

Optimierung von migrationsfähigen Montageprozessen zu Digitalen Automatischen Kupplungen für den Schienengüterverkehr

Bachelorarbeit

Erstgutachterin:

Frau Prof. Dr.-Ing. Christine Große

Zweitgutachter:

Herr Prof. Dr.-Ing. Michael Lehmann

Fachhochschule Erfurt

Fakultät Wirtschaft-Logistik-Verkehr

Fachrichtung Verkehr- und Transportwesen

Studiengang Wirtschaftsingenieur/in Eisenbahnwesen

Verfasser:

Merz, Ba Quy

120089510

ba.merz@fh-erfurt.de

Erfurt, 19.03.2024

Sperrvermerk

Die vorgelegte Bachelorarbeit mit dem Titel „Optimierung von migrationsfähigen Montageprozessen zu Digitalen Automatischen Kupplungen für den Schienengüterverkehr“ basiert auf internen, vertraulichen Daten und Informationen des Unternehmens der Deutschen Bahn AG. Veröffentlichungen oder Vervielfältigungen der Arbeit – auch nur auszugsweise – sind ohne ausdrückliche Genehmigung des Vorstandes der Deutschen Bahn AG nicht gestattet. Die Arbeit ist ausschließlich für die zuständigen Korrektoren, die zuständige Fachleiterin sowie den Mitgliedern der Prüfungskommission zugänglich zu machen.

X_____

Daniel Wolfram

DB Cargo AG

Digital Automatic Coupling Project, L.CBX

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Historische Entwicklung der DAK	3
2.2 Bauteile einer DAK	8
2.3 Automatisierungsgrade einer DAK	11
3 Der Prozessablaufplan (PAP)	14
4 Vorstellung des DAK-Montageprozesses	17
5 Ableitung von Optimierungskriterien	20
5.1 Zeit	20
5.2 Kosten	20
5.3 Personal	21
6 Analyse des aktuellen Montageprozesses	22
6.1 Versuchsumgebung	23
6.2 Randbedingungen	24
6.3 Vorbereitung der Umbauversuche	25
6.4 Durchführung	27
6.4.1 Versuch 1 – Hersteller 1; erfahrene Mitarbeiter; „schneller“ Prozess	29
6.4.2 Versuch 2 – Hersteller 1; Erfahrene Mitarbeiter; normaler Prozess	30
6.4.3 Versuch 3 – Hersteller 2; Erfahrene Mitarbeiter; normaler Prozess	31
6.4.4 Versuch 4 – Hersteller 2; Erfahrene Mitarbeiter; „schneller“ Prozess	32
6.4.5 Versuch 5 – Hersteller 2; Erfahrene Mitarbeiter; normaler Prozess	33
6.4.6 Versuch 6 – Hersteller 2; Unerfahrene Mitarbeiter; normaler Prozess	34
6.4.7 Versuch 7 – Hersteller 2; Unerfahrene Mitarbeiter; normaler Prozess	35

7	Definition von Systemgrenzen und Bewertung der Messergebnisse.....	36
8	Entwicklung von Vorschlägen für die Optimierung	43
8.1	Hubtisch optimieren.....	43
8.2	Werkzeugkonzept.....	46
8.3	Mitarbeiter schulen	47
8.4	Arbeitsschritte parallel durchführen	47
8.5	Anpassen der Bauteile und Bauanleitung durch den Hersteller	48
9	Fazit	49
	Quellenverzeichnis.....	VII
	Anhang	i

Disclaimer

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Außerdem werden in dieser Arbeit aus Verschwiegenheitsverpflichtungen und Entwicklungsarbeiten keine spezifischen Hersteller oder Markennamen erwähnt. Nur an Stellen, an denen eine Nennung als unkritisch betrachtet wird, werden spezifische Hersteller genannt. Ansonsten wird im Laufe der Arbeit der Terminus „*Hersteller 1*, *Hersteller 2*, *etc.*“ für die verschiedenen Hersteller genutzt.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Weltweite Verteilung der Kupplungsarten im SGV.....	4
Abbildung 2: Greifbereich einer Scharfenbergkupplung	7
Abbildung 3: Frontansicht eines Kupplungskopfes	8
Abbildung 4: Prototyp eines Federpaketes	9
Abbildung 5: Schematischer Aufbau einer DAK	10
Abbildung 6: Grafische Darstellung der Automatisierungsgrade	13
Abbildung 7: Alte Position des Luftabsperrhahns bei einer SK.....	18
Abbildung 8: Mögliche neue Position des Luftabsperrhahns bei einer DAK	18
Abbildung 9: Schematischer Versuchsaufbau des Werkstattbereiches	23
Abbildung 10: Abgerüsteter Wagen.....	28
Abbildung 11: Ausschnitt aus dem PAP zur Darstellung des Fortschrittes im Prozess	28
Abbildung 12: Vergleich der Einbauversuche von Hersteller 1	38
Abbildung 13: Vergleich der Einbauversuche bei Hersteller 2 mit erfahrenen Mitarbeitern.....	39
Abbildung 14: Vergleich der Einbauversuche mit unerfahrenen Mitarbeitern	40
Abbildung 15: Vergleich zwischen Erfahrenen und Unerfahrenen Mitarbeiter.....	41
Abbildung 16: Konzeptvergleich zwischen Hersteller 1 und 2	42
Abbildung 17: Genutzter Hubwagen bei den Umbauversuchen in Mannheim.....	43
Abbildung 18: Prototyp des Hubwagens.....	44
Abbildung 19: Modifizierte Auflagefläche.....	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung und Bedeutung der im PAP verwendeten Symbole	15
Tabelle 2: Endgültiger Zeitplan für die Umbauversuche	26
Tabelle 3: Messdaten von Versuch 1	29
Tabelle 4: Messdaten von Versuch 2	31
Tabelle 5: Messdaten von Versuch 3	32
Tabelle 6: Messdaten zu Versuch 4	33
Tabelle 7: Messwerte zu Versuch 5.....	33
Tabelle 8: Messwerte zu Versuch 6.....	34
Tabelle 9: Messwerte zu Versuch 7.....	35

Abkürzungsverzeichnis

AK.....	A utomatische K upplung
AVV	A uftrags v erarbeitungs v ertrag
DAC4EU	D igital A utomatic C oupling for E urope
DAK	D igitalen A utomatische K upplung
DB FZI	D B F ahrzeug i nstandhaltung
DIN	D eutsches I nstitut für N ormung
EDDP	E uropean D AC D elivery P rogramme
E-Kuppler.....	E lektro k uppler
ep-Bremse	E lektro p neumatische B remse
EV.....	E inzelwagen v erkehr
GV	G üter v erkehr
GW	G üter w agen
HL.....	H aupt l uft l eitung
OSShD	O rganisation für die Z usammenarbeit der E isenbahnen
PAP	P rozess a blauf p lan
SGV.....	S chienen g üter v erkehr
UIC	U nion I nternationale des C hemins de fer

1 Einleitung

Der Güterverkehr (GV) hat sich in Deutschland in den letzten 20 Jahren verdoppelt.

Es werden immer mehr Güter über immer weitere Strecken transportiert.

Haupttransportmittel mit einem Anteil von 71,3% ist hierbei der LKW, was auch auf den Straßen sichtbar ist. Der Schienengüterverkehr (SGV) folgt mit weitem Abstand auf dem zweiten Platz mit einem Anteil von 19,8%. Jedoch bedeuten immer mehr LKW auf den Straßen auch zeitgleich immer höhere Emissionswerte. Allein im Jahr 2022 stießen LKW ca. 121g Treibhausgase pro Tonnenkilometer aus, wohingegen der SGV nur 16g pro Tonnenkilometer verursachte. Auch in der CO₂- Bilanz zeigt der SGV mit 80% weniger Ausstoß als der LKW seine klaren Vorteile in Sachen Nachhaltigkeit.¹ Auch die Politik setzt darauf, in Zukunft mehr Güter auf der Schiene zu transportieren. Bis zum Jahr 2030 soll der SGV einen Anteil von mindestens 25% an Gütertransport haben. Dadurch lässt sich der CO₂-Ausstoß in Deutschland verringern, da weniger LKW auf den Straßen unterwegs sind.²

Die damit einhergehende Herausforderung, liegt darin, den SGV und besonders den Einzelwagenverkehr (EV) nachhaltig zu fördern und durch Digitalisierung auch effizienter und zukunftstauglich zu machen. Eine einfache Lösung wäre, neue Lokomotiven zu kaufen und mehr Güterzüge fahren zu lassen. Dies ist aber so nicht möglich, da das Schienennetz in Deutschland jetzt schon komplett überlastet ist³.

Also müsste man hier massive Investitionsmaßnahmen ergreifen, um das Schienennetz auszubauen, was jedoch sehr teuer wäre. Daher bleibt nur die Alternative, die Effizienz im SGV zu steigern. Eines der größten Potenziale bietet hier die Digitale Automatische Kupplung (DAK). Sie soll die Leistung im SGV und besonders im EV durch Automatisierung und Digitalisierung steigern und somit einen Teil zur Verkehrswende beitragen. Eine Einführung der DAK in den SGV bringt aber auch seine Herausforderungen mit, wie unter anderem die Migration und den damit verbundenen Einbau einer DAK.

¹ Vgl. Allianz pro Schiene e.V. (2022).

² Vgl. VDV (2024).

³ Vgl. REISCHKE (2022).

Die folgende Arbeit beschäftigt sich mit der Optimierung des Montageprozesses einer Digitalen Automatischen Kupplung an einen Güterwagen (GW). Die hier erarbeiteten Ergebnisse bilden dann die Grundlage für zukünftige Optimierungsverfahren.

Hierfür wird in Kapitel zwei erklärt, wie es zu einer DAK kam. Es wird zudem der technische Hintergrund erläutert und es werden die Erleichterungen dargestellt, die eine DAK mitbringt.

Im dritten Kapitel wird erläutert, was ein Prozessablaufplan ist. Aufbauend darauf wird ein Prozessablaufplan erstellt.

Danach wird der aktuelle Montageprozess einer DAK erläutert und es wird auf erste Besonderheiten zwischen den verschiedenen Herstellern hingewiesen.

Im fünften Kapitel werden dann Optimierungskriterien ausgearbeitet, welche den aktuellen Montageprozess schneller und effizienter gestalten sollen. Dabei werden die Faktoren Zeit, Kosten und Personal genauer beleuchtet.

Im sechsten Kapitel wird der Montageprozess, welcher in Kapitel drei vorgestellt wurde, analysiert. Hierfür wurde eine Versuchsreihe im Wageninstandhaltungswerk der DB Cargo in Mannheim durchgeführt, um vergleichbare Zeitwerte für zukünftige Optimierungen zu haben.

Im siebten Kapitel werden die Ergebnisse des Versuches ausgewertet und erste Erkenntnisse werden mit Hinblick auf die vorher definierten Optimierungskriterien gezogen.

Im achten Kapitel werden basierend auf den Auswertungen Optimierungsmöglichkeiten abgeleitet. Zudem wird ein Vergleich zu einem Optimierungsversuch geschaffen, welcher zeitgleich in Paderborn stattfand.

Abgeschlossen wird die Arbeit mit einem Fazit.

2 Stand der Technik

In diesem Abschnitt wird die Historie der DAK erläutert, um anschließend auf den Aufbau einer DAK und deren Automatisierungsgrade einzugehen.

2.1 Historische Entwicklung der DAK

Der Schienengüterverkehr (SGV) in Deutschland und in Europa ist geprägt von der Schraubenkupplung (SK). Sie entstand mit der Entwicklung der Eisenbahn und wurde ca. 1860 eingeführt.⁴ Sie zeichnet sich durch die Seitenpuffer und die Schraubenkupplung selbst aus. Über die Puffer werden auftretende Druckkräfte während der Fahrt und beim Kuppeln gedämpft. Die Schraubenkupplung selbst besteht im Groben aus einem Zughaken, einem Kupplungsbügel, einer Kupplungsspindel und einer durchgehenden Zugeinrichtung. Bei einem Kuppelvorgang müssen die zu kuppelnden Wagen aneinander gefahren werden, damit man den Kupplungsbügel von einem Wagen an den Zughaken des anderen Wagens hängen kann. Über die Kupplungsspindel wird die Verbindung nun gespannt, sodass kein Spielraum mehr zwischen den Puffern der Wagen ist. Über diese mechanische Verbindung werden auftretende Zugkräfte übertragen. Neben der mechanischen Kupplung müssen dann auch noch die Bremsschläuche miteinander gekuppelt werden, um das Bremsen mit dem Wagen zu ermöglichen.

Bis heute ist die SK die dominierende Kupplungsart, welche im europäischen SGV genutzt wird. Wie Abbildung 1 darstellt, wird im Vergleich zur restlichen Welt wird aber deutlich, dass außerhalb Europas schon weitestgehend nur Automatische Kupplungen (AK) oder zumindest Mischsysteme aus SK und AK genutzt werden. Das Prinzip einer AK ist auch nicht neu, da bereits 1893 in Amerika mit der Janney-Kupplung eine funktionierende AK eingeführt wurde und bis heute auch noch genutzt wird.⁵ In der Regel setzt eine AK dabei nicht mehr auf die Seitenpuffer, sondern auf einen Mittelpuffer. Das bedeutet, dass die Stoßeinrichtung (die Seitenpuffer) durch eine andere Einrichtung ersetzt wird, welche mittig im Wagen angeordnet ist und nur in einfacher Ausführung existiert.

⁴ Vgl. FRICKE (2015).

⁵ Vgl. BMDV (2020a), S. 8.

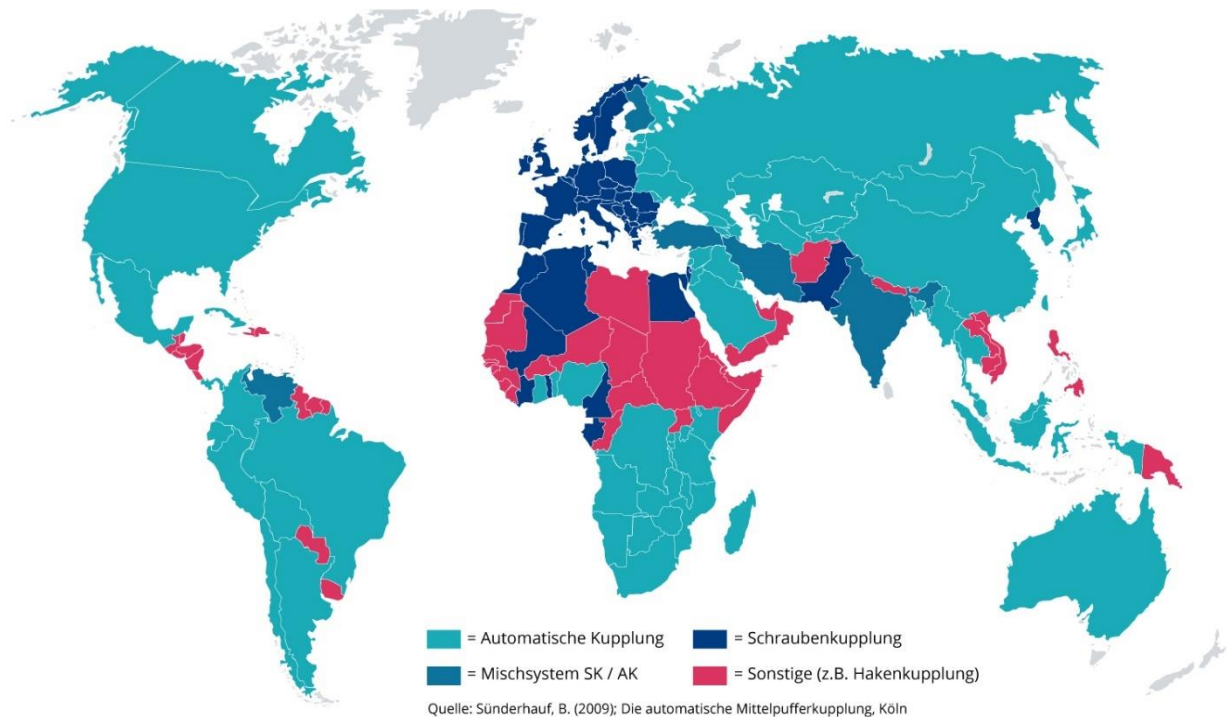


Abbildung 1: Weltweite Verteilung der Kupplungsarten im SGV
 Aus: Deutsche Bahn AG (2024a).

In Europa gab es schon mehrfach den Versuch, eine AK zu etablieren und die SK abzulösen. Der erste Versuch erfolgte in Deutschland bereits 1870 mit einer selbsttätigen Kupplung. Zeitgleich fanden auch in anderen europäischen Ländern Erprobungen mit einer Janney-Kupplung statt. Jedoch erfüllten die Kupplungen nicht die gestellten Anforderungen. Nach dem Ersten Weltkrieg wollte die zwischenzeitlich gegründete Union Internationale des Chemins de fer (UIC; dt.: Internationaler Eisenbahnverband) die Sicherheit beim Rangieren und Kuppeln erhöhen. Als große Unfallquelle machte die UIC hierbei das System der SK aus und wollte diese auf eine AK umstellen. Ein von der UIC gegründeter Sonderausschuss kam aber zum Entschluss, dass die SK auch genügend Potenzial bot, die Sicherheit zu erhöhen und zu gewährleisten. Des Weiteren stellte sie fest, dass eine Einführung einer AK nicht wirtschaftlich wäre. Daher wurden die Pläne vorerst wieder fallen gelassen.

Nach dem Zweiten Weltkrieg kam das Thema zur Einführung einer selbsttätigen Kupplung wieder auf. Jedoch standen zu der Zeit keine finanziellen Mittel zur Verfügung, da der Wiederaufbau und die Beseitigung von Kriegsschäden klar im Vordergrund standen. Erst mit dem wirtschaftlichen Aufschwung in den Jahren danach wurde die Umstellung auf eine AK wieder forciert. So entschied im Jahr 1961 die UIC, dass die einzuführende AK kompatibel mit der russischen SA3 sein muss. Um dies sicherzustellen, setzte sich die UIC mit der Organisation für die Zusammenarbeit der Eisenbahnen (OSShD) zusammen und gründete die „Gemeinsame Gruppe UIC/OSShD Selbsttätige Kupplung“. Als Ergebnis dieses Bündnisses wurden 1975 die Kupplungen AK69e und die *Intermat* vorgestellt. Bis zu diesem Zeitpunkt gab es aber schon zahlreiche Verschiebungen zur Einführung der neuen Kupplung. Ein weiterer Fakt, der eine Einführung verhindern sollte, war die Migrationsstrategie. Geplant war eine gleichzeitige Einführung in allen Eisenbahnunternehmen, was aber mit enormen Kosten für die jeweiligen Unternehmen verbunden wäre. Daher sank die Bereitschaft der Unternehmen an dem Umbau und eine Einführung scheiterte nahezu komplett. Nur in Deutschland entschloss man sich dazu, die AK69e für die Schwerlast-Erzverkehre einzuführen. Bis heute sind diese Kupplungen in dem speziellen Bereich im Einsatz. Eine weitere Folge der Entwicklung war die Vorgabe der UIC, dass alle ab 1965 neu gebauten Güterwagen den sogenannten „UIC-Einbauraum“ besitzen müssen. Dieser Einbauraum war genormt und sorgte somit für einheitliche Abmaße in jedem GW. Dadurch sollte es ermöglicht werden, dass später AK in jedem Güterwagen eingebaut werden können. Auch bei der DAK gilt der UIC-Einbauraum als Grundlage.

In den Jahren 1980 bis Ende 1990 gab es erneut zwei Versuche, eine AK in Europa zu implementieren. Der erste Versuch fand Mitte der 1980er Jahre statt. Die hier entwickelte Z-AK-Kupplung benötigte weiterhin Puffer und war auch mit der SK kompatibel. Zeitgleich erstellte die UIC ein Lastenheft mit den Vorgaben, die eine einzuführende AK einhalten muss. Es stellte sich früh heraus, dass die entwickelte Z-AK nicht alle Vorgaben erfüllte. Um jedoch Herstellungs- und Entwicklungskosten zu senken, verzichtete man auf einige der gültigen Bestimmungen im Lastenheft. Da die Z-AK auch mit einer SK kompatibel war, wäre somit auch eine stufenweise Migration einer AK möglich gewesen, was weitere Kosten gespart hätte. Diese Einführung sollte 1999 in Europa beginnen. Jedoch fielen während der Erprobung der Z-AK viele

technische Probleme auf. Unter anderem erfüllte die Kupplung nicht die Festigkeitsvorgaben, entwickelte durch das Kupplungsspiel entgleisungskritische Längsdruckkräfte und war zudem nicht witterungstauglich. Besonders bei Schnee und Eis funktionierte das Verriegelungssystem nicht. Diese Probleme hätten zwar alle behoben werden können, nur war dadurch das Vertrauen in die Kupplung auf politischer Ebene nicht mehr vorhanden, weshalb auch keine finanziellen Mittel mehr zur Verfügung standen. Infolgedessen wurde das Projekt wieder abgebrochen.⁶

Aktuell sind in Europa ca. 712.000 Güterwagen gelistet ⁷, wovon ein Großteil mit einer SK ausgerüstet ist. Allein die DB Cargo besitzt etwa 78.000 Güterwagen ⁸, welche alle mit einer SK ausgestattet sind. Einzig die Wagen für die Schwerlast-Erzverkehre besitzen mit der AK69e eine AK.

Im Gegensatz dazu besitzt die geplante DAK zwar auch eine Mittelpufferkupplung, setzt aber bei der mechanischen Kupplung auf das Scharfenberg-Design Typ 10. Diese Entscheidung wurde im September 2021 vom European DAC Delivery Programme (EDDP) getroffen. Grundlage hierfür war die Testreihe aus dem Digital Automatic Coupling for Europe (DAC4EU)-Projekt, bei der die Hersteller CAF, Dellner, Faiveley Wabtec und Voith ihre Kupplungsdesigns vorgestellt und dann getestet haben. Die dabei getesteten Kupplungsmechanismen waren die Scharfenbergkupplung (Dellner und Voith) die SA3-Kupplung (CAF) und die Schwab-Kupplung (Faiveley Wabtec).⁹ Die Wahl fiel hierbei auf die Scharfenbergkupplung, da sie eine automatisierte mechanische Kupplung ermöglicht und zugleich aber auch eine pneumatische und eine Strom- und Datenleitungsverbindung realisiert. Des Weiteren kann die Scharfenbergkupplung den größten Greifbereich abdecken. Das bedeutet, dass die Kupplung sich in der Horizontalen um +370 mm bis -275 mm und in der Vertikalen um ± 140 mm von der Ursprungsposition bewegen kann und damit mehr Bewegungsraum bietet als alle anderen Kupplungen. ¹⁰ Abbildung 2 zeigt eine Scharfenbergkupplung und deren Greifbereich, welcher schraffiert dargestellt ist.

⁶ Vgl. HAGENLOCHER (2015).

⁷ Vgl. EBA (2018), S. 13.

⁸ Vgl. Deutsche Bahn AG (2022a).

⁹ Vgl. Deutsche Bahn AG (2022b).

¹⁰ Vgl. BMDV (2020a), S. 33.

2.2 Bauteile einer DAK

Eine DAK besteht aus mehreren Bauteilen und Baugruppen, welche alle eine bestimmte Funktion erfüllen. Als Grundlage für Abmaße, Dimensionierung und Positionierung gilt hier die UIC-Norm für Einbauräume. Die Norm ist ein Resultat aus den vorherigen Versuchen, in Europa eine einheitliche automatische Mittelpufferkupplung für den SGV einzuführen. Die einzelnen Bauteile sind schematisch in Abbildung 5 zu sehen. Sichtbarstes Bauteil der DAK ist hier der Kupplungskopf (1). Dieser basiert auf der Scharfenbergkupplung Typ 10 und bietet aufgrund seiner Bauart viele vertikale und horizontale Bewegungsfreiheiten. Neben dem Verriegelungsmechanismus ist auch die Kupplungsstelle der Hauptluftleitung (HL) hier integriert. Abbildung 3 zeigt den Kupplungskopf von der Front mit einem HL-Anschluss im oberen Bereich der Kupplung.



Abbildung 3: Frontansicht eines Kupplungskopfes
MERZ, Ba Quy (2024-03-01).

Der Kupplungskopf selbst ist in der Kupplungsstange (2) integriert, in welche zusätzlich auch das Kupplungsgelenk verbaut ist. Das Kupplungsgelenk besteht hierbei aus dem UIC-Haltebolzen (3), den entsprechenden Aussparungen im Federpaket und der Kupplungsstange sowie einer Halteplatte. Der Haltebolzen ermöglicht die horizontale Auslenkung der DAK und überträgt die Zugkräfte an das Federpaket (4). Dieses Federpaket sitzt direkt hinter der Kupplungsstange. Es bildet die Zug- und Stoßeinrichtung der DAK und übernimmt somit die dämpfenden Aufgaben der bisher verbauten Puffer bei Stößen und die Aufgaben der bei der Schraubenkupplung verbauten Zugpatrone. Je nach Hersteller fällt die

Dimensionierung und der Aufbau des Federpaketes unterschiedlich aus. Einige Hersteller bauen ein kurzes Federpaket, welches nicht den kompletten UIC-Raum ausfüllt. Abbildung 4 zeigt ein Prototyp von einem Federpaket .



Abbildung 4: Prototyp eines Federpaketes
MERZ, Ba Quy (2024-02-28).

Um nun aber auftretende Druckkräfte zu übertragen, werden sogenannte Druckanschläge (5) montiert. Diese liegen plan am Federpaket und an der hinteren Wand des UIC-Bauraumes an und geben dem Federpaket einen Anschlag. Andere Hersteller dimensionieren das Federpaket größer und benutzen dann einen keilartigen Mechanismus, um das Federpaket im UIC-Raum zu verspannen. Dadurch wird die Kraftübertragung der Druckkräfte an das Untergestell des GW gewährleistet. Ein weiteres Bauteil der DAK ist die Abstütz- und Zentriervorrichtung (6). Diese wird außen am Wagen montiert und ersetzt die Zughakenführung. Die Aufgabe der Abstütz- und Zentriervorrichtung offenbart sich im Namen des Bauteils. Sie stützt die Kupplungsstange und sorgt dafür, dass diese auch im unbelasteten Zustand zentriert wird. Dies wird je nach Hersteller durch eine Wippe oder durch verschiedenen Federn und Gleitflächen realisiert.¹¹ Das letzte Bauteil einer DAK ist der Elektrokuppler (E-Kuppler) (7). Dieser kommt erst bei DAK Typ 3 oder höher zum Einsatz und ermöglicht eine Strom- und Datenverbindung zwischen GW untereinander und zwischen GW und dem Triebfahrzeug. Hier werden aktuell zwei Konzepte von zwei Herstellern verfolgt und getestet. Was beide E-Kuppler gemeinsam haben, ist deren Verhalten beim Öffnen bzw. beim Kuppeln. Beide kuppeln etwas zeitverzögert im

¹¹ Vgl. BMDV (2020a), S.15f.

Vergleich zur mechanischen Kupplung, da dadurch die Kraft, die beim Kuppelvorgang auftritt, nicht auf die E-Kuppler wirkt. Hiermit wird ein zuverlässigeres Kuppeln der E-Kuppler erreicht und die Lebensdauer wird erhöht, da der Verschleiß verringert wird. Die E-Kuppler unterscheiden sich jedoch in ihrer Funktionsweise und Anordnung der Pins. Bei dem einen Konzept wird das Öffnen und Schließen des E-Kupplers über eine Welle und einen Mitnehmer gesteuert, wobei die Welle hier direkt mit dem Herzstück der Scharfenbergkupplung verbunden ist. Somit öffnet und schließt der eine E-Kuppler analog zum Zustand der mechanischen Kupplung. Bei dem anderen Konzept wird das Öffnen und Schließen der E-Kupplung durch einen Druckstift und ein Getriebe ermöglicht. Hierbei wird der Druckstift über eine Druckplatte auf der gegenüberliegenden E-Kupplung beim Kupplungsvorgang reingedrückt. Über Zahnräder und ein Getriebe wird diese geradlinige Bewegung in eine kreisförmige Bewegung übertragen und diese steuert dann die Öffnungs- und Schließposition der E-Kupplung.

Die beiden Konzepte für die E-Kupplung sind aufgrund derer Funktionsweise nicht miteinander kompatibel. Daher wurde im März 2024 die Entscheidung getroffen, dass das Konzept von Hersteller 3 weiterverfolgt wird.

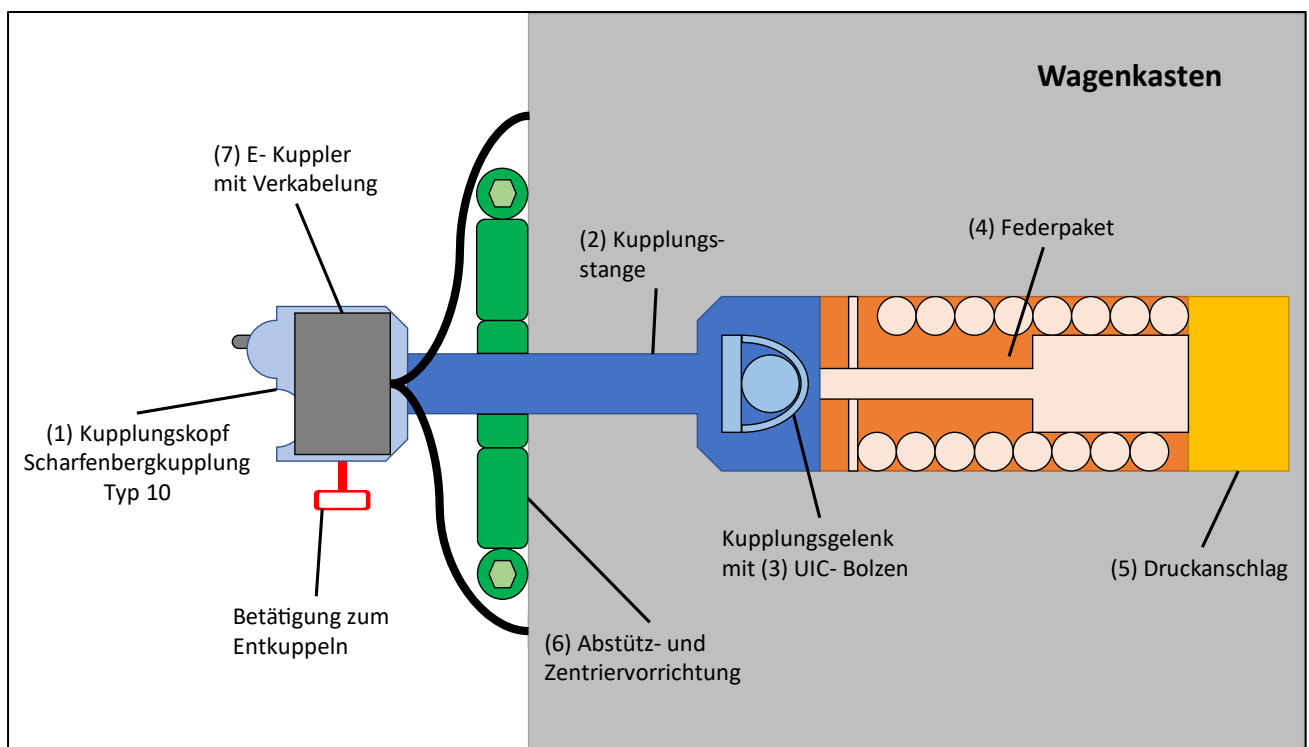


Abbildung 5: Schematischer Aufbau einer DAK
Verändert nach BMDV (2020a), S. 16.

2.3 Automatisierungsgrade einer DAK

Es ist zu beachten, dass es verschiedene Automatisierungsstufen einer DAK gibt. Die Stufe 0 bildet hierbei die SK, wo es keine automatisierten Vorgänge gibt. Man muss händisch jede einzelne Kupplung sowie die jeweiligen Bremsschläuche kuppeln oder entkuppeln. Die (D)AK Typ 1 (kurz: (D)AK1) bildet die erste Automatisierungsstufe, wobei hier keine digitalen Funktionen vorhanden sind. Daher spricht man hier in einigen Fällen auch von einer AK1. Die (D)AK1 ermöglicht nur eine automatische mechanische Kupplung von zwei Güterwagen. Das Entkuppeln der Güterwagen erfolgt weiterhin manuell über einen Hebel oder Griff. Auch die Bremsschläuche müssen weiterhin bei einem Kuppelvorgang manuell ge- oder entkuppelt werden.

Die nächste Automatisierungsstufe bildet die (D)AK2. Auch hier gibt es keine digitalen Funktionen, weshalb das D in einigen Fällen auch weggelassen wird. Die (D)AK2 ermöglicht nun einen automatischen Kupplungsvorgang, bei dem die Güterwagen mechanisch gekuppelt werden und dabei auch die Hauptluftleitungen (HL) miteinander gekuppelt werden. Das Entkuppeln der mechanischen Verbindung findet hier weiterhin manuell statt. Jedoch wird dabei auch die HL entkuppelt, weshalb man hier schon von einer teilautomatischen Entkupplung spricht.

Die DAK3 ist dann die erste Variante, welche auch eine digitale Komponente besitzt. Neben dem normalen Kupplungskopf zur mechanischen Kupplung besitzt diese Stufe auch einen Elektrokuppler (E-Kuppler), welcher eine Stromversorgung zwischen den Wagen ermöglicht. Dadurch ist es zukünftig möglich, Güterwagen mit sogenannten Elektropneumatischen Bremsen (ep-Bremsen) auszustatten, was ein besseres Bremsverhalten und dadurch auch den Einsatz von längeren und schwereren Güterzügen ermöglicht. Eine DAK3 besitzt neben dem E-Kuppler sonst die gleichen Funktionen wie eine DAK2. Das heißt, dass auch hier bei einem Kupplungsvorgang automatisch eine mechanische Verbindung hergestellt wird und die HL miteinander gekuppelt werden. Das Entkuppeln der mechanischen Verbindung erfolgt dann wieder manuell, wobei dabei auch wieder die HL und dann auch die E-Kuppler automatisch entkuppelt werden.

Eine DAK4 bietet neben der Stromleitung auch eine integrierte Datenleitung. Dadurch können die Güterwagen untereinander und zukünftig auch mit dem Triebfahrzeug kommunizieren und Daten weiterleiten. Die dabei übertragenen Daten können für verschiedene Funktionen während den verschiedenen Phasen einer Zugfahrt genutzt werden. Während der Zugvorbereitung vor einer Abfahrt können die Wagen eigenständig ihre Wagenreihenfolge mitteilen und eine automatisierte Bremsprobe durchführen. Dies verringert die Vorbereitungszeit enorm und erhöht somit die Effizienz des SGV. Während der Zugfahrt können dann Daten für die ep-Bremse, die Zugintegritätsprüfung und für die Entgleisungsdetektion übertragen werden. Dadurch sollen zukünftig schwerere, schnellere und längere Güterzüge möglich sein, was den SGV auch wieder effizienter macht. Besonders die Zugintegritätsprüfung macht den SGV zukunftssicher, da die Güterzüge unter anderem mit dieser Funktion ETCS Level 3 tauglich werden. Zudem ist auch das elektrische Entkuppeln mit der Datenleitung möglich. Hierfür benötigt der Kupplungsmechanismus noch einen Aktuator, welcher dann die Aufgabe des manuellen Entkuppelns automatisiert ausführt. Mit dem verbauten Aktuator spricht man daher von einer DAK4.5, da der Aktuator keine Bedingung für eine DAK 4 ist. Um den Aktuator trotz fehlender Lok oder anderem Steuerelement bedienen zu können, wird noch zusätzlich ein Bedienelement am Wagen verbaut. Dieser ist mit wenigen Druckknöpfen ausgestattet, die ein fahrzeuggebundenes elektrisches Entkuppeln ermöglichen. Neben dem elektrischen Entkuppeln besitzt auch die DAK4 und DAK4.5 die Funktionen einer DAK3.

Eine DAK 5 besitzt den höchsten Automatisierungsgrad und soll auch zukünftig in die Güterwagen eingebaut werden. Sie ermöglicht eine ferngesteuerte Entkopplung, beispielsweise über ein Tablet. Durch die Kommunikation über WLAN kann somit das Entkuppeln von einem Rangierer oder vom Triebfahrzeugführer selbst durchgeführt werden. Zusätzlich können auch Software-Updates auf die GW übermittelt werden, was die Sicherheit gegen Cyber-Attacken erhöht. Auch die DAK5 besitzt den Funktionsumfang ihrer vorherigen Automatisierungsgrade.¹²

Die nachfolgende Abbildung 6 zeigt alle Automatisierungsgrade einer DAK mit den jeweiligen Funktionen auf.

¹² Vgl. BMDV (2020b), S.20.

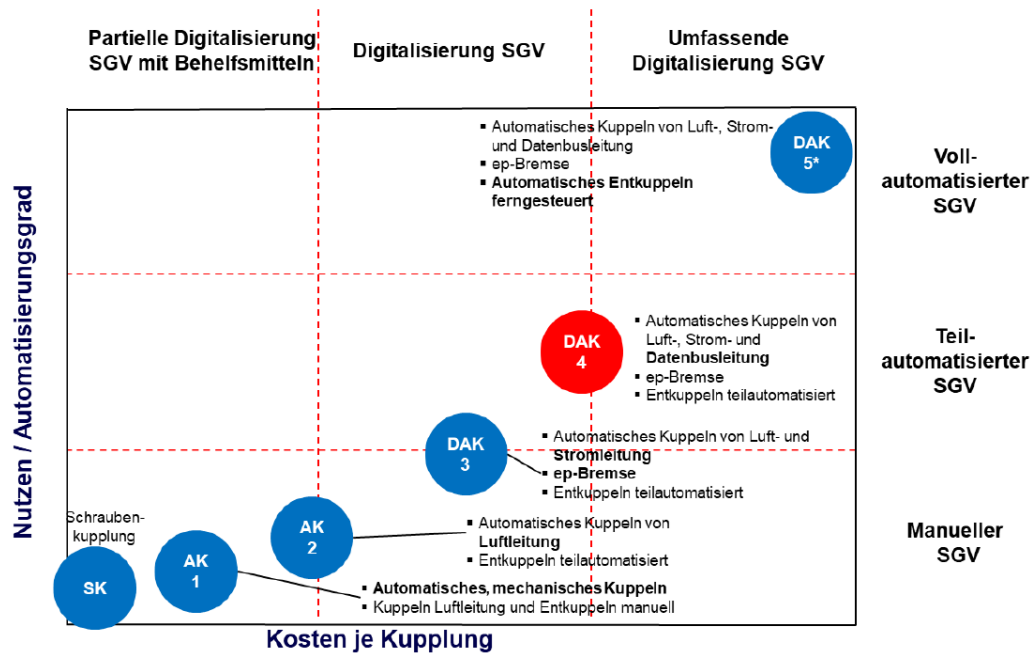


Abbildung 6: Grafische Darstellung der Automatisierungsgrade
Aus: BMDV (2020b), S.19.

Die oben aufgeführte Grafik stellt dabei die entstehenden Kosten einer DAK zum Nutzen/ Automatisierungsgrad ins Verhältnis. Dabei hat die SK die geringsten Kosten, generiert aber auch den geringsten Nutzen. Mit steigendem Automatisierungsgrad steigen die Kosten je Kupplung. Exponentiell zu den Kosten steigt auch der Nutzen einer DAK. Das bedeutet, dass die verbundenen Kosten bei einer AK1 oder AK2 einen geringen Nutzen erbringen, als bei einer DAK4.

Neben Kosten und Nutzen wurden auch neun Bereiche in Form eines Rasters definiert, welche zum einen die Digitalisierungsstufen im SGV voneinander abgrenzen und zum anderen den Automatisierungsgrad in drei Bereiche einteilt. Hierbei wird deutlich, dass die SK und die AK1 im selben Bereich liegen. Dadurch dass die AK1 nur mechanisch kuppelt und Luftanschlüsse weiterhin händisch gekuppelt werden müssen, spricht man hier noch vom manuellen SGV. Die AK2 befindet sich auf der Schwelle zum digitalisierten SGV, wird aber aufgrund der manuellen Entkupplung noch als manueller SGV bezeichnet. Mit dem E- Kuppler bei einer DAK3 wird die DAK teilweise als teilautomatisierten SGV bezeichnet. Durch den E- Kuppler ermöglicht eine DAK3 einen digitalisierten SGV. Die DAK4 ermöglicht einen teilautomatisierten SGV und ist zugleich auf der Schwelle zum umfassend digitalisierten SGV. Die DAK5 ermöglicht durch ihren hohen Funktionsumfang einen voll automatisierten und umfassend digitalisierten SGV.

3 Der Prozessablaufplan (PAP)

Um den nachfolgenden Montageprozess systematisch erklären und anschließend auch messen zu können, wird eine Prozessdokumentation benötigt. Diese kann in textlicher oder in grafischer Form stattfinden. Bei der textlichen Beschreibung werden in einem Steckbrief die wichtigsten Merkmale sowie Inputs und Outputs in einer übersichtlichen Form dargestellt.¹³ Weitere wichtige Bestandteile dieses Steckbriefes sollten nach Bundesministerium des Innern und für Heimat folgende Punkte sein:

- „*eindeutige Prozessbezeichnung (Objekt + Verrichtung)*,”
- *Zuordnung als Kern-, Unterstützungs- oder Führungsprozess,*
- *Benennung der Handlungsgrundlage,*
- *Benennung von Input und Output,*
- *prozessverantwortliche Führungskraft,*
- *Prozessbeteiligte,*
- *Kennzahlen (z. B. Personalressourcen, Fallzahlen),*
- *IT-Unterstützung,*
- *zusammenfassende textliche Beschreibung des Ablaufs.*¹⁴

Gängige Formen der grafischen Darstellung sind Prozesslandkarten, Flussdiagramme, Wertschöpfungskettendiagramme, erweiterte ereignisgesteuerte Prozessketten und Prozesstabellen.¹⁵

Die Prozessdokumentation dient zum „*einheitliche[n] Verständnis von Zweck, Ziel und Grenzen der Prozesse bei allen Prozessbeteiligten*“¹⁶. Erst wenn alle Beteiligten dadurch das gleiche Verständnis für den Prozess erlangt haben, kann ein Prozess auch sinnvoll analysiert, optimiert und Mithilfe der richtigen Kennzahlen gemessen werden. Hierbei ist erneut herauszustellen, dass eine Prozessdokumentation noch keine Prozessoptimierung darstellt. Vielmehr bildet die Dokumentation die Grundlage, auf der zukünftige Optimierungsmaßnahmen aufbauen können. Dadurch kann ein Prozess effektiver und effizienter werden, wodurch das Unternehmen bei den Ressourcen Zeit, Kosten und Aufwand sparen kann. Damit diese Optimierungen auch

¹³ Vgl. KANDORA (2024).

¹⁴ KANDORA (2024).

¹⁵ Vgl. KANDORA (2024).

¹⁶ KANDORA (2024).

den größtmöglichen Effekt erzielen, muss die Dokumentation permanent aktualisiert werden.¹⁷

Um eine möglichst einfache und übersichtliche Darstellung des Montageprozesses zu erhalten, wurde das Flussdiagramm gewählt. Das Flussdiagramm ist eine der häufigsten Darstellungsformen, wenn es um die Veranschaulichung von komplexen Prozessen geht. Anstatt vielen komplexen Texten ermöglicht ein Flussdiagramm eine einfache und intuitive grafische Darstellung der zusammenhängenden Abläufe und verschafft somit schnell eine gute Übersicht, besonders für neue Mitarbeiter, die noch eingearbeitet werden. Das Flussdiagramm kann aber auch für erfahrene Mitarbeiter angepasst werden, indem mehr Details in den einzelnen Prozessschritten aufgeführt werden. Ein Flussdiagramm eignet sich zur Dokumentation und Analyse von Prozessen und dient aufgrund dessen Aufbaus auch als Optimierungshilfe.¹⁸ Im Vergleich zu den anderen Darstellungsformen sind die zu verwendenden Symbole nach der DIN 66001 genormt, was die Verständlichkeit weiter erleichtert.

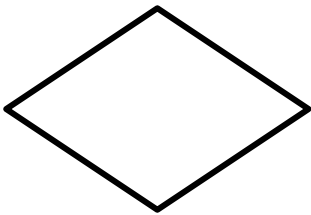
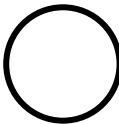
Tabelle 1 zeigt die wichtigsten Symbole und deren Bedeutung, die bei der Erstellung des Flussdiagramms am relevantesten waren.

Tabelle 1: Auflistung und Bedeutung der im PAP verwendeten Symbole

Symbol	Bedeutung
	Oval – Systemgrenze: Das Oval dient als Grenze zur Umwelt. Es markiert Beginn und Ende des gesamten Prozesses
	Pfeil – Verbindungselement: Der Pfeil verbindet ein oder mehrere Symbole miteinander und stellt eine Abhängigkeit dar. Er gibt auch die Leserichtung des Diagrammes an.
	Gestrichelter Pfeil – erläuterndes Verbindungselement: Der gestrichelte Pfeil dient als Bemerkung und ist ein informierendes Element.

¹⁷ Vgl. Inqi GmbH (2022a).

¹⁸ Vgl. Grunenberg & Comp. GmbH (2024a).

	Rechteck – Arbeits-/ Prozessschritt: Das Rechteck definiert einen Prozessschritt im Gesamtprozess. Es trennt diesen von anderen Teilprozessen.
	Rechteck mit doppeltem Rand – vordefinierter Schritt: Ein Rechteck mit doppeltem Rand beschreibt einen Prozess, der bereits vordefiniert ist.
	Raute – Verzweigung (ODER-Entscheidung): Die Raute dient zur Verzweigung eines Prozesses. Meist werden hier „Ja-Nein-Entscheidungen“ getroffen. Aus einer Raute gehen immer mindestens zwei neue Pfade hervor.
	Kreis – Verbindungsstelle: Der Kreis sorgt für eine bessere Übersichtlichkeit im Diagramm, da so lange Verbindungselemente eingespart werden können.

Verändert nach DIN 99001, Abschnitt 6 und Grunenberg & Comp. GmbH (2024b).

Der daraus resultierende PAP liegt im Anhang unter der Bezeichnung Anhang 1 – 6 bei, sowie als komplette Darstellung auf dem Datenträger unter der Bezeichnung „PAP_komplett_BA“ im Ordner „PAP_Prozessablaufplan“.

4 Vorstellung des DAK-Montageprozesses

Im Folgenden bezieht sich diese Arbeit auf den Einbauprozess der aktuellen Prototypen einer DAK von drei verschiedenen Herstellern in einen GW. Alle drei Hersteller unterscheiden sich vom Einbauprozess voneinander, da sie verschiedene Konzepte verfolgen. Diese Differenzierung wird aber erst im späteren Einbauprozess deutlich.

Als Erstes müssen alle Wagendaten erfasst werden und ein Auftragsverarbeitungsvertrag (AVV) ausgelöst werden. Erst wenn dieser gegeben ist, dürfen Veränderungen an dem Wagen durchgeführt werden. Daraufhin wird der GW idealerweise auf eine Grube geschoben. Hier wird zuerst das gesamte Bremssystem entlüftet und wenn Drehgestelle vorhanden sind, werden diese vom Wagen gelöst. Als Nächste werden die Bauteile der Zug- und Druckeinrichtung der Schraubenkupplung und die Bauteile des Bremsluftsystems in zwei Schritten demontiert. Im ersten Schritt werden die Puffer, der Bremsschlauch, der Schraubenkupplungsbügel und die Zughakenführung demontiert und in ein Zwischen- oder Endlager gebracht. Der Luftabsperrrhahn wird ebenfalls demontiert und dann zur Seite gelegt, da dieser später wieder montiert wird. Danach wird geschaut, ob die montierten Rangiertritte und -griffe den Einbau der DAK behindern könnten. Sollte dies der Fall sein, werden diese auch demontiert. Im zweiten Schritt wird der Wagen zur Hubanlage geschoben und angehoben. Die gelösten Drehgestelle verbleiben auf den Schienen und werden für die Umbauarbeiten vorübergehend zur Seite geschoben und gegen Wegrollen gesichert. Am angehobenen Wagen werden jetzt der Zughaken mit UIC-Bolzen, das alte Federpaket und die HL demontiert. Als nächstes wird die HL neu verlegt und angeschlossen. Hierfür wird eine Luftabsperrrahnhalterung an ihrer neuen Position montiert und anschließend eine neue gebogene Leitung verlegt, welche die alte HL-Leitung zur neuen Position des Luftabsperrrahns führt. Es wird zusätzlich eine Halterung für die neue HL montiert, um Vibrationen und Klappergeräusche zu minimieren. Abschließend wird der alte Luftabsperrrhahn mit neuem Bremsschlauch montiert und an die neue HL angeschlossen. Der Grund für die Umpositionierung des Luftabsperrrahns ist die Abstütz- und Zentriereinrichtung der DAK. Deren Einbauposition überschneidet sich mit der alten Position des Luftabsperrrahns, wie in Abbildung 7 und 8 zu sehen ist.



Abbildung 7: Alte Position des Luftabsperrhahns bei einer SK MERZ, Ba Quy (2024-03-01).

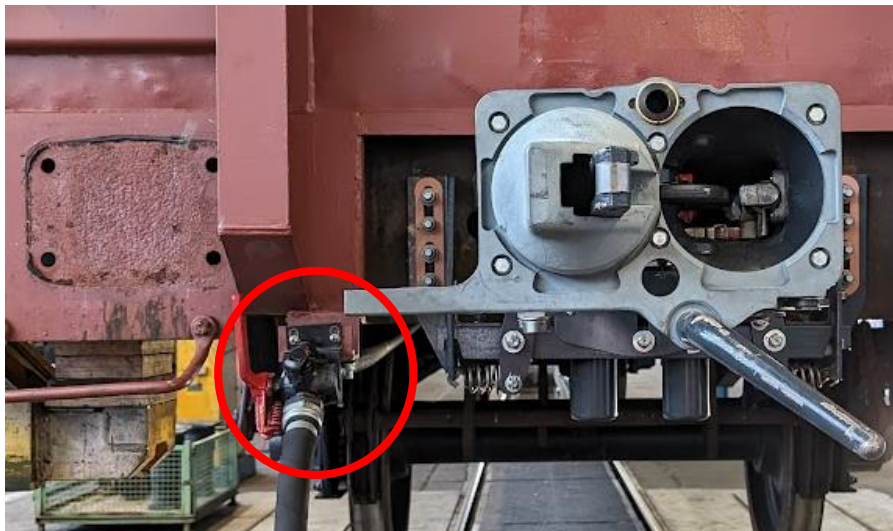


Abbildung 8: Mögliche neue Position des Luftabsperrhahns bei einer DAK MERZ, Ba Quy (2024-03-01).

Potenziell ist ein ausreichender Biegeradius des an die DAK angeschlossenen Bremsschlauches bei ungünstigen Kurvenfahrten nicht gegeben, wenn der Luftabsperrhahn an der gleichen oder ähnlichen Stelle verbliebe. Dieser Umstand muss aber noch in weiteren Versuchen getestet werden.

Anschließend wird überprüft, ob der UIC-Raum den vorgegebenen Zeichnungen entspricht. Sollte das nicht der Fall sein, so werden Maßnahmen ergriffen, dass der Wagen den Zeichnungen entspricht. Häufige Maßnahmen dieser Art sind das Entfernen von alten Druckanschlagsklötzen oder das Nachbohren von Löchern in den Rahmen. Danach werden die Breite und die Länge des UIC-Raumes vermessen, um

dann die neuen Federpakete und die DAK verbauen zu können. Hier unterscheidet sich der Einbau je nach Hersteller. Das Grundprinzip bei allen Herstellern bleibt aber, zuerst die neuen Druckanschlüsse zu montieren, daraufhin das neue Federpaket einzusetzen, dann die Abstütz- und Zentriervorrichtung anzusetzen, um danach die Kupplungsstange einsetzen zu können. Wenn die Kupplungsstange eingesetzt und der UIC-Haltebolzen montiert wurde, wird die Kupplungsstange mithilfe einer Wasserwaage über die Abstütz- und Zentriereinrichtung so ausgerichtet, dass sie senkrecht zur Schienenoberkante ist.

Die Abstütz- und Zentriervorrichtung wird dann festgeschraubt und jede Mutter und Schraube, welche beim kompletten Umbau mit einem Drehmoment angezogen wurde, wird mit Sicherungslack markiert. Sollte sich jetzt eine Schraubverbindung lösen, wird das am unterbrochenen Sicherungslack erkennbar. Als nächstes werden die ggf. demontierten Rangiertritte und -griffe wieder montiert. Sollte der Wagen Drehgestelle haben, so wird der Wagen wieder auf die Grube geschoben, um das Drehgestell an den Wagen und das Bremsgestänge an das Bremssystem anzuschließen. Daraufhin wird der Bremsschlauch an die DAK angeschlossen, damit bei zukünftigen Kuppelvorgängen auch die Bremsleitungen automatisch miteinander gekuppelt werden. Es werden dann Piktogramme an den Wagen angebracht, damit auch von außen erkennbar ist, dass hier eine DAK verbaut ist. Durch das Piktogramm wird auch deutlich gemacht, dass der Wagen nicht mehr mit einem anderen Wagen gekuppelt werden kann, welcher noch eine SK besitzt.

Zum Schluss des Umbaus wird die Bremsrevision „BR0“ durchgeführt. Hierbei wird geprüft, ob die HL-Leitung und die daran angeschlossene DAK im Rahmen der Toleranzen auch dicht sind. Wenn die Bremsrevision erfolgreich durchgeführt wurde, wird ein DAK-Einbauprotokoll ausgefüllt, welches alle Umbaumaßnahmen dokumentiert. Als letzter Schritt die Betriebsbereitschaft der DAK hergestellt. Dafür überprüft man, ob die Vorspannung im eingebauten Federpaket gegeben ist. Wenn das nicht der Fall ist, muss das Federpaket entspannt werden, damit es sich auch richtig setzt. Der Wagen wird nun aus der Werkstatt geschoben und ist nun mit einer DAK ausgerüstet.

5 Ableitung von Optimierungskriterien

Um Prozesse erfolgreich umzusetzen, ist die effiziente Nutzung von Ressourcen zwingend notwendig. Um Ressourcen effizient nutzen zu können, muss der aktuelle Status der Nutzung ermittelt werden, um darauf aufbauend Optimierungen herleiten zu können. Im folgenden Abschnitt der Arbeit werden sich die Optimierungskriterien „Zeit“, „Kosten“ und „Personal“ angeschaut, welche alle voneinander abhängen.

5.1 Zeit

Eine präzise Zeitplanung ist entscheidend für jeden Prozess, um Abhängigkeiten zu erkennen und realistische Zeitrahmen festzulegen. Die fortlaufende Überwachung der Zeit ist unerlässlich, um Abweichungen frühzeitig zu erkennen und angemessen zu reagieren.¹⁹

In Bezug auf die Migration der DAK ist eine effiziente Zeitplanung und -verwaltung von entscheidender Bedeutung. Dies umfasst die genaue Planung und Koordination aller Aktivitäten, um sicherzustellen, dass alle benötigten Materialien und Ressourcen rechtzeitig am Einbauort verfügbar sind. Die Optimierung der Arbeitszeit sowie die Automatisierung von Prozessen kann dazu beitragen, die Durchführungszeit des Einbauprozesses zu minimieren. Der Faktor Zeit hat einen großen Stellenwert bei der Migration der DAK. Da für die Umrüstung der DAK der GW aus dem laufenden Betrieb genommen werden muss, ist jede Minute sehr teuer. Neben den wirtschaftlichen Verlusten, die der Wagen aufgrund des Stillstandes generiert, kostet auch die Arbeitszeit eines Mechanikers viel Geld.

5.2 Kosten

Die sorgfältige Planung und Kontrolle der Kosten sind ebenfalls entscheidend für den Projekterfolg. Eine genaue Schätzung der finanziellen Ressourcen sowie die Identifizierung potenzieller Risiken und Einsparungsmöglichkeiten sind unerlässlich. Die kontinuierliche Überwachung der Kosten während des Projektverlaufs hilft, Budgetabweichungen frühzeitig zu identifizieren und zu korrigieren.²⁰

¹⁹ Vgl. Wrike Inc (2024).

²⁰ Vgl. IAC (2024).

Für die Migration ist eine gründliche Kosten-Nutzen-Analyse essenziell, um die rentabelsten Optionen für Materialien, Ressourcen und Technologien auszuwählen. Ein effektives Risikomanagement ist notwendig, um potenzielle Kostenrisiken zu identifizieren und entsprechende Strategien zu ihrer Minimierung oder Vermeidung zu entwickeln. Besonders im DAK-Projekt ist eine Optimierung der Prozesse von großer Bedeutung, da mehrere Länder und Unternehmen zusammenarbeiten und bereits erhebliche Investitionen getätigt haben. Diese erwarten nun einen reibungslosen Ablauf. Jede Verzögerung beim Einbau der Kupplung bedeutet einen immensen Geldverlust, daher ist eine effiziente Nutzung von Zeit, Kosten und Personal unerlässlich, um den wirtschaftlichen Erfolg des Projekts sicherzustellen.

5.3 Personal

Die Auswahl und Zuweisung qualifizierter Mitarbeiter basierend auf den Anforderungen des Prozesses stellen eine weitere wichtige Rolle dar. Die Qualifikationen, Fähigkeiten und Erfahrungen der Teammitglieder beeinflussen direkt die Leistungsfähigkeit des Teams und damit auch die Ergebnisse des Prozesses.²¹

Mit Hinblick auf den Umbau einer DAK sind die Qualifikation und das Training der Mitarbeiter von entscheidender Bedeutung. Mitarbeiter müssen über die erforderlichen Fähigkeiten und Kenntnisse verfügen, um den Einbauprozess sachgemäß durchführen zu können. Dies erfordert spezifisches Training und Schulungen, um sicherzustellen, dass das Personal mit den neuesten Technologien und Verfahren vertraut ist. Eine angemessene Personalplanung ist ebenfalls erforderlich, um eine optimale Arbeitsbelastung zu gewährleisten und Engpässe zu vermeiden.²²

Eine effektive Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen den Teammitgliedern sind entscheidend, um einen reibungslosen Ablauf des Einbauprozesses zu gewährleisten und Probleme frühzeitig zu lösen.²³ Des Weiteren muss die Sicherheit und das Wohlbefinden der Mitarbeiter kontinuierlich gewährleistet sein. Aus diesem Grund ist die Einhaltung relevanter Sicherheitsstandards und die Bereitstellung angemessener Schutzausrüstung sowie das Einhalten geltender Prozesse unerlässlich.

²¹ Vgl. InLoox GmbH (2024).

²² Vgl. Workwise GmbH (2024).

²³ Vgl. GAIDA (2024).

6 Analyse des aktuellen Montageprozesses

Für die Analyse des aktuellen Montageprozesses wurden Umbauversuche in dem Güterwageninstandhaltungswerk der DB Cargo in Mannheim durchgeführt. Ziel dieser Versuche war es, einen standardisierten Prozessablaufplan (PAP) zu erstellen, um eine Grundlage für die Vergleichbarkeit bei zukünftigen Verbesserungsversuchen zu schaffen. Hierbei wurden die Prozesse im Vorhinein sehr kleinschrittig definiert, um dadurch später genauer sehen zu können, an welchen Stellen eine Optimierung eine Wirkung zeigt. Des Weiteren wurden Zeitmessungen von den im PAP definierten Arbeitsprozessen durchgeführt. Die gemessenen Zeiten dienen zukünftig als Ausgangswert für die Montage einer DAK. Hierbei handelt es sich aber nicht um später anzuwendende Arbeitszeiten für die Mechaniker. Diese werden und müssen separat und im Beisein des Betriebsrates und weiteren Gremien ermittelt werden. Die hier gemessenen Zeiten stellen zum einen eine Vergleichbarkeit des aktuellen Montageprozesses zu zukünftig optimierten Montageprozessen dar. Zum anderen ermöglicht die Zeitmessung aber auch einen Vergleich der Konzepte der verschiedenen Hersteller. Neben der Vergleichbarkeit generieren diese Umbauversuche aber auch ein sehr nützliches Feedback für die Hersteller. Diese erhalten die Chance, die Prototypen ihrer DAK in einem realen Umfeld an einem realen Wagen zu erproben und können dadurch Rückschlüsse auf die Montierbarkeit ziehen. Die Hersteller erhalten zu ihren theoretisch geplanten Einbauanleitungen und -prozessen ein Feedback, ob diese unter realen Verhältnissen auch umsetzbar sind. Häufige Konflikte zwischen Theorie und Praxis ergeben sich hierbei oft wegen zu kleinen oder nicht vorhandenen Toleranzmaßen oder aber auch Schraubverbindungen, welche aufgrund von baulichen Gegebenheiten nicht mit Drehmoment angezogen werden können oder gar nicht erst montierbar sind. Dieses Feedback erhalten die Hersteller für ihre jeweiligen Prototypen und können dadurch Veränderungen vornehmen. Diese Veränderungen führen dann schon zu ersten Optimierungen bei dem Montageprozess.

6.1 Versuchsumgebung

Um Umwelteinflüsse möglichst gering zu halten, fanden die Versuche durchgehend am selben Ort statt. Es standen für die Versuche jederzeit die gewünschten Mitarbeiter mit der entsprechend geforderten Erfahrung zur Verfügung, um somit eine Vergleichbarkeit herzustellen. Bei den Mitarbeitern handelte es sich um drei Mitarbeiter mit viel Erfahrung beim Umbau einer DAK und zwei weiteren Mitarbeitern, ohne diesbezügliche Erfahrung. Stets standen dasselbe Werkzeug und dieselben Hubwagen und Gabelstapler zur Verfügung. Auch die Positionen für das Endlager und Neumateriallager blieben während der gesamten Versuchsreihe unverändert. Die Wege blieben somit stets dieselben. In Abbildung 9 ist der Versuchsaufbau schematisch dargestellt.

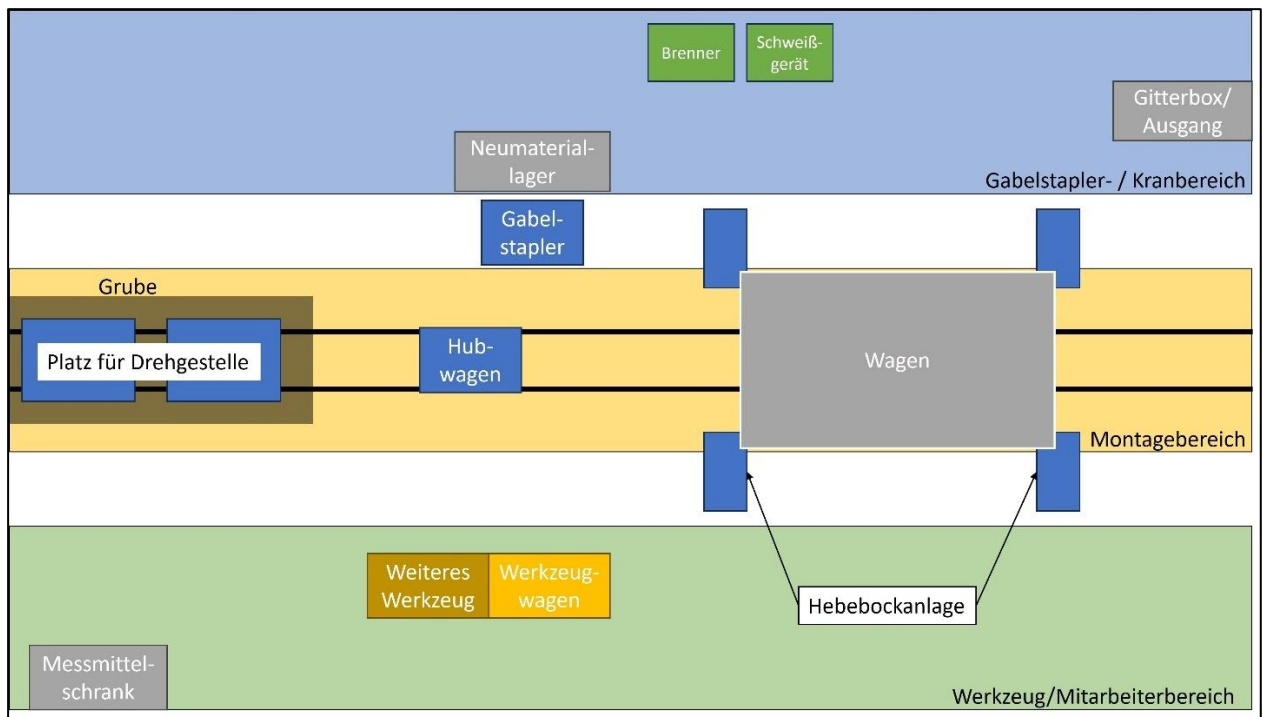


Abbildung 9: Schematischer Versuchsaufbau des Werkstattbereiches
Eigene Darstellung

Die Abbildung zeigt das Montagegleis, an denen die Umbauversuche stattfanden. Dabei wurde das Gleis in drei Bereiche eingeteilt. Der blaue Bereich war für Hebearbeiten geplant. Hier sollten alte Bauteile mit Hilfe eines Deckenkranes oder Gabelstaplers vom Hubwagen in die Gitterbox gehoben werden. Andersherum sollten auch Neubauteile von der Transportbox auf den Hubwagen gehoben werden. Im gelben Bereich sollten die Montagetätigkeiten stattfinden. Dabei wird der GW über die

Hebebockanlage angehoben, wodurch man Bauteile aus und in den UIC-Raum montieren kann. Vor der Hebebockanlage lag eine Grube. Über diese konnte man ggf. vorhandene Drehgestelle demontieren und während der Umbauarbeiten dort auch abstellen. Im grünen Bereich waren die Werkzeuge platziert. Hier konnten die Mitarbeiter Werkzeuge vorbereiten, Arbeitsschritte nachlesen und Absprachen treffen. Ziel dieser Einteilung war ein geordneter und gleicher Versuchsaufbau, um für alle Versuche die gleiche Versuchsumgebung zu schaffen.

6.2 Randbedingungen

Für die Umbauversuche wurden einige Bedingungen festgelegt, um die Versuche zu vereinfachen. Eine Bedingung, welche für alle Versuche galt, ist der Umgang mit der Abdichtung. Sobald die HL einmal neu verlegt wurde, bleibt diese auch bis zum letzten Versuch so bestehen. Somit haben alle Versuche die gleiche Ausgangsbedingung. Zusätzlich werden im Rahmen der Versuche die Luftleitungen und deren Anschlüsse nicht abgedichtet. Das hat den Hintergrund, dass im weiteren Verlauf der Versuchsreihe der Absperrhahn immer wieder demontiert wird und es dadurch zu einer vermeidbaren Ressourcenverschwendung kommen würde. Außerdem verlässt der Wagen auch nicht die Werkshalle für Kuppelversuche oder ähnliches, weshalb kein dichtes Bremssystem nötig ist.

Eine weitere Bedingung, welche im Vorhinein festgelegt wurde, war die Anzahl der arbeitenden Mechaniker. Prämisse war, dass die auszuführenden Arbeiten möglichst immer nur von einem Mitarbeiter auszuführen sind, maximal aber nur zwei Mitarbeiter gleichzeitig an einem Prozessschritt arbeiten sollen. Der dritte Mitarbeiter fungierte dabei als Zuarbeiter und bediente die Hubanlagen und -vorrichtungen. Dadurch kann für spätere Optimierungsverfahren bestimmt werden, welche Prozessschritte von einem Mitarbeiter ausgeführt werden können oder aber zwingend von zwei bzw. drei Mitarbeitern erfordern.

Die ausführenden Mitarbeiter wurden zudem angewiesen, die Umbauarbeiten in einem normalen Arbeitstempo durchzuführen. Dadurch sollten möglichst praxisnahe Zeiten gemessen werden.

Für jeden Umbauversuch lag immer die jeweilige Bauanleitung des zu verbauenden Herstellers ausgedruckt bereit. So konnten die Mitarbeiter immer die nächsten

Arbeitsschritte und entsprechende Kennwerte wie Kontrollmaße oder Anzugswerte für Drehmomente nachlesen.

Des Weiteren wurde sich darauf geeinigt, dass die ausgebauten Teile der DAK immer zu ihrem ursprünglichen Platz zurückgelegt werden, um so eine möglichst gleiche Ausgangssituation für die kommenden Versuche herzustellen.

6.3 Vorbereitung der Umbauversuche

Bevor die Umbauversuche in Mannheim stattfinden konnten, musste der PAP möglichst akkurat aufgestellt werden. Dafür wurde der Ansatz gewählt, aus den bisherigen Erfahrungen und den vorgegebenen Prozessen den erste PAP zu erstellen. Hierfür wurden mir von drei Herstellern die Bauanleitungen zugeschickt, um diese in den PAP einzuarbeiten. Für die Arbeiten, für die die DB Cargo verantwortlich ist, wie bspw. die Demontage der Puffer und Zughakenkupplung, wurden regelmäßige Meetings mit einem Gruppenführer aus dem Instandhaltungswerk abgehalten. Dieser war an allen bisherigen Umbauarbeiten einer DAK beteiligt und konnte somit seine bisherigen Erfahrungen einbringen. Basierend auf seinem Feedback und den Bauanleitungen der Hersteller wurden so einzelne Prozessschritte ausgearbeitet und in Abhängigkeit miteinander gebracht. Der dabei entstandene PAP ist die Grundlage für die darauf aufbauenden Umbauversuche.

Die im PAP definierten Prozessschritte sind auch gleichzeitig die durchzuführenden Arbeitsschritte. In Vorbereitung auf die anstehenden Umbauversuche wurden diese Schritte in die Excel-Datei „Einbauzeiten_BA“ übertragen und nummeriert. Die Datei liegt auf dem Datenträger bei. Anhang 7 zeigt den Nummerncode mit dem jeweiligen Arbeitsschritt. Die Excel-Datei dient der Dokumentation von Zeit und weiteren Ressourcen wie Werkzeug, Personal und Material, welches während der Umbauversuche benötigt wurden. Dieses konnten dann während der Versuche passend zum Arbeitsschritt dokumentiert werden. Außerdem wurde im Vorhinein gemeinsam ein Zeitplan erstellt, welcher in Tabelle 2 dargestellt wird. Dieser beinhaltete den geplanten Ablauf der Umbauversuche und basierte auf den bei vorherigen Versuchen gesammelten Erfahrungswerten. Hersteller 3 konnte leider nicht alle benötigten Bauteile zu den Umbauversuchen bereitstellen, weshalb bei den Umbauversuchen nur die Prototypen von Hersteller 1 und Hersteller 2 verbaut worden sind.

Tabelle 2: Endgültiger Zeitplan für die Umbauversuche

#	Tag	Inhalt/ Tagesziel
0	Sonntag	- Anreise
1	Montag	- Abrüsten des Versuchswagens - Umsetzen des Luftabsperrrhahnes - Versuch 1: 1. Einbau und Dokumentation des Prototyps von Hersteller 1 nach Mitarbeitererfahrung - Ausbau des Prototyps von Hersteller 1
2	Dienstag	- Versuch 2: 2. Einbau und Dokumentation des Prototyps von Hersteller 1 nach Prozess - Ausbau des Prototyps von Hersteller 1 - Versuch 3: 1. Einbau und Dokumentation des Prototyps von Hersteller 2 nach Prozess - Ausbau des Prototyps von Hersteller 2
3	Mittwoch	- Versuch 4: 2. Einbau und Dokumentation des Prototyps von Hersteller 2 nach Mitarbeitererfahrung - Ausbau des Prototyps von Hersteller 2 - Versuch 5: 3. Einbau und Dokumentation des Prototyps von Hersteller 2 nach Prozess - Ausbau des Prototyps von Hersteller 2 - Rückbau des Wagens auf Puffer und Schraubenkupplung
4	Donnerstag	- Abrüsten des Versuchswagens - Versuch 6: 4. Einbau und Dokumentation des Prototyps von Hersteller 2 nach Prozess mit unerfahrenen Mitarbeitern - Ausbau des Prototyps von Hersteller 2 - Versuch 7 : 5. Einbau und Dokumentation des Prototyps von Hersteller 2 nach Prozess mit unerfahrenen Mitarbeitern - Ausbau des Prototyps von Hersteller 2
5	Freitag	- Rückbau des Wagens auf Puffer und Schraubenkupplung - Abstellen des Wagens in Abstellgleis

Eigene Darstellung

Geplant waren die Umbauversuche von Hersteller 1 und Hersteller 2 mit unterschiedlichen Änderungen der Parameter. Die ersten fünf Versuche sollten von erfahrenen Mitarbeitern werden. Hierbei wurden zum einen der Hersteller und zum anderen der Einbauprozess geändert. Die letzten beiden Versuche wurden von unerfahrenen Mitarbeitern durchgeführt, um einen Vergleichswert zwischen unerfahrenen und erfahrenen Mitarbeitern zu schaffen. Zusätzlich kann durch den zweiten Versuch der ungelernten Mitarbeiter eine Lernkurve gemessen werden.

Bei den hier verwendeten DAK handelt es sich bei beiden Herstellern um aktuelle DAK2 Prototypen. Das bedeutet, dass sie keinen E-Kuppler besitzen, aber trotzdem die aktuelle Version des Verriegelungsmechanismus und der anderen Bauteile vorliegen. Die Entscheidung, keine DAK3 oder höher zu verbauen, bedingte sich durch den erst kürzlich entschiedenen Auswahlprozess für das Konzept des E-Kupplers. Zum Zeitpunkt der Planung stand eine Entscheidung noch aus, wodurch man beide E-Kuppler hätte einbauen müssen, was zeitlich nicht möglich gewesen wäre. Des Weiteren wurde auch eine Interoperabilität zwischen E-Kuppler und DAK von verschiedenen Herstellern noch nicht getestet. Somit wurde bei den Versuchen nur der Einbauprozess von den mechanischen Bauteilen bewertet. Wäre eine DAK3 oder höher verbaut worden, wären noch zusätzliche Prozessschritte wie das Kabelverlegen am Wagen und Anschließen an einen Verteilerkasten dazu gekommen.

6.4 Durchführung

Alle Umbauversuche konnten wie geplant stattfinden. Begonnen wurde mit der Abrüstung des GW, bei der die Puffer und alle wesentlichen Bauteile der Schraubenkupplung (SK) demontiert wurden. Die Abrüstung wurde von den erfahrenen Mitarbeitern durchgeführt. Nach dem Abrüsten des GW sind alle Bauteile der Zug- und Stoßeinrichtung demontiert und der GW steht mit leerem UIC-Bauraum da. Diese Prozessschritte sind alles schon bekannte und vordefinierte Schritte, da sie so auch bei der regulären Wageninstandhaltung in Zusammenhang mit der SK auftreten können. Die erste Unterscheidung betrifft die Umpositionierung des Luftabsperrrahnes. Dieser Prozessschritt wird aktuell nur im Zusammenhang mit den Umbauarbeiten zur DAK durchgeführt. Die Hauptluftleitung (HL) muss dafür teilweise neu verlegt werden. Dafür wird ein Leitungsrohr aufwendig neu gebogen und an die neue Position des Absperrrahnes verlegt. Da aber davon auszugehen ist, dass bei

der zukünftigen Migration alle benötigten Teile, wie z.B. eine passend gebogene HL vorliegt, spielt dieser Arbeitsschritt keine relevante Rolle bei den Umbauversuchen und der Zeitmessung. Mit der neu verlegten HL und dem abgerüsteten Wagen wurde die Ausgangslage für die Versuche erreicht. Abbildung 10 zeigt die Ausgangslage, mit der alle Versuche starteten. Abbildung 11 zeigt den aktuellen Stand und den Stand nach den Versuchen im PAP.

Unter Anhang ### sind alle Messergebnisse übersichtlich zusammengefasst.

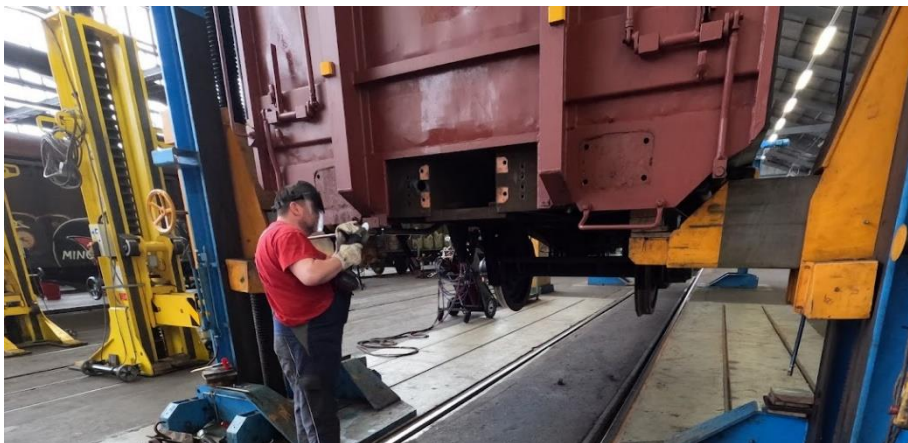


Abbildung 10: Abgerüsteter Wagen
MERZ, Ba Quy (2024-02-26).

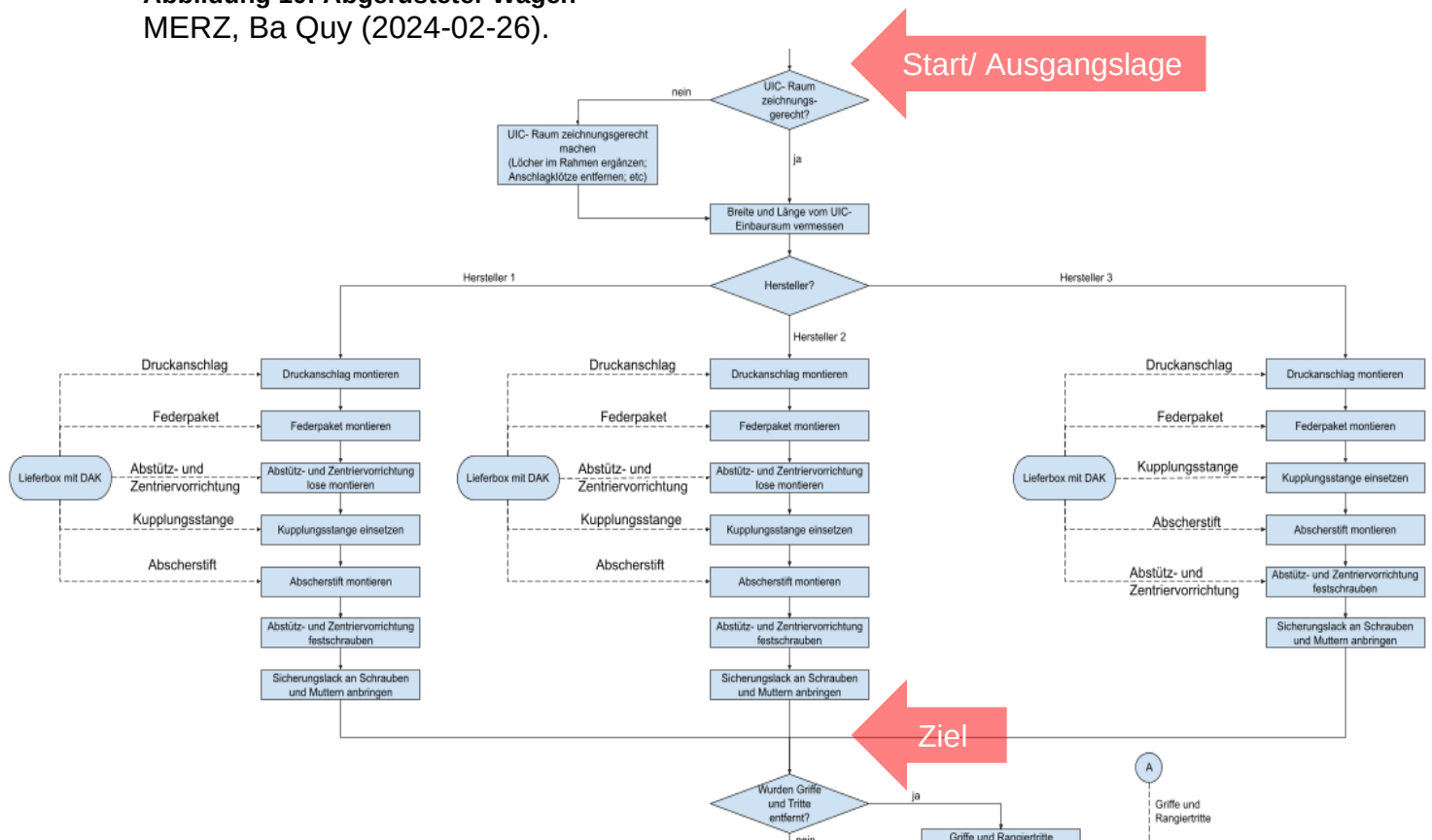


Abbildung 11: Ausschnitt aus dem PAP zur Darstellung des Fortschrittes im Prozess
Eigene Darstellung

6.4.1 Versuch 1 – Hersteller 1; erfahrene Mitarbeiter; „schneller“ Prozess

Den ersten Einbauversuch führten die drei erfahrenen Mitarbeiter aus. Da diese bereits Erfahrung mit dem Umbau hatten, wurden sie gebeten, die DAK basierend auf deren Erfahrungswerten und mithilfe der Bauanleitung einzubauen. Diese Einbaumethode weicht von dem vorher geplanten Prozess ab und dient als erster Referenzwert. Da dieser Einbauversuch auf einem Prozess beruht, der durch die gesammelte Erfahrung bereits (unsystematisch) optimiert wurde, ist dieser Versuch mit dem Beinamen „schnell“ versehen worden. Um hier noch eine Vergleichbarkeit herzustellen, wurde im Vorhinein immer abgesprochen, welcher Arbeitsschritt wie durchgeführt wird und dann verglichen, welcher Prozessschritt am ehesten mit diesem Arbeitsschritt übereinstimmt. Während des Umbaus wurde die Montagezeit jedes Arbeitsschrittes gemessen, genutzte Werkzeuge wurden notiert und es wurden Probleme und Komplikationen notiert. Außerdem wurde der Versuch von Foto- und Videoaufnahmen begleitet und dokumentiert. Besonders Probleme und Komplikationen wurden neben dem schriftlichen Versuchsprotokoll auch noch bildlich festgehalten. Die Ergebnisse werden in Tabelle 3 festgehalten.

Tabelle 3: Messdaten von Versuch 1

Versuch 1			
DAK von Hersteller 1; Erfahrene Mitarbeiter; „schneller“ Einbauprozess			
#	Bezeichnung	Zeit [min]	Benötigte Mitarbeiter
2.1	UIC-Raum zeichnungsgerecht machen		
2.2	Anschlagklötze entfernen	10	1
2.3	Löcher nachbohren		
2.4	Breite UIC-Raum vermessen	2	1
3.1	Druckanschlag montieren	63	2
3.2	Federpaket einsetzen	44	2+1
3.3	Abstütz- und Zentriervorrichtung lose montieren	10	2
3.4	Kupplungsstange einsetzen	18	2
3.5	Abscherstift montieren	5	1
3.6	Abstützvorrichtung festschrauben	5	2
Summe		157	

Eigene Darstellung

Bei Versuch 1 gab es größere Probleme beim Einbau der Druckanschlüsse. Zusätzlich mussten hier alle Bauteile ausgepackt werden, wodurch etwas mehr Zeit benötigt wurde. Nach dem Versuch wurde die DAK wieder demontiert und der Wagen wieder in die Ausgangslage versetzt. Bei der Demontage wurden ebenfalls die Zeiten gemessen. Da sie aber nicht Hauptbestandteil der Versuche waren, wurden sie daher als rein informatives Ergebnis dokumentiert.

6.4.2 Versuch 2 – Hersteller 1; Erfahrene Mitarbeiter; normaler Prozess

Versuch 2 fand wie geplant am 2. Versuchstag statt und wurde von denselben erfahrenen Mitarbeitern wie bei Versuch 1 durchgeführt. Bei diesem Versuch wurde darauf geachtet, dass die im Vorhinein geplanten Arbeitsschritte möglichst genau befolgt werden. Auch bei diesem Versuch wurden die gleichen Parameter wie bei Versuch 1 gemessen und dokumentiert. Der Einbau verlief dann trotz des festgelegten Prozesses schneller als Versuch 1. Auch hier gab es Probleme bei der Montage des Druckanschlusses. Die Expanderschrauben konnten baulich bedingt, nicht wie in der Bauanleitung beschrieben, angezogen werden. Da dieser Wagen aber nicht für Kuppelversuche genutzt wird und während der Umbauversuche durchgehend in der Halle bleibt, wurde entschieden, die Expanderschrauben nicht mit Drehmoment anzuziehen. Die Problematik wurde aber notiert und soll dem Hersteller mitgeteilt werden. Tabelle 4 zeigt die Messergebnisse von Versuch 2. Der Arbeitsschritt *2.2 – Anschlagklötze entfernen* fällt bei diesem Versuch weg, da diese nur einmalig entfernt wurden und erst wieder bei dem Rückbau am Freitag eingebaut werden. Dieser Umstand gilt für Versuch 2 und die noch folgenden Versuche. Nach Abschluss von Versuch 2 wurde die DAK wieder demontiert. Da mit diesem Prototyp keine weiteren Versuche geplant waren, wurde sie nach der Demontage vollständig verpackt.

Tabelle 4: Messdaten von Versuch 2

Versuch 2			
DAK von Hersteller 1; Erfahrene Mitarbeiter; normaler Einbauprozess			
#	Bezeichnung	Zeit [min]	Benötigte Mitarbeiter
2.1	UIC-Raum zeichnungsgerecht machen		
2.2	Anschlagklötze entfernen		
2.3	Löcher nachbohren		
2.4	Breite UIC-Raum vermessen	2	1
3.1	Druckanschlag montieren	29	2
3.2	Federpaket einsetzen	38	2+1
3.3	Abstütz- und Zentriervorrichtung lose montieren	5	2
3.4	Kupplungsstange einsetzen	7	2
3.5	Abscherstift montieren	5	1
3.6	Abstützvorrichtung festschrauben	5	2
Summe		91	

Eigene Darstellung

6.4.3 Versuch 3 – Hersteller 2; Erfahrene Mitarbeiter; normaler Prozess

Versuch 3 wurde erneut von den Erfahrenen Mitarbeitern durchgeführt. Bei diesem Versuch wurde der Prototyp von Hersteller 2 nach normalem Prozess verbaut. Auch hier wurden wieder die gleichen Parameter gemessen und Probleme notiert. Da es sich bei Versuch 3 um den ersten Einbau des Hersteller 2 bei dieser Versuchsreihe handelt, mussten wieder die Bauteile ausgepackt werden, wodurch mehr Zeit benötigt wurde. Die Messergebnisse werden in Tabelle 5 dargestellt. Bei diesem Versuch kommt Arbeitsschritt 2.3 – *Löcher nachbohren* dazu. Bei diesem Arbeitsschritt verhält es sich äquivalent zu Arbeitsschritt 2.2 bei Versuch 1 und 2. Die Löcher müssen nur einmalig gebohrt werden und werden anschließend nicht wieder verschlossen. Hierbei muss auch kein Antrag auf Veränderung gestellt werden, da die Löcher in der UIC-Norm vorhanden sind und der GW zeichnungsgerecht gemacht wird.

Bei dem Versuch gab es Probleme bei der Montage des Druckanschlages. Dieser musste mehrmals eingestellt werden, damit er in den UIC-Raum reinpasst. Nach Abschluss der Montagearbeiten wurde die DAK wieder demontiert.

Tabelle 5: Messdaten von Versuch 3

Versuch 3			
DAK von Hersteller 2; Erfahrene Mitarbeiter; normaler Einbauprozess			
#	Bezeichnung	Zeit [min]	Benötigte Mitarbeiter
2.1	UIC-Raum zeichnungsgerecht machen		
2.2	Anschlagklötze entfernen		
2.3	Löcher nachbohren	14	1
2.4	Breite UIC-Raum vermessen	2	1
4.1	Druckanschlag montieren	48	2
4.2	Federpaket einsetzen	13	2
4.3	Abstütz- und Zentriervorrichtung lose montieren	5	2
4.4	Kupplungsstange einsetzen	20	2+1
4.5	Abscherstift montieren	6	1
4.6	Abstützvorrichtung festschrauben	7	2
Summe		115	

Eigene Darstellung

6.4.4 Versuch 4 – Hersteller 2; Erfahrene Mitarbeiter; „schneller“ Prozess

Bei Versuch 4 sollten wieder die erfahrenen Mitarbeiter die DAK von Hersteller 2 montieren. Diesmal sollte sie es wieder auf ihre Weise machen, um somit einen Vergleichswert zu Versuch 1 herzustellen. Bei dem Versuch wurden die Arbeitsschritte im Vorhinein wieder besprochen, um somit die Messwerte wieder zuordnen zu können. Abweichend vom Regelprozess wurden hier die Halteplatten erst nur mit dem Schlagschrauber angezogen. Zudem wurde erst die Kupplungsstange eingesetzt und danach erst die Abstütz- und Zentriervorrichtung montiert. Erst am Ende wurden dann alle Schrauben der Halteplatten mit Drehmoment angezogen, da sie in einer Flucht liegen und sie dadurch hintereinander angezogen werden können. Zusätzlich werden alle Schrauben mit dem gleichen Drehmoment angezogen werden²⁴. Das bei Versuch 3 ermittelte Maß für den Druckanschlag wurde hier direkt eingestellt, weshalb Arbeitsschritt 4.1 – *Druckanschlag montieren* wesentlich schneller ging, wie in Tabelle 6 zu sehen ist.

²⁴ Vgl. Montagebauanleitung für Hersteller 2

Tabelle 6: Messdaten zu Versuch 4

Versuch 4			
DAK von Hersteller 2; Erfahrene Mitarbeiter; „schneller“ Einbauprozess			
#	Bezeichnung	Zeit [min]	Benötigte Mitarbeiter
2.1	UIC-Raum zeichnungsgerecht machen		
2.2	Anschlagklötze entfernen		
2.3	Löcher nachbohren		
2.4	Breite UIC-Raum vermessen	2	1
4.1	Druckanschlag montieren	15	2
4.2	Federpaket einsetzen	6	2
4.3	Abstütz- und Zentriervorrichtung lose montieren		2
4.4	Kupplungsstange einsetzen	10	2+1
4.5	Abscherstift montieren	1	1
4.6	Abstützvorrichtung festschrauben	9	2
Summe		43	

Eigene Darstellung

6.4.5 Versuch 5 – Hersteller 2; Erfahrene Mitarbeiter; normaler Prozess

Versuch 5 hat die gleichen Parameter wie Versuch 3. Hier sollte nur ein Referenzwert zu Versuch 4 geschaffen werden, um das Problem mit dem Druckanschlag ausschließen zu können. Auch bei diesem Versuch gab es keine Probleme. Die Messwerte des Versuches sind in Tabelle 7 festgehalten.

Tabelle 7: Messwerte zu Versuch 5

Versuch 5			
DAK von Hersteller 2; Erfahrene Mitarbeiter; normaler Einbauprozess			
#	Bezeichnung	Zeit [min]	Benötigte Mitarbeiter
2.1	UIC-Raum zeichnungsgerecht machen		
2.2	Anschlagklötze entfernen		
2.3	Löcher nachbohren		
2.4	Breite UIC-Raum vermessen	2	1
4.1	Druckanschlag montieren	14	2

4.2	Federpaket einsetzen	9	2
4.3	Abstütz- und Zentriervorrichtung lose montieren	3	2
4.4	Kupplungsstange einsetzen	8	2+1
4.5	Abscherstift montieren	2	1
4.6	Abstützvorrichtung festschrauben	4	2
Summe		42	

Eigene Darstellung

Nach Abschluss des Versuches wurde der Wagen komplett zurück gebaut und die SK mit Seitenpuffern wurde wieder eingebaut. Auch die HL wurde in den Ursprungszustand zurückverlegt. Die neu gebogene Leitung verblieb aber am Wagen.

6.4.6 Versuch 6 – Hersteller 2; Unerfahrene Mitarbeiter; normaler Prozess

Versuch 6 wurde Versuch von zwei Mechanikern durchgeführt, welche noch keine Erfahrung mit der DAK haben. Es war noch ein dritter erfahrener Mitarbeiter dabei, welcher jedoch nur den Kran und den Gabelstapler bediente. Sie begannen mit dem Abrüsten des Wagens und dem verlegen der HL. Dadurch hatten sie die Möglichkeit, einen kompletten Umbau von SK auf DAK durchzuführen. Während des Umbaus gab es erneute Probleme bei Schritt 4.1 – *Druckanschlag montieren*. Auch hier musste, wie bei Versuch 3, der Druckanschlag mehrmals eingestellt werden. Der Erfahrungswert aus den vorherigen Versuchen wurde absichtlich nicht weitergegeben. Im weiteren Verlauf gab es Probleme bei der Montage des Federpaketes, da hier die Bauanleitung ungenügend gelesen wurde. Auch bei der Montage der Kupplungsstange traten Probleme auf, welche aber eher auf den Montageprozess zurückzuführen sind. Tabelle 8 zeigt die ermittelten Messwerte des Versuches. Anschließend wurde die DAK auch wieder von den Mechanikern demontiert.

Tabelle 8: Messwerte zu Versuch 6

Versuch 6			
DAK von Hersteller 2; Unerfahrene Mitarbeiter; normaler Einbauprozess			
#	Bezeichnung	Zeit [min]	Benötigte Mitarbeiter
2.1	UIC-Raum zeichnungsgerecht machen		
2.2	Anschlagklötze entfernen		
2.3	Löcher nachbohren		

2.4	Breite UIC-Raum vermessen	2	1
4.1	Druckanschlag montieren	45	2
4.2	Federpaket einsetzen	16	2
4.3	Abstütz- und Zentriervorrichtung lose montieren	7	2
4.4	Kupplungsstange einsetzen	17	2+1
4.5	Abscherstift montieren	4	1
4.6	Abstützvorrichtung festschrauben	11	2
Summe		102	

Eigene Darstellung

6.4.7 Versuch 7 – Hersteller 2; Unerfahrene Mitarbeiter; normaler Prozess

Beim letzten Versuch waren die Parameter dieselben, wie bei Versuch 6. Da die unerfahrenen Mechaniker jetzt bereits einen Durchlauf absolviert haben, konnte man im zweiten Durchlauf eine Lernkurve feststellen. Diesmal gab es keine Probleme, da bei den Mechanikern erste Erfahrungen, unter anderem auch der einzustellende Wert bei 4.1, vorhanden waren. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Messwerte zu Versuch 7

Versuch 7			
DAK von Hersteller 2; Unerfahrene Mitarbeiter; normaler Einbauprozess			
#	Bezeichnung	Zeit [min]	Benötigte Mitarbeiter
2.1	UIC-Raum zeichnungsgerecht machen		
2.2	Anschlagklötze entfernen		
2.3	Löcher nachbohren		
2.4	Breite UIC-Raum vermessen	2	1
4.1	Druckanschlag montieren	14	2
4.2	Federpaket einsetzen	11	2
4.3	Abstütz- und Zentriervorrichtung lose montieren	4	2
4.4	Kupplungsstange einsetzen	10	2+1
4.5	Abscherstift montieren	1	1
4.6	Abstützvorrichtung festschrauben	5	2
Summe		47	

Eigene Darstellung

7 Definition von Systemgrenzen und Bewertung der Messergebnisse

Um die Versuche besser einordnen zu können, müssen Systemgrenzen definiert werden. Dabei definiert die Fachhochschule Nordwestschweiz eine Systemgrenze wie folgt:

*„Die Systemgrenze zeigt dabei die Grenze zwischen dem betrachteten System und dem Systemumfeld auf. [...] Systemgrenzen werden definiert, um das betrachtete System von seiner Umwelt abzugrenzen. [...] Zwischen dem betrachteten System und den Systemen oder Elementen im Systemumfeld bestehen Schnittstellen, die ebenfalls definiert werden müssen.“*²⁵

Wenn man diese Definition auf den entwickelten Prozess anwendet, muss also festgelegt werden, ab wann der Prozess beginnt und wann er endet. Zusätzlich wird festgelegt, inwiefern andere Prozesse den zu betrachtenden Prozess beeinflussen.

Wenn man sich nun den erarbeiteten PAP anschaut, so bilden der Startpunkt und der Endpunkt die ersten Systemgrenzen, welche durch das Oval gekennzeichnet sind. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass der Auswahlprozess des Wagens, der Transport des Wagens zur Werkstatt und die systematische Buchung nicht in diesem Prozess betrachtet werden. Auch endet der Prozess, nachdem der Wagen die Werkstatt verlassen hat. Für den Betrieb, die Disposition des Wagens mit einer DAK und die Wartung der DAK gelten dann andere Prozesse. Was hierbei im oberen Teil des PAP auffällt, ist ein zweites Oval am Anfang. Dies soll darstellen, dass der mechanische Umbauprozess erst ab diesem Moment beginnen kann. Solange innerhalb der Werkstatt nicht die Auftragslage geregelt wurde, kann der Wagen nicht umgebaut werden, obwohl er sich bereits innerhalb des Systems befindet. Die nächsten sichtbaren Systemgrenzen sind das „Zwischen- und Endlager“ sowie das „Lager für Neuteile“. Durch diese beiden Grenzen wird klar definiert, dass die Logistik kein Teil dieses Prozesses darstellt und daher auch nicht betrachtet wurde. Innerhalb des Versuches wurden die alten Bauteile symbolisch in eine Gitterbox gelegt und damit endete die weitere Betrachtung. Die neuen Bauteile kamen aus Boxen, welche bereits

²⁵ IWI (2020).

in der Nähe des Versuches standen. Es wurde dabei nicht betrachtet, wie die Materialien an den Versuchsort kommen. Somit ist eindeutig, dass die Logistik für Alt- und Neuteile einen oder mehrere eigene Prozesse darstellen, welche aber eine Schnittstelle zum Umbauprozess besitzen.

Da nun definiert wurde, wo sich der Prozess von anderen Prozessen abgrenzt, kann die vorangegangene Versuchsreihe als erfolgreich betrachtet werden. Es wurden, wie vorher geplant, die relevanten Prozessschritte ermittelt und vermessen. Zusätzlich konnte man vermeintlich bereits optimierte Prozesse messen und diese dann mit dem geplanten Prozess vergleichen. Außerdem konnte man noch einen Referenzwert ermitteln, welcher eine Tendenz zum Parameter „Erfahrung“ erahnen lässt.

In Anhang 9 werden die Ergebnisse der Messung übersichtlich und zusammengefasst dargestellt. Hierbei fällt direkt auf, dass die Montagezeiten von Hersteller 2 durchschnittlich kürzer ausfallen. Hierbei muss erwähnt werden, dass die Zeiten für das Abrüsten des Wagens jeweils separat gemessen wurden und nicht in die Montagezeit mit einberechnet sind.

Des Weiteren fällt auf, dass die jeweils ersten Versuche der einzelnen Hersteller sich teils deutlich von den restlichen Versuchen abheben. Zum einen mussten bei diesen Versuchen in den Abschnitt 2.x jeweils ein zusätzlicher Arbeitsschritt geleistet werden, welcher bei den anderen Versuchen nicht simuliert werden kann. Zum anderen mussten die Bauteile bei den jeweiligen Versuchen auch immer komplett aus der Transportbox ausgepackt werden. Zwar wurden die Bauteile nach einem Versuch immer an den gleichen Ort zurückgelegt, jedoch wurden sie nicht wieder „transportbereit“ verpackt. Die Bauteile wurden also nicht wieder mit Gurten festgezurrert und auch nicht in Transportfolie verschweißt. Diese Teilarbeitsschritte fehlen dann bei den nachfolgenden Versuchen und erklären auch teilweise den Zeitunterschied.

In Abbildung 12 werden die beiden Versuche von Hersteller 1 miteinander verglichen. Besonders fällt hier der Zeitunterschied in Arbeitsschritt 3.1 – *Druckanschlag montieren* – auf. Der Unterschied lässt sich hierbei durch die Herangehensweise der Mitarbeiter erklären. Bei Versuch 1 durften die Mitarbeiter nach „ihrem“ Prozess arbeiten. Sie hatten das Ziel, dass jede Einstellschraube auch angezogen wird, was nur möglich ist, wenn man es abweichend der Bauanleitung baut. Die Folge davon ist

aber eine deutlich aufwendigere Montagearbeit, die am Ende Zeit kostet. Im zweiten Versuch wurde der Druckanschlag wie in der Bauanleitung angegeben verbaut. Diese Einbauvariante geht zwar deutlich schneller (ca. 50% schneller), hat aber zur Folge, dass man bei der Montage zum einen baulich bedingt nicht alle Einstellschrauben anziehen kann. Zum anderen verstößt man bei dieser Variante auch gegen geltende DB-Vorschriften zum Thema Arbeitsschutz – Heben von schweren Bauteilen. Was aber hierbei deutlich wird, ist die geringere Zeit beim 2. Versuch, Bei welchem sich die Mitarbeiter an den vorgegebenen Prozess gehalten haben.

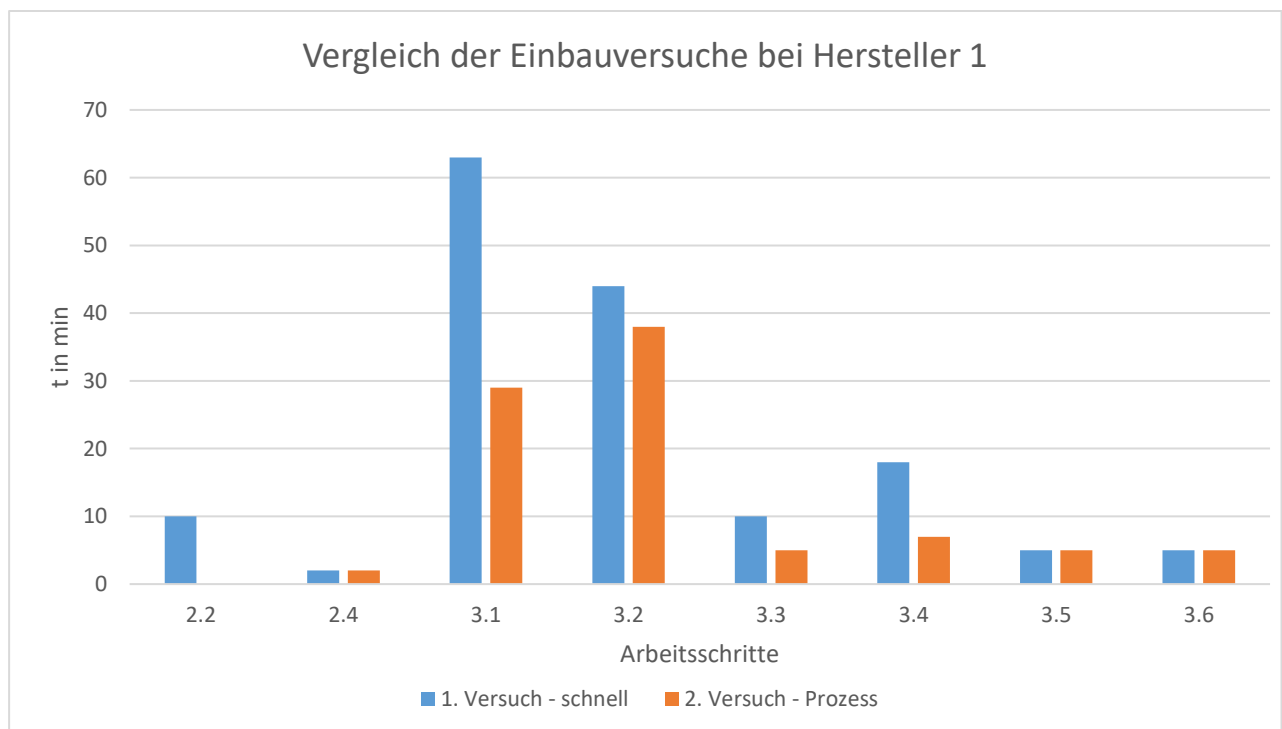


Abbildung 12: Vergleich der Einbauversuche von Hersteller 1
Eigene Darstellung

In Abbildung 13 werden die Einbauversuche von Hersteller 2 von den erfahrenen Mitarbeitern verglichen. Auch hier ist auffällig, dass es bei 4.1 – *Druckanschlag montieren* die größten Abweichungen in den Versuchen gab. Auch hier lässt sich die große Abweichung durch die Herangehensweise der Mitarbeiter erklären. Beim ersten Versuch hielten sich die Mitarbeiter an den Prozess und die Bauanleitung. Diese gibt beim Einbau keine Einbautoleranzen vor, wodurch die Druckanschläge genau auf Maß eingestellt und anschließend eingebaut werden sollen. Da bei einem Güterwagen aber selten bis nie ideale Bedingungen vorliegen, ist der UIC-Einbauraum in den seltensten Fällen wirklich gerade und winklig. Die Mitarbeiter wussten daher schon,

dass der Druckanschlag aufgrund der fehlenden Toleranz nicht passen wird. Es wurde aber beschlossen, es trotzdem erst ohne Einbautoleranz einzubauen, um hier dem Hersteller ein fundiertes Feedback geben zu können. Durch die fehlende Toleranz war ein Einbau daher auch nicht möglich, weshalb der gesamte Schritt wiederholt werden musste. Beim zweiten Mal wurde das Maß 5 mm kleiner gestellt, was einen Einbau erst ermöglichte. Dieses erneute Umstellen benötigte jedoch viel Zeit. Da diese Information dann bereits bekannt war, wurde beim 3. Versuch gleich mit dem Toleranzmaß gearbeitet, weshalb hier die Zeit bedeutend kleiner ist. Beim zweiten Versuch wurde das Maß erst eingestellt, nachdem der Druckanschlag im UIC-Raum eingehoben wurde. Dadurch konnte man ein ideales Maß ohne Toleranzen einstellen und benötigte dafür wenig Zeit. Jedoch ist es dann baulich bedingt wieder nicht möglich, die Einstellschrauben mit dem geforderten Drehmoment anzuziehen. Daher bildet die Variante im 3. Versuch den besten Ansatz, um den Druckanschlag sicher und schnell einzubauen.

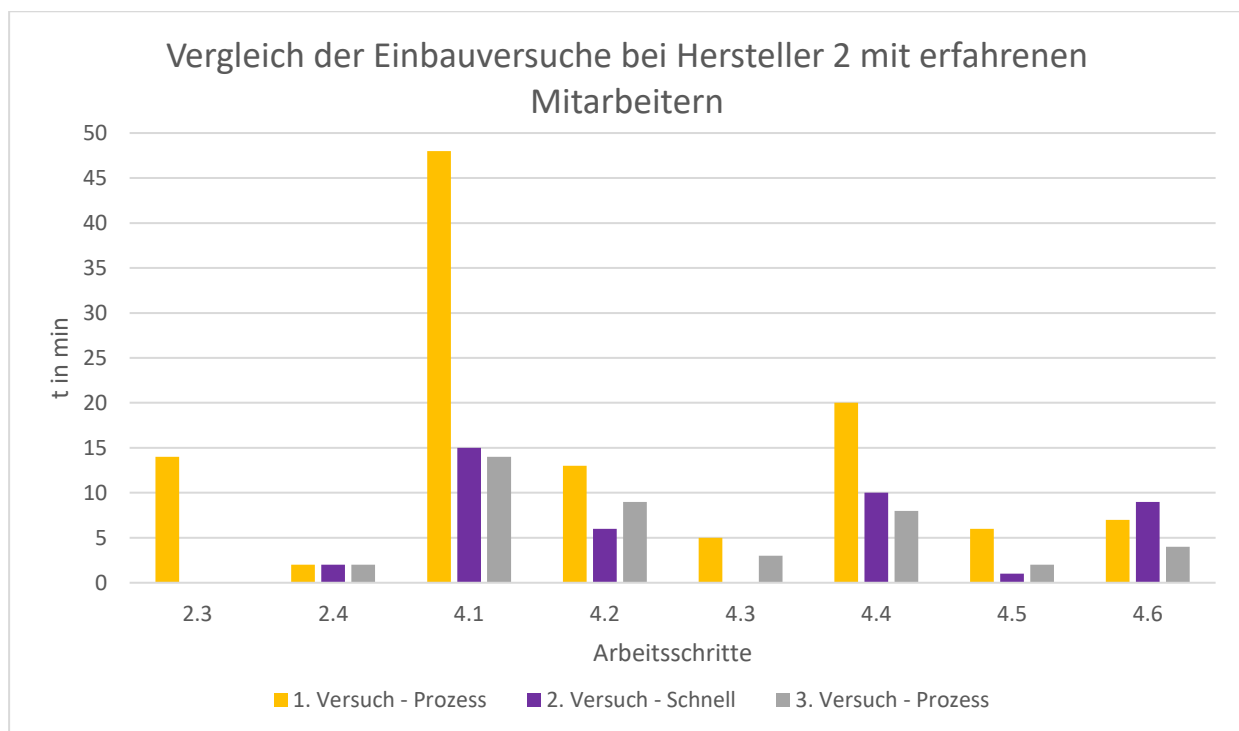


Abbildung 13: Vergleich der Einbauversuche bei Hersteller 2 mit erfahrenen Mitarbeitern
Eigene Darstellung

Abbildung 14 vergleicht dann die Einbauversuche von den unerfahrenen Mitarbeitern untereinander. Der größte Unterschied liegt hier wieder bei Schritt 4.1 – *Druckanschlag montieren*, obwohl sich die Mitarbeiter beide Male an den Prozess hielten. Diesmal ist die fehlende Erfahrung. Die unerfahrenen Mitarbeiter wussten in diesem Fall nicht, dass die Druckanschläge aufgrund der fehlenden Toleranz nicht mit dem gemessenen Maß passen. Daher mussten sie diesen Schritt auch wiederholen. Ansonsten ist aber erkennbar, dass der 2. Einbau mit der Erfahrung aus dem 1. Einbau wesentlich schneller ablief.

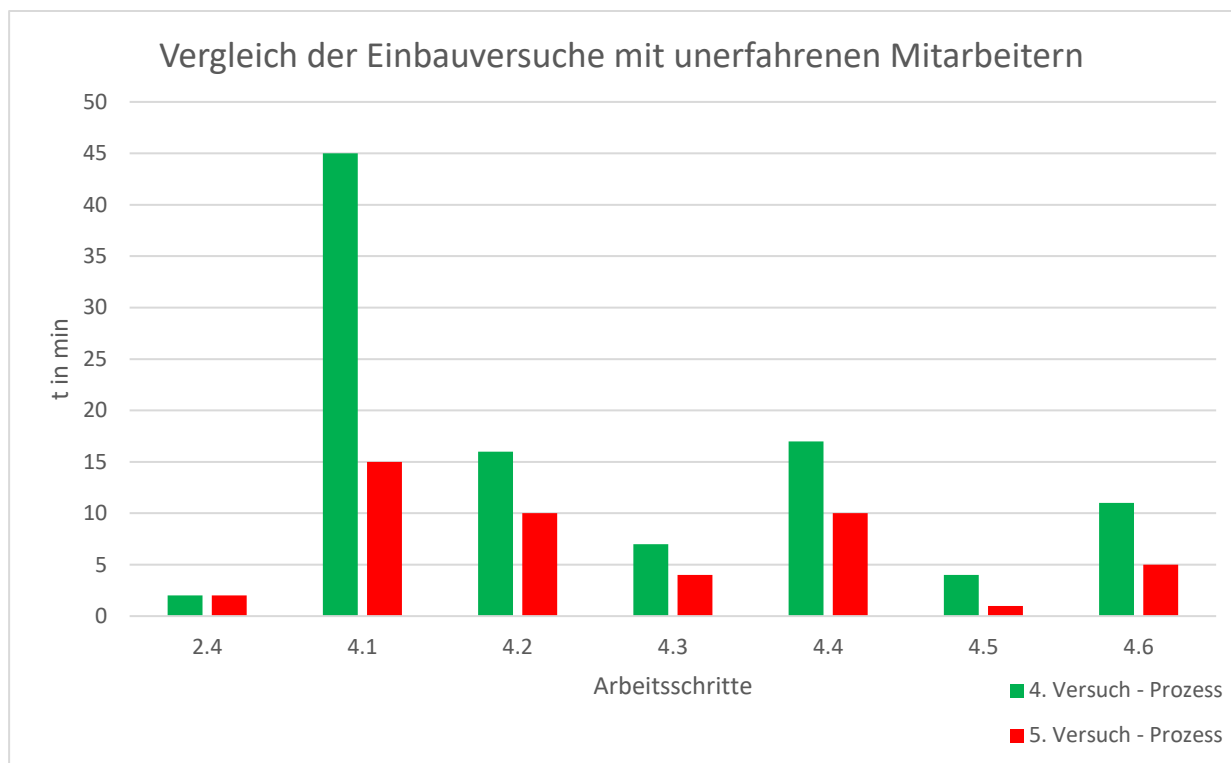


Abbildung 14: Vergleich der Einbauversuche mit unerfahrenen Mitarbeitern
Eigene Darstellung

Um jetzt einen Vergleich zwischen den erfahrenen und unerfahrenen Mitarbeitern herzustellen, müssen möglichst gleiche Parameter gewählt werden. Dazu bieten sich von Hersteller 2 der dritte und der fünfte Versuch an. Bei beiden Versuchen wurde nach Prozess gearbeitet und beide waren auch die zeitlich besten Versuche. Abbildung 15 stellt den Vergleich zwischen den dritten und fünften Versuch her.

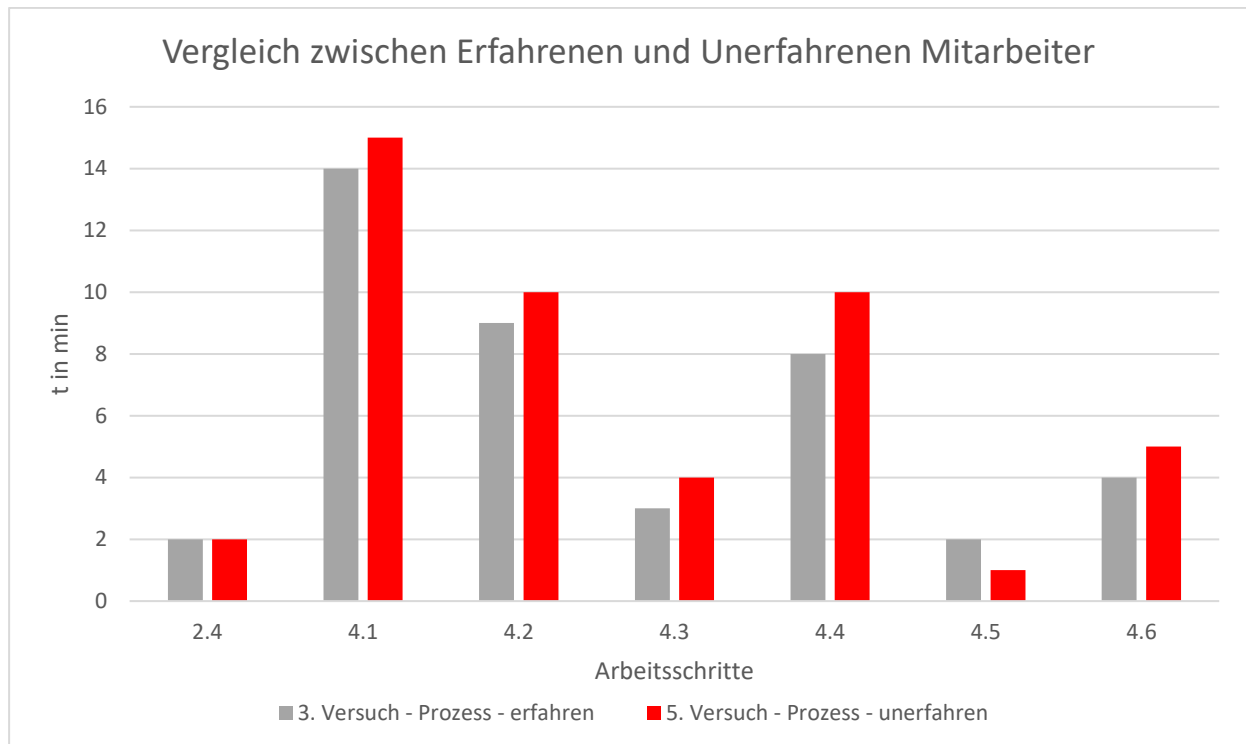


Abbildung 15: Vergleich zwischen Erfahrenen und Unerfahrenen Mitarbeiter
Eigene Darstellung

Die Zeitwerte bei den beiden Versuchen ähneln sich recht stark. Bei jedem Arbeitsschritt benötigten die Mitarbeiter ungefähr gleich lang. Dennoch sind die erfahrenen Mitarbeiter im Schnitt immer ein bis zwei Minuten schneller als die unerfahrenen Mitarbeiter, was auf die Erfahrung hinweisen könnte. Dieser Faktor würde sich aber sicherlich im Laufe der Zeit verringern oder sogar ganz verschwinden, wenn die unerfahrenen Mitarbeiter auch mehrere DAK eingebaut haben.

Im letzten Vergleich werden nochmals die beiden Konzepte der Hersteller betrachtet. Hier werden die jeweils besten Versuche miteinander verglichen. Diese haben auch die gleichen Voraussetzungen, da beide Versuche von den erfahrenen Mitarbeitern durchgeführt worden sind und sich bei beiden Versuchen an den Prozess gehalten wurde. Abbildung 16 stellt dann diesen Vergleich dar.

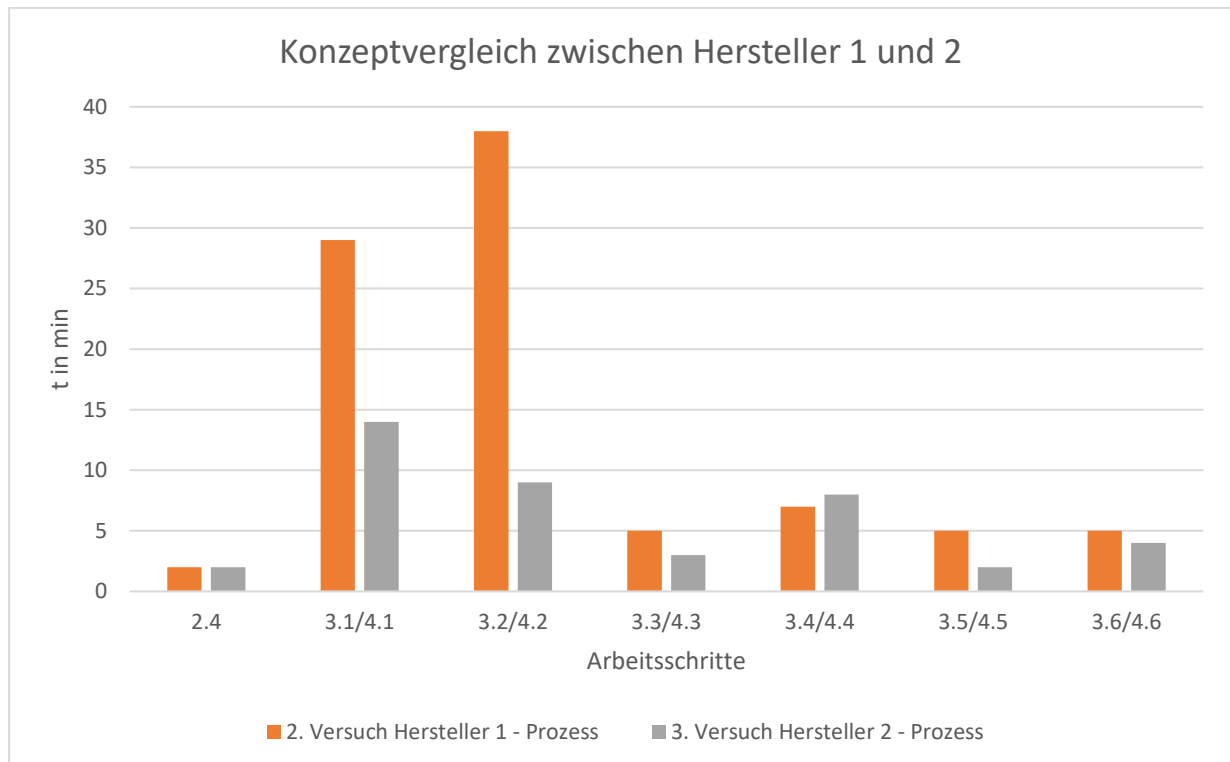


Abbildung 16: Konzeptvergleich zwischen Hersteller 1 und 2
Eigene Darstellung

Dieser Vergleich bestätigt dann die anfängliche Aussage, dass das Konzept von Hersteller 2 weniger Zeit beim Einbau benötigt. In Abbildung 16 wird auch deutlich, dass das zweite Konzept besonders bei den Punkten 3.1/4.1 und 3.2/4.2 einen großen Zeitvorteil bietet. Schritt 3.1/4.1 beschreibt hierbei die Montage des Druckanschlages. Hier wurde bereits darauf hingewiesen, dass bisher bei Konzept 1 keine gute und zeiteffiziente Lösung besteht. Punkt 3.2/4.2 beschreibt den Einbau des Federpaketes. Der Zeitunterschied wird hier wieder durch die verschiedenen Konzepte begründet. Bei Hersteller 1 ist es zwingend notwendig, das Federpaket zu spannen. Dieser Schritt entfiel bei Hersteller 2 bzw. wird erst im späteren Verlauf des DAK-Umbaus durchgeführt. Dabei steht aber schon fest, dass der Vorgang bei Hersteller 2 dennoch wesentlich schneller ist als der von Hersteller 1. Man kann pauschal dafür eine Minute dazu rechnen und würde trotzdem noch wesentlich schneller sein.

Anhang 10 zeigt dann alle durchgeführten Versuche im Vergleich zueinander auf.

8 Entwicklung von Vorschlägen für die Optimierung

Im letzten Abschnitt dieser Arbeit sollen basierend auf den gesammelten Daten der Versuche erste Optimierungsvorschläge gemacht und erläutert werden.

8.1 Hubtisch optimieren

Unmittelbar nach Abschluss der Umbauversuche in Mannheim fanden in Paderborn weitere Umbauversuche statt. Dort wurde von der DB Fahrzeuginstandhaltung (DB FZI) ein modifizierter Hubtisch gebaut. Der Hubtisch ist eine essenzielle Montagevorrichtung, da mit diesem schwere Bauteile wie das Federpaket oder die Druckanschläge in den UIC-Bauraum gehoben und dann montiert werden können. Durch seinen häufigen Einsatz im Montageprozess kann eine einfache Optimierung schon große positive Folgen auf Zeit und Kosten erzielen. Wie Abbildung 17 zeigt, wurde bei den Versuchen in Mannheim ein handelsüblicher Hubtisch mit einem Scherenhub genutzt, welcher nicht schienengebunden ist. Die Holzbretter dienen hierbei zum Ausgleichen von Unebenheiten bei den Bauteilen.



Abbildung 17: Genutzter Hubwagen bei den Umbauversuchen in Mannheim
MERZ, Ba Quy (2024-02-26).

Der Vorteil der schienenungebundenen Variante ist, dass sie mobiler ist und somit näher zu den Materialien gefahren werden kann. Außerdem wird durch den Scherenhub eine bessere Gewichtsverteilung auf der Auflagefläche realisiert, womit dann Bauteile gleichmäßig hochgefahren werden können, auch wenn diese nicht mittig der Auflagefläche liegen. Nachteilig dagegen ist zum einen, dass man einen ebenen Untergrund benötigt, damit dieser gut darauf fahren kann. Zum anderen steht der Wagen damit nie wirklich zentriert zum Güterwagen, was in Kombination mit einem ungünstigen Untergrund die Einbauarbeiten erschweren kann.

Der Prototyp vom Hubtisch in Paderborn wurde dabei unabhängig von dem vorhandenen Hubtisch entwickelt und verfolgt auch ein anderes Konzept. Wie Abbildung 18 zeigt, wird bei dem Prototyp die Hubbewegung durch einen Hydraulikzylinder realisiert. Außerdem ist dieser schienenengebunden, wodurch er zum einen immer zentriert zum GW steht und zum anderen unabhängig von der Beschaffenheit des Untergrundes eingesetzt werden kann. Abbildung 19 zeigt die modifizierte Auflagefläche des Hubwagens.



Abbildung 18: Prototyp des Hubwagens MERZ, Ba Quay (2024-03-13).



Abbildung 19: Modifizierte Auflagefläche des Hubwagens MERZ, Ba Quay (2024-03-13).

Die Auflagefläche kann bei diesem Prototyp in verschiedenen Positionen verändert werden. Über eine Stellschraube kann die Fläche nicken, was ggf. auftretende Schiefelage ausgleichen kann. Durch den einfachen Hydraulikzylinder ist es auch möglich, dass die Auflagefläche rotiert, wodurch der Hubwagen an beiden Enden des GW genutzt werden kann. Zusätzlich besitzt die Auflagefläche einen Zapfen, worüber man das Federpaket ausrichten kann.

Für die Erprobung des Hubwagens wurden von der FZI Umbauversuche in Paderborn organisiert. Nach Absprache wurde dann der Montageprozess mit dem Prozess aus den Umbauversuchen in Mannheim synchronisiert, wodurch eine Vergleichbarkeit hergestellt wurde.

Ein Vergleich der Einbauzeiten zeigt jedoch, dass der modifizierte Wagen den Einbau etwas verlangsamt. Das lässt sich zum Teil auf die vielen Einstellmöglichkeiten zurückführen. Durch die Einstellschraube besitzt der Wagen trotz Arretierung mehr Spiel, was den Einbau erschwert. Durch den einfachen Hydraulikzylinder kippt bei nicht zentrierter Beladung die Auflagefläche, da sie nur an einem Punkt gehalten wird. Dieses Kippen muss dann über die Einstellschraube ausgeglichen werden.

Positiv waren hingegen die Flügel an der Seite. Dadurch konnten die Halteplatten abgelegt werden und die Schrauben unterhalb der Halteplatte waren trotzdem erreichbar.

Ein Kritikpunkt, der beide Hubwagen betrifft, ist die Bedienung und Dauer des Hubantriebes. Beide Hubwagen funktionieren hydraulisch können manuell über einen Tritt hochgepumpt und über einen Hebel abgelassen werden. Diese Variante kann auf Dauer erschöpfend sein, wodurch sich die Zeit dafür verlängert. Zeitmessungen bei den jeweiligen Varianten haben ergeben, dass man mit dem handelsüblichen Hubtisch ca. 45 Sekunden und mit dem Prototyp ca. 1:30 Minuten benötigt. Mit Blick auf die häufigen Hubvorgänge, kann es nützlich sein, einen elektrischen Antrieb in Erwägung zu ziehen. Dieser kann entweder über eine Pumpe realisiert werden, welche durch einen Akkuschrauber angetrieben wird, oder direkt über eine elektrische Pumpe. Der Antrieb über den Tritt kann weiterhin bestehen bleiben, wenn der elektrische Antrieb mal ausfallen sollte. Ein elektrischer Antrieb wäre dann noch mit internen Sicherheitsvorgaben abzustimmen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in dem Prototyp noch mehr Potenzial zur Verbesserung steckt, da die auftretenden Probleme behoben werden können. Auch wäre es denkbar, die Auflagefläche mit dem vorhandenen Hubtisch zu kombinieren.

8.2 Werkzeugkonzept

Ein wesentlicher Bestandteil jedes Einbauprozesses sind die zur Verfügung stehenden Werkzeuge. Ohne passendes Werkzeug verzögert sich der Einbau oder ist gar nicht erst möglich. Mit Hinblick auf geeignetes Werkzeug stehen die beiden Umbauversuche aus Paderborn und Mannheim im starken Kontrast zueinander. Bei den Umbauversuchen in Mannheim wurde sich frühzeitig darauf geeignet, eigenes Werkzeug nur für diese und zukünftige DAK-Umbauten zu besorgen. Dieses wird in einem separaten Werkzeugwagen gelagert und kann so als ein Kit genutzt werden. Bei diesem Kit wurde sich im Vorhinein überlegt, welche Werkzeuge und Geräte für den Umbau benötigt werden, unabhängig vom Bestand der Werkstatt. Ausgenommen hierbei waren Drehmomentschlüssel, da diese sensible Messmittel sind, welche einem regelmäßigen Prüfzyklus unterliegen, welcher über die Werkstatt geregelt wird. Dieses bestellte Werkzeug lag zum Zeitpunkt des Umbauprozesses in Mannheim vor. Dadurch konnten die Umbauversuche ohne Unterbrechungen nacheinander stattfinden.

Im Gegensatz dazu setzte man bei den Umbauversuchen in Paderborn auf den Werkstattbestand. Dies hatte zur Folge, dass die Arbeiten immer wieder lange unterbrochen werden mussten, da sich passendes Werkzeug aus der Halle zusammengesucht werden musste. Teilweise war auch benötigtes Werkzeug nicht vorhanden, da dieses im regulären Instandhaltungsbetrieb nicht gebraucht wird. Zwar wurden diese Zeiten bei der Messung nicht miteinberechnet, kosten aber immer noch Arbeitszeit. Im Vergleich dazu gelangen in Mannheim mit dem vorhandenen Werkzeug zwei Ein- und Ausbaudurchgänge innerhalb einer Schicht (7h). In Paderborn wurde in ca. 2-3 h nur ein Einbau zur Hälfte absolviert.

Eine Erkenntnis daraus wäre, eine Liste anzufertigen, welche man den Werkstätten mitteilt. Diese Liste beinhaltet jedes Werkzeug, welches beim Umbau benötigt wird und auch weiteres Werkzeug für Probleme, die während den Umbauversuchen auftraten. Um diese Liste möglichst effizient zu halten, müssen während der Umbauversuche genutzte Werkzeuge zu jedem Prozessschritt notiert werden. Eine

erste Bestandsaufnahme wurde auch während der Umbauversuche in Mannheim durchgeführt. Diese sind auch in der Excel-Datei „*Einbauzeiten_BA*“ sichtbar. Die Werkstätten können dann selbst entscheiden, ob sie genau dieses oder gleichwertiges Werkzeug kaufen und für Umbauarbeiten bereitstellen. Sie können sich auch dazu entscheiden, auf den bestehenden Bestand zurückzugreifen. Wichtig ist jedoch, dass es ein oder mehrere gesonderte Kits gibt, die bei jedem DAK-Umbau bereitstehen, um lange Wartezeiten zu vermeiden.

8.3 Mitarbeiter schulen

Wie die Versuche in Mannheim gezeigt haben, kann fehlende Erfahrung bei den Mitarbeitern viel Zeit kosten. Daher wäre es ratsam, Mitarbeiter im Vorhinein zu schulen, wobei hier eine Mischung aus Theorie und Praxis ratsam ist. In der Praxis können die Mitarbeiter beispielsweise auf einem gesperrten Gleis an einem dafür vorbereiteten Wagen verschiedene DAK von verschiedenen Herstellern im Beisein von Vertretern der Hersteller und/oder erfahrenen Mitarbeitern montieren und demontieren. Dabei können eventuell auftretende Schwierigkeiten und Probleme vor Ort angesprochen oder im theoretischen Teil besprochen werden. Im theoretischen Teil können dann die Funktion und der Aufbau der verschiedenen Bauteile besprochen werden. Diese Schulungen sollten idealerweise vor dem Migrationsbeginn der DAK stattfinden.

8.4 Arbeitsschritte parallel durchführen

Während des Umbaus in Mannheim waren in der Regel immer beide Mitarbeiter beschäftigt. Einige Prozessschritte können aber auch nur von einem Mitarbeiter allein durchgeführt werden. Durch Anpassung von Prozessschritten könnte man erreichen, dass zwei verschiedene Schritte, welche jeweils nur einen Mitarbeiter benötigen, parallel ausgeführt werden können. Das würde die Einbauzeit weiter verkürzen und die Mitarbeiter würden noch effizienter arbeiten. Bei der Analyse dazu kann auch geschaut werden, wie viele Mitarbeiter benötigt werden, um eine DAK möglichst effizient einzubauen. Möglicherweise gelingen manche Arbeitsschritte zu dritt noch schneller als zu zweit. Diese Zeitersparnis muss dann mit den Kosten eines zusätzlichen Mitarbeiters gegengerechnet werden.

8.5 Anpassen der Bauteile und Bauanleitung durch den Hersteller

Bei den Umbauversuchen in Mannheim wurde deutlich, dass geplante Prozesse und Bauteile von verschiedenen Herstellern nicht umgesetzt werden konnten. Diese Probleme wurden während der Umbauarbeiten notiert. Durch ein herstellerspezifisches Feedback können die Hersteller diese Probleme aufgreifen und intern ändern oder in Zusammenarbeit mit beispielsweise der DB so anpassen, dass sie unter anderem den Arbeitsschutz- und den Montagevorgaben der DB entsprechen.

Ein weitaus tiefgreifenderer Schritt wäre das Anpassen des Montagekonzeptes. Wie die Versuche in Mannheim gezeigt haben, war durch das eine Konzept eine wesentlich schnellere Montage möglich als bei dem anderen. Wo beide Konzepte jedoch Schwierigkeiten haben, war bei der Montage des Druckanschlages. Hier gibt es von einem weiteren Hersteller ein Konzept, wo das Federpaket nahezu den kompletten UIC-Raum ausfüllt. Die Vorspannkraft wird hier durch einen keilartigen Mechanismus generiert. Dieses Konzept erwies sich bei vorher stattfindenden Einbauversuchen als sehr schnell und einfach zu montieren. Da bei der zukünftigen Migration der DAK jede Minute zählt, spielt auch die Einbauzeit eine wichtige Rolle. Je nachdem, wie weit die Entwicklung bei einem Hersteller bereits vorangeschritten ist, kann der betroffene Hersteller ggf. noch Änderungen vornehmen, welche den Einbau wesentlich vereinfachen. Aus Sicht des Kunden ist ein einfaches Einbaukonzept wesentlich lukrativer als ein kompliziertes. Vorausgesetzt beide erfüllen die gleichen Anforderungen.

9 Fazit

In der vorangegangenen Thesis wurde der aktuelle Montageprozess einer DAK innerhalb der DB Cargo AG analysiert, dokumentiert und ausgewertet. Diese Analyse bildet die Grundlage für zukünftige Optimierungsverfahren zur Effizienzsteigerung des Montageprozesses. Anhand der Auswertung wurden erste Optimierungsvorschläge definiert, welche es in Zukunft zu testen gilt.

Für die Analyse wurde ein PAP erstellt und anhand dessen wurde ein Versuchsplan aufgestellt. Die Versuche fanden dabei alle unter möglichst gleichen Konditionen statt.

Die Ergebnisse waren am Ende sehr aufschlussreich und spiegeln die schon bereits vorhandene Tendenz wieder, dass ein Konzept wesentlich einfacher und schneller einzubauen ist als das andere. Durch die Versuche wurden nun definierte Grundwerte ermittelt, an denen man zukünftige Optimierungen vergleichen kann. Dabei ist aber auch zu erwähnen, dass Faktoren wie die Auspackzeit der Bauteile jeweils nur in die ersten Versuche einfließen. Des Weiteren ist jeder UIC-Einbauraum von den GW etwas unterschiedlich. Mal ist der Raum etwas schief, mal steht eine Schweißnaht weiter raus etc. Diese Eigenschaften waren bereits nach dem allerersten Einbau bekannt und werden bei den folgenden Einbauten automatisch berücksichtigt, was ebenfalls etwas Zeit spart.

Leider war es nicht möglich, noch das Konzept von Hersteller 3 zu testen. Dadurch wäre ein noch umfangreicherer Vergleich möglich gewesen.

Für die Zukunft bleibt offen, wie gut man diesen Einbauprozess noch weiter optimieren kann. Auch muss noch analysiert werden, wie die Kabel der E-Kupplung verlegt und angeschlossen werden und wie lange das dauert. Zudem muss sich auch noch auf eine Migrationsstrategie geeinigt werden, wodurch dann ggf. vorhandene Prozesse angepasst werden müssen.

Schlussendlich bleibt festzuhalten, dass die Versuche als erfolgreich betrachtet werden können. Insbesondere der im Rahmen der Thesis erstellte PAP bildet eine solide Grundlage für zukünftige Optimierungen. Jedoch ist für den optimalen Einbau einer DAK noch sehr viel zu tun ist. Diese Thesis hat hoffentlich dazu beigetragen, dass dafür ein Grundstein gebildet werden kann.

Quellenverzeichnis

Allianz pro Schiene e.V. (2022):

Güterverkehr - Mehr Verkehr auf die Schiene,
<https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/gueterverkehr/>,
abgerufen am 2024-03-02.

BMDV (=Bundesministerium für Digitales und Verkehr) (2020a):

Erstellung eines Konzeptes für die EU-weite Migration eines Digitalen
Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr -
Fachbericht „Technik DAK“
https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/fachbericht-dak-studie-technik.pdf?__blob=publicationFile,
abgerufen am 2024-03-05.

BMDV (=Bundesministerium für Digitales und Verkehr) (2020b):

„Erstellung eines Konzeptes für die EU-weite Migration eines Digitalen
Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr“ –
Schlussbericht,
https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/schlussbericht-dak-studie.pdf?__blob=publicationFile,
abgerufen am 2024-03-02.

Deutsche Bahn AG (2022a):

Digitale Automatische Kupplung für Güterwagen „to go“,
https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart_zentrales_uebersicht/Digitale-Automatische-Kupplung-fuer-Gueterwagen-to-go--8967250,
abgerufen am 2024-03-06.

Deutsche Bahn AG (2022b):

Testing the DAC in Operation throughout Europe,
https://www.dac4.eu/wp-content/uploads/02_Testing-the-DAC-in-Operation_F.Wartzek-DB-2.pdf,
abgerufen am 2024-03-06.

Deutsche Bahn AG (2024):

Projektinformationen,
<https://www.dac4.eu/projektinformation/>,
abgerufen am 2024-03-06.

DIN 99001 (1983): (=Deutsches Institut für Normung) Hrsg:

Sinnbilder und Ihre Anwendung, Abschnitt 6.

EBA (=Eisenbahn-Bundesamt) (2018):

Quantifizierung des Umrüstungsbedarfs der Güterwagenflotten in Deutschland und den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union für verschiedene rechtliche Szenarien - Zusammenfassung,
[https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Veroeffentlichungen/Forschungsberichte/2018/EBA-Forschungsbericht_2018-12_Zusammenfassung_de.pdf?__blob=publicationFile&v=6#:~:text=Die%20Gesamtanzahl%20der%20aktiven%20G%C3%BCterwagen,im%20deutschen%20NVR%20gelistet%20sind.](https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Veroeffentlichungen/Forschungsberichte/2018/EBA-Forschungsbericht_2018-12_Zusammenfassung_de.pdf?__blob=publicationFile&v=6#:~:text=Die%20Gesamtanzahl%20der%20aktiven%20G%C3%BCterwagen,im%20deutschen%20NVR%20gelistet%20sind.,),
abgerufen am 2024-03-06.

FRICKE, Joachim (2015):

Die Sicherheitskupplung,
https://www.technikmuseum-online.de/homepage_dateien/beitrag_12.htm,
abgerufen am 2024-03-10.

GAIDA, Vivien-Jana (2024):

So funktioniert erfolgreiche Projektkommunikation,
<https://www.factro.de/blog/projektkommunikation/>,
abgerufen am 2024-03-11.

Grunenberg & Comp. GmbH (2024a):

Flussdiagramm – Werkzeug zur Prozessmodellierung,
<https://project-base.org/flussdiagramm/>,
abgerufen am 2024-02-12.

Grunenberg & Comp. GmbH (2024b):

Flussdiagramm – Notationen und Symbole,

<https://project-base.org/flussdiagramm/notationen-und-symbole/>,

abgerufen am 2024-02-12.

HAGENLOCHER, Stefan (2015):

Automatische Kupplungssysteme im Schienengüterverkehr – eine Übersicht,

[https://tis.ag/download/tis-uebersicht-kupplungssysteme-](https://tis.ag/download/tis-uebersicht-kupplungssysteme-pdf/?wpdmdl=620&refresh=65ec6934aba4f1709992244)

[pdf/?wpdmdl=620&refresh=65ec6934aba4f1709992244](https://tis.ag/download/tis-uebersicht-kupplungssysteme-pdf/?wpdmdl=620&refresh=65ec6934aba4f1709992244),

abgerufen am 2024-03-06.

IAC (=InterActiveCorp) (2024):

Cost Accounting: Definition and Types With Examples,

<https://www.investopedia.com/terms/c/cost-accounting.asp>,

abgerufen am 2024-03-11.

InLoox GmbH (2024):

Projektmanagement: Definitionen, Einführungen und Vorlagen -

Projektmanagement einfach erklärt,

<https://projektmanagement-definitionen.de/glossar/personalmanagement/>,

abgerufen am 2024-03-11.

IWI (=Institut für Wirtschaftsinformatik) (2020):

Systemgrenzen und Modellierung von Systemen,

[https://www.fhnw.ch/plattformen/iwi/2020/06/17/homeoffice-und-](https://www.fhnw.ch/plattformen/iwi/2020/06/17/homeoffice-und-onlinekonferenzen-4-9-2-3-2-7/)

[onlinekonferenzen-4-9-2-3-2-7/](https://www.fhnw.ch/plattformen/iwi/2020/06/17/homeoffice-und-onlinekonferenzen-4-9-2-3-2-7/),

abgerufen am 2024-03-13.

KANDORA, Romy (2024):

2.3.5 Prozessablauf erheben und dokumentieren,

https://www.orghandbuch.de/Webb/OHB/DE/OrganisationshandbuchNEU/2_Or

[ganisationsmanagement/2_3_Prozesse/2_3_5_Prozessablauf/prozessablauf-](https://www.orghandbuch.de/Webb/OHB/DE/OrganisationshandbuchNEU/2_Or)

[node.html](https://www.orghandbuch.de/Webb/OHB/DE/OrganisationshandbuchNEU/2_Or),

abgerufen am 2024-02-12.

linqi GmbH (2022):

Was ist Prozessdokumentation? Einfache Erklärung + Anleitung,
<https://www.linqi.de/de-DE/blog-prozessdokumentation.html>,
abgerufen am 2024-02-12.

REISCHKE, Martin (2022):

Schwieriger Umstieg beim Güterverkehr - Stau auf der Schiene,
<https://www.deutschlandfunkkultur.de/gueterverkehr-schiene-bahn-stau-100.html>,
abgerufen am 2024-03-03.

VDV (=Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V.) (2024):

Jetzt mehr bewegen - Dem Schienengüterverkehr Priorität geben,
<https://www.vdv.de/jetzt-mehr-bewegen-schienengueterverkehr.aspx>,
abgerufen am 2024-03-02.

Wrike Inc (2024):

Was ist ein Zeitplan im Projektmanagement?,
<https://www.wrike.com/de/project-management-guide/faq/was-ist-ein-zeitplan-im-projektmanagement/>,
abgerufen am 2024-03-11.

Workwise GmbH (2024):

Personalplanung: Definition, Aufgaben, Ziele und Excel-Vorlage [2024],
<https://hire.workwise.io/hr-praxis/organisationsentwicklung/personalplanung>,
abgerufen am 2024-03-11.

Interne Quellen:

DB Cargo AG (2024):

Fragen & Antworten zur Digitalen Automatischen Kupplung (DAK).

Montagebauanleitung für Hersteller 1.

Montagebauanleitung für Hersteller 2.

Montagebauanleitung für Hersteller 3.

Eigenständigkeitserklärung

Erklärung über die selbständige Bearbeitung von Hausarbeiten/Bachelor- und Masterarbeiten

Familienname(n), Vorname(n): Merz, Ba Quy

Matrikelnummer: 120089510

Ich, versichere hiermit, dass ich die Prüfung selbständig und nur unter Verwendung der erlaubten Hilfsmittel bearbeitet habe bzw. bearbeiten werde. Insbesondere versichere ich, keine Hilfe anderer Personen bei der Anfertigung in Anspruch genommen zu haben. Wurden Teilen der Prüfung mit Unterstützung von künstlicher Intelligenz erstellt, habe ich diese entsprechend gekennzeichnet.

Mir ist bekannt, dass eine unwahre Erklärung rechtliche Folgen hat und insbesondere dazu führen kann, dass die Prüfung als nicht bestanden bewertet wird. Darüber hinaus ist mir bekannt, dass ich im Wiederholungsfalle oder in schwerwiegenden Fällen von der Erbringung von weiteren Prüfungsleistungen ausgeschlossen werden kann (§ 20 RPO).

Erfurt, den 19.03.2024

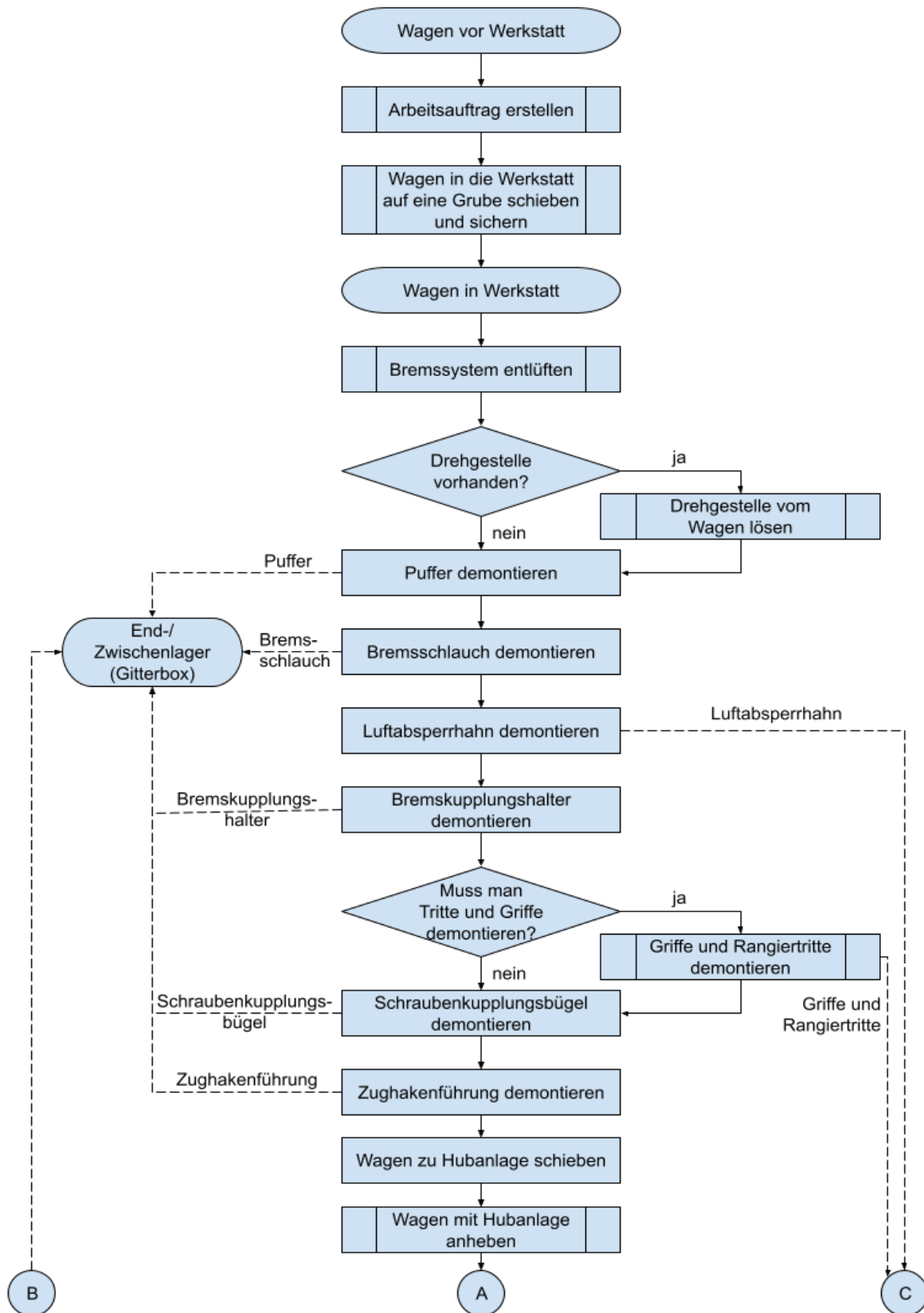
Ort, Datum

Unterschrift

Anhang

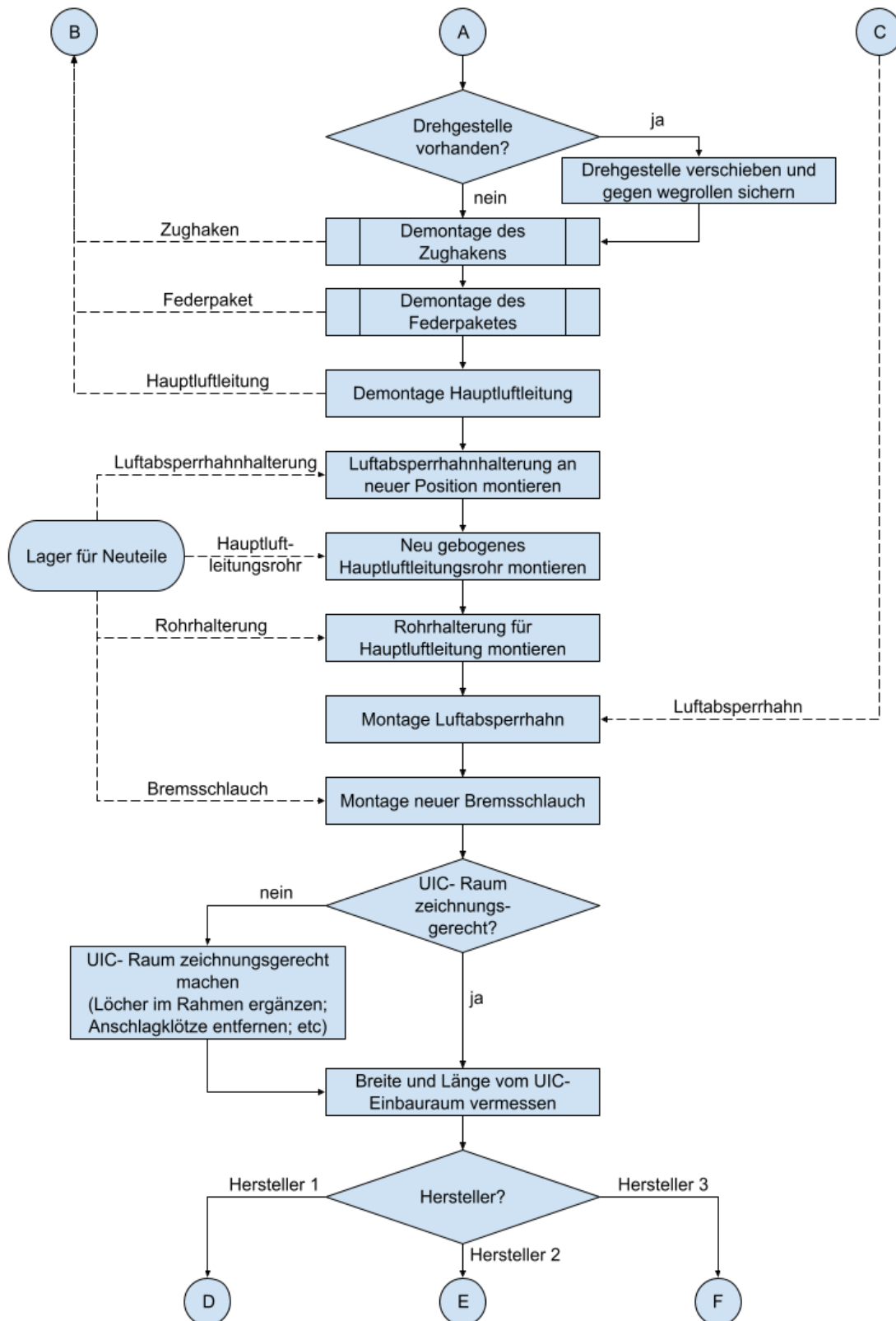
Anhang 1: PAP Teil 1	ii
Anhang 2: PAP Teil 2	iii
Anhang 3: PAP Teil 3 - Hersteller 1	iv
Anhang 4: PAP Teil 4 - Hersteller 2	v
Anhang 5: PAP Teil 5 - Hersteller 3	vi
Anhang 6: PAP Teil 6	vii
Anhang 7: Nummerncode mit Arbeitsschritten	viii
Anhang 8: Übersichtliche Zusammenfassung der Ergebnisse	ix
Anhang 9: Vergleich aller Versuche	x

Anhang 1: PAP Teil 1

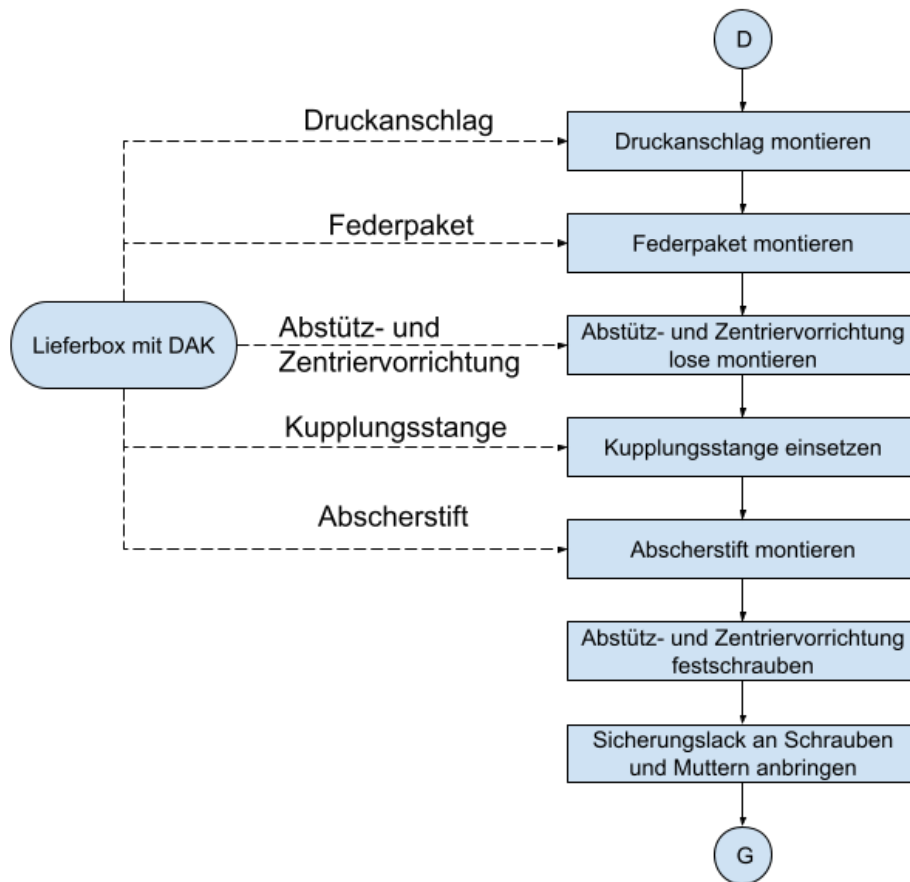


Anhang 1: PAP Teil 1
Eigene Darstellung

Anhang 2: PAP Teil 2

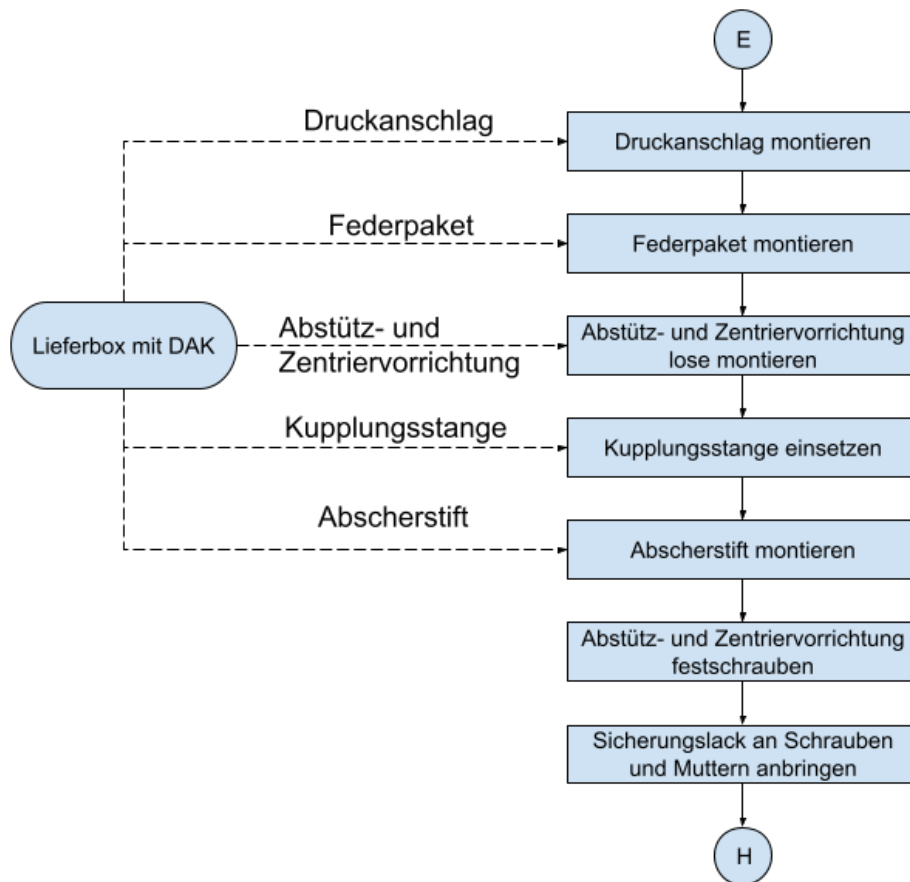


Anhang 3: PAP Teil 3 – Hersteller 1



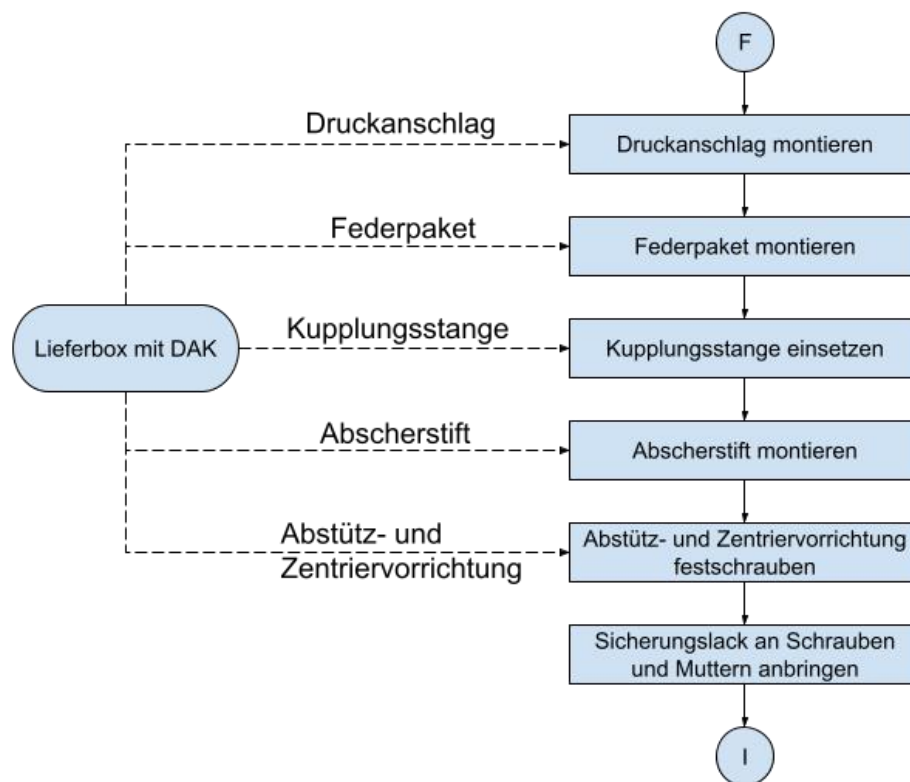
Anhang 3: PAP Teil 3 - Hersteller 1
Eigene Darstellung

Anhang 4: PAP Teil 4 – Hersteller 2



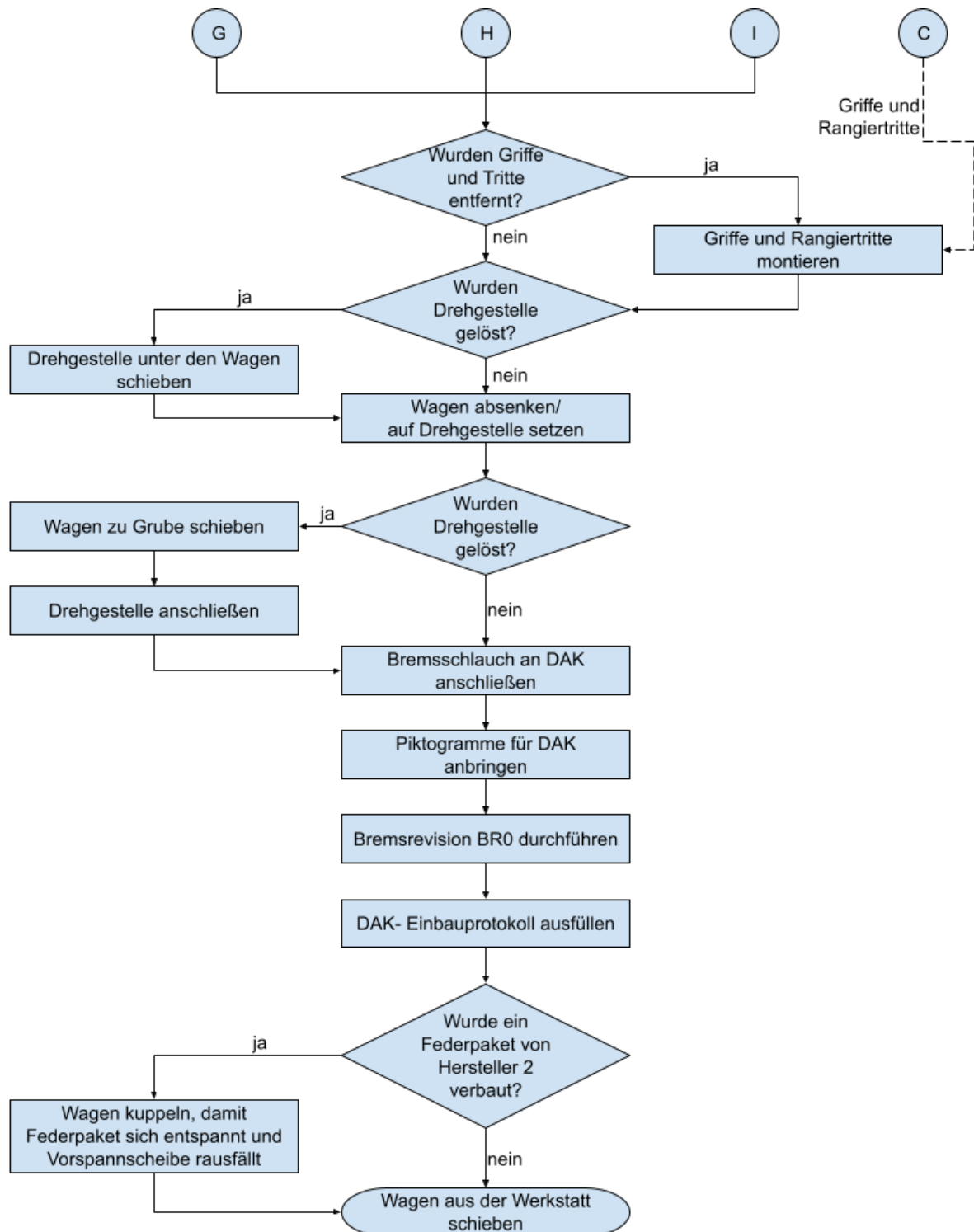
Anhang 4: PAP Teil 4 - Hersteller 2
Eigene Darstellung

Anhang 5: PAP Teil 4 – Hersteller 3



Anhang 5: PAP Teil 5 - Hersteller 3 Eigene Darstellung

Anhang 6: PAP Teil 6



Anhang 7: Nummerncode mit Arbeitsschritt

#	Tätigkeit
1.1	Wagen auf Grube schieben
1.2	Bremssystem entlüften
1.3	Drehgestelle lösen?
1.4	Puffer demontieren
1.5	Bremsschlauch demontieren
1.6	Luftabsperrhahn demontieren
1.7	Bremskupplungshalter demontieren
1.8	Tritte und Griffe demontieren
1.9	Zughakenleitplatte demontieren
1.10	Schraubenkupplung demontieren
1.11	Zughakenführung demontieren
1.12	Wagen zur Hubanlage schieben
1.13	Wagen mit Hubanlage anheben
1.14	Drehgestelle verschieben
1.15	Zughaken demontieren
1.16	Federpaket demontieren
1.17	Hauptluftleitung demontieren
1.18	Luftabsperrhahnhalterung montieren
1.19	Hauptluftleitung montieren

#	Tätigkeit
1.20	Hauptluftleitungshalterung montieren
1.21	Luftabsperrhahn montieren
1.22	Bremsschlauch montieren
2.1	UIC-Raum zeichnungsgerecht machen
2.2	Anschlagklötze entfernen
2.3	Löcher nachbohren
2.4	Breite UIC-Raum vermessen
3.1	Druckanschlag montieren
3.2	Federpaket montieren
3.3	Abstütz- und Zentriervorrichtung lose montieren
3.4	Kupplungsstange einsetzen
3.5	Abscherstift montieren
3.6	Abstützvorrichtung festschrauben
4.1	Druckanschlag montieren
4.2	Federpaket montieren
4.3	Abstütz- und Zentriervorrichtung lose montieren
4.4	Kupplungsstange einsetzen
4.5	Abscherstift montieren

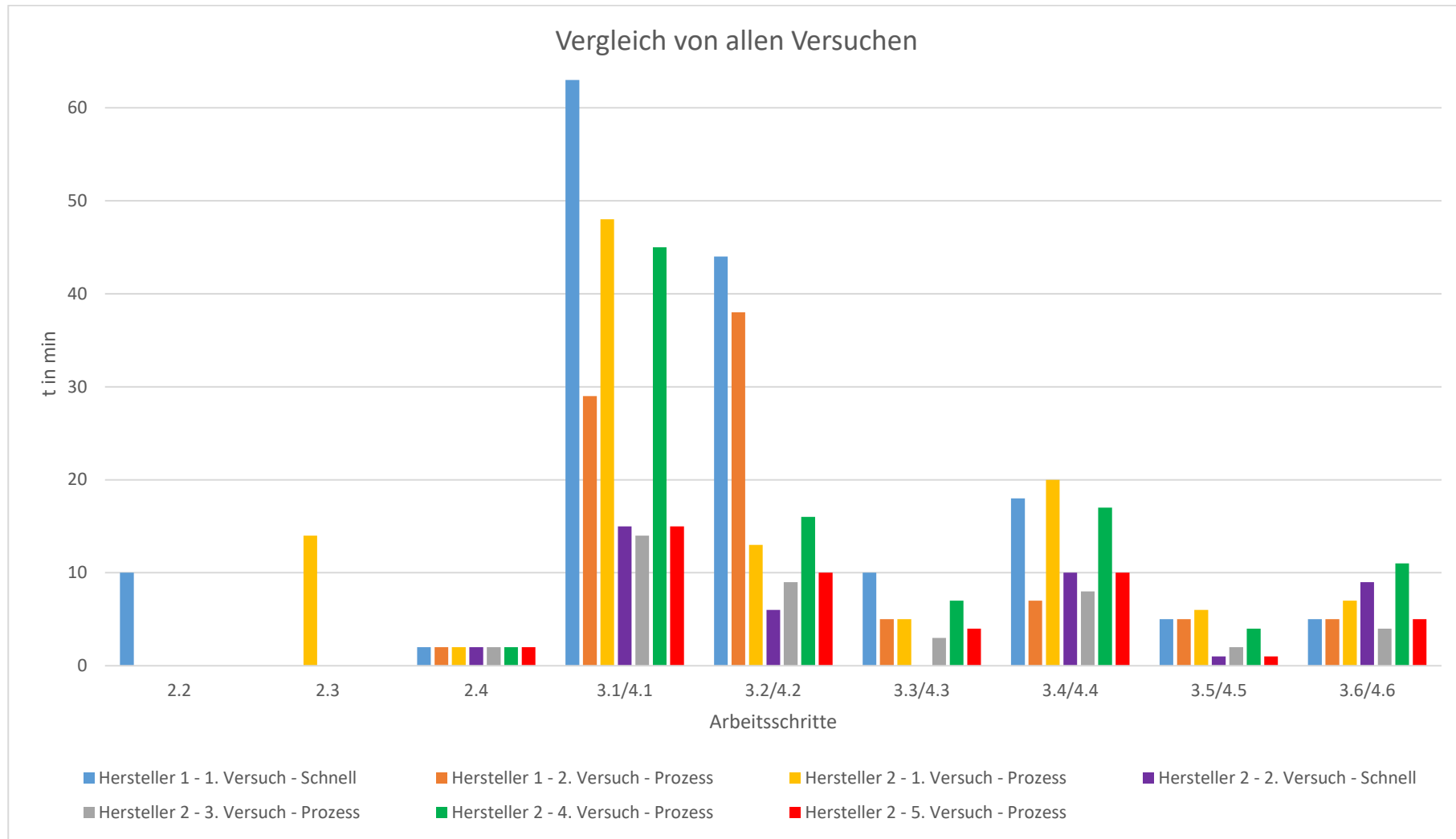
Anhang 7: Nummerncode mit Arbeitsschritten
Eigene Darstellung

Anhang 8: Übersicht der zusammengefassten Ergebnisse

Messdaten t in min								
Tätigkeit		1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	4. Versuch	5. Versuch	6. Versuch	7. Versuch
		Hersteller 1	Hersteller 1	Hersteller 2	Hersteller 2	Hersteller 2	Hersteller 2	Hersteller 2
		Schnell	Prozess	Prozess	Schnell	Prozess	Prozess - Ungelernt	Prozess - Ungelernt
1.1	Wagen auf Grube schieben							
1.2	Bremssystem entlüften							
1.3	Drehgestelle lösen?							
1.4	Puffer demontieren	6					17	
1.5	Bremsschlauch demontieren	1					1	
1.6	Luftabsperrhahn demontieren	3					8	
1.7	Bremskupplungshalter demontieren	2					1	
1.8	Tritte und Griffe demontieren							
1.9	Zughakenleitplatte demontieren	1					1	
1.10	Schraubenkupplung demontieren	2					1	
1.11	Zughakenführung demontieren	5					7	
1.12	Wagen zur Hubanlage schieben							
1.13	Wagen mit Hubanlage anheben	4					4	
1.14	Drehgestelle verschieben							
1.15	Zughaken demontieren	10					2	
1.16	Federpaket demontieren	8					8	
1.17	Hauptluftleitung demontieren	1					2	
1.18	Luftabsperrhahnhalterung montieren							
1.19	Hauptluftleitung montieren	10					6	
1.20	Hauptluftleitungshalterung montieren							
1.21	Luftabsperrhahn montieren	9					2	
1.22	Bremsschlauch montieren	6					1	
		68					61	
2.1	UIC- Raum zeichnungsgerecht machen							
2.2	Anschlagklötze entfernen	10						
2.3	Löcher nachbohren			14				
2.4	Breite UIC- Raum vermessen	2	2	2	2	2	2	2
3.1	Druckanschlag montieren	63	29					
3.2	Federpaket montieren	44	38					
3.3	Abstütz- und Zentriervorrichtung lose montieren	10	5					
3.4	Kupplungsstange einsetzen	18	7					
3.5	Abscherstift montieren	5	5					
3.6	Abstützvorrichtung festschrauben	5	5					
4.1	Druckanschlag einbauen			48	15	14	45	15
4.2	Federpaket montieren			13	6	9	16	10
4.3	Abstütz- und Zentriervorrichtung lose montieren			5		3	7	4
4.4	Kupplungsstange einsetzen			20	10	8	17	10
4.5	Abscherstift montieren			6	1	2	4	1
4.6	Abstützvorrichtung (und Halteplatten) festschrauben			7	9	4	11	5
Summe		157	91	115	43	42	102	47

Anhang 8: Übersichtliche Zusammenfassung der Ergebnisse Eigene Darstellung

Anhang 9: Vergleich aller Versuche



Anhang 9: Vergleich aller Versuche
Eigene Darstellung

Datenträgerverzeichnis

Dateiname	Inhalt	Bemerkung
PAP_ Prozessablaufplan	Teilabschnitte des PAPs und eine komplette Darstellung	Ordner
↳ PAP_komplett_BA.pdf	Komplette Darstellung des PAP	
PAP1.1.pdf	Erster Abschnitt vom PAP	
PAP1.2.pdf	Zweiter Abschnitt vom PAP	
PAP2.1_Hersteller_1.pdf	Dritter Abschnitt vom PAP mit dem Hersteller 1	
PAP3.1_Hersteller_2.pdf	Dritter Abschnitt vom PAP mit dem Hersteller 2	
PAP4.1_Hersteller_3.pdf	Dritter Abschnitt vom PAP mit dem Hersteller 3	
PAP5.1.pdf	Vierter Abschnitt vom PAP	
Einbauzeiten_BA.xlsx	Messergebnisse und Diagramme von den Umbauversuchen in Mannheim	
Bachelorarbeit_Merz.docx	Gesamte Thesis	
Bachelorarbeit_Merz.pdf	Gesamte Thesis	

