

Waggonkipper

WIE ENTLADE ICH EINEN EISENBAHNWAGGON

U. Bohländer | Erklärbar 22 | 2023

Einleitung

Wer kennt es nicht?

Man stöbert im Internet oder in irgendwelchen Zeitschriften und plötzlich bleibt man an einem Bild oder Artikel hängen, von dem man Gedanklich nicht mehr ablassen kann. So erging es mir als ich das Bild eines alten Firmenprospektes der Fa. Krupp-Ardelt, aus dem Jahre 1960 entdeckte, auf dem die Entladung eines 2-Achsigen Güterwagens über die Stirnklappen zu sehen war. Sofort kamen mir die ersten Ideen und Lösungsansätze für eine Umsetzung in der Baugröße HO in den Sinn. Um diese etwas zu konkretisieren habe ich dann erst einmal eine kleine Internetrecherche gestartet, die diverse Videos mit den unterschiedlichsten Waggonkippern hervorbrachte. Aber das war alles nicht das, das ich mir vorstellte. Die dort aufgezeigten Lösungsansätze waren zwar nicht schlecht, waren allerdings für meinen Geschmack zu klobig und unförmig. Mir schwebte da eine Lösung wie auf dem Firmenprospekt vor. Eine filigrane und elegante Schweißkonstruktion, die gerade nur so viel in Bewegung bringt wie unbedingt erforderlich und nicht noch Massige Unterkonstruktionen und Bühnengänge die, die notwendige Mechanik und Elektronik verdeckt. Was ich allerdings von den dort betrachteten Lösungen übernehmen wollte war die Entladung eines Vierachsigen Waggons. Ich weiß nicht ob so eine Variante je gebaut oder konstruiert wurde, war mir letztendlich aber auch egal. Denn mit einem Vierachsigen Waggon der sich in dieser Form in die Luft reckt, sieht die ganze Geschichte um ein Vielfaches spektakulärer aus als es ohnehin schon mit einem 2-Achser ist.

LASTENHEFT

Nun, wie schon erwähnt ließ mich der Gedanke an eine technisch Umsetzung in Ho nicht mehr los. Schnell war auch klar, dass die Lösung des Waggonkippers nur einher gehen konnte, wenn auch eine Lösung für die Ver- und Entriegelung der Waggontüren gefunden wurde. Um das Ganze ein wenig zu sortieren habe ich dann meine Anforderungen erst einmal in einem Lastenheft zusammengefasst.

- Waggon soll entladen werden ohne das manuell eingegriffen werden muss
- Waggontüren sollen automatisch Ver- und Entriegelt werden
- Waggontüren müssen auch im geschlossenen Zustand und bei Fahrt sicher verschlossen sein
- Ver- und Entriegelungsmechanik der Waggontüren soll möglichst unauffällig sein
- Waggons sollen automatisch vom Zug abgetrennt werden (Entkupplungsgleis)
- Mechanik der Kippbühne (Bühnentraverse) darf nicht breiter sein wie der Spurweite der Fahrzeuge
- Bühnentraverse soll an einer Schweißkonstruktion angelehnt sein (Vorbildfoto)
- Die gesamte Vorrichtung muss für einen 4-Achsigen Waggon ausgelegt sein
- Hydraulik wie auch die Kippmechanik müssen funktionstüchtig dargestellt werden
- Maximaler Kippwinkel der Bühne zwischen 60 und 70°

- Ladegut soll in einem Bunker gesammelt werden und sich wieder leicht umladen lassen
- Antriebe und Mechaniken sollen nicht oder nur kaum ersichtlich sein
- Die Vorrichtung muss bündig mit der Schienenoberkante sein
- Die Steuerung soll über Microcontroller (Arduino) erfolgen
- Beim Einschalten muss eine automatische Kalibrierung der Vorrichtung erfolgen
- Aktuelle Arbeitsvorgänge sollen über ein Display angezeigt werden
- Steuerung der Kippvorrichtung möglichst nur über eine Taste
- Bedienung muss Bedienerfreundlich (Idiotensicher) sein.

Um das Ganze jetzt nicht zu aufwendig zu machen verzichte ich mal hier auf die übliche Erstellung eines Pflichtenheftes und die anschließende Lösungsfindung und Bewertung. Das würde den Rahmen dieses Artikels völlig sprengen. Stattdessen stelle ich hier einfach meinen gewählten und umgesetzten Lösungsweg vor.

UMSETZUNG

Als Waggon habe ich mir einen Fahrzeugsatz von Märklin (46911) der Epoche IV ausgesucht. Diese Waggon haben eine im Modell dargestellte Stirnklappe, die allerdings nicht (noch nicht) zu öffnen ist. Im Prinzip ging die Entwicklung der Klappenmechanik und die Entwicklung der Kippbühnenmechanik einher. Um das Ganze nun etwas Leserfreundlich zu gestalten fange ich zunächst einmal mit dem Umbau der „Rübenwaggon“ an.

Wie bereits gesagt habe ich mir als Modell eines bzw. sechs Stück von Märklin ausgesucht.



[wago2]

Nach ausgiebigen Vorüberlegungen und einigen kleinen Versuchsaufbauten war schnell klar, dass hier eine Lösung mit Feder zum Tragen kommt. So vorbereitet wurde im ersten Schritt jeder einzelne Wagen in seine Einzelteile zerlegt. Die Kohleneinsätze werden wir später nicht mehr benötigen und lagern diese in unserem Bastelfundus ein. Die können wir später noch als Ladegut für andere Waggonen verwenden, vorausgesetzt wir finden diese dann wieder 😊.

Die Demontage der Waggonen sollte für jeden machbar sein ohne hier ins Detail gehen zu müssen. Das was mir nicht gelungen ist, ist der Erhalt der Verklipsung zwischen Waggonaufbau und Fahrwerk. Von daher habe ich einfach alle Clipse komplett entfernt.

Nachdem nun alles soweit zerlegt war ging es an die Bearbeitung der Waggonentüren. Diese wurden mit einem Cuttermesser und einer neuen Klinge vorsichtig aus dem Waggongehäuse herausgeschnitten. Ich bin dabei so vorgegangen, dass ich das Gehäuse auf die Seite legte und mit mehreren Schnitten, von Oben nach Unten, die Obere Klappenkante vorsichtig freischnitt. Hierbei ist darauf zu achten, dass man vor dem Beginn der Seitenwände mit dem Schnitt endet. Der 2. Schnitt erfolgte dann auf der Klappeninnenseite. Mit diesem wurde (auch wieder in mehreren Durchgängen) die Klappe im unteren Bereich vom restlichen Gehäuse getrennt. Für die beiden restlichen Schnitte der Klappenseiten wurde das Gehäuse auf den Kopf gelegt und beide Seiten, in mehreren Durchgängen, bis auf den Waggonrahmen durchtrennt.



[wag29]

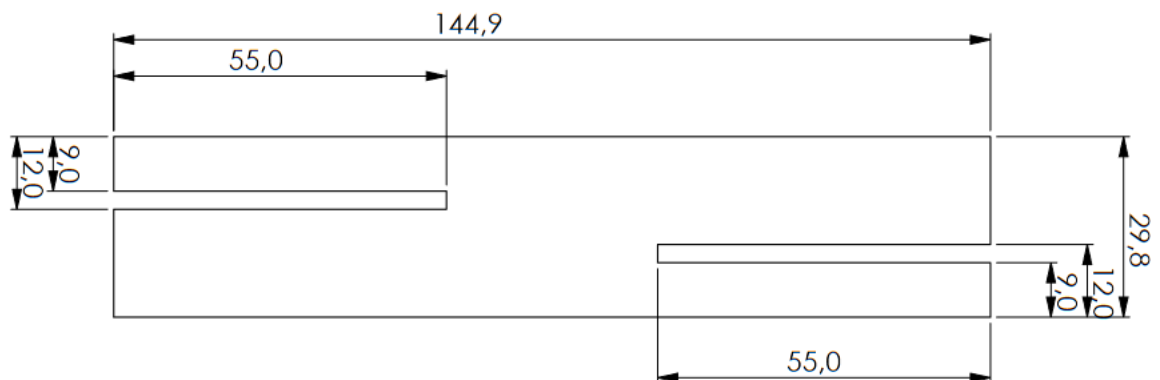
Nachdem beide Waggonentüren so aus dem Gehäuse getrennt wurden konnten sämtliche Schnittstellen mit Feile und Schleifpapier geglättet werden. Da die Waggonentüren durch das Herausschneiden und Glattfeilen nun etwas zu schmal sind, wurden sie mit 1 x 1 mm starken ABS Leisten wieder aufgefüttert. Anschließend sollten

sie nun einen lockeren Sitz in den Waggonöffnungen haben. Ansonsten schleifen wir die Türen so lange passend, bis wir einen lockeren Sitz haben.



[wag30]

Im Nächsten Schritt wurde für die Verriegelungsmechanik ein wenig Platz im Waggonboden geschaffen. Hierzu wurde mit dem Dremel, lt. Skizze, die markierten Bereiche herausgetrennt. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Schlitz im Waggonaufbau auch hinterher mit denen im Waggonunterteil übereinander passen. Schnell hat man hier eine Spiegelverkehrte Version hergestellt. Ich spreche da leider aus Erfahrung.



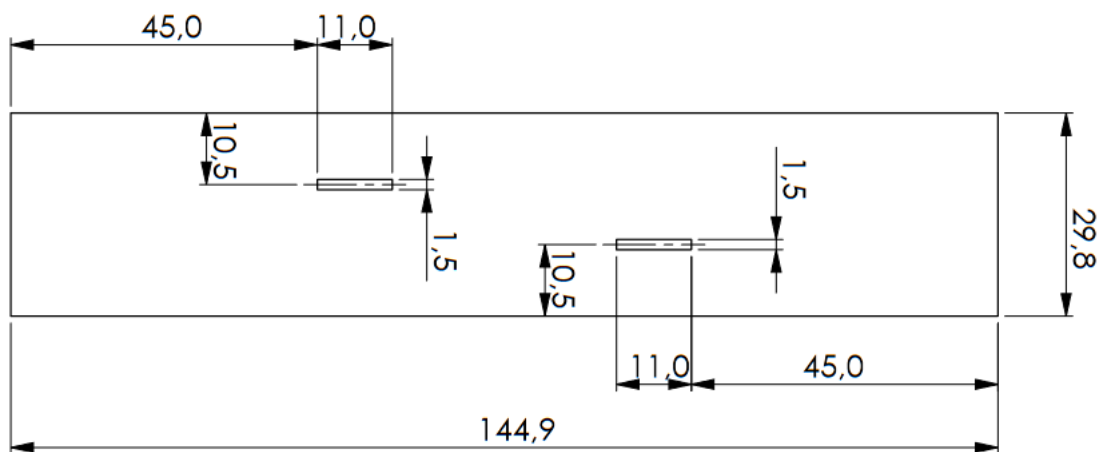
[Waggonboden_1]

Nachdem wir dann im Nachgang noch ein wenig die Schnittkanten entgratet haben sollte unser Gehäuse so aussehen.



[wag33]

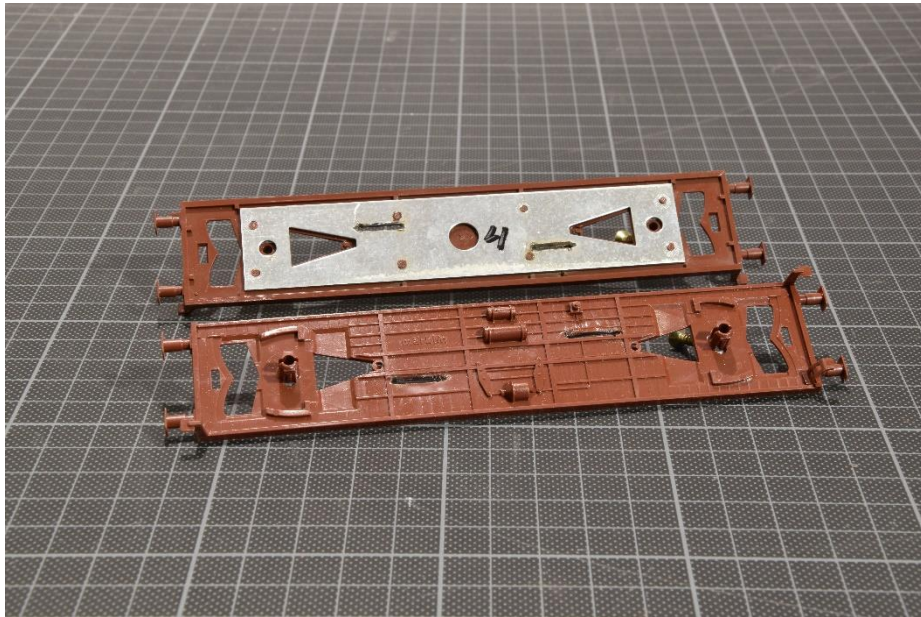
Auch der Waggonboden erhielt nun noch eine Sonderbehandlung. Entsprechend nachfolgender Skizze wurden mit dem Dremel und einer kleinen Trennscheibe hier noch zwei Langlöcher eingearbeitet.



[Waggonboden_2]

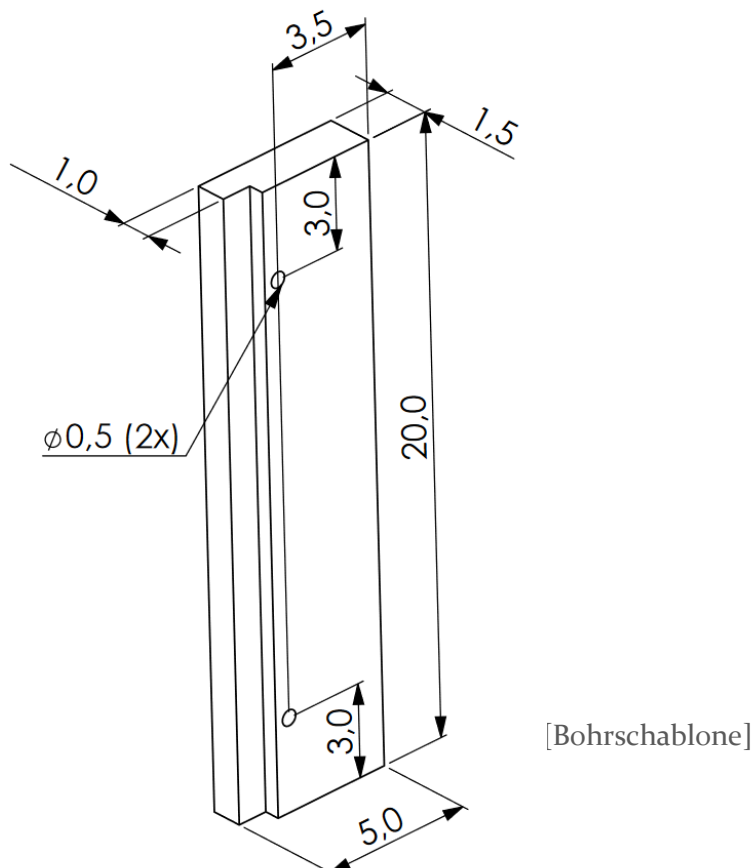
Da die Gewichtsplatten auf dem Unterboden gut befestigt sind wollte ich dieses auch nicht ändern. Stattdessen habe ich bei diesem Arbeitsschritt, dem Unterboden immer mal eine kleine Abkühlpause gegönnt. So wurde verhindert, das sich beim

Durchtrennen der Metallplatte, der Kunststoff in Wohlgefallen auflöst. Wenn alles gut gelungen ist stellt sich der Waggonboden dann so dar.

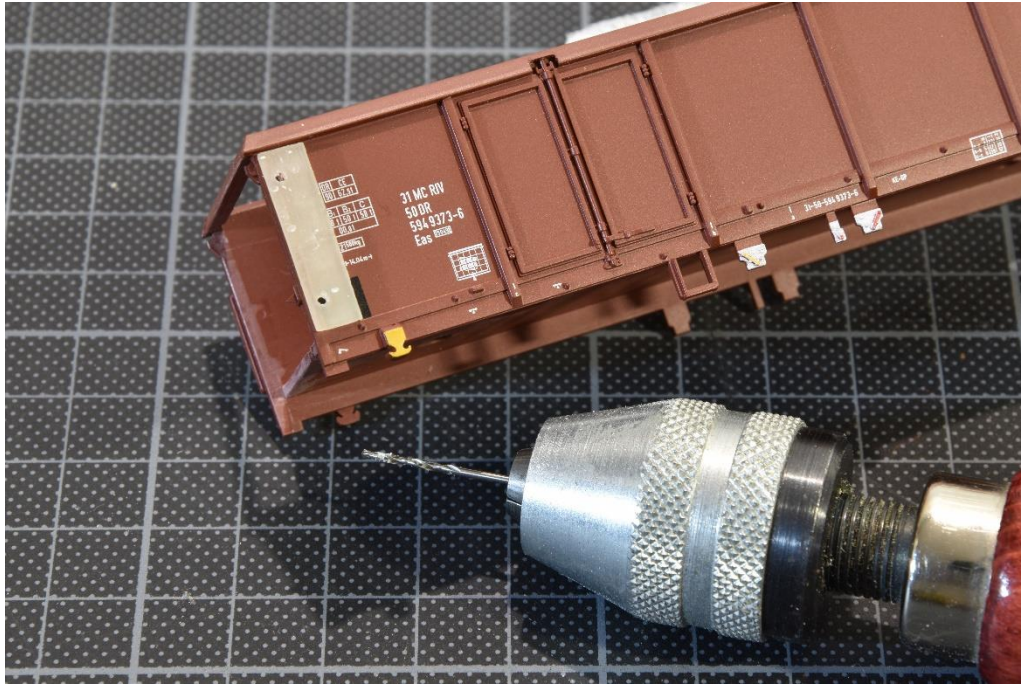


[wag32]

Nachdem wir unseren Waggon nun so massiv „misshandelt“ haben geht es ab jetzt, an den Wiederaufbau. Hierzu wurde mit dem Türeinstbau in den Stirnseiten begonnen. Hierzu wurde auf beiden Waggonseiten je ein Loch zur Aufnahme der Türachse gebohrt.



Da ich insgesamt sechs Waggon zu bearbeiten hatte, habe ich mir hierzu lt. Skizze eine kleine Bohrvorrichtung angefertigt. Nur Gut das es 3D-Drucker gibt 😊.



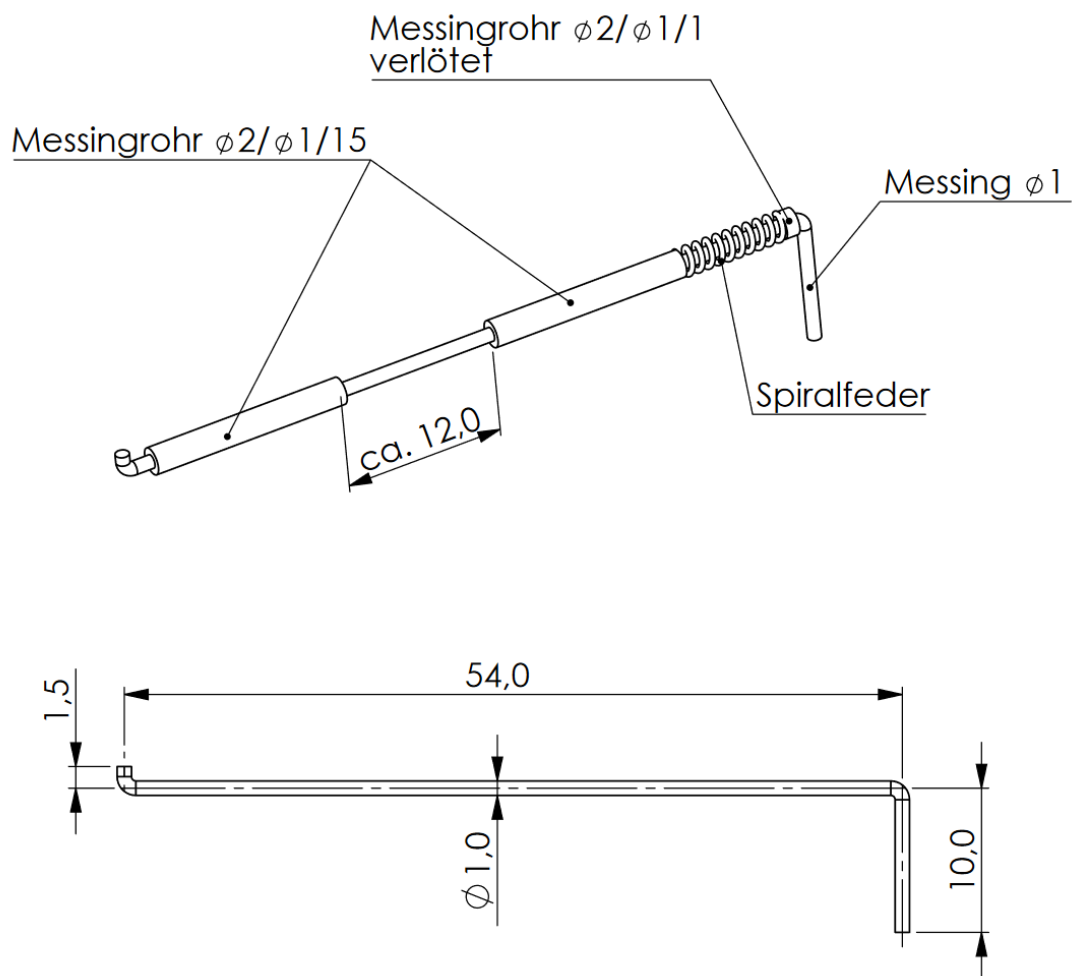
[wag52]

Entsprechend der Waggonbreite wurden dann 0,5mm starke Drahtstücke aus Federstahldraht abgelängt und im Waggon positioniert. Pro Waggon immer zwei Stück. Anschließend konnten die auf Breite angepassten Klappen im Waggonaufbau positioniert und mit einem Stück Kreppband fixiert werden.



[wag39]

Zur Fixierung wurden dann Draht und Klappe mit etwas Epoxidkleber miteinander verbunden. Während die Klappen nun in Ruhe aushärteten ging es in der Zwischenzeit mit der Verriegelungsmechanik weiter. Diese wurde aus etwas Messingrohr und Messingdraht gefertigt. Die Abmessungen können der Skizze entnommen werden. Die Feder habe ich über die Fa. Knpfer Modell- u. Feinwerktechnik bezogen. Hier erhält man unter der Artikel-Nr. so-107-d Federn mit einem Drahtdurchmesser von 0,18mm, einem Federdurchmesser von 1,7mm und einer Länge von 7mm. Die Kosten liegen hier bei ca. 0,5€ pro Feder.



[Klappenmechanismus_kompl.]

Einbaufertig sieht unsere Verriegelung dann so aus.



[wag17]

Soweit vorbereitet konnte nun das Waggonunterteil wieder montiert werden. Dazu wurden die Kupplungskulissen nebst zugehörigen Federn und Drehgestelle wieder am Unterteil montiert.



[wag40]

Anschließend können nun Waggonober- und Unterteil, mittels etwas Epoxidkleber wieder vereint werden. Nach der Aushärtung des Klebers ging es dann an die Montage der Verriegelungsmechanik. Diese wurde zunächst in der entsprechenden Öffnung des Waggonbodens positioniert und die vordere Führungshülse mit etwas Epoxidkleber fixiert. Sobald diese Verbindung ausgehärtet war, wurde die Feder mit der 2. Führungshülse etwas unter Spannung (ca. 1mm Federweg) gesetzt. Hierdurch definiert man die Andruckkraft der Waggonklappe im geschlossenen Zustand. Wir wollen ja schließlich nicht die Ladung während der Fahrt verlieren. Hat man den Abstand ermittelt, klemmt man am besten ein entsprechend zurechtgeschnittenes Stück Kunststoff zwischen die Führungshülsen, bevor man die 2. Hülse nun auch mit Epoxidkleber fixiert. Aber Vorsicht! Nicht die Feder mit Kleber benetzen. Denn sonst kann man alles wieder ausbauen und eine neue Verriegelung anfertigen. Fertig montiert sieht das Ganze dann so aus.

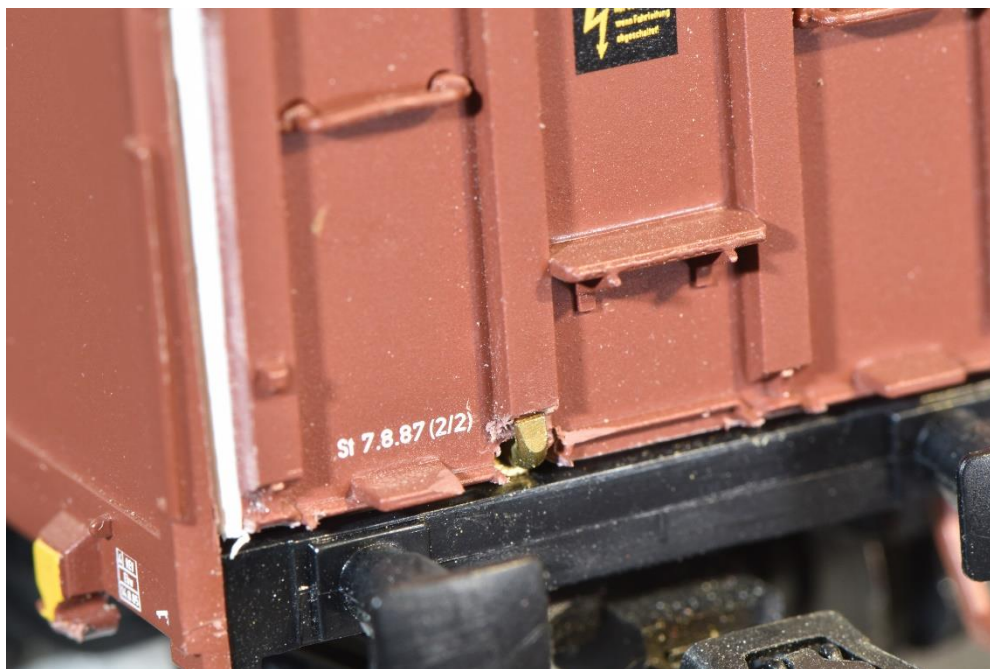


[wag44]

Da die Verriegelungsmechanik ein wenig Über den Waggonboden herausragt ist hier schon ein angepasstes, 0,5mm starkes, Stück ABS Kunststoff, als Füllstück, auf den Waggonboden aufgeklebt worden.

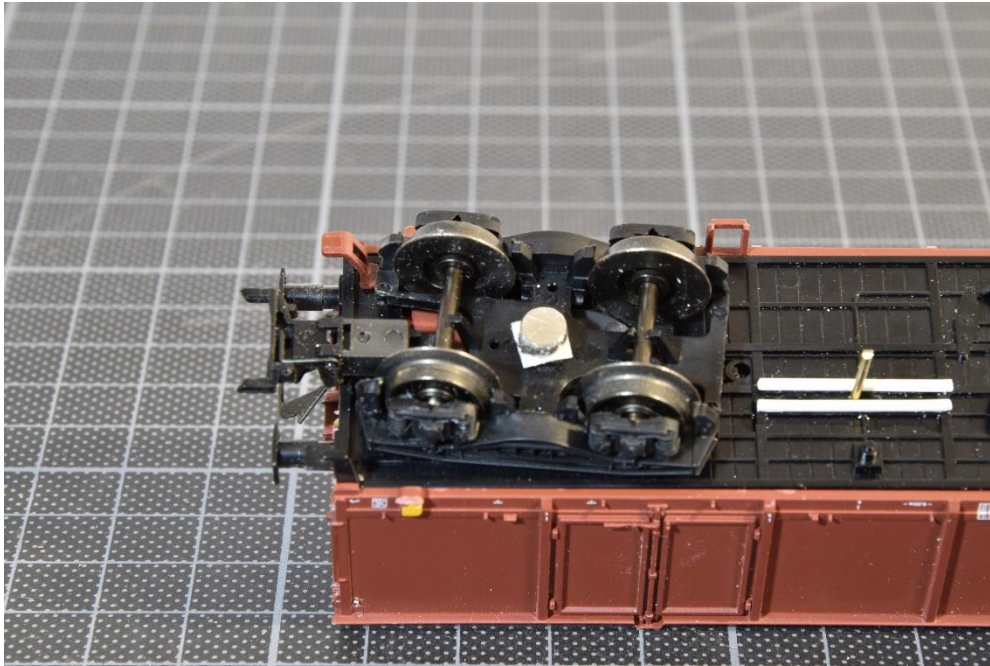
Auf dieses Füllstück wird nun der neue Waggonboden, den wir aus einem entsprechend Profilierten Stück Kunststoffplatte von Evergreen (12100 architekturbedarf.de) fertigen, geklebt. Und ab jetzt kann es ans Feintuning gehen.

Im Bereich der Verriegelungsmechanik Feilen wir nun noch eine kleine Lücke in die Stirnklappen. Anschließend entfernen wir noch ein kleines Stück des Verstärkungsprofils der Klappe, so das der Haken der Verriegelungsmechanik eine kleine Auflagefläche zum Halten der Klappe erhält. Tolle Beschreibung! Schaut euch einfach das Bild an. Das erklärt eigentlich alles.



[wag51]

Auf der Unterseite unseres Waggons gibt es auch noch zwei Kleinigkeiten zu erledigen. Zum Einen erhalten die Schlitze der Klappenmechanik noch jeweils zwei Führungsprofile aus 1x1mm starken ABS Profilen aufgeklebt. Und zum Anderen erhalten beide Drehgestelle, mittig auf ihre Drehzapfen, jeweils noch einen kleinen Magneten. Fixiert wurden diese durch ein Stückchen doppelseitigen Klebebands. Für den eigentlichen Waggonumbau sind diese zwar nicht erforderlich, werden aber für die Auslösung der Sensorik der Waggonkippvorrichtung benötigt.



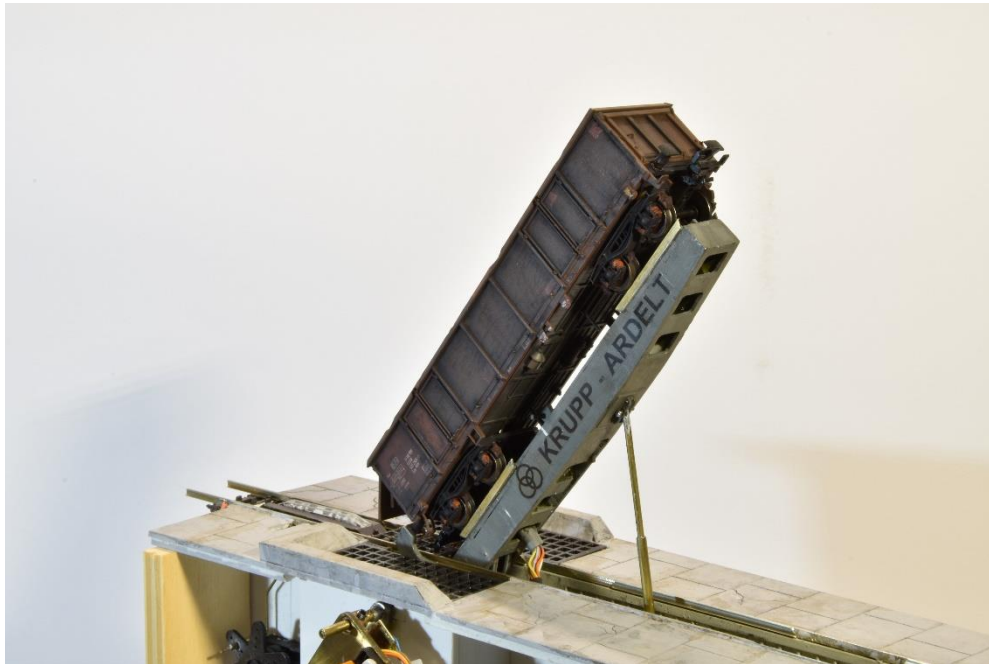
[wag49]

Das was jetzt noch fehlt ist ein wenig Farbe um unsere doch recht umfangreichen Basteleien ein wenig zu kaschieren. Das ist aber nochmal ein anderes Thema und würde den Rahmen hier sprengen. Von daher nur ein Vergleichsbild vor und nach der Farblichen Anpassung.



[wag54]

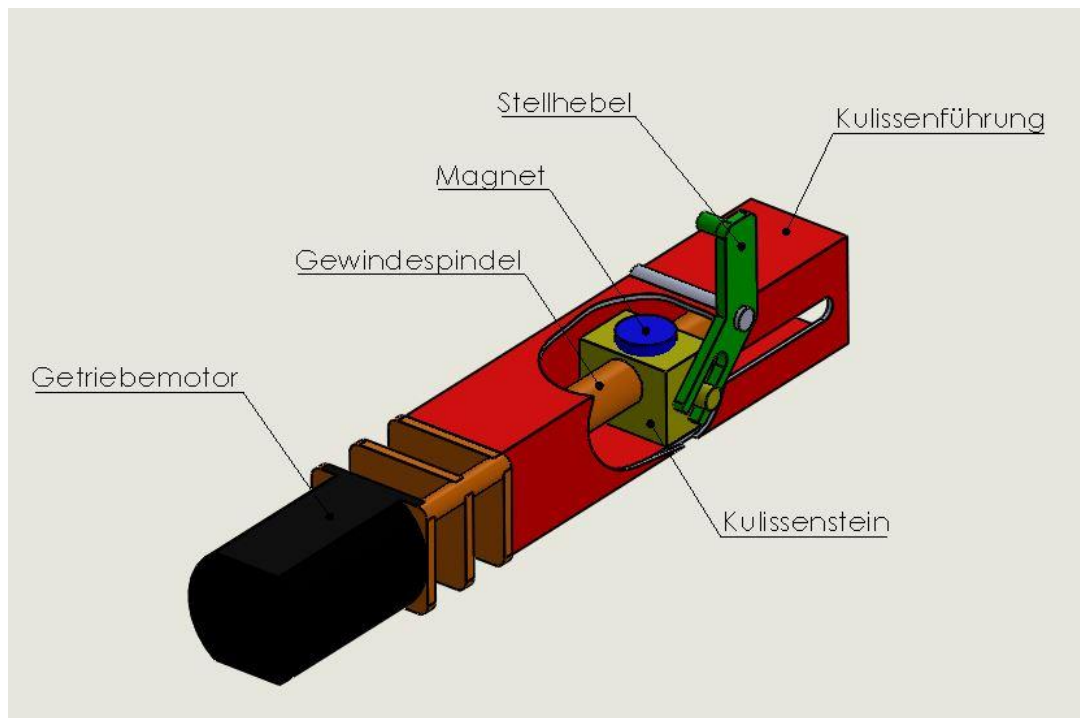
Zum Schluss noch eine kleine Vorschau auf den zweiten Teil dieser kleinen Bastelei, welche zeigt wo unsere umgebauten Waggon zum Einsatz kommen.



[wag57]

Nun aber erst einmal viel Spaß und Erfolg beim Nachmachen.

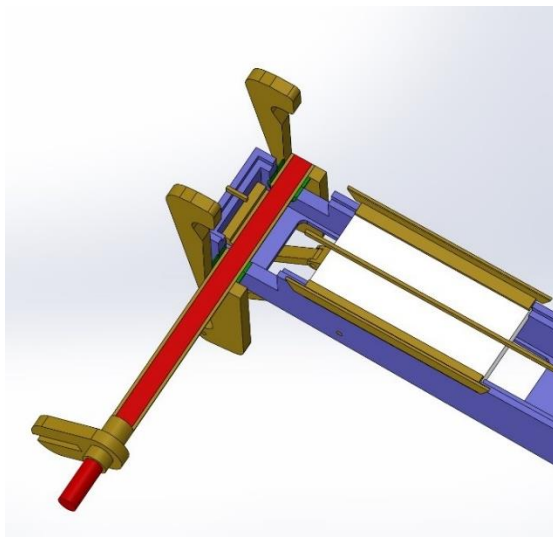
Nachdem wir nun den Waggonumbau abgeschlossen haben kann es mit dem Bau der eigentlichen Kippvorrichtung weitergehen. Wie bereits am Anfang erwähnt waren Waggonumbau und die Entwicklung der Kippvorrichtung ein Prozess, mit ständiger Angleichung und Optimierung. Vor Konstruktionsbeginn war schon klar, dass die Kippbühne, auf Grund ihrer begrenzten Breite, das Hauptproblem darstellen würde. Denn hier drin musste der Antrieb incl. Mechanik und diverser Sensoren untergebracht werden. So stand zunächst einmal die Suche nach einem passenden Getriebemotor im Vordergrund. Dieser durfte nicht breiter wie die Ho Spurweite abzüglich 2 x 1mm Wandstärke sein also max. 14,5 mm. Wie man aus der 3D-Skizze erkennen kann besteht die Idee der mechanischen Umsetzung darin, dass die Drehbewegung des Getriebemotors über eine Gewindespindel in eine Linearbewegung und anschließend wieder in eine Drehbewegung, um 90° versetzt zur ursprünglichen Drehbewegung, umgesetzt wird. Hierdurch wird ein Stellhebel aufgestellt der die Klappenmechanik der Waggons betätigt.



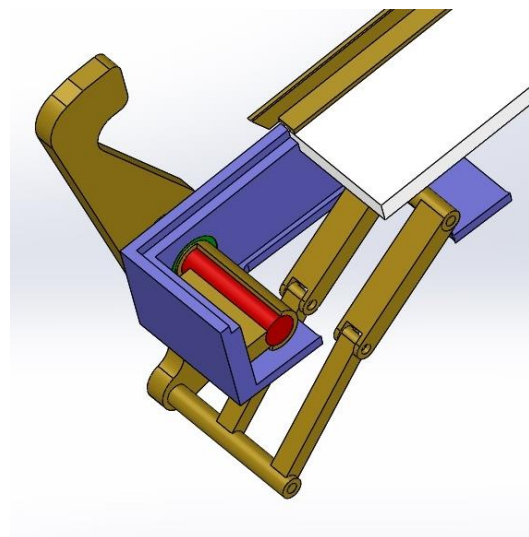
[Klappenmechanik]

Über E-Bay habe ich einen passenden Getriebemotor mit einer M3 Gewindespindel, einer Ausgangsdrehzahl von 60U/min und einer Betriebsspannung von 6V gefunden der zumindest in der Breite den geforderten Abmessungen entsprach. Ausgehend von den Motorabmessungen wurde dann die entsprechende Hebelmechanik für die Waggontüren dimensioniert und gefertigt. Nachdem ausgiebige Funktionstest gezeigt haben das ein sicherer Betrieb der Mechanik gewährleistet werden kann musste noch das Problem der Endlagenabfrage der Mechanik gelöst werden. Da der Bauraum sehr begrenzt ist durften die erforderlichen Sensoren nur eine geringe Baugröße haben. Von daher war die Verwendung von Reedkontakten, auf Grund ihrer Abmessungen,

schon im Voraus so gut wie ausgeschlossen. So bin ich dann auf die Verwendung von Hallsensoren vom Typ US5781-LSE gekommen. Der erforderliche Magneten (Durchmesser 5mm Höhe 2mm) wurde entsprechend (siehe Skizze) in der Klappenmechanik positioniert, und anschließend die Endlagenpositionen der Hallsensoren ermittelt, bevor diese mit etwas Epoxidkleber fixiert wurden. Somit war schon mal das Problem der Klappenverriegelung gelöst. Jetzt konnte es an die Problematik der Waggonklammer gehen, die den Waggon beim Kippvorgang in seiner Position halten soll. Eigentlich keine große Sache aber die „Klammer“ muss versenkbar sein damit leere Waggon über die Kippbühne hinausgeschoben werden können. Man will ja nicht jeden Waggon einzeln auf die Bühne fahren sondern ganze Züge durchgängig entladen. Von daher war sofort klar, der Antrieb der Klammer kann nur außerhalb der Kippbühne erfolgen. Eine Unterbringung des Antriebes in der Bühne ist platztechnisch nicht zu lösen. Damit stand für mich fest, dass der Antrieb für diese Teilfunktion über ein Servo erfolgt, welcher über einen ESU Servopiloten angesteuert wird. Als Servo wählte ich hier ein etwas kräftigeres Modell aus dem Flugmodellbau mit Metallgetriebe (SAVÖX SH-0255MG), da hier doch etwas höhere mechanisch Belastungen, durch die Klappenmechanik und deren zu überwindende Federkraft sowie dem Waggongewicht, der Klammermechanik entgegenwirkt. Die Gesamte Kinematik zum Aufstellen der Waggonklammern, die mechanische Ansteuerung über das Servo sowie auch die Befestigung des Servos mussten nun an der Kippbühne über diverse Lager Holwellen und Antriebswellen untergebracht werden, und alles zusammen muss sich dann auch noch um einen Lagerpunkt drehen lassen. Zu allem Überfluss hatte ich auch noch den Anspruch, eine im Original zu sehende Kniehebelmechanik, zum Aufstellen der Waggonklammern, nachzubilden. Im Nachhinein hätte ich mir diese Arbeit sparen können, da sie durch den Kabelbaum der Kippbühne, kaum zu sehen ist. (siehe CAD-Darstellung [01-00-Kippbalken-assy2]).



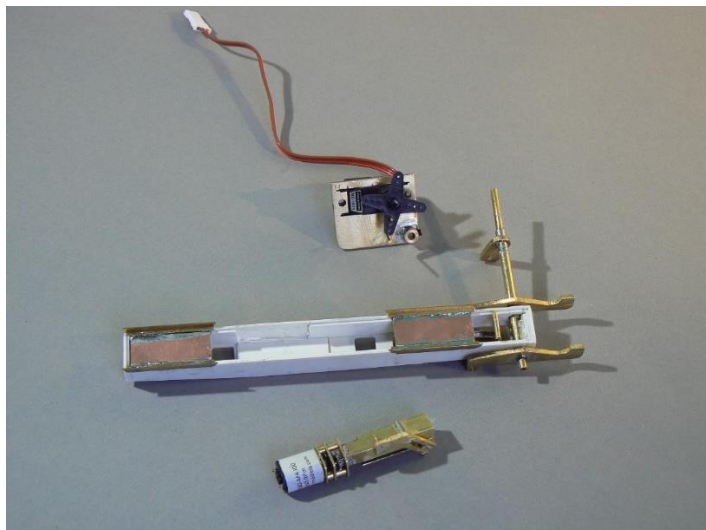
[01-00-Kippbalken-assy]



[01-00-Kippbalken-assy2]

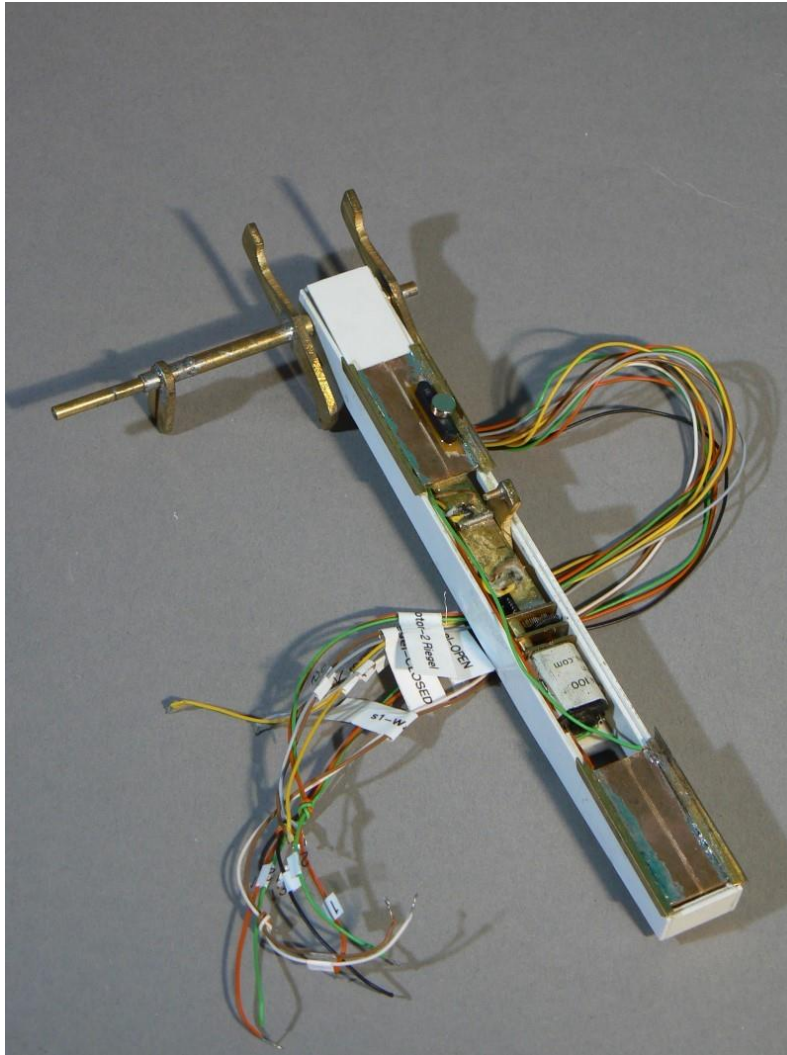
Zum Servo ist noch zu erwähnen das auch hier die Endlagen über Hallsensoren abgefragt werden. Dies wäre zwar nicht unbedingt erforderlich gewesen, da wir die jeweilige Endlage über den ESU-Servopiloten justieren können aber durch unsere

Vorgabe „Idiotensichere Bedienung“ im Lastenheft und für eine Automatische Kalibrierung der Gesamten Kippvorrichtung sind diese Abfragen zwingend erforderlich.. Nun, wie dem auch sei, hiermit ist unser zweites Teilproblem gelöst. Jetzt konnte es endlich an die eigentliche Konstruktion der Kippbühne gehen. Vorgabe war ja hier die Darstellung einer recht filigranen aber dennoch stabilen Schweißkonstruktion welche einen 4-Achsigen Waggon aufnehmen kann. Für die Aufnahme der Drehgestelle wurden auf ein Stück Kupferkaschierte Elektronikleiterplatte zwei kleine Blechwinkel, im Spurweitenabstand, aufgelötet (siehe CAD-Darstellung [01-00-Kippbalken-assy]) und das Ganze zweimal auf der Kippbühne positioniert. Zur Konstruktion der Kippbühne ist noch zu sagen das die Breite durch die Spurweite fix vorgegeben war. Der einzige Spielraum in der Dimensionierung lag also in der Länge, die durch die Waggonlänge ja nun auch in einem gewissen Rahmen begrenzt ist und in der Höhe, welche ich auf das absolut notwendige Minimum begrenzte. Kurz vor der Endmontage sieht das Ganze dann so aus.



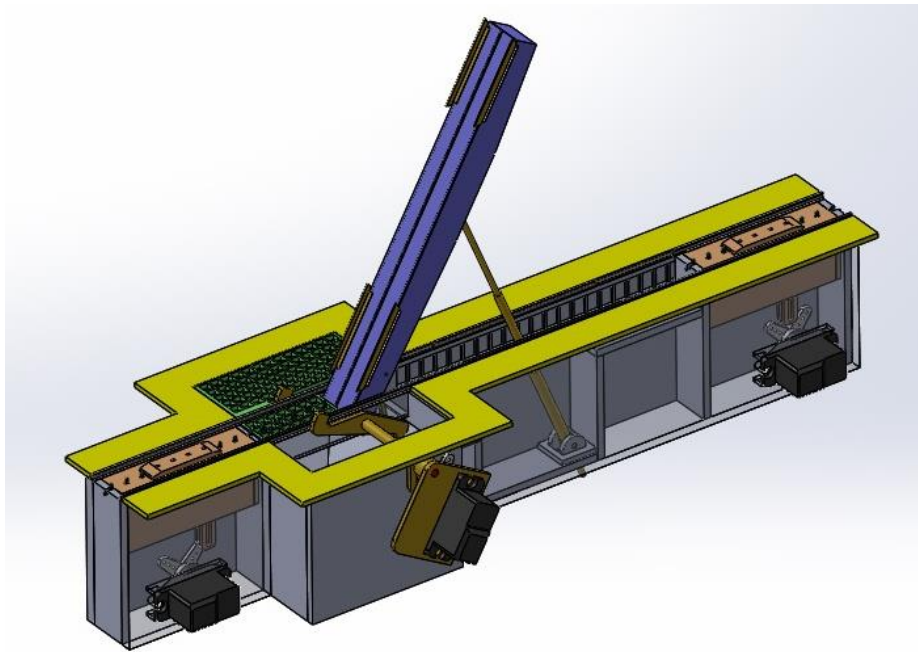
[WKVo4]

Was ich zu diesem Zeitpunkt nicht bedacht hatte war der, für solch eine „Kleinigkeit“, doch recht hohe Verdrahtungsaufwand. Zu den hier bereits erwähnten Sensoren und der erforderlichen Spannungsversorgung des Motors kam noch ein zusätzlicher Reedkontakt für die Waggonabfrage. Es soll ja schließlich kein Waggon gekippt werden der nicht darf. So gesehen ergab sich dann ein doch recht ansehnlicher kleiner Kabelbaum, der irgendwie noch in der Kippbühne untergebracht werden wollte.



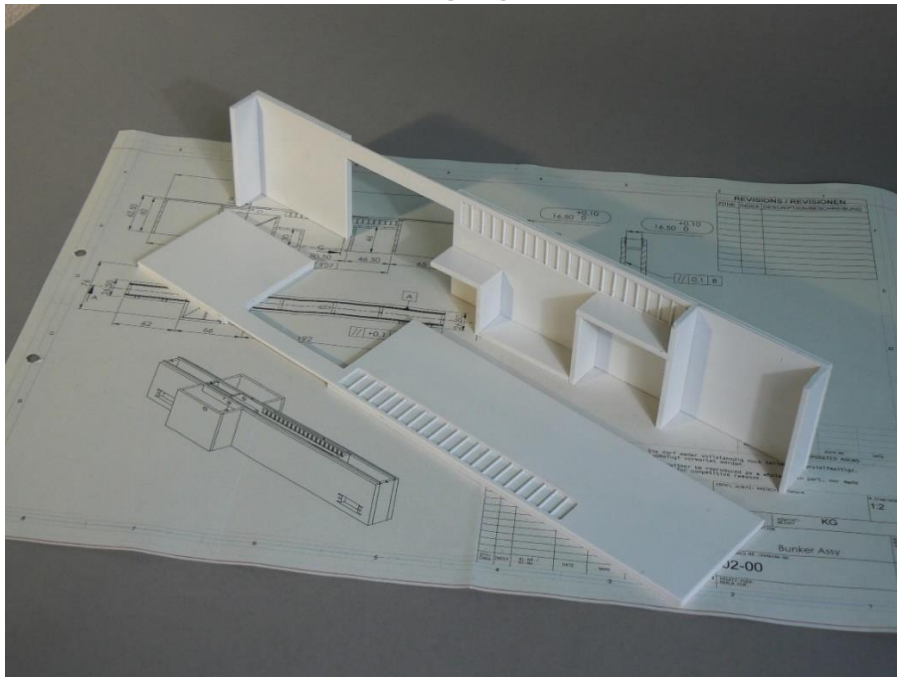
[WKVo6]

Aber wo ein Wille ist auch ein Weg. Davon abgesehen war es trotzdem ein elendiges Gefummel. So gerüstet konnte dann der Rest des Waggonkippers entworfen werden. Bei der Konstruktion hatte ich mir auch entsprechende Mechaniken für die Entkupplung der Waggons überlegt und auch konstruiert. Welche auch in der nachfolgenden CAD-Darstellung zu sehen sind.



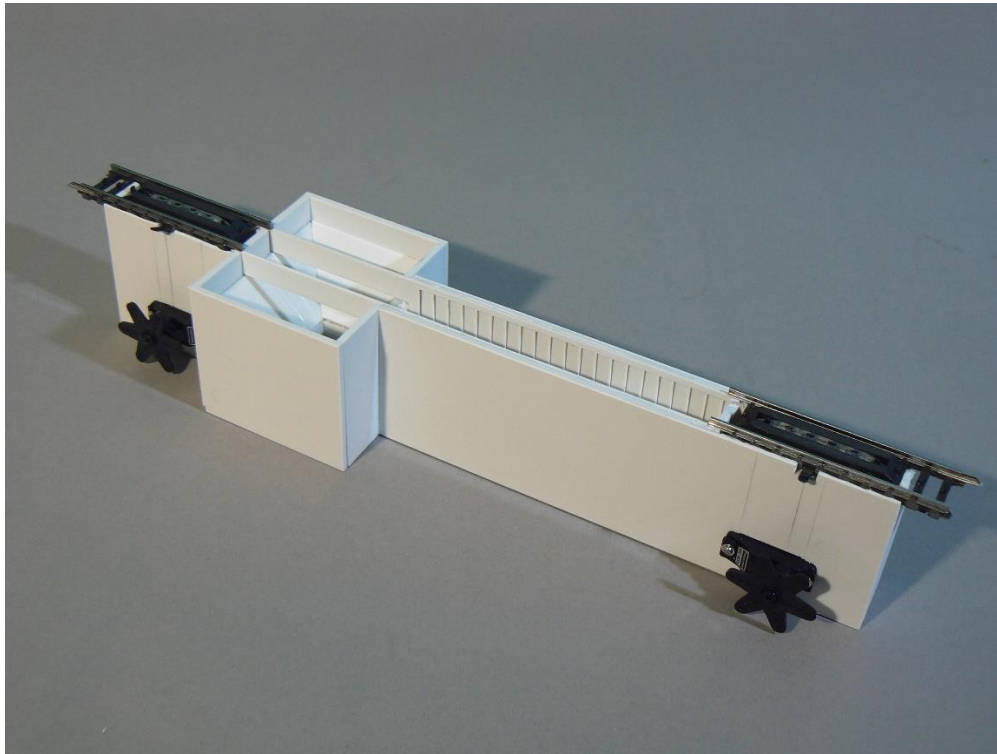
[WKVo1]

Nachdem ich die entsprechenden Teile dann im 3D-Druck erstellt hatte und testen konnte war das Ergebnis allerdings mehr als ernüchternd. So habe ich dann auf die klassischen Entkupplungsleise von Märklin zurückgegriffen und diese so modifiziert das diese mit einem Servo angetrieben werden. Aus dem 3D-Modell wurden dann die entsprechenden Fertigungszeichnungen abgeleitet und mit dem Aufbau der Grundstruktur der Kippvorrichtung begonnen.



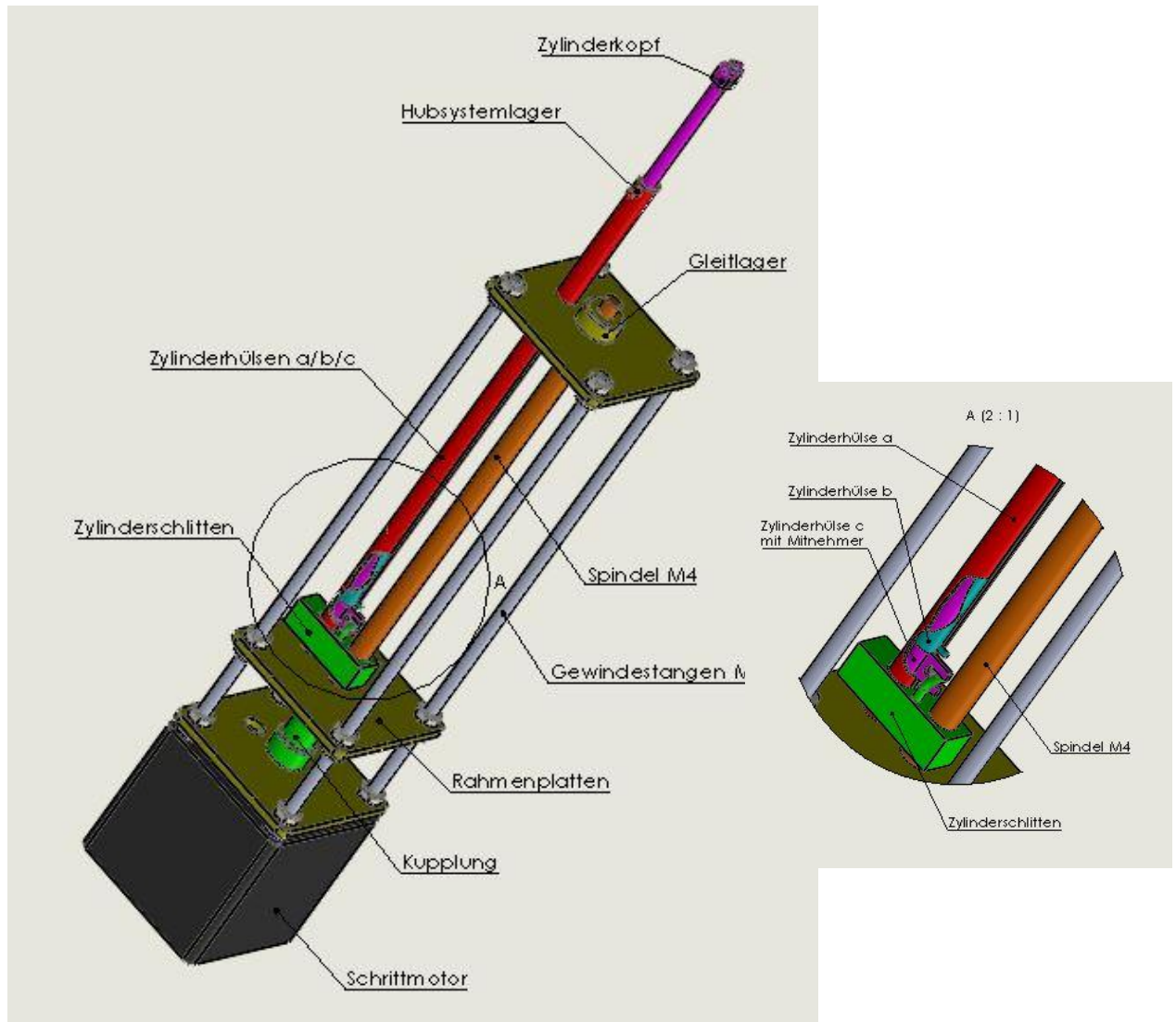
[WKVo7]

Diese besteht aus unterschiedlich starken und miteinander verklebten ABS Platten und Profilen und bietet eine solide Basis für alle einbauten.



[WKV35]

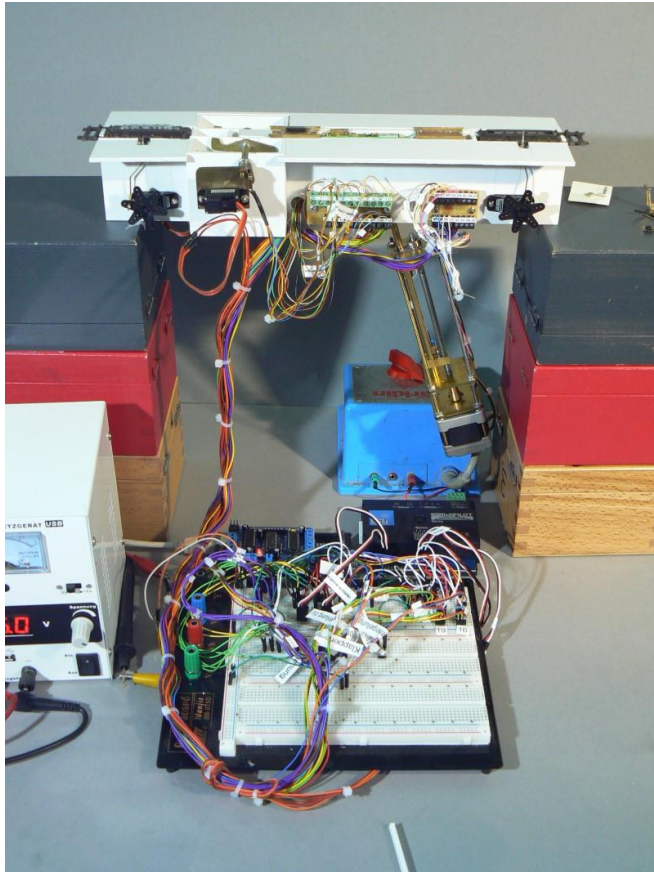
Bevor nun alle Bauteile miteinander vereint werden konnten musste noch das dritte große Problem gelöst werden. Die Hubsystem. Hier war der Wunsch einen doppeltausfahrbarer Hydraulikzylinder zu imitiert. Der Antrieb sollte dabei über einen Schrittmotor erfolgen, da hierrüber unterschiedliche Positionen, ohne zu hohen Sensor und Verkabelungsaufwand, punktgenau angesteuert werden können. Der mechanische Aufbau kann der nachfolgenden 3D-Skizze entnommen werden. Über den Schrittmotor wird eine Gewindespindel angetrieben, welche über den Zylinderschlitten zwei Zylinderhülsen (b/c) nach oben drückt. Diese beiden Hülsen werden durch die feststehende Zylinderhülse a (rot), welche im Bereich des Verfahrweges der beiden anderen Zylinderhülsen geschlitzt ist, geführt. Das gesamte Konstrukt wird dabei nur über das „Hubsystemlager“ pendelnd mit der Grundstruktur der Kippvorrichtung verbunden.



[Hubsystem 1]

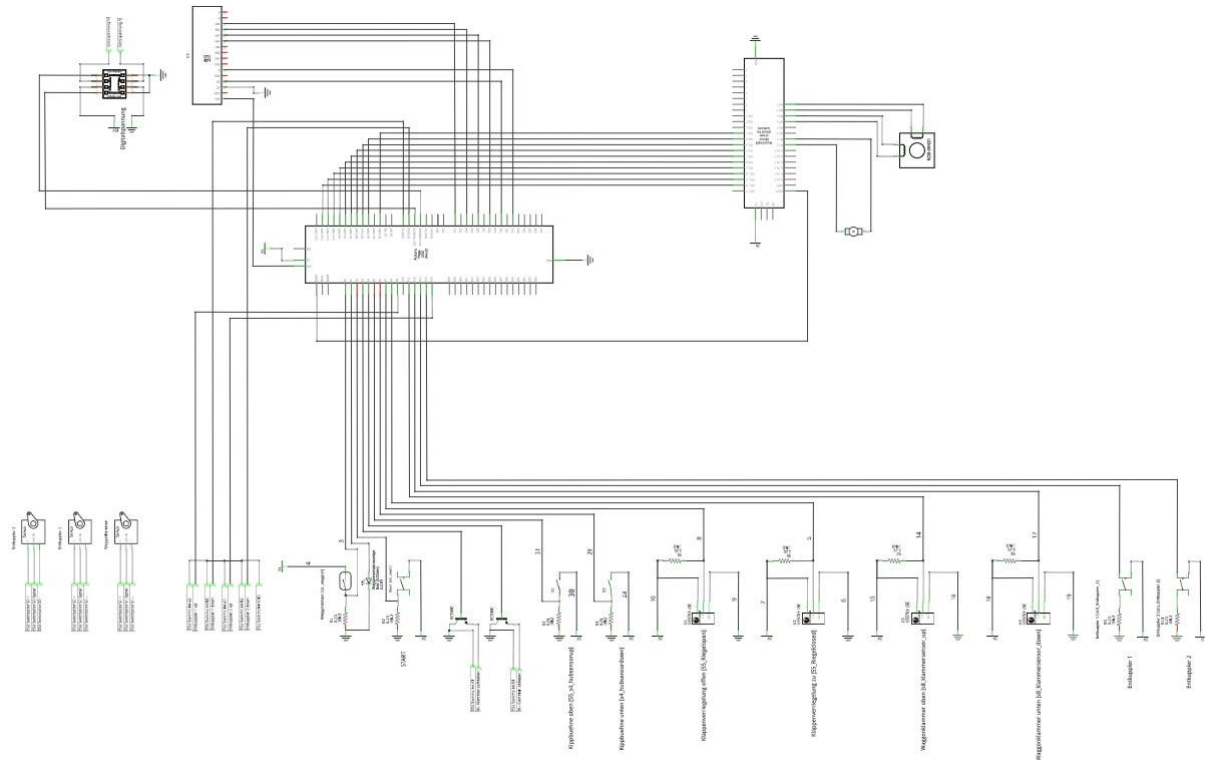
[Hubsystem 2]

Auch bei dieser Teilfunktion und trotz Schrittmotors wurde zur Überprüfung der Endlagen und zur automatischen Kalibrierung zwei Endschrter in Form von Microschaltern verbaut. Während des gesamten Entwicklungsprozesses der Waggonkippvorrichtung wurden etliche Maßliche Anpassungen und Tests der Einzelkomponenten vorgenommen. Zudem wurden diverse Versuchsaufbauten im Bereich der Steuerelektronik auf einem Breadboard aufgebaut und mit entsprechend programmierten Softwaretools getestet. So das am Ende die Endmontage mit der Gewissheit erfolgen konnte das alle Teilfunktionen für sich auf jeden Fall funktionstüchtig sind.



[WKV₅₂]

Nachdem dann alle mechanischen Komponenten montiert und die Elektronik entsprechend verdrahtet war fertigte ich zunächst einmal aus all meinen handschriftlichen Notizen und Schmierereien über das Softwaretool Fritzing einen halbwegs brauchbaren Schaltplan. Das erleichterte das Leben und die Fehlersuche ungemein. Zudem hätte ich mir von vorne herein einen vernünftigen Teststand bauen sollen. Die hier gezeigte Variante ist dann doch eher suboptimal (wenn man es freundlich ausdrücken möchte 😊).



[Schaltplan]

Zur Steuerung der gesamten Vorrichtung verwende ich einen Mikrocontroller vom Typ Arduino Mega. Auf diesen wurde ein, nach vorhergehenden Schaltplan, selbsterstelltes Shield erstellt, welches als Schnittstelle zwischen Microcontroller und Kippvorrichtung dient. Hier drauf steckt noch ein 4-Kanal Motortreiber-Shield vom Typ L293D (AZ-Delivery) welches zur Steuerung des Klappenverriegelungsantriebes und des Schrittmotors für die Hubmechanik dient. Um ein wenig Feedback vom Microcontroller zu bekommen erhielt die Steuerung noch ein einfaches Zweizeiliges LCD-Display, welches den Aktuellen Arbeitszyklus und eine Matrix der vorliegenden Sensorzustände anzeigt. So gerüstet konnte es dann an die Programmierung der Steuerungssoftware gehen. Ich will jetzt hier keine einzelnen Programmierschritte aufzeigen oder erklären. Das ist absolut nicht mein Fachgebiet. Die Programmierung verlief eher nach dem Motto learning by doing und ein Profi im Programmieren kann hier mit Sicherheit elegantere und effektivere Routinen erstellen aber was soll ich sagen..... ES FUNKTIONIERT !!!

Dennoch möchte ich ein paar Worte zur Software und deren Funktionen verlieren. Grundsätzlich ist es so, dass die Bedienung und somit auch die Software der Kippvorrichtung Fehlbedienungen und äußere Störeinflüsse wie z.B. Spannungsunterbrechungen während des Betriebes abfangen soll. Von daher sind auch einige, am Anfang als evtl. unnötige angesehene, Sensoren (Endlageabfragen) zwingend erforderlich. Anhand dieser Sensoren ist es der Software somit möglich bei Programmstart eine Kalibrierung durchzuführen. Das heißt, bevor irgend eine Programmfunktion aufgerufen werden kann fährt die Kippvorrichtung in eine vorab definiert Startposition. Sollte während des Kippvorgangs die Spannungsversorgung

unterbrochen werden und die Vorrichtung in einer beliebigen undefinierten Position zum Stehen kommen, erfolgt bei wieder hergestellter Spannungsversorgung ein Neustart des Microcontrollers und der Software. Somit erhalten wir hier, durch die entsprechende Softwareroutine, eine erneute Kalibrierung. Die gesamte Kippvorrichtung wird über insgesamt nur drei Taster bedient, wovon zwei Taster den Entkupplungsgleisen zugeordnet sind. Ist Die Kippvorrichtung betriebsbereit, d.h. ein Waggon ist in entsprechender Position, wird dieses auf der LCD-Anzeige entsprechend gemeldet. Nach drücken des Startknopfes wird ein vollautomatischer Programmzyklus gestartet der folgende Schritte durchläuft:

- Die Spannungsversorgung der Gleise im Bereich der Kippvorrichtung wird unterbrochen.
- Die Waggonklammern werden hochgefahren und anschließend die Kippbühne auf einen Winkel von 5° hochgefahren. Hierdurch rollt der Waggon in eine definierte Position gegen die Waggonklammern.
- So in Position gebracht beginnt die Entriegelung der Waggonklappe.
- Sobald diese vollständig entriegelt ist läuft die Hubmechanik wieder an und drückt den Waggon in seine Entleerungsposition von 60°

In dieser Position ist dann der 1. Programmzyklus abgeschlossen. In der LCD-Anzeige erscheint eine entsprechende Meldung das die Kippvorrichtung für den nächsten Arbeitsschritt (absenken des Waggon) bereit ist. Nach erneutem drücken des Startknopfes beginnt dann der 2. Programmzyklus mit folgendem Ablauf:

- Der Waggon wird wieder vollständig abgesenkt.
- Hierbei schließt sich durch die Schwerkraft die Waggonklappe soweit, dass die Klappenmechanik diese nun automatisch verriegeln kann.
- Sobald die Klappenmechanik ihre untere Endlage erreicht hat werden die Waggonklammern abgesenkt und der entleerte Waggon kann von der Bühne geschoben werden.
- Die Spannungsversorgung der Gleise im Bereich der Kippvorrichtung wird wieder hergestellt.

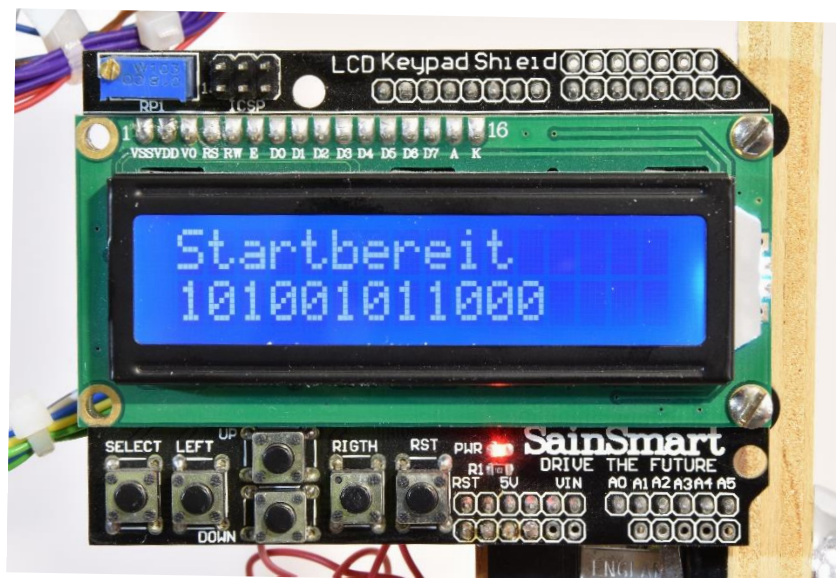
Hiermit ist Programmzyklus 2 abgeschlossen und alles kann von vorne beginnen. Eine Anmerkung noch zu den Entkupplungsgleisen. Diese sind außer Funktion sobald die Kippfunktion gestartet wird und stehen erst wieder nach Abschluss des 2.

Programmzyklus zur Verfügung. Um mir das Leben bei der Programmierung und auch bei der späteren Fehlersuche zu erleichtern habe ich mir eine Sensormatrix erstellt. Aus dieser kann man eindeutig erkennen wann welcher Sensor/Funktion belegt oder frei ist (siehe Tabelle).

Sensormatrix Waggonkippvorrichtung

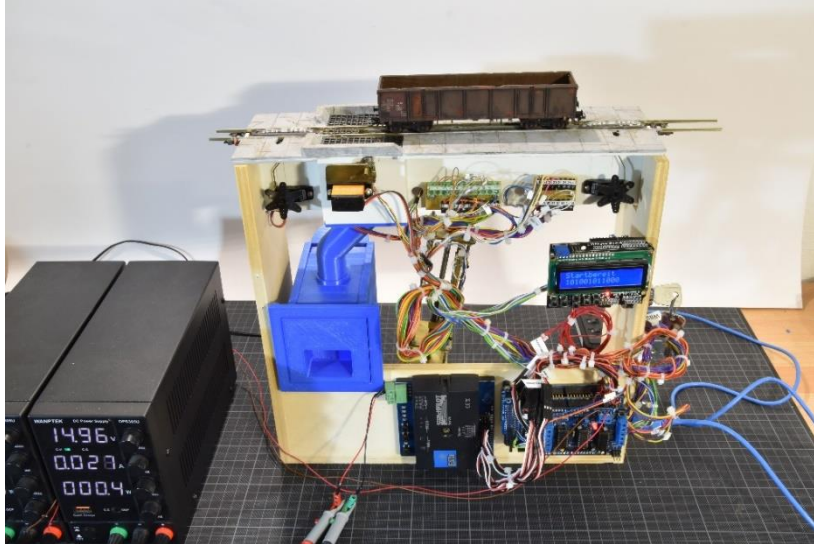
Sensorbezeichnung	Beschreibung	Kalibrierung (Ende)	Programmzyklus									
		Start	Bühne 0-1	Klappenverriegelung	Bühne 1-2	Bühne 2-0	Klappenverriegelung					
S4_Status_down	unterer Hubsensor (Bühne unten)	1	1	1	0	0	0	1				
S4_Status_up	oberer Hubsensor (Bühne oben)	0	0	0	0	0	1	0				
S1_Status	Waggonabfrage	0	1	1	1	1	1	1				
S2_Status	Startbutton Abfrage	0	0	0	0	0	0	0				
S8_Status_U	Waggonklammer oben	1	0	1	1	1	1	1				
S8_Status_D	Waggonklammer unten	0	1	0	0	0	0	0				
S5_Status_O	Waggonklappe offen	0	0	0	0	1	1	1				
S5_Status_C	Waggonklappe zu	1	1	1	1	0	0	0				
S7_Status_ein	Gleisspannung ein	0	1	0	0	0	0	0				
S7_Status_aus	Gleisspannung aus	1	0	1	1	1	1	1				

Die einzeilige Matrix für den jeweiligen Programmzyklus wird entsprechend in der 2. Zeile der LCD-Anzeige wiedergegeben und ermöglicht so immer eine Fehleranalyse und Kontrolle der Sensorik, falls erforderlich.



[WKV₁₄₇]

Um die gesamte Softwareentwicklung, wie auch die ausgiebigen Tests und Feinjustierungen sowie die Verdrahtung einigermaßen sauber, betriebssicher und bequem hinzubekommen war es unabdingbar ein passendes Testgestell zu bauen. Das schont die Nerven und erleichtert das Leben ungemein.



[WKV₁₄₆]

Wie man auf dem Bild erkennen kann wurde der Versuchsaufbau um eine Auffangvorrichtung zum Sammeln der Waggonladungen ergänzt. Diese Schublade nebst Verrohrung entsprang meinem 3D-Drucker. Hier hat sich recht schnell herausgestellt, dass diese in der finalen Version um einiges Größer werden muss. So das auch sechs Waggonladungen aufgenommen werden können und nicht nur zwei.

Nachdem alle Tests erfolgreich abgeschlossen waren und die Software stabil lief, wurde das ganze Gebilde an seinem späteren Bestimmungsort eingebaut und mit Gleisanschlüssen versehen.



[WKV₁₀₉]

Fazit und Perspektiven...

Nachdem etliche Tests erfolgt sind hat sich noch ein gewisser Optimierungsbedarf an der Software ,der Einbaulage der Kippvorrichtung und an den Waggonklappen herauskristallisiert. Softwaretechnisch werde ich die Programmierung so abändern, dass sich die Waggonklammern vor dem Auffahren eines Waggons aufstellen lassen. So das die Startposition des Waggons eindeutig zu erkennen ist und man sich nicht auf irgendwelche Markierungen oder das Auslösen des entsprechenden Sensors auf der LED-Matrix konzentrieren muss. Die Einbaulage der Kippvorrichtung werde ich so abändern, das diese in Durchlaufrichtung ein leichtes Gefälle aufweist, wodurch die Waggons nach dem Abkuppeln vom Zugverband von alleine gegen die nun aufgestellte Waggonklammer laufen können. An den Waggons stellte sich heraus, das für einen störungsfreien Betrieb die Klappen einfach zu leicht sind. Trotz guter Leichtgängigkeit bleiben diese doch hier und da mal hängen und schließen dann nicht korrekt. Von daher werde ich auf den Klappeninnenseiten im unteren Drittel eine 2mm starke Messingplatte aufkleben. Bei einem improvisierten Test hat dieses die Funktionssicherheit erheblich verbessert und mit etwas Farbe getarnt fällt diese Modifikation kaum auf. Mit diesen kleinen Optimierungen dürfte sich der Spielspaß nochmals um einiges erhöhen.

Durch die ausgiebigen Probeläufe ist mir noch eine weitere Möglichkeit im Ablauf der Waggonentladung in den Sinn gekommen. Mit den heute erhältlichen Computersteuerungen sollte man ohne weiteres den gesamten Entladevorgang eines Rübenzuges vollautomatisch durchführen können. Über entsprechende Gleisrückmelder und entsprechende Programmroutinen dürfte hier einiges möglich sein. Wer an solch Programmtechnischen Spielereien Spaß hat, kann sich hier nochmal richtig austoben oder man genießt einfach den gemütlichen klassischen Rangierbetrieb.



[WKV₁₃₈]

Stellt sich zum Schluss noch die Frage ob sich der Aufwand gelohnt hat. Hunderte Stunden Entwicklungsarbeit über einen Zeitraum von über einem Jahr. Mehrmals kurz an der Kapitulation vor der Technik aber.... Ich denke ja! Im Prinzip ist es „nur“ eine kleine Entladevorrichtung aber sie bereitet einen Riesen Spaß. Nebenbei habe ich noch so einiges lernen können, vor allem in Bezug auf die Programmierung von Microcontrollern. Aber das Beste ist, diese Vorrichtung ist ein absolutes Unikat und schlechthin der Hingucker in meiner entstehenden Zuckerfabrik.