



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Bachelorarbeit**

Tobias Wolf

# **Konzipieren und Entwickeln eines Prüfstandes zur Prüfung von Notlöseaggregaten für Schienenfahrzeuge**

*Fakultät Technik und Informatik  
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Mechanical Engineering and  
Production Management*

**Tobias Wolf**

**Konzipieren und Entwickeln eines  
Prüfstandes zur Prüfung von  
Notlöseaggregaten für  
Schienenfahrzeuge**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau/Entwicklung und Konstruktion  
am Department Maschinenbau und Produktion  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:  
Hamburger Hochbahn AG  
Abteilung Schienenfahrzeuge (TS)  
Steinstraße 20  
20095 Hamburg

Erstprüfer/in: Prof. Dr.-Ing. habil. Frank Helmut Schäfer  
Zweitprüfer/in: Dr.-Ing. Klaus Liedgens

Abgabedatum: 15.08.2019

# **Zusammenfassung**

**Tobias Wolf**

## **Thema der Bachelorthesis**

Konzipieren und Entwickeln eines Prüfstandes zur Prüfung von Notlöseaggregaten für Schienenfahrzeuge

## **Stichworte**

Hydraulik, Analyse, Konformitätsbewertung, Schienenfahrzeug, Analyse, Prüfstand

## **Kurzzusammenfassung**

Die verwendeten Notlöseaggregate der Schienenfahrzeuge der Hamburger Hochbahn AG werden in bestimmten Intervallen einer Prüfung durch die interne Pneumatik/Hydraulik-Werkstatt unterzogen. Aktuell findet die Prüfung an einem mobilen Prüfstand statt, welcher den Prüfvorgang durch seine Instabilität und geringe Arbeitsfläche negativ beeinflusst. Unter Einhaltung von Vorgaben bzw. Richtlinien, einer umfassenden Analyse und in Absprache mit der betroffenen Abteilung wird im Zuge dieser Arbeit ein stationärer Prüfstand konzipiert und entwickelt.

**Tobias Wolf**

## **Title of the paper**

Conception and development of a test bench for emergency-release-power-units used in railway vehicles

## **Keywords**

hydraulic system, analysis, conformity assessment, railway vehicle, test bench

## **Abstract**

The emergency-release-power-units used in the railway vehicles are tested by the internal pneumatics/hydraulics division in defined intervals. Currently the test process is done by using a mobile test bench which influence the whole procedure negatively. This report describes the development of a stationary test bench in compliance with the requirements from legal and operational regulations

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Notlöseaggregat	2
2.1 Federspeicherbremse	3
2.2 Funktionsweise Notlöseaggregat DT4	5
2.3 Bremsflüssigkeit Pentosin HB48	8
2.3.1 Gefahren im Arbeitsumgang mit HB48	9
2.3.2 Beständigkeit von Werkstoffen	11
3 Prüfung der Notlöseaggregate	14
3.1 Aktueller Prüfstand	15
3.1.1 Mechanischer Aufbau	16
3.1.2 Elektrischer Aufbau	17
3.1.3 Schnittstellen	18
3.2 Betriebliche Prüfvorschriften	20
3.2.1 Prüfung der Druckschalter	21
3.2.2 Prüfung der Druckbegrenzungsventile	24
3.2.3 Prüfung „Einfallen“	26
3.2.4 Prüfung auf Dichtheit	29
4 Vorschriften und Richtlinien	31
4.1 Niederspannungsverordnung	32
4.2 Einfache Druckbehälterverordnung	32
4.3 Maschinenverordnung	33
4.4 Druckgeräteverordnung	33
4.5 EG-Konformitätsverfahren	38
4.5.1 Risikobeurteilung	39

---

5	Konzeptionelle Vorbetrachtungen	42
5.1	Funktionsstruktur	42
5.2	Anforderungsliste	45
5.3	Automatisierung des Prüfprozesses	46
5.4	Bauraum/Bauweise	47
5.5	Hydraulischer Schaltplan	49
6	Konstruktive Umsetzung	51
6.1	Hydrospeicher	51
6.2	Elektrische Komponenten	53
6.3	Motor-Pumpe-Einheit	56
6.4	CAD-Modell	61
7	Fazit und Aussicht	63
	Literaturverzeichnis	V
	Anhang A – Ursprüngliche Elektrische Pläne	VI
	Anhang B – Anforderungsliste	VII
	Anhang C – LOGO! – Programmierung	VIII
	Anhang D – Zeichnungen und Stücklisten	IX

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fahrzeug DT4	3
Abbildung 2: Federspeicher-Bremszylinder	4
Abbildung 3: Vergleich der Bauweisen der Notlöseaggregate	5
Abbildung 4: Vereinfachter hydraulischer Schaltplan der Notlöseaggregate	6
Abbildung 5: „Notlösen“ und „Einfallen“ im automatischen Betrieb	8
Abbildung 6: Geltende Gefahrenpiktogramme für HB48	11
Abbildung 7: Aktueller Prüfstand	15
Abbildung 8: Aufnahmevorrichtung des Notlöseaggregats	16
Abbildung 9: Innerer Aufbau der Bedieneinheit	18
Abbildung 10: Argus Abreißkupplung	19
Abbildung 11: Anschlussplan des Notlöseaggregats	20
Abbildung 12: Bedieneinheit des Prüfstands	21
Abbildung 13: Aktueller Prüfablauf der Druckschalter	23
Abbildung 14: Aktueller Prüfablauf der Druckbegrenzungsventile	25
Abbildung 15: Einfallen im manuellen Betrieb	26
Abbildung 16: Einfallen im automatischen Betrieb	27
Abbildung 17: Aktueller Prüfablauf der Funktion „Einfallen“	28
Abbildung 18: Aktueller Prüfablauf für die Dichtheit	30
Abbildung 19: Einzuhaltende gesetzliche Vorgaben	31
Abbildung 20: Konformitätsbewertungsdiagramm	34
Abbildung 21: Zuordnung der Prüfmodule	37

---

Abbildung 22: EG-Konformitätsverfahren bei der HHA	38
Abbildung 23: Formblatt zur Risikobewertung bei der HHA	40
Abbildung 24: Risiko-Matrix	41
Abbildung 25: Funktionsstruktur – Prüfstand als Black Box	43
Abbildung 26: Erste Stufe der Funktionsstruktur - Gesamtaufbau	44
Abbildung 27: Funktionsstruktur – DT4 Prüfstand	45
Abbildung 28: Erweiterter hydraulischer Schaltplan des Prüfstands	50
Abbildung 29: Sinuswellen bei Dreiphasenwechselstrom	53
Abbildung 30: Gleichrichtung von Wechselspannung	54
Abbildung 31: Schaltplan des neuen Prüfstandes	55
Abbildung 32: Beispielhafte Logikabfolge	55
Abbildung 33: Rohrwiderstandsbeiwert $\lambda$ in Abhängigkeit von $Re$ und $(d/k)$	58
Abbildung 34: $\Delta p$ -Q-Kennlinien für 3/2-Wege und 4/2-Wege-Ventile	59
Abbildung 35: 3D-Modell des Prüfstands	62

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Positionsnummern des hydraulischen Schaltplans	7
Tabelle 2: Mindesteigenschaften an Klassen von Bremsflüssigkeiten	9
Tabelle 3: Chemische Zusammensetzung von HB48	10
Tabelle 4: Gefahrenhinweise der Einzelkomponenten	10
Tabelle 5: Auszug aus der Beständigkeitstabelle	12
Tabelle 6: Arten von Durchführungsanweisungen im Bereich TS	14
Tabelle 7: Längen der hydraulischen Schlauchleitungen	35



# Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung	Maßeinheit
<i>A</i>	Querschnittsfläche	[m]
Art.	Artikel	
BM	Betriebsmittel	
<i>c</i>	Geschwindigkeit	[m/s]
BOStrab	Straßenbahn-Bau- und Betriebsverordnung	
<i>d</i>	Leitungsdurchmesser	[m]
DA	Dienstanweisung	
DfA	Durchführungsanweisung	
DT4	Doppeltriebfahrzeug der vierten Generation	
DT5	Doppeltriebfahrzeug der fünften Generation	
EG	Europäische Gemeinschaft	
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk	
EU	Europäische Union	
GHS	Global harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien	
GG	Grauguss	
GS	Stahlguss	
HB48	Bremsflüssigkeit Pentosin HB48	
HHA	Hamburger Hochbahn AG	
<i>k</i>	Absolute Rauigkeit	[-]

<b>Abkürzung</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Maßeinheit</b>
<i>l</i>	Leitungslänge	[m]
<i>n</i>	Polytrophenexponent	[-]
NLE	Notlöseeinheit	
$\Delta p$	Druckdifferenz	[bar]
$p_A$	Druck an der Ausgangsseite	[bar]
$p_E$	Druck an der Eingangsseite	[bar]
$P_c$	Betriebsdruck Federspeicher-Bremszylinder	[bar]
$P_H$	Notlösedruck, hydraulisch	[bar]
$p_0$	Vorfülldruck	[bar]
$p_1$	Minimaler Arbeitsdruck	[bar]
$p_2$	Maximaler Arbeitsdruck	[bar]
$P_{eff}$	Effektive Leistung	[W]
$P_{Hyd}$	Hydraulische Leistung	[W]
ProdSG	Produktsicherheitsgesetz	
ProdSV	Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz	
PTFE	Polytetrafluorethylen	
PVC	Polyvinylchlorid	
<i>Q</i>	Volumenstrom	[l/min]
<i>r</i>	Biegeradius des hydraulischen Schlauchs	[m]
<i>Re</i>	Reynolds-Zahl	[-]
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung	

<b>Abkürzung</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Maßeinheit</b>
$T_1$	Minimale Arbeitstemperatur	[K]
$T_2$	Maximale Arbeitstemperatur	[K]
Tr Br	Technische Regeln Bremsen	
TS	Bereich Schienenfahrzeuge	
TS 4	Fachbereich Fahrzeugtechnik	
$V$	Nutzvolumen	[l]
$V_0$	Gasvolumen	[l]
$V_{\text{Federspeicher}}$	Hubvolumen der hydraulischen Notlösezyylinder	[l]
$V_{\text{Leitung}}$	Volumen der Steuerleitung	[l]
$\zeta$	Widerstandsbeiwert für gekrümmte Leitungen	[-]
$\eta$	Wirkungsgrad	[-]
$\lambda$	Rohrwiderstandsbeiwert	[-]
$\nu$	Kinematische Viskosität	[m <sup>2</sup> /s]
$\xi$	Widerstandsbeiwert für Rorreibung	[-]
$\rho$	Dichte	[kg/m <sup>3</sup> ]

# 1 Einleitung

Diese Arbeit befasst sich mit der Konzipierung und Entwicklung eines Prüfstandes zur Prüfung von Notlöseeinheiten für die Schienenfahrzeuge der Hamburger Hochbahn AG (HHa). Der Bereich Schienenfahrzeugtechnik (TS) der HHA betreut insgesamt 248 Personenfahrzeuge, 41 Betriebsfahrzeuge und 5 Museumsfahrzeuge. Jedes Fahrzeug der Flotte besitzt mindestens ein Notlöseaggregat. Während sich in jedem Personenfahrzeug jeweils ein Notlöseaggregat in den Fahrerräumen befindet, gibt es Arbeitsfahrzeuge, bei denen die Aggregate außen am Fahrzeug montiert sein können. Die Aufgabe, die Federspeicher-Bremszylinder im Bedarfsfall zu lösen, ist bei allen Notlöseaggregaten identisch, wobei sich die Bauweise teilweise deutlich unterscheiden kann.

Alle Notlöseaggregate werden in Schadensfällen betriebsintern auf Funktion und Dichtheit der Komponenten geprüft. Diese Prüfung findet aktuell an einem mobilen Prüfstand statt. Der Prüfvorgang ist dabei durch die Instabilität der Prüfstandkonstruktion und wegen seiner veralteten Bedingungen, wie einer zu kleinen Arbeitsfläche, eingeschränkt, sodass ein neues Konzept bei der HHA gesucht wird. Mit der vorliegenden Arbeit wird dieses Konzept für einen stationären, optimierten Prüfstand vorgestellt, welches den heutigen Anforderungen gerecht wird.

Diese Arbeit befasst sich dabei primär mit der Entwicklung eines Prüfstandes für Notlöseaggregate von Doppeltriebfahrzeugen der vierten Generation (DT4), da diese aktuell den höchsten Wartungsanteil ausmachen. Bei der Konzeption ist zudem auf die Erweiterbarkeit und Schaffung optimaler Rahmenbedingungen zur Bearbeitung von Notlöseaggregaten anderer Fahrzeugtypen zu achten. Gründe hierfür ergeben sich aus der ähnlichen Wirkungsweise und der Verwendung desselben Betriebsmediums bei jedoch unterschiedlichen Konstruktionen der Notlöseaggregate.

Neben der Einhaltung von betrieblichen Vorgaben in Bezug auf Funktionalität und Standort gilt es die gesetzlichen Vorgaben und Richtlinien, welche die Inbetriebnahme und den Betrieb von Betriebsmitteln bei der HHA reglementieren, zu beachten. Um diese Ansprüche gewährleisten zu können, wird zunächst der aktuell genutzte Prüfstand hinsichtlich seiner Betriebsparameter, seines konstruktiven Aufbaus und seiner Funktionsweise analysiert. Darüber hinaus wird eine Prüfung der zu erfüllenden, gesetzlichen Rahmenbedingungen durchgeführt. Am Ende dieser Analyse stehen konzeptionelle Rahmenbedingungen, die als Basis für die konstruktive Umsetzung des neuen Prüfstandes genutzt werden.

## 2 Notlöseaggregat

Notlöseaggregate sind hydraulisch betriebene Anlagen, die in jedem Schienenfahrzeug der HHA eingesetzt werden. Kommt es zum Ausfall der fahrzeuginternen Druckluftversorgung, kann die sogenannte Federspeicherbremse unter Zuhilfenahme des Notlöseaggregates hydraulisch gelöst werden.

Abhängig vom Fahrzeugtyp beziehungsweise der Fahrzeugserie kann das Notlöseaggregat in unterschiedlichen Betriebsarten genutzt werden. Beim Schienenfahrzeug DT4 sind es zum Beispiel zwei Arten:

❑ *E-Motor Betrieb*

Die Spannungsversorgung des Fahrzeuges ist vorhanden, sodass der Elektromotor mit der benötigten Spannung versorgt werden kann.

❑ *Manueller Betrieb*

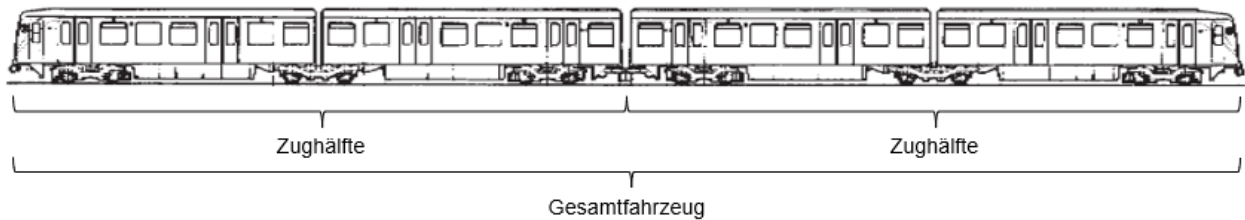
Steht dem Fahrzeug keine Spannung zur Verfügung, wird das Aggregat durch eine Hand- oder Fußpumpe betätigt.

Ein Lösen der Federspeicherbremse kann aus mehreren Gründen erforderlich werden. Fehlt beispielsweise die Spannungsversorgung, durch Ausfall der 750V Netzspannung oder der fahrzeuginternen 24V Batteriespannung, kann der Luftkompressor den für die Federspeicherbremse nötigen Betriebsdruck nicht mehr aufbringen. Weitere Gründe können Fehlfunktionen oder Schäden am Fahrzeug beziehungsweise in der Fahrzeugsoftware sein, welche eine Luftdruckversorgung des Federspeicher-Bremszylinders verhindern. Um nachfolgende Material- oder Personenschäden, resultierend aus einem auftretenden Fehler, ausschließen zu können, schließt die Federspeicherbremse die Bremszange aus Sicherheitsgründen im kraftfreien, drucklosen Zustand und leitet somit einen Bremsvorgang ein.

Um ein betroffenes Fahrzeug von der Strecke bewegen zu können und somit einen störungsfreien Fahrgastbetrieb zu gewährleisten, können die Bremszangen entsprechend durch die Notlöseaggregate geöffnet werden. Ist die Spannungsversorgung eines betroffenen Fahrzeugs gewährleistet und nur eine Fahrzeughälfte von einem Fehler betroffen, so kann die schadhafte Fahrzeughälfte durch den E-Motor-Betrieb der Notlöseeinrichtung gelöst werden, sodass das Fahrzeug in der Lage ist, mit eigenem Antrieb die Strecke zu verlassen. Ist das gesamte Fahrzeug betroffen, müssen beide Fahrzeughälften notgelöst werden und das Fahrzeug muss durch ein Zweites von der Strecke geschleppt werden. Bei einem Fehlen der Spannungsversorgung und

somit zwangsläufig manueller Notlösung, muss das schadhafte Fahrzeug in jedem Fall durch ein weiteres von der Strecke geschleppt werden.

Abbildung 1 dient dem Überblick der genannten Begrifflichkeiten:

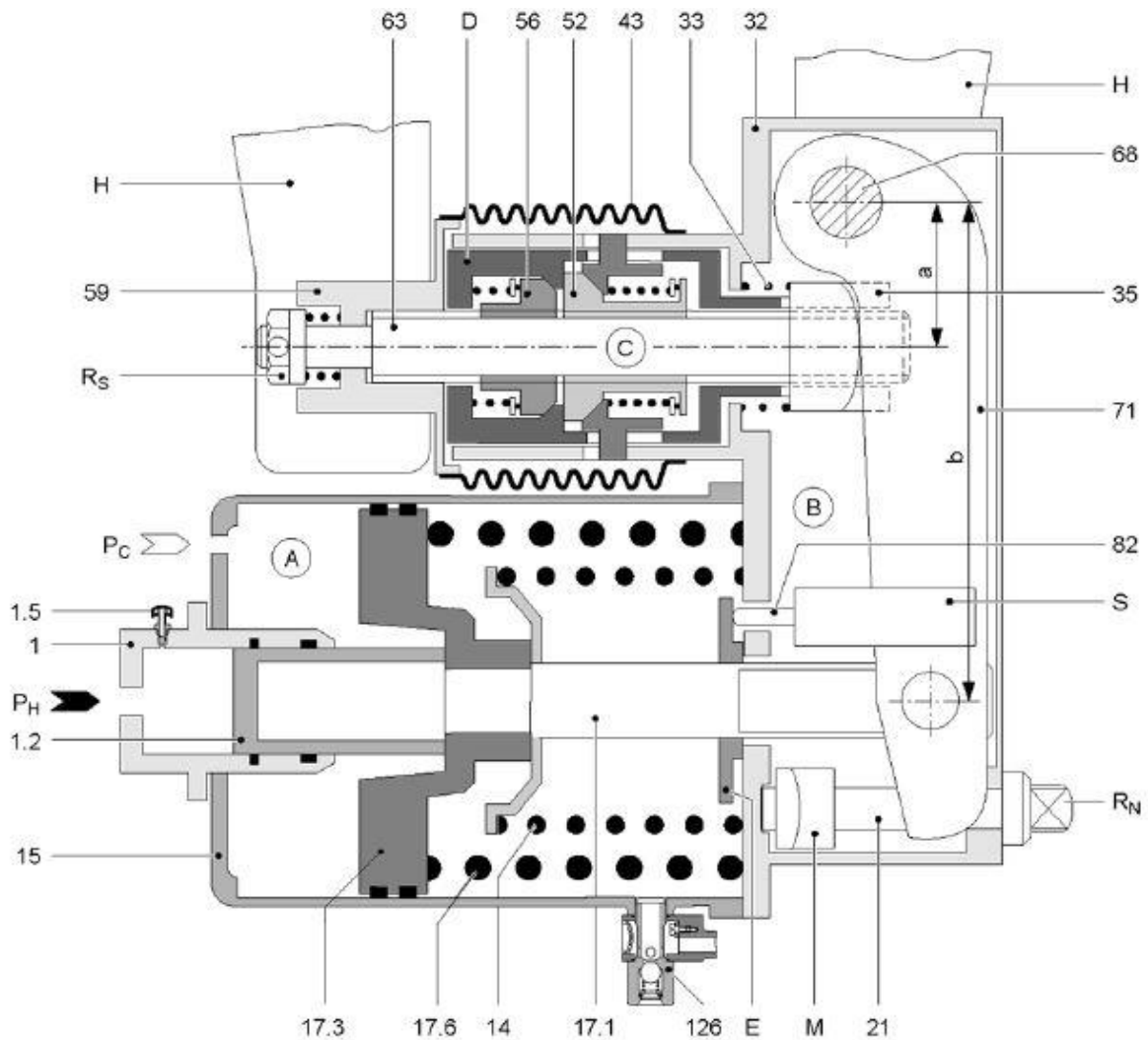


**Abbildung 1: Fahrzeug DT4 (vgl. Dümmer 2013)**

Ein Fahrzeug besitzt an jeder Achse jeweils einen Federspeicher-Bremszylinder, sodass an einem kompletten Fahrzeug insgesamt zwölf Federspeicher montiert sind. Die Notlöseaggregate sind jeweils dafür ausgelegt, eine Zughälfte mit sechs Federspeichern not zu lösen. Im Schadensfall kann der Zugführer das komplette Fahrzeug von einem Fahrerstand im automatischen Betrieb notlösen, wobei eine funktionierende Spannungsversorgung vorausgesetzt wird.

## 2.1 Federspeicherbremse

Die Federspeicherbremse ist Bestandteil des Bremssystems aller von der HHA betriebenen Schienenfahrzeuge. Typübergreifend unterliegen alle Fahrzeuge der Verordnung über den Bau und Betrieb von Straßenbahnen (BOStrab). Dabei beinhaltet §36 der BOStrab, konkretisiert durch die „Technische Regeln Bremsen“ (Tr Br), Informationen zu den Bremssystemen und legt fest, dass ein Fahrzeug mindestens zwei Bremsen haben muss. Beide sind unabhängig voneinander auszuführen, sodass bei Störung innerhalb einer Bremse die Wirksamkeit der anderen Bremse, auch bei Ausfall der Fahrleitungsspannung, immer gewährleistet bleibt (vgl. Bundesrepublik Deutschland, 1987). Kommt es zu einer Geschwindigkeitsverzögerung (Bremsvorgang) des Fahrzeuges so übernimmt die Federspeicherbremse, abhängig von der Fahrzeugserie und vorliegender Geschwindigkeit, den Bremsvorgang komplett oder greift unterstützend in den durch die elektrische Bremse ausgeführten Vorgang ein. Neben der beschriebenen Nutzung als Betriebsbremse sind Federspeicherbremsen zudem als Parkbremse oder selbsttätige Feststellbremse verwendbar. Der schematische Aufbau eines Federspeicher-Bremszylinders, wie er in den DT4 Fahrzeugen verwendet wird, ist Abbildung 2 zu entnehmen.



**Abbildung 2: Federspeicher-Bremszylinder (Knorr-Bremse 2002:5)**

Die Abbildung stellt den Federspeicher-Bremszylinder im gelösten d.h. druckbetätigten Zustand dar. Der Druck  $P_C$  entspricht dem pneumatischen Betriebsdruck. Der Druck  $P_H$  entspricht dem hydraulischen Notlösedruck, welcher durch das Notlöseaggregat erzeugt wird. Wird davon ausgegangen, dass der Druck  $P_C$  nicht anliegt und die Federspeicher notgelöst werden müssen, so drückt der Kolben (1.2) gegen den Lösekolben (17.3). Dabei arbeitet der Lösedruck gegen die Federkraft beider Druckfedern (14 und 17.6), sodass die Kraft über die Kolbenstange (17.1) in den Übersetzungshebel (71) geleitet wird. Dieser schwenkt um den Bolzen (68), welcher fest im Gehäuse (32) fixiert ist. Über das Druckstück (35) wird die Kraft auf das Druckrohr (D) übertragen. Als indirekte Reaktion daraus bewegt sich die Regulierspindel (63), sodass sich die Bremszangen (H) öffnen. Die Bremskraft nimmt somit proportional mit der Zunahme des Lösedrucks  $P_H$  ab. Der vollständige Lösezustand ist erreicht, wenn der Lösedruck über den Lösekolben eine Kraft, größer der Kraft der Druckfedern, aufgebracht hat.

## 2.2 Funktionsweise Notlöseaggregat DT4

Die in den Fahrzeugen des Typs DT4 eingesetzten Notlöseaggregate gibt es in vier unterschiedlichen Varianten, was auf die lange Einsatzzeit der Fahrzeugtypen zurückzuführen ist. Die erste Serie (DT4.1) wurde in den Jahren von 1988 bis 1991 gefertigt. Die folgenden Serien, bis zur aktuellen Serie (DT4.6) unterlagen einem kontinuierlichen Optimierungsprozess. Die Varianten eins und zwei der Notlöseaggregate unterscheiden sich lediglich geringfügig voneinander. Während die manuelle Betätigung der ersten Variante mit einer Handpumpe erfolgt, wird diese in der zweiten Variante durch eine Fußpumpe ersetzt. Weiterhin sind einige Komponenten durch funktionsgleiche Bauteile ersetzt worden, was jedoch keinen weiteren Einfluss auf die Handhabung der zweiten Variante hat.

Die dritte Variante unterscheidet sich in ihrer Bauweise deutlich von den ersten beiden Varianten, wobei die Wirkungsweise gleich ist. Die Entwicklung der ersten beiden Varianten entspricht der Differentialbauweise. Alle Bauteile sind mit Rohr- und Schlauchleitungen verbunden, was wiederum zu einem größeren Risiko von Fluidverlusten an Verbindungsstellen führt. Die dritte Variante ist in integraler Bauweise ausgeführt, was bedeutet, dass die hydraulischen Komponenten in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht und durch innere Bohrungskanäle miteinander verbunden sind. Dadurch wird das Notlöseaggregat kompakter, Verbindungsstellen in Form von Verschraubungen werden reduziert und somit der Ölverlust minimiert. Die vierte Variante der Notlöseaggregate hat zudem geringfügige Optimierungsanpassungen gegenüber der dritten Variante erhalten. Abbildung 3 verdeutlicht den beschriebenen Aufbau durch Vergleich von Variante zwei (links) zu Variante drei (rechts):

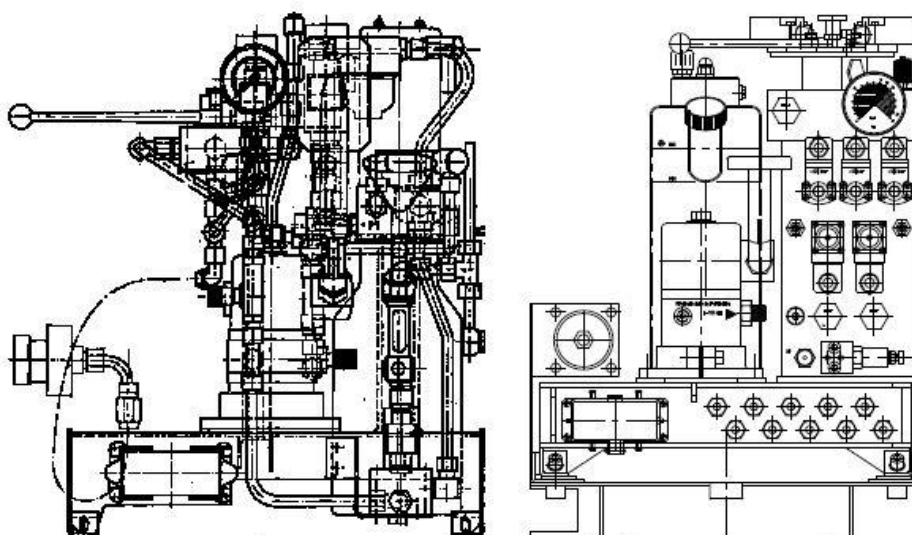


Abbildung 3: Vergleich der Bauweisen der Notlöseaggregate



Da alle genannten Varianten der Notlöseaggregate innerhalb desselben Fahrzeugtyps untereinander austauschbar sein müssen, ist die Wirkungsweise aller Varianten identisch. Um einen Überblick der Funktionsweise zu erhalten ist Abbildung 4 der vereinfachte hydraulische Schaltplan zu entnehmen. In Tabelle 1 sind die zugehörigen Positionsnummern gelistet.

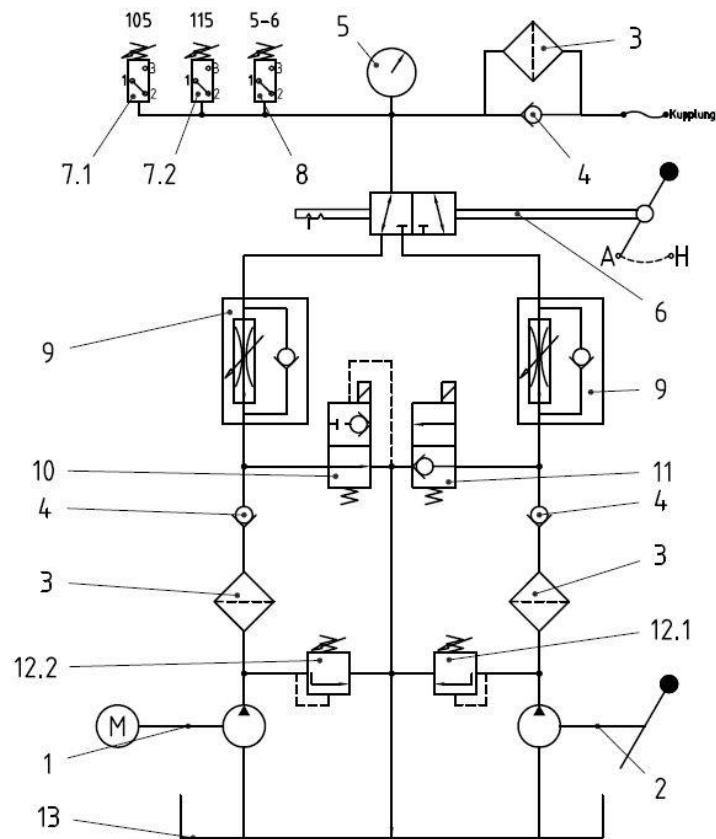


Abbildung 4: Vereinfachter hydraulischer Schaltplan der Notlöseaggregate

Pos. Nr.	Benennung	Anzahl
1	E-Motor-Pumpe-Einheit	1
2	Hand-/ Fußpumpe	1
3	Filtereinheit	3
4	Rückschlagventil	3
5	Manometer	1
6	3/2-Wege-Kugelhahn mit zwei Endlagenschaltern	1

Pos. Nr.	Benennung	Anzahl
7.1	Druckschalter 20 – 210 bar (eingestellt >100 bar)	1
7.2	Druckschalter 20 – 210 bar (eingestellt >120 bar)	1
8	Druckschalter 4 – 12 bar	1
9	Drosselrückschlagventil	1
10	2/2-Wege-Sitzventil (in Ruhelage geöffnet)	1
11	2/2-Wege-Sitzventil (in Ruhelage geschlossen)	1
12.1	Druckbegrenzungsventil max. 160 bar (eingestellt >110 bar)	1
12.2	Druckbegrenzungsventil max. 160 bar (eingestellt >140 bar)	1
13	Vorratsbehälter	1

**Tabelle 1: Positionsnummern des hydraulischen Schaltplans**

Einem Notlöseaggregat können zwei Funktionen zukommen. Zum einen die namensgebende Funktion, das „Notlösen“ des Fahrzeuges, zum anderen das „Einfallen“, wobei der zuvor aufgebrauchte hydraulische Druck über Stromregelventile wieder in den Vorratsbehälter zurückgeführt wird und die Bremszange des Federspeichers wieder schließt um das Fahrzeug zum Halten zu bringen. In Abbildung 5 werden die Funktionen „Notlösen“ (links) und „Einfallen“ (rechts) im automatischen Betrieb visualisiert. Die Farbe blau gibt den jeweiligen Weg des Fluids an. Rot markiert sind die Pfade beziehungsweise Ventile, die bei Überdruck zum Einsatz kommen und das System entlasten. Beim Notlösen fließt das Fluid durch einen Filter (Pos. 3), durch das Rückschlagventil (Pos. 4) und dann ungedrosselt durch das Drosselrückschlagventil (Pos. 9) in Richtung der Federspeicher. Dies ist durch die Betätigung des 2/2-Wege-Sitzventils (Pos. 10) gewährleistet. Beim Einfallen der Federspeicher wird das 2/2-Wege-Sitzventil in Ruhelage bewegt, was zur Öffnung desselben Ventils führt. Das Fluid wird über den bereits beschriebenen Pfad zurück in den Vorratsbehälter geleitet. Die Rückführung passiert dabei gedrosselt, da das Medium durch den verengten Pfad des Drosselrückschlagventils geführt wird.

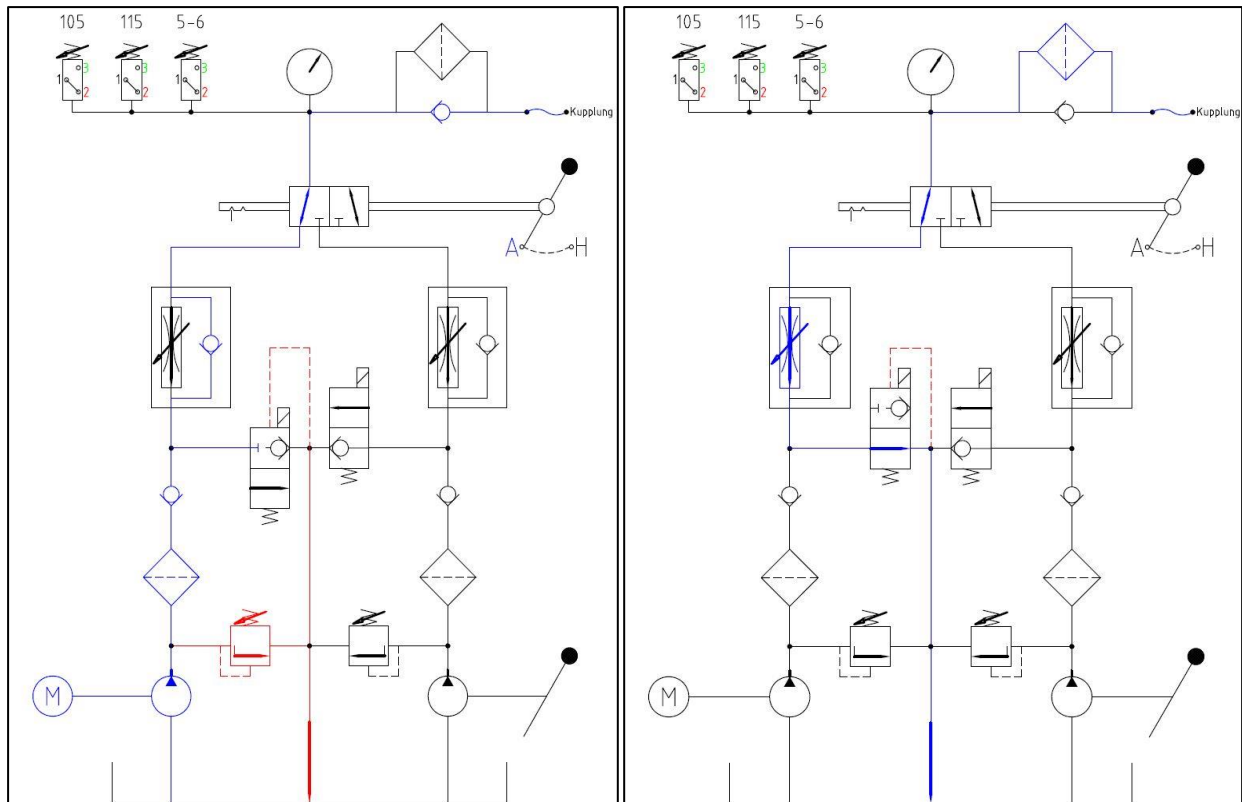


Abbildung 5: „Notlösen“ und „Einfallen“ im automatischen Betrieb

## 2.3 Bremsflüssigkeit Pentosin HB48

Notlöseaggregate werden mit Bremsflüssigkeiten betrieben, die besondere Eigenschaften aufweisen. Dabei hat sich die Bremsflüssigkeit Pentosin HB48 der Deutschen Pentosin-Werke GmbH als zuverlässiges Betriebsmedium erwiesen. Neben den üblichen Additiven weist HB48 einen verbesserten Korrosionsschutz und verbesserte Haftigenschaften auf. Um bei Einhaltung normaler Wechselintervalle eine problemlose Funktionsweise aller genutzten Aggregate, auch unter erschwerten Betriebsbedingungen gewährleisten zu können, beinhaltet HB48 darüber hinaus speziell entwickelte Zusätze. Bremsflüssigkeiten werden im Allgemeinen gemäß nationaler und internationaler Normen auf ihre Tauglichkeit hin untersucht. Das Qualitätsniveau von HB48 entspricht den Normen FMVSS No. 116 DOT 3, ISO 4925 Class 3 und SAE J1703 (vgl. Fuchs Schmierstoffe GmbH 2017). Die damit festgelegten Mindesteigenschaften sind Tabelle 2 zu entnehmen:

	Class 3	Class 4	Class 5-1	Class 6
Siedepunkt (ERBP), °C	> 205	> 230	> 260	> 250
Nasssiedepunkt (WRBP), °C	> 140	> 155	> 180	> 165
Viskosität bei –40 °C, mm <sup>2</sup> /s	< 1500	< 1500	< 900	< 750

**Tabelle 2: Mindesteigenschaften an Klassen von Bremsflüssigkeiten (Breuer/Bill 2017:674)**

Neben den gelisteten spezifischen Eigenschaften gilt es, die physikalischen Eigenschaften und deren Einfluss auf die spezifischen Eigenschaften von HB48 zu betrachten. Auf Grund der vorhandenen Komponenten sind Bremsflüssigkeiten hygroskopisch, wodurch sie während ihrer Nutzungszeit Wasser aufnehmen. Resultierend aus der Wasseraufnahme sinkt der Siedepunkt, was wiederum die Unterscheidung in Trocken- und Nasssiedepunkt nötig macht. Der Nasssiedepunkt entspricht einer Bremsflüssigkeit mit einem Gewichtsanteil von 3,5% Wasser (vgl. Breuer/Bill 2017:354ff.). Die Zusammensetzung von HB48 erlaubt es dem Fluid das Wasser zu binden, was einen Vorteil darstellt, da im System keine Tropfenbildung stattfinden kann. Eine Wasserbildung kann beispielsweise sowohl durch Diffusion innerhalb des Flüssigkeitsbehälters oder der Bremsschläuche stattfinden als auch durch Luftfeuchtigkeit, welche sich auf Grund von Luft im Gesamtsystem nicht vermeiden lässt.

### 2.3.1 Gefahren im Arbeitsumgang mit HB48

Um das Verhalten im Umgang mit HB48 besser einschätzen zu können und einen ersten Eindruck über mögliche Gefahren und damit einhergehende Schutzmaßnahmen zu erhalten, wird dem Sicherheitsdatenblatt die chemische Zusammensetzung entnommen. Die Bestandteile sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Chemische Bezeichnung	Identifizierung	Konzentration	Klassifizierung
Triethylenglykolmonobutylether [C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub> ]	EINECS: 205-592-6	30,0 – <50,0%	H318
Diethylenglykol [C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub> ]	EINECS: 203-872-2	10,0 – <20,0%	H302; H373
2-(2-Hexyloxyethoxy)ethanol [C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> O <sub>3</sub> ]	EINECS: 203-988-3	10,0 – <25,0%	H318; H312
2-(1-Piperaziny)ethanol [C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> O <sub>3</sub> ]	EINECS: 203-142-3	0,10 – <1,00%	H318, H317

**Tabelle 3: Chemische Zusammensetzung von HB48 (vgl. Fuchs Schmierstoffe GmbH 2017)**

Neben der chemischen Zusammensetzung gibt die Tabelle in der Spalte „Klassifizierung“ einen Überblick über die Gefahren der einzelnen Komponenten, in Form von H- und P-Sätzen („Gefahren- und Sicherheitshinweise“). Diese stehen stellvertretend als Sicherheitshinweise für Gefahrenstoffe und werden im Rahmen des „global harmonisierten Systems zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien“ (GHS) verwendet. Dabei ist das GHS allein nicht unmittelbar rechtswirksam und muss durch die einzelnen Staaten(-gemeinschaften) in deren Gesetzgebung umgesetzt werden. In der Europäischen Union (EU) erfolgt die Umsetzung durch die europäische CLP-Verordnung (EG) 1272/2008. Die, hinter den oben gelisteten H-Sätzen stehenden Gefahrenhinweise, können Tabelle 4 entnommen werden:

Klassifizierung	Gefahrenhinweis
H302	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken
H312	Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt
H317	Kann allergische Hautreaktionen verursachen
H318	Verursacht schwere Augenschäden
H373	Kann die Organe schädigen [...] bei längerer oder wiederholter Exposition

**Tabelle 4: Gefahrenhinweise der Einzelkomponenten (vgl. Europäische Gemeinschaft 2008)**

Ergänzt werden die Gefahrenhinweise durch Gefahrenpiktogramme, die gut sichtbar auf der Maschine platziert sein müssen. Diese dienen zur frühzeitigen Erkennung im Umgang mit Gefahrstoffen. Neben den für HB48 geltenden Symbolen (siehe Abbildung 6) gibt es weitere Piktogramme, die beispielsweise auf Toxizität und Explosionsgefahr hinweisen. In diesem Fall weist das linke Piktogramm auf mögliche Ätz-/Reizwirkung auf der Haut sowie ein mögliches Auftreten schwerer Augenschäden hin. Das rechte Piktogramm signalisiert allgemeine Gesundheitsgefahr und weist auf die mögliche Sensibilisierung der Atemwege hin.



Abbildung 6: Geltende Gefahrenpiktogramme für HB48

### 2.3.2 Beständigkeit von Werkstoffen

Neben der vom Fluid ausgehenden Gefahr für den Menschen, muss der Einfluss auf Materialien untersucht werden, die mit HB48 in Kontakt kommen könnten. Im Vordergrund stehen Komponenten, die einen dauerhaften Kontakt zu dem Medium haben bzw. Komponenten mit einer dichtenden Funktion. Im Hinblick auf den Prüfstand und den im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Prüfablauf, muss ebenfalls auf Geräte und weitere Arbeitsoberflächen im direkten Arbeitsumfeld des Prüfstandes eingegangen werden. Da verschiedene Materialien unterschiedliche Eigenschaften haben, wird die Beständigkeit einiger Materialien gegen Bremsflüssigkeit untersucht, um die Materialwahl für den Prüfstand im Vorfeld einschränken zu können. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die chemische Beständigkeit einiger Dichtmaterialien und Stahlsorten:

Name	NBR	EPDM	FKM	FFKM	CR	PTFE	ETFE	PVC	PP	PA	PVDF	PPS	PEEK	MS	RG	GG, GS	1.4401/1.4571	1.4305/1.4105
Bremsflüssigkeit (ATE-Bremsflüssigkeiten)	-	+	-	+	o	+		o	o	+		+	+	o	o	+	+	+
Hydraulikflüssigkeit (Skydrol 500)	-	+	o	+	-	+		-		o		+	+	-	o	o	+	+
Hydraulikflüssigkeit (Skydrol 7000)	-	+	-	+	-	+		-		o				-	o	o	+	+
Hydraulikflüssigkeiten – Mineralölbasis (H, H-L, H-LP)	o	-	o	+	o	+		+	+	+		+		+	+	+	+	+
Hydraulikflüssigkeiten – Wasser-Öl-Emulsionen (HSA)	o	-	+	+	o	+		+	+	+		+		+	+	+	+	+
Hydraulikflüssigkeiten – Wasser in Öl (HSB)	o	-	+	+	o	+		+	+	+		+		+	+	+	+	+
Hydraulikflüssigkeiten – Polyglykol-Wasser (HSC)	+	+	+	+	o	+		+	+	+				+	+	+	+	+
Hydraulikflüssigkeiten – Phosphorsäureester (HSD)	-	o	-	+	-	+		-	-	+		+		+	+	+	+	+
Hydraulikflüssigkeiten – chlorierte Kohlenwasserstoffe	-	o	+		-	+				+				-	o	o	+	
Maschinenöle (Paraffinöle, Mineralöle, Motorenöle)	+	-	+	+	o	+	+	o	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Mineralöle (Paraffinöle, Motorenöle, Maschinenöle)	+	-	+	+	o	+	+	o	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Motorenöle (Mineralöle, Maschinenöle, Paraffinöle)	+	-	+	+	o	+	+	o	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

**Tabelle 5: Auszug aus der Beständigkeitstabelle (vgl. Bürkert Fluid Control Systems 2019)**

- + geringe oder keine Beeinträchtigung des Materials, beständig
- o schwacher bis mäßiger Angriff, bedingt beständig
- starker Angriff bis vollständige Zerstörung, unbeständig

Die rot umrandeten Spalten geben die Beständigkeit unterschiedlicher Metalle gegenüber den gelisteten Fluiden wieder. Dies vermittelt einen ersten Eindruck über mögliche Einsatzzwecke der Stahlsorten in Bezug auf den Prüfstandbau. So sind sowohl die gelisteten Chrom-Nickel-Stähle als auch Grau- (GG) und Stahlguss (SG) höher beständig gegenüber Bremsflüssigkeit auf Glykoetherbasis als Messing (MS) und Rotguss (RG). Diese sind somit primär für den Prüfstandeinsatz geeignet. Neben den genannten Materialien können zudem Aluminium und Aluminiumlegierungen verwendet werden. Diese haben sich als Bremsflüssigkeitsbehälter in der Zweiradtechnik – zum Beispiel bei Motorrädern – durchgesetzt. Es sei erwähnt, dass die Materialauswahl neben dem Kriterium der chemischen Beständigkeit, vor allem im Bereich der Metallauswahl, auch dem mechanisch anfallenden Verschleiß unterliegen wird. So ist im Weiteren darauf zu achten, in welchem Einsatzgebiet höherfeste Stähle benötigt werden bzw. zu welchem Zweck die Verwendung von niedriger legierten Werkstoffen in Frage käme.

Die blau umrandeten Spalten entsprechen gängigen Dicht- und Membranwerkstoffen hydraulischer Systeme. Der Einsatz von dichtenden Bauteilen in hydraulischen Systemen ist unverzichtbar. Ohne Dichtungen wäre die Hydrauliktechnik, wie sie in der heutigen Form umgesetzt wird, nicht realisierbar. Generell wird zwischen statischen und dynamischen Dichtungen unterschieden. Dynamische Dichtungen werden beispielsweise in Zylindern verwendet und unterliegen einer Bewegung, während statische Dichtungen eine Dichtwirkung unter anderem an planen Übergängen gewährleisten. Der Einsatz von Dichtungen wird sich beim Prüfstand auf statische Dichtungen beschränken, da voraussichtlich keine beweglich zu dichtenden Komponenten zum Einsatz kommen werden. Wie Tabelle 5 zu entnehmen ist, kommen für den vorliegenden Anwendungsfall die Dichtungswerkstoffe Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) und Polytetrafluorethylen (PTFE) in Frage. Die aktuell verwendeten Dichtungen der Notlöseaggregate bestehen aus EPDM.

Neben den im und am Prüfstand zu verwendenden Materialien ist ebenfalls auf das Material von Komponenten und Gegenständen in der näheren Prüfumgebung zu achten. So sollten lackierte Bauteile nicht mit der Bremsflüssigkeit HB48 in Kontakt kommen, da sich der Lack sonst lösen würde. Ferner seien elektrische Bauteile erwähnt und im speziellen deren Isolierungen. Auch in diesem Fall greift die Bremsflüssigkeit das Isoliermaterial an, was zwangsläufig zu einer Minderung der Isolationswerte führt. Gebräuchlichster Isolierwerkstoff ist Polyvinylchlorid (PVC), der gegen Bremsflüssigkeit jedoch nur bedingt beständig ist, sodass in diesem Punkt ebenfalls auf die Nutzung eines dem Anwendungsfall entsprechenden Werkstoffes geachtet werden muss. Neben den Isolierstoffen der Energiekabel wird zuletzt auf den Bodenbelag der Werkstatt hingewiesen. Dieser besteht ebenfalls aus einem Kunststoffgemisch, welches, beruhend auf Erfahrungswerten, nur bedingt gegen Bremsflüssigkeit beständig ist. Hier sollte weiterer Kontakt ebenfalls vermieden werden.



### 3 Prüfung der Notlöseaggregate

Die Prüfung der Notlöseaggregate und somit der Prüfablauf unterliegt einer vom Bereich Schienenfahrzeuge herausgegebenen Durchführungsanweisung (DfA). Neben den Durchführungsanweisungen gibt es Dienstanweisungen (DA), wobei durch beide das Verhalten von Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen sowie Handlungen an Maschinen geregelt werden sollen. Die Anweisungen sind wie folgt definiert:

❑ *Dienstanweisungen*

„Dienstanweisungen regeln das Verhalten der Mitarbeiter wie auch Handlungen an Anlagen und Fahrzeugen auf Basis geltender Gesetze, Rechts- und Sicherheitsverordnungen“ (Schuckart 2014)

❑ *Durchführungsanweisung*

„Durchführungsanweisungen konkretisieren hierbei grundsätzlich Regeln, die in einer Dienstanweisung festgehalten worden sind“ (Schuckart 2014)

Ferner werden die Durchführungsanweisungen in unterschiedliche Arten aufgeteilt (siehe Tabelle 6). Die markierte Zeile visualisiert die Kategorie, in der sich der vorgegebene Prüfablauf der Notlöseaggregate einordnen lässt.

Durchführungsanweisung	Beinhaltet...
Fahrzeugvorschrift	Vorgaben für Montage, Prüfung und Einstellung am Gesamtfahrzeug
Bestückungsvorschrift	Vorgaben von Materialien und Bauteilen für die Instandhaltung
<b>Teilevorschrift</b>	<b>Vorgaben für Montage, Prüfung und Einstellungen an Fahrzeugkomponenten in den Teilewerkstätten</b>
Technische Beschreibungen (nur DT5)	Herstellervorgaben wie technische Beschreibungen, Datenblätter, Systembeschreibungen, Spezifikationen etc.
Allgemeine Anweisungen	Anweisungen zur Arbeitssicherheit, zum Umweltschutz, zur allgemeinen Verwaltung etc.

**Tabelle 6: Arten von Durchführungsanweisungen im Bereich TS (vgl. Schuckart 2014)**

Neben einer aktuellen Ist-Analyse des Prüfstandes und seiner verwendeten Komponenten, befasst sich dieses Kapitel mit der Prüftätigkeit und den zu prüfenden Komponenten. Am Ende des Kapitels wird, in Zusammenarbeit mit der betreibenden Kostenstelle, eine Anforderungsliste an den neuen Prüfstand entwickelt.

### 3.1 Aktueller Prüfstand

Der aktuell vorhandene Prüfstand dient der Prüfung der Notlöseaggregate der DT4-Fahrzeuge und wurde ursprünglich von Auszubildenden unterschiedlicher Lehrberufe als Gemeinschaftsprojekt entwickelt und umgesetzt. Es handelt sich um einen mobilen Prüfstand, welcher jedoch ortsgebunden in der HHA-internen Pneumatik-/Hydraulik-Werkstatt platziert ist und ausschließlich dort genutzt wird. Der Prüfstand wird von unterwiesenem Fachpersonal unter Nutzung der vorgeschriebenen persönlichen Schutzausrüstung bedient. Dieses Kapitel befasst sich damit, einen Überblick über den aktuellen Ist-Zustand zu erhalten um darauf aufbauend den neuen Prüfstand entwerfen zu können. Der aktuelle Prüfaufbau ist Abbildung 7 zu entnehmen:



Abbildung 7: Aktueller Prüfstand

### 3.1.1 Mechanischer Aufbau

Der Prüfstand besteht aus mehreren mechanischen Baugruppen, denen jeweils eine unterschiedliche Funktion zukommt. Als *Grundgestell* dient aktuell ein Montagetisch mit 2 Etagen. Dieser zeichnet sich durch seine Mobilität aus und somit durch die Möglichkeit einer Variabilität des Arbeitsortes. Auf Grund der kompakten Bauweise der Notlöseaggregate finden auf dem Gestell alle benötigten Bauteile Platz, um die Notlöseaggregate kurzfristig und in ihrer Funktionen prüfen zu können. Negativ steht dem Montagetisch jedoch seine Instabilität, resultierend aus den Rädern und somit kleiner Auflagefläche, entgegen. Neben der Instabilität ist der geringe Arbeitsraum ebenfalls ein negativer Aspekt. Dieser ist für eine Funktionsprüfung ausreichend, lässt die Einstellung und Bearbeitung der Aggregate jedoch nur unter beengten Bedingungen zu. Hinzu kommt der Umgang mit dem Betriebsmedium HB48, wobei sich neben dem unmittelbaren Hautkontakt auch eine Kontamination des direkten Arbeitsumfeldes, auf Grund des Fehlens von Ablage- und Abtropfmöglichkeiten, nicht vermeiden lässt. Die *Aufnahme des Notlöseaggregats* besteht aus einem Gestell (siehe Abbildung 8) mit Spannvorrichtung, welche das Notlöseaggregat während des gesamten Prüf- und Einstellvorgangs fixiert.



**Abbildung 8: Aufnahmevorrichtung des Notlöseaggregats**

Das Aufnahmegestell orientiert sich an dem im Fahrzeug montierten Gestell. Das zu prüfende Notlöseaggregat wird unter Zuhilfenahme des Deckenkrans in die Vorrichtung geführt und durch eigens modifizierten Schnellspanner fixiert. Auf Grund von Toleranzen innerhalb der Einspannvorrichtung kommt es zu zusätzlichem Spiel, wodurch der Prüfvorgang selbst ebenfalls erschwert wird.

Hydrospeicher sind Druckbehälter, die „ein begrenztes Ölvolumen [durch Komprimierung eines Gases] unter Druck vorhalten und dieses Ölvolumen bei Bedarf dem System wieder zur Verfügung stellen“ (Watter 2017:166) können. Es gibt unterschiedliche Ausführungen von Hydrospeichern, wobei Gas und Flüssigkeit durch eine Membrane, einen Kolben oder eine Elastomerblase getrennt werden können. Im Fall des aktuellen Prüfstands dient ein Kolbenspeicher als Hydrospeicher. Dieser simuliert das Volumen der Federspeicher-Bremszylinder und der Hydraulikleitungen, welche im Betriebsfall von einem Notlöseaggregat beaufschlagt werden müssen. Das sorgt wiederum für den Effekt, dass bei einem Prüfvorgang nicht sekundenbruchartig der Prüfdruck ansteht und somit die realen Bedingungen besser abgebildet werden können.

### 3.1.2 Elektrischer Aufbau

Da es sich bei dem Gesamtaufbau um eine elektrische Maschine handelt, benötigt der Prüfstand elektrische Energie, um die Funktionsfähigkeit und somit die Funktion der Notlöseaggregate im Betrieb testen zu können. Hierfür kommt ein *Netzteil* zum Einsatz. Der Prüfstand wird mit 400V/16A Dreiphasenwechselstrom betrieben. Dieser muss umgewandelt werden, um die Komponenten des Notlöseaggregats und des Prüfstandes nicht zu beschädigen. Alle Komponenten werden mittels einer 24V Gleichspannung betrieben. Zusätzlich zum Netzteil stellt die *Bedieneinheit* eine weitere elektrische Prüfstandkomponente dar. Die Bedieneinheit ist das zentrale Element des Prüfstandes, an der sowohl die Befehlseingabe als auch die Informationsausgabe erfolgt. Mit Hilfe der Bedieneinheit werden alle Prüfprozesse gestartet, überwacht und beendet. Die Befehlseingabe wird dabei aktuell durch Drucktaster und die Informationsaufgabe mit Hilfe von Leuchtmeldern realisiert. Zudem beinhaltet die Bedieneinheit ein Manometer und ebenfalls eine digitale Druckanzeige. Der innere Aufbau der Bedieneinheit (siehe Abbildung 9) wurde anhand des zugehörigen Stromlaufplans umgesetzt. Oben sind die Leuchtmittel und Taster der Bedieneinheit zu sehen, unten sind die genutzten Klemmleisten und Relais abgebildet. Im Zuge dieser Arbeit soll die Bedieneinheit ebenfalls angepasst werden.

Der vollständige Stromlaufplan ist Anhang A zu entnehmen.



**Abbildung 9: Innerer Aufbau der Bedieneinheit**

### 3.1.3 Schnittstellen

Um die Notlöseaggregate entsprechend prüfen zu können, muss der Prüfstand die notwendigen, ebenfalls am Fahrzeug vorhandenen Schnittstellen zur Verfügung stellen. Neben der Aufnahme des Notlöseaggregates (näher beschrieben in Kapitel 3.1.1.) sind zwei weitere Verbindungen vorgesehen:

Als *hydraulische Schnittstelle* dient eine hydraulische Abreißkupplung (siehe Abbildung 10) der Firma Argus, bestehend aus Fest- und Loshälfte, wobei am Fahrzeug und somit am Prüfstand die Festhälfte zur Verfügung gestellt wird.



**Abbildung 10: Argus Abreißkupplung (vgl. Argus 2019)**

Primärer Vorteil von Abreißkupplungen ist die automatische Entkupplung beim Auftreten zu hoher Zugkräfte, wodurch ein Reißen von Schlauchleitungen und somit Austritt von Fluid vermieden wird. Beide Kupplungshälften werden durch Verschraubung miteinander verbunden. Während des Kupplungsprozesses wird beidseitig gegen eine Federkraft jeweils ein Ventil geöffnet, wodurch der Durchfluss gewährleistet wird. Dieses Verhalten sorgt beim Entkupplungsprozess wiederum dafür, dass die Ventile beziehungsweise Leitungen vor vollständiger Entkupplung verschlossen werden.

Als *elektrische Verbindung* zum Fahrzeug kommt eine Steckverbindung der Firma Harting zum Einsatz. Es handelt sich dabei um eine 16-polige Steckverbindung, die mit Hilfe einer Schnappverbindung formschlüssig mit dem Notlöseaggregat verbunden wird. Um einen Überblick über die Pinbelegung zu erhalten, wird der Anschlussplan der Notlöseaggregate (siehe Abbildung 11) betrachtet. Dieser dient ebenfalls der Ergänzung des Stromlaufplans der Bedieneinheit (siehe Anhang A). Dem Anschlussplan ist zu entnehmen, dass die Spannungsversorgung der Komponenten über sechs Pole verläuft, hier mit „+“ markiert. Zudem gibt es vier Masseanschlüsse, markiert mit einem „-“, und sechs Steuer- beziehungsweise Informationsleitungen. Um bei höherem Leistungsverbrauch die identischen Leitungsquerschnitte nutzen zu können, besitzt der Motor jeweils zwei Spannungs- und Masseleitungen. Die Steuerleitungen dienen der Informationsübermittlung und geben sowohl die Lage des 3-Wege-Kugelhahns als auch die Informationen der Druckschalter an.

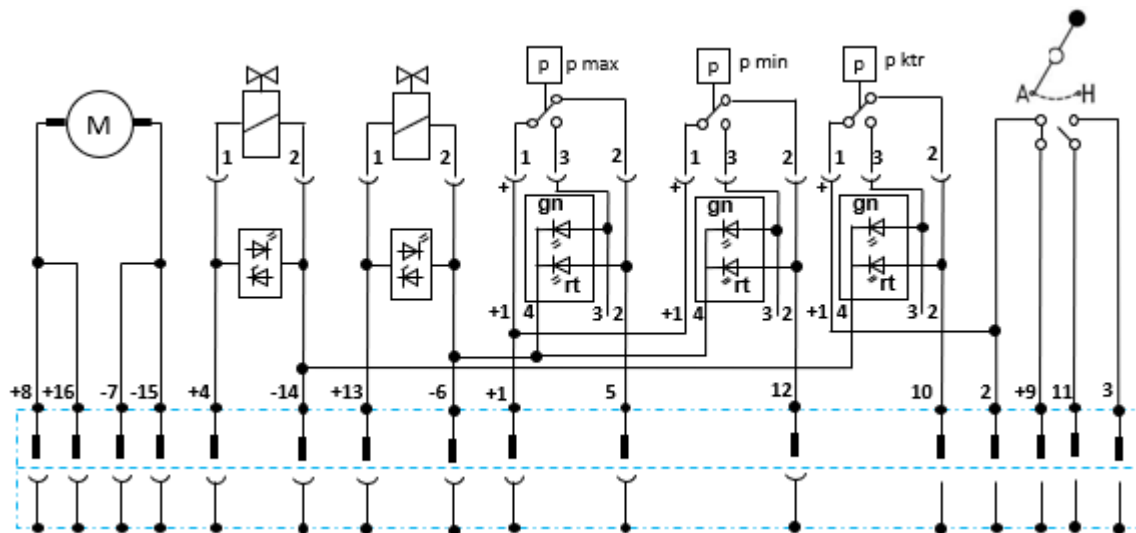
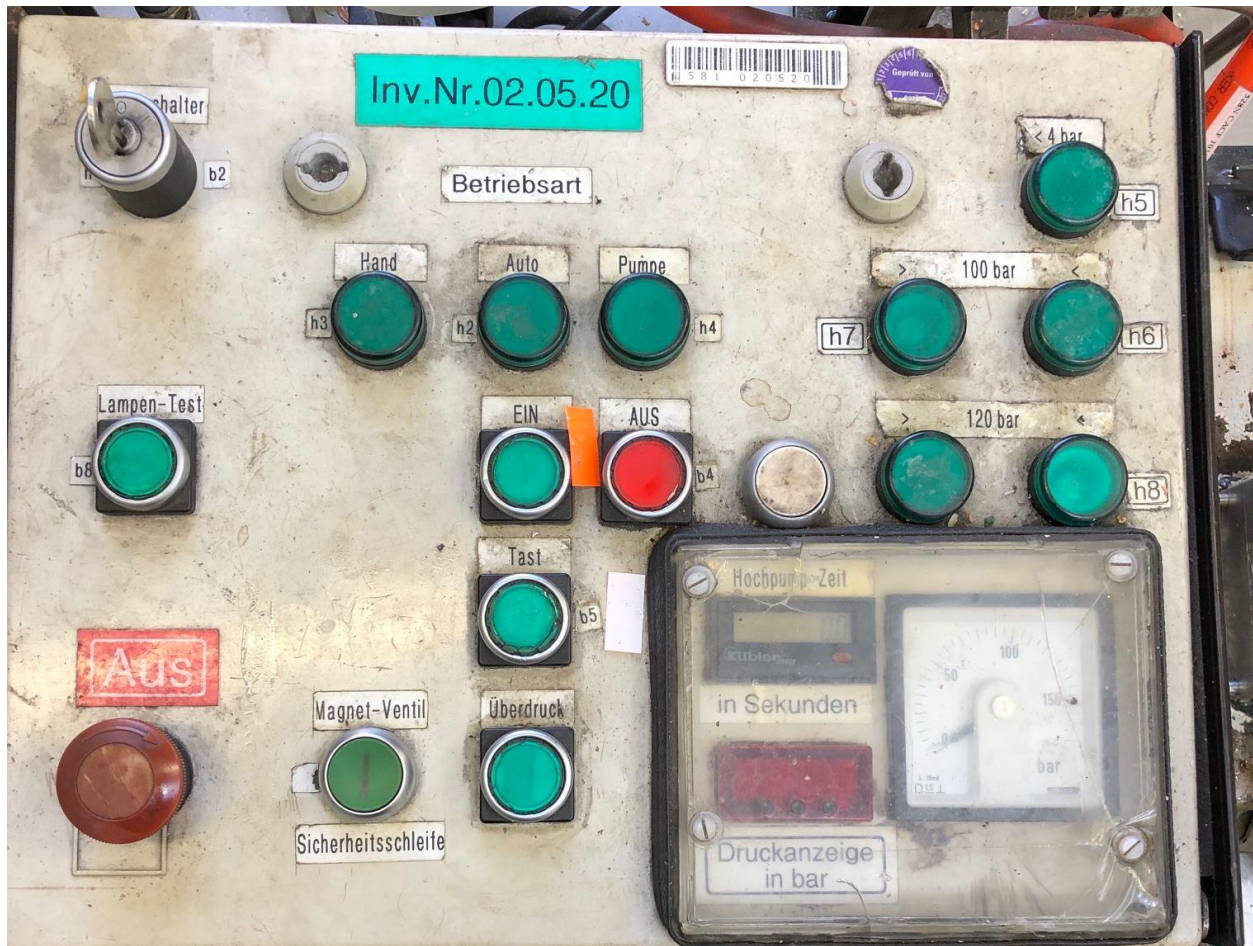


Abbildung 11: Anschlussplan des Notlöseaggregats

### 3.2 Betriebliche Prüfvorschriften

Von den bereits beschriebenen vier unterschiedlichen Varianten der Notlöseaggregate gibt es lediglich für die ersten drei Varianten jeweils eine Durchführungsanweisung, die den Prüfablauf beschreibt. Der Grund ist, dass sich die vierte Generation der Notlöseaggregate aktuell in der Testphase befindet und die technische Dokumentation ebenfalls noch in der Entwurfsphase ist. Da die Wirkungsweise der Notlöseaggregate variantenübergreifend identisch ist, stimmen die Teilevorschriften nahezu für alle Varianten überein. Lediglich durch die Verwendung teilweise andersartiger, jedoch funktionsgleicher Bauteile kann es zu unterschiedlichen Handgriffen bzw. auszuübenden Tätigkeiten kommen. Als Beispiel soll hier das Entlüften des hydraulischen Systems vor Beginn der Prüftätigkeit genannt werden, welches ausschließlich bei den Notlöseaggregaten der ersten Generation erfolgen muss. Um den Prüfprozess und die Funktionsweise des Prüfstandes zu verstehen, werden diese Punkte anhand der Durchführungsanweisung von Notlösevariante drei näher erläutert. Um den Prüfstand zu bedienen wird aktuell eine Bedieneinheit (siehe Abbildung 12) verwendet.



**Abbildung 12: Bedieneinheit des Prüfstands**

Vor Beginn des Prüfablaufs wird das Notlöseaggregat auf dem Prüfstand befestigt. Der Prüfstand besitzt zur Befestigung ein Aufnahmegerüst, mit Hilfe dessen der Prüfling montiert wird. Im Anschluss werden die hydraulischen und elektrischen Steuerleitungen des Prüfstandes mit dem Notlöseaggregat verbunden. Zudem wird der Füllstand der Hydraulikflüssigkeit HB48 kontrolliert und bei Bedarf bis zur maximalen Einfüllmenge nachgefüllt. Nach genannten Tätigkeiten beginnt der reguläre Prüfablauf.

### 3.2.1 Prüfung der Druckschalter

Zu Beginn findet eine Funktionsprüfung der Druckschalter des Notlöseaggregates statt. Die Prüfung unterliegt einem vorgeschriebenen Prüfablauf und gliedert sich nach den beiden Betriebsarten:

- Funktionsprüfung der Druckschalter bei Hand-/ Fußbetätigung
- Funktionsprüfung der Druckschalter bei elektrischer Betätigung



*Druckschalter* sind elektrische Schalter, die durch Druckänderung des genutzten Fluides betätigt werden. Dabei wird ein elektrischer Kontakt bei einem zuvor definierten Druck geöffnet oder geschlossen. Bei Erreichen des Drucks wird durch das elektrische Signal ein weiterer Arbeitsschritt gestartet. Während des Prüfablaufs (siehe Abbildung 13) werden die Druckschalter separat in den bekannten beiden Betriebsarten der Notlöseeinheit geprüft. Anhand des Druckschalters >100 bar, geprüft im automatischen Betrieb, wird einer der Prüfabläufe exemplarisch erläutert:

Zu Beginn wird der 3-Wege-Kugelhahn an der Notlöseeinheit in die entsprechende Stellung bewegt. Nach dem Einschalten des Hauptschalters an der Bedieneinheit leuchten die Lampen „Auto“ (h2), „<4 bar“ (h5), „<100 bar“ (h6) und „<120 bar“ (h8). Darauf folgend wird der Taster „Ein“ (b3) betätigt. Dadurch beginnt die Pumpe, signalisiert durch die Lampe „Pumpe“ (h4), das Fluid zu fördern und baut entsprechend Druck auf. Während des Vorgangs erlischt die Lampe h5 nach Überschreitung des Wertes von 4 bar. Ist ein Druck von 100 bar erreicht, schaltet die Pumpe aus Sicherheitsgründen – der Notlösedruck der Federspeicher liegt zwischen 90 und 120 bar – ab, die Lampe h6 erlischt und die Lampe „>100 bar“ (h7) leuchtet. Das Prüfergebnis gilt als zulässig, wenn der angezeigte Wert des Manometers zwischen 90 und 110 Bar liegt. Bei Abweichungen vom Sollwert oder einem Tausch der Druckschalter kann nach Drucklosschalten der Anlage eine Einstellung mit Hilfe der Einstellschraube vorgenommen und der Prüfvorgang erneut durchgeführt werden. Stimmt der Sollwert mit den Vorgaben überein, kann das Fluid durch Betätigung des Tasters „Magnetventil“ (b7) in den Behälter zurückgeführt werden. Die Prüfung ist nach dem Abschalten mittels des Hauptschalters (b2) beendet.

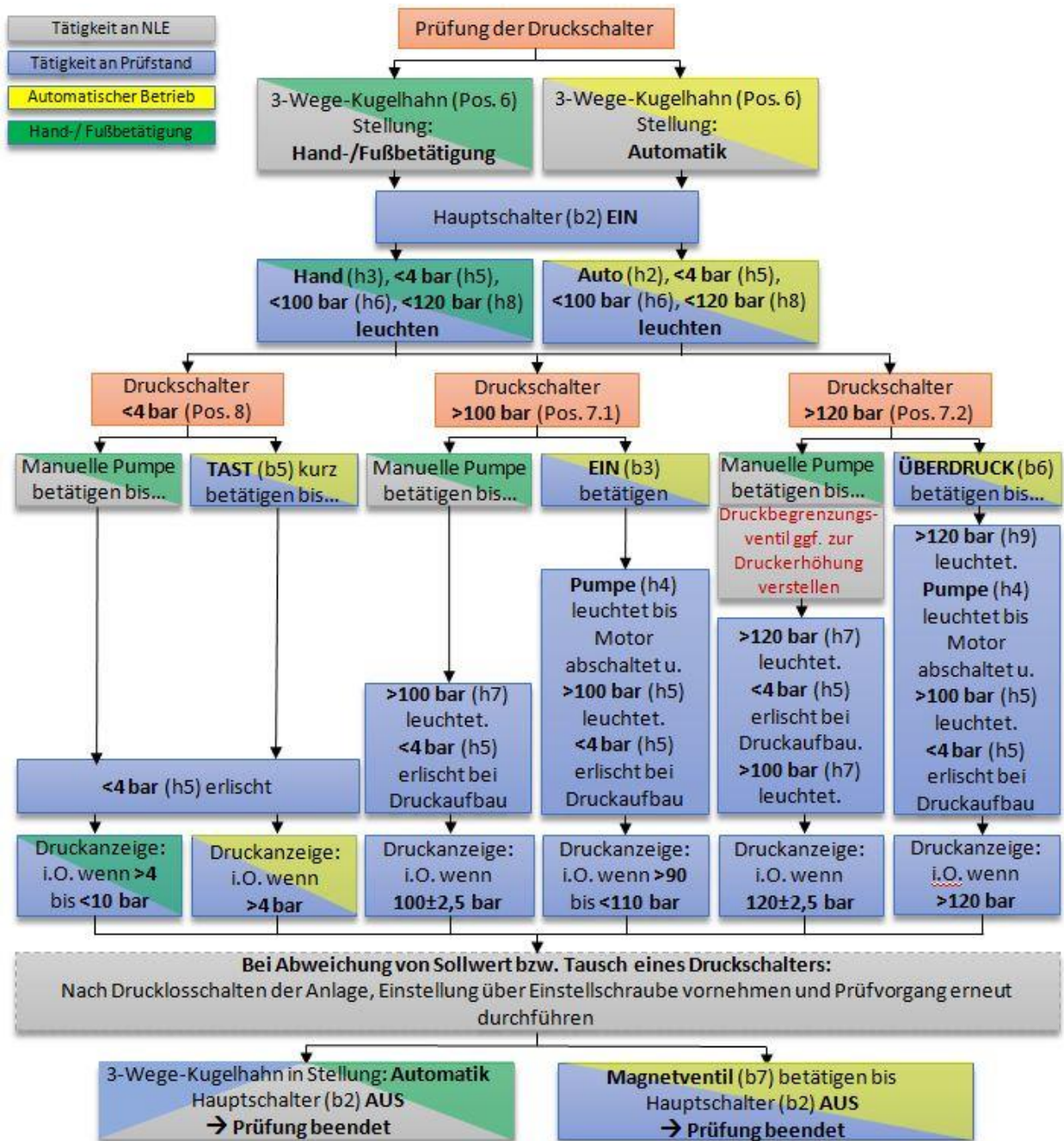


Abbildung 13: Aktueller Prüfablauf der Druckschalter

### 3.2.2 Prüfung der Druckbegrenzungsventile

Im Anschluss findet die Prüfung der Druckbegrenzungsventile statt. Die Prüfung gliedert sich nach den beiden Betriebsarten:

- ❑ *Funktionsprüfung des Druckbegrenzungsventil (>110 bar | Pos. 12.1) der Hand-/Fußpumpe*
- ❑ *Funktionsprüfung des Druckbegrenzungsventil (>140 bar | Pos. 12.2) der E-Pumpe*

*Druckbegrenzungsventile* werden aus Sicherheitsgründen in fluidtechnischen Systemen verwendet. Sie sind notwendig, um den Anlagendruck zu begrenzen. In Ruhelage sind Druckbegrenzungsventile geschlossen. Sie besitzen ein Schließelement, welches von einer meist einstellbaren Feder auf den Sitz gepresst wird. Durch die einstellbare Feder und die damit einhergehende Vorspannkraft ergibt sich der Druck der anliegen muss, um das Druckbegrenzungsventil zu schalten. Übersteigt die Druckkraft des Fluids diese Federkraft, öffnet das Schließelement die Verbindung und das Fluid kann zurückgeführt werden. Der Prüfablauf der Druckbegrenzungsventile (siehe Abbildung 14) ist ebenfalls vorgegeben. Beispielhaft wird im Folgenden der Prüfablauf für das Druckbegrenzungsventil der Hand-/ Fußpumpe beschrieben: Dieser beginnt mit der Betätigung des 3-Wege-Kugelhahn in die Stellung „Hand-/ Fußbetätigung. Zudem wird die Anlage durch Betätigung des Schlüsselschalters (b2) eingeschaltet. Die Lampen „Hand“ (h3), „<4 bar“ (h5), „<100 bar“ (h6) und „<120 bar“ (h8) leuchten. Nachfolgend wird die manuelle Pumpe betätigt bis der Druck bei Betätigung nicht mehr ansteigt. Während des Vorgangs erlischt sowohl die Lampe h5 als auch h6 und „>100 bar“ (h7) leuchtet. Anschließend wird die Druckanzeige abgelesen. Der Sollwert liegt bei  $110 \pm 2,5$  bar. Bei einer Abweichung vom Sollwert ist die Anlage drucklos zu schalten und mit Hilfe der Einstellschraube entsprechend einzustellen. Der Prüfvorgang ist danach zu wiederholen. Am Ende des Prüfablaufs wird der 3-Wege-Kugelhahn in die Stellung „Automatik“ bewegt, wodurch das Fluid in den Behälter zurückgeführt wird. Nach Rückstellung des Hauptschalters ist der Prüfvorgang beendet.

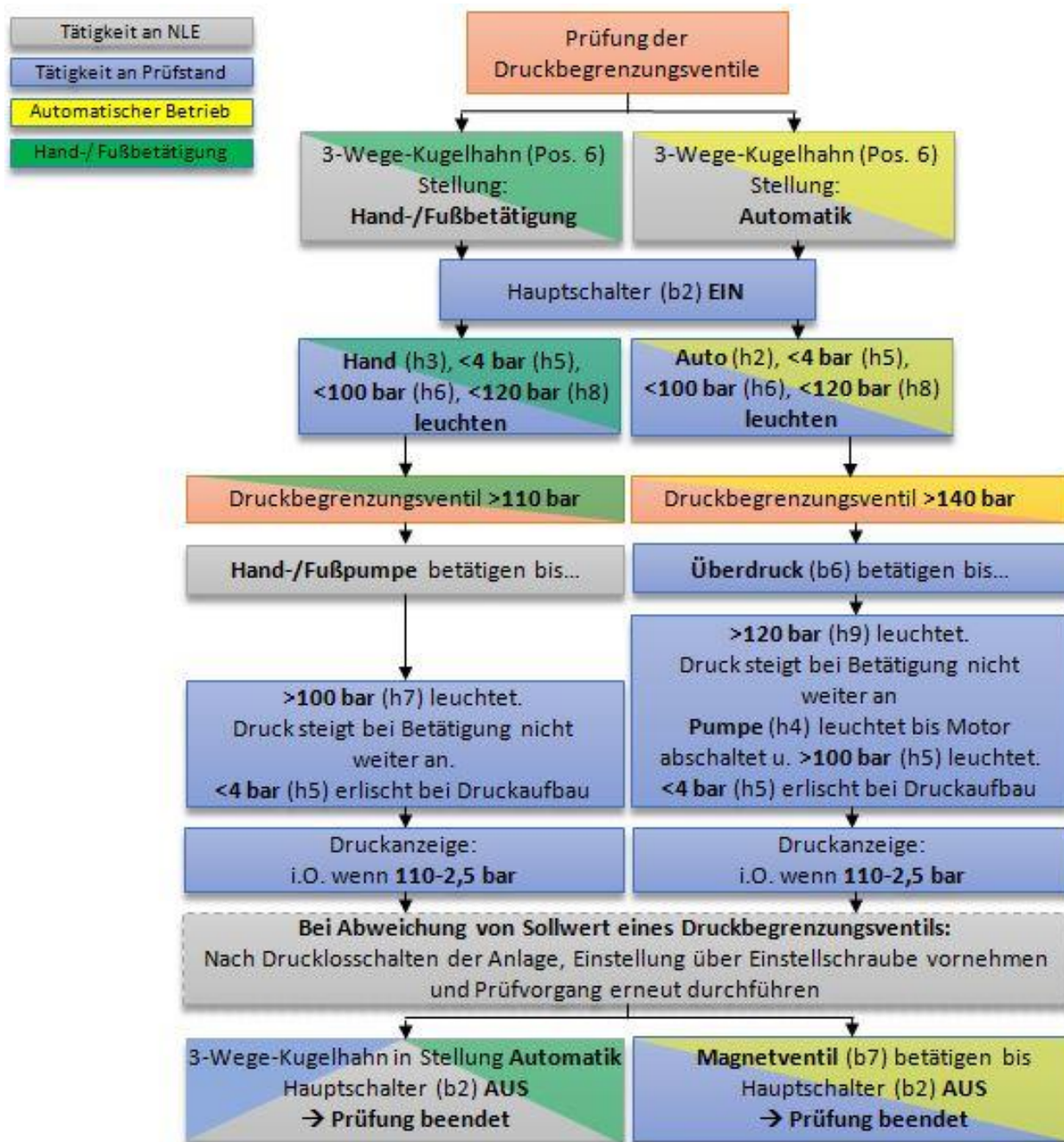


Abbildung 14: Aktueller Prüfablauf der Druckbegrenzungsventile

### 3.2.3 Prüfung „Einfallen“

Im Anschluss werden die Notlöseaggregate auf ihre Funktion geprüft, den aufgebrachtten hydraulischen Druck wieder abzuführen, sodass die Federspeicherbremse die Bremszange wieder schließen würde. Die Prüfung gliedert sich nach den beiden Betriebsarten:

- ❑ *Einfallen im Hand-/Fußbetrieb* (siehe Abbildung 15)
- ❑ *Einfallen im Automatikbetrieb* (siehe Abbildung 16)

Während für den automatischen Betrieb lediglich eine Variante zur Verfügung steht die Federspeicherbremse einfallen zu lassen, gibt es für die manuelle Betätigungsart zwei unterschiedliche Möglichkeiten. Zum einen gibt es für den automatischen und manuellen Betrieb die Variante bei Stellung des 3-Wege-Kugelhahn auf „Automatik“, die elektrische Ansteuerung des 2/2-Wege Ventils (Abbildung 4, Pos. 10) zu beenden und das Ventil durch die Federrückstellung in Ausgangsstellung zu bewegen. So wird das Fluid, ausgehend von der Federrückstellung im Federspeicher-Bremszylinder, in den Vorratsbehälter zurückgeführt. Zum anderen besteht im manuellen Betrieb die Möglichkeit den 3-Wege-Kugelhahn in der Stellung „Hand-/ Fußbetrieb“ zu belassen und das Fluid durch Ansteuerung des 2/2-Wege Ventils (Abbildung 4, Pos. 11) zurückzuführen.

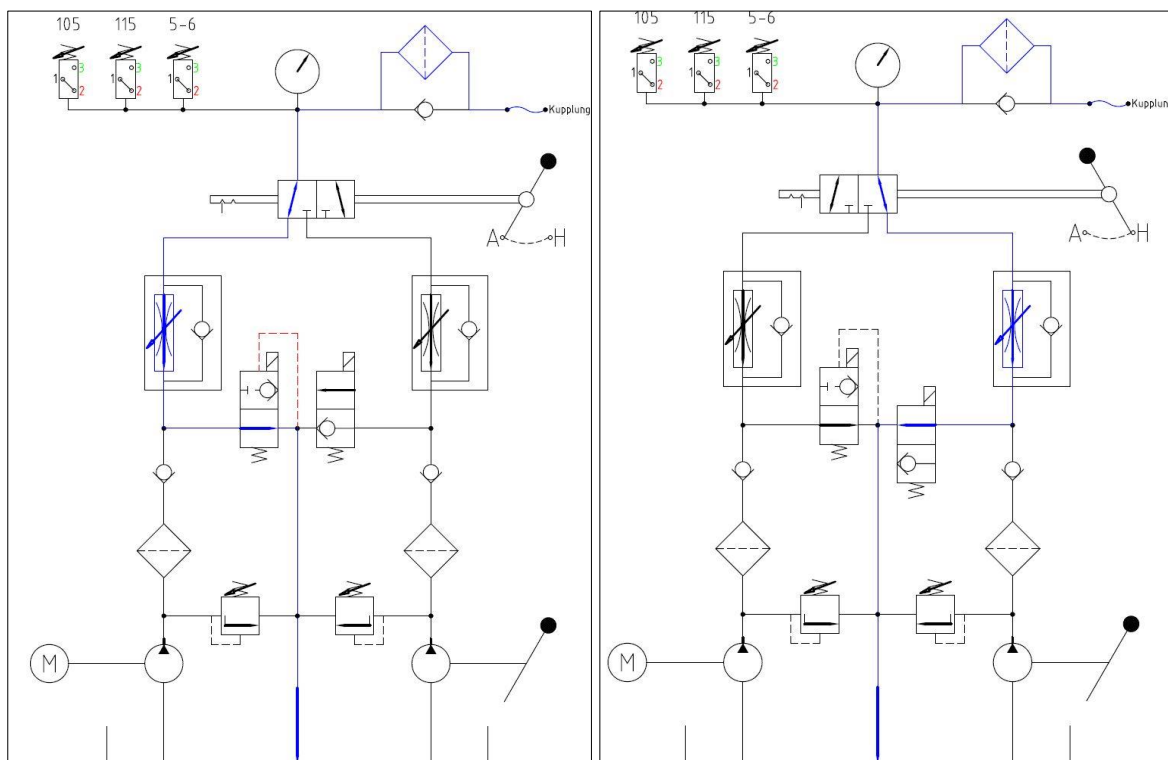
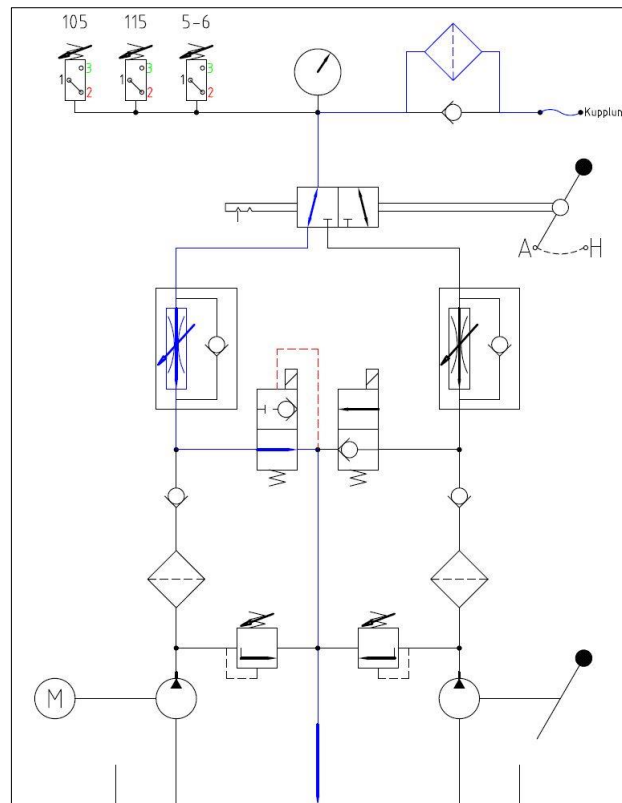


Abbildung 15: Einfallen im manuellen Betrieb



**Abbildung 16: Einfallen im automatischen Betrieb**

Die Funktion „Einfallen“ unterliegt ebenfalls einem eigenen Prüfablauf (siehe Abbildung 17). Um den Ablauf näher zu beschreiben, wird im Folgenden die Variante des automatischen Betriebs erläutert. Analog zu vorherigen Prüfabläufen wird die entsprechende Betriebsart mit Hilfe des 3-Wege-Kugelhahns gewählt und die Anlage durch Einschalten des Hauptschalters (b2) in Betrieb genommen. Die entsprechenden Lampen zeigen den Betriebsstatus an. Der Taster „Ein“ (b3) wird betätigt und die Pumpe baut einen Systemdruck von 100 bar auf, woraufhin sie automatisch abschaltet. Dieses wird ebenfalls durch die Zu- und Abschaltung der zugehörigen Leuchten signalisiert. Um das „Einfallen“ zu simulieren, wird der Taster „Magnetventil“ (b7) betätigt, bis die Anlage drucklos ist und dieselben Leuchten wie zu Beginn des Prüfprozesses leuchten. Im Anschluss wird die Druckanzeige kontrolliert, wobei der Sollwert bei 0 bar liegt. Im Fall einer Abweichung vom Sollwert, gibt die Anweisung vor die Ursache des Fehlers zu beseitigen. Fehlerursache kann beispielsweise eine Fehlfunktion des Manometers sein oder ein Restdruck auf Grund von Luft oder nicht zurückgeführten Betriebsmediums im System. Der Prüfvorgang wird beendet mit dem Ausschalten des Hauptschalters (b2).

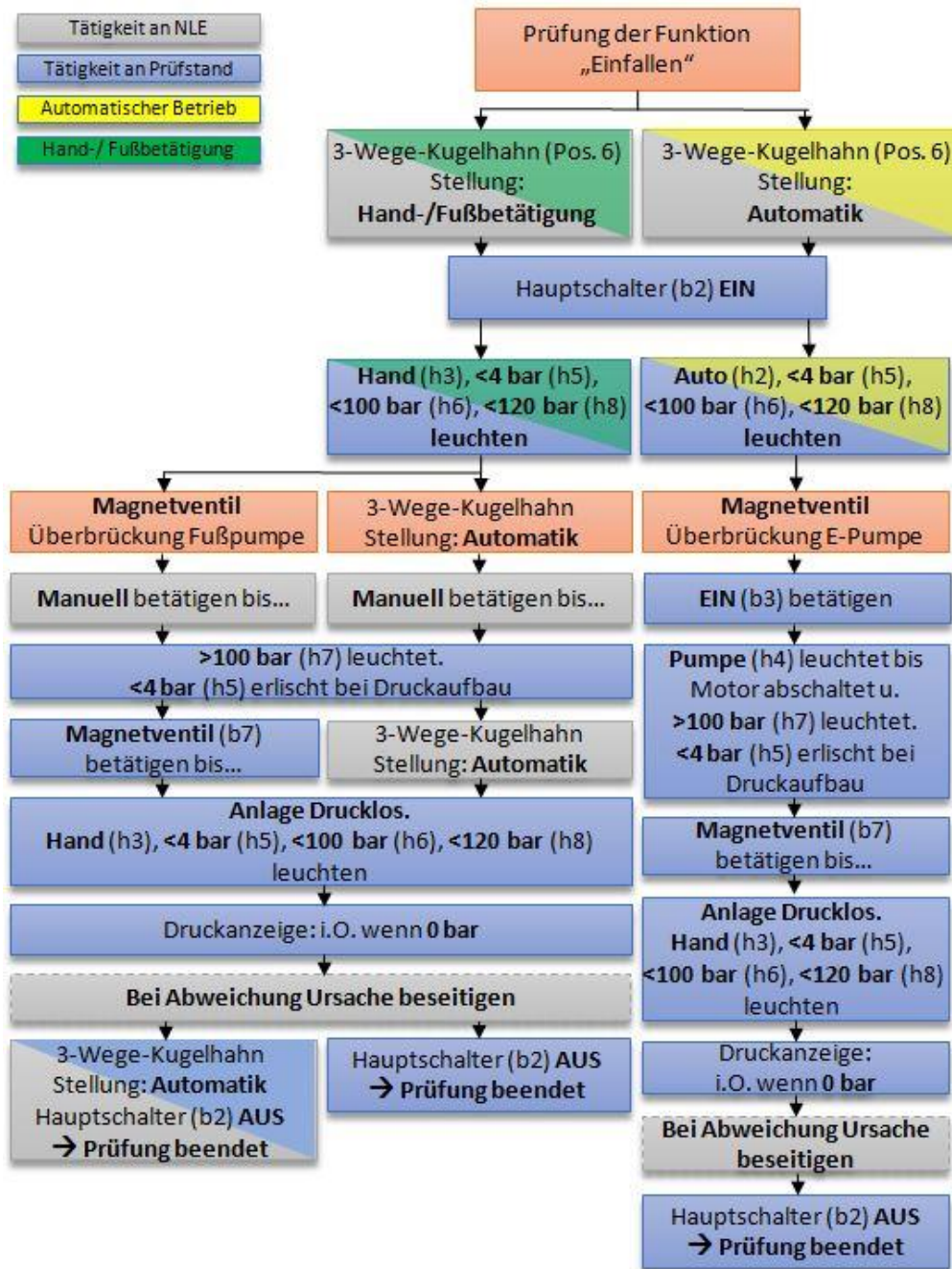


Abbildung 17: Aktueller Prüfablauf der Funktion „Einfallen“

### 3.2.4 Prüfung auf Dichtheit

Zuletzt findet die Prüfung auf Dichtheit der Komponenten statt. Die Prüfung gliedert sich nach den beiden Betriebsarten

- ❑ *Dichtheitsprüfung bei Hand-/ Fußbetätigung*
- ❑ *Dichtheitsprüfung bei Automatikbetrieb*

Die Dichtheit der Komponenten muss geprüft werden, um den Verlust von Hydraulikflüssigkeit ausschließen zu können und bei Auftreten entgegenwirken zu können. Ein weiterer Punkt stellt der sicherheitstechnische Aspekt dar. Austretende Flüssigkeit kann sowohl innerhalb als auch außerhalb der Anlage zu Schäden an Bauteilen und des Bedienpersonals führen. Der Prüfablauf (siehe Abbildung 18) beider Betriebsarten ist annähernd identisch. Als Beispiel wird der Prüfablauf bei manueller Betriebsart erläutert.

Dieser beginnt erneut mit der Wahl der Betriebsart durch Betätigung des 3-Wege-Kugelhahns und darauffolgender Inbetriebnahme durch Einschalten des Hauptschalters (b2). Die Betriebsbereitschaft wird wiederum mit den bereits genannten Leuchten signalisiert. Im Anschluss wird „Tast“ (b5) betätigt. Dieser Taster muss anders als der Taster „Ein“ (b3) betätigt bleiben, damit die Pumpe arbeitet. Während des Pumpenbetriebes leuchtet die Lampe „Pumpe“ (h4) und die Lampe „<4 bar“ (h5) erlischt bei entsprechendem Druck. Der Taster bleibt betätigt, bis „>100 bar“ (h7) leuchtet und im System ein stabiler Druck erreicht ist. Im Anschluss wird der Druck an der Druckanzeige abgelesen, wobei der Sollwert zwischen 95 und 110 bar liegt. Die Druckanzeige wird daraufhin mindestens 18 Minuten beobachtet. Bereits nach 3 Minuten wird dabei ein Wert an der Druckanzeige abgelesen, der in den darauffolgenden 15 Minuten maximal um 5 bar sinken darf. Weicht dieser Wert ab, sind die vorhandenen Undichtigkeiten am Sitzventil zu beseitigen und die Prüfung erneut durchzuführen. Ist der gemessene Wert in der Toleranz, wird das Fluid durch Betätigung des Tasters „Magnetventil“ (b7) zurückgeführt und der Prüfvorgang mit dem Zurückschalten des Hauptschalters (b2) beendet.



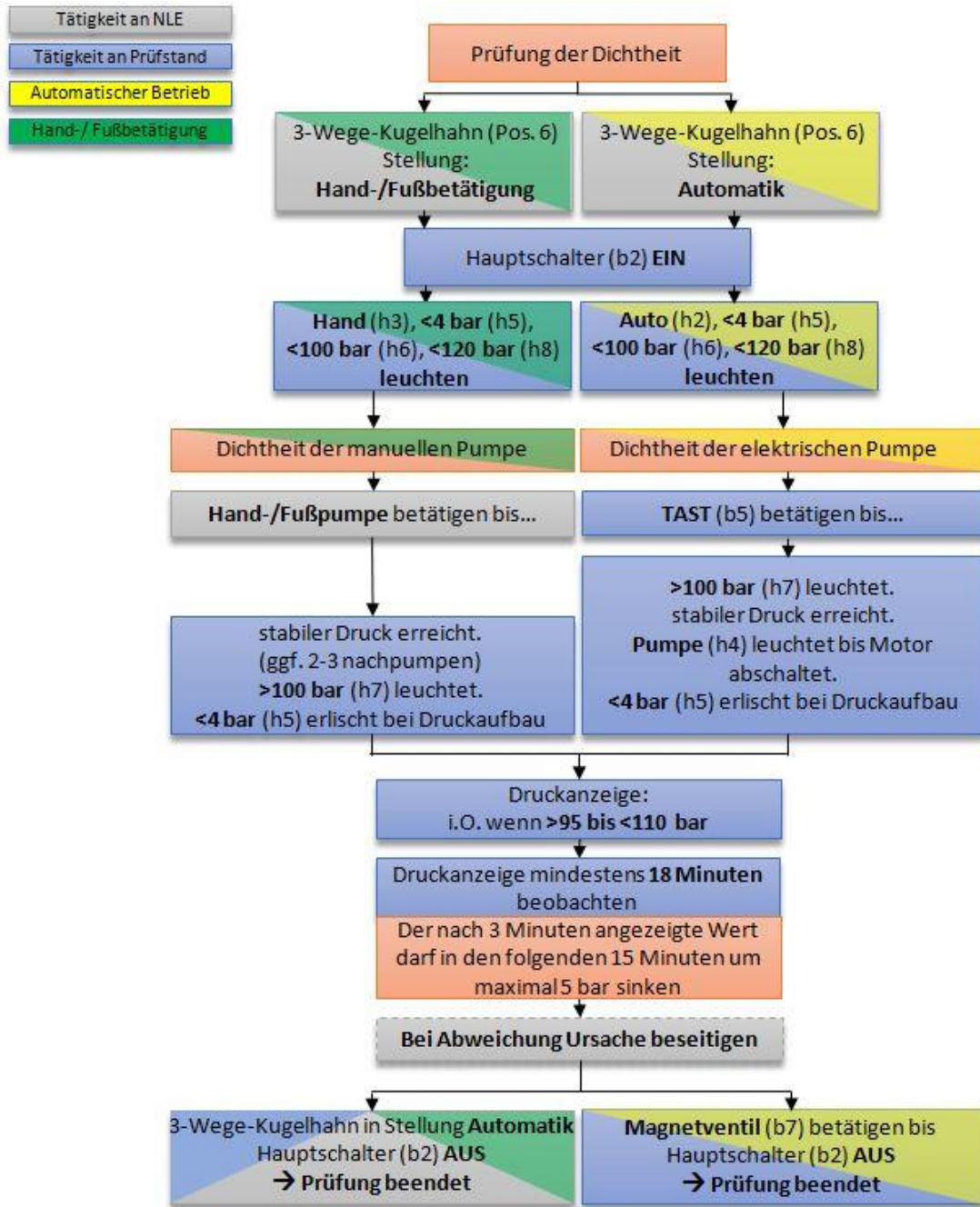


Abbildung 18: Aktueller Prüfablauf für die Dichtheit

## 4 Vorschriften und Richtlinien

Für alle im europäischen Wirtschaftsraum in Verkehr gebrachten Maschinen gilt die Richtlinie 2006/42/EG (EG-Maschinenrichtlinie). Durch diese werden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen an Maschinen definiert nach Artikel 1 der Maschinenrichtlinie, geregelt. Da es sich bei dieser Richtlinie um eine EG-Richtlinie auf Grundlage des Vertrages zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft (EG-Vertrag) handelt, hat diese keine unmittelbare Wirkung und muss in nationales Recht umgewandelt werden. Dies geschieht innerhalb Deutschlands durch das Produktionssicherheitsgesetz (ProdSG) und der darauf basierenden Maschinenverordnung (9. ProdSV). Weitere, dem Anwendungsbereich des Prüfstands möglicherweise entsprechende Richtlinien, werden in Abbildung 19 aufgeführt:

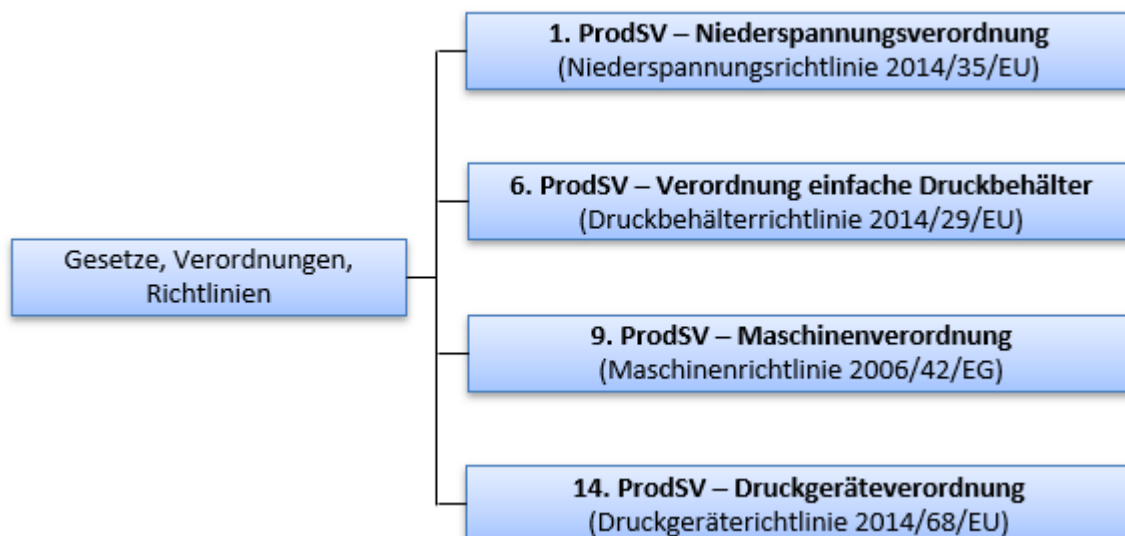


Abbildung 19: Einzuhaltende gesetzliche Vorgaben

## 4.1 Niederspannungsverordnung

Die erste Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz<sup>19</sup> (Verordnung über elektrische Betriebsmittel – 1. ProdSV) gilt nach Abschnitt 1, §1 für „neue elektrische Betriebsmittel [...] sofern diese [...] zur Verwendung bei einer Nennspannung zwischen 50 und 1000 Volt für Wechselstrom und zwischen 75 und 1500 Volt Gleichstrom vorgesehen sind“ (Bundesrepublik Deutschland 2016a). Als allgemeine Sicherheitsziele sind in Anhang 1 der Verordnung „Schutz vor Gefahren, die von elektrischen Betriebsmitteln ausgehen können“ und „Schutz vor Gefahren, die durch äußere Einwirkungen auf elektrische Betriebsmittel entstehen können“ angegeben. Diese werden in der Verordnung detaillierter gegliedert, jedoch so allgemein wie möglich gehalten, um einen gewissen Spielraum zu ermöglichen. Auf Grund der voraussichtlichen Nutzung eines Netzteils und der damit verbundenen Netzspannung von 400 Volt / 16 Ampere ist auf die Umsetzung dieser Verordnung im Konformitätsbewertungsverfahren zu achten.

## 4.2 Einfache Druckbehälterverordnung

Die sechste Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über einfache Druckbehälter – 6. ProdSV) ist nach Abschnitt 1, §1 „auf neue serienmäßig hergestellte einfache Druckbehälter anzuwenden“ (Bundesrepublik Deutschland 2016b). §2 gibt Aufschluss über den Begriff des einfachen Druckbehälters und definiert diesen als „serienmäßig hergestellte geschweißte Behälter, die dazu bestimmt sind, einem relativen Überdruck von mehr als 0,5 bar ausgesetzt zu sein [und] ausschließlich Luft oder Stickstoff aufzunehmen“ (Bundesrepublik Deutschland 2016b). Da die beispielhaft zitierten Punkte nicht mit dem Endprodukt übereinstimmen werden und es zu keiner Verwendung von eigens geschweißten Druckbehältern kommen wird, ist diese Verordnung nicht auf den neuen Prüfstand anzuwenden.

### 4.3 Maschinenverordnung

Die neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung – 9. ProdSV) gilt unter anderem für „Maschinen, auswechselbare Ausrüstungen, [...] Lastaufnahmemittel [und] unvollständige Maschinen“ (Bundesrepublik Deutschland 2011). Als Maschine gilt „eine mit einem anderen Antriebssystem als der unmittelbar eingesetzten menschlichen oder tierischen Kraft ausgestattete oder dafür vorgesehene Gesamtheit miteinander verbundener Teile oder Vorrichtungen, von denen mindestens eines beziehungsweise eine beweglich ist und für eine bestimmte Anwendung zusammengefügt sind“ (Bundesrepublik Deutschland 2011). Da der Prüfstand eine elektrische Energiequelle besitzt und der Prüfstand lediglich in Zusammenhang mit dem Notlöseaggregat, welches für sich selbst der Maschinenverordnung unterliegt, seinen Zweck erfüllt, muss die Maschinenrichtlinie eingehalten werden.

### 4.4 Druckgeräteverordnung

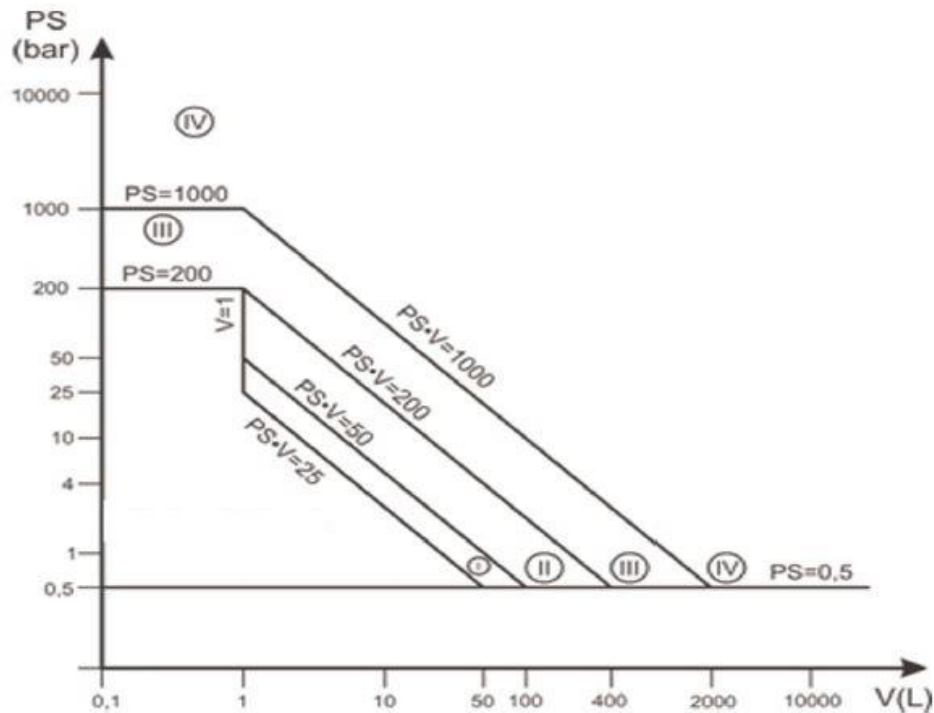
Die vierzehnte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Druckgeräteverordnung – 14. ProdSV) gilt für „[...] neue Druckgeräte und Baugruppen mit einem maximal zulässigen Druck von über 0,5 bar [...]“ (Bundesrepublik Deutschland 2016c). Nach §2 der Verordnung gelten „Behälter, Rohrleitungen, Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion und druckhaltende Ausrüstungsteile [sowie] an drucktragenden Teilen angebrachte Elemente wie Flansche, Stutzen, Kupplungen, Tragelemente [und] Hebeösen“ (Bundesrepublik Deutschland 2016c) als Druckgeräte. Dies bedeutet, dass Ventile ebenfalls unter diese Verordnung fallen. Ausgenommen von dieser Verordnung und damit der Druckgeräterichtlinie (2014/68/EU) sind alle unter die Richtlinie der einfachen Druckbehälter (2014/29/EU) fallenden Komponenten.

Die Druckgeräterichtlinie gibt vor, Druckgeräte in Abhängigkeit ihres Gefahrenpotentials in unterschiedliche Kategorien einzuteilen. Die Einstufung richtet sich nach dem Gefahrenpotential und wird in Art. 13 sowie Anhang II geregelt. Für die Einstufung wird zu Beginn das verwendete Fluid betrachtet. Fluide werden in zwei Gruppen gegliedert:

- ❑ *Fluidgruppe 1: gefährlich eingestufte Fluide*
- ❑ *Fluidgruppe 2: nicht in Gruppe 1 fallende Fluide*

Aufschluss über die Einstufung des genutzten Fluids gibt das aktuelle Sicherheitsdatenblatt. Die Bremsflüssigkeit HB48 ist nach Punkt 2.1 „gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP) als

gefährlich eingestuft“ (Fuchs Schmierstoffe GmbH 2018:1) und fällt somit in Fluidgruppe 1. In Abhängigkeit von der Fluidgruppe wird mit Hilfe von Konformitätsbewertungsdiagrammen (siehe Abbildung 20) und damit einhergehenden Formeln in Anhang II die Kategorie festgelegt.



**Abbildung 20: Konformitätsbewertungsdiagramm (Europäische Union 2014)**

Die Gleichung (4-1), die zur Einstufung eines Druckgerätes zugezogen wird ergibt sich aus dem maximalen Bauteildruck (PS) und dem Nutzvolumen (V) und lautet:

$$PS \cdot V \quad (4.1)$$

Der maximale Bauteildruck des Systems ergibt sich aus der Einstellung der Druckbegrenzungsventile des Notlöseaggregats, wobei 140 bar als maximaler Wert eingestellt ist. Das abzugebende Nutzvolumen V ergibt sich aus der Summe des Leitungsvolumen am Fahrzeug und der Hubvolumina der hydraulischen Notlösezyylinder der Federspeicherbremsen

$$V = V_{\text{Leitung}} + V_{\text{Federspeicher}} \quad (4.2)$$

Für das Leitungsvolumen gilt

$$V_{\text{Leitung}} = l \cdot A \quad (4.3)$$

Die Länge  $l$  ergibt sich durch Summation der Schlauchlängen (siehe Tabelle 7), welche den Komponenten der zugehörigen Stückliste des hydraulischen Schaltplans der DT4-Fahrzeuge zu entnehmen sind.

Lfd.	Benennung	HHA-Zeichnung	Länge [mm]	Anzahl
1	Hochdruckschlauch 78/U7	146256	679	2
2	Hochdruckschlauch 50/H4.2	146273	1165	2
3	Hochdruckschlauch 43/H6.2	146284	895	2
4	Hochdruckschlauch 40/H7.2	146253	5100	2
5	Hochdruckschlauch 52/H5	146282	440	2
6	Hochdruckschlauch 121/H3.1	147417	732	2
7	Hochdruckschlauch 125/H4.1	146261	248	2
8	Hochdruckschlauch 195/H7.1	146259	864	2
9	Hochdruckschlauch 196/H7.3	146258	814	2
10	Hochdruckschlauch 194/H6.1	146271	671	2
11	Hochdruckschlauch 64/H5.1	146281	590	2
12	Hochdruckschlauch 65/H5.2	146285	365	2

**Tabelle 7: Längen der hydraulischen Schlauchleitungen**

Die Gesamtlänge der Schlauchleitungen beträgt somit

$$l = 2 \cdot (679 + 1165 + 895 + 5100 + 440 + 732 + 248 + 864 + 814 + 671 + 590 + 365)$$

$$= 25126 \text{ mm}$$

Die Leitungsquerschnittsfläche  $A$  ergibt sich aus dem Leitungsdurchmesser der hydraulischen Schlauchleitung. Der Nenndurchmesser beträgt 10 mm. Unter Zuhilfenahme der Formel zur Berechnung von Kreisflächen ergibt sich die Querschnittsfläche.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 10^2 \text{ mm}^2}{4} = 78,54 \text{ mm}^2 \quad (4.4)$$

Mit Gleichung 4.2 ergibt sich so das Leitungsvolumen  $V_{\text{Leitung}}$

$$V_{\text{Leitung}} = 25126 \text{ mm} \cdot 78,54 \text{ mm}^2 = 1973391,43 \text{ mm}^3 = 1,973 \text{ L}$$

Das Volumen der Federspeicher-Bremszylinder setzt sich aus dem Produkt der Anzahl an Federspeichern und dem Hubvolumen eines einzelnen hydraulischen Notlösezyinders zusammen

$$V_{\text{Federspeicher}} = x \cdot V_{\text{Hub}} \quad (4.6)$$

Wie bereits beschrieben, werden mit einem Notlöseaggregat sechs Federspeicher-Bremszylinder gelöst. Das Hubvolumen eines Federspeichers beträgt  $V_{\text{Hub}} = 73 \text{ cm}^3$  (vgl. Knorr-Bremse 1999) Für das Gesamtvolumen aller betätigten Federspeicher-Bremszylinder ergibt sich mit Gleichung 4.6 somit

$$V_{\text{Federspeicher}} = 6 \cdot 73 \text{ cm}^3 = 438 \text{ cm}^3 = 0,438 \text{ L}$$

Summiert lässt sich nun mit Gleichung 4.2 das Nutzvolumen  $V$  berechnen

$$V = 1,973 \text{ L} + 0,438 \text{ L} = 2,411 \text{ L}$$

Der mit Gleichung 4.1 berechnete Wert legt abschließend die Kategorie fest, nach welcher die Druckgeräte auf ihre Konformität geprüft werden müssen.

$$140 \text{ bar} \cdot 2,411 \text{ l} = 337,5 \rightarrow \text{Kategorie III}$$

Andere Bauteile, die nach der Berechnung in Kategorie 1 fallen, unterliegen nicht der Druckgeräterichtlinie und werden nach Art. 1, Abs. 2f durch andere Richtlinien erfasst. Abhängig von der zugeordneten Kategorie ergeben sich Module (siehe Abbildung 21), welche auf Qualitätssicherungstechniken basieren und vom Hersteller innerhalb des Unternehmens umgesetzt und nachgewiesen werden müssen. Innerhalb einer Kategorie kann das Konformitätsverfahren jedoch frei gewählt werden.

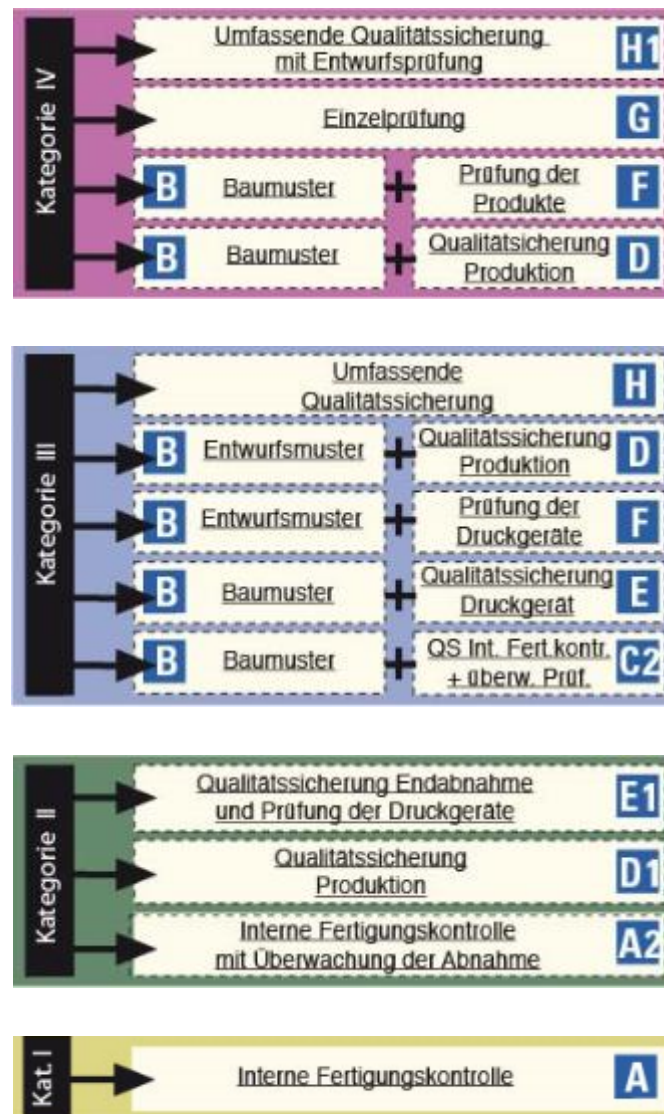


Abbildung 21: Zuordnung der Prüfmodule („Konformitätsbewertungsverfahren“ 2019)

Der Prüfaufbau wird durch die Montage des Notlöseaggregates komplettiert. Das Notlöseaggregat, betrachtet als selbstständiges System, unterliegt eigens den genannten Vorschriften und Richtlinien und ist vom Hersteller entsprechend der Vorgaben zu fertigen. Der Prüfstand als weiteres System unterliegt ebenfalls der Druckgeräteverordnung, da Kupplungen und Schlauchleitungen zum Einsatz kommen. Somit ist ein komplettes Konformitätsbewertungsverfahren bei der HHA durchzuführen.



## 4.5 EG-Konformitätsverfahren

Betriebsmittel (BM), die im Bereich TS entwickelt und genutzt werden, fallen im Allgemeinen in den Anwendungsbereich der gelisteten Richtlinien. Als Betriebsmittel werden unter anderem Werkzeuge, Maschinen, Geräte und Anlagen bezeichnet, welche in den betriebsinternen Werkstätten zum Einsatz kommen. Geräte, die am Fahrzeug montiert sind bzw. auch die Fahrzeuge selbst, fallen nicht in diese Kategorie. Um eine Übereinstimmung mit den jeweiligen Richtlinien nachweisen zu können, muss eine EG-Konformitätsbewertung durchgeführt werden. Zu diesem Zweck wurde für den Bereich TS der HHA ein CE-Koordinator und eine CE-Kommission ernannt, die eine Konformitätsbewertung mit anschließender Konformitätserklärung und CE-Zertifizierung durchführen dürfen. Das Konformitätsbewertungsverfahren bei der HHA folgt dem in Abbildung 22 dargestellten Ablaufschema:



**Abbildung 22: EG-Konformitätsverfahren bei der HHA  
(„EG-Konformitätsverfahren der BF Betriebsmittel“ 2010)**

Die Konformitätserklärung ist ein rechtsverbindlicher Nachweis über die Einhaltung aller sicherheitstechnischen Aspekte des Produktes. Die CE-Kennzeichnung wird vom Hersteller auf dem Produkt befestigt und symbolisiert, dass das Produkt den aus EG-Richtlinien stammenden Verordnungen entspricht. Eine CE-Kennzeichnung ist durch den Hersteller in eigenem Ermessen an dem Produkt anzubringen und dient somit nicht als „Qualitätssiegel“.

Der HHA interne Ablauf beginnt mit einer Betriebsmittelbestellung durch die jeweilige Kostenstelle, sprich Abteilung. Mit einem Auftragsformular und zugehörigem Fragebogen wird die Funktion der Maschine beschrieben und der Fertigungsauftrag geschrieben. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Fertigungsauftrag vernachlässigt, da es sich vorerst um die Entwicklung und Konzeption des Prüfstandes handelt. Der Fragebogen wird durch die Beschreibung der zu entwickelnden Anlage mit zugehörig erarbeiteter Anforderungsliste ergänzt. Darauffolgend findet die erste Sitzung der CE-Kommission statt, initiiert durch den CE-Koordinator. Im Rahmen dieser Sitzung verständigen sich die zugehörigen Mitglieder über das zu entwickelnde Betriebsmittel. Anforderungen und Skizzen werden besprochen und bei Bedarf ergänzend erarbeitet. Zudem wird mit allen Beteiligten eine Gefahrenanalyse sowie Risikoeinschätzung durchgeführt, um möglichst frühzeitig Gefahren aufzudecken und zu vermeiden. In Folge der Sitzung wird das Betriebsmittel geplant und ausgearbeitet. Sind alle Planungsschritte abgeschlossen, wird die zweite Sitzung der CE-Kommission einberufen. Die erarbeiteten Vorschläge werden vorgestellt und die Lösung unter den Aspekten der Wirtschaftlichkeit und Risikominimierung bewertet. Am Ende der zweiten Sitzung steht die vollständige Risikoanalyse. Im Anschluss findet der Bau des Betriebsmittels statt. In der im Anschluss stattfindenden dritten Sitzung der CE-Kommission wird die Umsetzung der in Sitzung zwei beschlossenen Maßnahmen kontrolliert. Zudem wird die Risikoanalyse durch eine Risikobewertung ergänzt und die Risikobeurteilung somit abgeschlossen. Ziel der Sitzung ist, dass das Betriebsmittel nach Abnahme für den vorgesehenen Einsatzbereich sicher ist. Abschließend wird die technische Dokumentation in Form von Betriebsanleitung und EG-Konformitätserklärung vervollständigt und das Betriebsmittel in Betrieb genommen.

#### **4.5.1 Risikobeurteilung**

Die Risikobeurteilung besteht aus der Risikoanalyse und Risikobewertung und ist laut Anhang I, Absatz 1 der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG für den Hersteller einer Maschine verpflichtend, wobei die konkrete, detaillierte Umsetzung offen und dem Hersteller überlassen ist. Die Risikobeurteilung dient der Identifikation, Analyse, Bewertung und Vorbeugung von Risiken, die im Betrieb einer Maschine auftreten können.

Die Risikoanalyse wird auf Basis des erstellten Maschinenkonzeptes in Form eines Brainstormings durchgeführt. Um möglichst alle potenziellen Gefahren in Betracht zu ziehen und vor Beginn der Konstruktion auszuschließen, wird zusätzlich die Checkliste zur Ermittlung mechanischer Gefährdungen nach DIN EN ISO 12100 abgearbeitet. Für den Prüfstand der Notlöseaggregate kommen beispielsweise folgende Gefahrensituationen in Frage:

☐ *Gefahr durch bewegte Transportmittel*

Durch die Zuführung des Notlöseaggregates mittels des Deckenkrans können Gefahren durch herunterfallende Teile auftreten.

☐ *Gefahr durch Umgang mit dem Betriebsmedium*

Die Nutzung von HB48 kann bei Hautkontakt oder Verschlucken zu gefährlichen Situationen führen

☐ *Gefahr durch Überdruck*

Auf Grund der auftretenden Drücke kann es durch Beschädigung der Schlauchleitungen zu Gefahrensituationen kommen

Nach der Konstruktionsphase findet die Risikobewertung, dokumentiert anhand des zugehörigen Formblatts (siehe Abbildung 23), statt. Das Ziel der Risikobewertung ist die Ermittlung einer Risikozahl, anhand derer ein Risiko beurteilt werden soll. Die Risikozahl ergibt sich aus dem Produkt der Zahlen von „Gefahrenstufe“ und „Häufigkeit“.

Dokumentation der Risikobeurteilung																
Datum:		Betriebsmittelbezeichnung:						Equipment-Nr.:								
Beteiligte Personen:																
Nr.	Gefahr/ Betrachtungsbereich	X Gefahr aus Arbeitsumgebung (X=Ja)	Lebensphase					Gefahrenstufe	Häufigkeit	Risikozahl vor einer Maßnahme	Sicherheitsmaßnahme	Gefahrenstufe	Häufigkeit	Risiko-Zahl nach der Maßnahme	Anmerkung z.B. für die Betriebsanleitung	angewandte Normen/ Vorschriften
			Abstellen/ Transport/ Rüsten	Betrieb	Inspektion	Reinigung/ Wartung	Instandsetzung/ Reparatur									
Nr.	Gefahr/ Bereich	X	Lebensphase					G	H	R	Maßnahme	G	H	R	Anmerkung	Vorschrift

**Abbildung 23: Formblatt zur Risikobewertung bei der HHA („EG-Konformitätsverfahren der BF Betriebsmittel“ 2010)**

Die Vergabe der Zahlen für die Kategorie „Gefahrenstufe“ und „Häufigkeit“ ergibt sich aus einer Risiko-Matrix (siehe Abbildung 24). Die „Häufigkeit“ wird dabei in fünf Kategorien von 1 („nahezu unvorstellbar“) bis 5 („immer“) gegliedert. Die „Gefahrenstufe“ wird hingegen in die Zahlen 1, 2, 4, 6 und 8 gegliedert, von „unbedeutend“ bis „katastrophal“. Die Gefahr beinhaltet somit eine größere Gewichtung und erfordert auch bei geringer Häufigkeit eine Gegenmaßnahme. Für die am Ende feststehenden Risikozahlen, ergeben sich somit Werte zwischen 1 und 40.

Häufigkeit	5 immer	5	10	20	30	40
	4 oft	4	8	16	24	32
	3 gelegentlich	3	6	12	18	24
	2 sehr selten	2	4	8	12	16
	1 nahezu unvorstellbar	1	2	4	6	8
		1 unbedeutend	2 marginal	4 erheblich	6 immens	8 katastrophal
<b>Gefahrenstufe</b>						
<b>Risikokategorien</b>		<b>Mindestmaßnahmen</b>				<b>max. Risiko</b>
nichtig		Das Risiko bedarf keiner weiteren Beachtung.				2
vernachlässigbar		Es muss mindestens eine Benutzerinformation erfolgen.				4
tolerabel		Es ist mindestens eine Schutzvorrichtung vorzusehen.				8
unerwünscht		Es ist mindestens eine konstruktive Maßnahme zur Behebung notwendig				12
intolerabel		Das Risiko muss unbedingt minimiert werden, die Maschine darf nicht in den Betrieb genommen werden				40
<b>Gefahrenstufe</b>		<b>Beschreibung der Gefahrenstufe</b>				
1 unbedeutend		kein Personenschaden, geringer Sachschaden				
2 marginal		leichte, reversible Verletzung (z.B. blauer Fleck) und/ oder mittlerer Sachschaden				
4 erheblich		schwere, noch reversible Verletzung (z.B. Krankschreibung, Armbruch) und/ oder erheblicher Sachschaden				
6 immens		schwere, irreversible, lebensgefährliche Verletzung (z.B. abgetrennte Gliedmaßen, Stromschläge) und/ oder enormer Sachschaden				
8 katastrophal		getötete Personen und/ oder katastrophaler Sachschaden (z.B. Zerstörung der Werkstatt)				
<b>Gefahrenstufe</b>		<b>Beschreibung der Häufigkeit</b>				
1 nahezu unvorstellbar		Diese Gefahr tritt nur in absoluten Ausnahmefällen auf.				
2 sehr selten		Diese Gefahr kann manchmal während des Lebenszyklus auftreten.				
4 gelegentlich		Mit dem Auftreten der Gefahr ist ab und an zu rechnen.				
6 oft		Mit dem Eintreten der Gefahr muss gerechnet werden.				
8 immer		Die Gefahr tritt bei jeder Verwendung ein.				

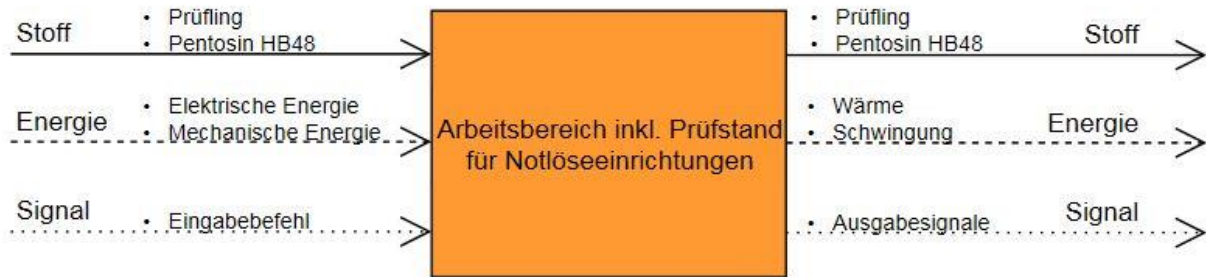
Abbildung 24: Risiko-Matrix

## 5 Konzeptionelle Vorbetrachtungen

Die elektrische Maschine dient der Prüfung und Einstellung (siehe Kapitel 3.2) von Notlöseaggregaten für Schienenfahrzeuge des Typs DT4 und ist für den stationären Gebrauch in der Pneumatik/Hydraulik-Werkstatt der HHA vorgesehen. Der vorhandene, mobile Prüfstand soll mindestens voll funktionsumfänglich ersetzt werden. Neben der Prüftätigkeit an den genannten Notlöseaggregaten soll eine Arbeitsfläche mit Fixiermöglichkeiten geschaffen werden, um Notlöseaggregate anderer Fahrzeugtypen und somit anderer Baugrößen bearbeiten zu können. Neben den Prüftätigkeiten ist eine Möglichkeit zur Neubefüllung, Zwischenlagerung und Entsorgung des Betriebsmediums HB48 vorzusehen. Um einen Überblick über mögliche Funktionsweisen zu erhalten und Anforderungen festzulegen werden in diesem Kapitel konzeptionelle Vorbetrachtungen getätigt.

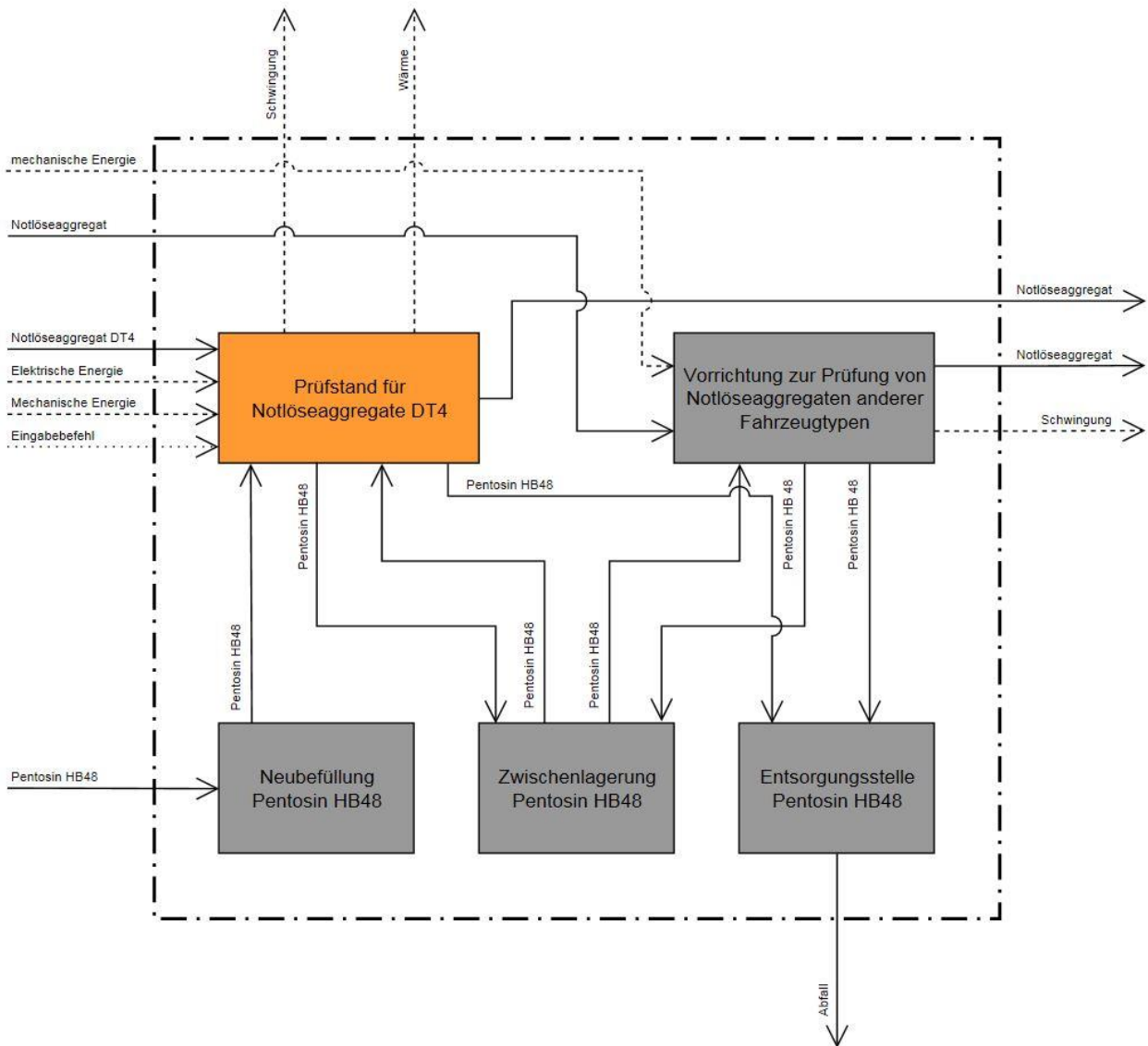
### 5.1 Funktionsstruktur

Um das technische System „Prüfstand“ zu abstrahieren und die Wirkzusammenhänge zwischen Ein- und Ausgangsgrößen zu verdeutlichen, wird eine Funktionsstruktur in Form einer Black Box erstellt. Die Black Box steht dabei stellvertretend für das technische System, wobei als Ein- und Ausgänge an den Systemgrenzen die allgemeinen Größen Stoff, Energie und Signal anliegen. Ziel der Funktionsstruktur ist es, die Komplexität der Konstruktionsaufgabe zu minimieren und den Fokus auf die grundlegenden Funktionen zu legen. Für den kompletten Arbeitsbereich, in dem sich der Prüfstand letztendlich befinden wird, ergibt sich die Funktionsstruktur, die in Abbildung 25 dargestellt wird. Dieser ist zu entnehmen, dass dem Gesamtsystem Stoff in Form von den zu prüfenden Notlöseaggregaten und bei Bedarf Bremsflüssigkeit HB48 zugeführt wird. HB48 wird im Fall einer Neubefüllung der Notlöseaggregate benötigt. Neben den genannten Stoffen wird dem System die benötigte elektrische Energie zugeführt, sowie mechanische Energie in Form von Bewegungsenergie durch den Anwender bei manueller Betätigung. Für den Fall der Prüfung der E-Pumpe benötigt das System Eingabebefehle. Am Ende des Systems stehen die überarbeiteten Notlöseaggregate, sowie zu entsorgende Bremsflüssigkeit. Während des Gesamtprozesses entstehen zudem Wärme und zwangsläufig Schwingungen. Weiterhin werden beim Prüfprozess Ausgangssignale generiert, die den Status mit Hilfe von Leuchtmitteln anzeigen.



**Abbildung 25: Funktionsstruktur – Prüfstand als Black Box**

Da sich die Black Box im ersten Schritt lediglich als Vereinfachung des Gesamtprüfstandes darstellt, folgt im nächsten Schritt die Betrachtung in die innere Wirkweise der Black Box und somit in die erste Ebene der Funktionsstruktur. Dort werden Teilfunktionen und deren Zusammenhänge sichtbar, wobei als Größen weiterhin die oben genannten dienen. In Abhängigkeit von der Komplexität des Gesamtsystems können beliebig viele Abstufungen der Funktionsstruktur vorgenommen werden. Die Festlegung liegt dabei im Ermessen des Konstrukteurs. Als erste Ebene wird der gesamte Arbeitsraum betrachtet und die entsprechende Funktionsstruktur (siehe Abbildung 26) erstellt. Die Abbildung zeigt die Komponenten des gesamten Arbeitsraumes, dessen Bestandteil der Prüfstand für die DT4-Notlöseaggregate ist und deren Wirkzusammenhänge. Neben dem genannten Prüfstand beinhaltet der Arbeitsbereich sowohl weitere Arbeits- und Ablageflächen, inklusive Vorrichtungen zum Spannen und Bearbeiten von Notlöseaggregaten anderer Fahrzeugtypen, sowie Befüll-/ Lager- und Entsorgungsmöglichkeiten für das Betriebsmedium HB48. So soll gewährleistet sein, alle mit HB48 in Verbindung stehenden Arbeitsschritte standortbezogen durchführen und einen möglichst sicheren und verlustfreien Umgang mit dem Fluid erzielen zu können. Dem Arbeitsbereich muss, neben den zu prüfenden Notlöseaggregaten, sowohl elektrische Energie zum Test elektrischer Komponenten, als auch mechanische Energie, bei manueller Betätigung, zugeführt werden. Als Nebenprodukt entstehen dabei Wärme und Schwingungen, die vom Gesamtsystem ausgegeben werden. Am Ende stehen die instandgesetzten Notlöseaggregate.



**Abbildung 26: Erste Stufe der Funktionsstruktur - Gesamtaufbau**

In der nächsten Abstufung und somit zweiten Ebene der Funktionsstruktur (siehe Abbildung 27) wird lediglich der Prüfstand für die Notlöseaggregate der DT4-Fahrzeuge, somit primärer Bestandteil dieser Arbeit, genauer betrachtet. Aus dem oberen Pfad geht hervor, dass dem Prüfstand elektrische Energie zugeführt wird, die von einem Transformator in die benötigte Spannung bzw. den benötigten Strom umgewandelt wird. Dieser generiert Wärme, welche abgeführt wird und elektrische Energie, die in Richtung der Bedieneinheit geleitet wird. Neben der elektrischen Energie erhält die Steuereinheit Signale, in Form von Eingabebefehlen. Die Bedieneinheit wiederum gibt elektrische Energie und das Signal, resultierend aus dem Eingabebefehl, an den Prüfvorgang bzw. das zu prüfende Notlöseaggregat weiter. Neben der zugeführten elektrischen Energie wird dem Prüfstand die Notlöseeinheit und mechanische Energie zugeführt. Dies geschieht in Form der Einspannung des Notlöseaggregates in der zugehörigen Aufnahme. Zudem wird das Notlöseaggregat mit dem hydraulischen Anschluss des

Prüfstands gekuppelt. Nach der Einspannung kann das Betriebsmedium entsprechend gewechselt werden. Der Prüfvorgang, selbstständig betrachtet, gibt Signale an die Bedieneinheit zurück, welche in der Ansteuerung unterschiedlicher Leuchtmelder resultieren. Weiterhin wird Wärme und Schwingung abgegeben. Ebenfalls kann es zu Verlusten von Bremsflüssigkeit kommen, welche jedoch möglichst vermieden werden sollten. Um Einstell- und Prüfmaßnahmen durchzuführen wird dem Prüfvorgang wiederholt mechanische Energie zugeführt.

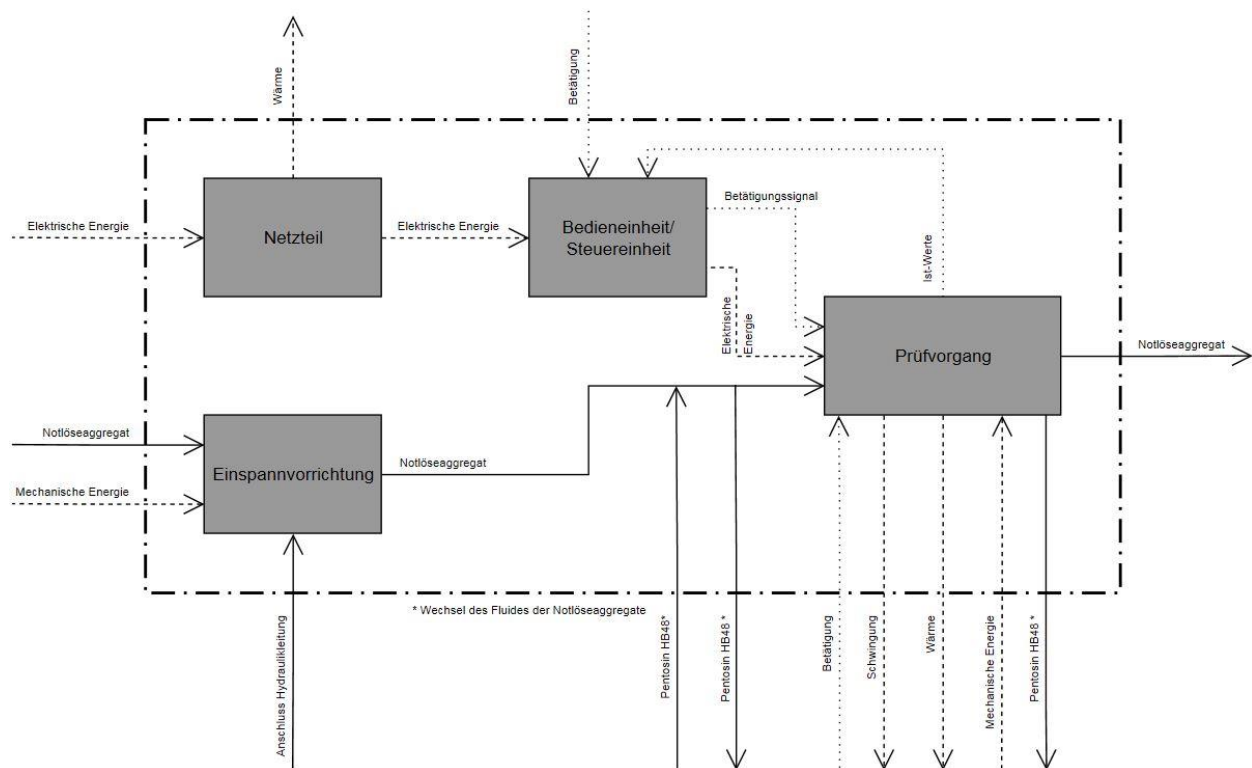


Abbildung 27: Funktionsstruktur – DT4 Prüfstand

## 5.2 Anforderungsliste

Für den Entwicklungsprozess ist es nötig, Forderungen und Wünsche in Bezug auf das Endprodukt festzuhalten. Um dies in übersichtlicher und geordneter Form darzustellen und eine systematische Zusammenstellung zu erhalten, wird eine Anforderungsliste angelegt. Dabei ist es wichtig, das Auftreten von Missverständnissen zu vermeiden und die Einträge der Anforderungsliste möglichst präzise und unter Angabe von Zahlenwerten zu formulieren. Die im Folgenden erstellte Anforderungsliste weicht, auf Grund einiger nicht vorhandener Anhaltswerte, von den genannten Regeln ab. Da eine Anforderungsliste ständiger Änderung unterliegt, ist es wichtig diese zu dokumentieren. In diesem Rahmen können bereits gelistete Punkte bei Bedarf ebenfalls konkretisiert werden. Die in der Anforderungsliste beschriebenen Punkte werden in Forderungen und Wünsche unterteilt, lassen sich jedoch beliebig um weitere Kategorien



erweitern. Als Beispiel sei die Unterteilung der Wünsche in eine Rangfolge von 1 („wenn möglich“) bis 4 („sehr wichtig“), oder die Einführung einer weiteren Kategorie „optional“ erwähnt. Forderungen müssen in jedem Fall vom Produkt erfüllt werden, sollten jedoch auf das Nötigste reduziert werden, damit hoher Arbeits- und Kostenaufwand minimiert werden kann. Wünsche sollten nach Möglichkeit umgesetzt werden.

Die erstellte Anforderungsliste für den Prüfstand ist Anhang B zu entnehmen. Im Folgenden sind die wichtigsten Anforderungen stichpunktartig aufgelistet:

- Elektrische Maschine zur Prüfung von Notlöseaggregaten von DT4-Fahrzeugen
- Stationäre Maschine
- Grundfläche maximal 3000 mm x 3200 mm
- Spannungsversorgung: Drehstrom 400V | 16A
- Beständig gegenüber Bremsflüssigkeit Pentosin HB 48
- Prüfungen nach Durchführungsanweisungen müssen gewährleistet sein
- Einfache Befestigung der Notlöseaggregate
- Ablage und Schutz vor Verschmutzungen von hydraulische Komponenten

### 5.3 Automatisierung des Prüfprozesses

In Zeiten voranschreitender Digitalisierung und dem damit verbundenen Begriff „Industrie 4.0“ ist es naheliegend in dem Entwicklungsprozess eine Automatisierung von Prüfprozessen zu betrachten, um darauf aufbauend einen Prüfstand zu konzipieren. Automatisierung erlaubt es, Prozesse ohne menschliches Beisein zu steuern, zu überwachen und zu regeln. Dadurch können Ressourcen eingespart und effektiver genutzt werden. Die Produktivität erhöht sich unter Verringerung von auftretenden Fehlern und der Mensch wird durch die Abnahme körperlicher Belastungen und eintöniger Arbeiten entlastet. Dabei ist zwischen teilautomatisierten und vollautomatisierten Prozessen zu unterscheiden. Teilautomatisierte Prozesse zeichnen sich dabei durch einen höheren Grad manueller Eingriffe aus als vollautomatisierte Prozesse. Wird beispielsweise der zu entwickelnde Prüfstand betrachtet, so ermöglicht ein teilautomatisierter Prozess sowohl eine manuelle Zuführung und Entnahme des Notlöseaggregates als auch eine manuelle Bedienung des Prüfstandes an geeigneten Prozesspunkten. Bei einem vollautomatisierten Prozess hingegen, würden die genannten Tätigkeiten entfallen und der

Prüfvorgang entsprechend komplett von der Maschine übernommen. Wird der Prüfprozess, dem ein Notlöseaggregat unterliegt, betrachtet, muss eine Sinnhaftigkeit der Prüfplatzautomatisierung im Rahmen dieser Arbeit hinterfragt werden. Angefangen bei der Zuführung und Entnahme der Prüflinge wird deutlich, dass ein vollautomatisierter Prozess keinen Mehrwert mit sich bringen würde. Auf Grund der geringen Prüfmenge und schlecht planbaren Prüfintervalle ist es aus wirtschaftlicher und funktioneller Sicht nicht sinnvoll, den Arbeitsbereich für einen vollautomatisierten Betrieb umzubauen. Wird die bereits genannte Definition des teilautomatisierten Prozesses herangezogen, so kann man den aktuellen Stand bereits als teilautomatisierte Prüfeinrichtung betrachten. Nach manueller Zuführung und Einrichtung des Notlöseaggregates werden die einzelnen Prüfabläufe, sofern der automatische Betrieb des Notlöseaggregates eingestellt ist, durch manuelle Betätigung an der Bedieneinheit gestartet und automatisch durchlaufen. Nach Erreichen bestimmter Sollwerte und somit Prozesspunkte können einige Betriebsgrößen, wie zum Beispiel der Betriebsdruck, durch weiteren manuellen Prozesseingriff geändert werden. Fazit ist, dass der bereits vorhandene Prüfstand als teilautomatisiert betrachtet werden kann und ein Umstieg auf einen vollautomatisierten Prozess keine Vorteile mit sich bringen würde. Der gesamte Ablauf könnte jedoch beispielsweise um weitere Funktionen, wie eine automatische Erstellung von Prüfprotokollen ergänzt werden.

## **5.4 Bauraum/Bauweise**

Ziel der Konstruktion ist ein Prüfplatz, der die gestellten Anforderungen bestmöglich erfüllt. Auf Grund der großen Bauraumfläche gibt es kaum Einschränkungen in der Umsetzung. Diese treten jedoch mit der Betrachtung kleinerer Teilsysteme vermehrt auf. Wird das hydraulische System separat betrachtet, so gibt es nur wenige Aggregatsvarianten, die für den vorliegenden Anwendungsfall Sinn machen. Das Gleiche gilt ebenfalls für die elektrischen Komponenten, deren Auswahl durch die vorgegebenen Rahmenbedingungen ebenfalls stark eingeschränkt werden.

Auf Grund der zur Verfügung stehenden Größe des Bauraumes, kann als Grundgestell ein Aufbau verwendet werden, der dem Prüfer eine ergonomisch gute Arbeitshaltung ermöglicht. Zudem kann dem Prüfbereich zusätzlicher Arbeitsplatz für Notlöseaggregate, welche im Prüfprozess auffällig waren, zur Verfügung gestellt werden, um diese am selben Standort instand zu setzen. Somit kämen Werkbänke oder Tische aus Edelstahl in Frage, welche ebenfalls beständig gegenüber HB48 sind. Auf Grund unterschiedlicher zur Verfügung stehender Ausführungen ist das Grundgestell frei konfigurierbar, sodass neben der Arbeitsplattengröße

auch Unterbauten in Form von Schubladen, Schränken und weiteren Ebenen gewählt werden können.

Durch die genannten Konfigurationsmöglichkeiten stellen sich unterschiedliche Montagesituationen für die hydraulischen und elektrischen Komponenten dar. Für den hydraulischen Aufbau kommen somit vier Bauweisen in Betracht. So können hydraulische Aufbauten beispielsweise in der *aufgelösten Bauweise* realisiert werden. Bei dieser Bauweise werden Standardkomponenten durch Schlauch- oder Rohrleitungen miteinander verbunden. Dies führt zu einem Aufbau, welcher beliebig ausgeführt und der Bauraum individuell gestaltet werden kann. Von Nachteil hierbei ist jedoch die hohe Anzahl an Dichtflächen, die beispielsweise durch die Rohrverbindungen auftreten und zu einem Ausfluss des Fluids führen können.

Als weitere Bauweise steht die *Blockbauweise* zur Verfügung. Realisiert wird diese durch einen Verteilerblock, der die einzelnen Ventile durch Bohrungen verbindet und sich durch ihre kompakte Bauweise mit wenig Dichtflächen bei großer individuell anpassbaren Funktionsvielfalt auszeichnet. Nachteil der Blockbauweise stellen die Blockkonstruktionen dar, welche je nach Anwendungsfall jeweils ein Unikat sind.

Eine weitere Bauweise ist das *Kompaktaggregat/Microaggregat*. Diese Aggregate beinhalten eine Kombination aus Motor, Pumpe, Ventilblöcken und Vorratsbehälter beinhalten. Gekennzeichnet ist diese Bauweise ebenfalls durch seine kompakte Bauform und die modulare Bauweise, welche durch standardisierte Verkettungsblöcke realisiert werden kann. Diese sind jedoch nur in geringer Auswahl, was als Nachteil gewertet werden kann.

Als vierte Bauweise kommen *Unter-Öl-Aggregate* in Frage. Bei dieser Bauweise sind die Komponenten im Fluid untergebracht, wodurch eine kompakte Bauform realisiert werden kann. Nachteilig an diesem System ist, dass nicht alle Komponenten beständig gegenüber dem Betriebsmedium sind.

Für den speziell vorliegenden Anwendungsfall kommen somit lediglich die zweite oder dritte Bauweise in Frage. Ebenfalls kann eine Kombination aus beiden in Betracht gezogen werden, um das Austrittsrisiko des Betriebsmittels Pentosin HB48 mit einer möglichst geringen Anzahl an Dichtflächen im Aufbau zu minimieren.

Die Auswahl der elektrischen Komponenten wird durch die Eingangsspannung der in den Notlöseaggregaten montierten Komponenten vorgegeben. So benötigen die Elektromotoren der Notlöseaggregate jeweils eine Versorgungsspannung von 24 V Gleichstrom. Als Sonderfall kann der Motor der Notlöseaggregate der dritten Generation angesehen werden, der im Betrieb eine maximale Leistung von 2,2 kW generieren kann. Anhand dieser Kennwerte kann ein zugehöriges Netzteil gewählt werden.

## 5.5 Hydraulischer Schaltplan

Der hydraulische Schaltplan und die hydraulischen Komponenten, welche zur Prüfung der Notlöseaggregate erforderlich sind, können vom vorhandenen Prüfstand übernommen werden und setzen sich aus dem Hydrospeicher und einem Druckmessumformer zusammen. Durch die Erweiterung der hydraulischen Komponenten um eine Möglichkeit der Umfüllung des Betriebsmediums werden der hydraulische Schaltplan und analog dazu der hydraulische Aufbau erweitert. Dem erweiterten hydraulischen Schaltplan (siehe Abbildung 28) kann entnommen werden, dass die Umfüllstation aus drei Vorratsbehältern besteht, jeweils einen für neues Fluid, einen als Zwischenlager und einen für das alte Fluid. Zufluss und Rückfluss des neuen und des zwischengelagerten Betriebsmediums werden jeweils durch ein elektrisch betätigtes, federrückgestelltes 4/2-Wege-Ventil (Pos. 1 und 2), welches in Ruhestellung geschlossen ist, geregelt. Daran anschließend befindet sich eine Motor-Pumpen-Kombination (Pos. 4), welche das Fluid aus dem jeweiligen Tank fördert. Das Fluid läuft zum elektrisch betätigten, federrückgestellten 3/2-Wegeventil (Pos. 6). Ist es betätigt, wird die Verbindung zum 3/2-Wege-Ventil (Pos. 7) geöffnet. Dieses ist für die Betriebswahl „prüfen“ oder „umfüllen“ zuständig, wobei im Ruhezustand im Betriebsmodus „prüfen“ aktiv ist. Bei Rückfluss des Fluides und somit Ablassen aus dem Notlöseaggregat wird Pos. 6 nicht betätigt. Das Fluid läuft bis zum 3/2-Wege-Ventil (Pos. 3), welches den Rückfluss in den Altbehälter oder den Zwischenlagerungsbehälter regelt. Parallel zu Pos. 3 wird das elektrisch betätigte, federrückgestellte 2/2-Wege-Ventil, welches in Ruhelage geschlossen ist, angesteuert, damit das Fluid und auch der Druck aus dem System abgelassen werden kann.

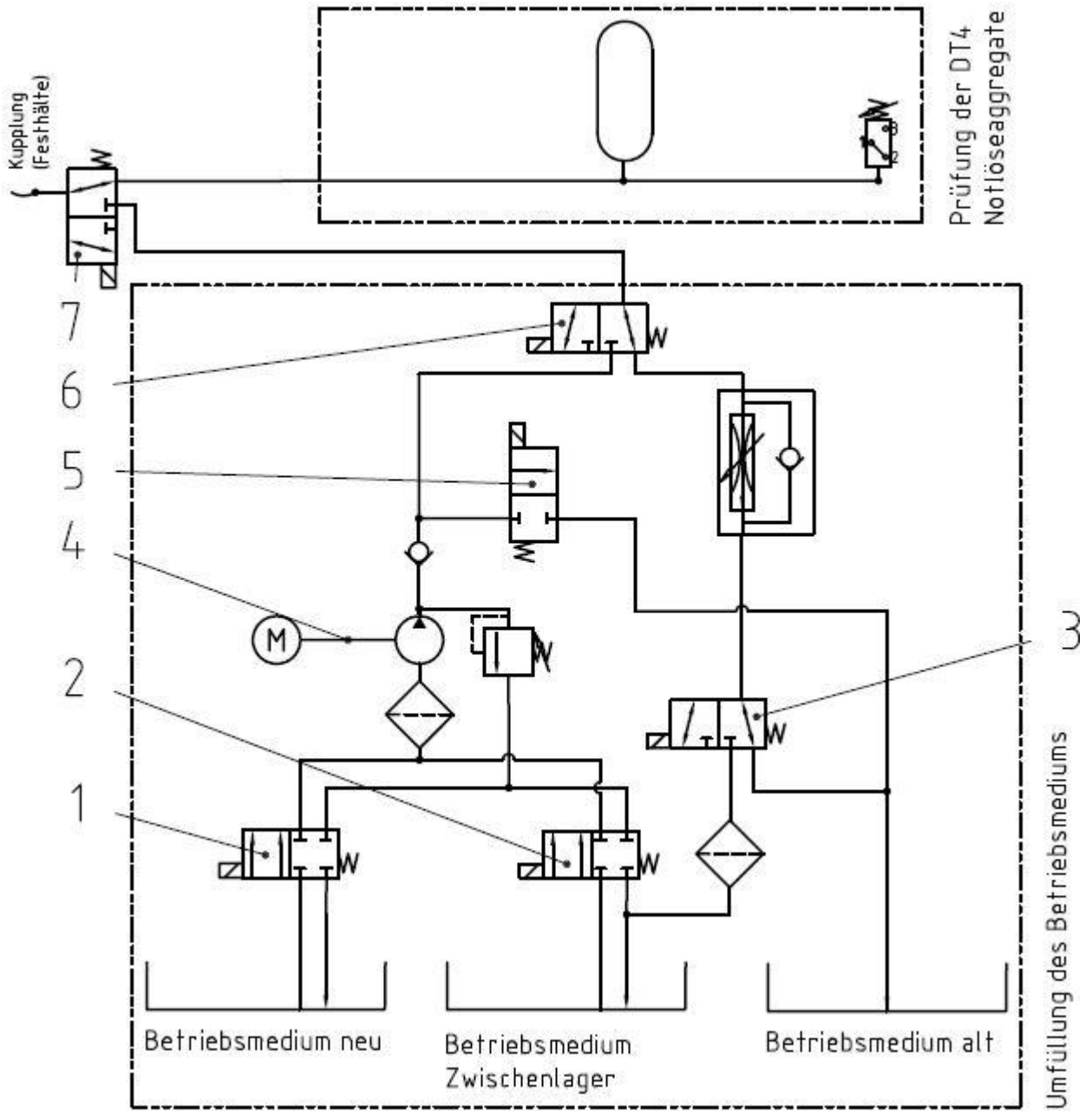


Abbildung 28: Erweiterter hydraulischer Schaltplan des Prüfstands

## 6 Konstruktive Umsetzung

Basierend auf den im vorherigen Kapitel systematisch entwickelten Grundlagen soll der neue Prüfstand entwickelt werden. Bevor jedoch eine Festlegung in der Detailkonstruktion erfolgt, sind einige Rahmenparameter zu definieren, auf dessen Grundlage eine Komponentenauswahl erfolgen kann.

### 6.1 Hydrospeicher

Der bereits in Kapitel 3.1.1. betrachtete Hydrospeicher wird im neuen Prüfstand ebenfalls benötigt. Es kommt erneut ein Kolbenspeicher zum Einsatz, dessen Auswahl auf vorhandenen Systemparametern beruht. Wichtige, zur Auslegung benötigte Parameter sind minimaler  $p_1$  und maximaler  $p_2$  Arbeitsdruck, das abzugebende Nutzvolumen  $V$ , sowohl die minimale als auch maximale Arbeitstemperatur ( $T_1$  und  $T_2$ ) und der Polytropenexponent  $n$ . Der minimale Arbeitsdruck  $p_1$  ergibt sich aus dem minimalen hydraulischen Notlösedruck des Federspeicher-Bremszylinders und beträgt 90 bar (vgl. Knorr-Bremse 1999). Der maximale Arbeitsdruck  $p_2$  und das Nutzvolumen  $V$  sind der Berechnung in Kapitel 4.4 zu entnehmen. Der Temperaturbereich ( $T_1$  und  $T_2$ ) ist in der Stückliste des hydraulischen Schaltplans für DT4- Fahrzeuge festgelegt und liegt zwischen  $-30^\circ\text{C}$  und  $+70^\circ\text{C}$  (vgl. Linke-Hoffmann-Busch GmbH 1987). Der Polytropenexponent  $n$  ergibt sich aus der thermodynamischen Zustandsänderung, welcher beim Laden und Entladen der Speicherblase durchlaufen und dem Gas, welches in der Speicherblase genutzt wird. Die polytrope Zustandsänderung beschreibt den Wärmeaustausch bei Nutzung der Speicherblase. Wird die Speicherblase über einen längeren Zeitraum befüllt, so kann die Gasfüllung Arbeit und Wärme vollständig mit der Umgebung austauschen. Dieser Vorgang wird als isotherme Zustandsänderung bezeichnet. Bei schnellen Lade- und Entladezeiten kann kein vollständiger Wärmeaustausch stattfinden und es erfolgt lediglich ein Arbeitsaustausch. Diese Zustandsänderung wird als adiabat bezeichnet. Da die Zustandsänderung bei einem Befüllvorgang selten vollständig isotherm oder adiabat abläuft, muss die polytrope Zustandsänderung betrachtet werden. Um das zu berücksichtigen wird der Polytropenexponent benötigt. Dieser liegt für Stickstoff bei  $n = 1,4$  (Watter 2017:168).

Um nun eine passende Hydrospeichergröße zu ermitteln, werden das zugehörige notwendige Gasvolumen  $V_0$  und der Gasfülldruck berechnet. Die Berechnungen beruhen dabei auf Empfehlungen von Speicherherstellern, um eine hohe Lebensdauer der Blase zu erreichen. Der Gasfülldruck wird zunächst bei maximaler Arbeitstemperatur  $T_2$  festgelegt, sodass gilt

$$p_0 \text{ bei } T_2 \approx 0,9p_1 \quad (6.1)$$

Mit Gleichung 6.1 und Einsetzen des minimalen Arbeitsdruckes  $p_1 = 90 \text{ bar}$  ergibt sich der empfohlene Gasfülldruck bei einer Arbeitstemperatur von  $T_2 = +70^\circ\text{C}$

$$p_0 \text{ bei } T_2 \approx 0,9 \cdot 90 \text{ bar} = 81 \text{ bar}$$

Da das Füllen und Kontrollieren des Gasfülldrucks meistens bei Raumtemperatur  $T_{\text{Raum}} = 20^\circ\text{C}$  erfolgt, wird der Gasdruck entsprechend umgerechnet. Der Gasvorfülldruck ist dann

$$p_0 \text{ bei } T_{\text{Raum}} = p_0 \text{ bei } T_2 \cdot \frac{T_{\text{Raum}}}{T_2} \quad (6.2)$$

Mit Umrechnung der Celsius- Temperaturen in Kelvin-Temperaturen ergibt sich aus Gleichung 6.2

$$p_0 \text{ bei } T_{\text{Raum}} = 81 \text{ bar} \cdot \frac{(273 + 20)\text{K}}{(273 + 70)\text{K}} = \mathbf{69,2 \text{ bar}}$$

Neben der Festlegung des Gasfülldrucks ist das primäre Auswahlkriterium eines Hydrospeichers das Gasvolumen  $V_0$ . Für das Gasvolumen gilt

$$V_0 = \frac{V \cdot \frac{p_1}{p_0 \text{ bei } T_2}}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad (6.3)$$

Durch Einsetzen der bekannten Parameter in Gleichung 6.3 ergibt sich

$$V_0 = \frac{2,411\text{L} \cdot \frac{90 \text{ bar}}{81 \text{ bar}}}{1 - \left(\frac{90 \text{ bar}}{140 \text{ bar}}\right)^{\frac{1}{1,4}}} = 9,89 \text{ L}$$

Auf Basis des Gasvolumens  $V_0$  kann daraufhin aus Herstellerdatenblättern ein passender Hydrospeicher gewählt werden. Wichtig ist dabei, dass das im Datenblatt angegebene effektive Gasvolumen größer als das berechnete Gasvolumen ist. Bei dem in diesem Fall gewählten Hydrospeicher handelt es sich um einen Kolbenspeicher der Firma Hydac. Dieser hat ein Nenn-Gasvolumen von 10 Litern und ist für einen maximalen Betriebsdruck von 350 bar ausgelegt.

## 6.2 Elektrische Komponenten

Damit die Prüfabläufe entsprechend der DfA erfolgen können, wird erneut eine Bedieneinheit benötigt, die sowohl die Eingabebefehle annimmt und an das Notlöseaggregat weitergibt als auch die eingehenden Signale verarbeitet und in Form von Leuchtmitteln und einer Druckanzeige angibt. Um die Funktion der Bedieneinheit gewährleisten zu können, wird somit neben einer Energiequelle auch eine Steuerung benötigt. Während die bisherige Bedieneinheit allein auf Basis von Relais-technik umgesetzt ist, wird die künftige Einheit durch eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) realisiert. Die Umsetzung erfolgt dabei mit Hilfe der SPS „LOGO! 24RCE“, welche 8 Eingänge und 4 Relais als Ausgang zur Verfügung stellt. Zudem besitzt die LOGO! einen Display zur optischen Erkennung von Ist-Zuständen und die Möglichkeit bei Bedarf mit Modulen den Programmierumfang zu erweitern.

Die Energieversorgung wird durch eine CEE-Steckverbindung sichergestellt und versorgt den Prüfstand mit 400 Volt und maximal 16 Ampere Dreiphasenwechselstrom. Dreiphasenwechselstrom ist durch die Nutzung dreier Wechselspannungsleitungen gekennzeichnet, die in ihren Phasenwinkeln um jeweils  $120^\circ$  zueinander verschoben sind (siehe Abbildung 29).

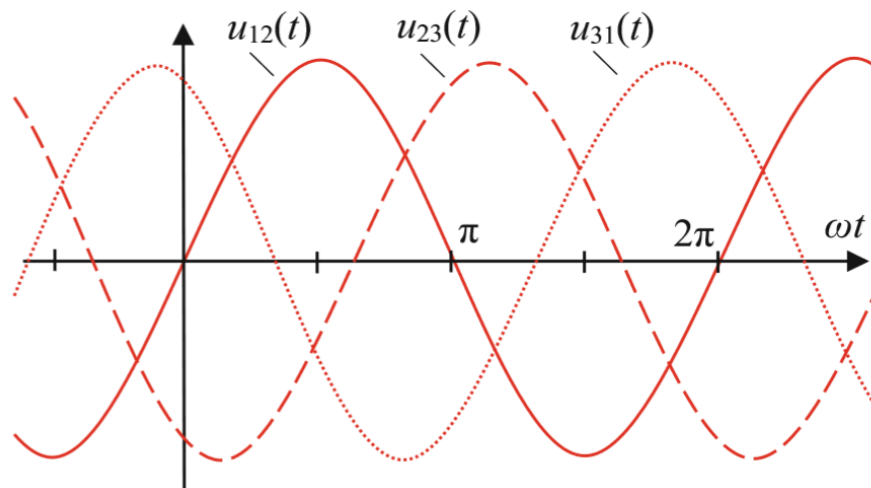
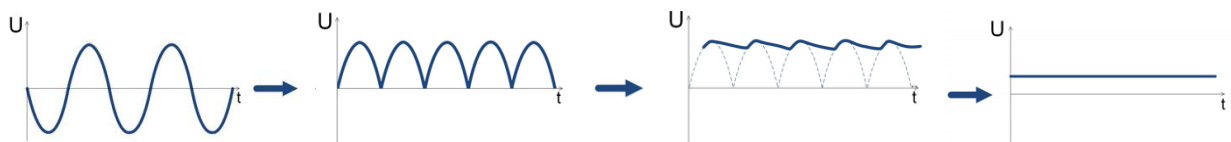


Abbildung 29: Sinuswellen bei Dreiphasenwechselstrom (Böker et al. 2019: 102)

Wie bereits vorherig beschrieben, ist das Notlöseaggregat mit dessen Komponenten für Gleichstrom und Spannungen von maximal 24 V konzipiert, da diese im Einsatzfall am Fahrzeug zur Verfügung gestellt werden. Diese Niederspannung muss am Prüfstand über ein Netzteil zur Verfügung gestellt werden. Das Netzteil arbeitet dabei in drei Schritten. Diese werden hier vereinfacht unter Betrachtung eines Leiters beschrieben (siehe auch Abbildung 30).

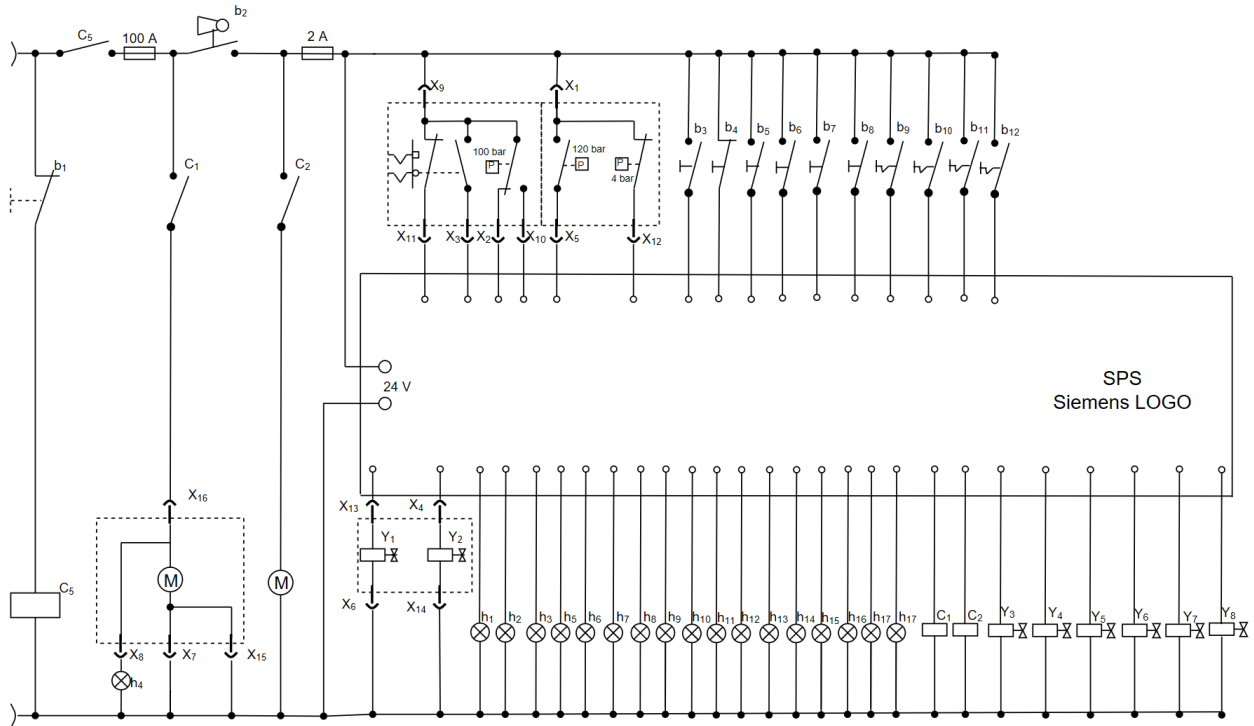


Nach Zuführung der Eingangsspannung wird diese gleichgerichtet, was bedeutet, dass die negativen Anteile der Spannung herausgefiltert und die überbleibenden positiven Anteile zueinander verschoben werden. In diesem Fall kann die Spannung noch jederzeit auf 0V abfallen, sodass die Spannung zusätzlich geglättet wird. Da die zu dem Zeitpunkt vorhandene Spannung noch nicht der Ausgangsspannung entspricht, muss diese wieder gewandelt werden. Es findet eine Spannungsregelung statt. Neben der Wandlung der anliegenden Versorgung ist bei der Netzteilwahl auf die maximale Ausgangsleistung und den Ausgangsstrom zu achten. So ist beispielsweise der Pumpenmotor der dritten Variante des Notlöseaggregates mit 2,2 kW Nennleistung angegeben, welche das Netzteil entsprechend zur Verfügung stellen muss.



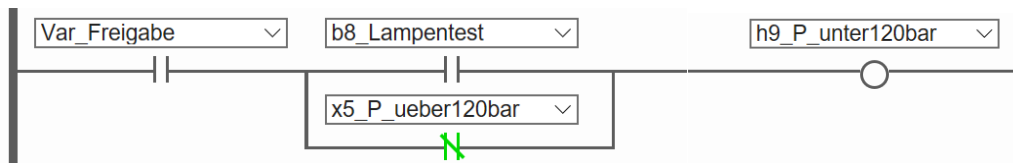
**Abbildung 30: Gleichrichtung von Wechselspannung (vgl. Neumüller Elektronik GmbH 2019)**

Für den Prüfstand wird eine SPS mit 16 Eingängen und 27 Ausgängen benötigt (siehe Abbildung 31). Der Pumpenmotor des Notlöseaggregates – angeschlossen im zweiten Pfad von rechts – benötigt bei maximaler Leistung und der vorgegebenen Spannung circa 92 Ampere. Um Bauteilschäden zu vermeiden muss eine Sicherung vorgesehen werden. Alle weiteren Komponenten sind auf 2 Ampere abgesichert. Die mit gestrichelten Linien umrandeten Komponenten entsprechen denen der Notlöseaggregate und können bereits dem elektrischen Anschlussplan (vgl. Abbildung 11) entnommen werden.



**Abbildung 31: Schaltplan des neuen Prüfstandes**

Um einen Überblick über die inneren Abläufe zu erhalten wird eine Logikabfolge erstellt, auf deren Basis die LOGO! programmiert werden kann. Der Aufbau und die Verwendung der Symboliken werden beispielhaft in Abbildung 32 erläutert. Die vollständige Logik, die Bezeichnung der Taster und Relais sind Anhang C zu entnehmen.



**Abbildung 32: Beispielhafte Logikabfolge**

Die Abbildung zeigt in welcher Situation die Lampe „h9“, welche sich auf der Bedieneinheit befindet, leuchtet. Das Leuchtmittel erhält dabei sein Signal vom Druckschalter des Notlöseaggregates und zeigt an, wenn der Betriebsdruck unter 120 bar ist. Das ist beispielsweise der Fall, wenn die Variable „Var\_Freigabe“ und der Taster „b8“ betätigt werden. Hier handelt es sich somit um eine „UND“-Verknüpfung“. Die Variable „Var\_Freigabe“ wird aktiviert, sobald der Hauptschalter betätigt ist und sich das Notlöseaggregat im manuellen oder automatischen Modus befindet (siehe Anhang C). Der Taster „b8“ ist ebenfalls auf der Bedieneinheit untergebracht und steht für den Lampentest, welcher lediglich die Funktion der Leuchtmittel prüfen soll. Die Lampe

„h9“ leuchtet ebenfalls, wenn neben der Variablen „Var\_Freigabe“ kein Signal des 120 bar Druckschalters anliegt. Somit wird hier von einer „UND NICHT“-Verbindung gesprochen.

### 6.3 Motor-Pumpe-Einheit

Um ein Umfüllen des Betriebsmediums HB48 zu ermöglichen und den Kontakt des Bedieners zum Fluid zu minimieren, wird eine elektrische Motor-Pumpen-Einheit benötigt, welche das Fluid selbstständig in das Notlöseaggregat fördert. Für diesen Zweck sind am Prüfstand drei Vorratsbehälter montiert. Die Behälter haben dabei je nach Verwendungszweck unterschiedliche Kapazitäten und einen unterschiedlichen Aufbau. So haben die Behälter, die jeweils das neue und das alte Fluid beinhalten eine Kapazität von knapp über 10 Liter. Dies basiert darauf, dass die Hochbahn HB48 in 5 Liter Kanistern bezieht und somit mindestens zwei Kanister Platz in dem Vorratsbehälter finden. Der dritte Behälter dient der Zwischenlagerung von bereits verwendetem Fluid und hat eine Kapazität von 5 Litern. Der Zwischenbehälter ist vorgesehen, um bereits genutztes und weiterhin nutzbares Fluid zwischen zu speichern und eine unnötige Entsorgung, zu vermeiden. Die Kapazität resultiert aus dem größten Vorratsbehälter der Notlöseaggregate, welcher ein Volumen von 3,8 Liter aufweist. Alle Behälter sind auf einem Unterbau montiert, welcher diese mit dem Verteilerblock verbindet, sodass eine Funktion entsprechend Abbildung 29 sichergestellt wird. Um einen Motor mit ausreichender Leistung auswählen zu können, sind einige Vorbetrachtungen zu tätigen. Die endgültige Auswahl einer Motor-Pumpen-Kombination erfolgt durch die Betrachtung von Diagrammen und deren Kennlinien.

Zu Beginn wird die Energiebilanz von Pumpen betrachtet, welche Gleichung 6.4 zu entnehmen ist:

$$P_{Hyd} = \Delta p \cdot Q = (p_A - p_E) \cdot Q \quad (6.4)$$

Die Druckdifferenz  $\Delta p$  entsteht durch eine konstante Förderung der Pumpe, wodurch der Druck an der Ausgangsseite der Pumpe höher ist, als an der Eingangsseite. Der Volumenstrom  $Q$  gibt an, welches Volumen innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls durch die Pumpe gefördert wird. Da es bislang keine Umfülleinheit am Prüfstand gibt, muss für den Volumenstrom ein Wert angenommen werden, der in diesem Anwendungsfall mit  $Q = 5 \text{ l/min}$  vorgegeben wird. Unter dieser Annahme können kurze Umfüllzeiten des Betriebsmediums realisiert werden. Die Druckdifferenz  $\Delta p$  lässt sich aus Strömungsverlusten, die durch Reibung in den Schlauchleitungen auftreten berechnen, addiert zu den Strömungsverlusten, welche durch die Wegeventile entstehen und jeweils den zugehörigen Kennlinien entnommen werden können. Zur

Vereinfachung liegen der nachfolgenden Rechnung hydraulisch glatte, gerade Rohrleitungen zu Grunde.

Mit Gleichung 6.5 lässt sich nun die Druckdifferenz bestimmen.

$$\Delta p = \underbrace{\xi \cdot \frac{\rho}{2} c^2}_{\text{Druckverlust durch Rohrreibung}} + \Delta p_{\text{Ventile}} \quad (6.5)$$

Druckverlust  
durch Rohrreibung

Zu Beginn wird der Druckverlust durch die Rohrreibung berechnet. Die Dichte  $\rho$  wird im technischen Informationsblatt von HB48 mit  $\rho = 1038 \text{ kg/m}^3$  angegeben. Für die Strömungsgeschwindigkeit  $c$  können Faustwerte herangezogen werden, sodass für Druckleitungen zwischen 100 und 150 bar eine Geschwindigkeit von  $c = 4,5 \text{ m/s}$  (Matthies/Renius 2014:159) angenommen werden kann. Die verbleibende Variable ist der Widerstandsbeiwert  $\xi$ , welcher sich für gerade Rohrstücke nach Gleichung 6.6 berechnen lässt.

$$\xi = \lambda \cdot \frac{l}{d} \quad (6.6)$$

Die Länge  $l$  und der Durchmesser  $d$  der Rohrleitung sind ebenfalls durch die Konstruktion vorgegeben, wobei sich bei dem Rohrlungsdurchmesser am bisherigen Prüfstand orientiert wird, der bei 8 mm (Nenndurchmesser) liegt. Der Rohrwiderstandsbeiwert  $\lambda$  ist vom Strömungszustand und der relativen Rohrrauigkeit abhängig (siehe Gleichung 6.7)

$$\lambda = f\left(Re, \frac{d}{k}\right) \quad (6.7)$$

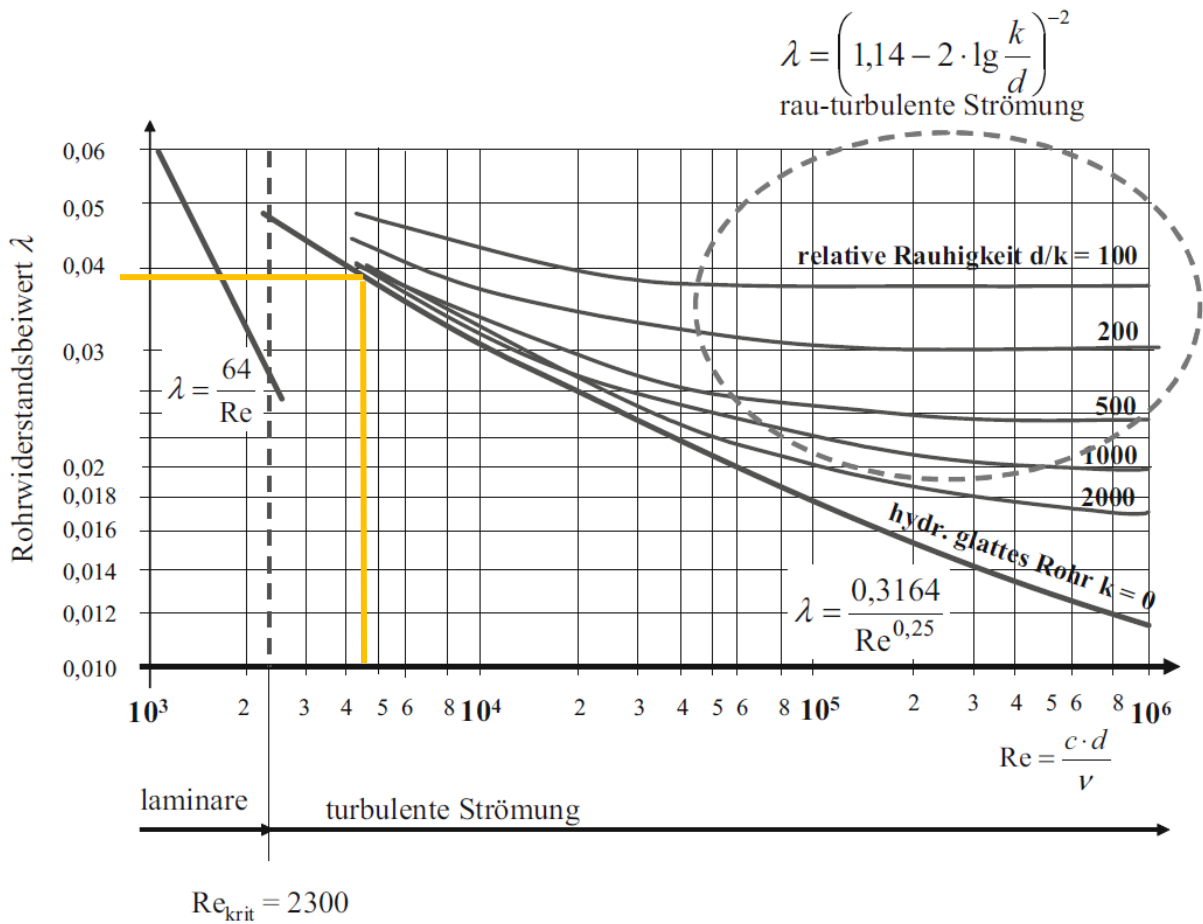
Die Werte des Rohrdurchmessers  $d$  und der absoluten Rauigkeit  $k$  sind in diesem Fall auf Grund der zu Anfang getroffenen Annahme eines hydraulisch glatten Rohres nicht von Bedeutung, da in diesem Fall davon ausgegangen wird, dass  $k = 0$  ist. Die Reynolds-Zahl  $Re$  charakterisiert den Strömungszustand und berechnet sich nach Gleichung 6.8

$$Re = \frac{c \cdot d}{\nu} \quad (6.7)$$

Neben den bekannten Werten für die Geschwindigkeit  $c$  und Rohrdurchmesser  $d$  kommt bei der Reynolds-Zahl die kinematische Viskosität des Betriebsmediums zu tragen. Diese kann ebenfalls dem technischen Informationsblatt von HB48 entnommen werden, sodass  $\nu = 8 \text{ mm}^2/\text{s}$  gilt. Durch Einsetzen in Gleichung 6.7 ergibt sich

$$Re = \frac{4500 \frac{mm}{s} \cdot 8 mm}{8 \frac{mm^2}{s}} = 5344$$

Anhand dieses berechneten Wertes kann unter Zuhilfenahme des zugehörigen Kennliniendiagramms der Rohrwiderstandsbeiwert  $\lambda$  ermittelt werden (siehe Abbildung 33). Dieser beträgt für ein hydraulisch glattes Rohr in diesem Fall  $\lambda = 0,039$



**Abbildung 33: Rohrwiderstandsbeiwert  $\lambda$  in Abhängigkeit von Re und (d/k) (Watter 2017:61)**

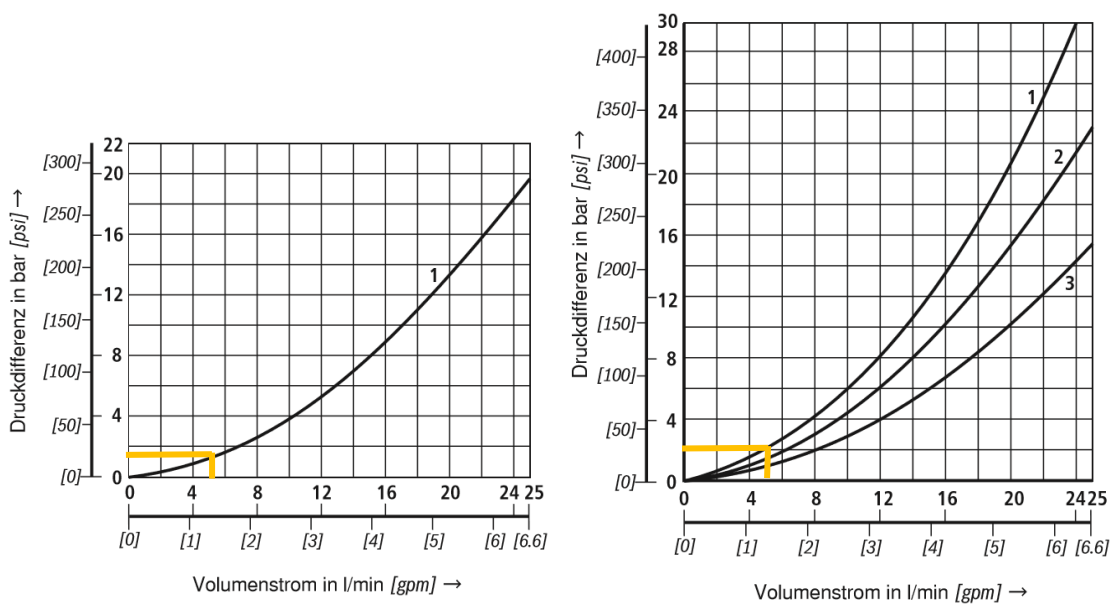
Eingesetzt in Gleichung 6.6 lässt sich nun der Widerstandsbeiwert  $\xi$  berechnen

$$\xi = 0,039 \cdot \frac{2000 mm}{8 mm} = 9,75$$

Wiederrum eingesetzt in Gleichung den ersten Teil von Gleichung 6.5 ergibt sich nun der Druckverlust, resultierend aus der Rohrreibung

$$\Delta p = 9,75 \cdot \frac{1038 \frac{kg}{m^3}}{2} \cdot \left(4,5 \frac{m}{s}\right)^2 = 102470 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 1,02 \text{ bar}$$

Die errechneten Rohrreibungsverluste sind mit 1,02 bar gering. Dies ist primär auf die Kürze der Rohrlänge zurückzuführen. Ein höherer Druckverlust resultiert hingegen aus den montierten Ventilen. Es kommen ein 2/2-Wege, drei 3/2-Wege und zwei 4/2-Wege-Ventile zum Einsatz. Im schlechtesten Fall sind jedoch nur drei Ventile zeitgleich an einem Umfüllvorgang beteiligt, sodass lediglich die Druckverluste eines 4/2-Wege und zweier 3/2-Wege-Ventile addiert werden müssen. Diese können Kennlinien entnommen werden, welche von den Herstellern in den zugehörigen Datenblättern zur Verfügung gestellt werden (siehe Abbildung 34).



**Abbildung 34:  $\Delta p$ -Q-Kennlinien für 3/2-Wege und 4/2-Wege-Ventile (vgl. Bosch Rexroth 2019)**

Das linke Diagramm gibt die Druckdifferenz durch 3/2-Wege-Ventile an und das rechte Diagramm den Verlust durch 4/2-Wege-Ventile. Somit ergibt sich als Druckverlust, resultierend aus den verwendeten Ventilen folgender Wert

$$\Delta p_{\text{Ventil}} = 2 \cdot \Delta p_{2/2\text{-Wege-Ventil}} + \Delta p_{4/2\text{-Wege-Ventil}} = 2 \cdot 1,8 \text{ bar} + 2 \text{ bar} = 5,6 \text{ bar}$$

Nach Ermittlung aller benötigten Werte können diese nun in Gleichung 6.5 eingesetzt werden. Für die Druckdifferenz im System ergibt sich somit

$$\Delta p = 1,02 \text{ bar} + 5,6 \text{ bar} \approx 6,62 \text{ bar}$$

Geht man neben den errechneten Werten von einem maximalen Betriebsdruck von 30 bar aus, welcher als Anhaltswert für Speisedrücke verwendet werden kann (vgl. Matthies/Renius 2014:230), so ergibt sich für die mindestens benötigte Leistung mit Gleichung 6.4

$$P_{Hyd} = (30 \text{ bar} + 6,62 \text{ bar}) \cdot 5 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 8,33 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 36,62 \text{ bar} \cdot 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} = 305,2 \text{ W}$$

Neben den genannten Ursachen gibt es weitere Einflüsse, die indirekt weitere Verluste der Pumpe beschreiben und somit als Wirkungsgrad mit in die Berechnung einfließen müssen. Der Wirkungsgrad hydraulischer Pumpen liegt zwischen 80% - 90%. Da in der Berechnung vom schlechtesten Fall ausgegangen wird, also von 80%, kann mit Gleichung 6.8 der effektive Leistungswert berechnet werden kann

$$P_{eff} = \frac{P_{Hyd}}{\eta} = \frac{305,2 \text{ W}}{0,8} = \mathbf{381,5 \text{ W}} \quad (6.8)$$

Auf Basis der berechneten, minimalen Leistungsanforderung kann nun ein Motor ausgewählt werden. Dabei ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass in der Berechnung von vereinfachten Annahmen ausgegangen wurde, sodass die realen Verluste vermutlich höher sind und der Motor somit mehr Leistung zur Verfügung stellen muss. Um Komponenten zu vereinheitlichen, käme in diesem Fall der gleiche Gleichstrommotor in Frage, der in den Notlöseaggregaten der vierten Generation verwendet wird. Dieser stellt eine Leistung von maximal 800W zur Verfügung.

## 6.4 CAD-Modell

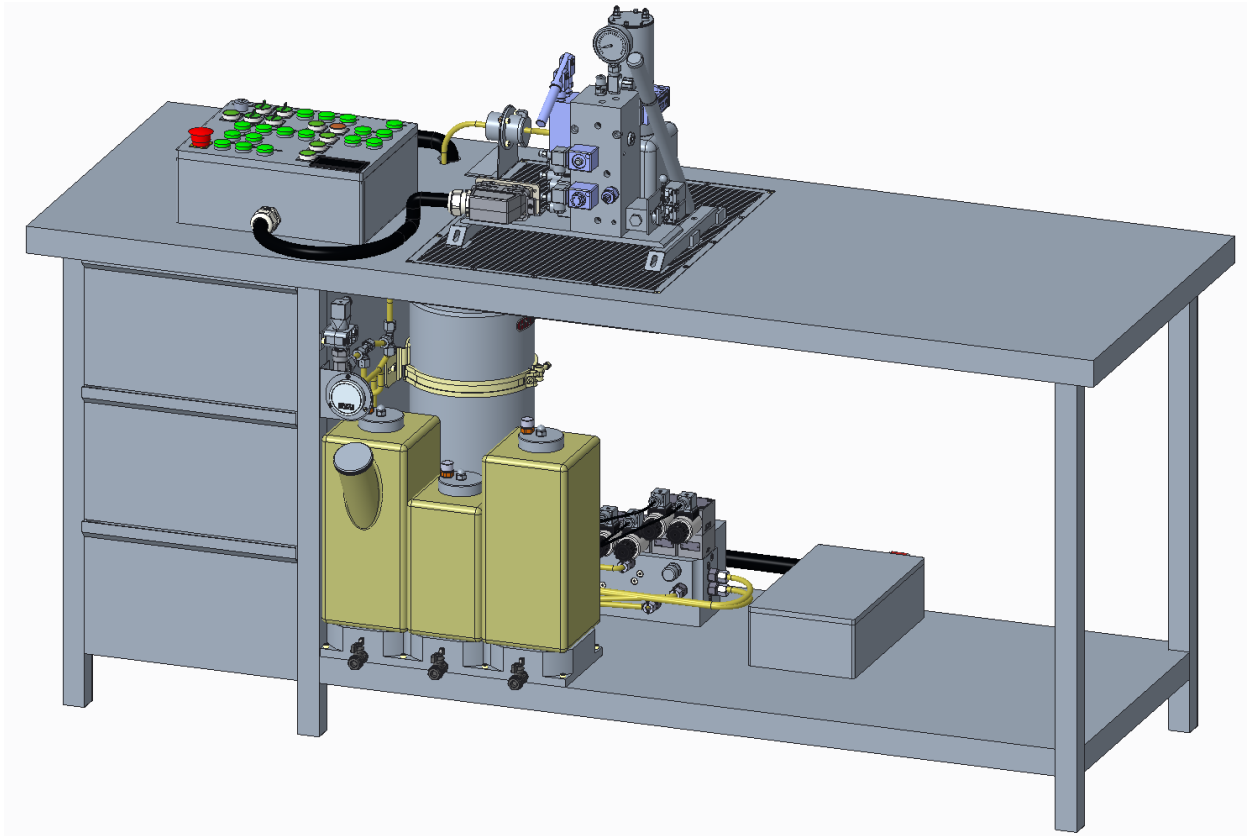
Auf Basis der anfänglich festgelegten Anforderungen und der zuvor berechneten Anforderung an ausgewählte Komponenten, wird das 3D CAD-Modell des Prüfstands erstellt. Als Grundgestell des Prüfstandes wird ein Edeltahlstisch mit einer Arbeitsplatte und einer weiteren Ablagefläche auf einer zweiten Etage genutzt. Zudem besitzt der Tisch Schubladen für das zur Prüfung und Instandhaltung benötigte Werkzeug. Auf der Arbeitsfläche befindet sich unter anderem die Bedieneinheit. Ähnlich zum bisherigen Prüfstand wird die Bedieneinheit wieder mit Drucktastern und entsprechende Leuchtmeldern ausgestattet, um die einzelnen Status der Prüfungen zu visualisieren. Darüber hinaus müssen die gleichen Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden. Der Funktionsumfang der Bedieneinheit wurde entsprechend der Umfülleinheit und der damit einhergehenden Funktionen erweitert. Zudem wird die elektrische Ausstattung durch die Installation einer SPS auf den Stand der Technik gebracht. Neben der Bedieneinheit befindet sich auf der Arbeitsfläche eine Einspannmöglichkeit für die Notlöseaggregate. Diese befindet sich auf einem Gitter, um beim Austreten von HB48 eine Ablaufmöglichkeit zu schaffen. Unter dem Gitter befindet sich eine Auffangwanne. Eine direkte Rückführung des Fluids in den Behälter für altes Betriebsmedium findet nicht statt, um das Eindringen von Fremdkörpern, wie zum Beispiel Schrauben, die bei Instandhaltungsmaßnahmen durch das Gitter fallen können, zu vermeiden. Neben der Montage auf einem Gitter wurde die Montagesituation der Notlöseaggregate angepasst. Die Montage unter Nutzung von Schnellspannern wird durch die Montage durch Einschraubbolzen ersetzt. Dadurch sollen die Notlöseaggregate besser fixiert werden.

Auf der unteren Ebene des Tisches sind die Umfülleinheit, der Verteilerblock und die zur Prüfung benötigten Komponenten aufgebaut. Zur Prüfung wird unter anderem der Hydrospeicher benötigt, der das fahrzeugseitige Volumen simulieren soll. Dieser wird mit Hilfe von Schellen an dem Tisch befestigt. Als weitere Komponente zur Überwachung des Prüfablaufes wird ein elektrischer Druckmessumformer verwendet, der den anliegenden Druck durch Wandel in ein elektrisches Signal an die digitale Druckanzeige übermittelt. Als Referenz dazu wird ein analoges Manometer verwendet, welches in regelmäßigen Abständen kalibriert werden sollte, um den digital angezeigten Druck zu verifizieren.

Auf dem Verteilerblock sind die Ventile montiert, die für die hydraulische Steuerung der Prozesse zuständig sind. Der Ventilblock ist dafür mit entsprechenden Bohrkanälen ausgestattet, um die Verbindung der einzelnen Komponenten mit einzelnen Schlauchleitungen zu minimieren. An den Verteilerblock wird die Motor-Pumpen-Kombination angeflanscht. Als weitere Baugruppe ist die



Umfülleinheit für die Verteilung des Betriebsmediums zuständig. Die Umfülleinheit besteht aus drei voneinander getrennten Behältern, wobei einem das neue Fluid zugeführt werden kann. Der Unterbau ist mit Ablasshähnen versehen, um das Fluid bei Bedarf ablassen zu können. Abbildung 35 ist das vollständige 3D-Modell des Prüfstands zu entnehmen.



**Abbildung 35: 3D-Modell des Prüfstands**

## 7 Fazit und Aussicht

Der Entwicklungszeitraum des aktuell verwendeten Prüfstands liegt circa 25 Jahre zurück. Dies spiegelt sich sowohl in der Optik des Prüfstands wieder, welcher unter anderem auf Grund der Nutzung von HB48 einem hohen chemischen Verschleiß unterliegt, als auch in der Auswahl der aktuell verwendeten Komponenten. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Maschine soll nun als Grundlage für eine Neukonstruktion des Prüfstands dienen und diesen auf den Stand der Technik bringen. Zur Orientierung dienen die angehängten Zeichnungen und Stücklisten (siehe Anhang D).

Die Konzeptionierung und Entwicklung des neuen Prüfstands erfolgte auf Basis einer Analyse des vorhandenen Prüfstands und dem Umgang mit dem Betriebsmedium Pentosin HB48. Des Weiteren wurden gesetzliche Vorgaben und Richtlinien betrachtet, die für ein Konformitätsverfahren und somit eine rechtsgemäße Nutzung des Betriebsmittels im Werkstattbetrieb unabdingbar sind. Die konstruktive Umsetzung unterlag vielen Freiheiten, da es kaum Referenzen, unter anderem für die Umfülleinheit gab und der Arbeitsbereich mit seiner Grundabmessung sehr groß ist.

Der auf Basis dieser Vorgaben erstellte Prüfstand entspricht nun dem Stand der Technik und bietet auf Grund seiner Komponentenwahl eine hohe Lebensdauer. Durch diverse Anpassungen, wie zum Beispiel der Montage eines Abtropfgitters mit Auffangwanne, wird zudem die Verschmutzung des Arbeitsumfeldes durch HB48 minimiert. Neben der bereits bekannten Prüffunktion wurde der Funktionsumfang um eine Umfülleinheit erweitert. Diese ermöglicht das Befüllen, Umfüllen und Entleeren der Notlöseaggregate, ohne den direkten Kontakt mit dem Betriebsmedium. Lediglich die Zuführung des Fluids in den Vorratsbehälter geschieht manuell, wobei die Maße des Einfüllstutzens so gewählt sind, dass zum Einfüllen keine weiteren Hilfsmittel, wie zum Beispiel Trichter, verwendet werden müssen. Die Vorgaben und Wünsche, die in der Anforderungsliste festgehalten wurden, sind somit bis auf den Wunsch der Erweiterung für Notlöseaggregate anderer Fahrzeugtypen erfüllt.

Anschließend an diese Arbeit kann ein Prototyp unter Betrachtung wirtschaftlicher Aspekte erstellt und im Betrieb erprobt werden. Auf Basis von Betriebserfahrung können Anpassungskonstruktionen durchgeführt werden. Darüber hinaus kann eine Erweiterung für andere Notlöseaggregate angrenzend an den Prüfstand entwickelt werden. Hier würde sich eine Aufnahme mit unterschiedlichen Adapterplatten anbieten.

# Literaturverzeichnis

**Argus Fluidtechnik (2019):** *Schnellverschluss Kupplungen – Online Katalog.* [Online] <http://www.dunlophiflex.de/media/89606/AGH-Catalogue-ARGUS-Quick-Release-Coupling-DE-Low-Res-2015-01-16.pdf> [Zugriff am 22.06.2019]

**Böker, Andreas/ Paerschke, Hartmuth/ Boggasch, Ekkehard (2019):** *Elektrotechnik für Gebäudetechnik und Maschinenbau.* 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. ISBN 978-3-658-20970-4.

**Breuer, Bert/ Bill, Karlheinz H. (2017):** *Bremsenhandbuch.* 5., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. ISBN 978-3-658-15488-2.

**Bürkert Fluid Control Systems (2019):** *Beständigkeitstabelle.* [Online] [https://www.buerkert.de/de/content/download/9318/335016/file/DE\\_Bestaendig\\_D.pdf](https://www.buerkert.de/de/content/download/9318/335016/file/DE_Bestaendig_D.pdf) [Zugriff am: 18. Juni 2019].

**Bundesrepublik Deutschland (1987):** *Straßenbahn-Bau und Betriebsverordnung vom 11. Dezember 1987 (BGBl. 1 S. 2648), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 16. Dezember 2016 (BGBl. 1 S. 2938) geändert worden ist.* [Online] [http://www.gesetze-im-internet.de/strabbo\\_1987/BOStrab.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/strabbo_1987/BOStrab.pdf) [Zugriff am: 18. Juni 2019].

**Bundesrepublik Deutschland (2011):** *Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) vom 12. Mai 1993 (BGBl. 1 S. 704), die zuletzt durch Artikel 19 des Gesetzes vom 8. November 2011 (BGBl. 1 S. 2178) geändert worden ist.* [Online] [https://www.gesetze-im-internet.de/gsgv\\_9/9.\\_ProdSV.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/gsgv_9/9._ProdSV.pdf) [Zugriff am: 18. Juni 2019].

**Bundesrepublik Deutschland (2016a):** *Verordnung über elektrische Betriebsmittel vom 17. März 2016 (BGBl. 1 S. 502).* [Online] [http://www.gesetze-im-internet.de/prodsg2011v\\_1/1.\\_ProdSV.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/prodsg2011v_1/1._ProdSV.pdf) [Zugriff am: 18. Juni 2019].

**Bundesrepublik Deutschland (2016b):** *Verordnung über einfache Druckbehälter vom 6. April 2016 (BGBl. 1 S. 597).* [Online] [http://www.gesetze-im-internet.de/prodsg2011v\\_6/6.\\_ProdSV.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/prodsg2011v_6/6._ProdSV.pdf) [Zugriff am: 18. Juni 2019].

**Bundesrepublik Deutschland (2016c):** *Druckgeräteverordnung vom 13. Mai 2015 (BGBl. 1 S. 692), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 6. April 2016 (BGBl. 1 S. 597) geändert worden ist.* [Online] [http://www.gesetze-im-internet.de/gsgv\\_14\\_2016/14.\\_ProdSV.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/gsgv_14_2016/14._ProdSV.pdf)  
[Zugriff am: 18. Juni 2019].

**Bosch Rexroth AG (2019):** *Datenblatt 2/2, 3/2 und 4/2-Wege-Sitzventil, mit Magnetbetätigung.* [Online] [https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/rd22049\\_2009-07.pdf?db=brmv2&lvid=1144241&mvid=14108&clid=1&sid=5067F36C7F7AAC021829AD027D4AD73A.borex-tc&sch=M&id=14108,1,1144241](https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/rd22049_2009-07.pdf?db=brmv2&lvid=1144241&mvid=14108&clid=1&sid=5067F36C7F7AAC021829AD027D4AD73A.borex-tc&sch=M&id=14108,1,1144241) [Zugriff am: 28.07.2019]

**Dümmer, Udo (2013):** *Bedienungsanleitung DT4.* Hamburg. Hamburger Hochbahn AG.

**ECHA, European Chemicals Agency (2019):** *CLP-Piktogramme.* [Online] <https://echa.europa.eu/de/regulations/clp/clp-pictograms> [Zugriff am: 18. Juni 2019]

**„EG-Konformitätsbewertung der BF-Betriebsmittel“ (2010):** HHA-Zeichnungsnummer 146100. Ausgabe A. Hamburg: Hamburger Hochbahn AG.

**Europäische Gemeinschaft (2008):** *Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006.* [Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32008R1272>  
[Zugriff am: 18. Juni 2019].

**Europäische Union (2014):** *Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt.* [Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:32014L0068> [Zugriff am: 18. Juni 2019].

**Festo Didactic SE (2019):** *Direktgesteuertes Druckbegrenzungsventil.* [Online] <https://www.festo-didactic.com/de-de/service/symbole/fluidtechnik-hydraulik/ventile/druckventil-direktgesteuertes-druckbegrenzungsventil,einstellbar.htm?fbid=ZGUuZGUuNTQ0LjEzLjMyLjEyMzEuNjc4Ng>  
[Zugriff am: 18. Juni 2019]

**Fuchs Schmierstoffe GmbH (2017):** *Produkt Information, Pentosin Bremsflüssigkeit HB48.* Mannheim: Fuchs Schmierstoffe GmbH

**Fuchs Schmierstoffe GmbH (2018):** *Sicherheitsdatenblatt, Pentosin Bremsflüssigkeit HB48.* Mannheim: Fuchs Schmierstoffe GmbH

**Knorr-Bremse, Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH (1999):** *Federspeicher-Bremszylinder PF6.* HHA-Zeichnungsnummer 051067. Ausgabe A. München. Knorr-Bremse, Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH

**Knorr-Bremse, Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH (2002):** *Gerätebeschreibung Federspeicher-Bremszylinder PF6.* München. Knorr-Bremse, Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH

„**Konformitätsbewertungsverfahren**“ (2019): [Online] <http://www.druckgeraete-online.de/seiten/konform1.htm> [Zugriff am: 18. Juni 2019]

**Linke-Hoffmann-Busch GmbH (1987):** *Stückliste zum Hydraulikschaltplan DT4.* HHA-Zeichnungsnummer 046220. Materialnummer 38824. Ausgabe J. Hamburg: Hamburger Hochbahn AG

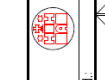
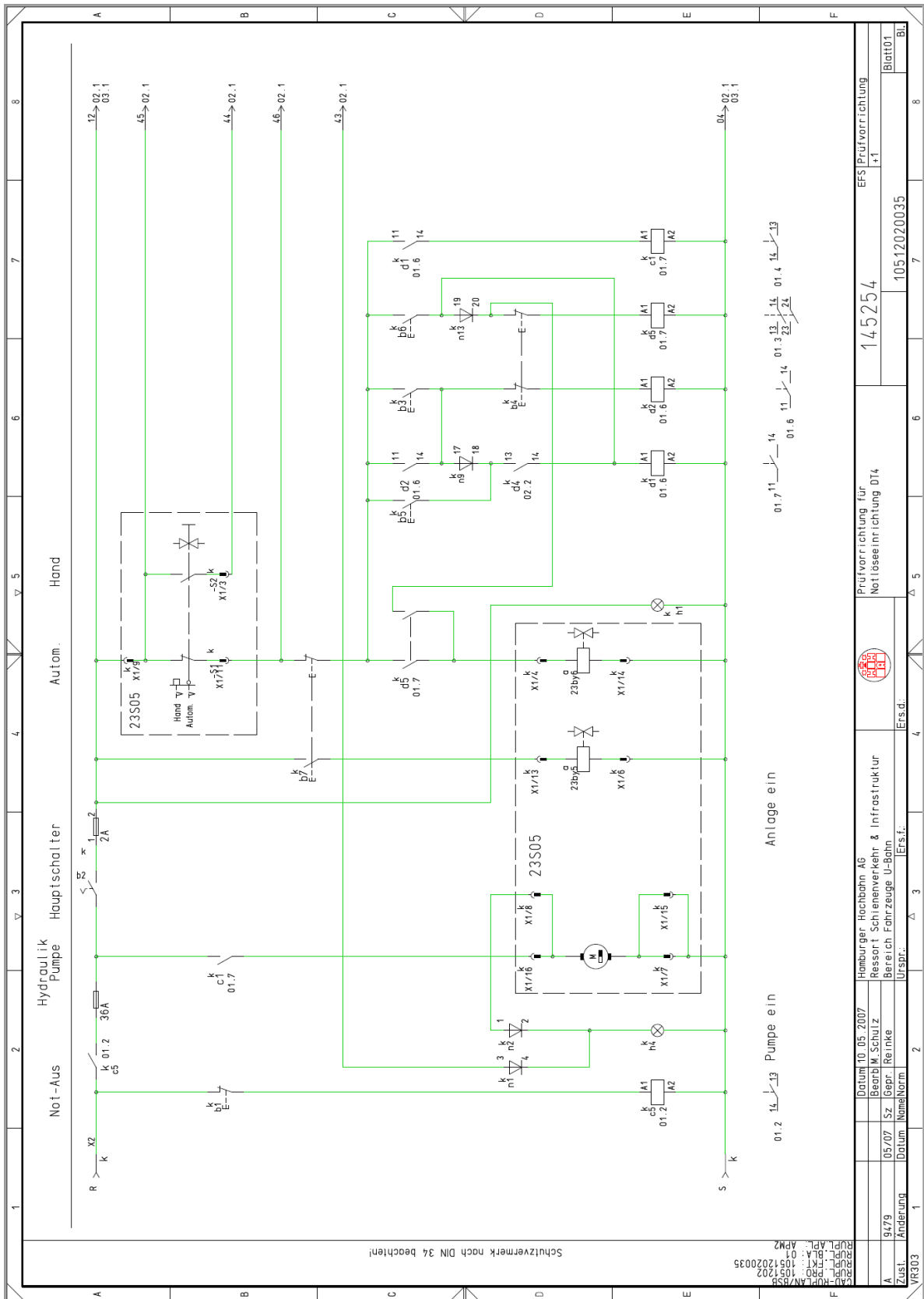
**Matthies, Hans Jürgen/ Renius, Karl Theodor (2014):** *Einführung in die Ölhydraulik.* 8., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. ISBN 978-3-658-06714-4.

**Neumüller Elektronik GmbH (2019):** *Schaltnetzteil Funktionsweise.* [Online] <https://www.neumueller.com/de/knowledge/stromversorgung/schaltnetzteilfunktionsweise> [Zugriff am: 25.07.2019]

**Schuckart, Peter (2014):** *Erstellung, Überarbeitung, Archivierung Dienst-/Durchführungsanweisungen.* HHA-Zeichnungsnummer 145850. Ausgabe A. Hamburg: Hamburger Hochbahn AG.

**Watter, Holger (2017):** *Hydraulik und Pneumatik.* 5., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. ISBN 978-3-658-18554-1.

# Anhang A – Ursprüngliche Elektrische Pläne

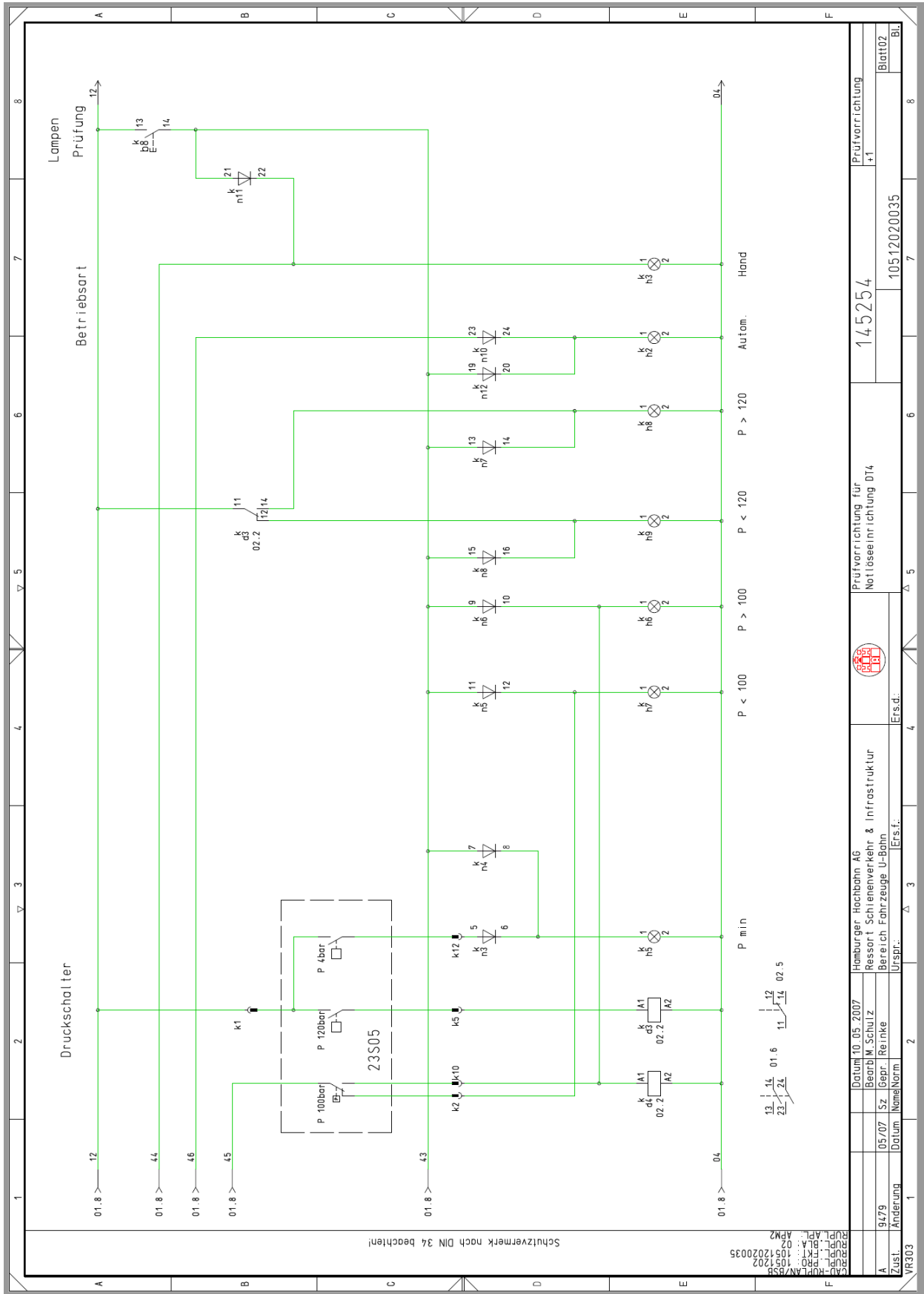


Hamburger Hochbahn AG		Prüfvorrichtung für	
Ressort Schienenverkehr & Infrastruktur		Notlöseinrichtung D14	
Bereich Fahrzeuge U-Bahn		145254	
Urspr.		10512020035	
Ersf.		7	
Ersf.		8	

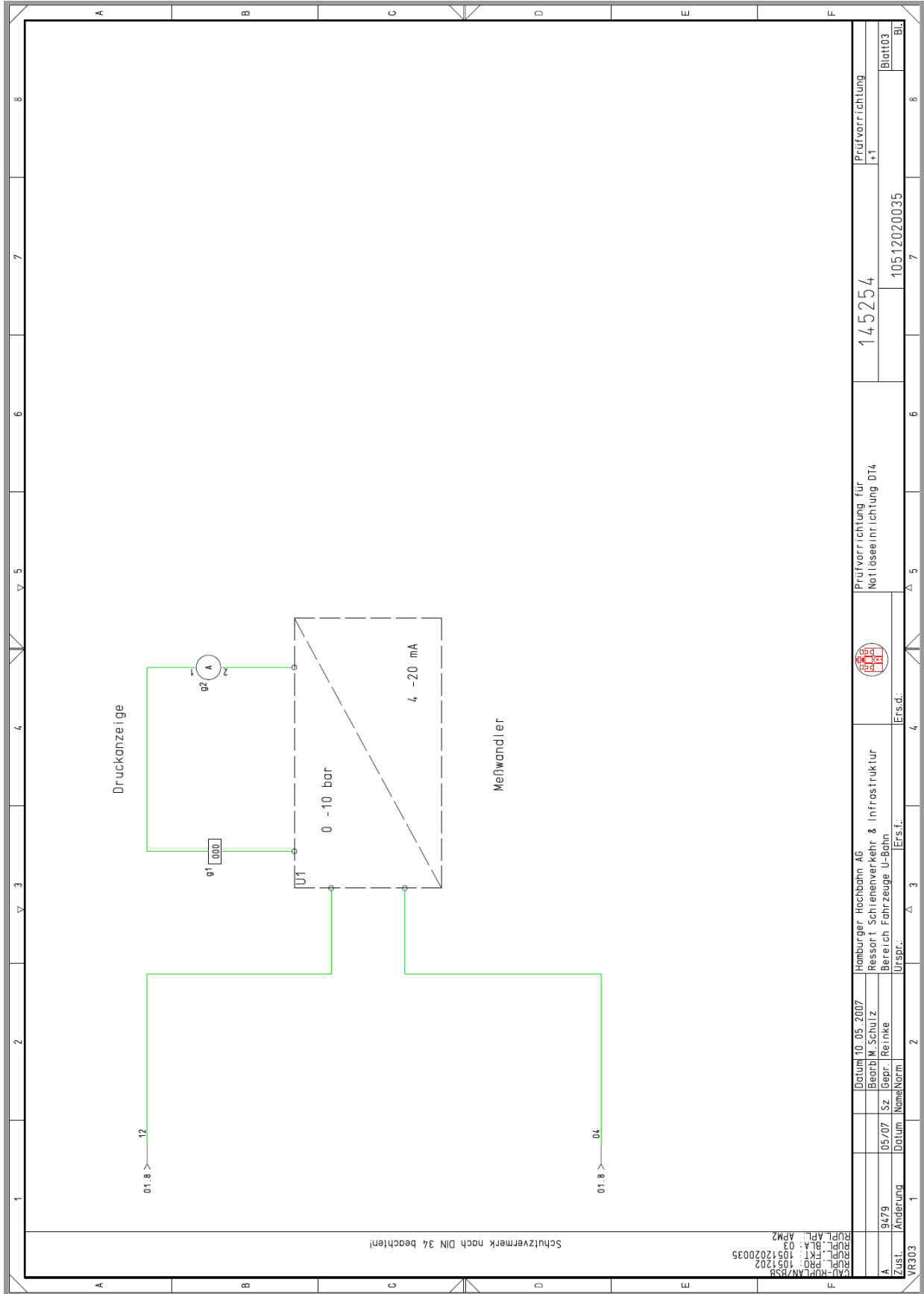
Blatt 01	8
Bl.	8

VR303  
 RUPF APL: RMZ  
 RUPF BLA: 01  
 RUPF PKT: 10512020035  
 Zusi. Teil: 1051202

10512020035



Zust. Änderung		Datum: 05/07		Name: Sz		Gepr.: Reinke		Name: Norm		Urspr.: Ersr.:		Ersr.:		Ersr.:	
A		9479		SZ		Reinke		Norm		Ersr.:		Ersr.:		Ersr.:	
Hamburger Hochbahn AG		Ressort: Schienenverkehr & Infrastruktur		Bereich: Fahrzeuge U-Bahn		Urspr.:		Ersr.:		Ersr.:		Ersr.:		Ersr.:	
Datum: 10.05.2007		Bepr: M. Schulz		Gepr.: Reinke		Name: Norm		Urspr.:		Ersr.:		Ersr.:		Ersr.:	
Prüfvorrichtung		+1		Blatt02		Bl.:		Bl.:		Bl.:		Bl.:		Bl.:	
145254		10512020035		145254		10512020035		145254		10512020035		145254		10512020035	



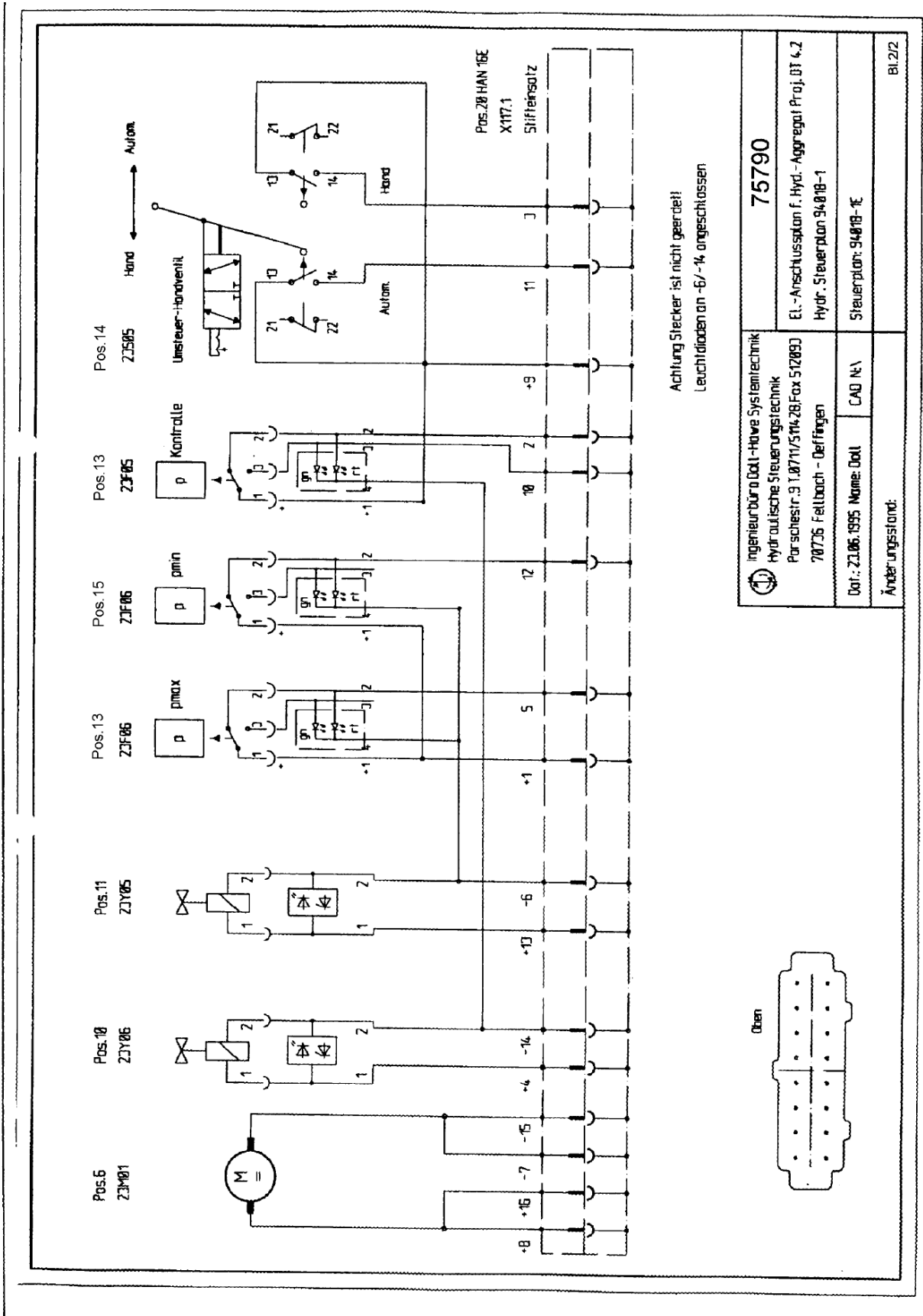
Schutzvermerk nach DIN 34 beachten!

CAD-RP/LAN/BSB  
 RUP.L.PRO: 1051202  
 RUP.L.KT: 1051202035  
 RUP.L.PL: AM2

Zust.	A	9479	05/07	Sz	Reinke	10.05.2007	Hamburger Hochbahn AG	Prüfvorrichtung für Notlöseeinrichtung DT4	145254	Prüfvorrichtung +1
Änderung			Datum	Name	Norm		Bereich Fahrzeuge U-Bahn	10512020035		Blatt03
							Urspr:			Bl.
							Ers.f:			
							Ers.f:			


VR03






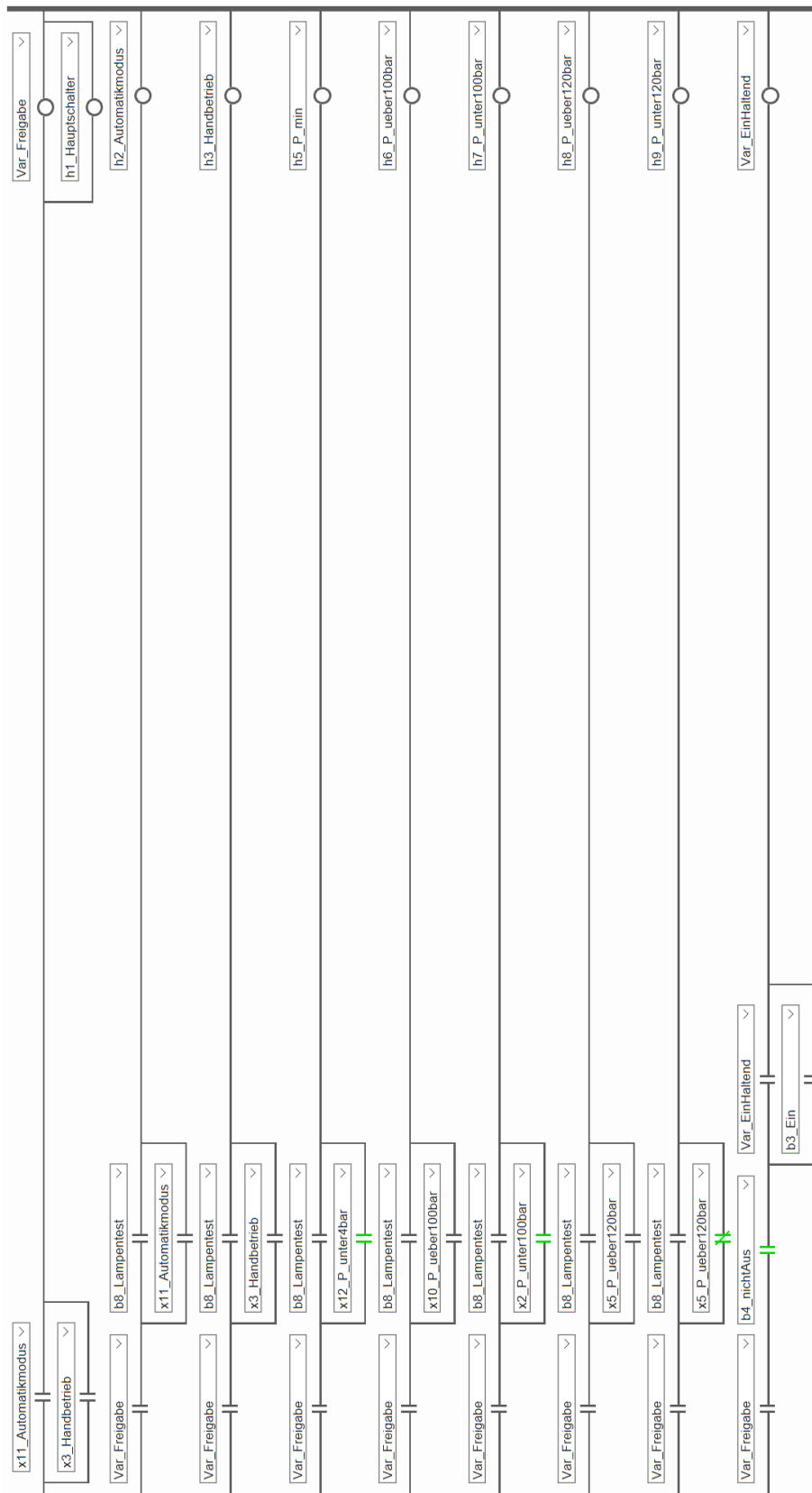
Ingenieurbüro Doll-Howe Systemtechnik Hydraulische Steuerungstechnik Porschestr. 9   07711/5114-28/Fax 512890 70726 Fellbach - Deffingen		75790	
Dat.: 23.06.1995 Name: Doll CAD N:\		EL-Anschlussplan f. Hyd.-Aggregat Proj. 03 4.2 Hydr. Steuerplan 94018-1	
Änderungsstand:		Steuerplan: 94018-1E	
		Bl. 2/2	

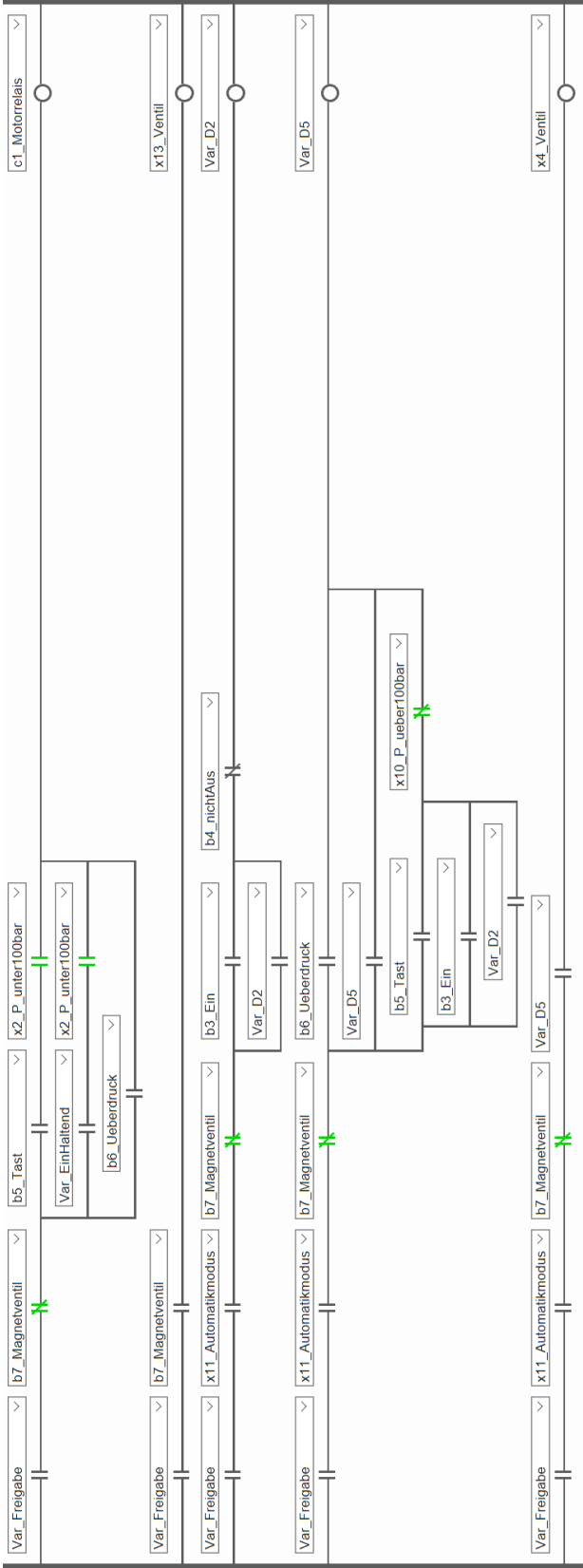
# Anhang B – Anforderungsliste

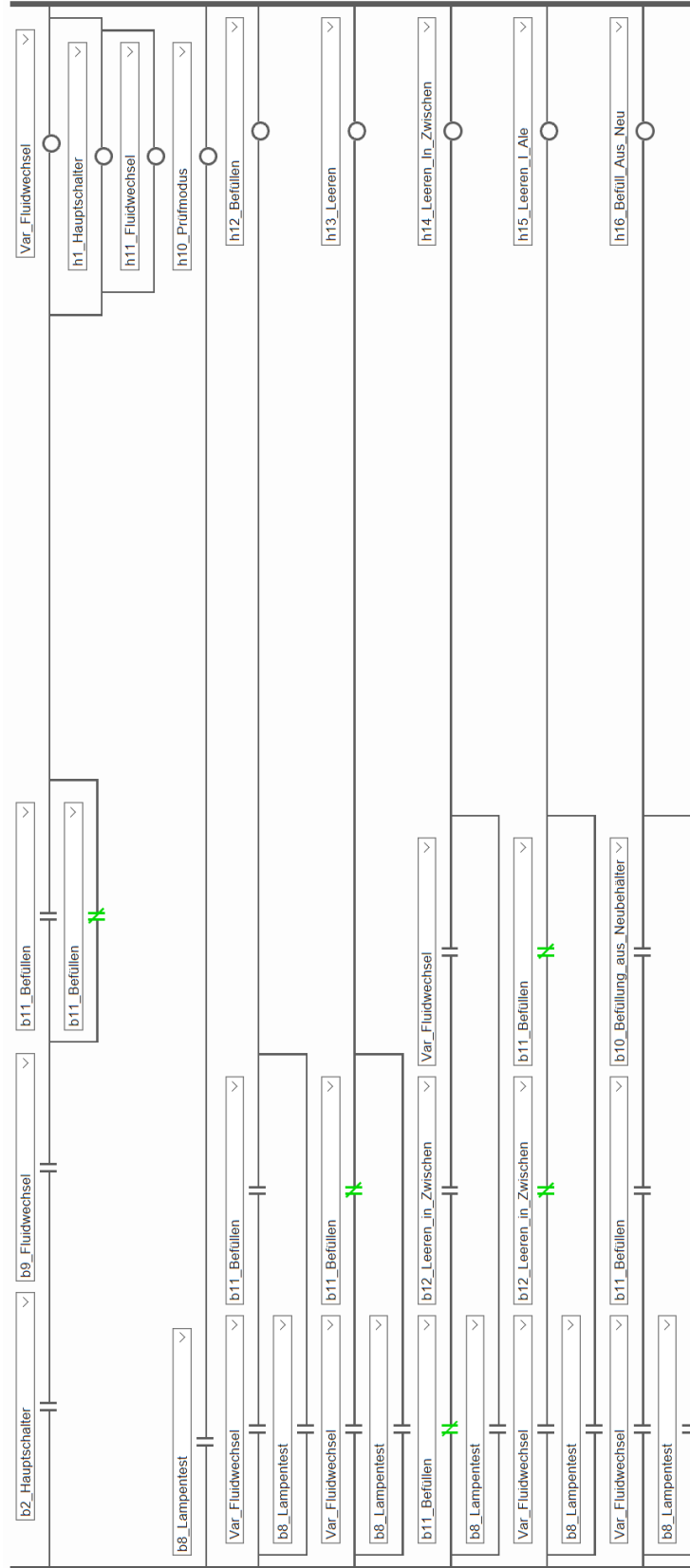
 <b>HOCHBAHN</b>		<h2>Anforderungsliste</h2>		Datum: 17.06.2019 Ersteller: Wolf, Liedgens, Koch	
F = Forderung W = Wunsch		<b>Prüfstand für Notlöseaggregate, DT4</b>		Ausgabe: A Blatt: 1 von 2	
		Im Rahmen der Bachelorarbeit von Tobias Wolf			
Änderungsdatum	F   W	Lfd.	Beschreibung		
		<b>1.</b>	<b>Allgemein</b>		
	F	1.1	Unter Einhaltung der EU-Richtlinien und nationaler Gesetzgebung wird eine <b>elektrische Maschine zur Prüfung von Notlöseaggregaten</b> für Fahrzeuge des Typs DT4 entwickelt und konzipiert		
	F	1.2	Es soll sich um einen <b>stationären Prüfstand</b> handeln.		
	F	1.3	Die <b>Grundfläche</b> des Bauraums beträgt <b>maximal 3000mm x 3200mm</b>		
	W	1.4	Es sollen <b>Arbeitsflächen und Montagemöglichkeiten</b> für die Bearbeitung und Instandsetzung von <b>Notlöseaggregaten anderer Fahrzeugtypen</b> geschaffen werden		
	F	1.5	Spannungsversorgung: <b>Drehstrom 400V   16A</b>		
	F	1.6	Es handelt sich um eine <b>Einzelanfertigung</b>		
	W	1.7	Verwendung von Komponenten unter <b>Betrachtung wirtschaftlicher Aspekte</b>		
	F	1.8	Es ist eine <b>Kalibrierungsmöglichkeit</b> des Prüfstandes vorzusehen		
	F	1.9	Die gewählten Komponenten müssen eine <b>Beständigkeit</b> gegenüber der Bremsflüssigkeit <b>Pentosin HB 48</b> aufweisen		
		<b>2.</b>	<b>Prüfbereich</b>		
	F	2.1	Es ist eine Aufnahme zur <b>Fixierung</b> der <b>Notlöseaggregate</b> vorzusehen		
	F	2.2	Die <b>Notlöseaggregate</b> sollen dem Prüfbereich mit dem <b>Deckenkran</b> zugeführt werden können		

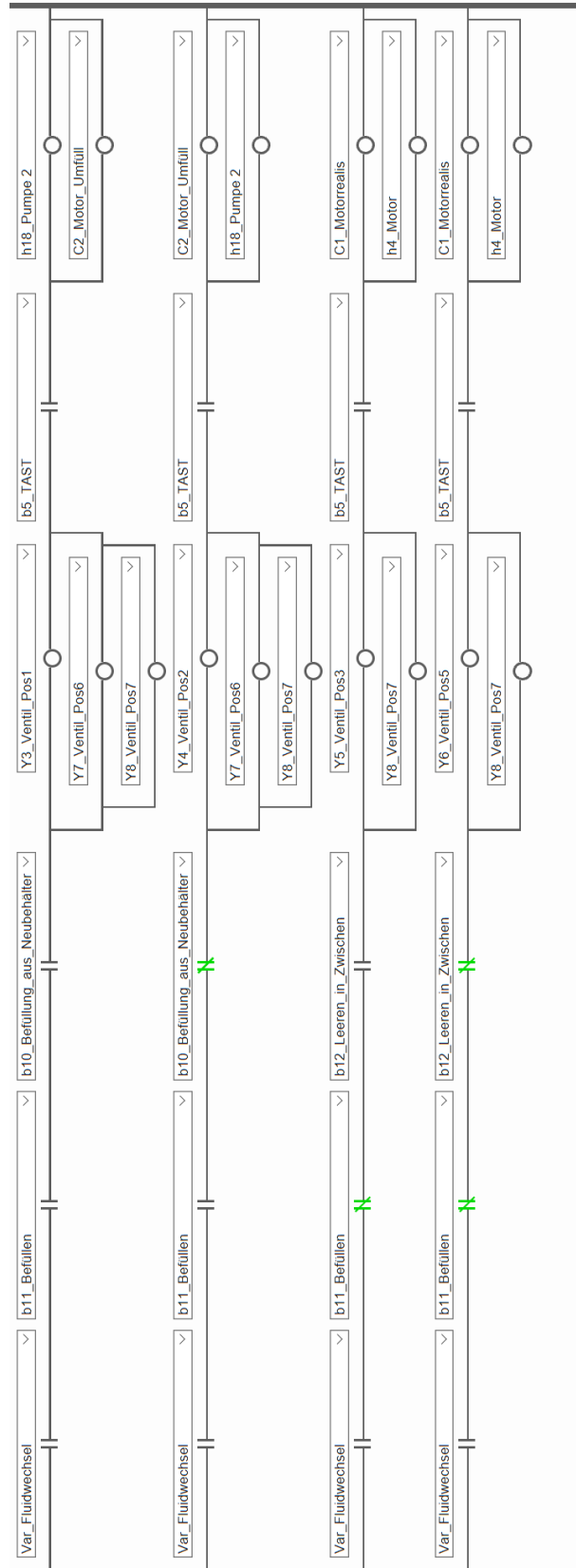
 <b>HOCHBAHN</b>		<h1>Anforderungsliste</h1>		Datum: 17.06.2019 Ersteller: Wolf, Liedgens, Koch	
F = Forderung W = Wunsch		Prüfstand für Notlöseaggregate, DT4		Ausgabe: A Blatt: 2 von 2	
		Im Rahmen der Bachelorarbeit von Tobias Wolf			
Änderungsdatum	F   W	Lfd.	Beschreibung		
		<b>2.</b>	<b>Prüfbereich</b>		
	F	2.3	Das Notlöseaggregat muss für Einstelltätigkeiten und zur manuellen Betätigung während des Prüfvorgangs frei zugänglich sein		
	F	2.4	Für hydraulische Leitungen sind Ablagen und Schutzmaßnahmen gegen Schmutzeintritt vorzusehen		
	F	2.5	Während der Prüfung anfallende/ austretende Flüssigkeit ist in einen Auffangbehälter abzuführen		
		<b>3.</b>	<b>Prüfvorgang / Steuerung</b>		
	F	3.1	Die in den Durchführungsanweisungen gelisteten Prüfungen müssen durchgeführt werden können. HOCHBAHN-Zeichnungen: 044913 051069 080022		
	F	3.2	Fahrzeugseitige Schnittstellen müssen übernommen werden		
	W	3.3	Das Betriebsmedium soll nachgefüllt, zwischengelagert und entsorgt werden können		
	F	3.4	Eine Speicherblase zur Simulation des Volumens von 6 Federspeicher-Bremszylindern ist vorzusehen		

# Anhang C – LOGO! – Programmierung









## Benennung der Taster und Leuchtmittel

Variable	Benennung	Ausführung
b1	Not-Aus	Taster m. Rastfunktion (Öffner)
b2	Hauptschalter	Schlüsselschalter (Schließer)
b3	NLE-Pumpe einschalten	Taster (Schließer)
b4	NLE-Pumpe abschalten	Taster (Öffner)
b5	NLE-Pumpe zeitlich begrenzt einschalten	Taster (Schließer)
b6	NLE-Pumpe pumpt bis Druck >120 bar	Taster (Schließer)
b7	Rückführung des Fluids	Taster (Schließer)
b8	Lampentest	Taster (Schließer)
b9	Modus: Fluidwechsel <-> Prüfung	Schalter m. Rastfunktion (Schließer)
b10	NLE Befüllen: Aus Neubehälter <-> Aus Zwischenbehälter	Schalter m. Rastfunktion (Schließer)
b11	Modus: Befüllen <-> Leeren	Schalter m. Rastfunktion (Schließer)
b12	Modus Leeren: in Zwischenbehälter <-> in Altbehälter	Schalter m. Rastfunktion (Schließer)
C1	NLE-Pumpe Motorrelais	Relais
C2	Umfülleinheit Pumpe Motorrelais	Relais
h1	Anlage betriebsbereich (Hauptschalter betätigt)	Lampe
h2	NLE, Automatikbetrieb aktiv	Lampe
h3	NLE, manueller Betrieb aktiv	Lampe
h4	NLE, Motor aktiv	Lampe
h5	Druck <4 bar aktiv	Lampe
h6	Druck >100 bar aktiv	Lampe
h7	Druck <100 bar aktiv	Lampe
h8	Druck >120 bar aktiv	Lampe
h9	Druck <120 bar aktiv	Lampe
h10	Prüfmodus aktiv	Lampe
h11	Fluidwechselmodus aktiv	Lampe
h12	Befüllmodus aktiv	Lampe
h13	Leermodus aktiv	Lampe
h14	Leeren in Zwischenbehälter aktiv	Lampe
h15	Leeren in Altbehälter aktiv	Lampe
h16	Befüllen auf Neubehälter aktiv	Lampe
h17	Befüllen aus Zwischenbehälter aktiv	Lampe
h18	Pumpe der Umfülleinheit in Betrieb	Lampe
X1 - 16	Pinbelegung des Harting-Steckers	-
Y1	Spule, NLE, 2/2-Wege-Ventil (Ruhezustand geschlossen)	elektrisch betätigt
Y2	Spule, NLE, 2/2-Wege-Ventil (Ruhezustand geöffnet)	elektrisch betätigt
Y3	Spule, Umfülleinheit, Pos. 1 (hydraulischer Schaltplan)	elektrisch betätigt
Y4	Spule, Umfülleinheit, Pos. 2 (hydraulischer Schaltplan)	elektrisch betätigt
Y5	Spule, Umfülleinheit, Pos. 3 (hydraulischer Schaltplan)	elektrisch betätigt
Y6	Spule, Umfülleinheit, Pos. 5 (hydraulischer Schaltplan)	elektrisch betätigt
Y7	Spule, Umfülleinheit, Pos. 6 (hydraulischer Schaltplan)	elektrisch betätigt
Y8	Spule, Umfülleinheit, Pos. 7 (hydraulischer Schaltplan)	elektrisch betätigt



# Anhang D – Zeichnungen und Stücklisten

## Stückliste

"NLE Prüfstand; DT4"

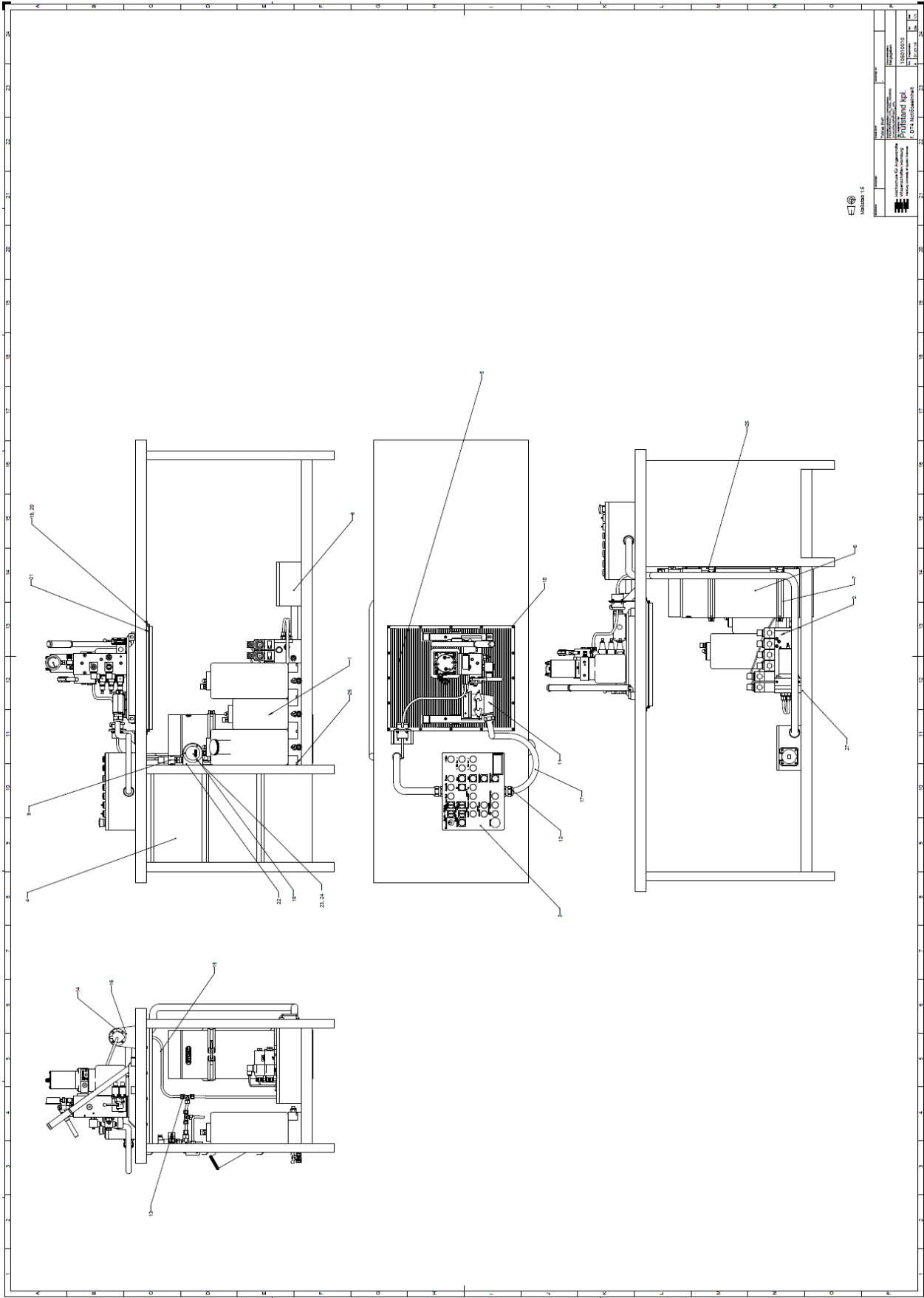
Zeichnungsnummer: 105010010

Ersteller: Tobias Wolf

Datum: 29.07.2019

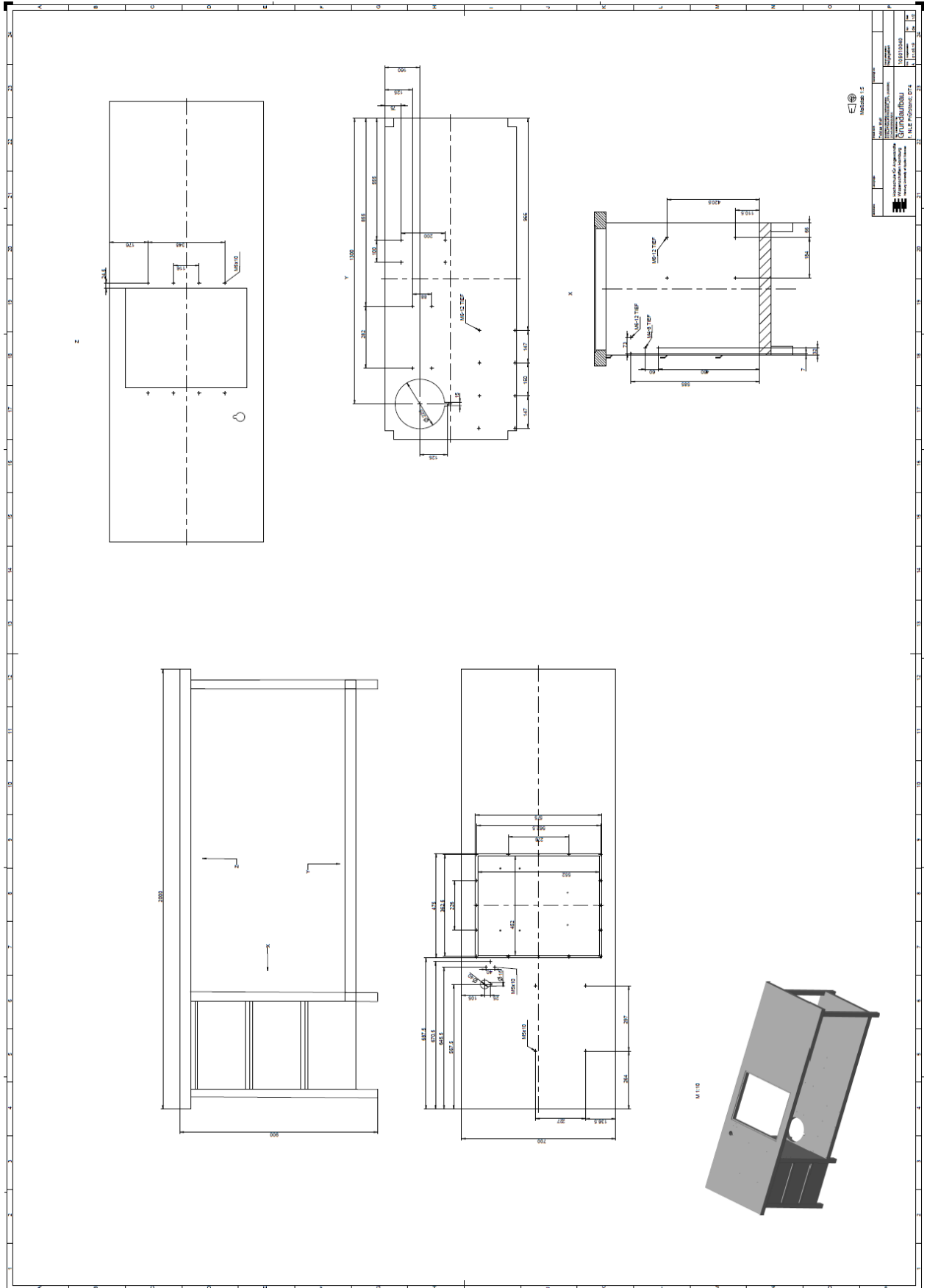
Blatt: 1 von 1

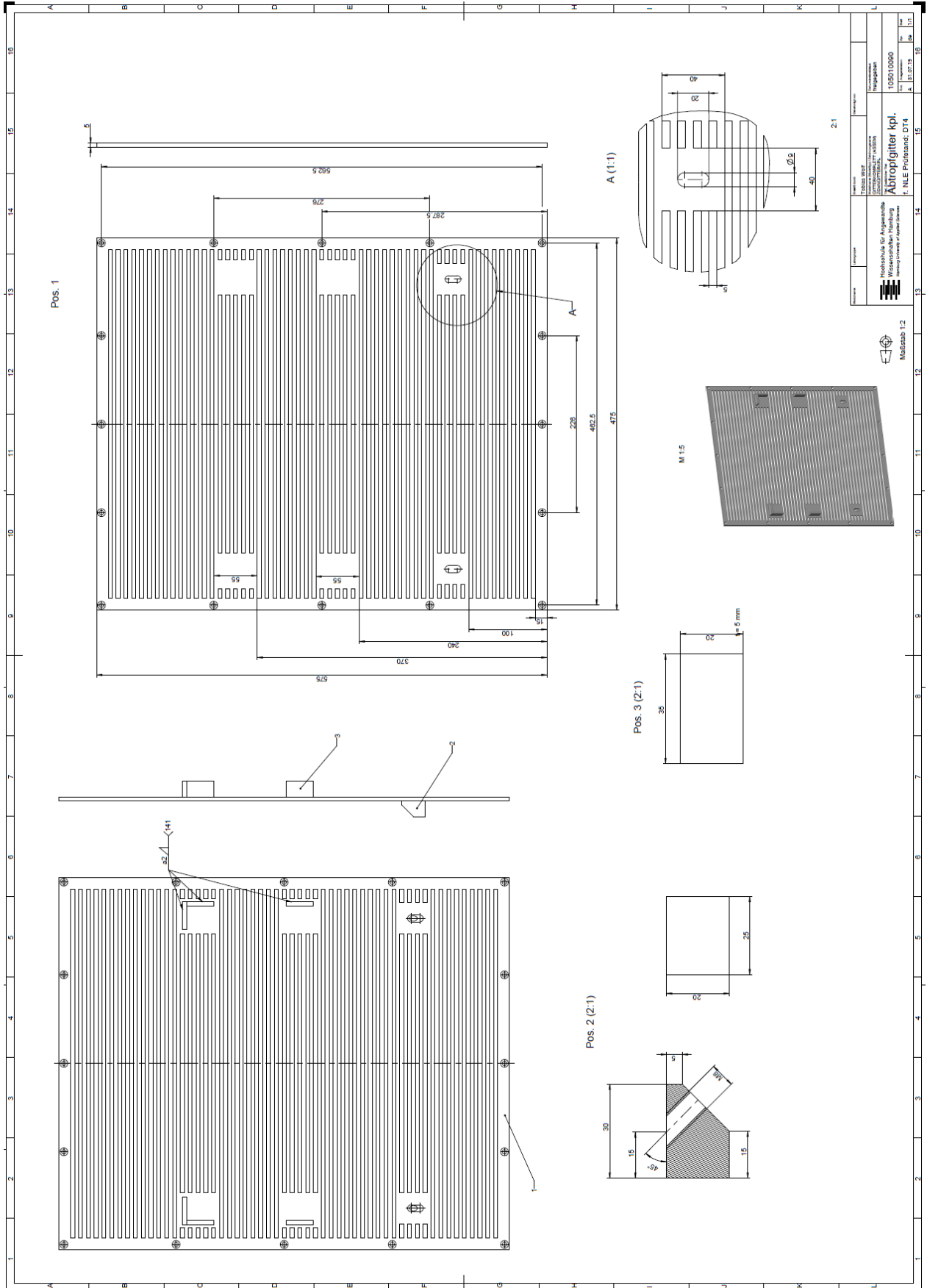
Pos.	Menge	Bezeichnung	Norm/ Werkstoff/ Art.-Nr.	Zchn. Nr.
1	1 ST	Umfüllereinheit f. NLE Prüfstand; DT4	Nach Zeichnung	105010020
2	1 ST	Verteilerblock kpl. f. NLE Prüfstand; DT4	Nach Zeichnung	105010030
3	1 ST	Bedieneinheit kpl. f. NLE Prüfstand; DT4	Nach Zeichnung	105010050
4	1 ST	Grundaufbau f. NLE Prüfstand; DT4	Fa. Heinrich Meier GmbH - Art. 9141455022	105010040
5	1 ST	Abtropfgitter kpl. f. NLE Prüfstand; DT4	Nach Zeichnung Werkstoff: 1.4401	105010090
6	1 ST	Hydrospeicher (Kolbenspeicher)	Fa. Hydac SK350-10/2116U-AAC-VA-18-080	
7	2 ST	Befestigungsschellen f. Hydrospeicher	HyRac 216-224/226 H5 ST Fa Hydac - Art. 445047	
8	1 ST	Netzteil f. NLE Prüfstand	Beinhaltet unter anderem: Fa. Mean Well - Art. RST-5000-24	
9	1 ST	Druckmessumformer	Fa. Wika - Typ A-10, 0-160 bar, 24 V DC, 4-20 mA, G3/8"	
10	28 ST	Senkschraube	DIN 7991 - M5x12 - A2	
11	1 ST	Hartingstecker	HHA SAP-Materialnummer: 125401	
12	3 ST	Kabelverschraubung	Fa. Lapp - Art. 53111050 + 53119050	
13	2 ST	T-Stück	3x G3/8" (AG)	
14	1 ST	Rohrleitungskupplung mit Abreißsicherung	HHA SAP-Materialnummer: 48052	145854
15	Bedarf	Hochdruck Hydraulikschlauch mit G3/8" Überwurmmuttern an beiden Enden	DN 8 - PTFE	
16	1 ST	Halterung f. Argus-Kupplung	Werkstoff: 1.4401	105010060
17	Bedarf	Kabelschutzhülle	Fa. Murrplastik - Art. 83164062	
18	1 ST	Manometer	Fa. Wika - 233.50-C-BG516P-GB-BZEZCZZ-ZZZZ	
19	1 ST	Führungsschiene f. Auffangbehälter - Variante 1	Werkstoff: 1.4401	105010070
20	1 ST	Führungsschiene f. Auffangbehälter - Variante 2	Werkstoff: 1.4401	105010070
21	1 ST	Auffangbehälter f. NLE Prüfstand; DT4	Werkstoff: 1.4401	105010080
22	1 ST	Halterung f. Manometer	Werkstoff: 1.4401	105010100
23	3 ST	Zylinderschraube mit Innensechskant	DIN 912 - M4x8 - A2	
24	3 ST	Sechskantmutter	ISO 4032 - M4	
25	10 ST	Zylinderschraube mit Innensechskant	DIN 912 - M6x10 - A2	
26	8 ST	Zylinderschraube mit Innensechskant	DIN 912 - M6x25 - A2	
27	4 ST	Zylinderschraube mit Innensechskant	DIN 912 - M6x50 - A2	

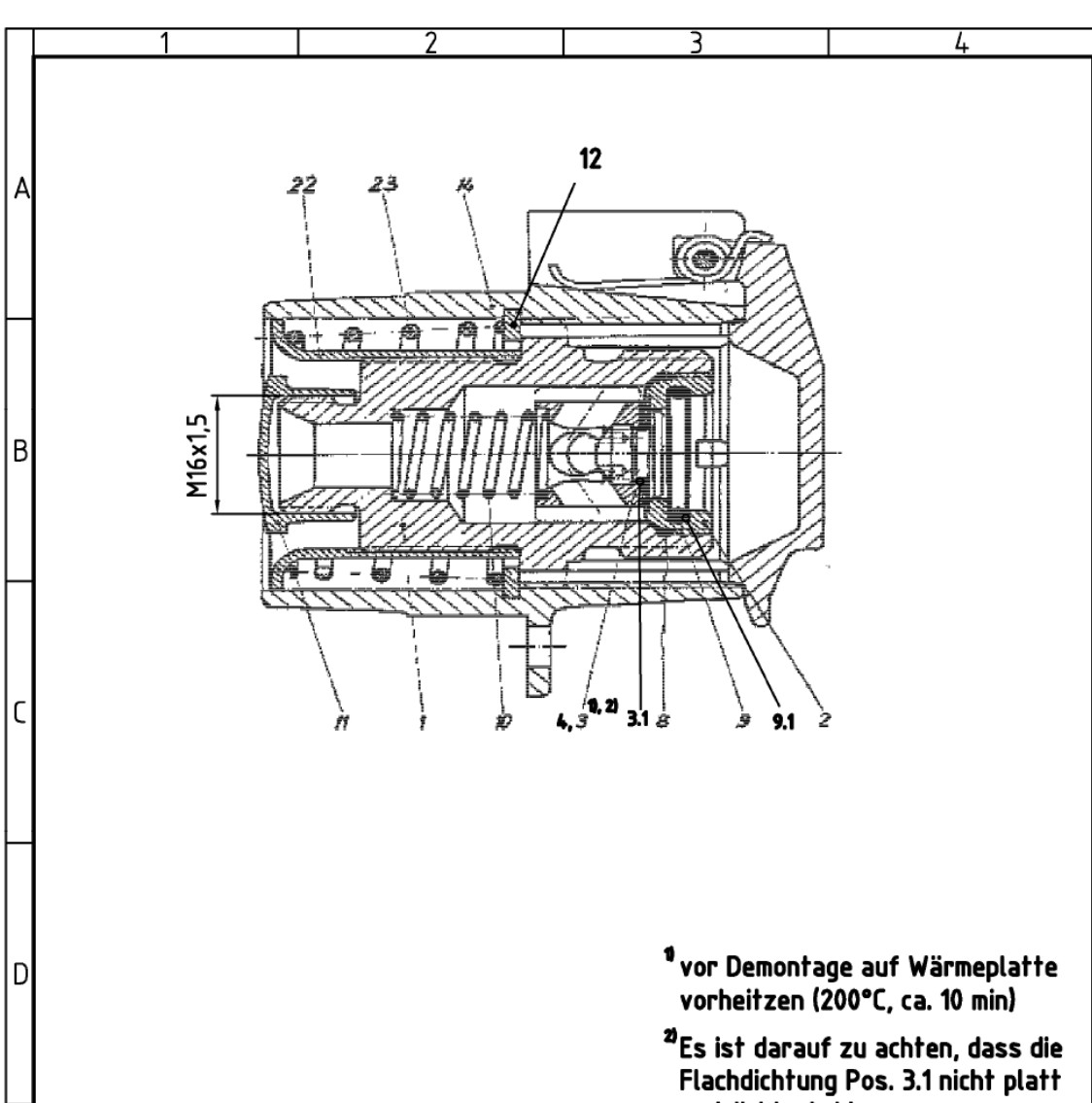


ISO 9001:2015

Zeichnung	130371012
Produkt	Fließband APL
Produktionsart	DTA Hochgeschwindigkeit
Version	1
Gezeichnet	
Geprüft	
Freigegeben	



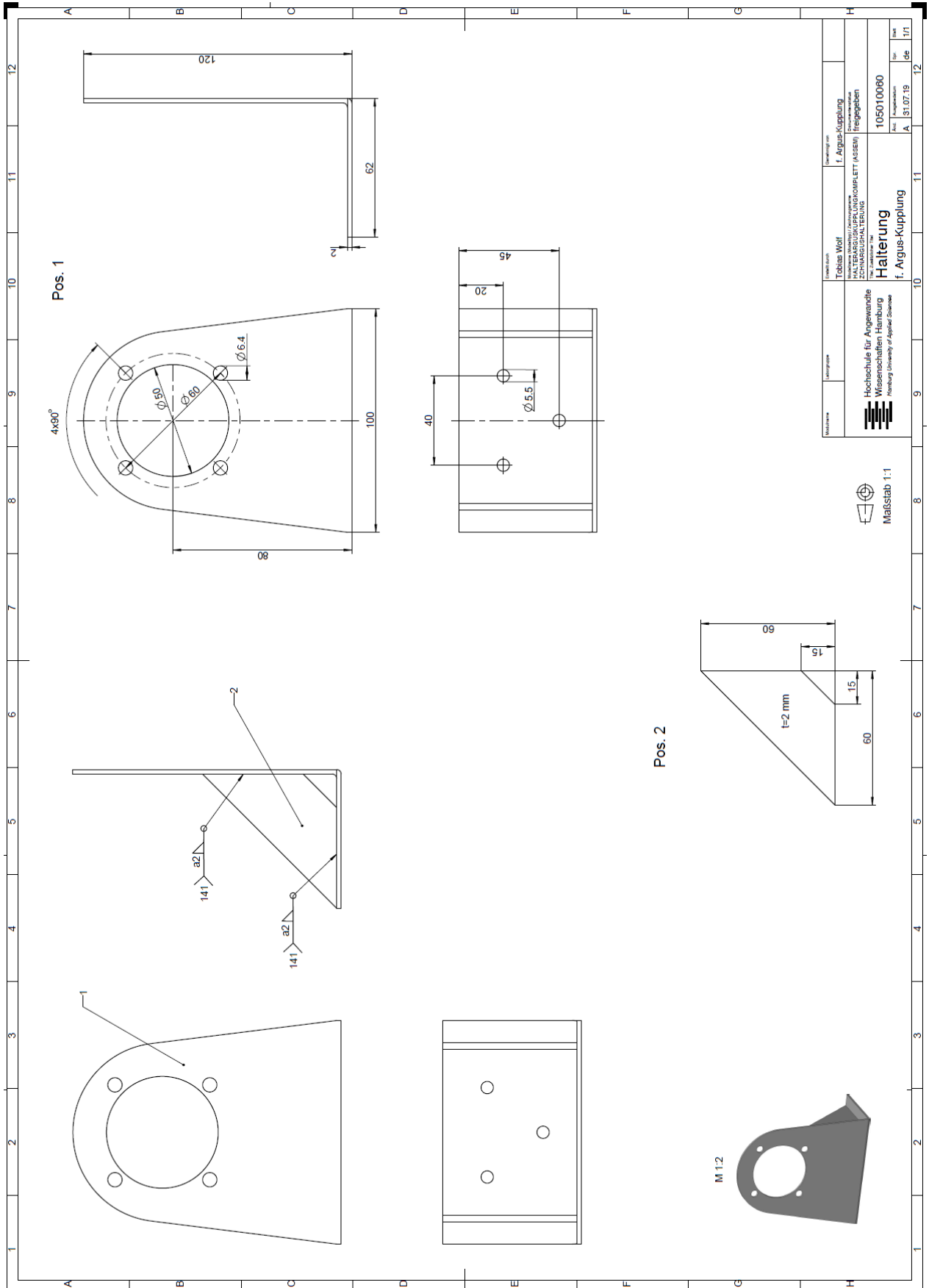


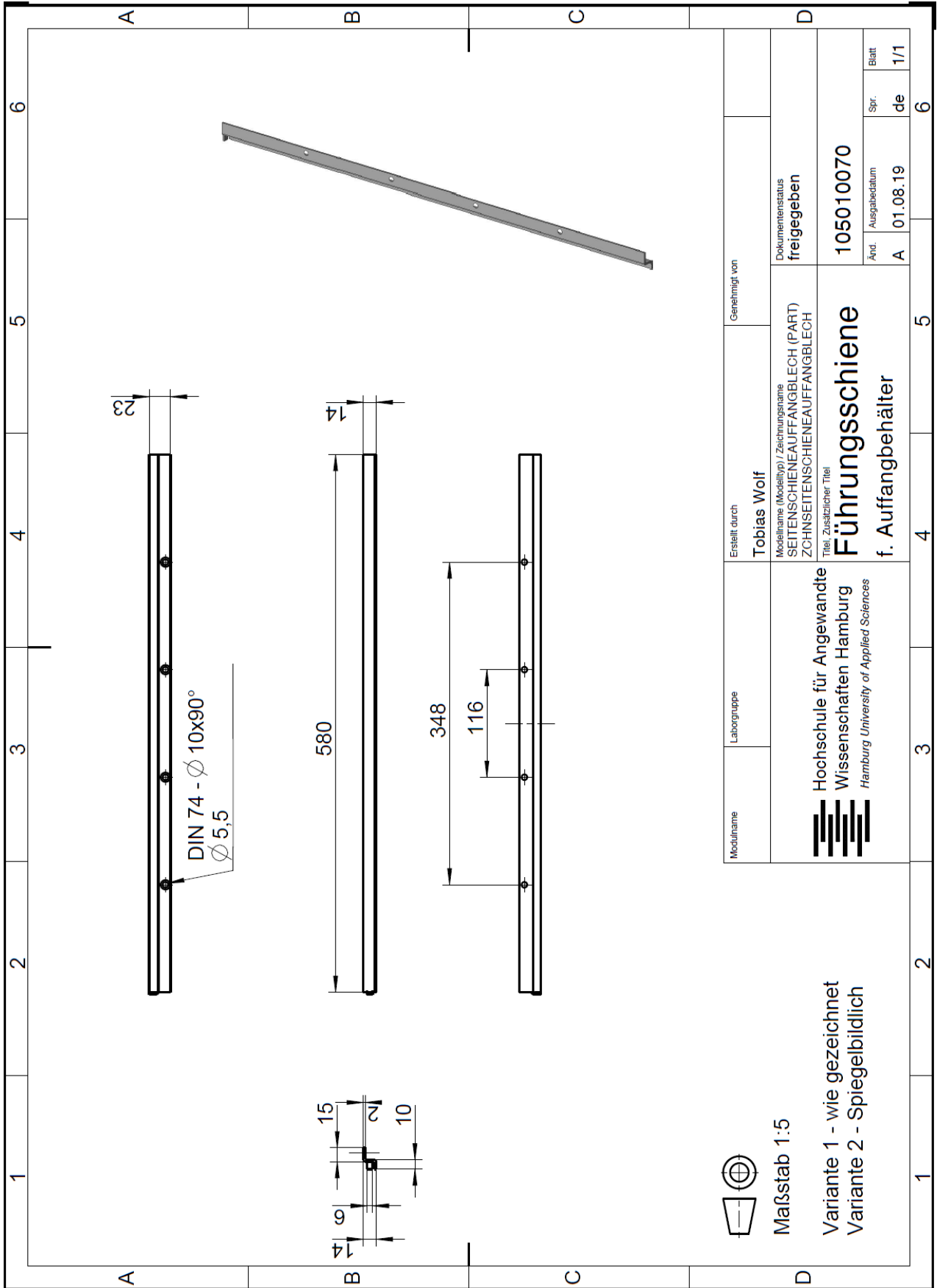


- <sup>1</sup> vor Demontage auf Wärmeplatte vorheizen (200°C, ca. 10 min)
- <sup>2</sup> Es ist darauf zu achten, dass die Flachdichtung Pos. 3.1 nicht platt gedrückt wird !

**Rohrleitungskupplung, Festhelfte mit EPDM-Dichtungen!!**  
**Spezialnuss siehe Zeichnung 10501030042**

Verwendbar fuer: DT4, DT3, Arb-Fahrzeuge Notlöseeinrichtung				Ausgabe											
				Datum											
Allgemein-toleranzen DIN ISO 2768 m				Werkstueck-kanfen DIN 6704				Massstab 1:1				Klassifizierung QA			
				Datum				Name				Rohrleitungskupplung mit Abreißsicherung, M16x1,5			
				Bearb. 06.07.2009				Alaoui							
				Gepr.											
				Nenn											
B 10082 03/10 MJ								145954				Blatt 1			
A 9952 06/09 Ai												1 BL			
Zust.		Aenderung		Datum		Name		Urspr. Argus 341210		00		Ers.f.		Ers.d.	

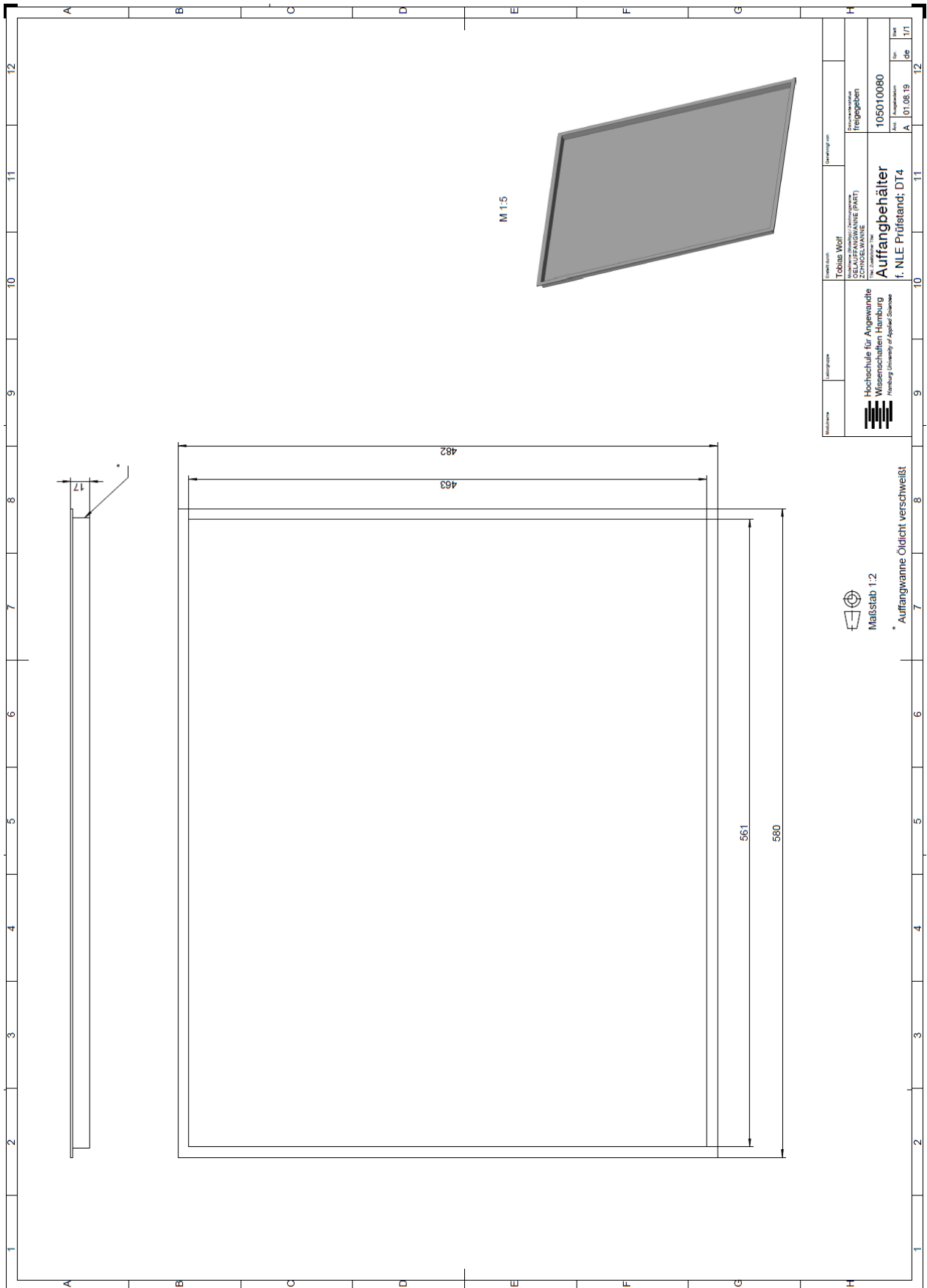




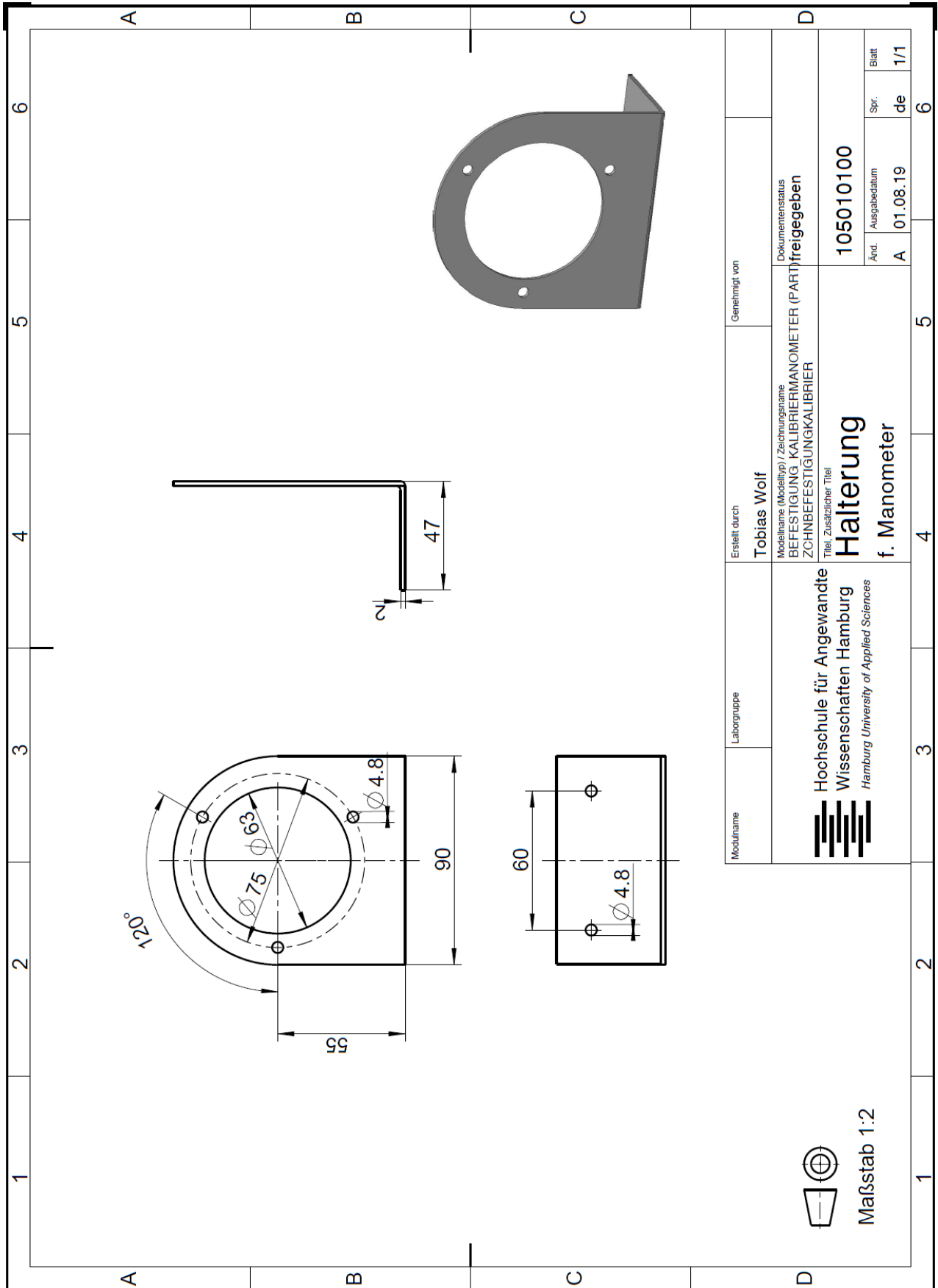
Maßstab 1:5

Variante 1 - wie gezeichnet  
Variante 2 - Spiegelbildlich

Modulname	Laborgruppe	Ersellt durch	Genehmigt von
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Tobias Wolf	
Modelname (Modelltyp) / Zeichnungsname SEITENSCHIENE/AUFFANGBLECH (PART) ZCHNSEITENSCHIENE/AUFFANGBLECH		Dokumentenstatus freigegeben	
Titel, Zusätzlicher Titel <b>Führungsschiene</b> f. Auffangbehälter		105010070	
Änd.		Ausgabedatum	Blatt
A		01.08.19	de 1/1
1	2	3	4
5	6		







## Stückliste

"Umfülleinheit für NLE Prüfstand; DT4"

Zchn.-Nr

105010020

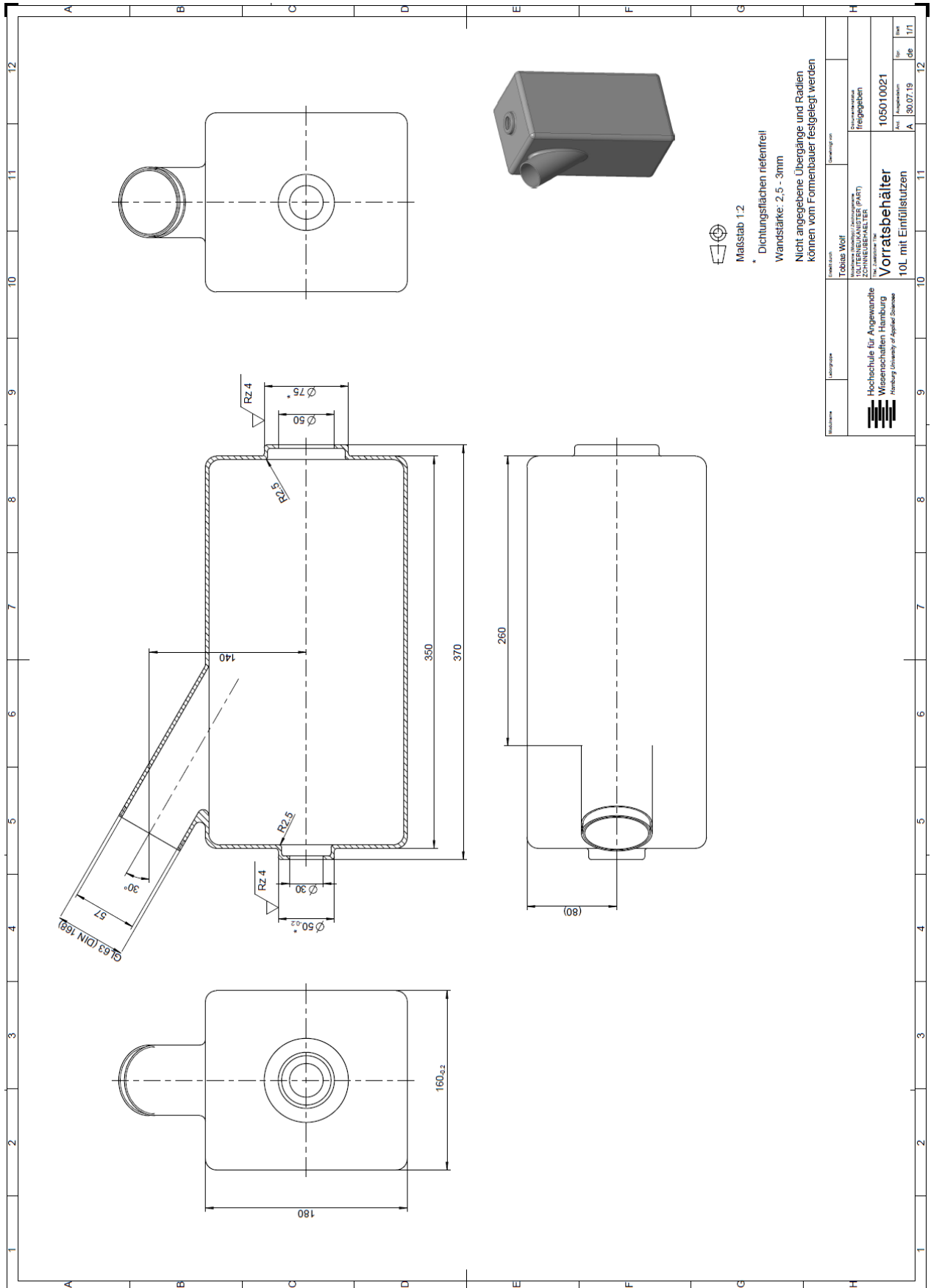
Ersteller: Tobias Wolf

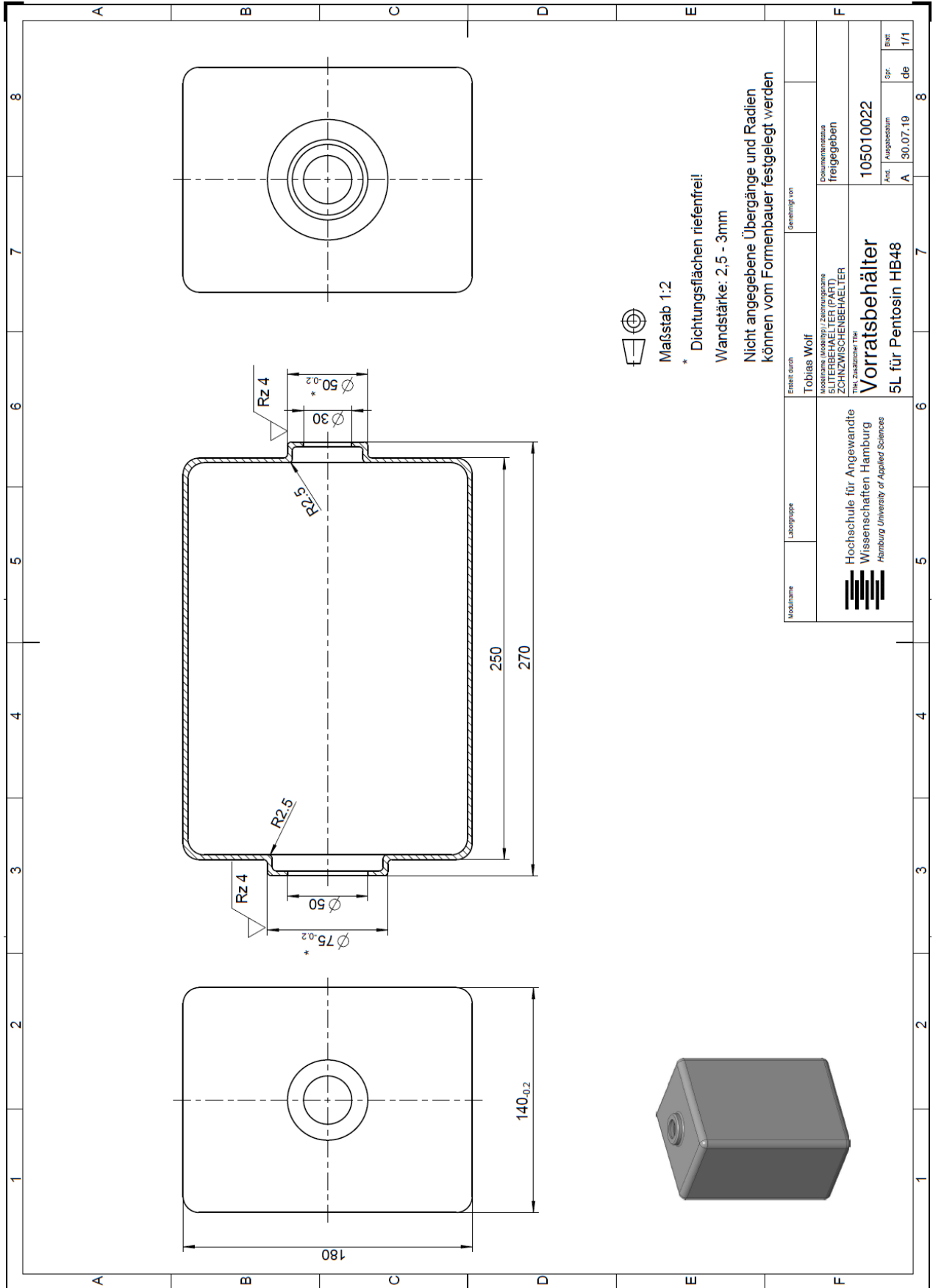
Datum: 29.07.2019


Blatt: 1 von 1

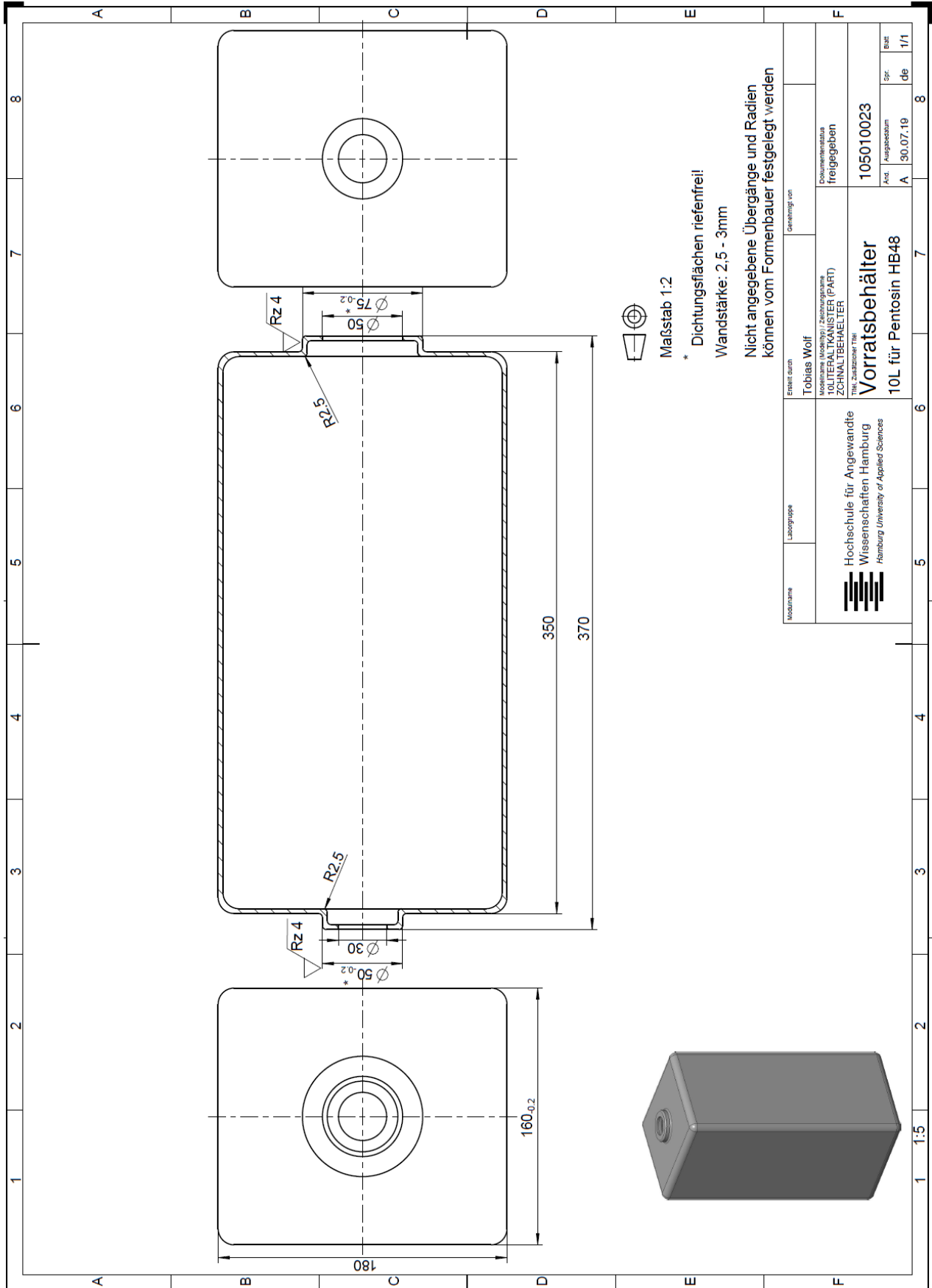
Pos.	Menge	Bezeichnung	Norm/ Werkstoff/ Art.-Nr.	Zchn. Nr.
1	1 ST	Vorratsbehälter 10L mit Einfüllstutzen	Nach Zeichnung Werkstoff: Polyethylen, Beständig gegenüber Bremsflüssigkeit	105010021
2	1 ST	Vorratsbehälter 5L	Nach Zeichnung Werkstoff: Polyethylen, Beständig gegenüber Bremsflüssigkeit	105010022
3	1 ST	Vorratsbehälter 10L	Nach Zeichnung Werkstoff: Polyethylen, Beständig gegenüber Bremsflüssigkeit	105010023
4	1 ST	Sockel für Umfülleinheit kpl.	Nach Zeichnung Werkstoff: 1.4401	105010024
5	3 ST	Oberteil für Vorratsbehälter	Nach Zeichnung Werkstoff: 1.4401	105010025
6	3 ST	Hutmutter M12	DIN 1587 - M12 - A2	
7	3 ST	Einschraub-Luftfilter	Fa. Bosch - Art. 1 427 432 000	
8	5 ST	Gerader Einschraubstutzen	Doppelnippel G3/8 - G3/8 Fa. Landefeld - Art. DN 3838 HD ES	
9	3 ST	Kugelhahn	Fa. 2wheel 4wheel GmbH Art. 12.640.08	
10	2 ST	Stiftschraube M10 f. 10L Vorratsbehälter	Nach Zeichnung Werkstoff: 1.4401	105010026
11	1 ST	Stiftschraube M10 f. 5L Vorratsbehälter	Nach Zeichnung Werkstoff: 1.4401	105010027
12	3 ST	O-Ring Behälteroberteil	O-Ring 55x3 - EPDM - Sh 70 Fa. Technirub - Art. 1250E0034958	
13	3 ST	O-Ring Behälterunterteil	O-Ring 80x3 - EPDM - Sh 70 Fa. Technirub - Art. 1250E0023749	
14	1 ST	Verschlusskappe für Vorratsbehälter	Verschraubung GL63	






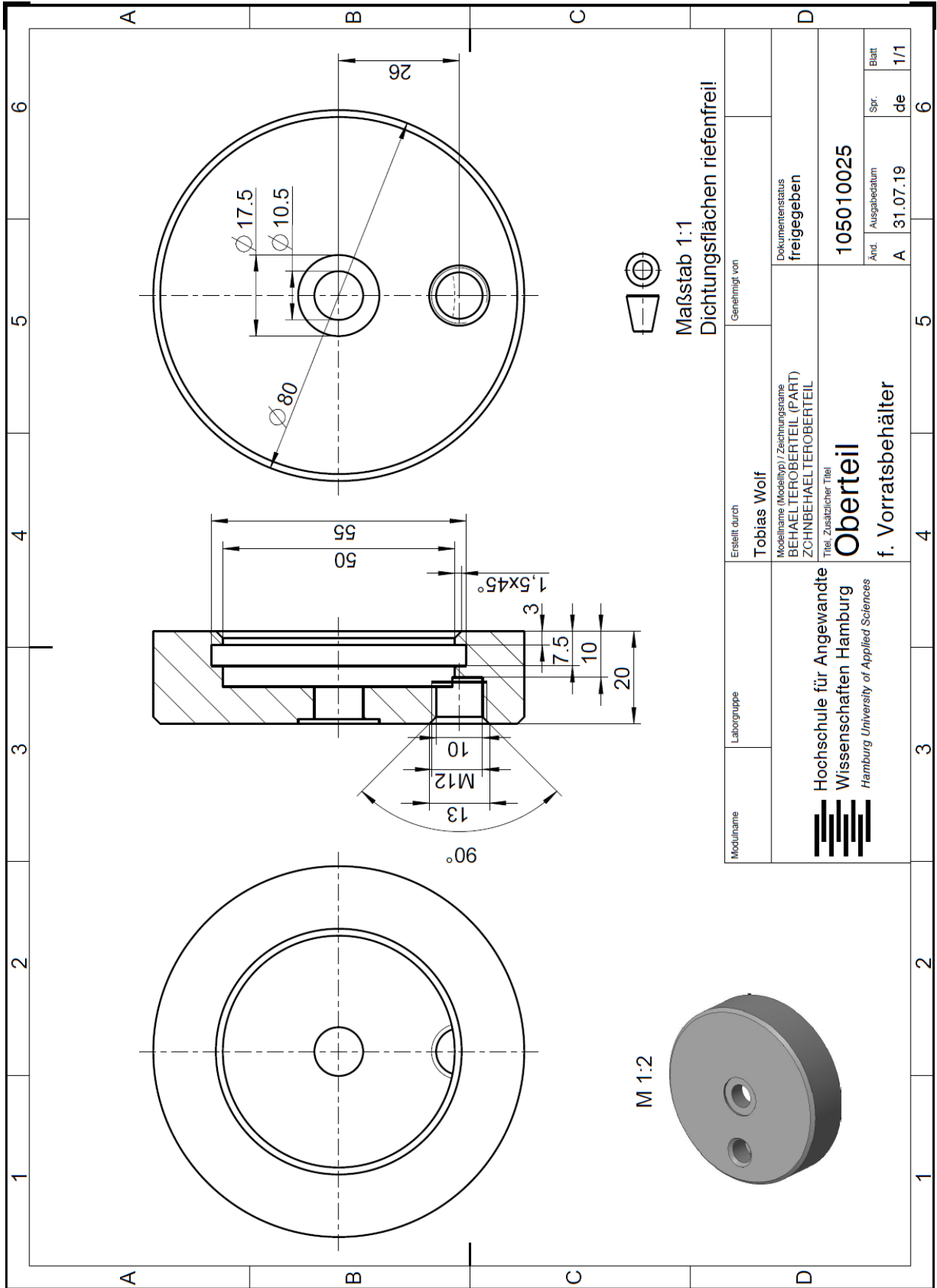


Modellname	Laborgruppe	Erstellt durch	Genehmigt von
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences	Tobias Wolf LABORGRUPPE (MATERIAL) ZERLEGENDE SLURBEHALTER (PART) ZWISCHENBEHALTER TRAG. ZUSATZLICHER TEIL	Fachbereichstechnik freigegeben	
		105010022 And. / Ausgabestadium A / 30.07.19	
Vorratsbehälter 5L für Pentosin HB48		Spr.	Blatt
		de	1/1

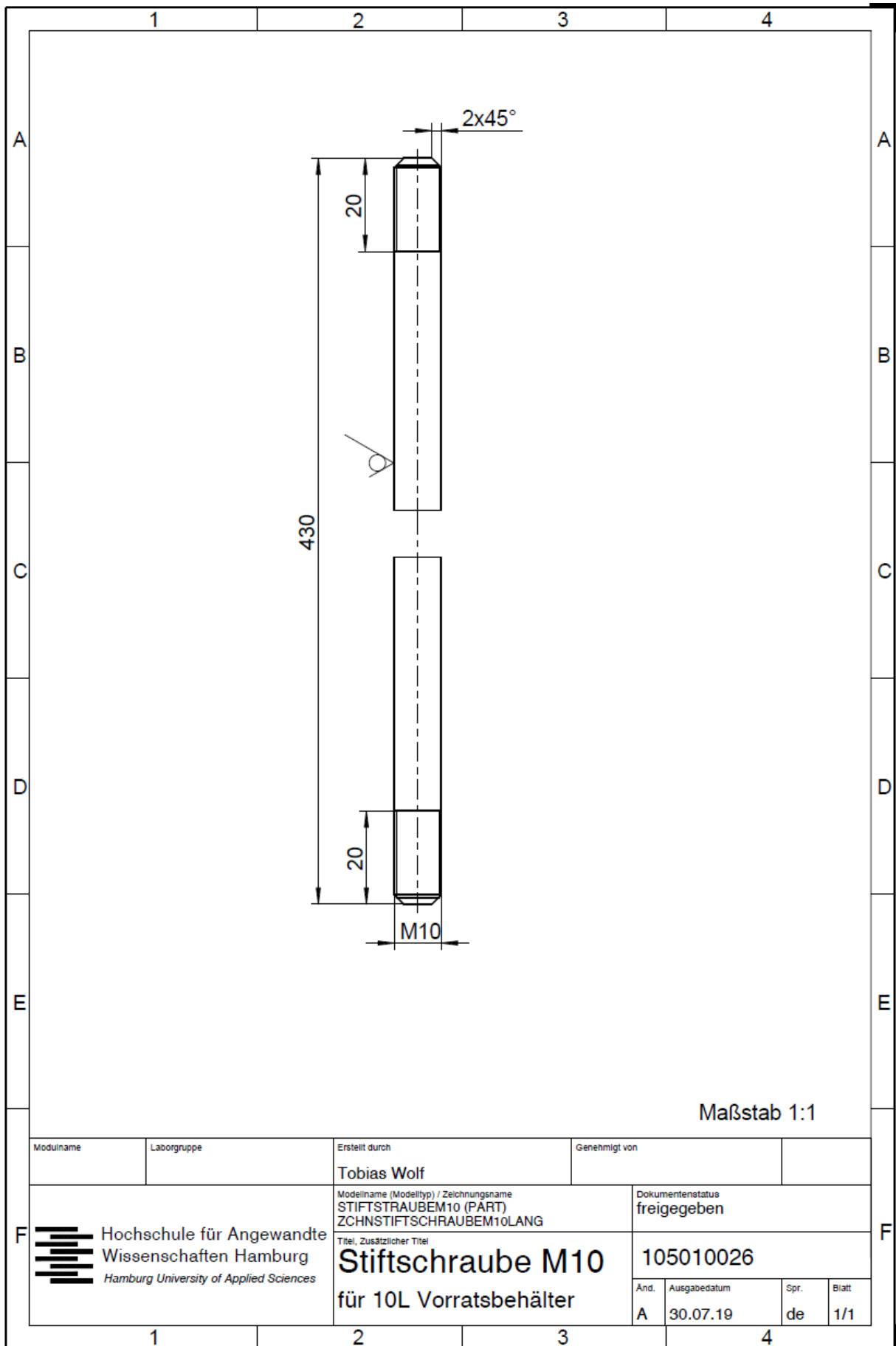


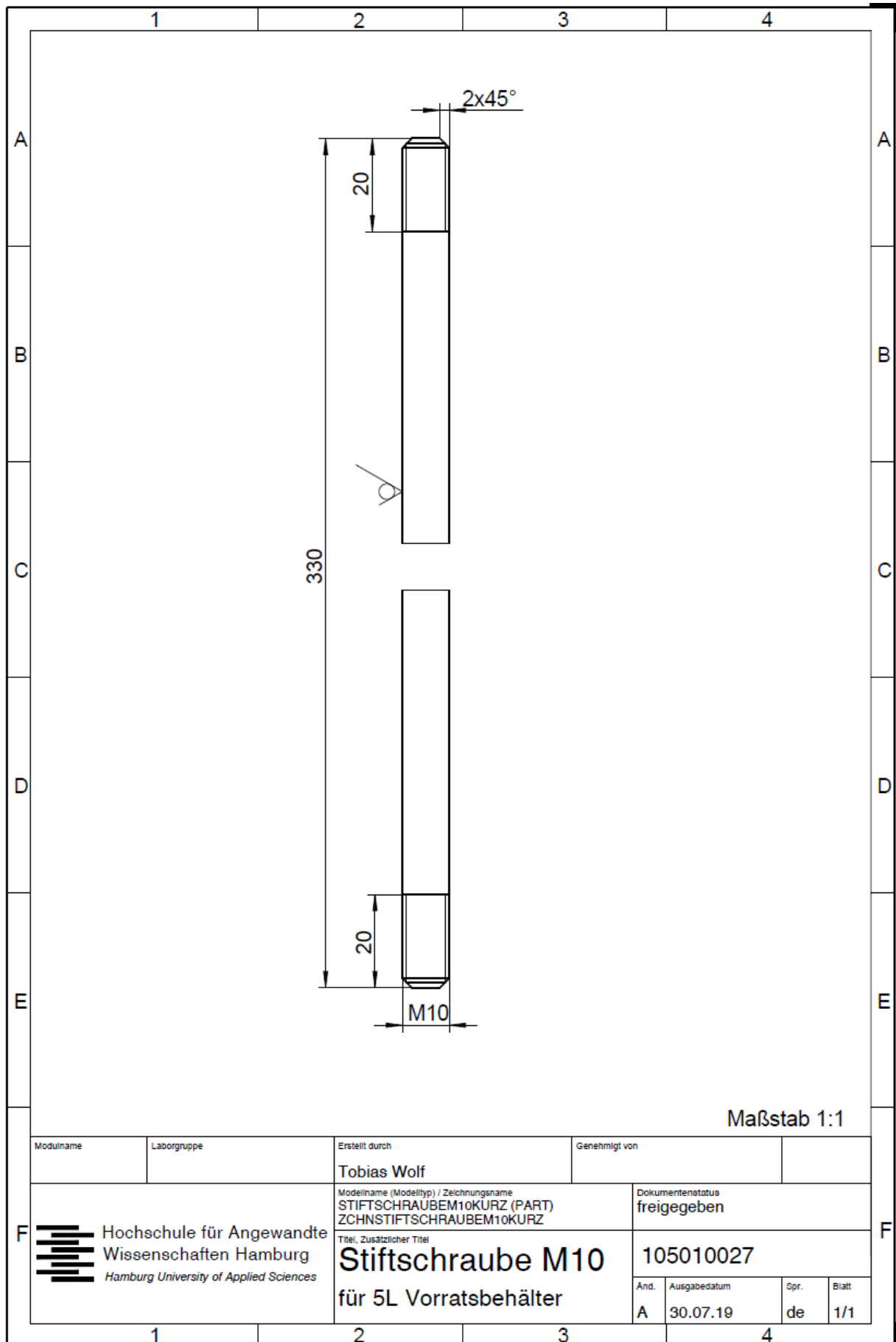
Modulname	Laborgruppe	Erstellt durch	Genehmigt von
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences	Tobias Wolf	Hochschullehrer / Zeichnungsgruppe 10LITERALTANKANISTER (PART) ZSCHNALTBEHALTER TRM, Zusatzzeichen TRM	
		Dokumentenstatus freigegeben	
Vorratsbehälter 10L für Pentosin HB48		105010023 And. Ausgabedatum A 30.07.19	
		Blatt 1/1	












Maßstab 1:1

Modulname	Laborgruppe	Erstellt durch <b>Tobias Wolf</b>	Genehmigt von	
 Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences		Modellname (Modelltyp) / Zeichnungsname STIFTSCHRAUBEM10KURZ (PART) ZCHNSTIFTSCHRAUBEM10KURZ	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel <b>Stiftschraube M10</b> für 5L Vorratsbehälter	105010027	
		And. A	Ausgabedatum 30.07.19	Spr. de

# Stückliste

"Verteilerblock kpl. für NLE Prüfstand; DT4"

Zchn.-Nr

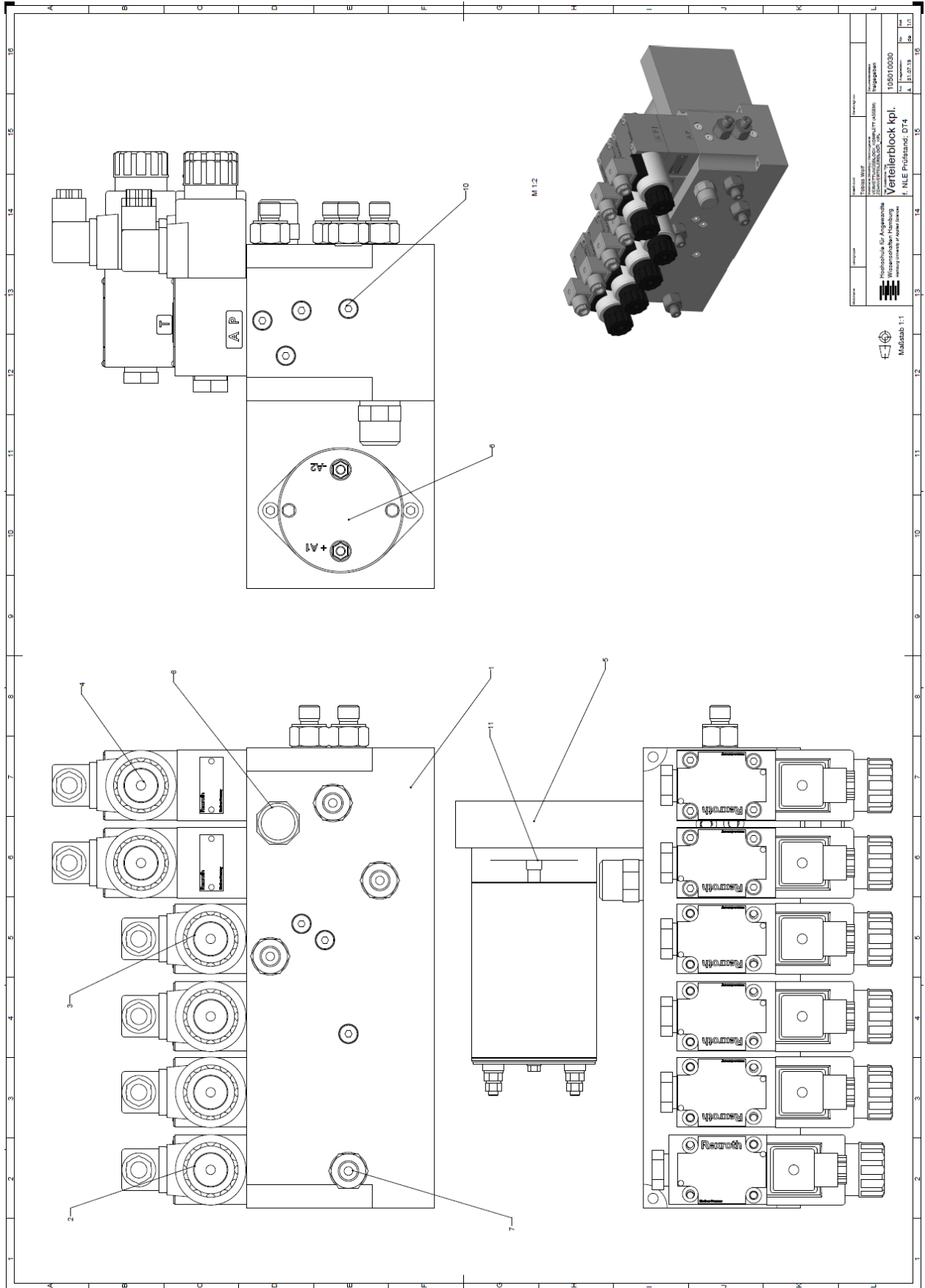
105010030

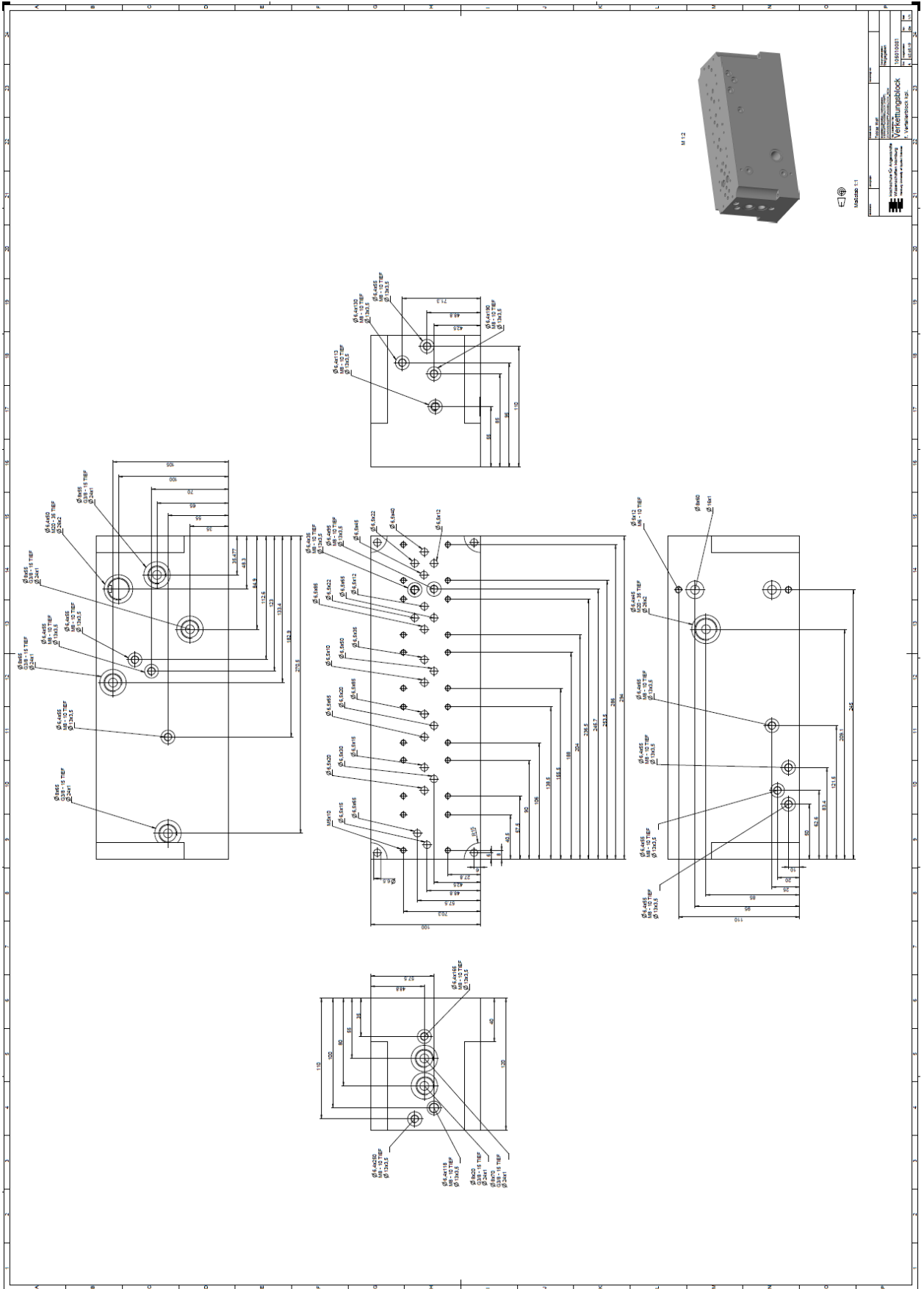
Ersteller: Tobias Wolf

Datum: 29.07.2019

Blatt: 1 von 1

Pos.	Menge	Bezeichnung	Norm/ Werkstoff/ Art.-Nr.	Zchn. Nr.
1	1	Verkettungsblock f. Verteilerblock kpl.	Nach Zeichnung Werkstoff: 1.4401	105010031
2	1	2/2-Wege-Sitzventil	2/2-Wege-Sitzventil, federrückgestellt, elektrisch betätigt, in Ruhestellung geschlossen	
3	3	3/2-Wege-Sitzventil	3/2-Wegeventil, federrückgestellt, elektrisch betätigt 1. Schaltstellung: P<->A, T gesperrt 2. Schaltstellung: T<->A, P gesterrt	
4	2	4/2-Wege-Sitzventil	4/2-Wegeventil, federrückgestellt, elektrisch betätigt 1. Schaltstellung: P->A, B->T 2. Schaltstellung: P,T,A,B gesperrt	
5	1	Flansch	A12-VM15	
6	1	Motor-Pumpe-Kombination	Sealconcept - Art. C94 - 16	
7	7	Gerader Einschraubstutzen für Behälterunterbau	Doppelnippel G3/8 - G3/8 Fa. Landefeld - Art. DN 3838 HD ES	
8	2	Einschraubfilter	Fa. Sunhydraulics - Art. FLDAXN	
9	13	Blindstopfen	DIN 908-ST-M8x1-AA	
10	2	Zylinderschraube	ISO 4762 - M6x20 - A2	





TECHNISCHE INFORMATIE	
Titel	Verkettingabock
Gravur-Nr.	10910081
Gravur-Datei	10910081.dwg
Gravur-Zust.	1
Gravur-Skizze	
Gravur-Gruppe	
Gravur-Teil	Verkettingabock
Gravur-Werkstoff	Aluminium
Gravur-Menge	1000000
Gravur-Produktionsart	Verfahren
Gravur-Produktionsort	
Gravur-Produktionsdatei	
Gravur-Produktionszeit	
Gravur-Produktionskosten	
Gravur-Produktionsbearbeiter	
Gravur-Produktionsverantwortlicher	
Gravur-Produktionsüberwacher	

## Stückliste

"Bedieneinheit kpl. für NLE Prüfstand; DT4"

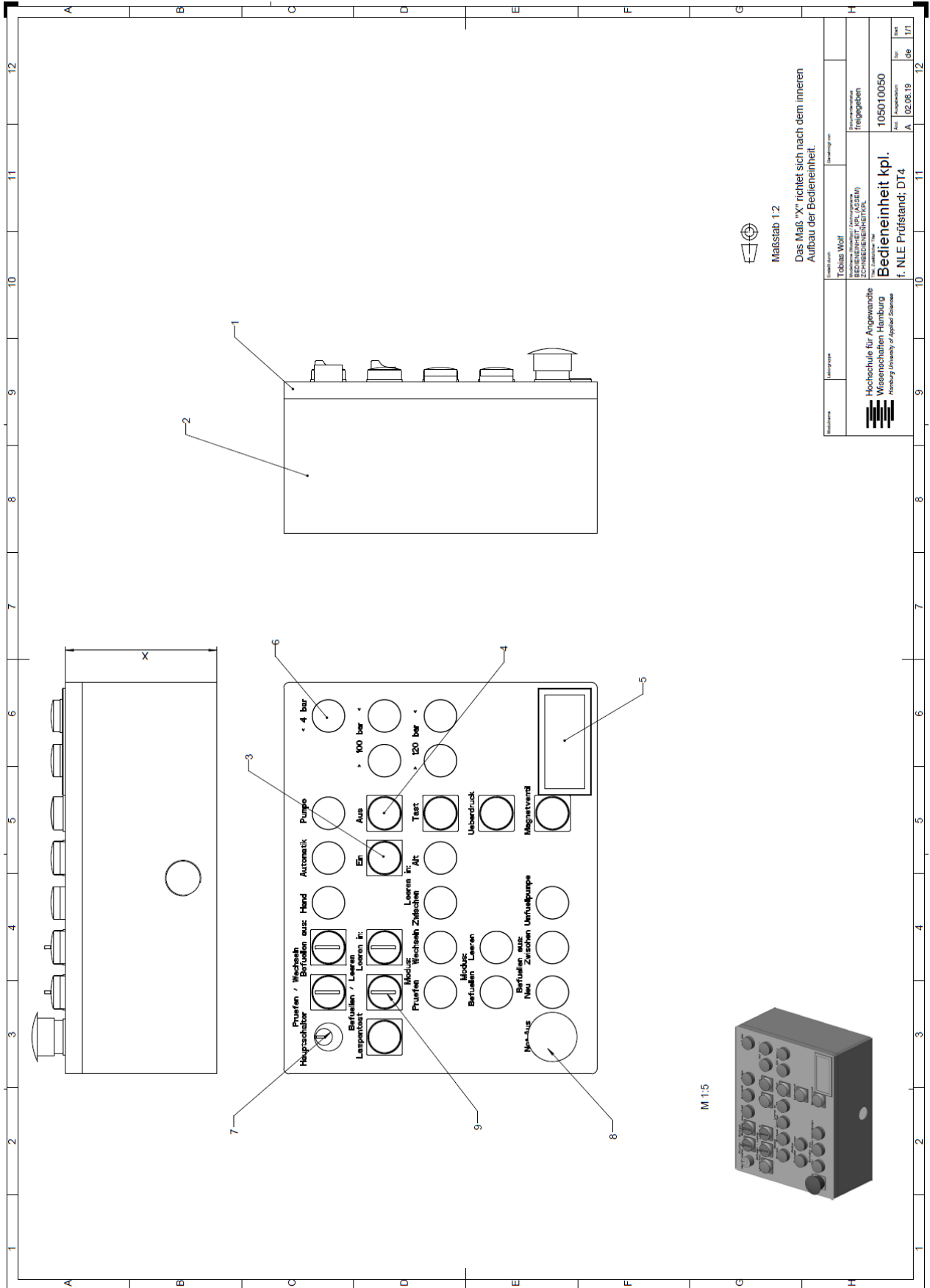
Zchn.-Nr 105010050

Ersteller: Tobias Wolf

Datum: 29.07.2019

Blatt: 1 von 1

Pos.	Menge	Bezeichnung	Norm/ Werkstoff/ Art.-Nr.	Zchn. Nr.
1	1	Deckel		105010051
2	1	Gehäuse	Nach Maßen der LOGO! Und des Deckels zu fertigen	
3	5	Drucktaster Grün	Fa. Klinger Born - Art. 4070.0138	
4	1	Drucktaster Rot	Fa. Klinger Born - Art. 4070.0140	
5	1	Digitale Druckmessanzeige	Fa. PCE Instruments - Art. PCE-N24S	
6	17	Meldeleuchte Grün	Fa. Klinger Born - Art. 4070.0160	
7	1	Schlossschalter	Fa. Klinger Born - Art. 4070.0116	
8	1	Not-Aus-Taster	Fa. Eaton - Art. C22-PVT45P-K02-P62	
9	4	Rastschalter	Fa. Eaton - Art. 216816	



Hersteller	Leistungsbereich	Benennung des Bauteils	Blatt	von	von
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg University of Applied Sciences	Tabbas Wolf	105010050	A	02.08.19	1/1
Zustand (Anzahl / Datum (gggg-mm-yy))		Freigegeben			
SCHNEIDERHEITZEL					
f. NLE Prüfstand; DT4					

