rechts n. links	3,7673	0,6939	3,7674	0,69
Reihenfolge von rechts n. links	13	4	14	3
27.04.4mess.v.re.n.li.klinkenprobe	kein Wert	0,73	kein Wert	0,73
27.04.5mess.v.re.n.li.fremdk.1.IE2010	3,749	0,704	3,749	0,702
27.04.6mess.v.re.n.li.fremdk.2.IE2010	3,862	0,701	3,862	0,701
27.04.8mess.auffahrung.fahrt.n.li				

Tabelle 4.4.19: Verbindungsstange: Auswertung der Störungen vom 27.04.11

	1.IE2010_A [s]	1.IE2010_B [s]	1.IE2010_C [s]	1.IE2010_D [s]
Mittelwert von links n. rechts	2,7961	2,8588	1,0006	0,8998
Reihenfolge von links n. rechts	10	11	7	6
27.04.1mess.v.li.n.re.klinkenprobe	2,789	2,85	0,992	0,89
27.04.2mess.v.li.n.re.fremdk.1.IE2010	2,863	kein Wert	1,014	0,905
27.04.3mess.v.li.n.re.fremdk.2.IE2010	2,802	2,891	1,002	0,904
27.04.7mess.Auffahrung.fahrt.n.re				
Mittelwert von rechts n. links	1,2479	1,2142	3,3279	3,1324
Reihenfolge von rechts n. links	7	6	12	11
27.04.4mess.v.re.n.li.klinkenprobe	1,299	1,284	3,386	3,21
27.04.5mess.v.re.n.li.fremdk.1.IE2010	1,227	1,199	kein Wert	3,115
27.04.6mess.v.re.n.li.fremdk.2.IE2010	1,222	1,199	3,265	3,269
27.04.8mess.auffahrung.fahrt.n.li				

Tabelle 4.4.20: 1.) IE2010: Auswertung der Störungen vom 27.04.11

	2.IE2010_A [s]	2.IE2010_B [s]	2.IE2010_C [s]	2.IE2010_D [s]
Mittelwert von links n. rechts	2,9231	2,6704	1,1601	0,8317
Reihenfolge von links n. rechts	12	9	8	5
27.04.1mess.v.li.n.re.klinkenprobe	2,917	2,657	1,167	0,815
27.04.2mess.v.li.n.re.fremdk.1.IE2010	3,017	2,741	1,202	0,851
27.04.3mess.v.li.n.re.fremdk.2.IE2010	2,947	kein Wert	1,176	0,828
27.04.7mess.Auffahrung.fahrt.n.re	1,154			
Mittelwert von rechts n. links	0,852	1,2808	2,7301	3,0002
Reihenfolge von rechts n. links	5	8	9	10
27.04.4mess.v.re.n.li.klinkenprobe	0,892	1,326	2,816	3,079
27.04.5mess.v.re.n.li.fremdk.1.IE2010	0,849	1,274	2,696	2,976
27.04.6mess.v.re.n.li.fremdk.2.IE2010	0,85	1,276	kein Wert	3,069
27.04.8mess.auffahrung.fahrt.n.li				2,05

Tabelle 4.4.21: 2.) IE2010: Auswertung der Störungen vom 27.04.11

Aus den Diagrammen lässt sich sehr gut erkennen, dass sich alle Störfälle wie vorhergesagt verhalten. Auch die Abweichungen vom Mittelwert der zuvor ermittelten normalen Umstellungen sind in einem akzeptablen Rahmen. Daher dient die Messung nur als Beweis für die Richtigkeit der oben getroffenen Annahmen. Auf dieser Basis kann nun die Simulation für Fehler erarbeitet werden.

#### 4.4.5 Referenzmessung mit Oszilloskop

Um die erhaltenen Werte auf ihre Plausibilität zu überprüfen, wurde mit einem Oszilloskop eine Referenzmessung bei der Umstellung von der Fahrt nach rechts auf Fahrt nach links gemacht.

Das verwendete Oszilloskop war ein Fluke 196 C Slopometer Color mit einer Bandbreite von 100MHz. Die firmeninterne Bezeichnung war MB19/F.

Die Messungen wurden wie folgt aufgezeichnet.

1. Messung: von rechts nach links  
Speicher: Kanal 3  
Kanal\_1) Spitzenverschluss\_4  
Kanal\_2) 1.IE2010\_A
2. Messung: von rechts nach links  
Speicher: Kanal 4  
Kanal\_1) Spitzenverschluss\_4  
Kanal\_2) 2.IE2010\_A
3. Messung: von rechts nach links  
Speicher: Kanal 5  
Kanal\_1) Spitzenverschluss\_4  
Kanal\_2)  
Verbindungsstange\_2&3
4. Messung: von rechts nach links  
Speicher: Kanal 6  
Kanal\_1) Spitzenverschluss\_4  
Kanal\_2) 1.IE2010\_A&C  
1.Flanke: A  
2.Flanke: C
5. Messung: von rechts nach links  
Speicher: Kanal 7  
Kanal\_1) Spitzenverschluss\_4  
Kanal\_2) 1.IE2010\_B&D  
1.Flanke: B  
2.Flanke: D
6. Messung: von rechts nach links  
Speicher: Kanal 8  
Kanal\_1) Spitzenverschluss\_4  
Kanal\_2) 2.IE2010\_A&C  
1.Flanke: A  
2.Flanke: C

7. Messung:

von rechts nach links  
Speicher: Kanal 9  
Kanal\_1) Spitzenverschluss  
Kanal\_2) 2.IE2010\_B&D  
1.Flanke: B  
2.Flanke: D

8. Messung:

von rechts nach links  
Speicher: Kanal 10  
Kanal\_1) Spitzenverschluss\_4  
Kanal\_2) Spitzenverschluss\_3

9. Messung

von rechts nach links  
Speicher: Kanal 11  
Kanal\_1) Verbindungsst. 2&3  
Kanal\_2) Verbindungsst. 1&4

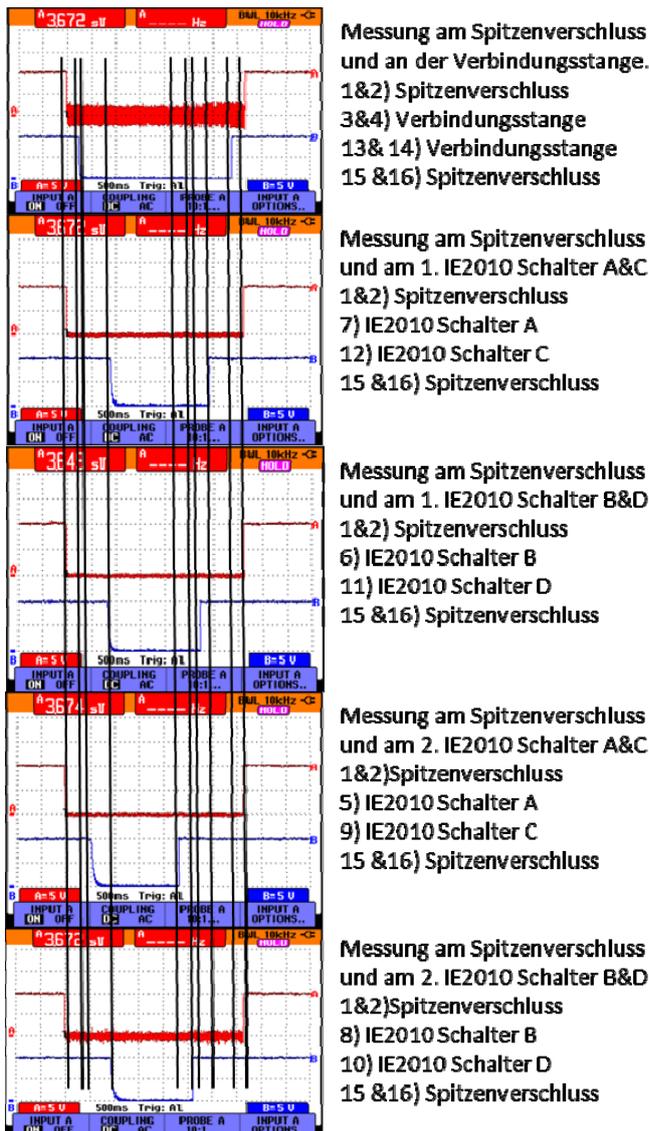


Abbildung 4.4.2: Zeitverhalten bei Referenzmessung

In den dargestellten Schirmbildern kann man, nach der Aneinanderreihung der einzelnen Messungen, wieder den zeitlichen Verlauf einer Umstellung erkennen. Die Messung ist zwar nicht hochauflösend, sodass man die genauen Schaltzeiten auslesen kann, aber trotzdem genau genug, um zu sehen, wie die Reihenfolge der einzelnen Schaltebenen ist

Verglichen mit den Reihungen, welche man bei der Messung mit dem Transienten-Recorder erhielt, sieht man eine sehr exakte Übereinstimmung. Daher können die erhaltenen Messwerte als richtig beurteilt werden und gelten mit dieser Vergleichsmessung als ausreichend validiert.

## 5 Messung der Schnappschalter und Wahl der Schaltelemente

### 5.1 Messung der Schnappschalter

Es sind in allen Komponenten des HYDROSTAR<sup>®</sup>, welche Schalter zur Lageüberwachung eingebaut haben, die gleichen Schalter in Verwendung.

Dabei handelt es sich um den Schnappschalter S800 der Firma Schaltbau, welcher schon beschrieben wurde. Um jedoch das Verhalten der Schalter einigermaßen originalgetreu simulieren zu können, ist es erforderlich, zuerst das Verhalten der Schalter zu ermitteln.

Das Prell- und Schaltverhalten wurde im Projektlabor des Instituts für Elektronik untersucht.

Dabei wurde eine Testspannung von 10VDC an den Eingängen des Schalters angelegt. Auf der Ausgangsseite wurde mit einem Oszilloskop die Spannung gegen Ground gemessen. Also eigentlich eine reine Spannungsmessung, bei der so gut wie kein Stromfluss zustande kommt.

Diese Art der Messung wurde gewählt, da man nur die Spitzen beim Ein- und Ausschalten aufzeichnen wollte und dies auch ohne Stromfluss möglich ist. Auf diese Weise konnte die Messung schneller und einfacher durchgeführt werden.

Getriggert wurde dabei immer auf die positive Flanke von Channel 1, welcher den Schließerkontakt abfragte. Es wurde auch zu Vergleichszwecken auf die negative Flanke von Channel 2, in diesem Fall der Schließerkontakt, getriggert. Dabei wurde bei der Messung aber kein wesentlicher Unterschied festgestellt.

Die Messung wurde mit zwei verschiedenen Schaltern durchgeführt. Dabei wurden jeweils sechsmal das Verhalten beim Einschalten und jeweils zweimal das Verhalten beim Ausschalten gemessen. Insgesamt ergab dies sechzehn Messungen.

Die verwendeten Messgeräte waren:

Spannungsversorgung: TTI EL302T Tripple Power Supply  
Eingestellt auf 10VDC

Multimeter: TENMA Multimeter 72-6206  
Zum Messen der Spannung am Ausgang des Schaltnetzteils.

Oszilloskop: Tektronix TDS 210 60MHz  
Eingestellt war für den Spannungsbereich 2,00V/Div  
Zeitbereich 500µs/Div

Um zu zeigen, wie ident die Messungen waren, werden die Schirmbilder der einzelnen Messungen gezeigt

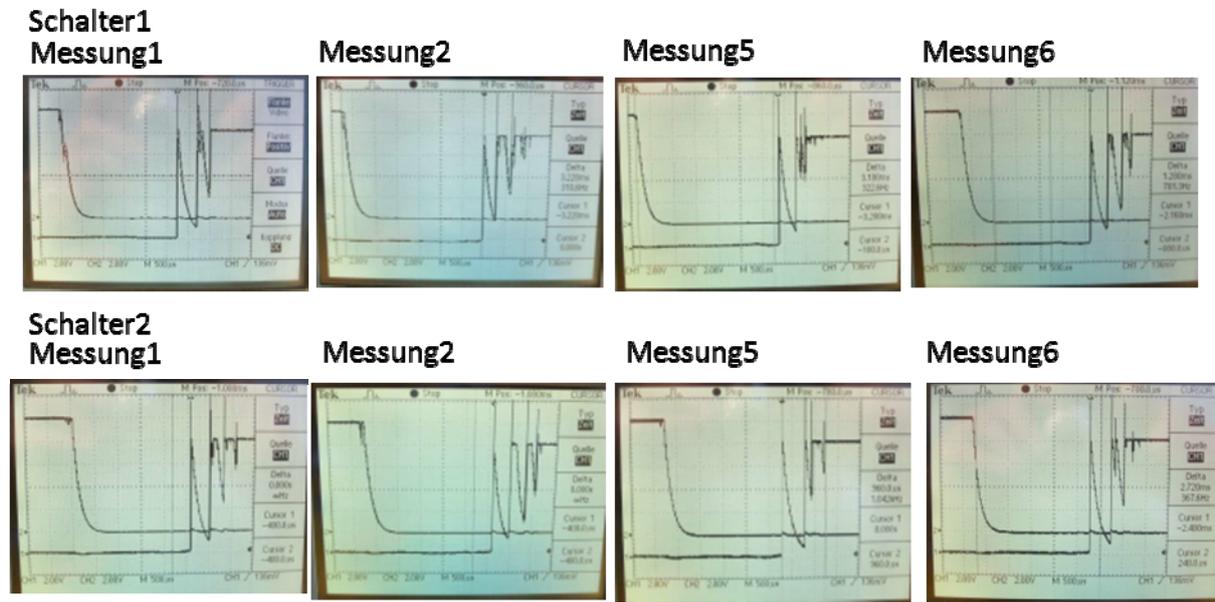


Abbildung 5.1.1: Schaltverhalten der Endschalter beim Einschalten

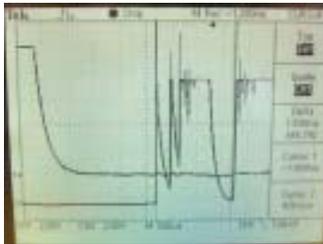
An den Fotos ist das Einschwing- oder Prellverhalten des Schalters gut zu erkennen. In Tabellenform zusammengefasst ergeben sich folgende Werte.

	Fallende Flanke [ms]	Differenz [ms]	Steigende Flanke [ms]						
Schalter1				1.Max. [ms]	1.Min. [ms]	2.Max. [ms]	2.Min. [ms]	3.Max. [ms]	3.Min. [ms]
1.Messung	0,7	2,75	0,8	0,04	0,44	0,48	0,76		
2.Messung	0,6	3,22	1,1	0,02	0,28	0,32	0,62	0,66	0,95
3.Messung	0,7	2,98	1,26	0,02	0,44	0,48	0,68	0,7	1,02
4.Messung	0,976	2,7	1,29	0,01	0,44	0,46	0,71	0,72	0,95
5.Messung	0,84	3,2	0,78	0,02	0,38	0,4	0,49	0,5	0,6
6.Messung	0,7	2,86	0,94	0,01	0,38	0,4	0,7	0,71	0,9
Schalter2									
1.Messung	0,74	2,62	1,04	0,02	0,37	0,39	0,73	0,74	0,95
2.Messung	1,351	2,9	1,7	0,02	0,37	0,39	0,73	0,74	0,95
3.Messung	0,7	2,7	1,4	0,01	0,56	0,63	0,83	0,84	1,17
4.Messung	0,56	2,56	1,12	0,02	0,46	0,48	0,74	0,76	
5.Messung	0,72	2,56	1,6	0,02	0,48	0,5	0,62	0,64	0,92
6.Messung	0,64	2,84	1,12	0,02	0,44	0,5	0,56	0,64	0,78
Mittelwert	0,768	2,824	1,179	0,019	0,42	0,453	0,681	0,695	0,919

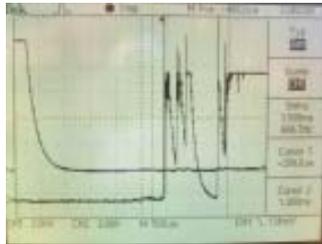
Tabelle 5.1.1: Messung der Schaltflanken beim Einschalten

Um zu zeigen, dass sich das Ausschalten nicht anders verhält, werden hier noch Oszilloskopschirmbilder vom Ausschalten gezeigt und auch diese Messwerte in einer Tabelle gegenübergestellt.

Messung 1:



Messung 2:



Messung 3:

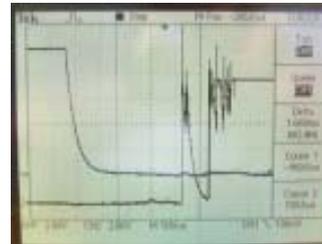


Abbildung 5.1.2: Schaltverhalten der Endschalter beim Ausschalten

	Fallende Flanke [ms]	Differenz [ms]	Steigende Flanke						
Schalter1				1.Max. [ms]	1.Min. [ms]	2.Max. [ms]	2.Min. [ms]	3.Max. [ms]	3.Min. [ms]
1.Messung	0,8	2,34	1,96	0,02	0,24	0,26	0,44	0,46	1,5
2.Messung	0,76	2,72	1,6	0,02	0,2		1,02	1,08	1,24
Schalter2									
1.Messung	0,9	2,34	1,06	0,02	0,1	0,11	0,54		0,71
2.Messung	0,76	3,14	1,5	0,02	0,5	0,54	0,72	0,76	1,22
Mittelwert	0,805	2,635	1,53	0,02	0,26	0,3033	0,68	0,7667	1,1675

Tabelle 5.1.2: Messung der Schaltflanken beim Ausschalten

## 5.2 Wahl der Schaltelemente der Weichensimulation

Prinzipiell standen zwei Arten von Schaltelementen zur Auswahl, um die Schnappschalter simulieren zu können. Dies waren unter anderem Relais und auch Halbleiterrelais.

Jedes der einzelnen Schaltelemente hat Vorteile sowie auch Nachteile hinsichtlich der Realisierung einer Weichensimulation.

### 5.2.1 Vor- und Nachteile von Halbleiterrelais gegenüber elektromechanischen Relais

Bei den Halbleiterrelais gibt es folgende offensichtliche Vorteile gegenüber den elektromechanischen Relais, welche kurz zur Übersicht genannt werden:

- „Sie sind meistens viel kleiner und daher hat man mehr Platzersparnis“. [5]
- „Sie sind zuverlässiger, da sie keine beweglichen Teile besitzen und keine Kontakte haben, welche abgenutzt werden können“. [5]

- Sie bieten eine einfachere Schaltung mit geringeren Anforderungen an die Energieversorgung und die Wärmeabfuhr [5]

Die Nachteile liegen in diesem Zusammenhang aber auch auf der Hand werden auch aufgezählt:

- Sie bieten zwar ideale Eigenschaften, sind aber auch prellfrei, was in diesem Zusammenhang als Nachteil gewertet werden kann, da mechanische Schalter simuliert werden sollten [5]
- Sie sind von der Anschaffung her um ein Vielfaches teurer, was bei einem beschränkten Budget große Auswirkungen auf die Wahl der Schaltelemente hat.
- Die Ansteuerung ist zwar einfach, aber beim Schalten von Wechselspannung könnten sie die Signalform beeinflussen, da diese aus Halbleiterschichten aufgebaut sind. Auf diese Weise könnte die Simulation verfälscht werden.

### 5.2.2 Entscheidung über die Wahl der Schaltelemente

Aufgrund der aufgezählten Vor- und Nachteile fiel die Wahl auf elektromechanische Relais.

Diese Entscheidung war auf die Anschaffungskosten und das Prellverhalten der Relais zurückzuführen. Dazu kam auch noch die praktische Erfahrung beim Arbeiten mit elektromechanischen Relais.

Da es allerdings sehr schwer ist, Relais zu finden, welche bei den geforderten Schaltleistungen und einer relativ geringen Baugröße sowohl Gleich- als auch Wechselspannung dauerhaft schalten können, musste die Entscheidung getroffen werden, dass sowohl AC wie auch DC-Relais verwendet werden. Dabei wurden die Relais in Module verbaut, welche je nach Anwendung ausgetauscht werden können. Die Ansteuerung der Relais ist in beiden Anwendungsfällen total ident.

Es unterscheidet sich nur die Baugröße der Relais und natürlich auch die Anzugs- und die Abfallzeit der Schaltkontakte. Daher wurden die Bauteile vermessen und die Schaltzeiten aufgenommen, um diese bei der Simulation berücksichtigen zu können.

## 5.3 Wechselstromrelais

Die verwendeten Relais sind von der Firma Panasonic und tragen die Typenbezeichnung ALZ12B12. Die genauen Spezifikationen des Relais können aus dem dazugehörigem Datenblatt entnommen werden.[16]

Das Relais ist für einen Strom von bis zu 10A bei einer Spannung von 400V spezifiziert, was genau auf die Anforderungen aus dem Lastenheft zutrifft.

### 5.3.1 Messung der Verzögerungszeiten

Die Testschaltung war ähnlich der der endgültigen Version aufgebaut. An ihr wurden die Testmessungen vorgenommen. Die Relais wurden über den Leistungs-MOSFET IRFZ34PbF zu- und weggeschaltet. Am MOSFET wurde am Gate eine Spannung von 5VDC angelegt um damit den Ausgang des Mikrocontrollers simulieren zu können.

Die Schaltverzögerungen sind mit dem Oszilloskop Tektronix TDs 210 aufgezeichnet worden. Es wurde dabei auf Kanal 2 getriggert. Der Kanal 2 war direkt nach dem Taster geschaltet. Somit war es möglich den Einschaltzeitpunkt direkt zu messen. Der Kanal 1 war am Schließer- beziehungsweise am Öffnerkontakt des Relais angelegt, und der Wurzel des Relais wurde eine Spannung von 5 VDC angelegt um die Ein- und Ausschaltzeiten messen zu können. Dabei ist eine Messreihe von jeweils zehn Messungen pro Relais aufgenommen worden, um eventuelle Ausreißer in der Messreihe erkennen und eliminieren zu können. Die erhaltenen Verzögerungszeiten wurden in einer Tabelle zur Auswertung festgehalten.

Der Aufbau der Testschaltung wird in der folgenden Abbildung kurz beschrieben werden. Es wurde nicht nur wie in der Darstellung abgebildet am Schließerkontakt gemessen, sondern auch am Öffner. Dabei wurde einfach der Channel 1 des Oszilloskops an den anderen Kontakt angelegt und die Messung gleich durchgeführt.

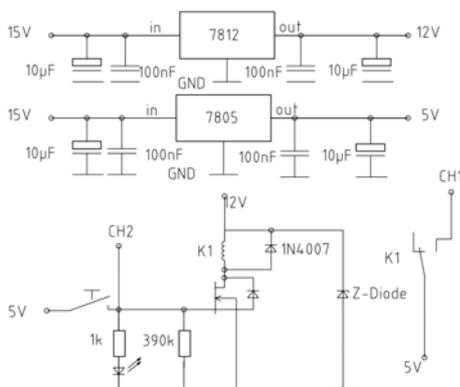


Abbildung 5.3.1: Messung der Verzögerungszeit am AC Relais

Die aufgenommenen Messzeiten sind in der folgenden Tabelle eingetragen und wurden in weiterer Folge beim Aufbau und der Programmierung der Schaltung als Referenz herangezogen werden. Dabei muss die Delay-Time, welche sich hier ergab, von den Zeiten, welche bei der Messung der realen Schaltzeiten gemessen wurde, subtrahiert werden.

Sample	Schließer-Kontakt		Öffner -Kontakt	
	Einschaltverz. [ms]	Ausschaltverz. [ms]	Einschaltverz. [ms]	Ausschaltverz. [ms]
1	7,76	8,4	14	5,92
2	7,32	8,4	13,7	5,92
3	7,24	8,4	13,7	5,92
4	6,84	8,3	14	5,92
5	6,920	8,7	14,2	5,92
6	6,96	8,3	13,5	5,94
7	7,32	8,3	13,8	6,1
8	7,16	8,5	13,4	5,92
9	7,080	8,4	14,2	5,92
10	6,680	8,4	13,8	5,92
Mittelwert	7,128	8,41	13,83	5,94

Tabelle 5.3.1: Messung der Delay-Time AC-Relais

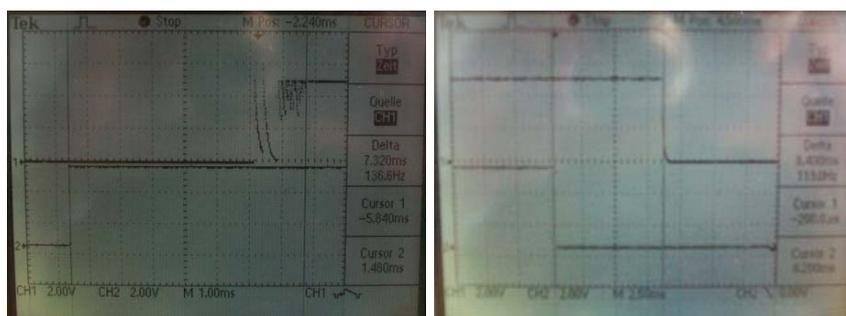


Abbildung 5.3.2: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Schließer-Kontakte AC Relais

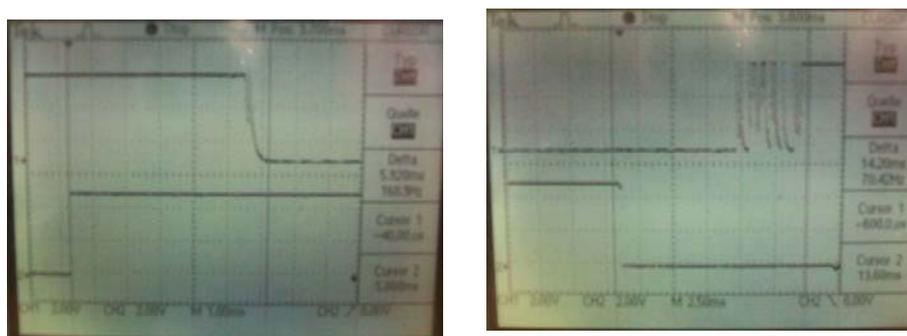


Abbildung 5.3.3: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Öffnerkontakt AC-Relais

### 5.3.2 Messung an 400VAC

Nach der erfolgreichen Messung mit einer Spannung von 5VDC an den Relaiskontakten wurde auch noch eine weitere Messung mit 400VAC gemacht. Diese Messung sollte die in der realen Anwendung vorkommenden Ströme und Spannungen testen. Dabei wurde, wie in der Spezifikation gefordert, ein Strom von

10A über den Kontakt geschaltet. Die 400V Wechselspannung hatte im Testfall eine Frequenz von 50Hz.

Um das Schaltverhalten zu detektieren wurde wieder mit einem Oszilloskop gearbeitet. In dieser Anwendung wurde ein Fluke 196 C Slopometer Color mit einer Bandbreite von 100MHz verwendet. Die firmeninterne Bezeichnung war MB19/F. Weiters wurden auch noch die Wechselspannung direkt an der Quelle, dem Trenntransformator, gemessen und der Strom aufgenommen. Die Messung war in diesem Fall eine spannungsrichtige. Der Strom wurde durch zwei zweispulige Rheostate der Firma Metallux begrenzt. Der eingestellte Widerstand der Schiebewiderstände in Serie war gesamt 40Ω. Das heißt, dass jeder von diesen auf einen Wert von 20Ω eingestellt war.

Die Spannung wurde mit einem Fluke 179 aufgenommen und der Strom mit einem Fluke 187.

Es ergaben sich für: Spannung gemessen= 379V

Strom gemessen= 9,421A

Die Schaltung selbst sah wie in der nächsten Abbildung dargestellt aus. Dabei wurde natürlich, wie auch schon bei der Messung mit 5V, am Schließer- und am Öffnerkontakt die Spannung angelegt und an diesen mit dem Oszilloskop gemessen.

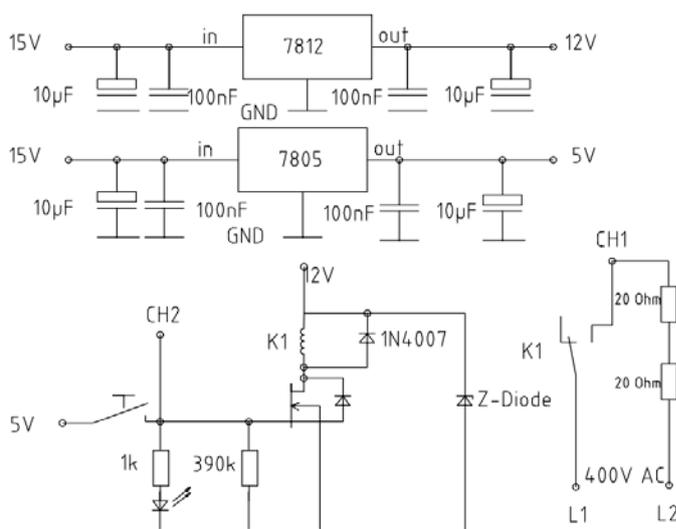


Abbildung 5.3.4: Messung bei 400 VAC am AC Relais

Die erhaltenen Schirmbilder sind wieder in den folgenden Abbildungen dargestellt. Betrachtet man die Verzögerungszeiten zwischen der Steuerspannung und der

Schaltspannung sieht man recht gut, dass die Schaltzeiten wieder mit den schon zuvor ermittelten übereinstimmen.

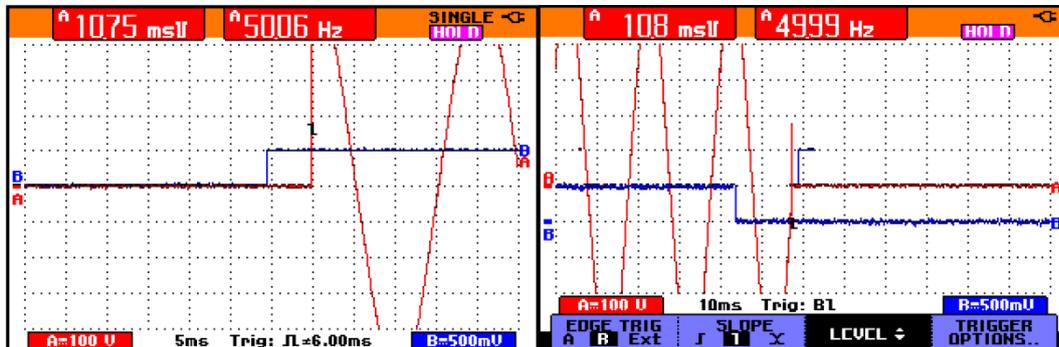


Abbildung 5.3.5:: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Schließerkontakt bei 400 VAC

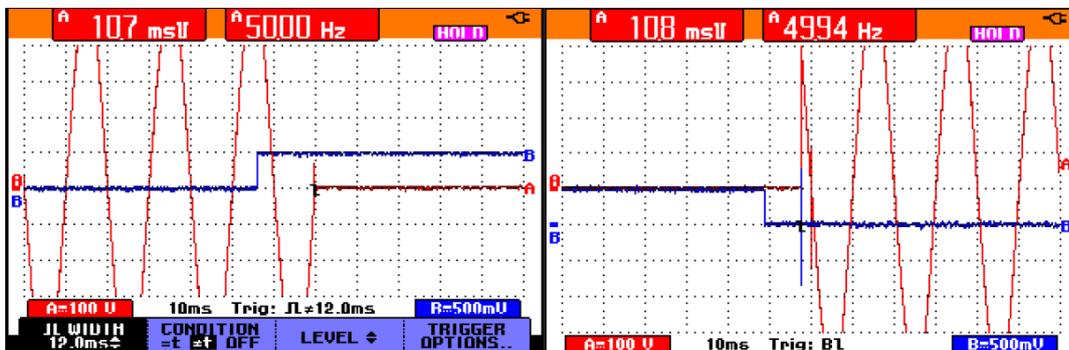


Abbildung 5.3.6: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Öffnerkontakt bei 400 VAC

## 5.4 Gleichstromrelais

Die verwendeten Relais waren wieder vom gleichen Hersteller wie die Wechselstromrelais und haben die Typenbezeichnung JC2aF-DC12V-Y1-F-H73. Die Anforderung laut Lastenheft war, dass die Relais fähig sein sollten bei einer Spannung von 144VDC einen Strom von 8A schalten zu können. Aus der Lastenkurve im Datenblatt des Relais kann dieser Wert entnommen werden.[17]

### 5.4.1 Messung der Verzögerungszeiten

Die Beschaltung der Gleichstromrelais ist ähnlich der der Wechselstromrelais. Die Primärwicklung wurde wieder mit einer Freilaufdiode und einer Z-Diode beschalten. Gesteuert wurden sie auch wieder über denselben MOSFET wie schon die AC Relais. Nur sekundärseitig ist die Beschaltung etwas anders. Da es hier auf Grund der Funkenlöschung bei diesen Leistungen nicht möglich ist, einen Wechselkontakt zu verwenden, musste hier nur mit Schließerkontakten gearbeitet werden. Dabei sind die zwei Schalter, welche das Relais zur Verfügung stellt, aus Gründen der Funkenlöschung in Serie zu schalten. Da auch keine Öffnerkontakte zur Verfügung stehen, musste zu dessen Simulation die Steuerspannung invertiert werden. Dies wurde mit einem Inverter- Bauteil 74F04 der Firma Texas Instruments erledigt. Somit war es nun auch möglich, das DC-Relais wie einen Öffner oder Schließer zu schalten. Die Daten und die Anforderung der Beschaltung, dass beide Kontakte in Serie sein müssen, können dem Datenblatt der Relais entnommen werden. [17]

Der Aufbau der Testschaltung ist wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

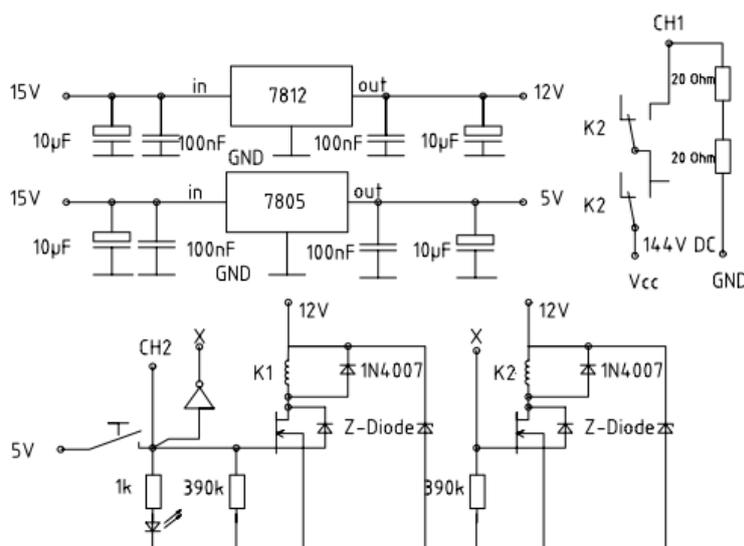


Abbildung 5.4.1: Messung der Verzögerungszeit am DC Relais

Während der Testphase wurden wieder die Verzögerungszeiten zwischen dem Schaltbefehl im Steuerkreis und dem Schalten des Relaiskontakts gemessen. Es wurden auch hier jeweils zehn Messungen aufgenommen, um eventuelle statistische Ausreißer erkennen und entfernen zu können. Auf diese Weise erhielt man in weiterer Folge einen verwertbaren Mittelwert. Dieser sollte dann bei den DC-Anwendungen, wie auch schon beim AC-Relais erklärt, von den ermittelten, originalen Schaltzeiten subtrahiert werden.

Sample	Schließerkontakt		Schließerkontakt Invertiert	
	Einschaltverz. [ms]	Ausschaltverz. [ms]	Einschaltverz. [ms]	Ausschaltverz. [ms]
1	10,5	14	13,4	12,6
2	10,3	14,0	13,8	11,5
3	10,3	14,3	13,7	11,4
4	10,9	13,9	13,7	11,4
5	10,0	13,6	13,7	11,4
6	9,7	14,10	13,4	11,4
7	9,7	13,8	13,8	11,4
8	9,8	14,5	13,8	11,4
9	9,7	14,4	14,00	11,4
10	9,7	13,6	13,7	11,4
Mittelwert	10,06	14,02	13,7	11,53

Tabelle 5.4.1: Messung der Delay-Time DC-Relais

Die Messungen wurden wieder mit dem Oszilloskop Tektronix TDS 210 aufgezeichnet und zur Veranschaulichung der erhaltenen Werte wird auch aus jeder Messung ein Schirmbild in den folgenden Abbildungen dargestellt.

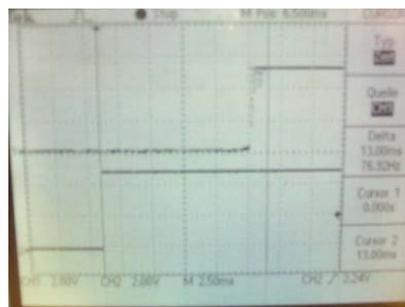
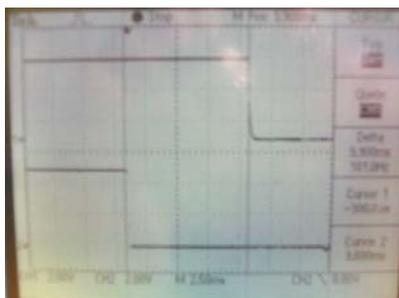


Abbildung 5.4.2: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Schließerkontakte DC Relais

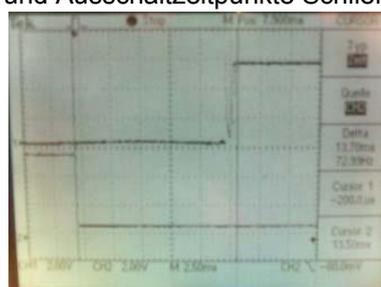
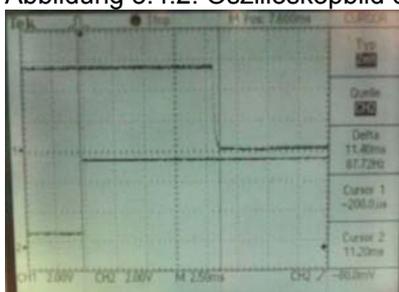


Abbildung 5.4.3: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Schließerkontakt DC-Relais invertiert

Aus den Oszilloskopbildern lässt sich das Schaltverhalten sehr schön erkennen und man sieht auch, dass die Verzögerungszeiten mit den Werten aus der Tabelle übereinstimmen.

### 5.4.2 Messung an 144VDC

Nach erfolgreicher Messung und Aufzeichnung der Werte bei einer sekundärseitig angelegten Spannung von 5VDC, wurde im Anschluss das Verhalten bei der geforderten Spannung von 144VDC und einen Strom von 8A gemessen. Um diesen Strom zu erreichen, wurden wieder, wie bei der Messung mit der Wechselspannung, zwei Rheostate in Serie nach dem Relais geschaltet. Es waren wieder dieselben der Firma Metallux mit einem Widerstand von  $2 \times 30\Omega$  und einer Leistung von  $2 \times 600W$ . Es wurden die beiden Wicklungen der einzelnen Schiebewiderstände parallel geschaltet, und ein Wert von  $18\Omega$  wurde eingestellt. Diese ergaben dann pro Widerstand  $9\Omega$  und bei der Serienschaltung von zwei Stück wieder  $18\Omega$ . Diese Schaltung war nötig, um die Widerstände leistungsmäßig nicht zu überlasten.

Das Schaltverhalten wurde wieder mit dem Fluke 196 C Slopemeter Color mit einer Bandbreite von 100MHz aufgezeichnet und die Schirmbilder sind auch wieder zur Veranschaulichung im Anschluss nach der Schaltung abgebildet.

Die Spannung wurde wieder mit einem Fluke 179 aufgenommen und der Strom mit einem Fluke 187.

Es ergaben sich für: Spannung gemessen = 144 VDC  
Strom gemessen = 8,01 A

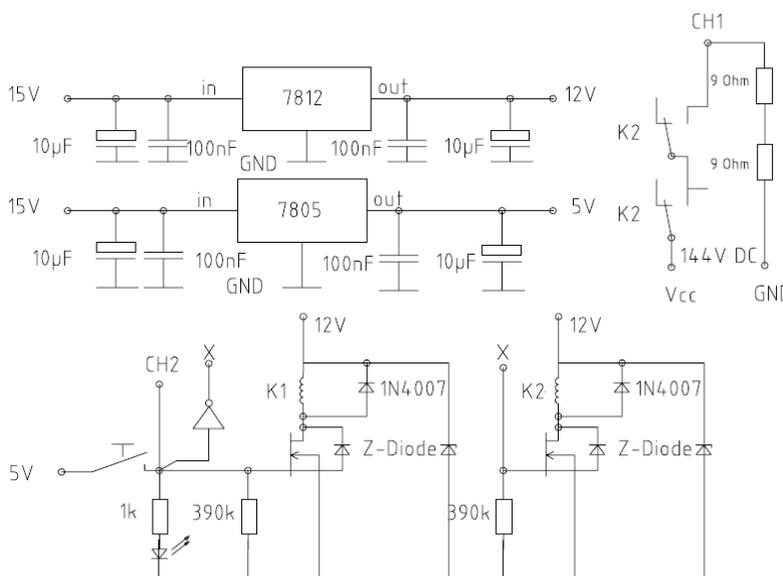


Abbildung 5.4.4: Messung bei 144 VDC am DC Relais

Die Schaltung ist hier nur für die Anwendung des invertierten Relais gezeichnet, ist aber vom Aufbau her für das nicht invertierte komplett ident. Dieses wird daher nicht mehr abgebildet.

Es wurden nun wieder das Ein- und das Ausschaltverhalten des invertierten Relais und des nicht invertierten Relais aufgezeichnet und in den folgenden Abbildungen dargestellt.



Abbildung 5.4.5: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Relais nicht invertiert bei 144 VDC

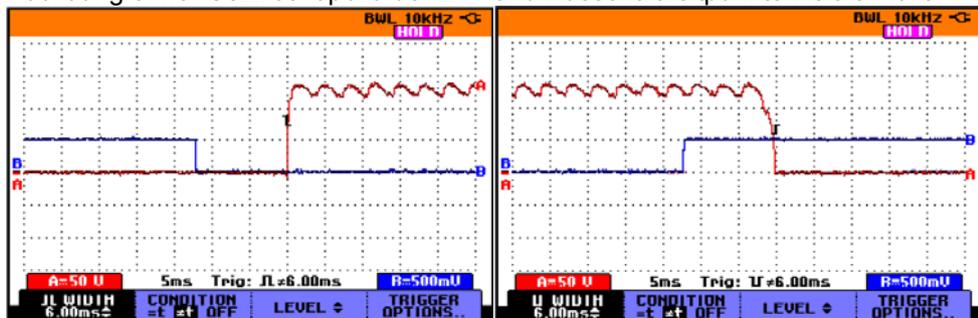


Abbildung 5.4.6: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Relais invertiert bei 400 VAC

Wenn man sich nun die Verzögerungszeiten bei einem Stromfluss von 8A ansieht, kann man aus den Schirmbildern sehr gut erkennen, dass die Zeiten relativ genau mit den bei 5V gemessenen übereinstimmen.

## 5.5 Verhalten an der Spule

Neben der Verzögerungszeit wurden auch noch das Schaltverhalten und die Überspannungen an der Primärseite beim Zu- und Wegschalten mit Hilfe des MOSFETs aufgezeichnet.

Wie schon am Anfang beschrieben, wurden die Primärwicklungen mit einer Zenerdiode und einer Freilaufdiode beschalten. Diese sollten nun dazu dienen, den MOSFET zu entlasten und Gegeninduktionsspannungen abzubauen. Um das Verhalten der Wicklung nun genau festzuhalten, wurde an dem Versorgungspin des Relais mit dem Oszilloskop gemessen.

Die Messung wurde für das Wechselspannungs- sowie für das Gleichspannungsrelais gleich durchgeführt. Die erhaltenen Schirmbilder wurden

wieder fotografiert und sind zur Veranschaulichung wieder in dieses Dokument eingebunden. Messung Gleichspannungsrelais



Abbildung 5.5.1:: Ein- und Ausschaltverhalten des DC Relais

Man erkennt beim Ausschalten nur ein ganz minimales Schwingen an der Spule, was doch sehr für das gute Verhalten der Beschaltung spricht. Beim Einschalten ist ein stärkeres Überschwingen der Spannung zu beobachten. Dies ist auf das Sperren der Freilaufdiode zurückzuführen und hat auf die Funktion der Schaltung als Gesamtes keinen Einfluss.

#### 5.5.1 Messung Wechselfspannungsrelais:

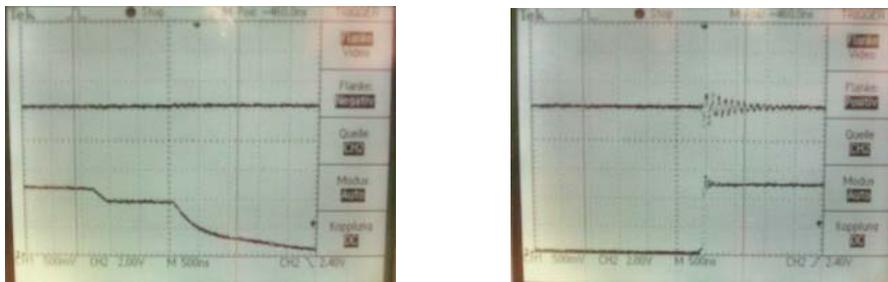


Abbildung 5.5.2: Ein- und Ausschaltverhalten des AC Relais

Für das Verhalten der Relais gilt das Gleiche wie auch für das Gleichspannungsrelais. Daher sind die Schirmbilder auch sehr ident.

## 6 Aufbau des Prototyps

Der erste Schritt zum Aufbau eines Prototyps war eine ganz spartanische Konstruktion auf einer Lochrasterplatine. Dabei wurden die einzelnen Komponenten frei mit Drähten miteinander verbunden. Die gesamte Konstruktion wurde auf einem Aluminiumblech mit Distanzschrauben montiert, sodass die gesamte Konstruktion mehr Stabilität hatte und keine unbeabsichtigten Kurzschlüsse verursacht werden konnten.

Nachdem eine Testroutine geschrieben wurde, und diese am ersten Prototyp getestet und validiert wurde, wurde ein zweiter Prototyp aufgebaut, der in einem Gehäuse verbaut war und der endgültigen Version schon sehr ähnlich sah.

Mit diesem wurde die Programmroutine noch weiter optimiert und die mechanischen und funktionellen Eigenschaften teilweise noch verbessert, sodass die letztgültige Version der Slaves entstand.

### 6.1 Aufbau und Funktion des ersten Prototyps

Wie schon vorhin beschrieben, war der erste Prototyp sehr spartanisch aufgebaut und enthielt nur die wichtigsten Elemente, um ein Programm erstellen zu können und um dieses auch testen zu können. Die Abbildung 6.1.1 soll auf einfachste Weise erklären, wie dieser aufgebaut war.

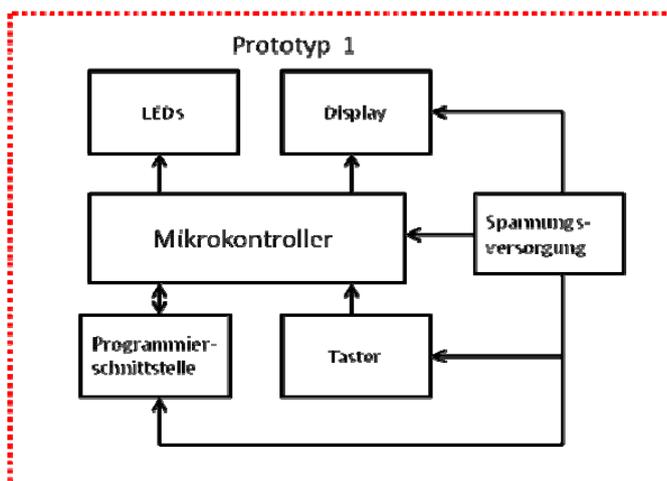


Abbildung 6.1.1 Aufbau des ersten Prototyps

Dabei waren alle Komponenten auf der Lochrasterplatine befestigt.

#### 6.1.1 Elektronische Komponenten.

An dem ersten Prototyp wurde auch schon getestet, welche elektronischen Komponenten sich für den weiteren Einsatz in der Weichensimulation eignen und auf

welche verzichtet werden sollte. Die einzelnen Hauptkomponenten, welche auch im Blockschaltbild beschrieben sind, werden in weiterer Folge noch etwas genauer beschrieben.

- 1) Der Mikrocontroller war ein Atmega 324P [3] welcher für den gesamten weiteren Aufbau auch unter Verwendung war.  
Das Auswahlkriterium für diesen Mikrocontroller war schlicht und einfach dieses, dass einige Stück dieser Bauart zur Verfügung standen, und diese alle an sie gestellten Anforderungen erfüllten. Als erster Controller war ein Atmega 644 im Einsatz. Dieser wies für die geforderten Eigenschaften keinen Unterschied zum Atmega 324P auf, bis auf die Tatsache, dass dieser nicht mit zwei UARTs ausgestattet war. Da es aber laut Lastenheft die Anforderung gibt, dass eine RS232 und eine RS485 Schnittstelle für eine spätere Ausbaustufe an der Weichensimulation vorhanden sein muss, fiel die Entscheidung schlussendlich auf den Atmega 324P.
- 2) Bei der Verwendung des Displays wurde zuerst ein wenig experimentiert. Anfangs war ein low-cost Display mit einer Zeile und 16 Zeichen in Verwendung. Es stellte sich aber bald heraus, dass dieses einfach zu klein war. Als nächstes wurde mit einem zweizeiligen und 16 Zeichen langen Display experimentiert, aber auch dieses war zu klein. Daher wurde ein 4x20 Zeichendisplay ausgewählt. An diesem wurde die gesamte Testroutine geschrieben. Nachdem das Display, welches eine grüne Hintergrundbeleuchtung hatte, aber nicht gefiel, wurde ein 4x20 Zeichen Display mit blauer Hintergrundbeleuchtung [6] ausgewählt, welches sich auch bis zur Fertigstellung aller Slavemodule hielt.
- 3) Die Programmierschnittstelle wurde mit einer zehnpoligen Stiftleiste realisiert. Dabei wurde der Standard einer ISP Schnittstelle gewählt.  
Die Kontaktbelegung der einzelnen Stifte war wie folgt:  
Pin1: MOSI                      Pin2: VCC  
Pin3: USIG1                    Pin4: GND  
Pin5: RESET                    Pin6: GND  
Pin7: SCK                        Pin8: GND  
Pin9: MISO                       Pin10: GND  
Diese Form der Realisierung wurde gewählt, da die in der Firma verwendeten Programmierschnittstellen meist diesen Standard zugrunde liegen haben und versucht wurde mit den bestehenden Standards bei der Entwicklung konform zu sein.

- 4) Bei der Spannungsversorgung wurde ein 78L05 Längsregler eingesetzt, um die Spannung auf 5V konstant zu halten. Die 5V wurden für die gesamten Entwicklungsschritte beibehalten.  
Zumindest der Mikrocontroller, die Tastatur und das Display wurden mit dieser Spannung versorgt. In einer weiteren Ausbaustufe kamen dann die Relais zum Prototyp hinzu, was dann die Verwendung einer 12V Konstantspannung erforderte. Auch diese wurde mit einem Längsregler realisiert. Hier kam die Type 78L12 zum Einsatz.
- 5) Die LEDs waren ganz einfache rote und grüne LEDs, welche in dieser Anwendung als Ersatz für die Relais fungierten. In den ersten Schritten der Entwicklung und beim Schreiben des Programms war es nicht nötig, Relais anzusteuern. Man wollte nur eine Signalisierung der Ausgänge des Mikrocontoller erreichen. Mit Hilfe von LEDs war es am einfachsten, die Zustände zu signalisieren. Daher wurde diese Variante gewählt. Da es aber als hilfreich empfunden wurde, die Zustände dauerhaft anzuzeigen, wurden die LEDs als Zustandsanzeige für die Relais im Projekt beibehalten.
- 6) Die Tastatur wurde anfangs ganz einfach mit Miniatur Drucktaster für die Printmontage und einer dazugehörigen Schalterentprellung realisiert. Die Schalterentprellung selbst wurde aus der Schaltung des Atmel Evaluierungs-Board Version 2.0.1 kopiert.  
In einer weiteren Ausbaustufe wurde eine Folientastatur verwendet. Diese bestand aus vier Tastern. Der Anschluss der Tastatur beinhaltete genau fünf Pins. Einer war die gemeinsame Wurzel der Taster, an welchem eine Spannung von 5V angelegt wurde. Die anderen Kontakte waren jeweils ein Ausgang eines Tasters. Die Entprellung wurde beibehalten, wie sie schon bei den Printtastern ausgeführt war. Nachdem sich herausstellte, dass die Methode mit der Folientastatur sehr gut funktionierte, wurde beschlossen auch diese Lösung für die weiteren Entwicklungsschritte beizubehalten.

Mit dieser Schaltung war es nun möglich, ein Programm zu schreiben, mit welchem die Zeitabläufe der Umstellung getestet werden konnten.

Es konnten auch schon die ersten Komponenten für den weiteren Schaltungsaufbau getestet werden und gewisse Komponenten verworfen werden. Weiters war es möglich, sich auf diese Weise schon auf bestimmte Bauteile festzulegen, welche in der weiteren Ausführung ein Teil der Schaltung blieben. Eine genauere Auswahl konnte im Anschluss bei dem Bau des zweiten Prototyps getroffen werden.

## 6.2 Aufbau und Funktion des zweiten Prototyps

Beim Aufbau des zweiten Prototyps konnte die Grundstruktur des ersten beibehalten werden.

Jedoch wurde das ganze System schon in einem fertigen Gehäuse verbaut und auch schon mit den getesteten Relais und den Schnittstellen nach außen realisiert.

Der schematische Aufbau des zweiten Prototyps kann dem Blockschaltbild in Abbildung 6.2.1 entnommen werden.

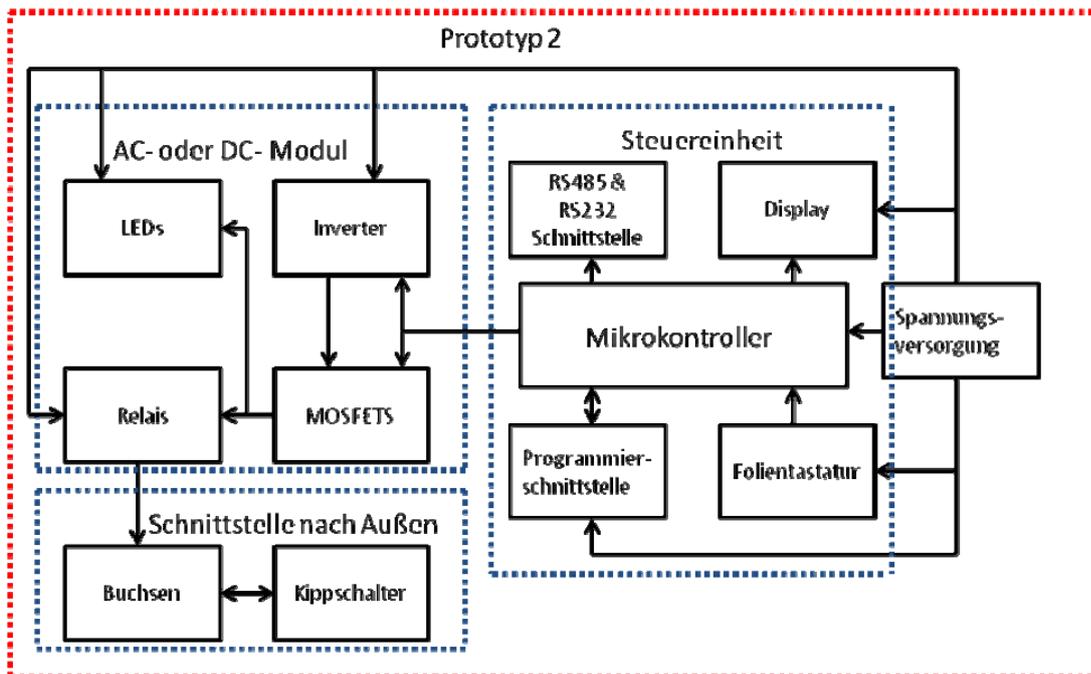


Abbildung 6.2.1 Aufbau des zweiten Prototyps

In dieser Abbildung kann man sehr schnell erkennen, dass sich im Vergleich zu Abbildung 6.1.1 einiges geändert hat. In der Steuereinheit sind die LEDs verschwunden und stattdessen wurden Schnittstellentreiber hinzugefügt.

Des Weiteren wird von der Steuereinheit aus ein Schaltmodul angesteuert, welches die schon erklärten Relais beinhaltet. Von diesem Schaltmodul aus wird wiederum auf die Schnittstelle nach außen gedeutet. Diese ermöglicht es nun wirklich Ströme und Spannungen, wie diese auch im Lastenheft gefordert werden, zu schalten.

Die elektronischen und schaltungstechnischen Komponenten, welche in dieser Ausführung neu sind, werden im folgenden Kapitel kurz beschrieben.

### 6.2.1 Elektronische Komponenten.

- 1) Die RS232 und RS485 Schnittstelle, wurden wie im Lastenheft gefordert realisiert. Sie haben zum jetzigen Stand des Projektes noch keine Funktion,

sollten aber für spätere Anwendungen schon in der Schaltung vorhanden sein, um diese dann nur mehr ausprogrammieren zu müssen.

- 2) Das Schaltmodul, auch AC- oder DC-Modul genannt, beinhaltet die Relais, welche den Motorstrom schalten können. Sie werden von der Steuereinheit aus, genau genommen über den Mikrocontroller über MOSFETS ein- und ausgeschaltet. Da die Schalter, welche in der Weiche verbaut sind, je einen Öffner und einen Schließer beinhalten, wird mit einem Ausgang des Mikrocontrollers ein Relais direkt und ein Relais über einen Inverter angesteuert. So kann man mit einem Stellbefehl je zwei Relais gegengleich ansteuern. Dies war erforderlich, da die DC-Relais nur über Schließerkontakte verfügen. Da einfachheitshalber die Schaltung der AC- und der DC-Module gleich sein sollte, wurde dies bei den AC-Modulen auf die gleiche Weise realisiert.

Um den Zustand der Relais anzuzeigen, wurde zu jeder Relaispule eine Leuchtdiode mit einem Widerstand zur Strombegrenzung parallel geschaltet. Ist nun der MOSFET durchgeschaltet und daher die Spule angezogen, leuchtet auch die LED und signalisiert so den Zustand der Schalterstellung.

Die Art der Realisierung der Schaltermodule wurde für die Weichensimulation beibehalten und ist auch in der Endfassung mit der gleichen Beschaltung zu finden. Der einzige Unterschied dazu ist der, dass der Prototyp auf Lochraster realisiert wurde, und für die endgültige Version eine gelayoutete Platine gefertigt wurde.

Die Schaltung selbst wird in Kapitel 7.4 noch genauer beschrieben.

- 3) Über die Schnittstelle nach außen werden die Kontakte der Relais des Schaltermoduls über Buchsen am Gehäuse angelegt. Da es laut Lastenheft gefordert ist, gewisse Störungen simulieren zu können, sind alle Relaiskontakte in Serie zu einem mechanischen Schließer. Dieser ermöglicht es, Schalterunterbrechungen zu simulieren. Weiters können die einzelnen Relais weggeschaltet werden und auf diese Weise eine schräge Kontaktbrücke simuliert werden. Die Beschaltung nach außen wurde bei diesem Prototyp mehrmals geändert und ist in ihrer endgültigen Form so, wie sie auch bei der Letztversion der Weichensimulation eingesetzt wurde.
- 4) Der mechanische Aufbau des zweiten Prototyps war richtungsweisend für die endgültige Form der Weichensimulation. Er unterscheidet sich nicht mehr stark von der Letztversion und wird daher hier nicht genauer beschrieben. Der mechanische Aufbau der endgültigen Version ist unter Kapitel 8 zu finden.

## 7 Erstellung des Slave-Moduls

Das Slave-Modul wurde nach der Vorlage des zweiten Prototyps erstellt.

Für den mechanischen Aufbau wird auf Kapitel 8 verwiesen. In diesem Kapitel wird erklärt, wie die einzelnen Komponenten des Slave-Moduls aufgebaut sind und welche Funktion diese übernehmen. Weiters werden hier die einzelnen Schaltungen und Schaltungskomponenten sowie deren Funktion erklärt. Neben dem grundsätzlichen Aufbau und der Verschaltung der einzelnen Komponenten untereinander wird auch der Aufbau und die Funktion der einzelnen Platinen in diesem Kapitel erklärt.

### 7.1 Aufbau des Slave-Moduls

Der funktionelle Aufbau des Slave-Modul, ist sehr stark an den Aufbau des zweiten Prototyps angelehnt da dieses, aus dem entstanden ist.

Dabei kann wieder von einer Steuereinheit, einem AC- beziehungsweise DC-Modul und einer Schnittstelle nach außen gesprochen werden, wie dies auch im Kapitel Aufbau des Prototyps in der Abbildung 6.1.1 Aufbau des ersten Prototyps dargestellt ist. Doch zum Unterschied dazu sind die Schaltungen nun auf einer gelayouteten Platine aufgebaut und werden noch genauer beschrieben. An dem AC- und DC-Modul hat sich nichts mehr verändert. Auch die Schnittstelle nach außen ist geblieben, wie sie schon beim zweiten Prototyp im Einsatz war.

In Zusammenschaltung sieht das System aus, wie es in der folgenden Grafik schematisch beschrieben wird.

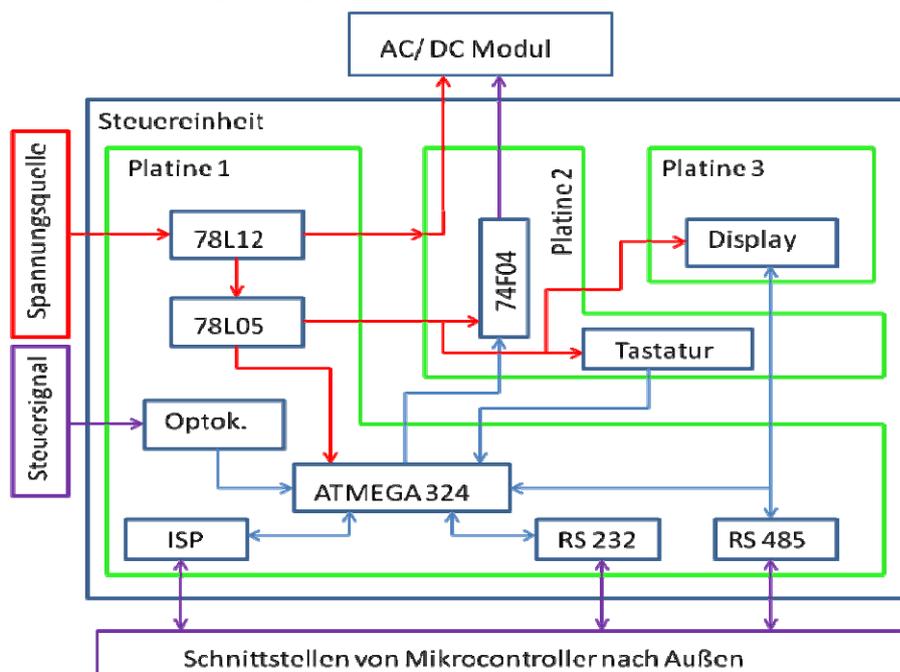


Abbildung 7.1.1 Schematischer Aufbau des Slave Moduls

## 7.2 EMV Schutz

Da bei Betrachtung des in Folge beschriebenen Layouts beim ersten Blick auf die Platine auffallen wird, dass teilweise der gesamte Print mit einer Ground Plane auf der Unterseite und teilweise auch auf der Oberseite belegt ist, wird in diesem Kapitel der Grund für diese Wahl des Designs beschrieben.

Dies rührt daher, dass aufgrund der Schaltvorgänge der Relais hochfrequente Störungen entstehen können.

Des Weiteren sind bei Verwendung der AC-Module neben der Versorgungsspannung von 12VDC auch noch eine Wechselspannung mit einem Effektivwert von bis zu 400V im Gehäuse vorzufinden.

Diese Störquellen können als interne Störquellen gewertet werden, da sie im Inneren des Gehäuses vorkommen und daher Eigenstörungen sind.[8]

Als Störquelle, auf welche diese wirken, kann unter anderem der Mikrocontroller gesehen werden. Auch das Display, welches ein fertig zugekaufter Teil ist, enthält Controller zur Steuerung und ist daher auch sensibel gegenüber hochfrequenten Störungen. Um jedoch nicht eine Funktionsstörung oder zumindest eine Funktionsminderung der Bauteile hervorzurufen oder diesem zumindest so gut wie möglich vorzubeugen, wurden einige Maßnahmen getroffen. Dabei wurde versucht sowohl die gestrahlten als auch die leitungsgeführten Störquellen soweit wie möglich zu mindern oder zumindest zu schirmen.

### 7.2.1 Erwartete Störungen

Es gibt verschiedene Arten von elektromagnetischen Störungen.

Dabei unterscheidet man zwischen internen und externen Störungen. Die externen Störungen werden weiter in natürliche Störungen wie Sonnenstürme sowie künstliche Störquellen, wie sie von anderen Elektrogeräten hervorgerufen werden, unterteilt.

Diese sind unter anderem Sende- und Funkgeräte, Transformatoren, Ablenkeinheiten von Elektrodenstrahlröhren sowie elektrostatische Entladungen von Bedienpersonal.[8]

Da es sich bei dem Gerät aber nur um ein Simulationstool handelt, welches ausschließlich in einem Labor betrieben wird, wird davon ausgegangen, dass die externen Störungen lediglich einen kleinen Teil der negativen Beeinflussung ausmachen.

Viel kritischer werden die internen Störungen gesehen, welche im Gehäuse selbst zu tragen kommen könnten. Diese Störquellen wurden schon erwähnt und sollten hierbei noch genauer beschrieben werden. Die auftretenden Störquellen sind unter anderem:

- 50Hz Sekundärspannung an den Relais:

Die Relais sollten eine Wechselspannung von 400V bei 50Hz schalten. Dabei wird der 400V Stromkreis in das Gehäuse geführt und kann dadurch Störungen verursachen.

- Abschaltvorgänge an Induktivitäten (Relais):  
Die Relais werden über den Mikrocontoller und unter Zuhilfenahme von MOSFET-Transistoren ein- und ausgeschalten. Dabei entstehen durch die Schaltvorgänge Gegeninduktionsspannungen an der Spule, welche transiente Störungen auslösen können, welche ihrerseits wieder das Gesamtsystem beeinflussen.
- Funkenentladungen beim Öffnen oder Schließen von Kontakten:  
Die von außen in das Gehäuse geführten Stromkreise werden mit den Relais geschalten. Da hierbei teilweise auch, wie im Lastenheft spezifiziert, mit einem Strom von bis zu 10A zu rechnen ist, kann angenommen werden, dass die Ein- und Abschaltvorgänge an den Relais zu Störungen führen können.

Um nun gegen diese externen aber vor allem internen Störungen vorzugehen, wurden folgende Maßnahmen getroffen. Dazu wird zuerst auch immer die Art der Störung erklärt, um verstehen zu können, wie die Maßnahmen dagegen helfen sollten.

### 7.2.2 Maßnahmen gegen galvanische Kopplung

Von galvanischer Kopplung spricht man, wenn sich ein Stromkreis, welcher als störend wirkt und ein gestörter Stromkreis, welcher vom ersten beeinflusst wird, ein gemeinsames Leitungsstück teilen. Meist ist dies bei Verwendung einer gemeinsamen Masseleitung der Fall.[8], [28]

Um nun die Beeinflussung von galvanischer Kopplung herabzusetzen, wurden auf allen Platinen großflächige Masseflächen angelegt. Damit wird dafür gesorgt, dass die Masseleitung einerseits niederohmig wird und andererseits die Induktivitäten herabgesetzt werden.

Des Weiteren ist für die Umstellung von außen ein fremder Stromkreis auf der Platine 1 vorhanden. Da dabei alle Slave-Module miteinander in Serie sind, könnte über die Verbindungsleitung zwischen den Modulen eine Störung mit dem Steuersignal oder statt des Steuersignals mitübertragen werden. Um dagegen vorzubeugen, wurde nur eine kurze Leitung auf der Platine 1 angebracht. Diese führt von dem Pinanschluss „Eingang“ zum Pinanschluss „Ausgang“ und ist nur wenige Millimeter lang. Um das Signal zum Umschalten auswerten zu können und dieses dem Mikrocontroller mitteilen zu können, wurde über einen Optokoppler eine Potentialtrennung durchgeführt. Dabei ist der Sekundärkreis des Optokopplers auf dem gleichen Potential wie der Rest der Platine und sollte deshalb auch weitestgehend gegen Störungen geschützt sein.

Der Sekundärkreis der Relais liegt auf einem völlig fremden Potential und kann daher die Steuerung galvanisch nicht beeinflussen.

### 7.2.3 Maßnahmen gegen induktive Kopplung

Eine induktive Störkopplung liegt vor, wenn in einem Stromkreis beziehungsweise in einer stromdurchflossenen Leiterschleife sich der Strom ändert, und dadurch auch das Magnetfeld um den Leiter einer Änderung unterliegt. Dadurch können in anderen Leiterschleifen, in der Nähe der ersten, Spannungen induziert werden.

Um nun gegen diese Art der Kopplung vorzugehen, gibt es verschiedene Arten von Gegenmaßnahmen. Die wirkungsvollsten sind: Begrenzen der Stromanstiegszeiten, Erhöhen der Distanz zwischen den Leitern, möglichst kurze parallele Leitungswege und die Schirmung.

Da die Stromanstiegszeiten in der Sekundärseite der Relais nicht begrenzt werden können ohne die Simulation zu verfälschen, musste von dieser Möglichkeit abgesehen werden.

Die AC beziehungsweise DC-Module sind aber in einem separaten Gehäuse untergebracht und räumlich ganz klar vom Mikrocontroller wie auch vom Display getrennt. Des Weiteren sind die Leitungen zum AC- beziehungsweise DC-Modul so kurz wie möglich gehalten und größtenteils vertikal verlegt. Da die Platinen aber alle horizontal im Gehäuse befestigt sind, sollte auch der Kopplungspfad dadurch sehr weit minimiert werden. Und zu guter Letzt sei noch zu erwähnen, dass sämtliche Platinen über eine Ground Plane verfügen und dadurch die sensibleren Bauteile zusätzlich vor einer induktiven Kopplung geschützt sind.

### 7.2.4 Maßnahmen gegen kapazitive Kopplung

Von kapazitiver Kopplung spricht man, wenn zwei Leiter oder Leiterbahnen parallel liegen und sich dabei die Potentialdifferenz zwischen den beiden Leitern verändert. Dabei werden die Streukapazitäten zwischen den Leitern umgeladen, und ein unerwünschter Stromfluss entsteht. Der Umladestrom hängt dabei davon ab, wie lange die Leiter parallel geführt sind, welchen Abstand sie zueinander haben, wie hoch der Spannungsunterschied zwischen den Leitern ist und wie schnell die Geschwindigkeit der Signaländerung ist. [8], [28]

Als Maßnahme gegen diese Art der Kopplung können verschiedene Methoden angewandt werden. Diese sind unter anderem alle Faktoren zu mindern, welche bei einem Kondensator größenbestimmend sind. Dabei ist die Rede von kurzen Leitungslängen, kleinen Leitungsdurchmessern, großen Abständen der Leitungen zueinander sowie eine kleine Dielektrizitätskonstante der Leiterplatte. [8]

Weiters können noch eine Schirmung, ein Bezugsleiter zwischen den Signalleitern, niederohmige Ausführung der beeinflussgefährdeten Stromkreise, Beschränken der

Stromanstiegsgeschwindigkeit, Eingangskondensatoren und noch viele weitere Maßnahmen angewandt werden.

Wenn man die Anordnung der Stromkreise zueinander im Gehäuse betrachtet, wird man feststellen, dass aufgrund der mechanischen Ausführung der Sekundärkreis der Relais den Steuerkreis nur schwer beeinflussen kann, da hier, wie schon bei der induktiven Kopplung beschrieben, die Leitungen der verschiedenen Kreise normal zueinander stehen.

Die Leitungen vom und zum Mikrocontroller sind hierbei schon etwas fehleranfälliger. Dabei muss man bei der Leitung zum AC-/DC-Modul, welches über den Inverter führt, mit Störungen rechnen. Weiters treten bei der Leitung zum Display schnelle Schaltflanken bei der Kommunikation zwischen den Controllern auf, und auch bei der Leitung von der Tastatur muss aufgrund des Schalterprellens mit Störungen gerechnet werden.

Betrachtet man die Leitung zur Folientastatur etwas genauer, wird man feststellen, dass auf der Leitung hinter den Tastern ein Kondensator zur Schalterentprellung ist. Der Kondensator mit einem Wert von 330nF ist im Verhältnis zu den Leitungskapazitäten relativ groß. Dadurch wird die Auswirkung einer kapazitiven Störeinkopplung reduziert. Der Kondensator wirkt damit nicht nur als Schalterentprellung, sondern auch zur Herabsetzung der Auswirkungen von kapazitiver Kopplung. Schnelle Taktflanken sind auf diesen Leitungen eigentlich nur bei Betätigung eines Tasters zu erwarten. Diese werden dann vom Kondensator abgefangen und somit als Störquelle entschärft. Weiters sind die Abstände der Leitungen zueinander relativ groß, und zwischen den Leitungen ist durchgehend Ground Potential geführt. Durch all diese Maßnahmen in Summe sollten die Auswirkungen einer Störkopplung soweit wie möglich reduziert werden können.

Die Leitungen zum AC- /DC-Modul sind auch etwas anfälliger für eine kapazitive Einkopplung. Diese sind auf weite Längen parallel verlegt. Da diese aber beim Mikrocontroller nur als Ausgänge geschaltet werden und auf die gesamte Länge wieder Ground Potential zwischen den Leitern ist, hat man nicht mit Auswirkungen einer kapazitiven Störeinkopplung zu rechnen.

Schnelle Schaltflanken sind auch hier nicht zu erwarten. Die Leitung führt entweder ein Potential oder nicht. Die einzige Zustandsänderung, welche die Leitung erfährt, ist ein Umschalten von „low“ auf „high“ oder umgekehrt. Dieses Umschalten geschieht aber relativ selten.

Sollten sich dennoch Störungen einkoppeln, haben diese kurzfristig keine Auswirkungen. Das liegt daran, dass mit dem ständig auf einigen der Leitungen anliegenden Potential, die Gates von MOSFETs angesteuert werden. Wenn jetzt eine Störung auf einen spannungsführenden Leiter eingekoppelt wird, wirkt sich dies nicht aus, und der FET, sowie das nachfolgende Relais bleiben aktiv. Koppelt sich eine Störung auf einen Leiter ein, der gerade kein elektrisches Potential führt, und daher auch keinen MOSFET ansteuern sollte, könnte der FET kurzzeitig aktiv werden und das Relais ansteuern. Da die Relais im Vergleich zur Dauer einer

kapazitiven Störeinkopplung aber sehr träge sind, wird sich an den Relais nichts tun und sie bleiben in ihrem Grundzustand. Somit können auch diese Leitungen als eher unkritisch betrachtet werden.

Auch als vielleicht noch anfällig für kapazitive Störeinkopplung wirkt sich die Leitung zum Display aus.

Hier sind die Datenleitungen auch nebeneinander geführt. Dabei werden schon eher schnelle Taktflanken bei der Übertragung der Datenbits erwartet.

Als Abhilfe gegen eine Störeinkopplung sei auch wieder auf eine Masseleitung zwischen den aktiven Leitern verwiesen. Auch die Abstände zwischen den Leitungen sind relativ groß gewählt, um dadurch die Koppelkapazitäten reduzieren zu können.

### 7.2.5 *Layout Maßnahmen*

Als layouttechnische Maßnahmen kann unter anderem auf die an der Ober- oder Unterseite fast durchgängige“ Groundplane“ verwiesen werden. Zusätzlich wurden auf der Platine 1, welche hauptsächlich für die Steuerung der Weichensimulation verantwortlich ist, auf eine räumliche Trennung der einzelnen Schaltungselemente geachtet. Dabei sind der Mikrocontroller, die Spannungsversorgung sowie die Schnittstellen klar voneinander getrennt angeordnet.

### 7.2.6 *Verwendete Entstörbauteile*

Als Entstörbauteile sei auf die Verwendung der Freilaufdiode und der Z-Diode beim AC- beziehungsweise DC-Modul verwiesen. Diese sind in Zusammenhang mit dem Relais an der Platine zu finden. Die genaue Funktion wird noch im Kapitel 7.4 beschrieben.

Grundsätzlich dienen sie dazu, die Auswirkungen der Gegeninduktionsspannung beim Ausschalten zu dämpfen und damit mitzuverhindern, dass sich schnelle, transiente Störspannungen ausbilden können.

### 7.3 Aufbau der Steuereinheit

Die sogenannte Steuereinheit besteht aus drei Platinen. Eine davon trägt den Mikrocontroller und die Schnittstellentreiber sowie die Programmierschnittstelle. Auch die Eingänge und Ausgänge der Steuerleitung werden auf dieser Platine verarbeitet. Eine weitere Platine trägt den Inverter und ist der Verbindungspunkt von der Steuereinheit zu den AC- oder DC-Modulen. Von der ersten Platine und dem Mikrocontroller wird über die zweite Platine die dritte Platine, welche mit dem Display verbunden ist, kontaktiert.

Die dritte Platine dient lediglich zur Kontrastregelung am Display und ist für die Hintergrundbeleuchtung am Display.

Die Platinen werden in den nächsten Unterkapiteln noch genauer beschrieben. Vom Aufbau her wurde eine Sandwichtechnik angewandt. Dabei ist die Platine 1 an unterster Stelle und wird von der Platine 2 bedeckt. Da die Platine 3 direkt mit dem Display verbunden ist, wird diese über eine achtpolige Buchsenleiste mit Kabel mit der Platine 2 verbunden.

#### 7.3.1 Aufbau Platine 1

Die Hauptkomponenten der Platine 1 können der Abbildung 7.3.1 Platine 1 entnommen werden. 1

Die wichtigsten Bauteile sind:

- Mikrocontroller mit Quarz und Programmierschnittstelle
- RS 232 Schnittstelle mit max232 Treiberbaustein
- RS485 Schnittstelle mit max1487 Treiberbaustein
- Optokoppler mit Steuereingang
- 78L12 Festspannungsregler
- 78L05 Festspannungsregler
- Verpolungsschutz
- Dioden zur Zustandsanzeige im Testbetrieb

Wie die einzelnen Bauteile auf der Platine angeordnet sind, kann man der folgenden Abbildung entnehmen.

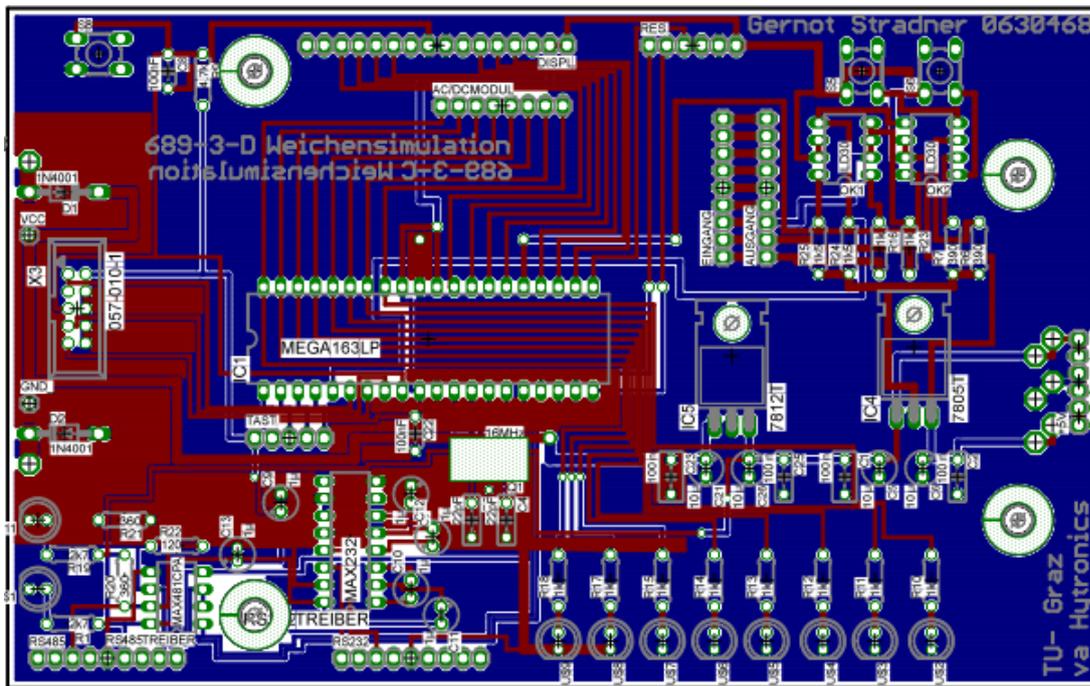


Abbildung 7.3.1 Platine 1

### 7.3.2 Funktion Platine 1

#### 7.3.2.1 Mikrocontroller mit Quarz und Programmierschnittstelle:

Der Mikrocontroller ist das Herzstück der Weichensimulation. Er steuert den zeitlichen Ablauf bei der Umstellung und verarbeitet die Umschaltbefehle. Weiters ist er für die Ausgabe am Display verantwortlich.

Programmiert wird er über die Programmierschnittstelle X3. Mit dieser wird der Controller über eine ISP-Schnittstelle mit dem PC verbunden und kann somit jederzeit programmiert werden.

Insgesamt hat der Controller 32 frei verfügbare Pins, welche als Ein- oder Ausgang genutzt werden können. Diese setzen sich aus vier „I/O-Boards“ zusammen, welche jeweils über acht Pins von 0 bis 7 verfügen. Die Belegung der einzelnen Pins sieht wie folgt aus.

Pin Nr.:	Pin-Bezeichnung	Funktion	Führt zu:
1	PB0	Eingang	Tastatur: Steuerung UP
2	PB1	Eingang	Tastatur: Steuerung DOWN
3	PB2	Eingang	Tastatur: Steuerung ENTER
4	PB3	Eingang	Tastatur: Steuerung BACK/ESCAPE
5	PB4	Eingang	Optokoppler: Steuerbefehl
6	PB5	Eing./Ausg.	ISP-Schnittstelle: MOSI (Master out, Slave in)
7	PB6	Eing./Ausg.	ISP-Schnittstelle: MISO (Master in, Slave out)
8	PB7	Eing./Ausg.	ISP-Schnittstelle: SCK (Serial Clock- Schiebepin)
14	PD0	Eingang	RS23 Schnittstelle: R1OUT
15	PD1	Ausgang	RS23 Schnittstelle: T1IN
16	PD2	Eingang	RS485 Schnittstelle: RO
17	PD3	Ausgang	RS485 Schnittstelle: DI
18	PD4	Eing./Ausg.	RS485 Schnittstelle: RE/DE
19	PD5	NC	Reservepin: Ausgeführt auf Pinleiste
20	PD6	NC	Reservepin: Ausgeführt auf Pinleiste
21	PD7	NC	Reservepin: Ausgeführt auf Pinleiste
22	PC0	Ausgang	Display: RS; Display Pin 4
23	PC1	Ausgang	Display: RD; Display Pin 5 vorgesehen, nun aber auf GND
24	PC2	Ausgang	Display: EN; Display Pin 6
25	PC3	Eingang	Optokoppler: Steuerbefehl
26	PC4	Ausgang	Display: Datenpin; Display Pin 11
27	PC5	Ausgang	Display: Datenpin; Display Pin 12
28	PC6	Ausgang	Display: Datenpin; Display Pin 13
29	PC7	Ausgang	Display: Datenpin; Display Pin 14
33	PA7	Ausgang	Steuerausgang: NC; derzeit ohne Funktion
34	PA6	Ausgang	Steuerausgang: NC; derzeit ohne Funktion
35	PA5	Ausgang	Steuerausgang: NC; derzeit ohne Funktion
36	PA4	Ausgang	Steuerausgang: NC; derzeit ohne Funktion
37	PA3	Ausgang	Steuerausgang: Simuliert Schalter „D“
38	PA2	Ausgang	Steuerausgang: Simuliert Schalter „C“
39	PA1	Ausgang	Steuerausgang: Simuliert Schalter „B“
40	PA0	Ausgang	Steuerausgang: Simuliert Schalter „A“

Tabelle 7.3.1: Belegung der I/O-Pins am Mikrocontroller

Der Programmablauf wird im Kapitel 9 beschrieben und ist nicht Teil der Funktionsbeschreibung.

Die Anschlüsse der Versorgungsspannung des Quarzoszillators und des Reset- Pins am Mikrocontroller kann auch wieder der folgenden Tabelle entnommen werden.

Pin Nr.:	Pin-Bezeichnung	Führt zu:	
9	RESET	ISP-Schnittstelle und Reset-Taster	Liegt permanent auf +5V und wird beim zurücksetzen auf GND gezogen
10	VCC	+5V Spannungsversorgung	Zwischen diesen Pins, befindet sich ein 100µF Abblockkondensator um Störungen in der Versorgung zu unterdrücken.
11	GND	Masse der Spannungsversorgung	
12	XTAL2	Anschluss für den Quarz	
13	XTAL1	Anschluss für den Quarz	
30	AVCC	VCC Spannungsversorgung für den ADC	Ein Analog –Digital-Konverter wird in dieser Anwendung nicht benötigt
31	AGND	Masseanschluss für den ADC	
32	AREF	+5VReferenz für den ADC	

Tabelle 7.3.2: Belegung der Versorgungs-Pins am Mikrocontroller

Der Quarz ist an den Anschlüssen XTAL1 und 2 angeschlossen und liefert den benötigten Takt für den Mikrocontroller. Dabei wurden zusätzlich zwei Keramikkondensatoren verwendet, welche für den Betrieb des Quarzes notwendig sind. Diese Kondensatoren haben eine Größe von 22pF. Dieser Wert ist bei den meisten Schaltungen Standard und wird auch in der Literatur so empfohlen. Daher wurden keine Berechnungen angestellt, sondern der Controller nur mit dieser Beschaltung beim Prototyp getestet und für in Ordnung befunden.

Die Beschaltung des Controllers mit dem Quarz sieht wie in der folgenden Zeichnung dargestellt aus.

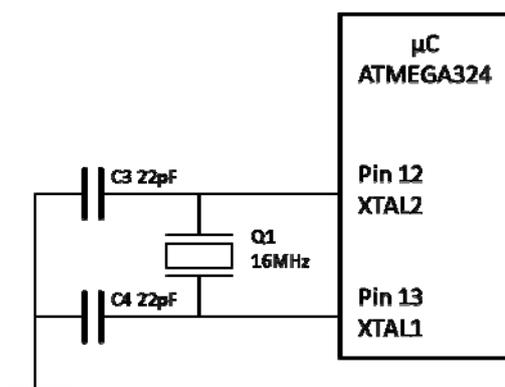


Abbildung 7.3.2 Anschluss des Quarzoszillators

### 7.3.2.2 RS 232 Schnittstelle mit max232 Treiberbaustein:

Die RS 232 Schnittstelle wurde für spätere Anwendungen vorbereitet und ist auch als Anforderung im Lastenheft spezifiziert. Sie hat in der derzeitigen Anwendung noch keine Funktion, sollte aber für spätere Ausbaustufen

Anwendung finden. Da sie in der vorliegenden Anwendung noch keine Funktion hat, wird sie auch nicht mehr näher beschrieben.

### 7.3.2.3 RS485 Schnittstelle mit max 1487 Treiberbaustein:

Für die RS 485 Schnittstelle gilt das gleiche wie für die RS232 Schnittstelle. Sie wurde vollständig vorbereitet und müsste nur mehr ausprogrammiert werden. In der jetzigen Grundanwendung hat sie allerdings auch noch keine Funktion und wird daher auch nicht mehr näher beschrieben.

### 7.3.2.4 Optokoppler mit Steuereingang:

Der Optokoppler dient dazu, das Potential der Steuerleitung vom Potential der Steuerung selbst zu trennen. Die Steuerleitung ist über alle Slave-Module durchgeschliffen. Dabei wird der Befehl zum Umstellen von einer externen Befehlsstelle gegeben, welche ein anderes Potential aufweist. Um nicht etwaige Störungen auf den einzelnen Slave-Modulen einzukoppeln, wurde das Fremdpotential über den Optokoppler abgetrennt. Des Weiteren kann zum Testbetrieb mit einem Optokoppler das Umschalten direkt auf der Platine simuliert werden.

Für die Umstellung von rechter Endlage in die linke Endlage und umgekehrt, teilen sich die Ausgänge der Optokoppler jeweils einen Widerstand und den Anschluss am Controller.

Die Schaltung ist in Abbildung 7.3.3 Schaltung der Optokoppler dargestellt.

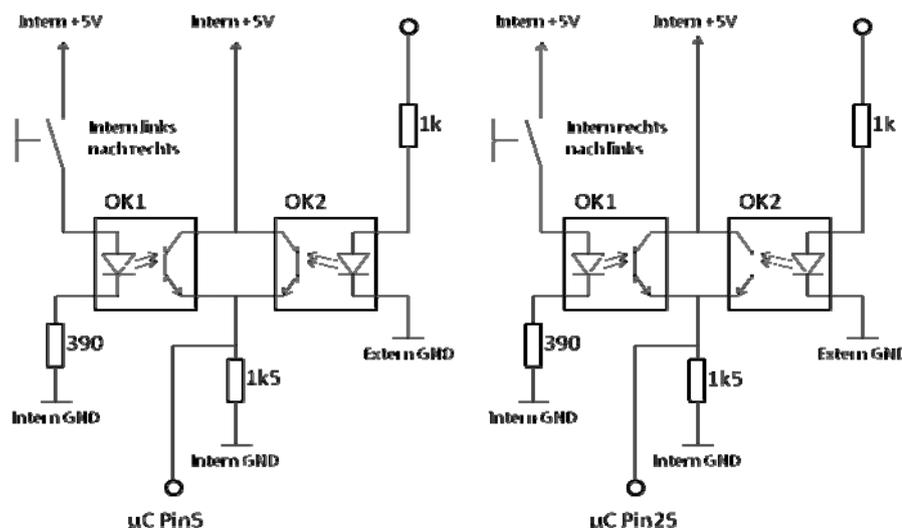


Abbildung 7.3.3 Schaltung der Optokoppler

Wenn einer der Transistoren in dem jeweiligen Optokoppler durchschaltet, wird das Potential von 5V minus der Basis-Emitter-Spannung, an dem Eingang des Mikrocontrollers angelegt. Ist der Transistor nicht mehr durchgeschaltet, wird das Potential vom 1,5k $\Omega$  Widerstand wieder auf Ground gezogen und am Eingang des Controllers liegt keine Spannung mehr an.

Mit diesem Widerstandswert liegt man auch über dem angegebenen mindesten Kollektor-Emitter-Strom von 1mA. [22] In diesem Fall liegt der Strom über dem Transistor bei ca. 2,8mA.

Da die Eingänge ab einer Spannung von mindestens 0,6 \*VCC laut Datenblatt [3] ein „high“ wahrnehmen und man von einer Basis-Emitter-Spannung von 0,7V ausgehen kann, liegen damit ca. 4,3V am Controller an. Da VCC +5V ist und damit ab 3V ein logisches „high“ wahrgenommen wird, ist diese Spannung ca. 1,3V über der Wahrnehmungsschwelle für den „high“-Pegel und reicht aus, um die Endlage der Weichensimulation sicher umzusteuern.

Der Vorwiderstand der LEDs im Optokoppler wurde so bemessen, dass bei der jeweiligen angelegten Spannung ein Strom von mindestens 10mA zum Fließen kommt. Damit wird sichergestellt, dass der Transistor auf der Sekundärseite auch immer durchschaltet.

Die Daten für den Optokoppler sind im Datenblatt [22] zu finden.

#### 7.3.2.5 78L12 Festspannungsregler:

Der 78L12 Spannungsregler IC dient dazu, eine konstante Versorgungsspannung für die Relais zur Verfügung zu stellen. Der Eingang und der Ausgang wurde mit Stützkondensatoren beschalten, um ein kurzzeitiges Einbrechen der Versorgungsspannung zu verhindern. Zusätzlich werden mit diesem mögliche Schwingneigungen des Linearreglers unterdrückt. Das Bauteil wurde so gewählt, dass damit ein Ausgangsstrom von einem Ampere möglich ist.[1] Damit sollte sichergestellt werden, dass die Relais mit ausreichend Strom versorgt werden, um alle Zustände der Weichensimulation erreichen zu können.

Da ein Gleichspannungsrelais in etwa einen Spulenwiderstand von 160 $\Omega$  hat und im Betrieb laut Datenblatt einen Strom von ca. 75mA aufnimmt[16], ist, auch wenn alle acht Relais gleichzeitig angezogen wären und dabei ca. 600mA benötigen würden, dafür gesorgt, dass durch die Belastung die Spannung nicht einbricht und die Relais ordnungsgemäß operieren können. Die Beschaltung des Bauteils wird in der nächsten Abbildung dargestellt.

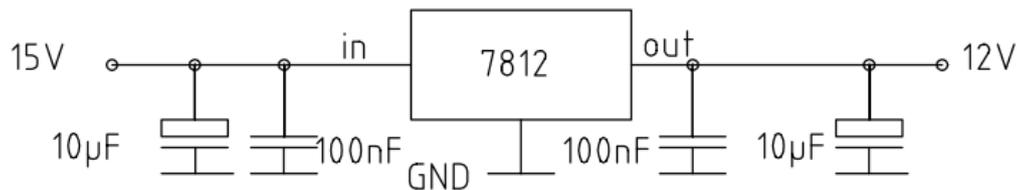


Abbildung 7.3.4 Beschaltung 7812

Versorgt wird der 7812 mit einer Spannung von 15 bis 20V aus einem Trenntransformator oder einem Labornetzteil. Dabei wird die überschüssige Spannungsdifferenz zwischen dem Eingang und dem Ausgang in Wärme umgesetzt. Mit einer einfachen Rechnung lässt sich überschlagsmäßig berechnen, wie hoch die dabei umgesetzte Wärmeleistung ist.

$$(\text{Eingangsspannung[V]} - \text{Ausgangsspannung[V]}) = \text{Differenzspannung[V]}$$

$$\text{Differenzspannung[V]} * \text{Stromaufnahme[A]} = \text{Verlustwärme [W]}$$

Formel 7.3.1: Berechnung der Verlustwärme

Am Prototyp wurde eine durchschnittliche Stromaufnahme von 300mA gemessen.

Bei den Eingangsspannungen kann man mit 15V einen unteren Grenzwert annehmen und mit 20V einen oberen Grenzwert. Somit ergeben sich auch für die Verlustleistung zwei Grenzwerte.

$$3\text{V} * 300\text{mA} = \text{Verlustwärme}_{\text{unterer GW}}[\text{W}] = 0,9\text{W}$$

$$8\text{V} * 300\text{mA} = \text{Verlustwärme}_{\text{oberer GW}}[\text{W}] = 2,4\text{W}$$

Da der Linearregler eine integrierte Temperatursicherung enthält und die Spannung abschaltet, wenn es ihm zu warm wird, ist es wichtig bei einer zu hohen Verlustwärme das Bauteil zu kühlen. Aus diesem Grund wurde ein Kühlkörper an der Massefläche des Reglers befestigt. Damit wird die Oberfläche des Reglers um ein Vielfaches seiner ursprünglichen Oberfläche vergrößert und dafür gesorgt, dass mehr Wärme nach außen abgegeben werden kann.

Zur Zustandsanzeige des Reglers wurde eine blaue LED nach dem Regler geschaltet, welche nach außen geführt und unter dem Display befestigt ist. Solange der Regler aktiv ist, wird diese LED immer leuchten.

### 7.3.2.6 78L05 Festspannungsregler:

Der 7805 stellt die Konstantspannung für die Steuerung zur Verfügung. Das Display, der Mikrocontroller, die Schnittstellentreiber, die Programmierschnittstelle sowie der Inverter benötigen die Versorgungsspannung, welche am Ausgang dieses Bauteils abgegriffen wird. Um ein kurzzeitiges Einbrechen der Spannung zu verhindern, sind auch hier wieder vor und nach dem Bauteil Stützkondensatoren eingesetzt.

Die Beschaltung dieses Bauteils ist gleich wie beim 7812 und wird deshalb in diesem Punkt nicht mehr dargestellt.

Obwohl das Bauteil nicht mit mehr als 100mA belastet wird, wurde auch an ihm der gleiche Kühlkörper wie am 7812 angebracht. Um die Eingangsspannung am Bauteil herabzusetzen, ist der 7805 hinter dem 7812 geschaltet. Die thermische Verlustleistung ergibt sich nach folgender Rechnung:

$$7V * 100mA = \text{Verlustwärme [W]} = 0,7W$$

Auch nach diesem Bauteil wurde eine LED verbaut, welche sich auch wieder unter dem Display befindet, um den Zustand des Reglers anzuzeigen.

### 7.3.2.7 Verpolungsschutz:

Um zu verhindern, dass bei verpolter Versorgungsspannung irgendwelche Bauteile beschädigt werden, sind am Eingang, direkt nach den Buchsen für den Versorgungsspannungsanschluss, zwei Standard Dioden der Bauart 1N4007 geschaltet. Diese sorgen dafür, dass kein Stromfluss in das Slave-Modul zustande kommt, sollte dieses verpolt angeschlossen werden. Dies wäre dann auch ersichtlich, wenn die Leuchtdioden unter dem Display nach Anlegen einer Spannung nicht leuchten.

### 7.3.2.8 LEDs zur Zustandsanzeige im Testbetrieb:

Um jedes Modul nach der Fertigstellung testen zu können, sind die Ausgänge des Mikrocontrollers welche für die Steuerung der Relais zuständig sind, auch auf LEDs geführt. Damit lassen sich die Ausgänge des Mikrocontrollers darstellen, welche an den Inverter geführt werden.

### 7.3.3 Aufbau und Layout der Platine 2

Die Hauptkomponenten der Platine sind folgende:

- Inverter 74F04 mit den Kondensatoren zur Spannungstabilisation.
- Sicherungen für die Steuerleitungen und die Spannungsversorgung der AC-beziehungsweise DC-Module.
- Schalterentprellung für die Folientastatur und die Printtaster.
- Steckverbinder für das Display, das AC/DC-Modul und die Folientastatur

In der nächsten Abbildung ist das Layout beidseitig dargestellt.

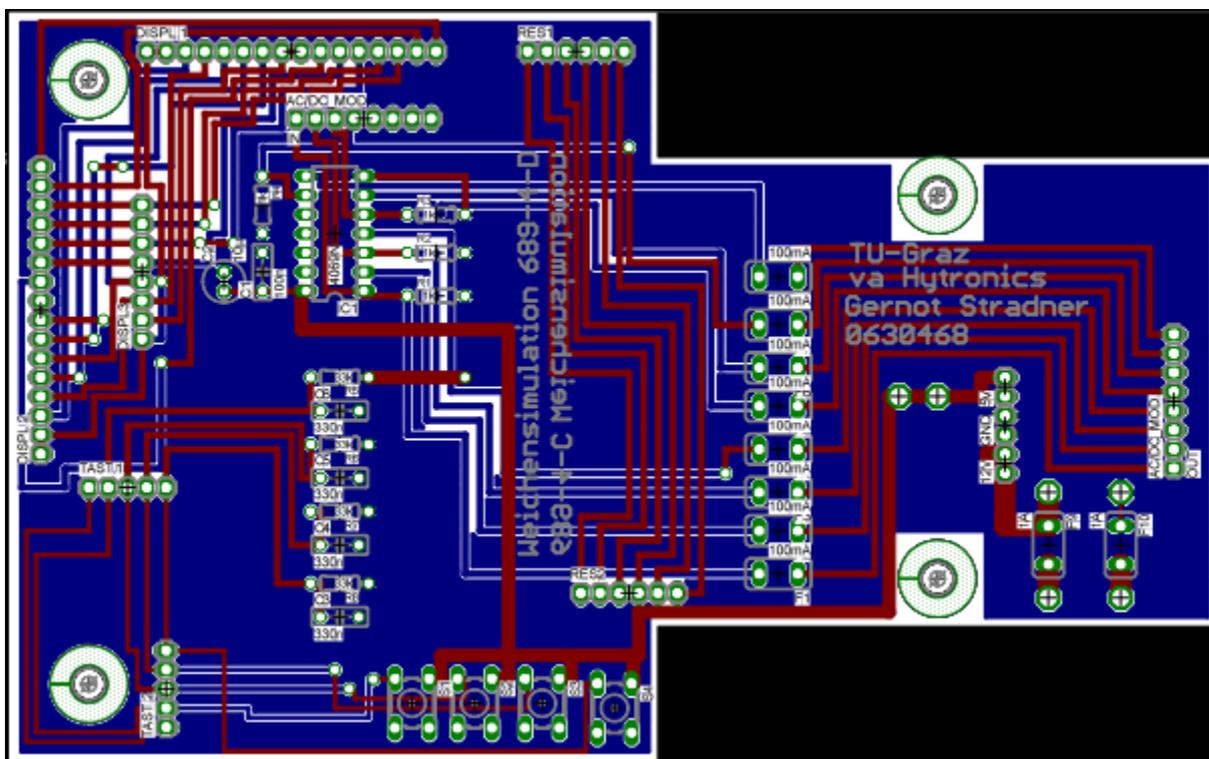


Abbildung 7.3.5 Platine 2

### 7.3.4 Funktion Platine 2

#### 7.3.4.1 Inverter 74F04:

Der Inverter ist die funktionelle Hauptkomponente dieser Platine. Er wird von den Steuerausgängen des Mikrocontrollers angesteuert. Dies sind die Pins 37 bis 40 oder auch PA0 bis PA3. Seine Aufgabe ist es, die Signale für die Ansteuerung der Relais zu invertieren. Das ist nötig, da mit jedem Ausgang am Controller genau ein Schalter simuliert wird. Da aber jeder Schalter einen

Öffner und einen Schließer hat, die Relais aber jeweils nur über einen Schließer verfügen, müssen immer ein Schalter mit einem Relais simuliert werden. Dabei ist immer ein Relais aktiv und, äquivalent dazu, das andere inaktiv.

Liegt nun am Eingang des Inverters keine Spannung an, sprich der Pegel am Eingang ist „low“, ist sein Ausgang auf „high“ und gibt eine Spannung aus.

Bei einem Eingangspegel von 0V oder „low“ gibt der Hex-Inverter am Ausgang typischerweise eine Spannung von 3,4V aus. [19] Diese Spannung ist hoch genug, um den MOSFET für die Ansteuerung der Relais durchzuschalten.

Liegt ein „high“ –Pegel beziehungsweise eine Spannung von 5V am Eingang an, ist die Ausgangsspannung des Inverters laut Datenblatt [19] ca. 0,3V. Diese Spannung wiederum ist nicht ausreichend um den Transistor weiterhin durchzuschalten. Somit würde bei einem „high“ –Pegel am Eingang das nachgeschaltete Relais wieder abfallen.

Über die Verzögerungszeiten des Inverters muss man sich in dieser Anwendung keine Gedanken machen. Laut Datenblatt [19] hat das Bauteil eine maximale „Delaytime“ von 8ns.

Da die Relais aber sehr träge sind und eine Ansprechzeit von teilweise über 10ms haben, wird man beim Vergleich dieser Zahlen feststellen, dass die Verzögerung am Inverter ein Tausendstel der Verzögerung am Relais ist und sich daher kaum auswirkt.

Die Versorgungsspannung des Bauteils ist 5V. Zur Stabilisierung und als Gegenmaßnahme gegen Störungen und Spannungsschwankungen wurden an der Spannungsversorgung direkt neben dem Eingang auch wieder Stützkondensatoren angeschlossen. Wie der Bauteil genau angeschlossen ist, kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

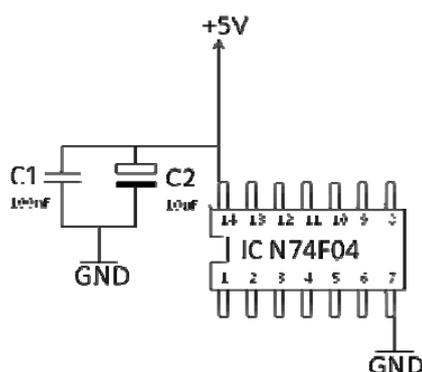


Abbildung 7.3.6 Spannungsversorgung am Inverter.

Am Eingang der einzelnen Inverterbausteine ist immer ein Pull-Down-Widerstand, an welchem die angelegte Spannung abfällt und der Strom gegen Masse fließt. Wenn keine Spannung mehr angelegt ist, zieht der Widerstand das Potential

wieder auf Masse und der Ausgang des Inverters kann wieder ein „high“ -Signal ausgeben.

Der Anschluss der Signalleitungen kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

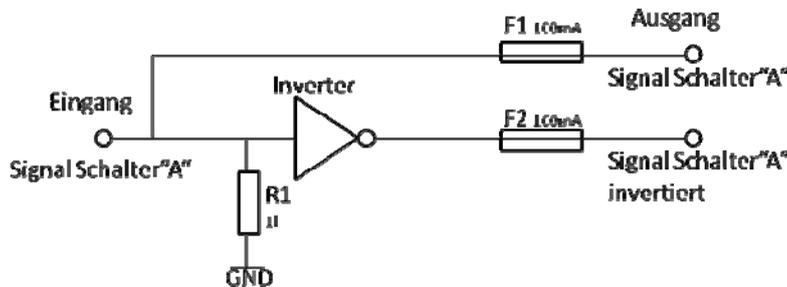


Abbildung 7.3.7 Schaltung eines Invertergliedes

Die Steuerausgänge des Mikrocontrollers sind am Inverter wie in der folgenden Tabelle angeschlossen.

Pin $\mu$ C	Funktion	Eingangs-Pin Inverter	Ausgangs-Pin Inverter	Anschluss Pinleiste „AC/DC-Mod. IN“	Anschluss Pinleiste „AC/DC-Mod. OUT“
40= PA0	Schalter „A“	1		1	1
			2		2
39= PA1	Schalter „B“	3		2	3
			4		4
38= PA2	Schalter „C“	5		3	5
			6		6
37= PA3	Schalter „D“	9		4	7
			8		8

Tabelle 7.3.3: Pin-Belegung des Hex-Inverters

### 7.3.4.2 Sicherungen:

Die Sicherungen sind nach dem Inverter geschaltet, wie auch in der Abbildung 7.3.7 zu sehen ist. Sie haben die Aufgabe, bei einem Drahtbruch oder Ähnlichem im AC- beziehungsweise dem DC-Modul die Steuerung vor Überspannungen und daher auch vor kompletter Zerstörung zu schützen.

Für die Signalleitungen wurde eine Sicherung mit einem Wert von 100mA gewählt. Dieser Wert ist zwar weit überdimensioniert, kann aber jederzeit auch gegen einen geringeren Wert ausgetauscht werden.

Für die Versorgungsspannung der AC- und DC-Module wurde eine Sicherung mit einem Wert von 1A gewählt. Dieser Wert ist so hoch, da die DC-Relais in Zusammenarbeit einen Strom von 300mA benötigen. Bei Abschaltvorgängen beziehungsweise beim Umschalten ist dann mit einem höheren Strombedarf zu rechnen. So wird gewährleistet, dass das

Sicherungselement wirklich nur bei einer Störung und nicht schon beim Umstellen der Weichensimulation auslöst.

### 7.3.4.3 Folientastatur und Schalterentprellung:

Um den Modus des Slave-Moduls auswählen zu können, ist es notwendig, Befehle von außen eingeben zu können. Für diese Anwendung befindet sich eine Folientastatur am Slave-Modul. Zusätzlich sind für den Testbetrieb auch Printtaster direkt auf der Platine 2, welche parallel zur Folientastatur geschaltet sind.

Die Belegung der Tasten in Verbindung mit dem Mikrocontroller kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Pinbelegung: TAST.1/ TAST.2	Printtaster	Folientastatur: Pin/ Kürzel	Funktion	Versorgungsanschlüsse und Kontakte des Mikrocontrollers
1	-	Pin 1	Versorgung	Versorgungsspannung VCC +5V
2	S1	Pin2 / ↑	Steuerung: UP	µC Pin 1= PB0
3	S2	Pin 3 / ↓	Steuerung: DOWN	µC Pin 2= PB1
4	S3	Pin 4 / E	Steuerung: ENTER	µC Pin 3= PB2
5	S4	Pin 5 / B	Steuerung: BACK/ESCAPE	µC Pin 3= PB3

Tabelle 7.3.4: Anschluss der Taster am µC

Da die mechanischen Schalter direkt am Print wie auch die Membranschalter der Folientastatur [2] nach der ersten Betätigung nachprellen, waren einige Vorkehrungen zu treffen, um dieses Prellen zu unterdrücken.

Dafür wurde eine hardwaremäßige Schalterentprellung durchgeführt.

Doch bevor diese erklärt wird, möchte ich die grundlegende Schaltung erklären.

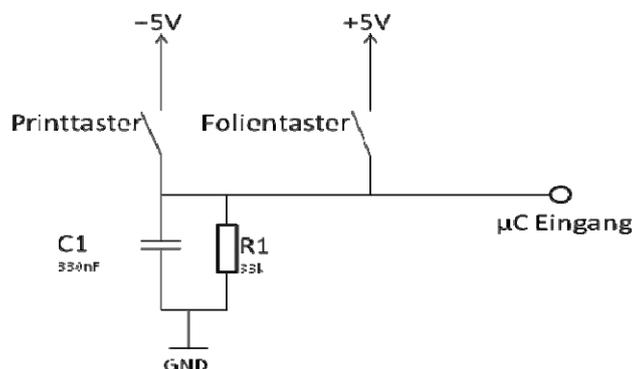


Abbildung 7.3.8 Schaltung der Folientastatur mit Schalterentprellung

Aus der Abbildung 7.3.8 lässt sich erkennen, dass zur Entprellung ein einfacher Kondensator verwendet wurde. Zusätzlich ist ein Widerstand im Einsatz.

Wird der Taster nun gedrückt, ist der Kondensator unmittelbar nach dem Drücken aufgeladen, da kein Vorwiderstand im Einsatz ist, welcher den Ladestrom begrenzt und somit auch die Ladezeit verzögert.

Somit liegt unmittelbar nach Drücken des Tasters ein „high“ Pegel am Mikrocontroller an.

Wird nun aber durch das besagte Nachprellen des Tasters der Kontakt wieder geöffnet, fällt die Spannung am Kondensator und somit am Eingang des Mikrocontrollers wieder ab.

Unter Verwendung der folgenden Formel kann berechnet werden, wie lange der Taster geöffnet sein darf, ohne dass der Spannungspegel unter 3V sinkt, und somit nicht mehr „high“ ist.

Dabei ist es noch wichtig zu wissen, dass beim Entladen eines Kondensators das Bauteil nach einer Zeitspanne von  $5\tau$  zu 99% entladen ist. Nach einer Zeitspanne von  $1\tau$ , ist der Kondensator aber schon zu 63% entladen und nach einer Zeitdauer von  $0,69\tau$  ist er zu 50% entladen.

Beim Entladen fließt der Strom vom Kondensator über den Widerstand auf Masse. Dabei errechnet sich  $\tau$  wie folgt:

$$\tau = R * C = 330nF * 33k\Omega = 330 * 10^{-9}F * 33 * 10^3\Omega = 10,89ms$$

Formel 7.3.2: Berechnung von  $\tau$

Um nun keinen „high“-Pegel mehr anliegen zu haben, müsste die Spannung unter 3V sinken.

Sieht man sich eine typische Entladekurve eines Kondensators an, ist die Spannung bei unter  $0,6\tau$  mit Sicherheit noch über 60% der Spannung und somit auf über 3V.

Nach dieser Berechnung wird sich ein Nachprellen nicht auswirken, wenn die Unterbrechungsdauer kürzer als  $0,6 * 10,89ms \approx 6,5ms$  ist. Auch in der praktischen Anwendung hat sich bestätigt, dass diese Schalterentprellung sehr gut funktioniert. Somit werden die theoretischen Ansätze bestätigt.

#### 7.3.4.4 Steckverbinder:

Die Platine hat neben der Funktion die Steuersignale zu invertieren und den Mikrocontroller aufgrund ihrer Ground Plane zu schirmen auch noch die Funktion als Träger sämtlicher Steckverbinder für das Display, die Tastatur,

der Verbindung zum AC- beziehungsweise DC-Modul sowie die nicht belegten Pins des Controllers nach außen zu tragen.

Die Belegung der Steckverbinder für das AC/DC Modul und die Folientastatur können den vorherigen Punkten entnommen werden.

In den folgenden Tabellen wird beschrieben, wie die Anschlüsse für das Display beziehungsweise die Anschlüsse für die Platine 3 belegt sind und wo die nicht belegten Reservepins des Controllers abgegriffen werden können.

RESERVE Pins	Führt zu:
1	µC Pin 19= PD5
2	µC Pin 20= PD6
3	µC Pin 21= PD7
4	NC... Nicht angeschlossen
5	GND... Masse-Potential
6	+5V Versorgungsspannung

Tabelle 7.3.5: Belegung des Reservepinanschlusses

Pinbelegung: DISPL.2/DISPL.3	Pinbelegung:DISPL.1 Führt zu Platine 3	Versorgungsanschlüsse und Kontakte des Mikrocontrollers
1	1	Versorgungsspannung VCC +5V
2	1	Versorgungsspannung VCC +5V
3	-	NC... Nicht angeschlossen
4	3	RS; µC Pin22 =PC0
5	-	RD; µC Pin23 =PC1
6	4	EN; µC Pin 24= PC2
7	-	NC... Nicht angeschlossen
8	2	Versorgungsspannung GND Masseanschluss
9	2	Versorgungsspannung GND Masseanschluss
10	-	NC... Nicht angeschlossen
11	5	Datenpin im 4bit Modus; µC Pin 26= PC4
12	6	Datenpin im 4bit Modus; µC Pin 27= PC5
13	7	Datenpin im 4bit Modus; µC Pin 28= PC6
14	8	Datenpin im 4bit Modus; µC Pin 29= PC7
15	-	NC... Nicht angeschlossen
16	-	NC... Nicht angeschlossen

Tabelle 7.3.6: Belegung der Pins für Display und Platine 2

### 7.3.5 Aufbau und Layout der Platine 3

Die Platine 3 ist um einiges kleiner als die erste und die zweite und beinhaltet auch nur folgende Bauteile :

- Steckverbinder zum Display und Steckverbinder vom Mikrocontroller zum Display
- Einen Vorwiderstand für die Hintergrundbeleuchtung
- Potentiometer für die Kontrastregelung

Das Layout der Platine ist auch hier wieder in der nächsten Abbildung 7.3.9 dargestellt.

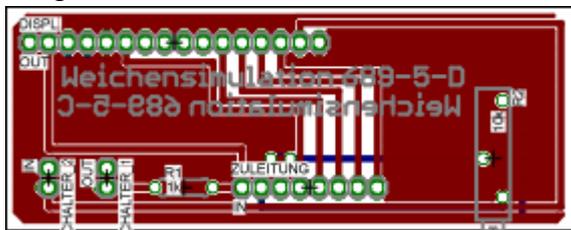


Abbildung 7.3.9 Platine 3

### 7.3.6 Funktion Platine 3

Die Funktion der Platine 3 ist einzig und allein die Versorgung des Displays. Dabei wird das Display durch die Ground Plane etwas geschirmt. Die Bauteile, welche sich auf der Platine befinden und deren Funktion werden in den nächsten Punkten kurz beschrieben.

### 7.3.6.1 Steckverbinder:

Als Steckverbinder sind die Pins „Zuleitung IN“ und „Display OUT“ auf der Platine vorhanden.

Diese sind wie in den folgenden Tabellen beschrieben, angeschlossen.

Pinbelegung: „Zuleitung IN“	Pinbelegung: DISPL. OUT	Versorgungsanschlüsse und Kontakte des Mikrocontrollers
1	2	Versorgungsspannung VCC +5V
2	1	Versorgungsspannung GND Masseanschluss
3	4	RS; $\mu\text{C}$ Pin22 =PC0
4	6	EN; $\mu\text{C}$ Pin 24= PC2
5	11	Datenpin im 4bit Modus; $\mu\text{C}$ Pin 26= PC4
6	12	Datenpin im 4bit Modus; $\mu\text{C}$ Pin 27= PC5
7	13	Datenpin im 4bit Modus; $\mu\text{C}$ Pin 28= PC6
8	14	Datenpin im 4bit Modus; $\mu\text{C}$ Pin 29= PC7
-	5	Versorgungsspannung GND Masseanschluss
-	3	Kontrast Adjust
-	7	NC... Nicht angeschlossen
-	8	NC... Nicht angeschlossen
-	9	NC... Nicht angeschlossen
-	10	NC... Nicht angeschlossen
-	15	Spannungsversorgung mit Vorwiderstand für Hintergrundbeleuchtung
-	16	Versorgungsspannung GND Masseanschluss für Hintergrundbeleuchtung

Tabelle 7.3.7: Belegung der Pins an der Platine 3

### 7.3.6.2 Einen Vorwiderstand für die Hintergrundbeleuchtung

Die Hintergrundbeleuchtung des Displays ist im Display integriert und besteht aus LEDs. Daher muss zur Strombegrenzung ein Vorwiderstand vor die Anode geschaltet werden.

Dabei wurde ein Widerstand mit einem Wert von  $1\text{k}\Omega$  ausgewählt, um den Strom bei einer Versorgungsspannung von 5V auf 5mA begrenzen zu können. In Serie mit dem Widerstand befindet sich auch ein rastender Ein- Austaster, mit welchem es möglich ist, die Hintergrundbeleuchtung wegzuschalten.

### 7.3.6.3 Potentiometer für die Kontrastregelung

Um den Kontrast des Displays regeln zu können, ist ein  $10\text{k}\Omega$  Potentiometer zwischen dem 5V und dem GND Potential geschaltet. Der verstellbare Abgriff des Potentiometers ist auf den Pin3, den „Adjust Pin“ des Displays, geführt.

## 7.4 Aufbau der AC- und DC-Module

### 7.4.1 Aufbau und Layout der Platine AC-Modul

Die Platine beinhaltet die Relais und die Bauteile, welche für die Ansteuerung und das Abschalten der Relais zuständig sind. Die Hauptkomponenten sind wie folgt:

- Relais
- MOSFET IRFZ34N zur Relaissteuerung
- Leerlauf und Z-Diode
- LEDs zur Zustandsanzeige

Folgend wird das Layout wieder dargestellt.

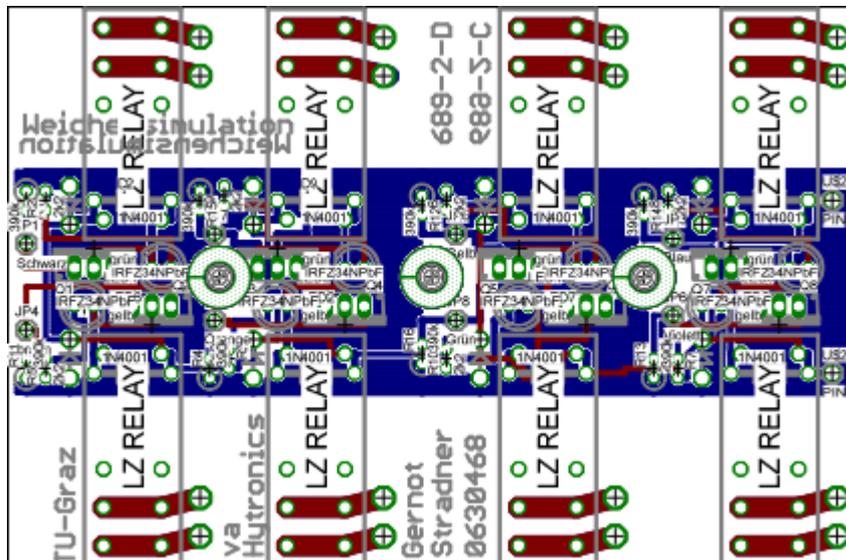


Abbildung 7.4.1 Platine AC-Modul

Beim Entwurf des Layouts war es sehr wichtig, die Luft und Kriechstrecken zwischen den Stromkreisen der Primärseite der Relais und der Sekundärseite der Relais mitzuberücksichtigen.

Dabei wurde der Abstand nach der Norm EN 50124 A.6. [14] bemessen.

In der Tabelle wird nach den Verschmutzungsgraden und der Isolierstoffgruppe unterschieden.

Anschließend wird je nach erwarteter Höchstspannung eine Kriechstromstrecke dem jeweiligen Spannungswert zugeordnet.

Der erwartete Verschmutzungsgrad der Platine ist maximal PD2, da man nur mit einer geringen bis gar keiner Betauung rechnen muss. Es wurde aber trotzdem der Verschmutzungsgrad PD3 gewählt, da über Jahre, die Platine verstauben könnte und es so eventuell zu einer geringen Leitfähigkeit zwischen den benachbarten Stromkreisen kommen könnte.

Die Isolierstoffgruppe wurde mit IIIb gewählt. Dies rührt daher, dass Platinen, wenn das Material nicht bekannt ist, immer mit IIIb beziffert werden sollten[12]

Somit kommt man bei einer maximalen Spannung von 400V zu einem geforderten Mindestabstand von 6,3mm. Da es vom Platz her möglich war, wurde auf der gesamten Platine der Abstand zwischen den beiden Kreisen mit mindestens 8mm designed, um auf diese Weise verhindern zu können, dass es zu elektrischen Überschlügen zwischen den beiden Leitungsteilen kommt.

### 7.4.2 Funktion der Platine AC-Modul

Die Funktion der Platine kann ganz klar in wenigen Worten beschrieben werden.

Die Ausgabekontakte der Relais sind die Schnittstelle zwischen der Steuerung und der 4-Draht-Kaskadenschaltung zur Weichenüberwachung.

Mit Hilfe dieser Platine werden die Schnappschalter in den einzelnen Ebenen der Weiche simuliert. Die Funktion der einzelnen Bauteile wird in den folgenden Unterpunkten beschrieben.

Die Relais werden über den Mikrocontroller angesteuert und vom MOSFET – Transistor ein oder ausgeschaltet. Der Aufbau der Schaltung der Relais ist bei allen acht Relais der gleiche. Die Schaltung kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

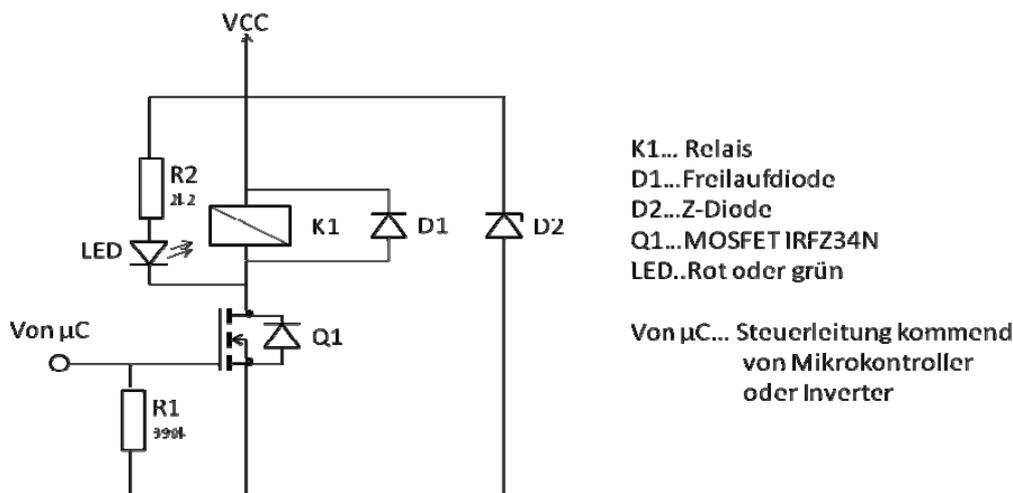


Abbildung 7.4.2 Schaltung der Relais

#### 7.4.2.1 Relais:

Die Relais haben die Aufgabe, die Schnappschalter S800 der Firma Schaltbau zu simulieren. Diese bestehen aus einem antiparallelen Öffner- und Schließerkontakt. Das heißt, ist ein Kontakt geschlossen, ist der andere im Gegenzug immer geöffnet. Da die Relais wie schon beschrieben, immer nur

einen genutzten Schließerkontakt haben, ist ein Schalter mit zwei Relais zu simulieren. Dabei werden vom Mikrocontroller aus immer zwei Relais angesteuert. Eine Spule wird direkt ein- und ausgeschaltet und die andere wird über den Inverter gegengleich gesteuert.

Wie die Relais angeschlossen sind, kann man der Abbildung 7.4.1 und der Tabelle 7.4.1: Anschluss der Relais entnehmen.

Pinbelegung: „AC/DC MOD:“	Signalleitung Schalter/ Kontakte	Pin $\mu$ C	Farbe des Anschlussdrahtes	LED- Farbe
1	„A“ 3-4	Pin40= PA0	Schwarz	Grün
2	„A“ 1-2	Pin40= PA0 „invertiert“	Braun	Gelb
3	„B“ 3-4	Pin 39= PA1	Rot	Grün
4	„B“ 1-2	Pin 39= PA1„invertiert“	Orange	Gelb
5	„C“ 3-4	Pin 38= PA2	Gelb	Grün
6	„C“ 1-2	Pin 38= PA2„invertiert“	Grün	Gelb
7	„D“ 3-4	Pin 37= PA3	Blau	Grün
8	„D“ 1-2	Pin 37= PA3„invertiert“	Violett	Gelb

Tabelle 7.4.1: Anschluss der Relais

#### 7.4.2.2 MOSFET IRFZ34N zur Relaissteuerung:

Der MOSFET oder wie auch HEXFET oder power MOSFET, wie er im Datenblatt bezeichnet wird, hat die Aufgabe, das Relais ein- und auszuschalten. [9]

Dabei kommen die Steuerbefehle vom Mikrocontroller oder dem Inverter. Bei einer angelegten Spannung am Gate, welche ein höheres Potential als der Spannungspegel auf Ground hat, wird die Strecke zwischen Drain und Source leitend. Dabei gehen der Anschluss A2 des Relais und die Systemmasse eine Verbindung ein. Dadurch fallen 12V über die Spule des Relais ab und ein Strom kommt zum Fließen. Das Relais zieht an.

Der FET ist ausgelegt auf eine Spannung von 55V und kann mit einem Sourcedstrom von bis zu 29A belastet werden.

Der Grund, warum ein FET und kein Transistor gewählt wurde, ist der, dass über den FET keine Spannung abfällt und die 12V Versorgungsspannung somit dem Relais allein zur Verfügung stehen.

Wäre ein normaler npn-Transistor gewählt worden, hätte die Versorgungsspannung angehoben werden müssen, da über die Basis-Emitter-Strecke ca. 0,7V abfallen und die fehlende Spannung die Performance des Relais beeinflusst hätte.

### 7.4.2.3 Freilauf und Z-Diode:

Die Beschaltung des Relais selbst beinhaltet die Benutzung einer Freilaufdiode und einer Z-Diode, um die Energie von Spannungsspitzen schneller abbauen zu können und um das Schaltelement, welches den Primärkreis steuert, in diesem Fall der MOSFET, vor Spannungsspitzen zu schützen. Die genaue Funktion der Bauteile wird im folgenden Kapitel kurz abgehandelt.

#### 1) Freilaufdiode:

*„Die Diode ist bei geschlossenem Schalter wirkungslos, da sie sperrt. Der Strom wächst nach einer Exponentialfunktion mit der Zeitkonstanten  $\tau$  bis zu einem Endwert, der nur durch die treibende Spannung und dem Gleichstromwiderstand des Kreises bestimmt ist.*

*Bei kleinem Widerstand  $R_{CU}$  wird die Zeitkonstante groß. Der Strom steigt dann praktisch über einen größeren Zeitbereich linear an mit der Steigung  $U/L$ .“ [4]*

$$\tau = \frac{L}{R_{CU}}$$

Formel 7.4.1 Berechnung der Zeitkonstanten  $\tau$

$$I = \frac{U}{R_{CU}} * \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \approx \frac{U}{L} * t \quad t \ll \tau$$

Formel 7.4.2 Berechnung des Stromes  $I$

*„Beim Öffnen des Schalters wirkt die Spule als Generator und treibt den Strom in zunächst unveränderter Stärke über die dann leitende Freilaufdiode, wobei sich die magnetische Energie des Magnetfeldes in Wärme umsetzt. Der Strom klingt dabei nach der angegebenen Funktion ab, ebenso die beim Öffnen des Schalters induzierte Spannung  $UL$ . Wesentlich ist dazu die Feststellung, dass der Strom bei fester Induktivität nicht aus Gründen der Stetigkeit der Feldenergie nicht springen kann. Er verhält sich damit analog zur Spannung am Kondensator.“ [4]*

$$I = \frac{U}{R_{CU}} * \left(e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \approx \frac{U}{R_{CU}} - \frac{U}{L} * t \quad t \ll \tau$$

Formel 7.4.3 Berechnung des Stromes  $I$

Aus dem oberen Auszug kann man nun auch entnehmen, dass eine Freilaufdiode dazu führt, dass der Feldabbau verzögert wird. Dadurch wird eine größere Delay-Zeit zwischen der Betätigung des Tasters und der Aktion des Schaltkontakts hervorgerufen. Dieser Effekt wirkt sich in dieser Anwendung zwar negativ auf das Schaltverhalten aus, bringt aber andere Vorteile mit sich. Der angesprochene Vorteil ist dieser, dass durch das Abschalten immer eine hohe Induktionsspannung an der Primärwicklung des Relais hervorgerufen wird. Würde das Relais nun mit einem mechanischen Schalter betätigt werden, käme es an diesem zu einem Funken über den Öffnerkontakt beim Ausschalten. Dies bedeutet, dass eine große Energiemenge an dem Schalter frei werden würde. Die Freilaufdiode allerdings würde diesen Funken verhindern. In dieser Anwendung wird das Relais mit einem MOSFET geschaltet. Dabei kann kein Funke frei werden, aber durch den gemäßigteren Energieabbau werden die Elektronikbauteile weitestgehend entlastet und geschont, was zu einer bedeutend längeren Lebenszeit des Gesamtsystems führt. Es kann gesagt werden, dass die Freilaufdiode den FET in dieser Anwendung vor Überspannungen im Fall des Abschaltens schützt und dafür sorgt, dass keine unnötigen Verlustleistungen beim Abschalten auftreten.

## 2) Z-Diode:

Auch dieses Bauteil hat eine ähnliche Funktion wie die Freilaufdiode. Es sorgt für einen Abbau der magnetischen Energie in der Spule. Es könnte anstatt einer Z-Diode auch ein Varistor oder ein Entlastungsnetzwerk, bestehend aus Diode Widerstand und Kondensator, eingesetzt werden. Aus Gründen der Verfügbarkeit wurde aber eine Z-Diode gewählt.

Die genaue Funktion der Zenerdiode ist die, dass beim Abschalten der Versorgungsspannung des Relais der Spannungspegel steigt, da es zu einer Gegeninduktionsspannung an der Spule kommt, welche dem Abbau des magnetischen Feldes entgegenwirkt.

Wenn nun die Gegeninduktionsspannung auf über 12V steigt, ist der Spannungspegel über der Durchbruchsspannung der Diode und der Lawineneffekt tritt ein. Dabei werden die Elektronen durch Stoßionisation so stark beschleunigt, dass die Valenzelektronen aus dem Gitter in das Leitungsband gehoben werden.

Durch die hohe Feldstärke sind die Elektronen so hochenergetisch, dass sie sich selbst nicht rekombinieren und auch im Leitungsband verbleiben und noch mehr Ladungsträger erzeugen können. Auf diese Weise wächst die Zahl der Elektronen im Leiterband schlagartig mit einer e-Funktion an.

Somit kommt es zu einem Stromfluss gegen Masse, bis die Spannung wieder auf unter 12V beziehungsweise genau 12V fällt und die Diode wieder sperrt. Auf diese Weise wird der Energieabbau beschleunigt und der als Schalter verwendete MOSFET entlastet.

#### 7.4.3 LEDs zur Zustandsanzeige:

Um anzuzeigen, ob ein Relais aktiv beziehungsweise seine Spule stromdurchflossen ist oder ob das Relais inaktiv ist, sind parallel zum Relais ein Widerstand in Serie zu einer LED geschaltet.

Dabei dient der Widerstand der Strombegrenzung. Ist der Transistor durchgeschaltet, fließt über die LED nach dem Ohmschen Gesetz bei einem Vorwiderstand von 2,2k $\Omega$  und einer Spannung von 12V ein Strom von ca. 5mA.

Bei den LEDs sind grüne und gelbe in Verwendung. Die grünen LEDs dienen der Zustandsanzeige der „nicht invertierten“ Relais und die gelben LEDs dienen der Zustandsanzeige der Relais mit dem vorgeschalteten Inverter.

#### 7.4.4 Aufbau und Layout der Platine DC-Modul

Die Schaltung des DC-Moduls ist die gleiche wie bei dem AC-Modul. Der einzige Unterschied sind die Relais, welche viel größer als die Wechselspannungsrelais ausgefallen sind.

Daher ist auch der Aufbau ein anderer, da ganz andere Platzverhältnisse vorherrschen.

Der Aufbau der Platine ist wieder in der folgenden Abbildung dargestellt.

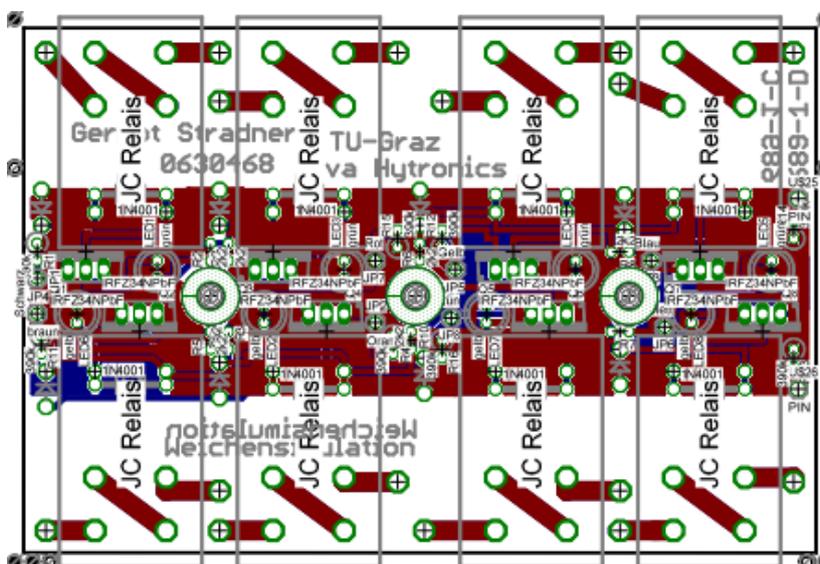


Abbildung 7.4.3 Layout der Platine DC-Modul

Auch bei den Luft- und Kriechstrecken wurde auf die gleichen Abstandsverhältnisse wie bei der Platine des AC-Moduls geachtet, obwohl andere Spannungsverhältnisse vorherrschen. Da aber das Design der beiden Platinen Hand in Hand ging, wurden die Abstände hier gleich designed.

Sollten die Module nun einmal vertauscht werden, würden zwar die Schaltkontakte der Relais vermutlich zerstört werden, die Elektronik selbst wäre aber nicht gefährdet.

#### 7.4.5 Funktion der Platine DC-Modul

Die Funktionsbeschreibung ist gleich wie schon bei dem AC-Modul, da bis auf die Relais die gleichen Bauteile eingesetzt wurden. Daher sei in diesem Punkt auf das Kapitel 7.4.2 verwiesen.

## 8 Mechanischer Aufbau der Slave Module

Grundsätzlich sind alle Komponenten in ein ABS Kunststoffgehäuse mit den Außenmaßen von 250x160x150mm verbaut.

Das AC- und das DC-Modul, sind in einem weiteren separaten Gehäuse mit den Außenmaßen von 120x120x60mm verbaut.

Um jedoch die fertig bestückten Platinen, die Stecker für die Schnittstellen sowie die Ein- und Ausgänge im Gehäuse unterzubringen, war einiges an mechanischer Vorarbeit zu verrichten.

Es mussten die Löcher für die Sekundäranschlüsse der Relais und der Schalter gebohrt werden und die Oberseite des Gehäuses musste aufgefräst werden, um das Display, den Taster für die Hintergrundbeleuchtung, die LEDs, die Folientastatur sowie das AC- beziehungsweise DC-Modul im Gehäuse unterbringen zu können. Bei den AC-Modulen war die Unterseite aufzufräsen und an der Oberseite waren die Löcher für die LEDs zu bohren.

Nachdem die Gehäuse bearbeitet waren, musste noch ein Befestigungsblech ausgeschnitten und gebohrt werden, um das AC- oder das DC-Modul mit dem Slave-Modul verbinden zu können.

In den nächsten Unterpunkten wird beschrieben, wie beim Slave Modul und beim AC-/DC-Modul die Gehäuse bearbeitet werden müssen, um die Komponenten in den jeweiligen Kunststoffgehäusen unterzubringen.

### 8.1 Bearbeitung beim Slave-Modul

Beim Slave-Modul ist das Gehäuse in zwei gleich große Teile getrennt. Die Ober- und die Unterseite haben eine Größe von jeweils 250x160x75mm. An der Unterseite war jede einzelne Fläche zu bearbeiten, da die Anschlüsse rund um das Gehäuse verteilt sind. Auch der Boden des Unterteils war zu bearbeiten, da hier die Platine 1 und die Platine 2 befestigt werden und auch das Befestigungsblech an der Unterseite angeschraubt wird.

An dem Oberteil war nur die Deckseite zu bearbeiten, da hier die Steuerelemente verbaut sind und für das Relaismodul eine Ausnehmung gefräst werden musste, um dieses jederzeit ohne viel Aufwand tauschen zu können.

#### 8.1.1 *Bearbeitung der Vorderseite des Unterteils*

An der Vorderseite des Unterteils waren zwölf Bohrungen für die Anschlüsse der Schaltkontakte der Schalter „A“ und der Schalter „B“ zu machen. Die Bohrungen in der Mittelzeile sind für die Kippschalter, mit welchen es möglich ist, die Relais manuell wegzuschalten.

Des Weiteren mussten für die Anschlüsse der Schnittstellen die Ausnehmungen der 9-poligen Sub-D Stecker ausgefräst werden. Die Bearbeitung kann der AutoCAD Zeichnung im Anhang 1 entnommen werden.

### 8.1.2 *Bearbeitung der Hinterseite des Unterteils*

Die Rückseite war ähnlich der Vorderseite zu bearbeiten. Dabei wurden wieder zwölf Löcher für die Schalter „C“ und „D“, sowie die dazugehörigen Schalter gebohrt. Außer diesen Löchern waren aber keine Bearbeitungsschritte an dieser Seite nötig.

### 8.1.3 *Bearbeitung der Stirnseiten des Unterteils*

Die linke und die rechte Stirnseite wurden beide gleich bearbeitet. Es wurde mittig je eine Öffnung für den Eingang oder auf der gegenüberliegenden Seite für den Ausgang gemacht. Hierbei ist wieder ein 9-poliger Sub-D Stecker beziehungsweise eine Buchse in Verwendung. Im Anhang ist zu sehen, welche Abstände bei der Bearbeitung einzuhalten waren.

### 8.1.4 *Bearbeitung der Bodenseite des Unterteils*

Die Unterseite des Gehäuses musste mit Bohrungen versehen werden, um die Platinen und das Befestigungsblech für das AC- Modul oder das DC-Modul montieren zu können. Dabei handelt es sich um vier Bohrungen mit einem Durchmesser von 4mm und vier Bohrungen mit einem Durchmesser von 6mm. Alle acht Bohrungen waren für die Verwendung von sogenannten Senkkopfschrauben aufzusenken, damit man die Schrauben bündig mit der Oberfläche in das Bauteil verschwinden lassen kann.

### 8.1.5 *Bearbeitung der Deckfläche des Oberteils*

An der Deckfläche des Oberteils war ungemein mehr zu machen. Dabei mussten drei Öffnungen in das Gehäuse gefräst werden. Eine quadratische Öffnung mit 121x121mm für das austauschbare AC- oder DC-Modul, eine weitere Öffnung mit 93x42mm für das Display und eine kleinere Öffnung für den Anschluss der selbstklebenden Folientastatur.

Neben den quadratischen Öffnungen waren auch noch drei Löcher zu bohren. Ein Loch mit einem Durchmesser von 12mm für einen rastenden Taster, mit welchem die Hintergrundbeleuchtung des Displays zu- und weggeschaltet werden kann und zwei Löcher mit einem Durchmesser von 6,5mm, um die LEDs zur Zustandsanzeige der Spannungsregler im Deckel verbauen zu können.

### 8.1.6 Beschriftung des Gehäuses.

Um das Gehäuse optisch zu verschönern und die Funktion beschreiben zu können, wurden Beschriftungen für selbstklebende, bedruckbare Folien designed. Diese Folien werden überall dort verklebt, wo Ein- oder Ausgänge vorliegen. Auch an der Oberseite wurde aus optischen Gründen eine große Folie kreiert, um somit auch möglicherweise auftretende Schönheitsfehler kaschieren zu können. Die Klebefolien werden in den nächsten Abbildungen im Kleinformat dargestellt.

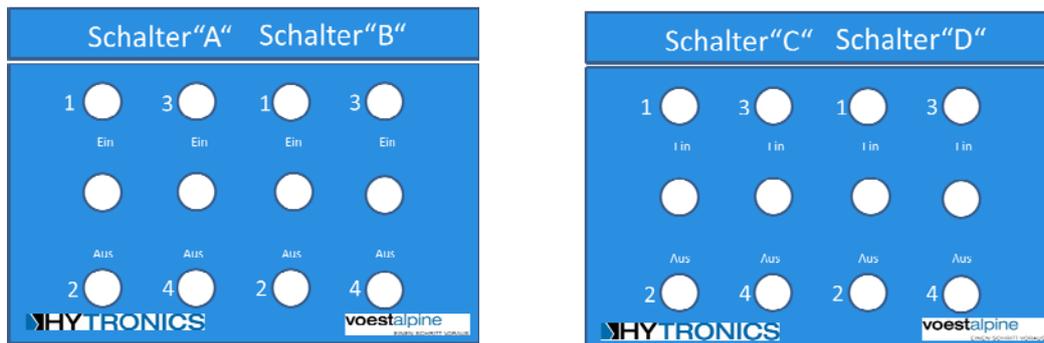


Abbildung 8.1.1 Beschriftung der Relaisausgänge an der Vorder- und Hinterseite



Abbildung 8.1.2 Beschriftung der Schnittstellen an der Vorderseite und den Stirnseiten

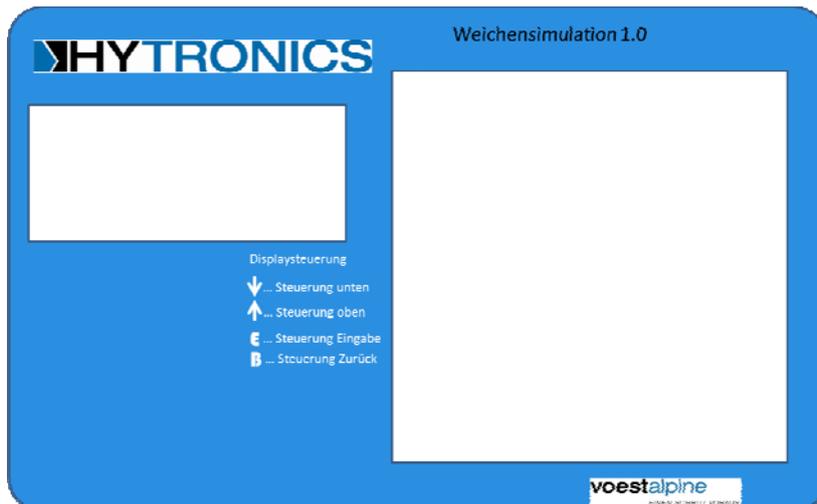


Abbildung 8.1.3 Beschriftung der Oberseite

## 8.2 Fertigung des Befestigungsbleches

In der Unterseite des Gehäuses sind die Platine 1 und die Platine 2 befestigt. Ober den Platinen kann das AC- oder das DC-Modul gesteckt werden. Um eine Plattform zu bilden, an welcher dieses Modul befestigt werden kann, wurde ein Befestigungsblech gefertigt. Dieses ist mit Distanzschrauben 80mm vom Boden des Gehäuses entfernt befestigt.

Das Befestigungsblech wurde aus einem 2mm Aluminiumblech ausgeschnitten. Seine Außenmaße sind 150x170mm. Um es in dem Gehäuse montieren zu können, war es nötig, einige Ausnehmungen an den Außenseiten auszuschneiden. Auch an der Innenseite wurde ein rechteckiges Loch geschnitten, durch welches die Drähte für die Anschlüsse nach außen geführt werden.

Die einzelnen Ausnehmungen wurden mit einer Stichsäge in das Aluminium geschnitten und im Anschluss sind die Flächen mit einer Feile nachbearbeitet und entgratet worden.

Die Maße des Blechs können dem Konstruktionsplan im Anhang entnommen werden.

Neben den Ausnehmungen sind auch noch Löcher zur Befestigung und für die Steckverbinder der AC- beziehungsweise DC-Module im Blech vorhanden. Dies sind vier Bohrungen mit einem Durchmesser von 6mm für die Verbindung mit dem Gehäuseunterteil und vier Bohrungen mit einem Durchmesser von 5mm für die Befestigung der Weidmüllerstecker [25] [24] mit welchen die auswechselbaren AC- oder DC-Module befestigt werden können.

## 8.3 Bearbeitung des AC-Moduls und des DC-Moduls

Die Bearbeitung des Gehäuses bei dem AC -Modul und dem DC-Modul ist bis auf die Befestigungsbohrungen für die Platinen gleich. Daher werden alle Bearbeitungsschritte der beiden Module in diesem Kapitel behandelt. Die Module sind in einem Gehäuse mit den Außenmaßen von 120x120x60mm verbaut. Im Gehäuse befindet sich die Platine mit den Relais. Die Sekundärseiten der Relais sind über die Weidmüllerstecker[23], [26], mit den Bananenbuchsen an der Vorder- und Hinterseite des Slave- Moduls mit der Außenwelt verbunden.

An der Oberseite der Module sind die LEDs ersichtlich, welche den Zustand der Relais anzeigen und somit signalisieren ob ein Relais angezogen oder abgefallen ist.

### 8.3.1 Bearbeitung der Unterseite

An der Unterseite sind die Ausnehmungen für die Weidmüllerstecker zu fräsen. Neben diesen beiden Längsschlitz mit der Größe von 78x16,5mm sind auch noch jeweils drei Bohrungen mit einem Durchmesser von 4mm zu machen, um die

Platinen im Gehäuse montieren zu können. Die Bohrungen werden zusätzlich aufgesenkt, da die Platinen mit Senkkopfschrauben befestigt werden und diese plan mit der Unterseite des Gehäuses abschließen müssen. Die genauen Maße und Abstände können der Konstruktionszeichnung im Anhang entnommen werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Abstände der Bohrungen bei den AC- und dem DC-Modul unterschiedlich sind. Die Längsschlitze sind bei beiden Modulen gleich groß und haben auch die gleiche Position.

### 8.3.2 *Bearbeitung der Stirnseiten*

An den Stirnseiten sind jeweils zwei Bohrungen zu machen, um die Weidmüllerstecker an dem Gehäuse befestigen zu können. Dabei sind die Bohrungen mit einem Durchmesser von 6mm wieder aufzusenken, um die verwendeten Senkkopfschrauben wieder plan mit dem Gehäuse montieren zu können. Auch hier sei wieder auf die Konstruktionszeichnung im Anhang verwiesen, um die Abstände einsehen zu können.

### 8.3.3 *Bearbeitung der Vorderseite*

Da die Zuleitung vom Steuerteil des Slave-Moduls in das Gehäuse geführt werden muss, ist an der Vorderseite auch ein Loch zu bohren, um die Drähte einführen zu können. Um die Abstände der 6mm Bohrung einsehen zu können, sei wieder auf die Konstruktionszeichnung verwiesen.

### 8.3.4 *Bearbeitung der Oberseite*

An der Oberseite oder dem Deckel des Gehäuses sind acht Bohrungen mit einem Durchmesser von 6,5mm vorzunehmen. Diese dienen dazu, die LEDs zur Zustandsanzeige der Relais im Deckel montieren zu können. Die genauen Abstände können auch hier wieder der Konstruktionszeichnung entnommen werden. Die Abstände der Bohrungen sind bei beiden Modulen gleich.

### 8.3.5 *Beschriftung der Oberseite*

Um einen besseren optischen Eindruck zu erwecken und um deutlich anzuzeigen, welche LED zu welchem Relais gehört, wird die Oberseite wieder mit einer Beschriftungsfolie versehen. Dazu wurde im Programm Power Point eine Folie designed und auf einer Klebefolie ausgedruckt. Diese muss nur mehr zugeschnitten werden und kann am Deckel verklebt werden. Optisch sieht die Folie wie in der Abbildung 8.3.1 dargestellt aus. Dabei unterscheidet sie sich nur minimal zwischen

den beiden Modulen. Der einzige Unterschied ist die Beschriftung. Ansonsten ist das Design für beide Module das selbe.

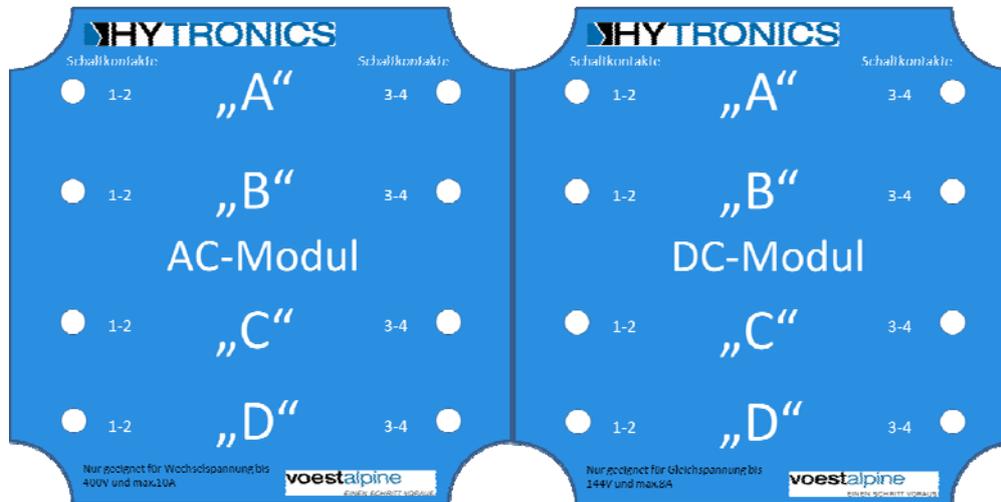


Abbildung 8.3.1 Beschriftung AC- und DC-Moduls

### 8.3.6 Zusammenbau des AC- und DC-Moduls

Nachdem das Gehäuse wie in den vorherigen Punkten beschrieben bearbeitet wurde und auch die Beschriftungsfolie an den Deckel geklebt wurde, sind die Weidmüllerstecker mit dem Gehäuse zu verschrauben. Dazu werden M4x16mm Senkkopfschrauben verwendet. An der Rückseite werden diese mit einer M4 Beilegescheibe und einer selbstsichernden M4 Mutter befestigt.

Doch bevor die Stecker fest verschraubt werden, werden an der bestückten Platine die Drähte an den Schaltkontakten der Relais angelötet und in den Kontakten der Weidmüllerstecker verschraubt.

Die Eingänge sind an der Steckerleiste angeklemt und die Ausgänge sind an der Buchsenleiste angeklemt. Weiters müssen die Steuerleitungen in das Gehäuse eingeführt werden und an der Platine angelötet werden. Die Drähte sind wie in der folgenden Tabelle ersichtlich angeklemt.

Farbe des Anschluss - drahtes	Relais Nr.:	Signalleitung Schalter/ Kontakte	Anschluss Stecker/ Buchse	AC-Relais Kontakt:	DC-Relais Kontakt:	LED-Farbe
Schwarz	1	„A“ 3	Stecker 1	Wurzel /Innen	4	Grün
Schwarz	1	„A“ 4	Buchse 1	Schließer/Außen	2	Grün
Braun	2	„A“ 1	Stecker 1	Wurzel /Innen	4	Gelb
Braun	2	„A“ 2	Buchse 2	Schließer/Außen	2	Gelb
Rot	3	„B“ 3	Stecker 3	Wurzel /Innen	4	Grün
Rot	3	„B“ 4	Buchse 3	Schließer/Außen	2	Grün
Orange	4	„B“ 1	Stecker 4	Wurzel /Innen	4	Gelb
Orange	4	„B“ 2	Buchse 4	Schließer/Außen	2	Gelb
Gelb	5	„C“ 3	Stecker 5	Wurzel /Innen	4	Grün
Gelb	5	„C“ 4	Buchse 5	Schließer/Außen	2	Grün
Grün	6	„C“ 1	Stecker 6	Wurzel /Innen	4	Gelb
Grün	6	„C“ 2	Buchse 6	Schließer/Außen	2	Gelb
Blau	7	„D“ 3	Stecker 7	Wurzel /Innen	4	Grün
Blau	7	„D“ 4	Buchse 7	Schließer/Außen	2	Grün
Violett	8	„D“ 1	Stecker 8	Wurzel /Innen	4	Gelb
Violett	8	„D“ 2	Buchse 8	Schließer/Außen	2	Gelb
-	-	GND	Stecker 9	-	-	-
-	-	VCC +12V	Stecker 10	-	-	-

Tabelle 8.3.1: Anschluss AC- und DC-Modul

Sind alle Drähte angeklemt, können die Stecker- und Buchsenleisten endgültig mit dem Gehäuse verschraubt werden. Die Platine wird auf einer M3x20mm Distanzhülse mit dem Gehäuseunterteil verschraubt und somit befestigt.

Im Anschluss sind noch die Montagehülsen für die LEDs in den Deckel zu pressen. In diese können die LEDs montiert werden und der Deckel wird mit dem Unterteil verschraubt.

#### 8.4 Zusammenbau des Slave-Moduls

Sind nun die auswechselbaren AC- und DC-Module zusammengebaut, kann das Slave-Modul zusammengebaut werden. Dazu müssen als Erstes die Platinen bestückt werden. Sind diese fertig, können sie miteinander verbunden und zusammengeschaubt werden. Das fertige Innenleben oder auch die Steuerung ist mit dem AVR-Studio und einem passenden Programmer zu programmieren.

Nachdem das Paket Hardware-Software fertig ist, können die Platinen in das Gehäuse montiert werden. Dazu wird eine Sandwich-Technik angewandt und die Platine 2 über der Platine 1 gestapelt. Die Platinen werden untereinander mit M3x20mm Distanzbolzen, wie sie auch schon beim AC- und DC-Modul im Einsatz sind, miteinander verschraubt. Mit einem ähnlichen Bolzen mit der Höhe von 7mm werden die Platinen an der Unterseite des Gehäuses befestigt.

Weiters wird die Montageplatte mit den Weidmüllersteckern verschraubt und diese auch an der Unterseite befestigt.

An den Stirnseiten und der Vorderseite werden die Ein- und Ausgänge sowie die Stecker für die Schnittstelle montiert und an der Platine angelötet.

Im nächsten Schritt können die Bananenbuchsen und die Schalter eingeschraubt und angeklemt werden. Dabei sind die Buchsen und Schalter mit der Stecker- und Buchsenleiste am Montageblech zu verbinden. Die Anschlussbelegung kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Anschluss Stecker/ Buchse	Geht auf Bananenbuchse	Führt weiter zu
Buchse 1	„A“ 3	-
Stecker 1	Schalter „A“ 3-4	„A“ 4
Buchse 2	„A“ 1	-
Stecker 2	Schalter „A“ 1-2	„A“ 2
Buchse 3	„B“ 3	-
Stecker 3	Schalter „B“ 3-4	„B“ 4
Buchse 4	„B“ 1	-
Stecker 4	Schalter „B“ 1-2	„B“ 2
Buchse 5	„C“ 3	-
Stecker 5	Schalter „C“ 3-4	„C“ 4
Buchse 6	„C“ 1	-
Stecker 6	Schalter „C“ 1-2	„C“ 2
Buchse 7	„D“ 3	-
Stecker 7	Schalter „D“ 3-4	„D“ 4
Buchse 8	„D“ 1	-
Stecker 8	Schalter „D“ 1-2	„D“ 2
Buchse 9	GND	-
Stecker 9	-	-
Buchse 10	VCC +12V	-
Stecker 10	-	-

Tabelle 8.4.1: Verbindung Befestigungsblech mit Bananenbuchsen

Wenn die Ausgänge alle angeschlossen sind, kann die Oberseite fertig bearbeitet werden. Dabei sind das Display, die Status-LEDs, der Taster für die Hintergrundbeleuchtung sowie die Folientastatur zu montieren. Wenn diese Schritte abgeschlossen sind, können die Oberseite und die Unterseite zusammengebaut werden. Ein Schnitt durch das Slave –Modul in Abbildung 8.4.1 zeigt wie das Slave-Modul mechanisch aufgebaut ist.

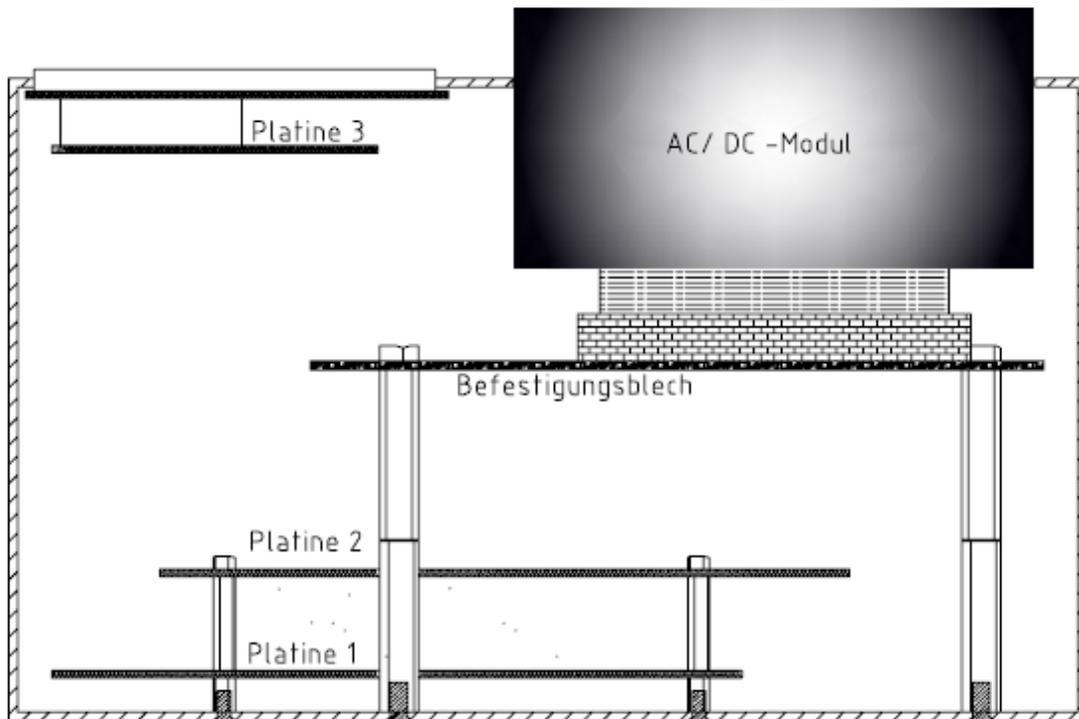


Abbildung 8.4.1 Schichtenmodell des mechanischen Aufbaus

## 9 Programm in C

Das Programm wurde im AVR Studio 4 geschrieben und auch mit dem AVR Studio compiliert. Dabei ist der Kernteil des Programms eine Timeroutine, um welche eine Statemaschine mit Displaysteuerung aufgebaut wurde.

Das Display kann über eine Folientastatur von außen gesteuert werden. Dabei agiert die Tastatur als Eingang und beeinflusst den Programmablauf. Das Display ist dabei der Ausgang des Controllers.

Bei den Umstellbefehlen in der Statemaschine werden über den Mikrocontroller die Relais als Aktoren angesprochen.

Die einzelnen Kernkomponenten und der Zeitablauf werden in den folgenden Unterkapiteln abgehandelt.

### 9.1 „timer“

Der „timer“ wird im „Clear Timer on Compare Match“ oder auch CTC Modus betrieben.

Dabei wird der „timer“ bei Erreichen eines eingestellten Wertes auf 0 gesetzt und ein Interrupt ausgelöst. Nach dem Interrupt beginnt der „timer“ wieder von neuem zu zählen.

Somit kann über einen „Prescaler“ der CPU Takt durch einen bestimmten Faktor geteilt werden.

Werden nun eine bestimmte Anzahl von Taktzyklen gezählt, wird ein Interrupt ausgelöst. In diesem Fall wird genau jede Millisekunde ein Interrupt generiert und der Zähler wieder zurückgesetzt.

Der Interrupt Handler wird dadurch auch genau jede Millisekunde aufgerufen und zählt bei jedem Aufruf einen Schritt weiter.

Der Konfiguration des „timers“ wird in der folgenden Abbildung dargestellt.

```

//Timer 0 konfigurieren
TCCR0A = (1<<WGM01);           // CTC Modus clear timer on compare Match
TCCR0B |= ((1<<CS01)|(1<<CS01)); // Prescaler Faktor 64
                                // (8000000/64= 0,125MHz => 1/125000Hz=>8µs

TCNT0 = 0;                     // Timer Zählregister auf 0 setzen
OCR0A = 125-1;                 // 125x8µs= 1ms
TIMSK0 |= (1<<OCIE0A);        // Compare Interrupt erlauben
  
```

Abbildung 9.1.1 Timer Konfiguration

Die Interrupt Service Routine zählt nun bei jedem Interrupt eine Millisekunde hoch, bis die Routine gestoppt wird.

```

//Routine für Zeit

ISR (TIMER0_COMPA_vect)
{
  millisekunden++;
  if (millisekunden == 1000)
  {
    •
    •
    •
  }
}

```

Abbildung 9.1.2 ISR zur Zeitzählung

## 9.2 Displayroutine

Um den Atmega 324P Controller mit dem Display synchronisieren zu können und Daten auf dem Display ausgeben zu können, war es nötig, eine Steuerroutine in das Programm einzubinden.

Da diese LCD Routinen schon von vielen Leuten geschrieben wurden und im Internet auf den verschiedensten Plattformen zum Download angeboten werden, wurde auch hier eine fertige Routine in das Programm eingebunden. Die Displayroutine wurde von der Homepage „mikrocontroller.net“ [11] gewählt. Die dort vorgeschlagene Art der Ansteuerung ist in fast unveränderter Form in das Programm eingebunden. Dabei ist die Routine in eine Header-Datei „lcd-routines.h“ und in eine Source-Datei „lcd-routines.c“ unterteilt.

Das Display selbst, kann nun aus dem laufenden Programm mit den Befehlen „lcd\_setcursor“ und „lcd\_string“ beschrieben werden. Um zu veranschaulichen, wie vier Zeilen auf einmal ausgegeben werden, ist aus dem c.-File „lcd-steuerung“ ein kleiner Auszug in der folgenden Abbildung dargestellt.

```

int choice_menu1()
{
  lcd_setcursor( 0,1 ); // Die Ausgabemarke an Position x in Zeile y setzen
  lcd_string("Spitzenverschluss");// Text ausgeben, als String
  lcd_setcursor( 0,2 );
  lcd_string("Verbindungsstange");
  lcd_setcursor( 0,3 );
  lcd_string("1.)IE2010");
  lcd_setcursor( 0,4 );
  lcd_string("2.)IE2010");
  return 0;
}

```

Abbildung 9.2.1 Ausgabe am Display

Mit dem Befehl „lcd\_setcursor“ wird die Zeile und die Spalte am Display ausgewählt. Steht nun nach dem Befehl in Klammer 0,3, bedeutet dies, dass in der dritten Zeile und in der ersten Spalte mit der Schrift begonnen wird. Das Display selbst ist vier Zeilen tief und 20 Spalten lang.

### 9.3 State machine

Die gesamte Steuerung und der Programmablauf wurden als „State machine“ ausgeführt. Dies kann auch als endlicher Automat übersetzt werden, da es eine endliche Anzahl von Zuständen gibt, die der Automat einnehmen kann. Dabei wird, abhängig von Aktionen wie zum Beispiel einem Tastendruck oder auch nach einer bestimmten Zeitdauer oder ähnlichem, von einem Zustand in den nächsten gewechselt. Dabei steht es dem Programmierer frei, wie viele Zustände es gibt und wann und wie von einem Zustand in den nächsten gewechselt wird. Die Reihenfolge der einzelnen States spielt dabei keine Rolle.

Programmiert wurde der Automat mit Hilfe von „switch-case“ –Befehlen. Dabei gibt es die Laufvariable „selected\_menu\_item“ welche bei Tastendruck inkrementiert oder dekrementiert wird. Durch drücken des Enter-Tasters, wird die Variable „selected\_menu\_item“ mit der Variablen „target\_state“ gleichgesetzt und als nächsten Schritt mit der Variablen „State“ gleichgesetzt und somit ein Zustand ausgewählt.

#### 9.3.1 Startup

Hier werden die Ein- und Ausgänge definiert sowie der „timer“ konfiguriert. Nach einem Tastendruck wird direkt in den State0 gewechselt.

#### 9.3.2 State0

Nach dem Startup des Controllers beginnt das Programm direkt im State0. Dieser ist für die Menüführung und die Displaysteuerung verantwortlich. Über die verschiedensten Integer Variablen erfolgt in diesem State die Auswahl der anderen States. Es existiert eine eigene Header- und Source-Datei mit dem Namen „lcd-steuerung“, auf welche nur dieser State zugreift, um dabei die Ausgabe zu verarbeiten.

#### 9.3.3 State1 bis n

Springt das Programm nun in einen State von 1 bis n, wird in diesem, nachdem ein Stellbefehl an den Mikrocontroller gesendet wurde, die Umstellung der Weichensimulation durchgeführt. Jeder State steht dabei für eine Stellebene.

Über die Variable „richtungs\_var“ wird dabei die Endlage ausgewählt. Die Variable kann die Zustände 1, 2 und 3 annehmen. 1 ist dabei der Grundzustand und immer linke Endlage. Dieser liegt vor, wenn von neuem in einen State gesprungen wird. Kommt nun ein Stellbefehl von linker in die rechte Endlage, wird die „richtungs\_var“ auf 2 gesetzt, und es ist nur eine Umstellung in die linke Endlage möglich.

Wenn nun die Weichensimulation nach einer weiteren Umstellung in rechter Endlage ist, wird die Variable auf 3 gesetzt und man kann wieder nur in die linke Endlage zurückstellen.

Zum Beenden oder zum Verlassen eines States, genügt ein Tastendruck auf der „Back-Taste“, und das Programm springt zurück in den State0. Die Variable für die Stellrichtung wird wieder auf 1 gesetzt, sodass bei neuerlicher Auswahl eines Zustandes von 1 bis n wieder die Grundstellung eingenommen wird.

Bei der Umstellung wird mit Hilfe des „timers“ eine Zeitabfolge abgearbeitet und in der Reihenfolge, wie sie bei der Weiche gemessen wurde, werden die Relais ein- oder ausgeschaltet.

Ist die Umstellung beendet, verharrt das Programm in seinem Zustand, bis von außen ein neuerlicher Befehl zur Umstellung kommt.

### 9.3.4 Modell der State machine

Um den Programmablauf einfacher darstellen zu können, wurde ein Modell erstellt, wie der Automat seine Zustände erreicht.

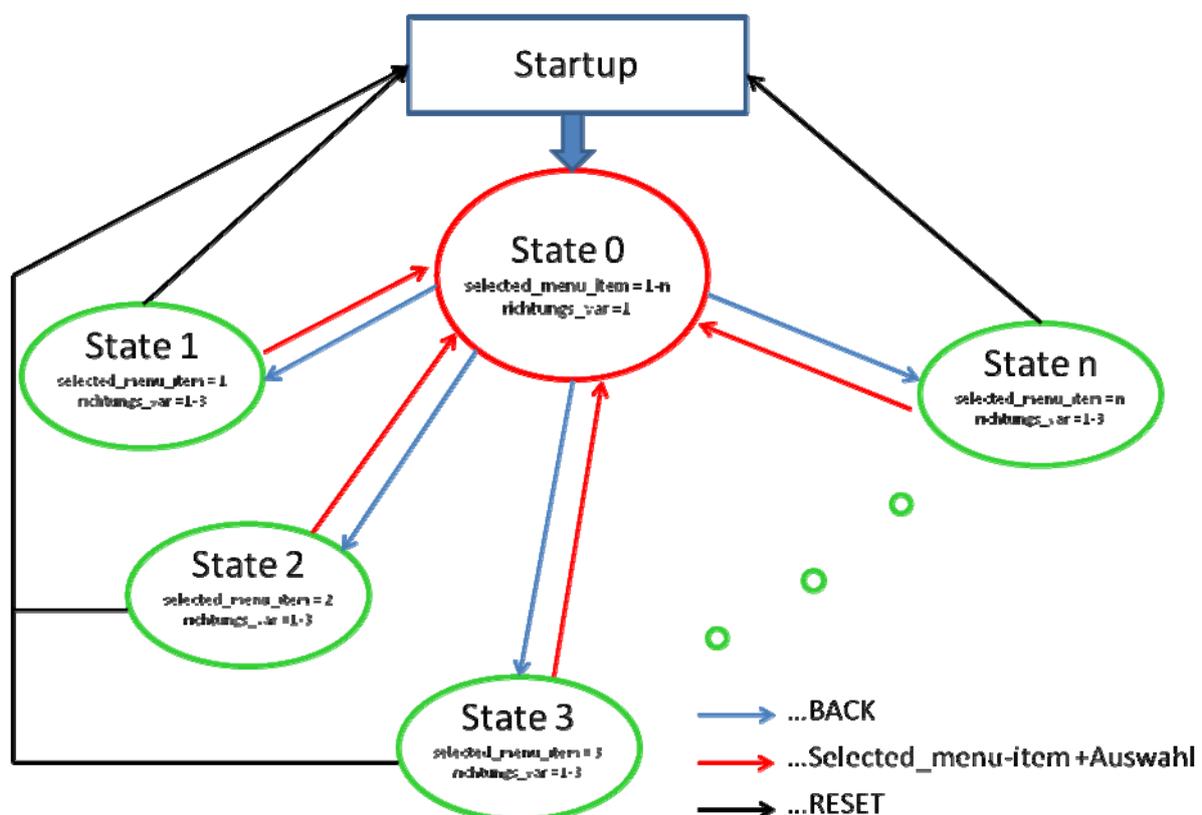


Abbildung 9.3.1 State-machine

## 10 Zukunftsaussichten und aktueller Stand

### 10.1 Aktueller Stand

Mit Hilfe der Slave-Module kann eine HYDROSTAR®-Weiche, mit fest voreingestellten Schaltzeiten in den ersten vier Ebenen simuliert werden kann.

Dabei kommt der Stellbefehl von einem externen Master. Dazu muss ein 12V Spannungssignal zwischen Pin1 und Pin3 am Eingang für die Umstellung nach rechts angelegt werden. Für die Umstellung nach links, ist das gleiche Signal am Eingang zwischen den Pins 2 und 3 anzulegen.

Über die Folientastatur und das Display, kann ausgewählt werden, welche Überwachungsebene man mit dem Slave –Modul simulieren will.

Abhängig davon, ob die geschaltete Spannung nun Gleich- oder Wechselspannung ist, sind am Slave-Modul die AC- oder die DC-Module einzusetzen.

### 10.2 Zukunftsaussichten

Da nur vier Slave –Module gefertigt wurden und auch nur die ersten vier Überwachungsebenen vermessen wurden, ist es derzeit auch nicht möglich, eine weitere Ebene zu simulieren.

Sollte es aber nötig sein, mehrere Ebenen simulieren zu müssen, können ohne Weiters neue Module an die Weichensimulation angehängt werden. Dazu benötigt man nur die Schaltzeiten der weiteren Ebenen und müsste weitere Module fertigen. Aufgrund der Modularen Aufbauweise, würde diese alle Baugleich wie die ersten vier Stück sein.

Aufgrund der Seriellen Schnittstellen, besteht die Möglichkeit, eine visuelle Oberfläche am PC zu erstellen, mit welchem die Steuerung durchgeführt werden könnte.

Dies ist hardwaremäßig kein allzu hoher Aufwand, benötigt aber einiges an Programmierfähigkeit.

Im Zuge dieses Projektes ist dies aber nicht mehr relevant, da dies eher dem Bereich Softwaredesign entspricht.

## Literaturverzeichnis

- [1] STMicroelectronics. (2010). Datasheet L78xx, L78xxC, L78xxAB, L78xxAC. Doc ID 2143 Rev 21. STMicroelectronics group of companies.
- [2] APEM. (kein Datum). Standard 4 Keypad. 1+4 Matrix Keypad with insert pocket 3441-018-0C. APEM.
- [3] ATMEL. (August 2007). ATMEGA324P-20AU. Abgerufen am 23. März 2011 von ATMEL: [http://www.rlocman.ru/i/File/dat/Atmel/Microcontrollers\\_MCU/ATMEGA164P\\_20AU.pdf](http://www.rlocman.ru/i/File/dat/Atmel/Microcontrollers_MCU/ATMEGA164P_20AU.pdf)
- [4] Böhmer, E. (kein Datum). Elemente der angewandten Elektronik. In E. Böhmer.
- [5] CLARE an IXYS company. (04. März 2001). <http://www.clare.com>. Abgerufen am 27. November 2011 von <http://www.clare.com>: [http://www.clare.com/home/pdfs.nsf/www/Germanversion.pdf/\\$file/Germanversion.pdf](http://www.clare.com/home/pdfs.nsf/www/Germanversion.pdf/$file/Germanversion.pdf)
- [6] Displaytech Ltd. (Version 1.2). LCD Module . Abgerufen am 12. Juli 2011 von 204A Series: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/06dd/0900766b806dda1c.pdf>
- [7] *Gleisbauwelt*. (27. Oktober 2011). Von [gleisbau-welt.de](http://www.gleisbauwelt.de): [http://www.gleisbauwelt.de/site/weichen/grundlagen\\_der\\_weichen.htm](http://www.gleisbauwelt.de/site/weichen/grundlagen_der_weichen.htm) abgerufen
- [8] Hartl, H., Krasser, E., Pribyl, W., Söser, P., & Winkler, G. (2008). Elektronische Schaltungstechnik. München: Pearson Studium.
- [9] International Rectifier IR. (11. März 2003). Datenblatt IRFZ34NPbF. PD - 94807. El Segundo, California, USA: IR WORLD HEADQUARTERS.
- [10] Lichtberger, D. B. (2003). Handbuch Gleis. Hamburg: Tetzlaff Verlag.
- [11] Mikrocontroller.net. (kein Datum). mikrocontroller.net. Abgerufen am 15. Mai 2011 von AVR-GCC-Tutorial/LCD-Ansteuerung: <http://www.mikrocontroller.net/articles/AVR-GCC-Tutorial/LCD-Ansteuerung>
- [12] mikrocontroller.net. (27. November 2011). mikrocontroller.net. Abgerufen am 5. Dezember 2011 von mikrocontroller.net: <http://www.mikrocontroller.net/articles/Leiterbahnabst%C3%A4nde>
- [13] Oberhoffner, W. (2009). Technischer Sicherheitsbericht ECOSTAR 380V\_V1. Zeltweg, Steiermark, Österreich: VAE Eisenbahnsysteme GmbH.
- [14] ÖVE/ÖNORM. (2006). EN 50124-1+A1+A2. Bahnanwendungen – Isolationskoordination. Wien: Österreichischer Verband für Elektrotechnik.

- [15] ÖVE/ÖNORM 2004 ÖVE/ÖNORM EN 50129 *Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme – Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik* Wien Österreichischer Verband für Elektrotechnik
- [16] Panasonic Electric Works Europe AG. (kein Datum). Technical information on LZ relays (ALZ). Abgerufen am 07. Juli 2011 von Pewa- Panasonic:  
<http://pewa.panasonic.com/assets/pcsd/catalog/alz-catalog.pdf>
- [17] Panasonic Electric Works Europe. (kein Datum). Technical information on JC relays. Abgerufen am 07. Juli 2011 von Pewa-Panasonic:  
<http://pewa.panasonic.com/assets/pcsd/catalog/jc-catalog.pdf>
- [18] Papacek, I. (15. September 2004). *Betriebshandbuch Hydraulisches Weichenantriebssystem HYDROSTAR®-ZV*. ÖBB ARBEITSMAPPE Nr. W 23. Zeltweg, Steiermark, Österreich: VAE Eisenbahnsysteme GmbH.
- [19] Philips Semiconductors FAST Products. (04. Oktober 1990). Product specification. Hex inverter 74F04. Philips Semiconductors.
- [20] Quantschnigg R., A. H. (17. Dezember 2007). *Betriebshandbuch HYDROSTAR® ZV-4D*. ÖBB ARBEITSMAPPE W 31. Zeltweg, Steiermark, Österreich: VAE.
- [21] Schaltbau Schnappschalter mit Zwangsöffnung Baureihe S800, S804, S814, S820 München Germany Schaltbau GmbH
- [22] Vishay Semiconductors. (20. Oktober 2009). Optocoupler, Phototransistor Output (Multichannel). CNY74-2H, CNY74-4H. Vishay.
- [23] Weidmüller. (2012). Datenblatt Serie STV STV S 10 SS. Detmold Germany: Weidmüller Interface GmbH & Co. KG.
- [24] Weidmüller. (2012). Datenblatt Serie STV STW S 10 SS GR. Detmold Germany: Weidmüller Interface GmbH & Co. KG.
- [25] Weidmüller. (2012). Datenblatt Serie STV STW S 10 SS GR. Detmold Germany: Weidmüller Interface GmbH & Co. KG.
- [26] Weidmüller. (2012). Datenblatt Serie STV STV S 10 SB. Detmold Germany: Weidmüller Interface GmbH & Co. KG.
- [27] WIKIPEDIA Die freie Enzyklopädie. (Oktober 2011). WIKIPEDIA Die freie Enzyklopädie. Abgerufen am 14. Oktober 2011 von wikipedia.org:  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Eisenbahnweiche>
- [28] Winkler, G. (WS 2009). Vorlesungsskriptum: EMV elektronischer Systeme. Graz: Institut für Elektronik.

[29] Wolf M., S. M. (16. Dezember 2008). BETRIEBSHANDBUCH Innenliegender Endlagenprüfer IE2010. ÖBB ARBEITSMAPPE W36. Zeltweg, Steiermark, Österreich: VAE.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.4.1 Weiche allgemein (rechte Endlage).....	15
Abbildung 2.2.1: Draufsicht Weiche [7].....	24
Abbildung 2.2.2:Schnappschalter [21] .....	25
Abbildung 2.2.3:Nomenklatur Schaltsymbole .....	26
Abbildung 2.2.4:Umstelleinheit Spitzenverschluss [20] .....	26
Abbildung 2.2.5: Zwangsöffnende Endlagenschalter im Spitzenverschluss [18] .....	27
Abbildung 2.2.6: Kabelsätze der Schaltermodule AB sowie CD [20] .....	28
Abbildung 2.2.7: Schaltung des Spitzenverschlusses im HYDROSTAR® ZV [29] ....	28
Abbildung 2.2.8: Verbindungsstange im Gleis [20] .....	29
Abbildung 2.2.9: Schaltergehäuse Verbindungsstange [20] .....	29
Abbildung 2.2.10: Verbindungsstange mit Kabelsätzen [20].....	30
Abbildung 2.2.11: Schaltung der Verbindungsstange im HYDROSTAR®-ZV [29] ...	30
Abbildung 2.2.12: IE2010 im Gleis [29] .....	31
Abbildung 2.2.13: Schaltung des IE 2010 im HYDROSTAR® -ZV [29].....	32
Abbildung 2.3.1: Schaltplan HYDROSTAR®-ZV -4D mit IE2010 als Überwachungsebene[29] .....	34
Abbildung 2.3.2: Ersatzschaltbild Schaltplan HYDROSTAR® ZV 4D.....	35
Abbildung 2.3.3: Umstellung von rechts nach links Schritt 1 [13] .....	36
Abbildung 2.3.4: Umstellung von rechts nach links Schritt 2 [13] .....	37
Abbildung 2.3.5: Umstellung von links nach rechts Schritt 1 [13] .....	38
Abbildung 2.3.6: Umstellung von rechts nach links Schritt 2 [13] .....	39
Abbildung 4.2.1 Belegung Klemmkasten.....	44
Abbildung 4.2.2 Schaltung Spitzenverschluss [Quelle: Signalplan HYDROSTAR® ZV Polen/ EBILOCK 950 STC].....	45

Abbildung 4.2.3: Anschluss Spitzenverschluss.....	46
Abbildung 4.2.4: Schalterstellung Spitzenverschluss .....	46
Abbildung 4.2.5: Schaltung Verbindungsstange [Quelle: Signalplan HYDROSTAR® ZV Polen/ EBILOCK 950 STC].....	47
Abbildung 4.2.6: Anschluss Verbindungsstange.....	48
Abbildung 4.2.7: Schalterstellung Verbindungsstange .....	49
Abbildung 4.2.8: Schaltung IE 2010 [Quelle: Signalplan HYDROSTAR® ZV Polen/ EBILOCK 950 STC].....	50
Abbildung 4.2.9: Anschluss der IE2010.....	50
Abbildung 4.2.10: Funktionsablauf des IE2010 bei Weichenumstellung [13] .....	51
Abbildung 4.2.11: Schalterstellung IE2010.....	51
Abbildung 4.3.1: Erwartetes Zeitverhalten der einzelnen Überwachungsebenen.....	53
Abbildung 4.4.1: Header einer Messreihe.....	55
Abbildung 4.4.2: Zeitverhalten bei Referenzmessung .....	71
Abbildung 5.1.1: Schaltverhalten der Endschalter beim Einschalten.....	73
Abbildung 5.1.2: Schaltverhalten der Endschalter beim Ausschalten .....	74
Abbildung 5.3.1: Messung der Verzögerungszeit am AC Relais .....	76
Abbildung 5.3.2: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Schließer- Kontakte AC Relais .....	77
Abbildung 5.3.3: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Öffnerkontakt AC- Relais .....	77
Abbildung 5.3.4: Messung bei 400 VAC am AC Relais .....	78
Abbildung 5.3.5: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Schließerkontakt bei 400 VAC .....	79
Abbildung 5.3.6: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Öffnerkontakt bei 400 VAC.....	79
Abbildung 5.4.1: Messung der Verzögerungszeit am DC Relais .....	80

Abbildung 5.4.2: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Schließerkontakte DC Relais .....	81
Abbildung 5.4.3: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Schließerkontakt DC-Relais invertiert .....	81
Abbildung 5.4.4: Messung bei 144 VDC am DC Relais.....	82
Abbildung 5.4.5: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Relais nicht invertiert bei 144 VDC .....	83
Abbildung 5.4.6: Oszilloskopbild der Ein- und Ausschaltzeitpunkte Relais invertiert bei 400 VAC .....	83
Abbildung 5.5.1:: Ein- und Ausschaltverhalten des DC Relais .....	84
Abbildung 5.5.2: Ein- und Ausschaltverhalten des AC Relais.....	84
Abbildung 6.1.1 Aufbau des ersten Prototyps .....	85
Abbildung 6.2.1 Aufbau des zweiten Prototyps .....	88
Abbildung 7.1.1 Schematischer Aufbau des Slave Moduls .....	90
Abbildung 7.3.1 Platine 1 .....	97
Abbildung 7.3.2 Anschluss des Quarzoszillators.....	99
Abbildung 7.3.3 Schaltung der Optokoppler.....	100
Abbildung 7.3.4 Beschaltung 7812.....	102
Abbildung 7.3.5 Platine 2 .....	104
Abbildung 7.3.6 Spannungsversorgung am Inverter. ....	105
Abbildung 7.3.7 Schaltung eines Invertergliedes.....	106
Abbildung 7.3.8 Schaltung der Folientastatur mit Schalterentprellung .....	107
Abbildung 7.3.9 Platine 3 .....	110
Abbildung 7.4.1 Platine AC-Modul.....	112
Abbildung 7.4.2 Schaltung der Relais .....	113
Abbildung 7.4.3 Layout der Platine DC-Modul .....	117

Abbildung 8.1.1	Beschriftung der Relaisausgänge an der Vorder- und Hinterseite	121
Abbildung 8.1.2	Beschriftung der Schnittstellen an der Vorderseite und den Stirnseiten	121
Abbildung 8.1.3	Beschriftung der Oberseite	121
Abbildung 8.3.1	Beschriftung AC- und DC-Moduls	124
Abbildung 8.4.1	Schichtenmodell des mechanischen Aufbaus	127
Abbildung 9.1.1	Timer Konfiguration	128
Abbildung 9.1.2	ISR zur Zeitzählung	129
Abbildung 9.2.1	Ausgabe am Display	129
Abbildung 9.3.1	State-machine	131

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.4.1: 1.) Messung von links nach rechts vom 28.04.11	56
Tabelle 4.4.2: Spitzenverschluss: Vergleich der einzelnen Messungen	57
Tabelle 4.4.3: Verbindungsstange: Vergleich der einzelnen Messungen	57
Tabelle 4.4.4: 1.) IE2010: Vergleich der Messungen	58
Tabelle 4.4.5: 2.) IE2010: Vergleich der Messungen	58
Tabelle 4.4.6: Auswertung Spitzenverschluss von links nach rechts	59
Tabelle 4.4.7: Auswertung Verbindungsstange von links nach rechts	60
Tabelle 4.4.8: Auswertung 1.IE2010 von links nach rechts	60
Tabelle 4.4.9: Auswertung 2.IE2010 von links nach rechts	60
Tabelle 4.4.10: Spitzenverschluss: Vergleich der Messungen	62
Tabelle 4.4.11: Verbindungsstange: Vergleich der Messungen	62
Tabelle 4.4.12: 1.)IE2010: Vergleich der Messungen	63

Tabelle 4.4.13: 2.)IE2010: Vergleich der Messungen.....	63
Tabelle 4.4.14: Auswertung Spitzenverschluss von rechts nach links.....	64
Tabelle 4.4.15: Auswertung Verbindungsstange von rechts nach links.....	64
Tabelle 4.4.16: Auswertung 1.IE2010 von rechts nach links.....	64
Tabelle 4.4.17: Auswertung 2.IE2010 von rechts nach links.....	65
Tabelle 4.4.18: Spitzenverschluss: Auswertung der Störungen vom 27.04.11.....	67
Tabelle 4.4.19: Verbindungsstange: Auswertung der Störungen vom 27.04.11.....	67
Tabelle 4.4.20: 1.) IE2010: Auswertung der Störungen vom 27.04.11.....	68
Tabelle 4.4.21: 2.) IE2010: Auswertung der Störungen vom 27.04.11.....	68
Tabelle 5.1.1: Messung der Schaltflanken beim Einschalten.....	73
Tabelle 5.1.2: Messung der Schaltflanken beim Ausschalten.....	74
Tabelle 5.3.1: Messung der Delay-Time AC-Relais.....	77
Tabelle 5.4.1: Messung der Delay-Time DC-Relais.....	81
Tabelle 7.3.1: Belegung der I/O–Pins am Mikrocontroller.....	98
Tabelle 7.3.2: Belegung der Versorgungs–Pins am Mikrocontroller.....	99
Tabelle 7.3.3: Pin-Belegung des Hex-Inverters.....	106
Tabelle 7.3.4: Anschluss der Taster am $\mu$ C.....	107
Tabelle 7.3.5: Belegung des Reservepinanschlusses.....	109
Tabelle 7.3.6: Belegung der Pins für Display und Platine 2.....	109
Tabelle 7.3.7: Belegung der Pins an der Platine 3.....	111
Tabelle 7.4.1: Anschluss der Relais.....	114
Tabelle 8.3.1: Anschluss AC- und DC-Modul.....	125
Tabelle 8.4.1: Verbindung Befestigungsblech mit Bananenbuchsen.....	126

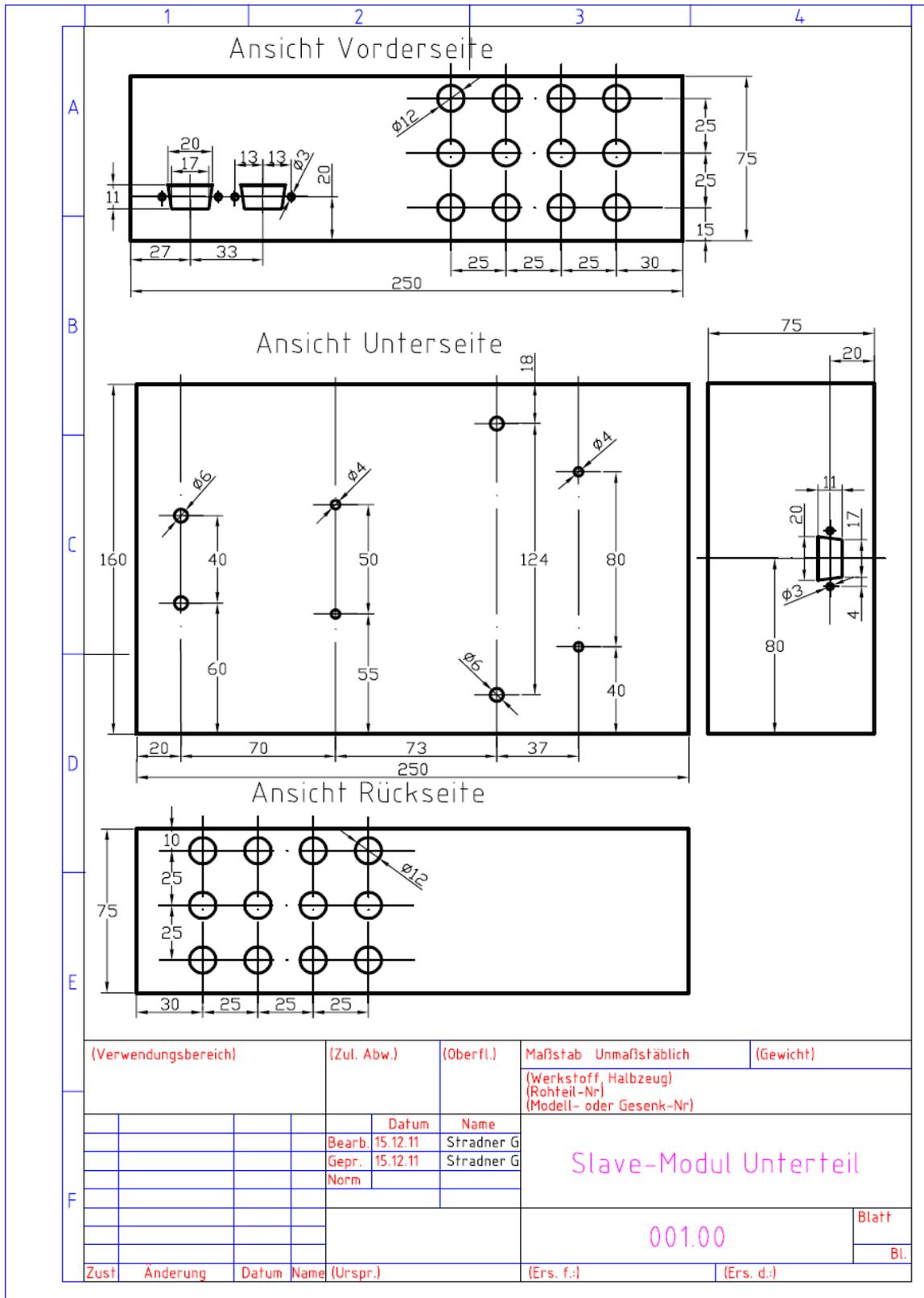
## Diagrammverzeichnis

Diagramm 4.4.1: Umstellung von links nach rechts.....	61
Diagramm 4.4.2: Umstellung von rechts nach links.....	65

## Formelverzeichnis

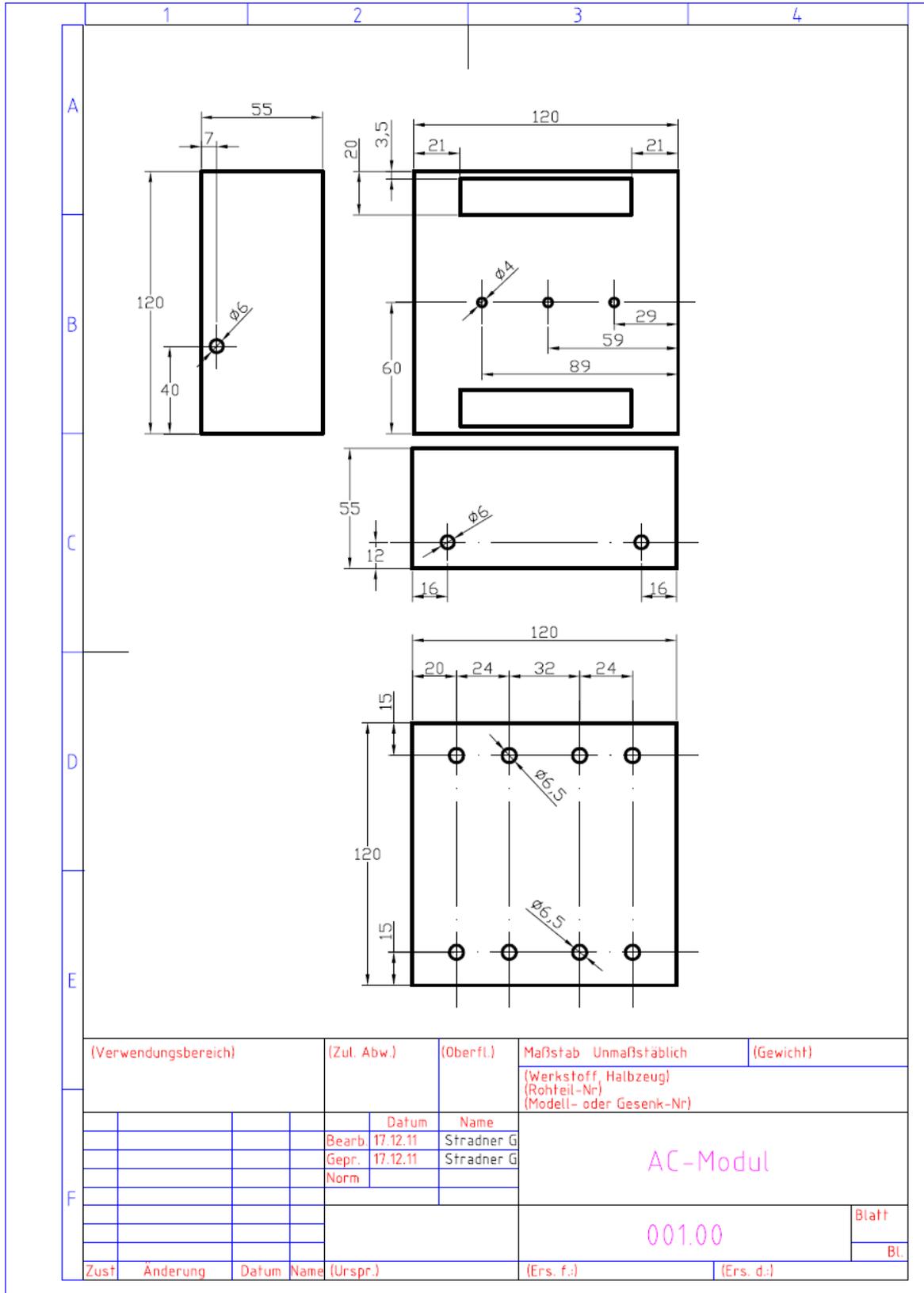
Formel 4.4.1: Mittelwert.....	59
Formel 4.4.2: Abweichung nach oben und unten.....	59
Formel 4.4.3: Abweichung in %.....	59
Formel 7.3.1: Berechnung der Verlustwärme.....	102
Formel 7.3.2: Berechnung von $\tau$ .....	108
Formel 7.4.1 Berechnung der Zeitkonstanten $\tau$ .....	115
Formel 7.4.2 Berechnung des Stromes $I$ .....	115
Formel 7.4.3 Berechnung des Stromes $I$ .....	115

### Anhang 1 Unterseite Slave -Modul



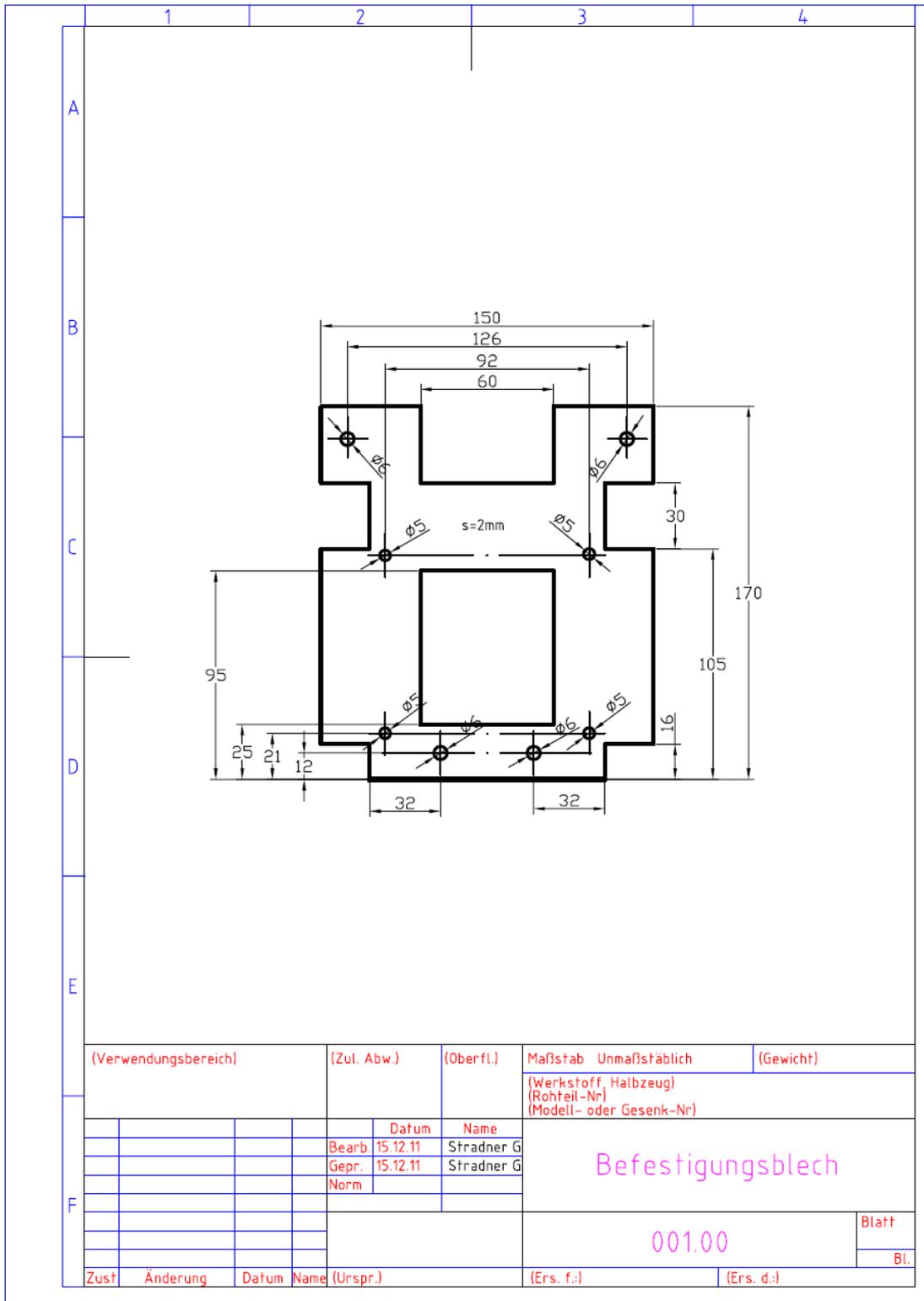


### Anhang 3 AC- Modul

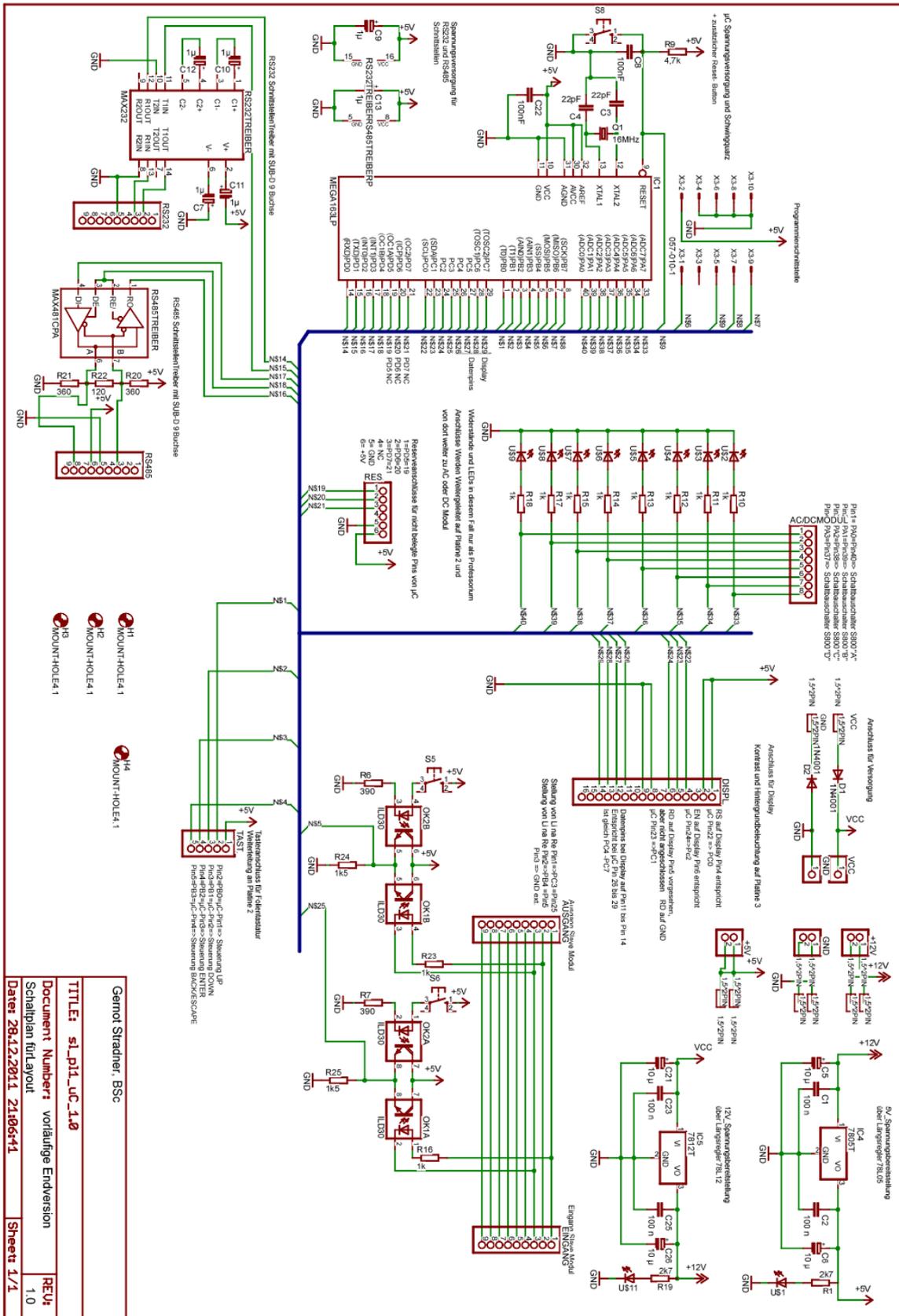




## Anhang 5 Befestigungsblech

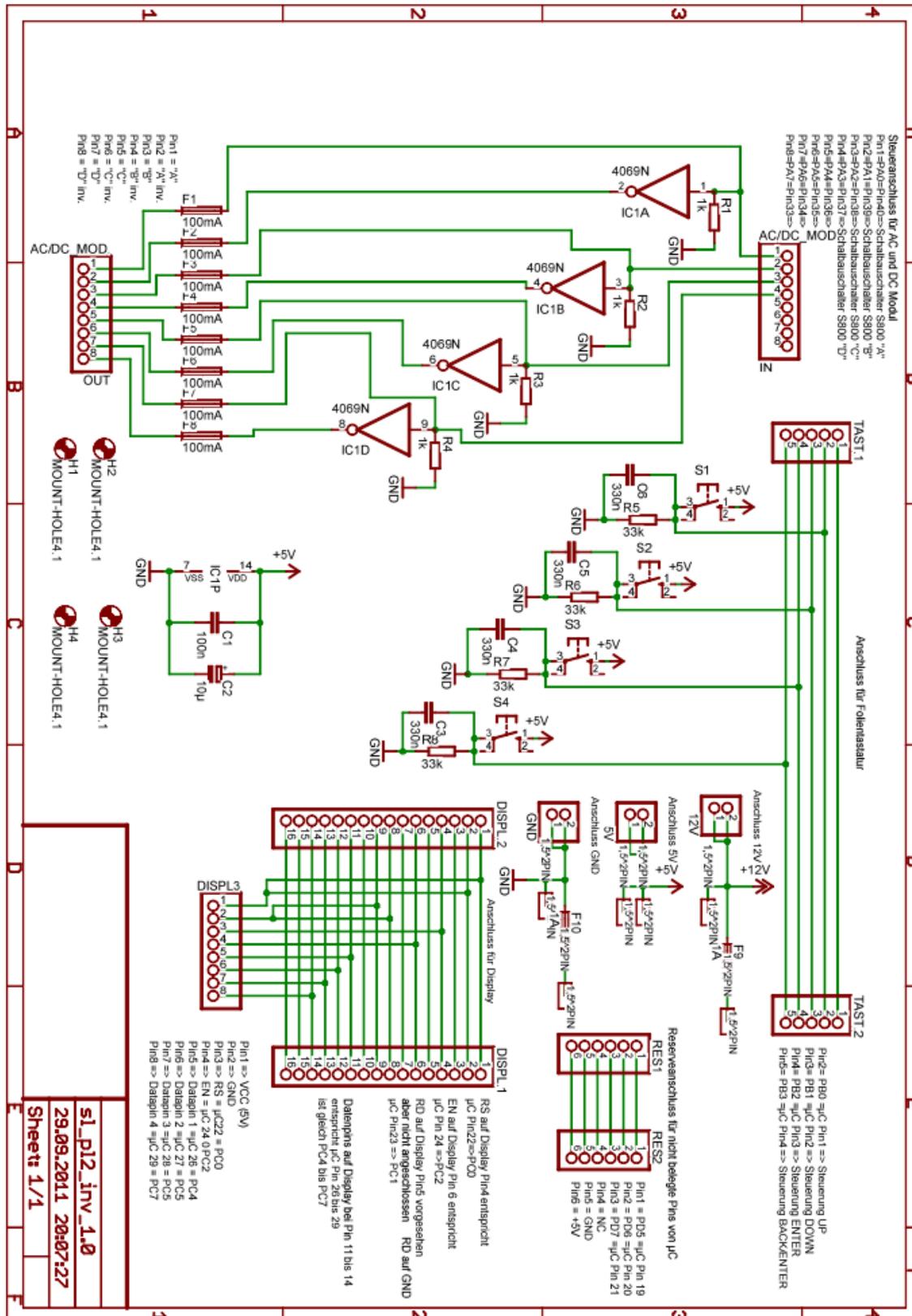


# Anhang 6 Schaltplan Platine 1



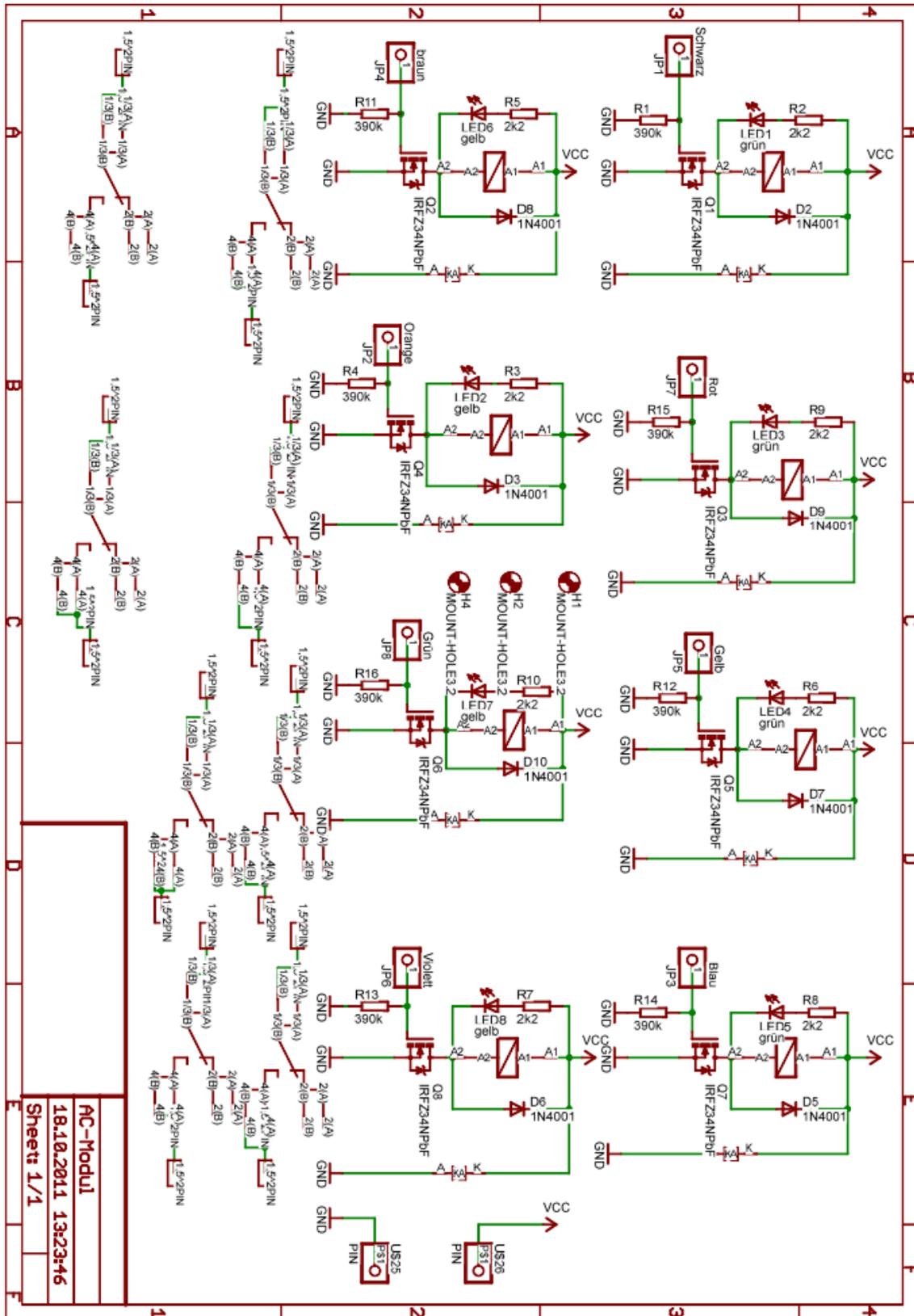
Gernot Stradner: BSC	
TITLE: sl_p14_uc_1.0	
Document Number: vorläufige Endversion	REV: 1.0
Schaltplan für Layout	
Dater 28.12.2011 21:06:41	Sheet 1/1

## Anhang 7 Schaltplan Platine 2

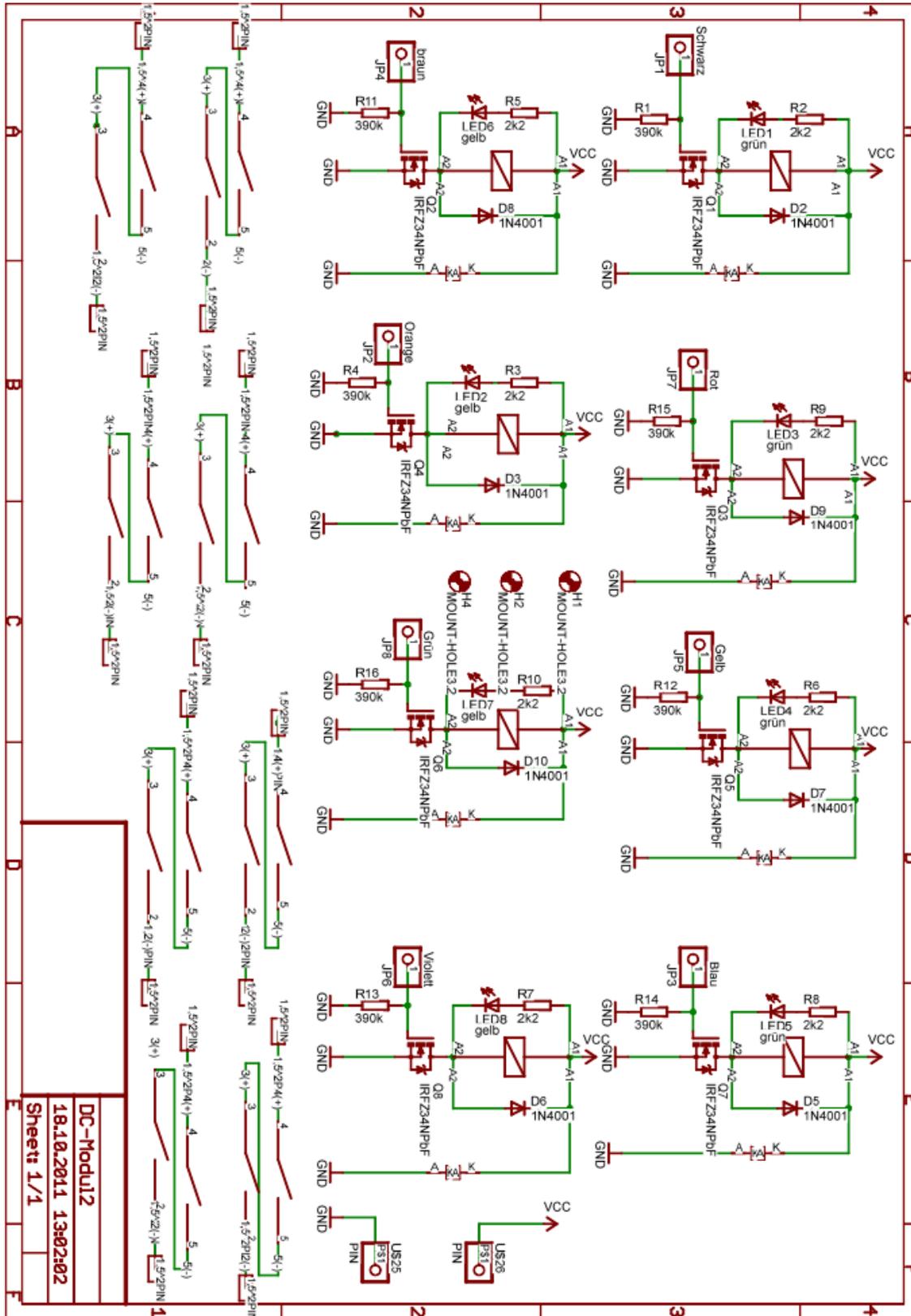




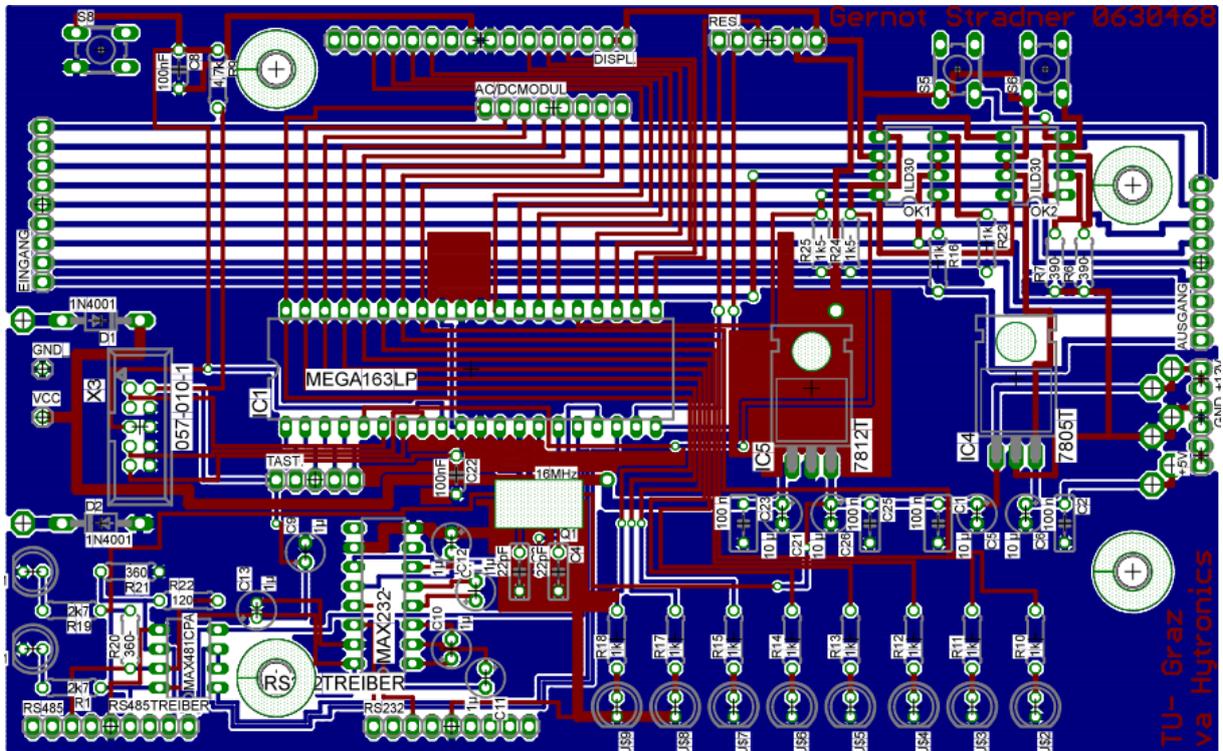
## Anhang 9 Schaltplan AC -Modul



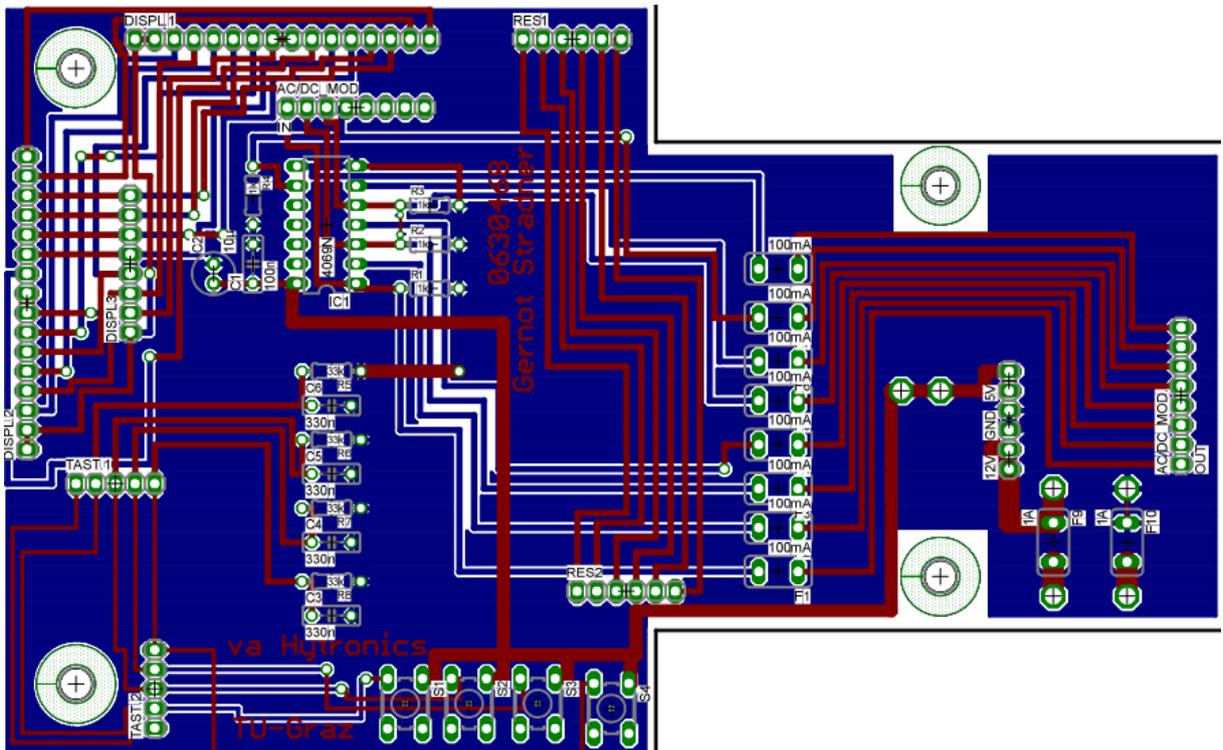
### Anhang 10 Schaltplan DC -Modul



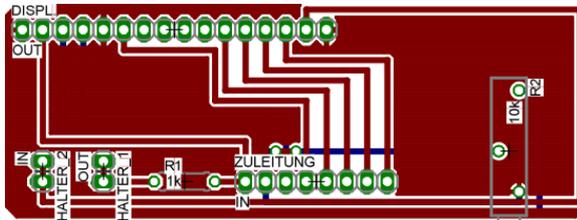
Anhang 11 Layout Platine 1 Originalgröße



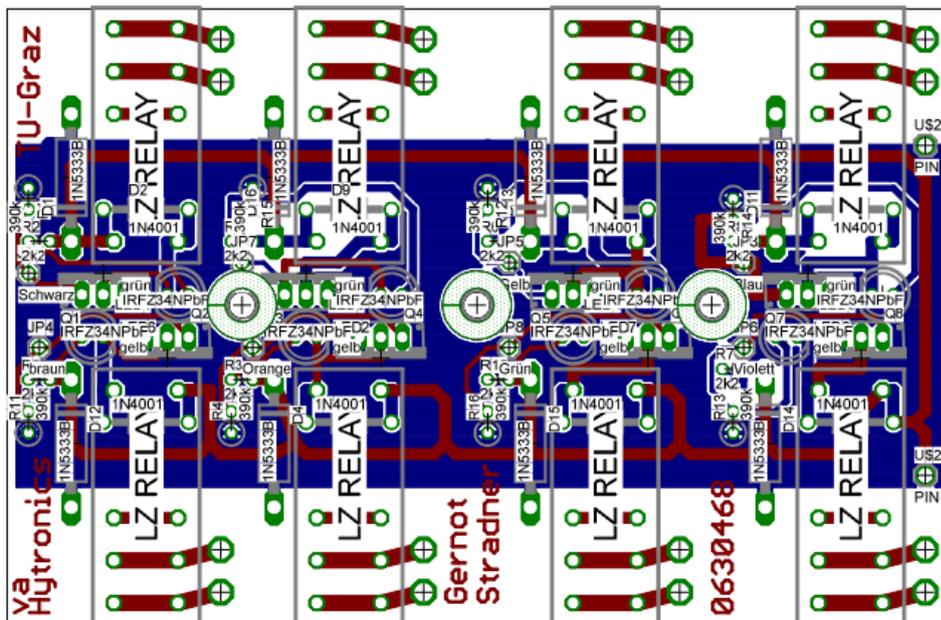
Anhang 12 Layout Platine 2 Originalgröße



### Anhang 13 Layout Platine 3 Originalgröße



### Anhang 14 Layout Platine AC-Modul Originalgröße



### Anhang 15 Layout Platine DC-Modul Originalgröße

