

Optimierung Montage Module

Diplomarbeit 2021

Maschinenbautechniker HF



Student:	Thomas Michel
Klasse:	B-TMA-18-T-a
Diplomlehrer:	Admir Softic
Betreuung:	Stefan Moor Head of International Assembly, Güdel
Expert:	Thomas Wich-Heiter

Vorwort

Den Abschluss der 3-jährigen Ausbildung zum Maschinenbautechniker HF bildet die Diplomarbeit. Im Rahmen der Diplomarbeit kann das erarbeitete Wissen von 6 Semestern an der TEKO Bern in Form eines praxisorientierten Projektes angewendet und getestet werden. Somit wird sichergestellt, dass der Student nach Abschluss der Ausbildung in der Lage ist, ein derartig praxisorientiertes Projekt selbständig zu erarbeiten und umzusetzen.

Während der bereits dreijährigen Anstellung in der Firma Güdel, konnten die verschiedenen Montageabteilungen der Firma erlebt werden und viele Eindrücke aufgenommen werden. Dabei machte sich die körperlich anstrengende Arbeit in der Güdel Module Montage schnell bemerkbar.

In einem Gespräch mit dem Abteilungsleiter Stefan Moor über die Arbeitsabläufe in der Montage entstand die Idee, die Montageabteilung mit gezielten Montagehilfen zu optimieren. Dadurch soll die Arbeitsergonomie des einzelnen Mitarbeiters verbessert und dieser somit entlastet werden.

Dadurch war schnell klar, dass die Optimierung der Güdel Module Montage für die Diplomarbeit ein interessantes Thema bietet und in sich ein grosses Potenzial trägt. Da für diese Optimierung zu Beginn eine Prozessanalyse sinnvoll ist und danach die detaillierte Ausarbeitung der Montagehilfe selbst auf dem Plan steht, bietet dieses Projekt sehr vielfältige Herausforderungen und war im Verlauf seiner Entstehung teilweise auch noch Neuland. Dies vor allem im Bereich der Prozessanalyse. Im Laufe des 2. Semesters an der TEKO Bern wurde dieses Fach unterrichtet und konnte nun erstmals in einem praxisorientierten Projekt umgesetzt und vertieft werden.

Die somit sehr entstandene vielseitige und interessante Arbeit wird in dieser Dokumentation aufgezeigt.

Inhaltsverzeichnis

1	Management Summary	6
1.1	Ausgangslage	6
1.2	Aufgabenstellung	6
1.3	Problematik	6
1.4	Ergebnis	6
2	Einleitung	7
2.1	Vorstellung des Diplomanden	7
2.2	Firmenportrait	8
2.2.1	Güdel AG	8
2.2.2	Produktpalette Laufschiene	9
2.2.3	Produktpalette TrackMotion	9
2.2.4	Aufbau der TrackMotion	10
3	Planen	11
3.1	Ausgangslage	11
3.2	Aufgabenstellung	11
3.2.1	Schiene-Stoss-Verbindung	11
3.2.2	Problematik Schiene-Stoss-Verbindungen	12
3.2.3	Schiene-Handling	12
3.2.4	Problematik Schiene-Handling	12
3.3	Begründung der Themenwahl	13
3.4	Abgrenzungen der Diplomarbeit	13
3.5	Projektstrukturplan	14
3.6	Projektrisikoprüfung	15
3.6.1	Risikomatrix nach Nohl	16
3.7	SWOT-Analyse	17
3.8	Zeitplan	18
3.9	Mind-Map	19
3.10	Anforderungsliste Prozessmodellierung	20
4	Konzipieren	21
4.1	Black-Box	21
4.2	Analyse bestehender Montageprozess	22
4.3	IST-Prozess darstellen (Erheben)	22
4.3.1	Visuelle Darstellung des IST-Montageprozesses	26
4.4	IST-Prozess analysieren und optimieren	27
4.4.1	Checkliste Ablauforganisation IST-Prozess	27
4.4.2	Schwachstellen identifizieren	28
4.5	SOLL-Prozess modellieren	31
4.6	SOLL-Modellierung Schwachstelle «Schiene-Handling»	32
4.6.1	Prozessmodellierung Ressourcenaufnahme	32

4.6.2	Prozessmodellierung einer modifizierten Arbeitsabfolge	33
4.6.3	Konstruktion neuer Montagehilfen	34
4.7	SOLL-Modellierung Schwachstelle «Schienenmaterial Umladen».....	35
4.7.1	Optimierung der Schnittstelle	35
4.7.2	Umladevorgang mit 2-Meter-Paletten.....	35
4.7.3	Umladevorgang ohne 2-Meter-Paletten.....	36
4.7.4	Bewertung der Beladesysteme.....	39
4.8	SOLL-Modellierung als visuelle Darstellung	39
4.8.1	SOLL-Modellierung mit Rüstvorgang.....	40
4.8.2	SOLL-Modellierung ohne Rüstvorgang.....	41
4.9	Arbeitsvorschriften für Montage.....	42
4.9.1	Anheben von Lasten	42
4.9.2	Stoss- und Zugkraft für Transportwagenbewegung	46
4.9.3	Hand-Greifkraft.....	49
4.9.4	Belastungsgrenzen Stossverbinder	50
4.9.5	Belastungsgrenzen Transportwagen	50
4.10	Konzeptionierung Montagehilfen	50
4.11	Konzeptionierung Stossverbinder.....	50
4.11.1	Anforderungsliste Stossverbinder.....	51
4.11.2	Morphologischer Kasten Stossverbinder	53
4.11.3	Bewertung Morphologischer Kasten.....	54
4.11.4	Konzeptskizzen Schienenstossverbinder	56
4.11.5	Technische / Wirtschaftliche Bewertung der Konzeptskizzen Stossverbinder..	58
4.11.6	Konzeptentscheid.....	59
4.12	Konzeptionierung Transportwagen.....	60
4.12.1	Anforderungsliste Transportwagen.....	60
4.12.2	Morphologischer Kasten Transportwagen	62
4.12.3	Bewertung Morphologischer Kasten.....	63
4.12.4	Technische / Wirtschaftliche Bewertung der Konzeptskizzen Transportwagen	67
4.12.5	Konzeptentscheid.....	68
5	Konstruktionen / Berechnungen	69
5.1	Gestaltungsrichtlinien	69
5.2	Konstruktion Stossverbinder.....	69
5.2.1	Schienenstoss Abmessungen	69
5.2.2	Aufbau des Stossverbinders.....	70
5.3	Berechnung Stossverbinder	72
5.3.1	Zug-Test bei Schienenstossvarianten	72
5.3.2	Auslegung der Feder.....	73
5.3.3	Festigkeitsberechnungen Mechanik	76
5.4	Konstruktion Transportwagen.....	82

5.4.1	Grundkonstruktion Transportwagen	82
5.4.2	Mechanisch einstellbare Schienenhöhe	82
5.5	Berechnungen Transportwagen	83
5.5.1	Berechnung Schienenkamm	83
5.5.2	Berechnungen Fahrgestell	86
5.5.3	Berechnung Räderbelastung.....	88
5.5.4	Berechnung der Schiebekraft.....	89
5.5.5	Auswahl der Räder.....	90
5.5.6	Flächenpressung mechanische Höhenverstellung	91
6	Ausarbeiten	92
6.1	Ausarbeitung Schienenstossverbinder	92
6.1.1	Handgriff	92
6.1.2	Festgriff	92
6.1.3	Lagergriff.....	93
6.1.4	Anschlagbolzen.....	94
6.1.5	Zusammengestellte Baugruppe.....	94
6.1.6	Risikoanalyse Stossverbinder	96
6.2	Ausarbeitung Transportwagen	97
6.2.1	Handgriff	97
6.2.2	Fahrgestell des Transportwagens	97
6.2.3	Beladener Transportwagen	101
6.2.4	Risikoanalyse Transportwagen	102
6.2.5	Mechanisch verstellbare Schienenhöhe	103
6.2.6	Automatische verstellbare Schienenhöhe.....	104
6.3	Zielauswertung.....	106
6.4	Fazit.....	107
6.5	Weiteres Vorgehen.....	107
6.6	Selbstständigkeitserklärung:.....	108
7	Persönliche Reflexion der Diplomarbeit	109
7.1	Danksagungen	110
8	Quellenangaben, Hilfsmittel und Verzeichnisse	111
8.1	Quellen.....	111
8.1.1	Literatur.....	111
8.1.2	CAD-Daten.....	111
8.1.3	Bilder.....	112
8.2	Hilfsmittel	114
8.3	Abbildungsverzeichnis.....	115
8.4	Tabellenverzeichnis.....	117
9	Anhang.....	118

1 Management Summary

1.1 Ausgangslage

Im Anschluss an das 6. Semester in der Weiterbildung zum Maschinenbautechniker HF steht die Diplomarbeit an. Im Rahmen der ständigen Optimierungen der Montageprozesse in der Firma Güdel, wird in dieser Diplomarbeit ein Teil dieser Montageoptimierungen der Abteilung Module analysiert und mit gezielten Konzepten erweitert. Die Optimierungen beziehen sich dabei hauptsächlich auf die Arbeitsergonomie und sollen somit die Montage für die Monteure erleichtern.

1.2 Aufgabenstellung

In dieser Diplomarbeit sollen zwei neue Optimierungskonzepte ausgearbeitet werden. Das erste Optimierungskonzept bezieht sich auf den Prozess des Laufschiene-Verspannens. Ziel dieser Optimierung ist es, dass der Mitarbeiter den Furchapparat während des Verschraubens der Laufschiene mit beiden Händen bedienen kann und nicht noch simultan die Laufschiene fixieren muss. Durch diese Optimierung kann das Unfallrisiko weiter minimiert werden, da der Furchapparat während dem Anziehvorgang ein hohes Drehmoment erreicht.

Das zweite Optimierungskonzept dreht sich dagegen um das Handling der Laufschiene während der Montage. Es soll versucht werden, die Belastungen auf den Mitarbeiter beim Anheben der Schiene auf ein Minimum zu reduzieren.

1.3 Problematik

Aufgrund des bereits bestehenden Montagekonzepts in der Modul Montage muss stets beachtet werden, dass die neuen Optimierungskonzepte mit den vorherigen Abläufen kombiniert werden können. Dabei müssen teilweise Arbeitsabläufe reformiert werden und allenfalls Arbeitsplätze oder Lagerorte umgebaut werden. Die Schwierigkeit besteht dabei darin, die alten mit den neuen Prozessen zu verbinden im Gesamten zu optimieren, sodass nicht die ganze Abteilung von Grund auf neu aufgebaut werden muss. Ansonsten könnte dies während der Übergangszeit zu einem stockenden Montageprozess führen, was sicherlich nicht erwünscht ist. Deshalb wird vor allem beim neuen Konzept des Laufschiene-Handlings darauf geachtet, dass die durch die momentan bestehenden Arbeitsabläufe gewährleistete Ergonomie durch gezielte Montagehilfen noch weiter verbessert werden kann.

Die Effizienz der bestehenden Prozesse soll somit durch die Montagehilfen so wenig wie möglich beeinträchtigt und die Kapazität der Montage nicht herabgesetzt werden.

1.4 Ergebnis

Die Ausarbeitung einer ersten eigenen Prozessanalyse hielt einige Herausforderungen bereit. Mithilfe geeigneter vertiefender Fachliteratur konnte die Prozessanalyse jedoch realisiert und in einem IST-Prozess dargestellt werden. Auch das Erstellen der nachfolgenden SOLL-Prozesse war mit der entsprechenden Fachliteratur durchführbar, woraufhin die anschliessende SOLL-Prozess Darstellung angefertigt werden konnte. Die auf den Ergebnissen der Prozessanalyse basierenden Montagehilfen konnten in Bezug auf ihre Funktionen und Festigkeit berechnet und im Anschluss mithilfe des CAD-Programms ausgearbeitet werden. Schliesslich entstand eine gelungene Arbeit, die eine optimierte Arbeitsabfolge in Bezug auf die Ressourcenanwendung visualisiert und auch eine reduzierte Durchlaufzeiten der einzelnen Montagewerkzeuge präsentiert. Auch hinsichtlich Ergonomie und Sicherheit glänzten die neuen Montagehilfen. Lediglich die Höhenverstellung des Transportwagens konnte noch nicht komplett ausgearbeitet werden, was allerdings bei einer Umsetzung des Konzeptes noch in Angriff genommen wird.

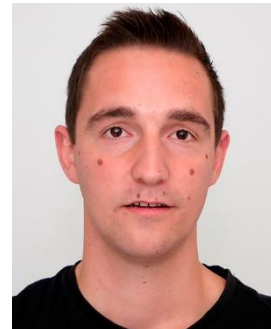
2 Einleitung

2.1 Vorstellung des Diplomanden

Personalien

Vorname: Thomas
Name: Michel
Adresse: Harzacher 53F, 4955 Gondiswil

Telefon 077 409 52 45
E-Mail thomas.michel@besonet.ch



Hobby

Velofahren, Modellfliegen, Ski fahren

Ausbildung

2012-2016 Automatiker bei der Firma W. Althaus AG

Weiterbildungen

Seit Oktober 2018 Techniker HF Maschinenbau an der TEKO Bern.

Beruflicher Werdegang

2012-2016 Berufsausbildung bei der Firma Althaus, Aarwangen
2017-2018 WS Automation AG; Sursee
Seit Oktober 2018 Montagemitarbeiter bei der Güdel AG in Langenthal.

2.2 Firmenportrait

2.2.1 Güdel AG

Die Firma Güdel wurde 1954 durch Alfred Güdel in Langenthal als Kleinbetrieb im Bereich der Antriebstechnik gegründet. Nach Übergabe des Betriebs 1979 an seinen Sohn Rudolf Güdel entwickelte sich die Güdel AG Schritt für Schritt zu einem global tätigen Unternehmen, welches in mehreren Ländern auf der Welt vertreten ist. Auch das Werk in Langenthal wurde stetig ausgebaut und beschäftigt mittlerweile ca. 500 Mitarbeitern in drei unterschiedlichen Gebäuden.

Die Güdel Group ist mittlerweile eine der weltweit führenden Firmen im Bereich der Transferrobotik. Dabei sind die Produkte der Güdel AG für verschiedensten Branchen wie z.B. Luft- und Raumfahrttechnik, Medizinaltechnik, Logistiksystemen und vor allem auch für die Automobilindustrie ausgelegt.

Das Produktportfolio reicht von Einzelkomponenten wie Rollen- oder Schienenmaterial für Transportaufgaben bis hin zur komplexen vollautomatisierten Produktionsstrasse für den Press-to-Press Transfer in einer Autoindustrie.

Zudem werden auch Gesamtlösungen erarbeitet, welche Kundenprozesse effizienter gestalten und somit eine Produktionssteigerung im Bereich des Materialhandlings erreichen.



Abbildung 1: Güdel Firmensitz in Langenthal

2.2.2 Produktpalette Laufschienen

Ein wichtiges Standbein der Güdel Group bildet die Laufschienerzeugung in Langenthal. Die Laufschiener können bei Güdel als komplettes Linearführungssystem mit dazugehörigen Laufrolleneinheiten bezogen werden. Damit lassen sich auch schwere Lasten präzise bewegen.

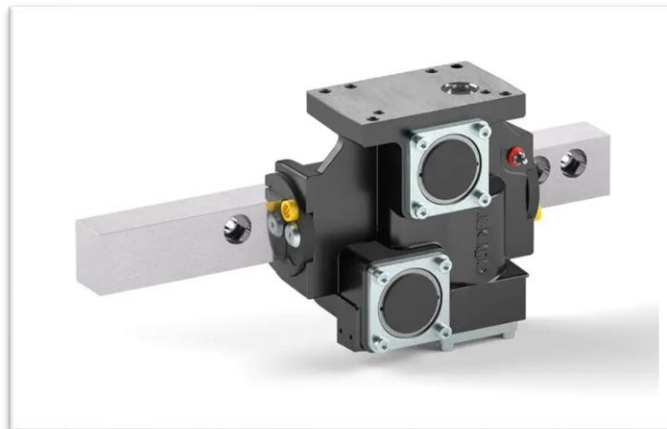


Abbildung 2: Laufschiene mit Rollenbock

Im Bereich der Laufschienerzeugung sind drei Baugrößen standardisiert, welche aber auf Kundenwunsch beispielsweise durch spezielle Beschichtungen auch individualisiert werden können.

Nachfolgend finden Sie die zwei am häufigsten genutzten Standardschiener mit ihren wichtigsten technischen Eigenschaften.

Laufschienervarianten					
Baugröße	Befestigung	Länge	Breite	Höhe	Gewicht
S2937	M10	2000 mm	29 mm	37 mm	16 kg
S3547	M12	2000 mm	34.6 mm	46.6 mm	23.9 kg

Tabelle 1: Laufschienervarianten Güdel AG

2.2.3 Produktpalette TrackMotion

Ein TrackMotion ist ein Komplettsystem, welches von Güdel angeboten wird um schwere Lasten in einer definierten Achse zu verschieben. Wiederum stehen verschiedene Baugrößen zur Verfügung, welche bei Lasten bis 14'000 Newton funktionieren. Das Haupteinsatzgebiet der Güdel TrackMotion liegt in der Automobilindustrie. Diese verwendet die TrackMotion in Verbindung mit einem grossen Roboterarm, um Fahrzeugchassis während der Produktion zu transportieren und somit einen reibungslosen Ablauf der Produktionsstrassen sicherzustellen.



Abbildung 3: Güdel TrackMotion

2.2.4 Aufbau der TrackMotion

Die TrackMotion besitzen auf beiden Seiten eine Laufschiene, auf welcher die Plattform mithilfe von Rollenböcken verfahren kann. Eine der beiden Laufschiene wird zusätzlich auf der Gegenseite mit einer Zahnstange ergänzt, damit das TrackMotion mithilfe eines Winkel- oder Planetengetriebes die Vor- und Rückwärtsbewegungen ausführen kann. Im Anschluss sehen Sie die einzelnen Komponenten in einer Graphik.



Abbildung 4: Komponentendarstellung TrackMotion

Auf der Seite mit der isolierten Laufschiene, wird diese mit Furchschrauben befestigt. Auf der anderen Seite werden Laufschiene plus die Zahnstange mit M8-, M10- oder M12-Schrauben befestigt. Für diesen Zweck besitzt die Zahnstange auf ihrer Rückseite in gleichmäßigen Abständen Gewinde, mit welcher sie mittels Durchgangsbohrungen im TrackMotion befestigt werden. Durch diese Art der Montage muss am TrackMotion-Grundrahmen kein Gewinde geschnitten werden, was die Durchlaufzeit der Fertigungsmaschinen senkt und eine höhere Produktion ermöglicht.

3 Planen

3.1 Ausgangslage

Nach Abschluss des 6. Semesters zum Maschinenbautechniker HF, wird die Durchführung einer Diplomarbeit verlangt. Dabei wird während einem Zeitintervall von 6 Wochen ein gesamtes Projekt, beispielsweise eine spezifische Aufgabe aus dem Betrieb, realisiert. Im Rahmen der Diplomarbeit werden alle Fähigkeiten, welche in den letzten 6 Semestern an der HF gelehrt wurden, angewendet und überprüft. Während der Projektarbeit wird jeder Student von einem Diplomlehrer unterstützt, welcher bei Unklarheiten als Ansprechperson fungiert. Ebenfalls führt der Diplomlehrer Zwischengespräche während der Diplomarbeit durch. Zusätzlich kann z.B. ein Vorgesetzter aus dem eigenen Betrieb als Betreuungsperson für allfällige interne Fragen miteinbezogen werden.

3.2 Aufgabenstellung

Für die Realisierung der Diplomarbeit wird die Arbeit in zwei Teilziele aufgeteilt. Beide Teilziele ergeben summiert eine Optimierung in der Montage der Güdel Modulmontage, mit welcher mehr Sicherheit und eine verbesserte Arbeitsergonomie für den Mitarbeiter erreicht werden kann. Zudem soll vorgängig eine Prozessanalyse durchgeführt werden, um die Schwachstellen der jetzigen Arbeitsabläufe, i.e. des IST Prozesses, herauszufinden und gezielt zu verbessern.

3.2.1 Schienenstoss Verbindung

Durch das Anschrauben der einzelnen Laufschiene entstehen im Abstand von 2`000 mm sogenannte Schienenstösse. Die Schienen werden bei der Fertigung leicht angeschrägt, damit die Lauffläche der Schienen beim Schienenstoss einen optimalen Übergang bietet. Der Luftspalt zwischen den Laufschiene muss nach der Montage weniger als 0.02mm betragen, damit das Rollenmaterial in den Rollenböcken einen möglichst geringen Verschleiss aufweist und somit eine möglichst lange Lebensdauer hat. Damit diese wichtige Anforderung an den Schienenstoss erreicht wird, muss die zu befestigende Schiene während dem Montageprozess mithilfe eines Stemmeisen an die bereits fixierten Schienen herangepresst und anschliessend mit dem Furchapparat verschraubt werden.



Abbildung 5: Verspannung mit dem Stemmeisen

Aus diesem Grund kann der Furchapparat während diesem Arbeitsschritt meist nur mit einer Hand bedient werden, weil die andere Hand bekanntlich mit dem Stemmeisen beschäftigt ist. Der Furchapparat zieht die einzelnen Schrauben jedoch mit einem hohen Drehmoment an und übt dadurch eine grosse Rückstosskraft auf den Mitarbeiter aus. Daraus resultiert ein gesamter Arbeitsschritt mit einem erhöhten Risiko für Arbeitsunfälle vor allem betreffend Hand- und Schultergelenke.

Es wird in dieser Diplomarbeit daher nach einer Möglichkeit gesucht, die einzelnen Schienen mit einer Montagehilfe gegeneinander zu verspannen, damit der Mitarbeiter beide Hände für das Bedienen des Furchapparates zur Verfügung hat und somit das Unfallrisiko reduziert wird.

3.2.2 Problematik Schienenstoss-Verbindungen

Beim Teilprojekt Schienenstossverbinder soll ein besonderes Augenmerk auf die Bedienerfreundlichkeit gelegt werden. Die Montagehilfe muss einfach bedienbar sein und optimalerweise auf alle drei Laufschiengrößen anwendbar sein, damit nicht für jede einzelne Laufschiengröße eine eigene Montagehilfe hergestellt werden muss. Bei der Konstruktion ist zusätzlich darauf zu achten, dass die einzelnen Bauteile nicht zu weit vom TrackMotion abstehen, da die Platzverhältnisse in der Werkstatt begrenzt sind und derartig abstehende Komponenten wiederum die Verletzungsgefahr beim alltäglichen Arbeiten erhöhen.

3.2.3 Schienenhandling

In der Modulmontage werden für die TrackMotion-Herstellung massive Laufschiene verwendet, auf welchen später die bereits erwähnte Roboterplattform verfahren kann. Die einzelnen Schienenelemente besitzen eine maximale Länge von 2'000 mm und können ein Eigengewicht von bis zu 23.9 kg erreichen. Die Montage der Laufschiene wird mithilfe eines Furchapparates durchgeführt, welcher das Gewinde während dem Einschrauben direkt formt. Dies hat den Vorteil, dass kein Gewinde vorgängig in das TrackMotion geschnitten werden muss, was in der Fertigung in einer Zeiteinsparung resultiert.

Während der Montage muss jede Schiene einzeln an das TrackMotion herangetragen und an dasselbe mithilfe von Montagebolzen provisorisch befestigt werden, damit sie anschliessend mit dem Furchapparat fixiert werden können. Dieser Akt des Schienen-Tragens wird im Verlauf eines Arbeitstages zu einer grossen körperlichen Belastung für den Mitarbeiter. In der hier vorliegenden Diplomarbeit soll nun dieser spezifische Montageprozess angepasst und optimiert werden, sodass mit einem einfachen Hilfsmittel wie z.B. einem speziellen Montagewagen für Laufschiene die Arbeitsergonomie verbessert und der Mitarbeiter somit körperlich entlastet wird.



Abbildung 6: Montagebolzen

3.2.4 Problematik Schienenhandling

Die grosse Herausforderung des Teilprojekts Schienenhandling besteht darin, den bestehenden Montageprozess zu verbessern, ohne jedoch dessen Produktivität zu vermindern. Denn im Falle der Einführung einer hochkomplexen und aufwändigen Montagehilfe könnte zwar der einzelne Mitarbeiter entlastet werden, jedoch würde man möglicherweise ungewollt die Produktivität der Montageabteilung verringern woraufhin unnötige Mehrkosten anfallen. Daher liegt eine der grossen Herausforderungen darin, eine praktische Lösung zu erarbeiten, welche gleichzeitig aber nicht die Produktivität heruntersetzt.

Eine weitere Schwierigkeit ist es, die in manchen Fällen sehr begrenzten physischen Abstände zwischen den in der Montage stehenden TrackMotion's optimal zu nutzen. Es sollen dadurch die Laufwege verkürzt werden, was einerseits den Mitarbeiter entlastet und andererseits die Produktivität des Arbeitsprozesses steigert.

3.3 Begründung der Themenwahl

Durch meine eigene langjährige Mitarbeit in der Güdel Module Montage konnten einige Schwachstellen im Montageprozess und auch einige kritische Montageschritte festgestellt werden. Die Ausarbeitung eines Schienenstossverbinder und eines neuen Transportwagens, bei welchem die Mitarbeiter der Montage entlastet werden können, war bereits des Öfteren in der Montageabteilung diskutiert worden. Im Rahmen dieser Diplomarbeit bietet sich die Optimierung der Module Montage an, da sowohl zu Beginn die Analyse eines Prozesses durchgeführt werden kann, als im Anschluss auch die Gelegenheit besteht, zwei Montagehilfen mithilfe dem erlernten Wissen aus 6. Semester auszuarbeiten. Zudem wird ein Beitrag zur Sicherheit in der Montageabteilung geleistet und die Arbeitsbedingungen für die mitarbeitenden Monteure verbessert.

3.4 Abgrenzungen der Diplomarbeit

Die Erarbeitung des neuen Montageprozess erfolgt in theoretischer Ausarbeitung. Es wird entsprechend den eigenen Erfahrungen, welche in langjähriger Mitarbeit in der Montage gemacht wurden, der IST-Prozess dokumentiert. Anschliessend erfolgt eine Analyse dieses IST-Prozesses, bei welcher allfällige Schwachstellen des jetzigen Prozesses erkannt und diskutiert werden. Im Anschluss an die Analyse des IST-Prozesses wird nun ein SOLL-Prozess erstellt, welcher optimal auf die Montage zugeschnitten ist. Durch den SOLL-Prozess sollen mit neuen Montagehilfen gezielt die Problemzonen des IST-Prozesses umgangen werden. Nach Abschluss dieser Diplomarbeit stehen die Montagehilfen ausgearbeitet bereit, um von der Montageleitung freigegeben und realisiert werden zu können.

Die Schnittstellenproblematiken werden in der Dokumentation offengelegt und deren Verbesserungsmöglichkeiten beschrieben. Eine detaillierte Umsetzung dieser neuen Schnittstellen ist allerdings nicht Teil der Aufgabe und wird daher nicht behandelt. Falls eine Abteilung ausserhalb der Montage an der Schnittstelle beteiligt ist (z.B. die Logistik) wird in diesem Fall das Konzept für die Montage entworfen und lediglich eine mögliche Variante für die Logistik vorgeschlagen. Die durch die IST-Analyse entstandenen Montagehilfen werden von Grund auf neu konstruiert. Dabei wird in der Dokumentation der Diplomarbeit der gesamte Entwicklungsprozess dieser Montagehilfen exponiert. Dieser beinhaltet Konzeptkonstruktionen, Festigkeitsberechnungen und eine Ausarbeitung mithilfe des CAD-Programmes SolidWorks. Die Herstellung der Montagehilfen ist nicht Teil der Diplomarbeit, sondern wird erst nach Abschluss der Arbeit durch die Montageleitung in Auftrag gegeben.

3.5 Projektstrukturplan

Mithilfe des zu Beginn der Diplomarbeit erstellten Projektstrukturplans, wird der gesamte Projektablauf visuell dargestellt. Dadurch wird ein systematisches Vorgehen während der gesamten Diplomarbeit sichergestellt.

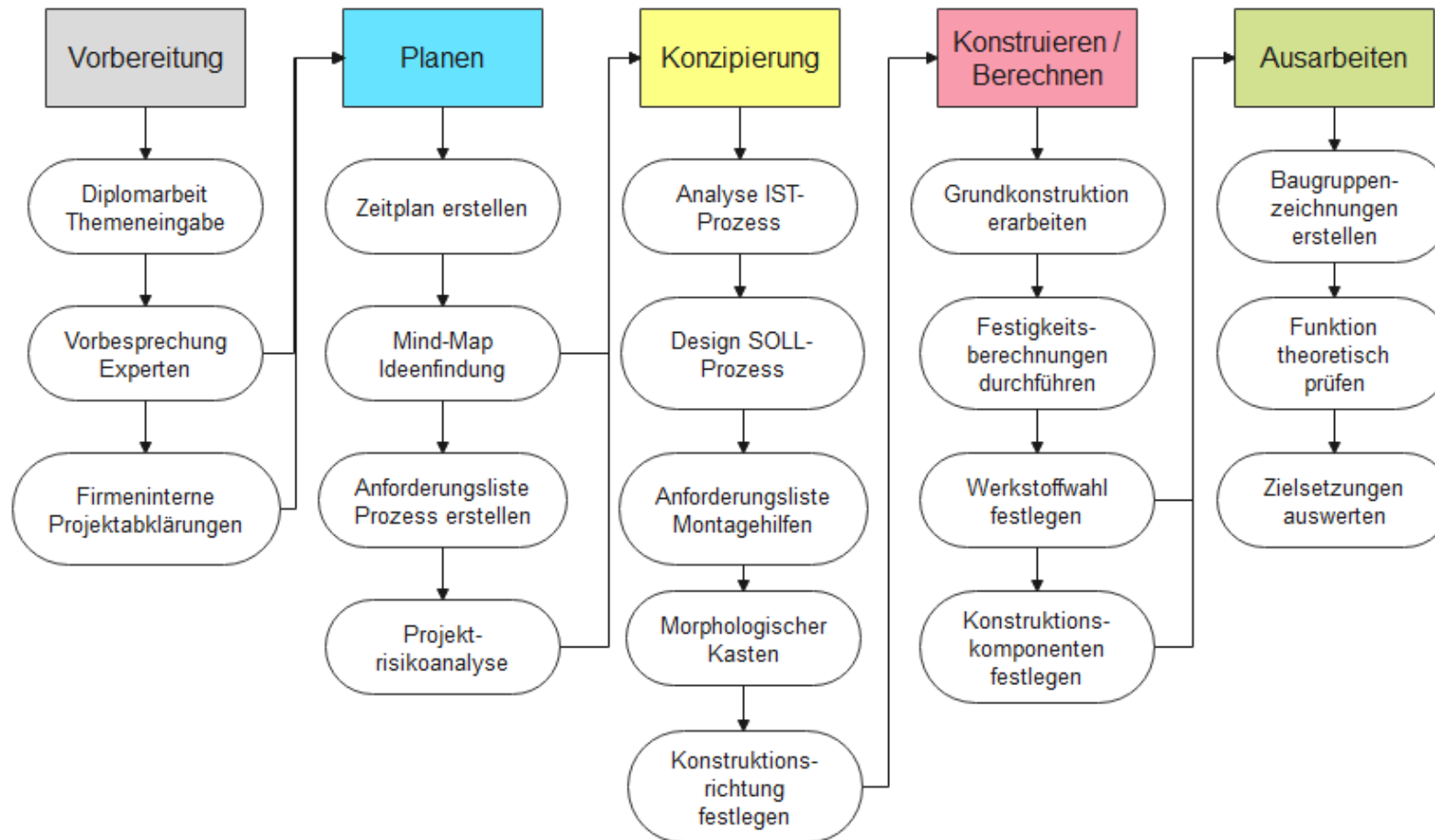


Abbildung 7: Projektstrukturplan

3.6 Projektrisikoaanalyse

Es wird eine Projektrisikoaanalyse durchgeführt, um mögliche Probleme, welche während der Diplomarbeit auftreten könnten, zu erfassen. Im gleichen Schritt werden für jedes einzelne Problem Massnahmen definiert, die die Problemstellung verhindern sollen.

Mit der Projektrisikoaanalyse wird sichergestellt, dass im Falle eines auftretenden Problems während der Realisierung des Projekts, sofort eine Lösung bereitsteht.

Legende:

E = Eintrittswahrscheinlichkeit:

0 – 0.25 = unvorstellbar
0.26 – 0.5 = unwahrscheinlich
0.51 – 0.75 = gelegentlich
0.76 – 1 = häufig

S = Schadensausmass:

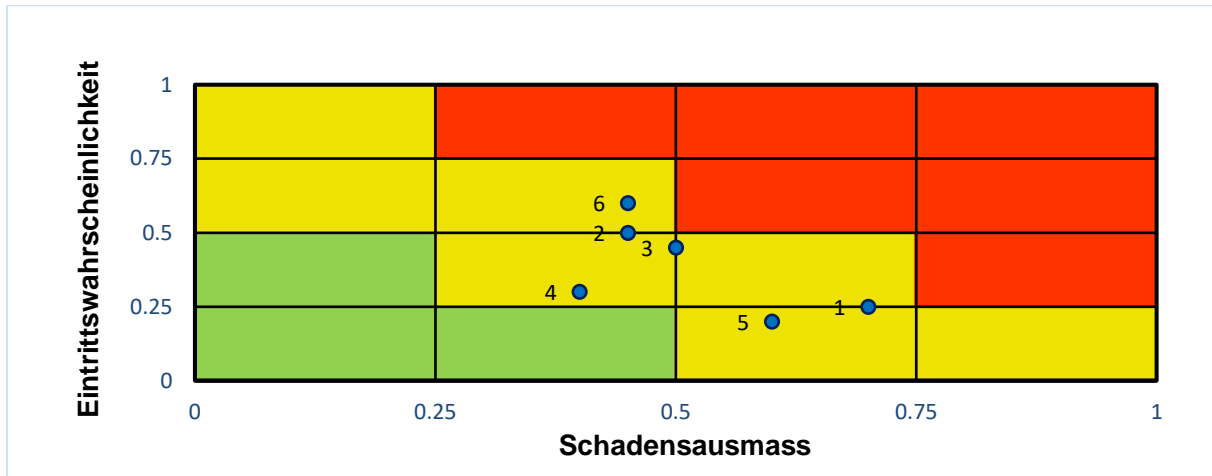
0 – 0.25 = gering
0.26 – 0.5 = ernst
0.51 – 0.75 = kritisch
0.76 – 1 = katastrophal

Nr.	Risiken	E	S	Massnahmen
1	Maschinenausfall	0.25	0.7	- Vorgängig alle benötigten Hilfsmittel auf Verfügbarkeit prüfen - Verfügbarkeit von Reserve-Maschinen absichern
2	Planungsprobleme	0.5	0.45	- Reservetage einplanen - Ist- und Soll-Zustand stets nachtragen und analysieren (Terminplan einhalten)
3	Krankheit, Unfall	0.45	0.5	- Genügend Reservezeit einplanen, damit allfällige Arbeitsausfälle kompensiert werden könnten.
4	Konstruktionsfehler	0.3	0.4	- Möglichst frühzeitig erkennen, und in entsprechender Abteilung Abklärungen vornehmen
5	Softwareprobleme (z.B. CAD, Word, usw...)	0.2	0.6	- Support der jeweiligen Zuständigkeiten informieren
6	Materiallieferung kommt nicht planmässig an	0.6	0.45	- Stets mehrere Lieferanten anfragen und von ihnen bestätigen lassen

Tabelle 2: Projektrisikoaanalyse

3.6.1 Risikomatrix nach Nohl

Anhand der bewerteten Risiken ergibt sich diese Graphik, die den Risikobereich jedes einzelnen Kriteriums umreisst.



Rote Zone: Dieses Risiko ist nicht tragbar und muss mit den entsprechenden Massnahmen eliminiert werden.

Gelbe Zone: Das mittlere Risiko entsteht bei jedem Prototypenbau. Es soll mit Massnahmen verringert werden und jederzeit im Auge behalten werden.

Grüne Zone: Beim Risiko im grünen Bereich muss keine weitere Massnahme getroffen werden. Es sollte aber trotzdem jederzeit im Auge behalten werden.

Die meisten der Kriterien befinden sich im gelben Risikobereich. Das Eintreffen des Risikos ist mit mittel gewichtet. Wichtig ist, dass sich kein Kriterium betreffend Risiko im roten Bereich befindet.

3.7 SWOT-Analyse

Anhand der SWOT-Analyse können die Stärken und Schwächen sowie die Chancen und Risiken eines Projektes analysiert werden. Mithilfe des Diagramms am Ende dieses Abschnitts können diese vier Faktoren aufgezeigt werden und deren Unterpunkte aufgelistet werden. Es entsteht somit ein Überblick über die Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken, welche das Projekt birgt.

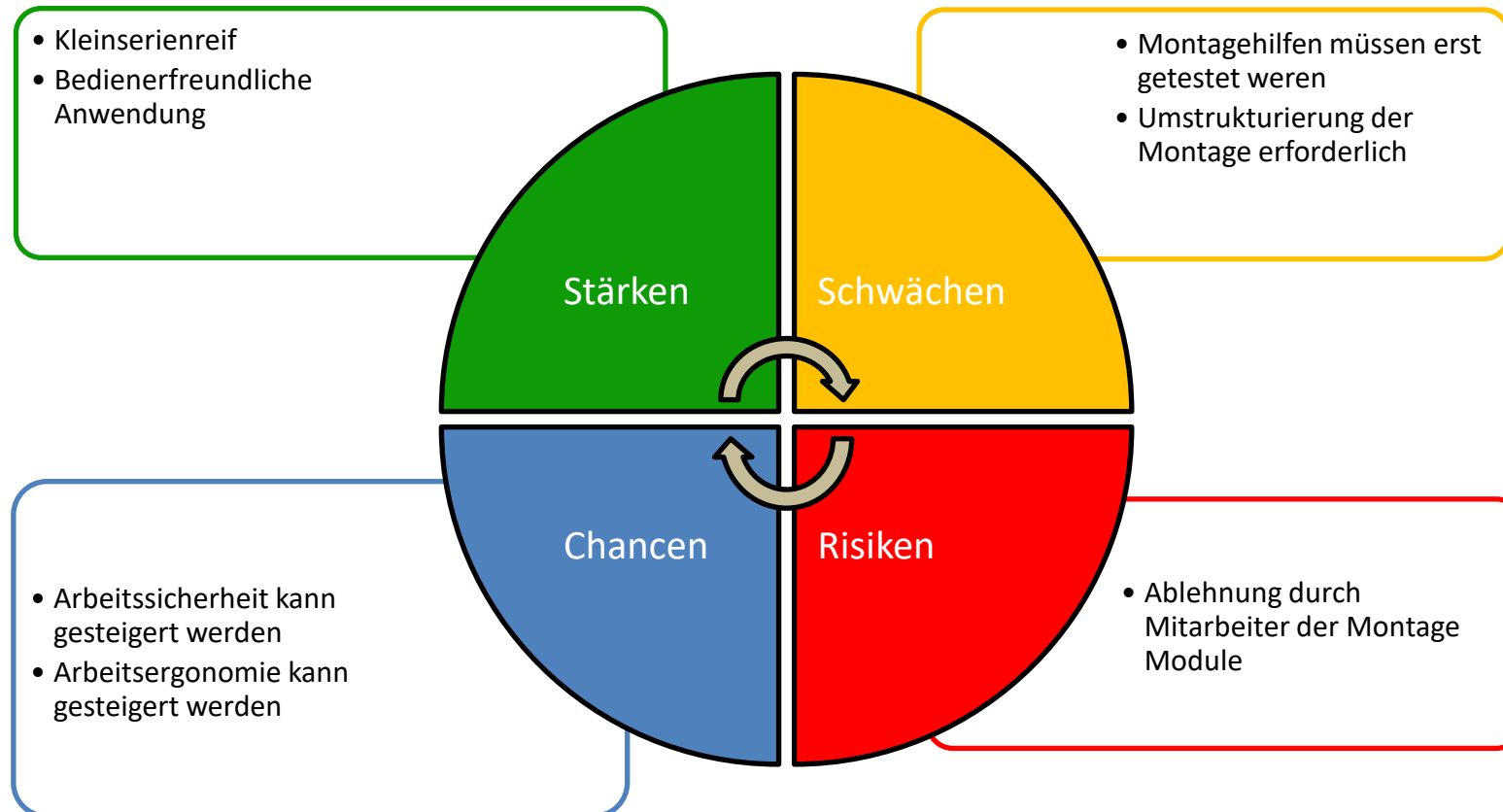


Abbildung 8: SWOT-Analyse

3.9 Mind-Map

Um möglichst vielseitige Ideen zu sammeln, wurde zu Beginn der Diplomarbeit ein Mind-Map angefertigt. Dabei ging es darum, ein möglichst breites Spektrum an Ideen aufzugreifen, aus welchen anschliessend ein Thema konkretisiert werden kann.

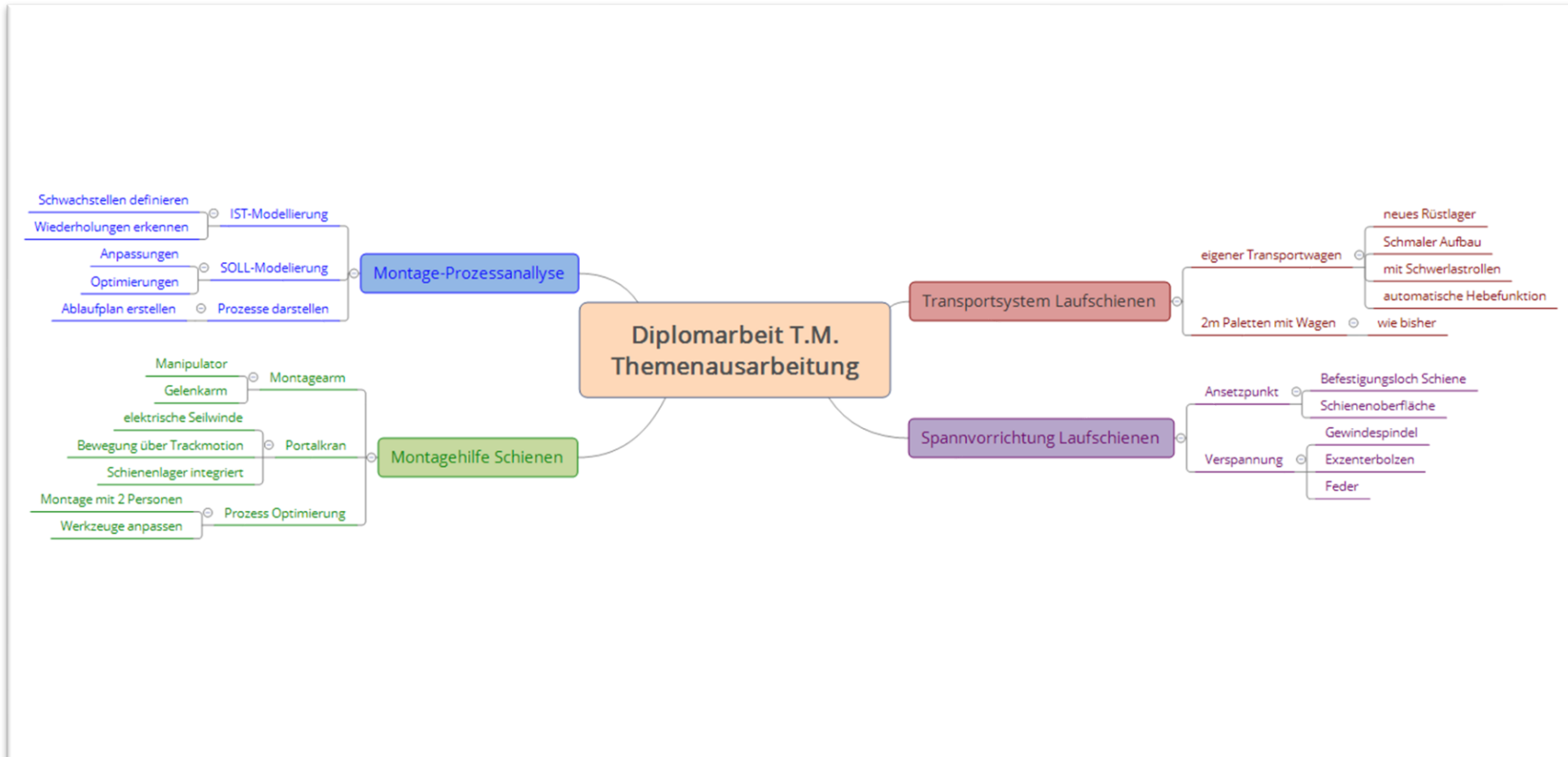


Abbildung 9: Mind-Map Themenausarbeitung

3.10 Anforderungsliste Prozessmodellierung

Um eine neue Prozessmodellierung vorzunehmen, wird zu Beginn eine entsprechende Anforderungsliste angefertigt. Diese zeigt auf, welche Ziele zwingend zu erfüllen sind und bei welchen Zielen deren Realisierung lediglich wünschenswert ist.

Nr.	Anforderung	Forderung	Wunsch	Werte und Daten
0	Funktion: Mithilfe der Projektentwicklung sollen Schwachstellen im bestehenden Prozess erkannt werden und durch gezielte Massnahmen verbessert werden.			
1	Darstellung			
1.1	Visuelle Darstellung mithilfe eines Ablaufplanes	x		
1.2	IST-Modellierung	x		
1.3	SOLL-Modellierung	x		
2	Verbesserungen			
2.1	Steigerung der Ergonomie für den Mitarbeiter	x		Ausarbeitung Montagehilfen
2.2	Steigerung der Produktivität		x	
2.3	Steigerung der Arbeitssicherheit am Arbeitsplatz	x		
3	Dokumentation			
3.1	IST-, SOLL-Prozessvergleich	x		
3.2	Mehrere SOLL-Montageprozesse		x	

Tabelle 3: Anforderungsliste Prozessmodellierung

4 Konzipieren

4.1 Black-Box

Anhand der Black-Box wird die methodische Darstellung des Montageprozesses in die drei Grundgrössen Energie, Stoff und Information aufgeteilt.

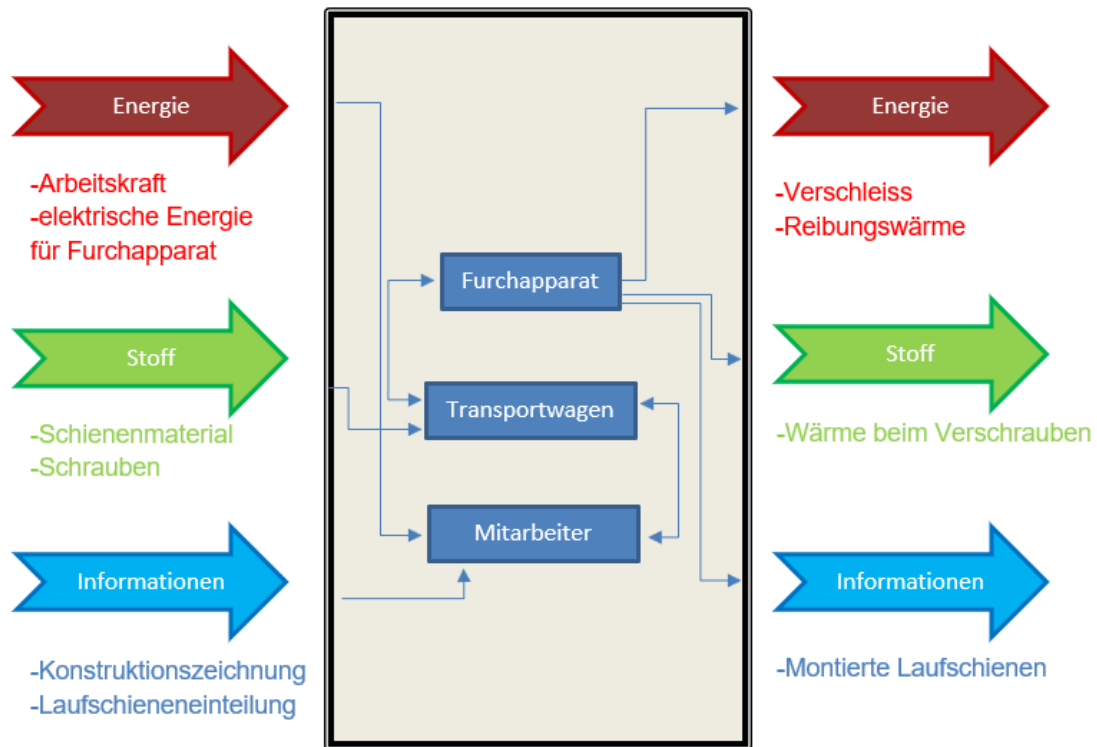


Abbildung 10: Black-Box

4.2 Analyse bestehender Montageprozess

Um eine Verbesserung des bestehenden Montageprozesses der Güdel Module Montage zu erwirken, muss in einem ersten Schritt der bestehende Prozess analysiert werden. Erst dann kann eine gezielte Anpassung in den Prozessabfolgen vorgenommen werden. Die Prozessentwicklung wird in die Arbeitsschritte Erheben, Analysieren, Modellieren und Bewerten unterteilt. Die Prozessanalyse wird nach der Fachliteratur «Organisation und Projektmanagement» des Verlags Compendio Bildungsmedien durchgeführt. Die nachfolgende Abbildung beschreibt visuell diese Prozessentwicklung.

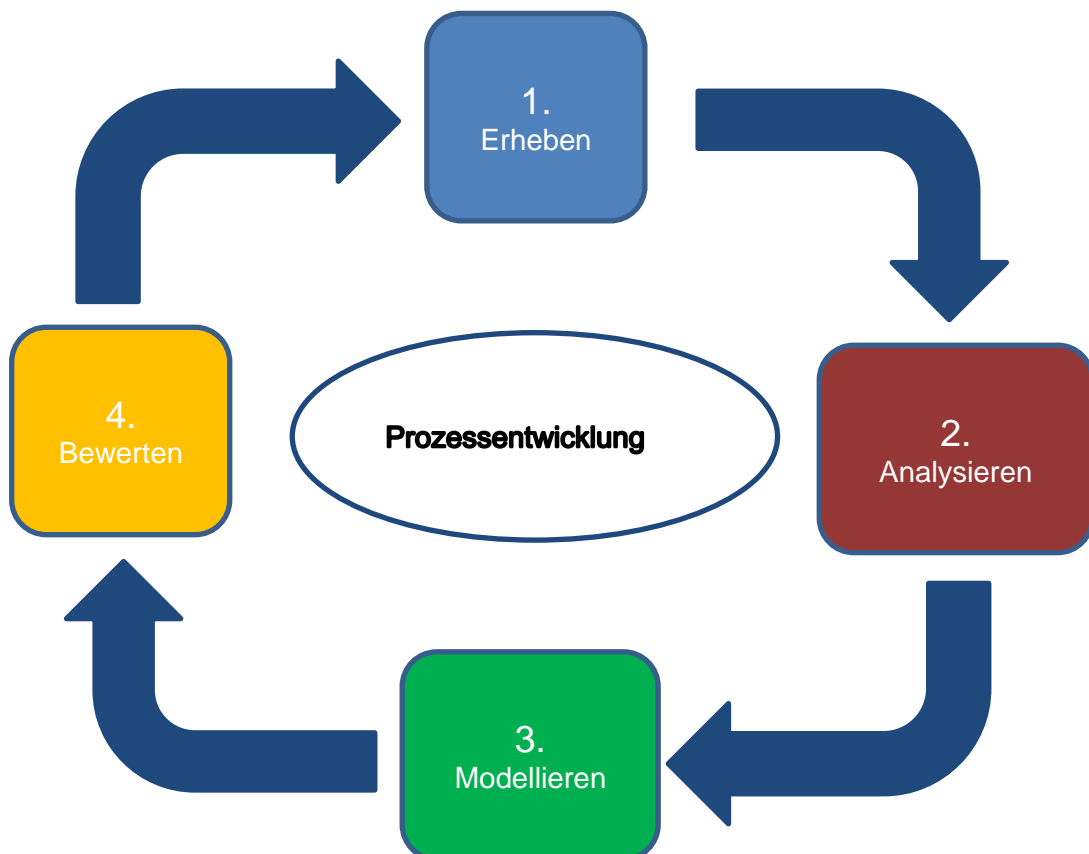


Abbildung 11: Ablauf Prozessentwicklung

4.3 IST-Prozess darstellen (Erheben)

In den Schritten 1. Erheben und 2. Analysieren wird der bestehende Prozess zuerst mithilfe einer Prozessabfolge modelliert und anschliessend einer Analyse und einer Bewertung unterzogen. Dadurch sollen die Schwächen erkannt und mit mehreren Lösungsansätzen eine Optimierung angestrebt werden. Nachfolgend werden die einzelnen Teilschritte des Montageprozesses vorgestellt und anschliessend mithilfe eines Prozessabbildes wiederum visuell dargestellt.

Erfassungsformular IST-Erhebung

Prozessaufnahme	
Prozessname:	Optimierung Güdel Module Montage
Zielsetzung:	Ergonomischere Arbeitsabläufe für die Mitarbeiter in Bezug auf das Handling der Laufschiene.
Input:	- Laufschiene - Schraubenmaterial
Output:	Montierte Laufschiene am TrackMotion
Prozess-Schnittstellen:	<u>Logistik-Abteilung</u> → <u>Montage-Abteilung</u> Übergabe des Laufschiene Materials für die anschließende Montage durch den Monteur.
Ressourcen:	- Knowhow Mitarbeiter - Arbeitsaufträge - Montagemittel
Prozessverantwortlicher:	Thomas Michel
Kunde des Prozesses:	Stefan Moor
Kundenerwartung:	Verbessertes Handling der Laufschiene während dem Montageprozess. Eine Montagehilfe, welche das Zusammenziehen der Schienenstösse übernimmt und für mehr Sicherheit während der Arbeit sorgt.
Erfolgsfaktoren:	- Der einzelne Mitarbeiter wird durch eine Optimierung des Montageprozesses und eine neu integrierte Montagehilfe während der Schienenmontage entlastet. - Die Schienenstösse können mittels Montagehilfe zusammengezogen werden, wodurch der Mitarbeiter infolgedessen beide Hände frei hat für das Bedienen des Furchapparates.

Tabelle 4: Prozessaufnahme

Anlieferung des Schienenmaterials

Die Anlieferung des Schienenmaterials für die TrackMotion Montage erfolgt durch die interne Logistik. Dabei werden die 2'000 mm langen Laufschiene auf einer Palette für jedes Projekt vorgerüstet und in der Montagehalle in einem Hochregallager eingelagert, bis das Projekt in der Montage startet. Dafür wird die Palette nach dem Beladen mit dem Hubstapler von der Logistikabteilung in die Montagehalle gefahren und magaziniert.



Abbildung 12: Geliefertes Schienenmaterial

Transport des Schienenmaterials

Für den Transport der Laufschiene steht ein fahrbarer Montagewagen bereit, welcher mithilfe eines Hubstaplers beladen werden kann. Dabei wird das gerüstete Schienenmaterial aus dem Hochregalsystem herausgenommen und auf dem fahrbaren Montagewagen deponiert. Anschliessend wird der Montagewagen mit den Laufschiene per Muskelkraft des Mitarbeiters zum Montageplatz gebracht, an welchem anschliessend die eigentliche Montage beginnt.



Abbildung 13: Laufschiene auf Transportwagen

Montage der Laufschiene

Bevor die Laufschiene an das TrackMotion angebracht werden können, muss der Grundrahmen des TrackMotion's vorbereitet werden. Die vorgefrästen Nuten werden für die Laufschiene mit einem Abziehstein bereinigt und anschliessend mit einem Tuch gereinigt. Nachdem der Grundrahmen vorbereitet ist, werden die Laufschiene ebenfalls auf der Kontaktseite zum TrackMotion Grundrahmen mit einem Abziehstein bearbeitet und anschliessend gereinigt, um ein optimales Anliegen der Schiene an den Grundrahmen zu gewährleisten. Auch die Kontaktstellen der einzelnen Schiene untereinander müssen mit einem Abziehstein bearbeitet werden, damit eine optimale Passung erreicht werden kann.

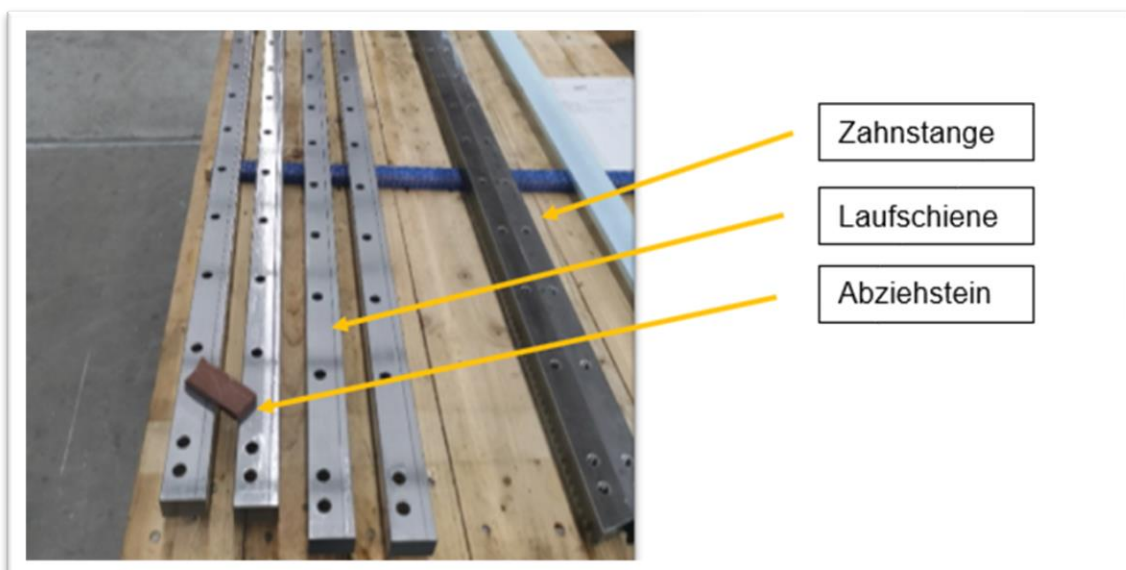


Abbildung 14: Vorbereitung der Laufschiene mit Abziehstein

Nachdem dies alles vorbereitet ist, werden die Laufschiene mit sogenannten Montagebolzen provisorisch am TrackMotion befestigt. Danach wird die erste Laufschiene mit drei Schrauben definitiv fixiert, sodass sie nicht mehr verrutschen kann. Anschliessend wird die nächste Laufschiene mithilfe eines Stemmeisens fest gegen die bereits befestigte Laufschiene gedrückt und im Anschluss ebenfalls definitiv verschraubt. Dieser Schritt ist sehr wichtig, da die Verbindungen zwischen den einzelnen Laufschiene, namentlich der Schienenstoss, in einer vorgegebenen Toleranz von max. 0.02 mm liegen muss. Der gesamte Vorgang wird anschliessend wiederholt, bis alle Laufschiene am TrackMotion befestigt sind.



Abbildung 15: Befestigte Laufschiene

Auf der Seite mit der Zahnstange werden die Laufschiene nach dem gleichen Prinzip wie oben erklärt vorbereitet. Jedoch wird für die Befestigung der Laufschiene zuerst die Zahnstange mit Montagebolzen am TrackMotion angehängt und dann erst in einem zweiten Schritt die Laufschiene von vorne angebracht. Danach müssen während dem Anziehen der Schrauben die Zahnstangenstösse jeweils mit einem kleinen Zahnstangenstück ausgerichtet werden, damit eine optimale Passung garantierbar ist. Mithilfe der nachfolgenden Abbildung wird die Montage der Laufschiene auf der Zahnstangenseite nochmals visuell erklärt.

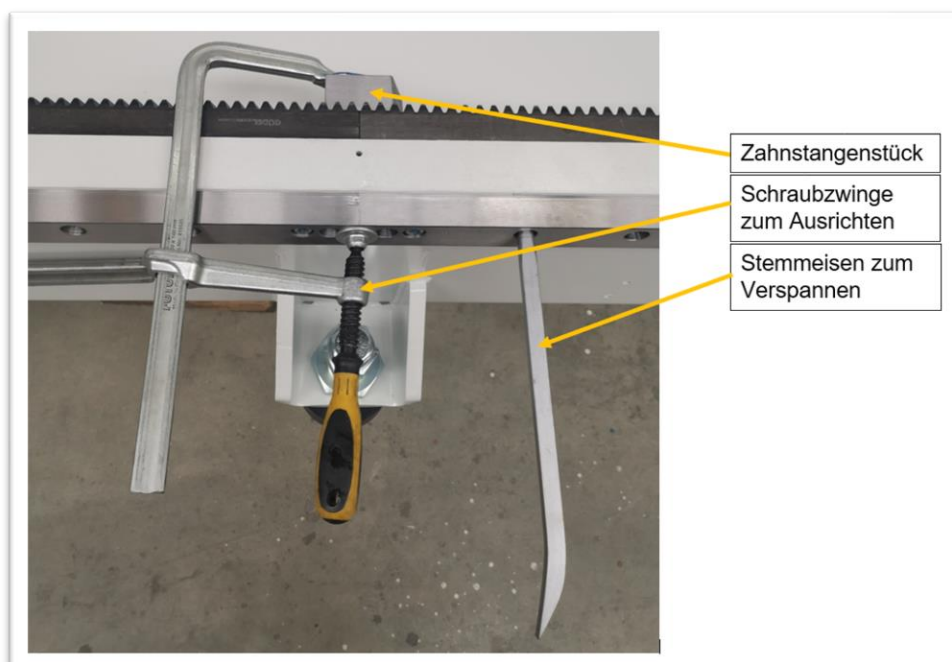


Abbildung 16: Montage Laufschiene mit Zahnstange

4.3.1 Visuelle Darstellung des IST-Montageprozesses

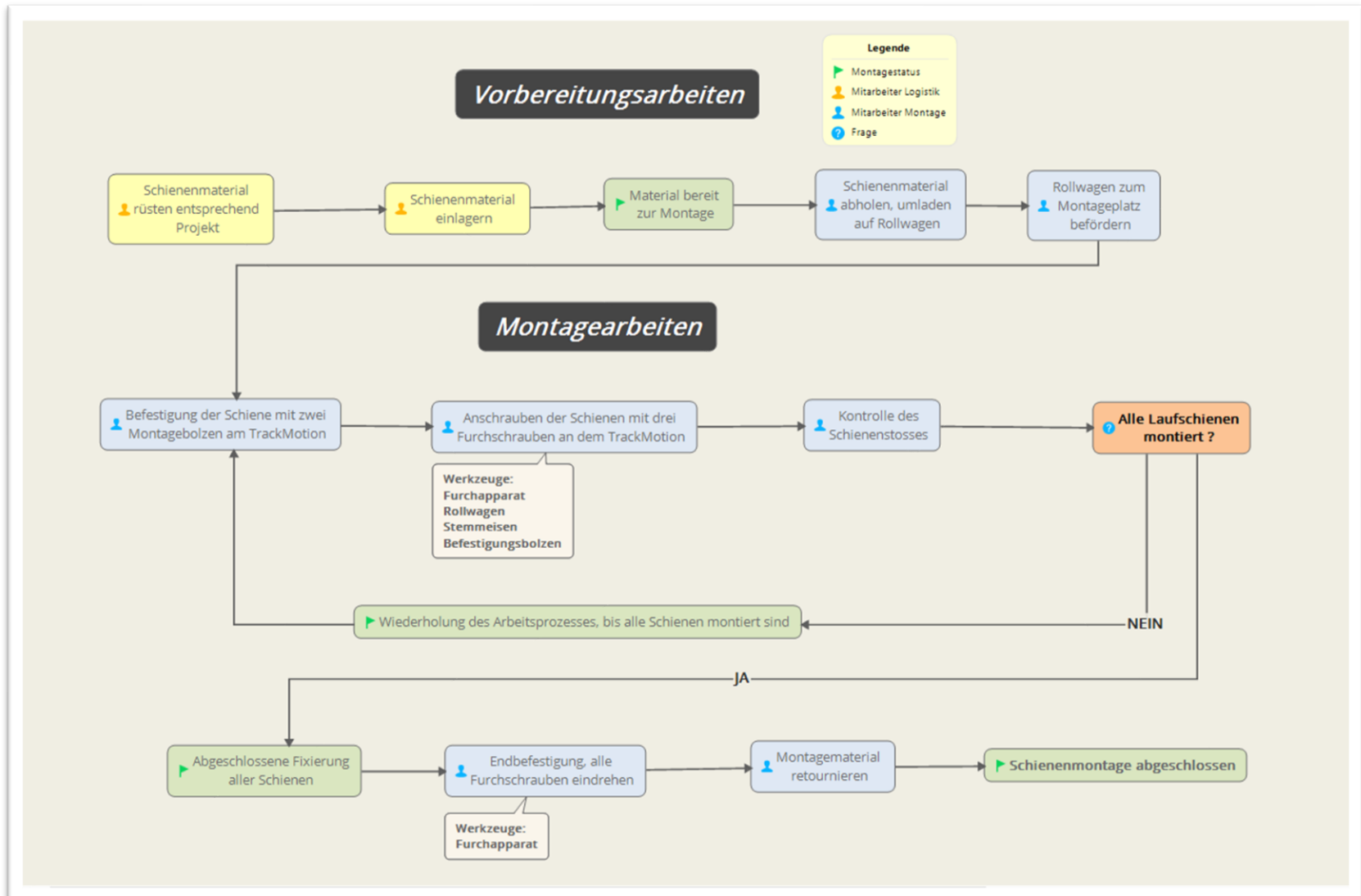


Abbildung 17: Darstellung IST-Prozess

4.4 IST-Prozess analysieren und optimieren

Nach der Erhebung und Dokumentation des bestehenden Prozesses und dessen visueller Darstellung mithilfe eines Ablaufplanes, wird im folgenden Schritt der Prozess auf mögliche Optimierungsansätze untersucht. Bei dieser Analyse des Prozesses werden auch die Schnittstellen mit anderen Abteilungen identifiziert und auf Möglichkeiten der Optimierung geprüft.

4.4.1 Checkliste Ablauforganisation IST-Prozess

Mithilfe einer Checkliste mit selektionierten Fragestellungen kann das Optimierungspotenzial in einem ersten Schritt skizziert werden.

Nr.	Fragestellung mit anschliessender Bewertung
Ablauforganisation	
1.	<i>Welche Prozessschritte werden mehrfach ausgeführt?</i>
	Beim Befestigen der Laufschiene wird ein langer Prozessschritt, welcher sich über 4 Teilschritte erstreckt, kontinuierlich wiederholt.
2.	<i>Welche Werkzeuge sind für eine längere Zeitdauer durch einen Mitarbeiter besetzt?</i>
	Die Montagemittel Furchapparat, Rollwagen, Stemmeisen und Befestigungsbolzen sind während der Befestigung der Laufschiene ständig durch einen Mitarbeiter besetzt.
3.	<i>Welche besetzten Werkzeuge sind besonders gewichtet?</i>
	Die Werkzeuge Furchapparat und Rollwagen sind in der Montage nur begrenzt verfügbar und fallen in Bezug auf ihren Anschaffungspreis massiv ins Gewicht.
4.	<i>Bei welchen Prozessabschnitten tauchen Probleme auf?</i>
	Der Transportwagen, welcher dem Transport der Laufschiene dient, kann des Öfteren aus Platzgründen nicht zwischen die verschiedenen TrackMotion's geschoben werden. Zudem lässt sich ein vollbeladener Transportwagen von einem einzelnen Mitarbeiter nur mühselig in engen Platzverhältnissen rangieren.
5.	<i>Welche Aktivitäten könnten vereinfacht werden?</i>
	Das Verspannen der Schienenstösse kann durch eine Verspann-Einrichtung erleichtert werden.
6.	<i>Welche Prozessschritte stellen ein erhöhtes Risiko für den Mitarbeiter dar?</i>
	-Das Umladen des Paletts mit dem Schienenmaterial mithilfe eines Hubwagens auf den Rollwagen stellt durch die etwas zu wenig langen Hubstapler-Gabeln ein erhöhtes Risiko dar. -Das Anheben der Laufschiene durch einen Mitarbeiter allein stellt für denselben eine erhöhte körperliche Belastung dar. -Beim Verspannen der Schienenstösse kann der Furchapparat lediglich mit einer Hand gehalten werden, da mit der anderen Hand die beiden Laufschiene mit einem Stemmeisen verspannt werden müssen.
7.	<i>Kann eine dieser Aufgaben mit einer Prozessänderung verbessert werden?</i>
	Anbringen und Befestigung der Laufschiene können durch eine Optimierung in Bezug auf die Werkzeugressourcen verbessert werden.
Prozessschnittstellen	
8.	<i>Welche Schnittstellen finden im Prozessablauf statt?</i>
	Die Übergabe des gerüsteten Laufschiene materials der Logistikabteilung an die Montageabteilung stellt die einzige Schnittstelle in diesem Prozess dar.
9.	<i>Können prozessinterne Schnittstellen angepasst werden?</i>
	Dieses Rüsten der Logistiker könnte durch ein Teillager, welches alle drei Laufschiene typen beinhaltet, ersetzt werden.

Tabelle 5: Prozessfragen IST-Analyse

4.4.2 Schwachstellen identifizieren

Nach der Erstellung der erwähnten Checkliste wird eine einheitliche Dokumentation der Schwachstellen mithilfe eines Befundformulars vorgenommen. Darin werden die Schwachstellen einzeln aufgelistet und Verbesserungen in Form konkreter Massnahmen herausgearbeitet.

Schwachstelle 1	Schienenhandling
<p>Schwachstellenbeschrieb</p>	<p>Das Anbringen der Laufschiene am TrackMotion stellt nach Auswertung der Checkliste einen erhöhten Ressourcenverbrauch dar.</p> <p><u>Problematik 1:</u> Während des gesamten Montagevorgangs der Schienen wird eine Vielzahl von Montagewerkzeugen über eine längere Zeitdauer von einem Mitarbeiter in Anspruch genommen. Dies betrifft unter anderem Furchapparat und Transportwagen. Aufgrund dessen müssen diese Werkzeuge in grösseren Stückzahlen angeschafft werden, was insbesondere im Falle des Furchapparats einen hohen finanziellen Aufwand darstellt. Des Weiteren muss den Werkzeugen bei Nichtbenutzung ein Lagerort zugeteilt werden, woraus eine erhöhte Nutzung von Platzressourcen resultiert. Auf der anderen Seite kann besetztes Werkzeug zu unnötigen Leerlaufzeiten führen, was wiederum die Produktivität der Montageabteilung senken kann.</p> <p><u>Problematik 2:</u> Der Transportwagen ist oftmals zu breit, um ihn zwischen die TrackMotion's fahren zu können. Infolgedessen kommt es zu weiteren Strecken, die der einzelne Mitarbeiter, das Schienenmaterial tragend, zurücklegen muss. Somit ist er zusätzlicher Belastung ausgesetzt, was schliesslich ebenfalls einen Effekt auf die Produktivität der Abteilung haben kann.</p> <p><u>Problematik3:</u> Das Anheben der Laufschiene durch nur einen Mitarbeiter stellt eine erhöhte Belastung für den Körper dar. Auf Dauer kann es daher zu gesundheitlichen Ausfällen von Mitarbeitern führen, wodurch die Produktivität der Montageabteilung beeinträchtigt werden kann.</p>
<p>Verbesserungspotential</p>	<p><u>Verbesserung Problematik 1</u> Der Montageprozess muss neu überdenkt werden in Bezug auf die Ressourcennutzung während dem Montagevorgang. Das Montagematerial soll gezielter und während kürzerer Anwendungszeiten eingesetzt werden.</p> <p><u>Verbesserung Problematik 2</u> Der Transportwagen kann so optimiert werden, dass er sich auch zwischen die in der Montage stehenden TrackMotion's schieben lässt.</p>

	<p><u>Verbesserung Problematik 3</u> Für das Anheben der einzelnen Laufschiene kann eine Prozessanpassung mit einem neu ausgearbeiteten Transportwagen gemacht werden.</p>
<p>Lösungsvorschläge</p>	<p><u>Lösungsvorschlag 1</u> Alle Laufschiene können gleich zu Beginn des Montagevorganges provisorisch mit Befestigungsbolzen an das TrackMotion angebracht werden. Dadurch ist der Transportwagen weniger lang im Einsatz und kann gleich danach von anderen Mitarbeitern bereits wieder genutzt werden. Erst im Anschluss werden dann alle Laufschiene mit dem Furchapparat befestigt, was die Nutzungszeit dieses teuren Werkzeuges ebenfalls deutlich senkt.</p> <p><u>Lösungsvorschlag 2</u> Für den Transport der Laufschiene bis zum TrackMotion kann ein neuer Transportwagen entwickelt werden, welcher wendig ist und eine schmale Bauform aufweist. Es soll zudem ein höhenverstellbares Design angestrebt werden, sodass die Entnahme der Schiene durch den Mitarbeiter auf ergonomischer Höhe erfolgen kann. Zusätzlich sollen schwerere Laufschiene zu zweit am TrackMotion angebracht werden, wodurch die Belastung auf den einzelnen Mitarbeiter halbiert wird.</p> <p><u>Lösungsvorschlag 3</u> Für das Umladen der 2-Meter-Paletten kann ein Hubwagen mit längeren Gabeln angeschafft werden, wodurch mehr Sicherheit bei diesem Arbeitsschritt erreicht werden könnte. Eine andere Möglichkeit ist das Einführen eines gänzlich anderen Umladesystems (z.B. ein Manipulator), welches den Transfer der Schiene auf den Transportwagen übernimmt. In diesem Fall soll auch eine neue Lagerung der Laufschiene in Betracht gezogen werden.</p>
<p>Behebungsaufwand</p>	<p>Folgende Aufwände müssen betrieben werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Neue Prozessmodellierung der Montage Module • Konstruktion eines Laufschiene-Transportsystems • Neues System zum Umladen der Laufschiene

Tabelle 6: Schwachstelle 1

Schwachstelle 2	Schienenstossverbindung
Schwachstellenbeschrieb	<p>Während dem Verbinden zweier Laufschiene besteht während der Montage ein erhöhtes Verletzungsrisiko. Die Laufschiene müssen mithilfe eines Stemmeisens gegeneinander verspannt werden, weshalb der Furchapparat bei diesem Arbeitsschritt nur noch einhändig bedient werden kann.</p> <p>Der Furchapparat generiert jedoch ein sehr hohes Drehmoment zum Anziehen der Furchschrauben, was es dem Mitarbeiter schwer macht, diesen mit nur einer Hand festzuhalten. Im schlimmsten Fall kann der Mitarbeiter den Furchapparat beim Anziehen der Schrauben nicht mehr fixieren und sich infolgedessen Verletzungen an den Armen zuziehen.</p> <p>Durch den Ausfall eines Mitarbeiters verliert die Montageabteilung unvorhergesehen an Kapazität, was wiederum zu Lieferverspätungen führen kann.</p>
Verbesserungspotential	<p>Das jetzige Montageverfahren der Schienenstösse muss überdacht werden. Der Mitarbeiter soll während dem Bedienen des Furchapparates beide Hände zur Verfügung haben. Deshalb muss eine Modifikation erarbeitet werden, welche das Verspannen der Schienenstösse für den Monteur übernimmt.</p>
Lösungsvorschläge	<p>Für das Verspannen der Schienenstösse soll eine gezielte Montagehilfe entworfen werden.</p> <p>Eine Art Spannzange soll die Aufgabe des Stemmeisens übernehmen, dabei den Mitarbeiter entlasten und so ein sicheres Befestigen der Laufschiene ermöglichen.</p>
Behebungsaufwand	<p>Folgende Aufwände müssen betrieben werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung eines Schienenstossverbinders

Tabelle 7: Schwachstelle 2

Schwachstelle 3	Schienenmaterial umladen
Schwachstellenbeschreibung	<p>Das Umladen des gerüsteten Schienenmaterials auf den Transportwagen stellt ein erhöhtes Sicherheitsrisiko dar. Die gerüsteten Schienenpaletten besitzen eine Gesamtlänge von zwei Metern und sind somit länger als herkömmliche Paletten.</p> <p>Die Gabeln eines Standard-Hubwagens greifen daher nicht genügend weit in die Palette ein, um die geforderte Arbeitssicherheit zu gewährleisten. Es besteht infolgedessen das Risiko, dass die 2-Meter-Palette während dem Transportvorgang nach vorne wegkippt, was einerseits eine Gefahr für die Mitarbeiter darstellt, andererseits aber auch zu einem materiellen Schaden führen kann.</p> <p>Beide Faktoren können im Extremfall zu Lieferverzögerungen führen, was für das Unternehmen finanzielle Einbussen bedeuten kann.</p>
Verbesserungspotential	<p>Für das Umladen des Laufschienelements muss eine neue Lösung erarbeitet werden, welche auf den neu erarbeiteten Montageprozess zugeschnitten ist. Ein zwingend zu beachtender Aspekt ist dabei die Arbeitssicherheit.</p>
Lösungsvorschläge	<p>Eine Variante ist die Anschaffung eines Hubwagens mit längeren Gabeln, damit die Palette sicher angehoben werden kann.</p> <p>Eine Alternative wäre das Einführen eines gänzlich neuen Umladesystems im Rahmen des optimierten Montageprozesses. Dabei kann ein pneumatischer Manipulator oder eine weitere Hebevorrichtung für das sichere Anheben der Laufschienelemente in Betracht gezogen werden.</p>
Behebungsaufwand	<p>Folgende Aufwände müssen betrieben werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einbindung des Umladevorgangs in den optimierten Montageprozess aus Schwachstelle 1.

Tabelle 8: Schwachstelle 3

4.5 SOLL-Prozess modellieren

Nachdem die Prozessanalyse durchgeführt und abgeschlossen ist, geht es nun an die Modellierung des SOLL-Prozesses. Es wird eine visuelle Darstellung erarbeitet, welche nach Abschluss der Diplomarbeit in der Montage direkt Verwendung finden kann.

Mithilfe der Befundformulare, mit welchen drei Schwachstellen aufgezeigt und konkretisiert wurden, kann nun mit dem Design eines modifizierten Prozesses gestartet werden.

In einem ersten Schritt wird eine visuelle SOLL-Prozessmodellierung gemacht, um einen Vergleich mit der IST-Modellierung zu erhalten. In einem zweiten Schritt sollen schliesslich die konkreten Montagehilfen entworfen und entwickelt werden.

4.6 SOLL-Modellierung Schwachstelle «Schienenhandling»

4.6.1 Prozessmodellierung Ressourcenaufnahme

Durch die Visualisierung des IST-Prozesses konnte festgestellt werden, dass viele der Arbeitsschritte in einer Wiederholungsschleife stattfinden, wodurch über einen längeren Zeitraum eine grosse Anzahl von wichtigen Ressourcen simultan in Anspruch genommen wird.

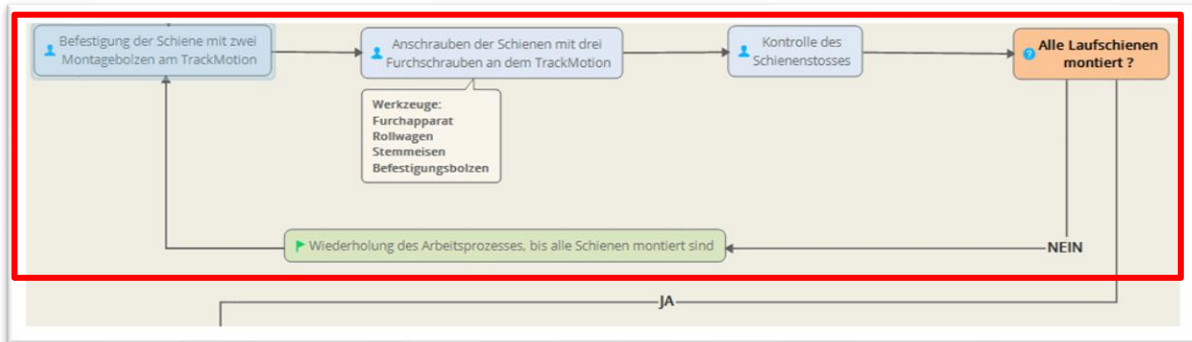


Abbildung 18: Prozessausschnitt Montage IST-Prozess

Wie in Abbildung 18 dargestellt, erfordert das Montieren aller Laufschienen bis zum Schluss permanent einen Furchapparat, einen Rollwagen, ein Stemmeisen und zwei Befestigungsbolzen. Das ist insbesondere im Fall des Furchapparats und im Fall des Rollwagens von Bedeutung, da diese nur in begrenzter Stückzahl vorhanden sind. Da diese also während der gesamten Schienenmontage besetzt sind, fehlen sie in dieser Zeit im Rest der Werkstatt. Dadurch können ungewollte Wartezeiten entstehen, was wiederum die Produktivität der Montage beeinflussen kann.

Deshalb muss dieser Arbeitsschritt in Bezug auf die Ressourcen verbessert werden. Nachfolgend finden Sie jedes Montagewerkzeug mit seiner entsprechenden Anwendung gelistet.

Montagewerkzeug	Anwendung
Furchapparat	Der Furchapparat wird dazu verwendet, die Laufschienen mithilfe der gewindefurchenden Schrauben an die Schienenträger des TrackMotion's zu verschrauben. Dabei zieht der Furchapparat jede Schraube auf ein definiertes Drehmoment fest, während durch die Schraube selbst ein Gewinde in den Träger gedreht wird. 
Transportwagen (neue Konstruktion)	Der Transportwagen wird im IST-Prozess für den Transport der 2-Meter-Paletten verwendet. Er wird dabei für die gesamte Montage der Laufschienen benötigt.
Stemmeisen (Neu: Stossverbinder)	Das Stemmeisen dient dem Mitarbeiter zum Verspannen der Schienenstösse, damit diese im Toleranzbereich von 0.02mm verschraubt werden können.

Abbildung 19: Furchapparat

<p>Befestigungsbolzen</p>	<p>Die Befestigungsbolzen dienen ausschliesslich dazu, die Laufschiene temporär am TrackMotion zu fixieren bis die ersten Schrauben eingedreht sind.</p> <div data-bbox="580 304 1353 658" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">Abbildung 20: Befestigungsbolzen</p>
----------------------------------	--

Tabelle 9: Montagewerkzeuge für das TrackMotion

4.6.2 Prozessmodellierung einer modifizierten Arbeitsabfolge

In einem nächsten Schritt muss eine Arbeitsabfolge ohne aufwändige Wiederholungen modelliert werden. Entsprechend der durch die Prozessanalyse gewonnenen Erkenntnisse sollen die Anwendung des Transportwagens und der Einsatz des Furchapparates separat voneinander ablaufen. Somit sind die beiden Montagewerkzeuge nicht zu lange gleichzeitig in Gebrauch eines einzigen Mitarbeiters, sondern können auch für andere Arbeiten in der Werkstatt genutzt werden.

Im Anschluss an diesen Abschnitt werden die nun modifizierten Arbeitsschritte mithilfe einer Prozessbeschreibung erfasst und ihr jeweiliges Ergebnis beschrieben. Ebenfalls werden die während dem jeweiligen Arbeitsschritt verwendeten Montagewerkzeuge aufgeführt. Es ist zu beachten, dass in dieser Prozessbeschreibung lediglich das Anbringen der Schienen behandelt und somit nur ein Teilprozess dargestellt wird.

Nr.	Tätigkeit	Input	Ergebnis	Werkzeuge
1	Anbringen aller Befestigungsbolzen am vorbereiteten TrackMotion	Befestigungsbolzen	Angebrachte Befestigungsbolzen	Befestigungsbolzen
2	Anbringen aller Laufschiene über die gesamte Länge des TrackMotion's an den Befestigungsbolzen	Gerüstetes Laufschiene-Material auf dem Transportwagen	Provisorisch montierte Laufschiene	Transportwagen
3	Die sich auf halber Länge des TrackMotion's befindende Laufschiene mit Furchschrauben befestigen	Angebrachte Laufschiene und Furchschrauben	Befestigte mittlere Laufschiene	Furchapparat
4	Verbindung aller Laufschiene mithilfe des neu konstruierten Stossverbinders und anschliessende Schienenstosskontrolle	Unverspannte Laufschiene	Sämtliche Laufschiene definitiv befestigt am TrackMotion	Stossverbinder Furchapparat Messblech 0.02mm

Tabelle 10: Arbeitsschritte Schienenmontage am TrackMotion

Durch die neue Prozessabfolge kann der Einsatz von Montagewerkzeuge während den einzelnen Arbeitsschritten auf ein Minimum reduziert werden. Es kann ergo der Transportwagen unabhängig vom Furchapparat benutzt werden.

Nachfolgend wird diese modifizierte Prozessabfolge visuell dargestellt.

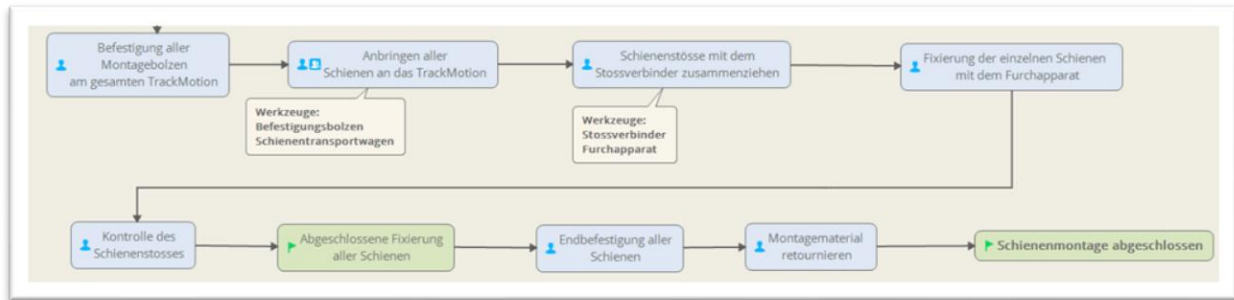


Abbildung 21: Prozessausschnitt Montage SOLL-Prozess

Abbildung 21 demonstriert nun nochmals visuell, dass die Anzahl der verwendeten Werkzeuge im Rahmen des SOLL-Prozesses minimiert wird und somit einige der Montagewerkzeuge schneller wieder für andere Montagearbeiten zur Verfügung stehen. Da das Anbringen der Laufschiene durch die vorgängige Applikation aller Montagebolzen am TrackMotion nun weniger lang dauert respektive nun in einem Schritt vollzogen werden kann, können die Laufschiene nun sinnvollerweise zu zweit montiert werden. In diesem Sinne wird der einzelnen Mitarbeiter körperlich entlastet, da er nur noch das halbe Gewicht tragen muss. Auf der visuellen Darstellung ist beim Schritt «Anbringen aller Schienen an das TMF» eine weiteres Personen-Symbol hinzugefügt. Damit ist ersichtlich, dass dieser Arbeitsschritt zu zweit ausgeführt wird.

4.6.3 Konstruktion neuer Montagehilfen

Die Erkenntnisse aus der Prozessanalyse erfordern auch klar die Entwicklung von zwei neuen Montagehilfen.

Auf der einen Seite soll ein Stossverbinder entwickelt werden, welcher dem Monteur das Verbinden der Schienenstösse erleichtert. Mithilfe dieses Stossverbinders kann Schwachstelle 2 aus dem Befundformular behoben werden.

Auf der anderen Seite ist die Entwicklung eines neuen Transportwagens erforderlich, welcher eine schmalere Bauform aufweist als das gegenwärtig genutzte Modell. Zusätzlich besteht die Möglichkeit der Entwicklung einer höhenverstellbaren Schienenentnahme, damit der Mitarbeiter die Laufschiene in der optimal ergonomischen Höhe ergreifen kann.

Mit der Entwicklung dieser beiden Montagehilfen wird nach Abschluss der gesamten SOLL-Modellierung begonnen. (Siehe Abschnitt 4.10 «Konzeptionierung Montagehilfen»)

4.7 SOLL-Modellierung Schwachstelle «Schienenmaterial Umladen»

4.7.1 Optimierung der Schnittstelle

Eine weiterer kritischer Prozessabschnitt gemäss dem Befundformular, ist das Umladen des Schienenmaterials auf den Transportwagen. Es besteht im IST-Prozess ein erhöhtes Unfallrisiko während dem Umladen der 2-Meter-Palette mithilfe eines Standardhubwagens. Dies weil die Gabeln des Hubwagens zu kurz sind, weshalb die Gefahr besteht, dass die Palette nach vorne hin wegkippt.

Es stellt sich zudem die Frage, ob sich das Umladen der grossen, sperrigen 2-Meter-Paletten auf den Transportwagen überhaupt noch lohnt oder ob dieser Schritt im Rahmen des neuentwickelten, modifizierten Transportwagens gar entfällt.

Hiernach werden zwei Varianten für den Umladevorgang präsentiert. Dabei wird sowohl eine Version mit weiterer Nutzung der 2-Meter-Paletten, als auch eine Version ohne Nutzung derselben diskutiert.

4.7.2 Umladevorgang mit 2-Meter-Paletten

Im Sinne einer weiteren Verwendung der 2-Meter-Paletten und deren Umlagerung mithilfe eines Hubwagens, muss nach einer Möglichkeit gesucht werden, die Palette gegen das Abkippen nach vorne zu sichern.

Der zurzeit verwendete Hubwagen wird von der Firma STILL vertrieben und hat eine Gabellänge von 1'150 mm und eine maximale Tragfähigkeit von 1'600 kg. Die Hubwagengabel kann also zu wenig weit in die Palette geführt werden, als dass die geforderte Arbeitssicherheit gewährleistet ist. Deshalb müsste bei einer weiteren Verwendung der 2-Meter-Paletten eine Gabelverlängerung für den vorhandenen Hubwagen verwendet werden oder ein Hubwagen mit einer längeren Gabel angeschafft werden. Auf der folgenden Abbildung ist die erwähnte Gabelverlängerung zu sehen, welche an den Hubwagen angebaut werden kann und eine Gabellänge von 2'000 mm aufweist.



Abbildung 22: Gabelverlängerung STILL

4.7.3 Umladevorgang ohne 2-Meter-Paletten

Falls der neu entwickelte Transportwagen nicht mehr auf die 2-Meter-Paletten angewiesen ist, ergeben sich diverse andere Belademöglichkeiten. Auf der folgenden Abbildung werden anhand eines Mind-Maps einige Ideen aufgezeigt, welche in die Neuentwicklung des Transportwagens miteinbezogen werden können.



Abbildung 23: Mind-Map Umlade Möglichkeiten

Durch das Erstellen des Mind-Maps entstanden vier neue Ideen, wobei sich Manipulator und der Gelenkarm von der Grundidee her stark ähneln.

Als nächstes werden die möglichen Beladesysteme genauer vorgestellt und ihre Vor- und Nachteile aufgezeigt.

Rüsten direkt auf den neuen Transportwagen

Bei dieser Variante wird der neue Transportwagen direkt von und in der Logistikabteilung beladen. Somit werden die Transportwagen entsprechend Projekt durch die Logistiker vorbereitet und anschliessend fixfertig in die Montageabteilung geliefert.

Vorteile:

- Kein zusätzliches Umladen durch den Monteur

Nachteile:

- Lagerstruktur erfordert dadurch ebenfalls Anpassungen
- Bei hoher Auslastung der Montageabteilung werden zahlreiche Transportwagen benötigt, um alle Projekte vorbereiten zu können.

Schienenlager auf Förderrollen

Bei dieser Variante sollen die Laufschiene auf Förderrollen bereitgestellt werden. Der Mitarbeiter muss die Laufschiene somit nur noch mit verhältnismässig wenig Muskelkraft auf den daneben positionierten Transportwagen ziehen. Diese Option erfordert die Entwicklung einer neuen Lagermöglichkeit, welche aber im Anschluss ohne grossen Aufwand durch das Logistikteam bestückt werden kann.



Abbildung 24: Förderrollentisch

Vorteile:

- Minimal körperliche Anstrengung

Nachteile:

- Kompletter Umbau des Schienenlagers nötig
- Aufwändige, platzbeanspruchende Konstruktion nötig
- Die Konstruktion muss die Absturzsicherheit der Schienen gewährleisten, was die Entwicklung komplexer gestaltet.

Manipulator / Gelenkarm

Mithilfe eines Manipulators oder eines Gelenkarms sollen die Laufschiene ohne Kraftaufwand auf Seiten der Arbeiter auf den Transportwagen umgeladen werden. Zum Anheben der Laufschiene wird ein magnetischer Greifer am Manipulator / Gelenkarm montiert, welcher durch leichtes Führen eines Mitarbeiters gesteuert werden kann. Der Manipulator / Gelenkarm kann direkt hinter das bestehende Schienenlager gebaut werden. Somit kann er mit seiner Reichweite alle Lagerplätze erreichen.

Es ist zudem die Überlegung wert, das Hauptlager der Laufschiene an einen zentralen Ort zu verschieben, wo sowohl die Logistikmitarbeiter als auch die Montagemitarbeiter via Manipulator / Gelenkarm direkt Zugriff auf die Laufschiene haben.



Abbildung 25: Beispiel eines Manipulators

Vorteile:

- Derselbe Lagerplatz verwendbar ohne grösseren Umbau
- Bestückung mit diversen Greifer-Systemen möglich
- Komplette Entlastung des Montagemitarbeiters

Nachteile:

- Der Manipulator ist teuer in der Anschaffung.
- Ein fixer Ort für den Umladevorgang muss bestimmt werden, wobei ein derartiger Umzug Mehraufwand bedeutet.

4.7.4 Bewertung der Beladesysteme

Nach der Präsentation der möglichen neuen Beladesysteme erfolgt nun deren Bewertung, bei der die wichtigsten Faktoren gewichtet werden. Es werden entsprechend der jeweiligen Faktoren Punkte von 1 bis 4 vergeben.

Punkteskala: 4 = sehr gut 3 = gut 2 = genügend 1 = ungenügend

Faktoren	Rüsten Logistik	Förderrollen	Manipulator Gelenkarm
Kosten	3	3	2
Umbauaufwand	4	2	3
Ergonomie	2	3	4
Platzbedarf	2	2	3
Sicherheit	3	2	3
Total	14	12	15

Tabelle 11: Bewertung Schnittstellenproblematik

Wie anhand der Bewertungstabelle ersichtlich, würde sich ein Manipulator oder ein Gelenkarm am besten für das Umladen der Laufschiene eignen. Diese Erkenntnisse werden bei der Konstruktion des Transportwagens miteinbezogen mit dem gesetzten Ziel einer optimierten Laufschiene-Umladung.

Es wird zudem die Möglichkeit in Betracht gezogen, den Lagerstandort für die Laufschiene neu zu vergeben. Somit könnten die Laufschiene mithilfe eines Manipulators / Gelenkarmes sowohl durch die Logistiker als auch durch die Monteure direkt ausgelagert werden.

4.8 SOLL-Modellierung als visuelle Darstellung

Als Abschluss der SOLL-Prozessmodellierung wird nun der gesamte Prozess visuell wiedergegeben, sodass er nun auch optisch mit dem IST-Prozess verglichen werden kann. Zwei Varianten der SOLL-Modellierung drängten sich auf. Die erste Variante enthält einen Rüstvorgang, welcher wie bisher von der Logistikabteilung ausgeführt wird. Bei der zweiten Variante wird ein neuer zentraler Lagerort eingerichtet, von dem die Laufschiene direkt bezogen werden können. Es entfällt dadurch der Rüstprozess und die Aufgabe der Logistikabteilung beschränkt sich nur noch auf die Bestückung des Laufschiene-Lagers mit neuem Material.

Mit den folgenden beiden Graphiken wird die SOLL-Modellierung abgeschlossen. Der darauffolgende Text befasst sich nun mit der konkreten Entwicklung der beiden Montagehilfen.

4.8.1 SOLL-Modellierung mit Rüstvorgang

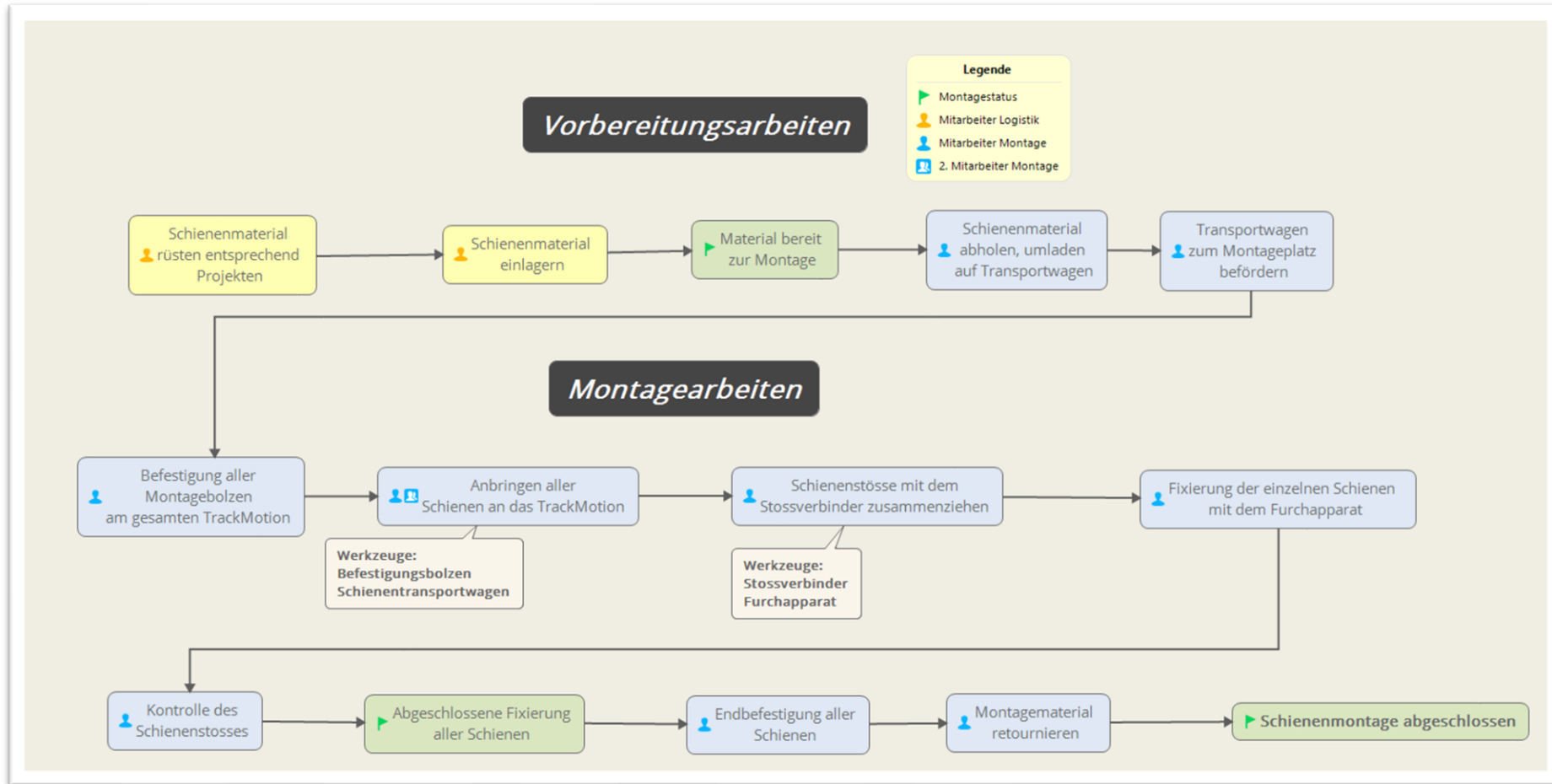


Abbildung 26: Darstellung SOLL-Modellierung mit Rüstvorgang

4.8.2 SOLL-Modellierung ohne Rüstvorgang

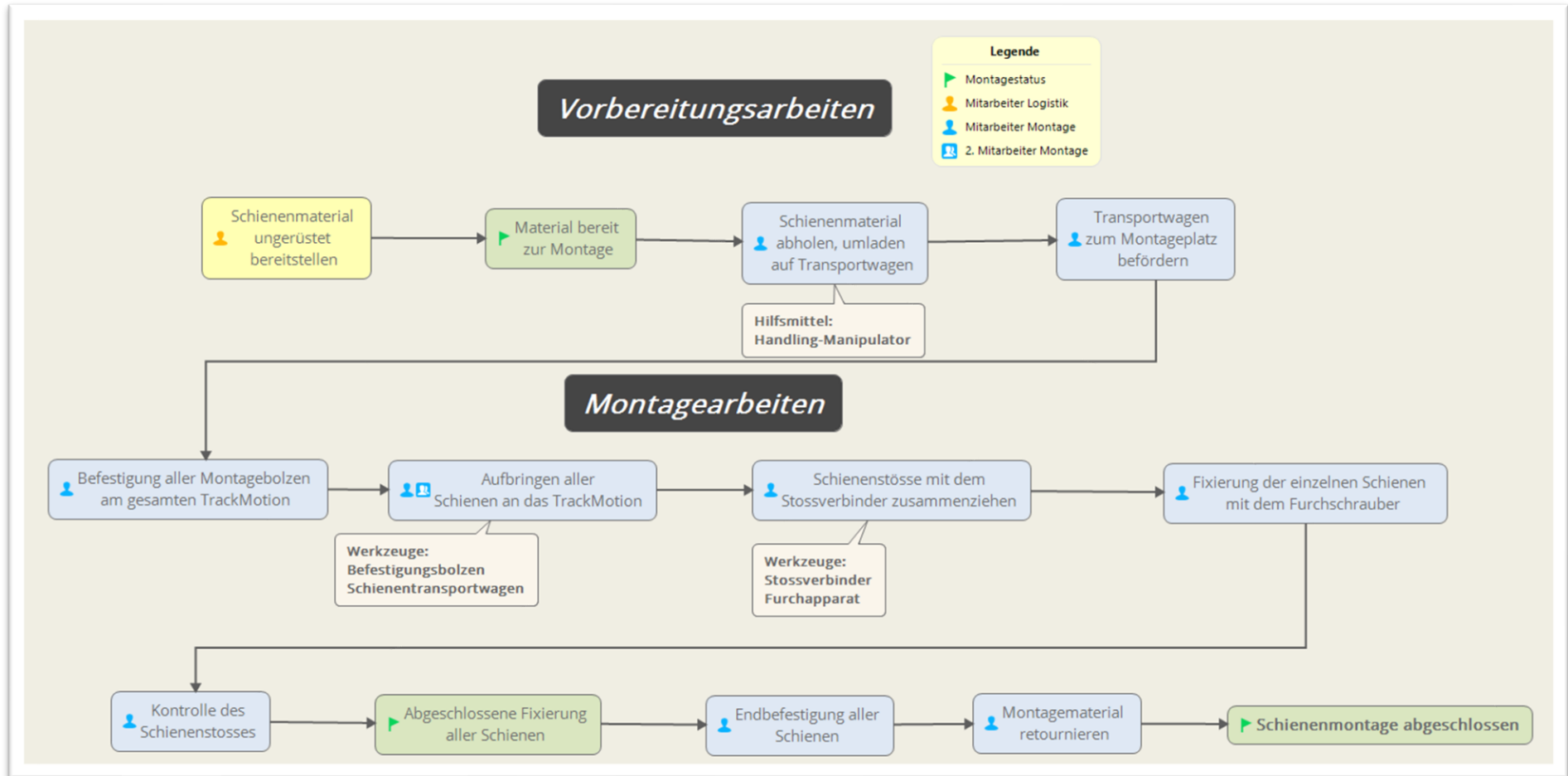


Abbildung 27: SOLL-Modellierung ohne Rüstvorgang

4.9 Arbeitsvorschriften für Montage

Damit die neuen Montagehilfen ergonomisch und sinnvoll entworfen werden können, ist es erforderlich, die Grenzwerte für die einzelnen Belastungsarten miteinzubeziehen. Durch die Analyse dieser Grenzwerte, können anschliessend die Grenzwerte für die Anforderungslisten definiert werden. In den kommenden Paragraphen werden beide Montagehilfen in Bezug auf Arbeitsvorschriften untersucht.

4.9.1 Anheben von Lasten

Die Suva und das Staatssekretariat für Wirtschaft «SECO» stellen je ein Prüfmittel für die Analyse der Gesundheitsrisiken zur Verfügung. Dieses kann auf ihrer Homepage bezogen werden und basiert auf der Verordnung 3 des Arbeitsgesetzes (ArGV 3(, Art. 25)). Für die Evaluation der Grenzwerte bei Anheben einer Last wird in dieser Arbeit das Beurteilungsblatt «Heben und Tragen von Lasten» der Suva verwendet. Durch systematische Abarbeitung der vier Unterpunkte des Beurteilungsblattes erhält man schliesslich via Punktesystem eine Einstufung der Belastung. Um den Vergleich zwischen IST- und SOLL-Prozess zu ermöglichen, wird für beide Prozesse isoliert eine Beurteilung durchgeführt.

Unterpunkt A

A Belastung an einem Arbeitstag		
Wie lange dauert der einzelne Hebe- oder Tragevorgang?		
kürzer als 5 Sekunden	länger als 5 Sekunden	Bewertung
Wie viele Vorgänge pro Tag?	Gesamtdauer unter Last pro Tag?	
bis zu 10	weniger als 5 Min.	<input type="text"/> 1
11 bis 40	5 bis 15 Min.	<input type="text"/> 2
41 bis 200	16 bis 60 Min.	<input type="text"/> 4
201 bis 500	61 bis 120 Min.	<input type="text"/> 6
501 bis 1000	121 bis 240 Min.	<input type="text"/> 8
mehr als 1000	mehr als 240 Min.	<input type="text"/> 10

Abbildung 28: Häufigkeit und Dauer des Hebevorgangs

Im Unterpunkt A wird Bezug auf Häufigkeit und Dauer des Hebevorgangs genommen. Im Normalfall beträgt die Anhebendauer einer Laufschiene unter 5 Sekunden. Diese Vorgänge finden im Normalfall unter 40-mal pro Tag statt, da für die Montage eines 20 Meter langen TrackMotion's gesamthaft 20 Laufschiene und 10 Zahnstangen verbaut werden. Unterpunkt A erhält also in diesem Fall die Bewertung 2.

Anders sieht es aus in einem Extremfall, wenn zum Beispiel zwei solche Trackmotion an einem Tag gebaut werden müssen. In diesem Fall kann die Bewertung auf vier ansteigen. Es sollen sowohl Normal- als auch Extremfall beachtet werden. Beim IST- und SOLL-Prozess werden gleich viele Schienen verbaut, deshalb erhalten beide die gleiche Bewertung.

Standardfall: IST-Prozess: 2 SOLL-Prozess: 2
Extremfall: IST-Prozess: 4 SOLL-Prozess: 4

Unterpunkt B





Männer		Frauen		Bewertung	
Wie schwer ist die mittlere Last?		Wie schwer ist die mittlere Last?			
bis zu 10 kg		bis zu 5 kg		<input type="text"/>	1
11 bis 20 kg		6 bis 10 kg		<input type="text"/>	2
21 bis 30 kg		11 bis 15 kg		<input type="text"/>	4
31 bis 40 kg		16 bis 25 kg		<input type="text"/>	7
mehr als 40 kg		mehr als 25 kg		<input type="text"/>	25

Abbildung 29: Maximales Gewicht der angehobenen Last

Beim Unterpunkt B wird die anzuhebende Last betrachtet. Da eine einzelne Laufschiene je nach Baugröße bis zu 23.5 kg wiegt, beträgt die Bewertung für den IST-Prozess bei Männern 4 und bei Frauen 7, da die Laufschiene von einer Person allein angehoben werden. Beim SOLL-Prozess beträgt die Bewertung bei Männern 2 und bei Frauen 4, da die Laufschiene jeweils von zwei Personen zusammen angehoben werden, wodurch sich die aufzuwendende Kraft pro Mitarbeiter halbiert.

Männer: IST-Prozess: 4 SOLL-Prozess: 2
Frauen: IST-Prozess: 7 SOLL-Prozess: 4

Unterpunkt C

Wie wird gearbeitet?		Bewertung	
	<ul style="list-style-type: none"> • Oberkörper aufrecht, nicht verdreht • Last direkt am Körper abgestützt 	<input type="text"/>	1
	<ul style="list-style-type: none"> • Oberkörper geringfügig vorgeneigt oder verdreht • Last nahe am Körper 	SOLL <input type="text"/>	2
	<ul style="list-style-type: none"> • Oberkörper und Hüften gebeugt • Oberkörper leicht vorgeneigt und gleichzeitig verdreht • Last über Schulterhöhe oder am Boden 	IST <input type="text"/>	4
	<ul style="list-style-type: none"> • Oberkörper stark vorgeneigt und gleichzeitig verdreht • Kauernde oder knieende Position • Last körperfern 	<input type="text"/>	8

Falls unterschiedliche Körperhaltungen eingenommen werden, können Sie bei der Bewertung einen Mittelwert bilden. Berücksichtigen Sie keine extreme Körperhaltungen, die nur selten vorkommen.

Abbildung 30: Position des Oberkörpers während der Montage

Bei Unterpunkt C wird die Körperhaltung beurteilt. Dabei wird bei der Laufschiene Montage der Fokus vor allem auf das Vorbeugen des Oberkörpers beim Anbringen der Schienen gelegt. Der IST-Prozess erhält die Bewertung 4, da die Montage der Schienen durch eine Einzelperson eine stärkere Neigung des Oberkörpers erfordert. Beim SOLL-Prozess kann dagegen durch das Anbringen der Laufschiene im Zweierteam das Beugen des Oberkörpers reduziert werden. Der SOLL-Prozess erhält dadurch die Bewertung 2.

IST-Prozess: 4

SOLL-Prozess: 2

Unterpunkt D

D Arbeitsbedingungen		Bewertung
Gibt es Behinderungen (Platzverhältnisse, Bodenbeschaffenheit, Form der Last)?		
• Gute Arbeitsbedingungen ohne irgendwelche Einschränkungen		<input type="text" value="0"/>
• Beeinträchtigung der Standsicherheit • Behinderungen in der Arbeitszone (freie Arbeitsfläche kleiner als 1,5 m ²) • ungenügende Beleuchtung		<input type="text" value="1"/>
• Last ist sehr schwierig zu greifen oder ihr Schwerpunkt ist instabil • stark eingeschränkte Bewegungsfreiheit		<input type="text" value="2"/>

Abbildung 31: Arbeitsumgebung

Unterpunkt D beschäftigt sich schliesslich mit den Arbeitseinschränkungen im Rahmen des Arbeitsplatzes. Da dieser Unterpunkt allerdings in keinem der beiden Prozesse einen Einfluss hat, können diese beide mit 0 bewertet werden.

Gesamtbewertung

Berechnen Sie die Gesamtbewertung aus den Ergebnissen der einzelnen Merkmale gemäss folgendem Schema:

Belastung an einem Arbeitstag	A				
Gewicht der Last	↓	B		+	
Körperhaltung und Distanz zur Last		C		+	
Arbeitsbedingungen		D		=	
Gesamtbewertung = A × (B + C + D)			×	0	=
				0	0

Abbildung 32: Schema für Gesamtbeurteilung

Nach vollständiger Bearbeitung des Suva-Beurteilungsblatt erhält man schliesslich die Gesamtbewertung.

Montage-Fall	IST-Prozess	SOLL-Prozess
Standardfall Männer	2*8 = 16	2*4 = 8
Standardfall Frauen	2*11 = 22	2*6 = 12
Extremfall Männer	4*8 = 32	4*4 = 16
Extremfall Frauen	4*11 = 44	4*6 = 32

Tabelle 12: IST- SOLL-Vergleich "Heben von Lasten"

Nach Berechnen der Gesamtbewertung ist nun in einer Tabelle die körperliche Belastung ersichtlich. In der obigen Tabelle ist die Bedeutung der jeweiligen Gesamtbewertung entsprechend der nachfolgenden Auswertungstabelle farblich kodiert, damit die Ergebnisse einfacher verglichen werden können.

Gesamt- bewertung	Beurteilung und notwendige Massnahmen
kleiner als 10	Geringe Belastung Eine Gesundheitsgefährdung durch körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich.
11 bis 25	Wesentliche Belastung Eine körperliche Überbeanspruchung ist bei Jugendlichen unter 21 Jahren, älteren Mitarbeitenden über 50 Jahren oder reduziert leistungsfähigen Personen möglich. In diesen Fällen sind Massnahmen zur Umgestaltung der Arbeitsplätze oder -abläufe sinnvoll.
26 bis 50	Erhöhte Belastung Eine körperliche Überbeanspruchung ist für ungeübte normal belastbare Personen möglich. Für diesen Personenkreis sind Massnahmen zur Umgestaltung der Arbeitsplätze oder -abläufe angezeigt und die betroffenen Personen sind in körperschonenden Arbeitstechniken beim Umgang mit Lasten anzuleiten.
grösser als 50	Hohe Belastung Eine körperliche Überbeanspruchung ist auch für geübte Mitarbeitende möglich. Massnahmen zur substanziellen Reduktion der Belastung sind auf jeden Fall erforderlich und die betroffenen Personen müssen die körperschonenden Arbeitstechniken beherrschen.

Abbildung 33: Beurteilung der Massnahmen

Standardfall

Im Standardfall, worauf das Hauptaugenmerk gerichtet ist, kann die Belastung bei den Männern durch die Prozessoptimierung von einer wesentlichen zu einer geringen Belastung gesenkt werden. Bei den Frauen kann durch die Prozessoptimierung ebenfalls eine grosse Verbesserung von 10 Punkten erreicht werden. Der Wert ist somit nur wenige Punkte über der geringen Belastung einzustufen. Die Werte im Rahmen einer Normalbelastung können also mit der geplanten Prozessoptimierung in einen ungefährlichen Bereich für 21- bis 50-jährige Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verschoben werden.

Extremfall

In der Kategorie des Extremfalles können ebenfalls Erfolge erzielt werden. Bei den Männern kann die Belastung von der Bewertung «erhöht» beim IST-Prozess auf die Bewertung «wesentlich» beim SOLL-Prozess gesenkt werden. In diesem Bereich stellt die Belastung für 21- bis 50-jährige Männer kein Problem dar.

Bei den Frauen kann ebenfalls eine deutliche Reduktion des Wertes erreicht werden. Der Wert bleibt allerdings immer noch im Bereich «erhöhte Belastung». Daher muss bei der Arbeitsverteilung darauf geachtet werden, dass von Mitarbeiterinnen keine zu häufigen Anhebungen von Laufschienen verlangt werden.

4.9.2 Stoss- und Zugkraft für Transportwagenbewegung

Neben den maximalen Hebelasten müssen ebenfalls die Stoss- und Zugkräfte für Bewegungen des Transportwagens evaluiert werden. Auch für die Ermittlung dieser Kräfte stellt die Suva wiederum ein Prüfmittel zur Verfügung, welches die verschiedenen Transporthilfsmittel bewertet. Um eine sinnvolle Bewertung eines Transportwagens durchführen zu können, müssen wiederum alle Punkte systematisch abgearbeitet werden. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Punkte aus dem Prüfmittel vorgestellt und analysiert. Bei Interesse kann der komplette Bewertungskatalog im Anhang nochmals im Gesamten studiert werden.

Verwendetes Transportmittel

Zu Beginn wird der Grundaufbau des Transportwagens ergründet, damit später die verschiedenen Belastungen auf den menschlichen Körper entsprechend dem Transportmittel erforscht werden können. Ein Transportwagen für Laufschiene fällt in die Kategorie «Wagen mit einer Starrachse und einem oder zwei Lenkrollen».


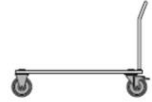
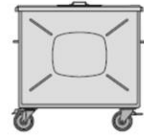
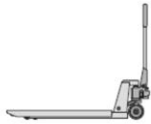



Verwendetes Transporthilfsmittel			
<input type="checkbox"/> Karren (1 oder 2 Räder)	<input checked="" type="checkbox"/> Wagen mit einer Starrachse und einer oder zwei Lenkrollen	<input type="checkbox"/> Wagen mit 4 unabhängigen Lenkrollen	<input type="checkbox"/> Wagen mit Deichsel, Handhubwagen
			
			

Abbildung 34: Verwendetes Transportmittel

Anschliessend werden die Merkmale der Montageflächen abgefragt, welche Auswirkungen auf die Nutzung des Transportwagens haben können. Für eine Anwendung in der Montageabteilung muss zwingend dafür gesorgt werden, dass alle diese Punkte im grünen Bereich liegen. Dies ist aber in der Werkstatt der Montageabteilung Güdel in den meisten Fällen bereits gewährleistet. Lediglich das Bewegen eines Transporthilfsmittels im Zweierteam muss in die neue Konstruktion miteinbezogen werden.

Bedingung	Trifft zu	+/-	Trifft nicht zu
Die Wege sind frei, ohne blockierende Schwellen oder Behinderungen.			
Die Fahrwege sind gerade, ohne enge Kurven.			
Der Boden ist flach, keine Passagen mit Gefälle über 5%.			
Der Boden ist sauber, trocken und griffig.			
Die Sicht ist frei.			
Geeignete Transporthilfen stehen zur Verfügung.			
Schwierig zu lenkende Transporthilfsmittel (z.B. Container) werden zu zweit geführt.			
Transporthilfsmittel mit grossem Radabstand (z.B. Krankenbett) werden zu zweit geführt.			
Die Transportmittel werden gewartet.			
Zweckdienliche Persönliche Schutzausrüstung steht zur Verfügung (z.B. Handschuhe oder Schutzschuhe).			
Das Ladegut ist korrekt gesichert.			

Abbildung 35: Äussere Einflüsse auf den Transportwagen

Anstoss- oder Anzugsgewicht

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist das Anstoss- oder Anzugsgewicht, welches beim Anschieben des Transportwagens vonnöten ist. Es ist dabei zwingend ein Wert unter 25 kg anzustreben. Falls möglich sollte der angestrebte Wert gar bei ca. 15 kg liegen.

Frauen	Männer				
0–7 kg	0–12 kg	1			
7–15 kg	12–25 kg	2	Weniger als 5 mal pro Stunde	5–12 mal pro Stunde	Mehr als 12 mal pro Stunde
über 15 kg	über 25 kg	3			

Abbildung 36: Grenzwerte für Stosskräfte

Griffhaltung

Für die Ergonomie essenziell ist die Griffhaltung. Hier müssen direkt mehrere Aspekte berücksichtigt werden, welche bei einem Transportwagen einen Einfluss auf die Ergonomie haben.

Für die Konstruktion des Transportwagens für Laufschiene sind drei Bewertungsfaktoren von Bedeutung. Erstens muss darauf geachtet werden, dass der Mitarbeiter möglichst einen 90°-Winkel mit dem Ellenbogen während dem Bewegen des Transportwagens erreicht.

Zweitens ist ebenfalls die Höhe der Greifzone entscheidend. Diese sollte zwischen Hüft- und Brusthöhe liegen, was in Zahlenwerten einer Höhe von 75-110 cm entspricht.

Der dritte und letzte Aspekt beschäftigt sich mit der Fussfreiheit während dem Transport. Es muss darauf geachtet werden, dass genügend Platz für die Füße vorhanden ist, sodass ein Einklemmen des Fusses unter dem Transportwagen nicht möglich ist.

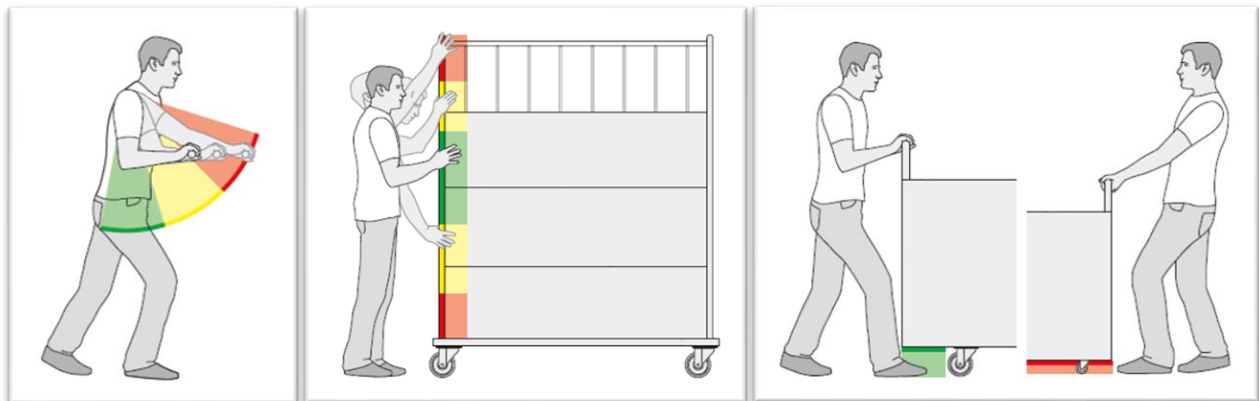


Abbildung 37: Bewertungsfaktoren Griffhaltung

Beurteilung der einzelnen Faktoren

Für die Beurteilung werden die einzelnen Farben der angekreuzten Felder zusammengezählt und in eine Auswertungstabelle eingetragen.

Zusammenzug aus den Abschnitten 1 bis 3	Anzahl Einstufungen pro Abschnitt		
	grün	gelb	rot
1 Äussere Bedingungen			
2 Körperliche Belastung ganzer Arbeitsablauf			
3 Körperliche Belastung in der anstrengendsten Einzelsituation			
Gesamtsumme der Einstufungen	0	0	0

Abbildung 38: Beurteilung der Faktoren

Nachdem alle eingetragenen Werte miteinander addiert wurden, kann anhand einer Gefahreneinstufung erkannt werden, ob Massnahmen ergriffen werden müssen oder ob der Transportwagen ohne Anpassungen in Betrieb genommen werden kann.

Beurteilung	Einstufung	Handlungsbedarf
Keine offensichtliche Fehlbelastung oder nur während kurzer Zeit. Es sind keine gesundheitlichen Gefährdungen zu erwarten.	alle grün	Im Normalfall kein Handlungsbedarf. Für Jugendliche, ältere oder reduziert leistungsfähige Mitarbeitende können Schutzmassnahmen angezeigt sein.
Fehlbelastungen während begrenzter Zeit vorhanden. In Kombination mit anderen Fehlbelastungen, können gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden.	bis 5 × gelb	Schutzmassnahmen sind auf jeden Fall notwendig:
	ab 6 × gelb	
Inakzeptable Fehlbelastung, wenn häufig, oder während längerer Zeit ausgeführt, ist eine Gefährdung der Gesundheit wahrscheinlich.	1 × rot oder mehr	wer: _____ bis: _____

Abbildung 39: Gefahreneinstufung

Die wichtigsten Punkte für die Konstruktion des Transportwagens sind somit bekannt und können für die Erstellung der Anforderungsliste genutzt werden.

4.9.3 Hand-Greifkraft

Ein weiterer wichtiger Punkt für die Konstruktion der Montagehilfen ist die Handkraft, auch Greifkraft genannt. Die Greifkraft gibt an, welche Kraft eine Person beim Zupacken auf einen Gegenstand auswirken kann. Daher ist die Greifkraft für die Konstruktion einer Zange elementar und muss vorgängig erhoben werden. Die Handkraft wird in keinem Dokument der Suva klar definiert und geregelt, daher muss auf Erfahrungswerte aus Studien zurückgegriffen werden. Nach einer Recherche bot sich ein Dokument der Universität Wien an, welches von einer Studie über die Greifkraft von Männern und Frauen unterschiedlichen Alters handelt. In der Studie wurde mithilfe eines Smedley-Dynamometers die Greifkraft von 11`790 Personen erhoben und verglichen.



Abbildung 40: Smedley-Dynamometer

Damit aus der Studie eine Referenz für die Montagehilfen extrahiert werden kann, wird lediglich die Altersgruppen von 20- bis 64-jährigen betrachtet. In der untenstehenden Tabelle sind jeweils minimale Kraft und Maximalkraft aufgeführt. Die kompletten Studienergebnisse können dem Anhang entnommen werden.

Geschlecht	Mindestkraft	Maximalkraft
Frauen 20-64 Jahre	25.8 Kg	38 Kg
Männer 20-64 Jahre	42.8 Kg	57.3 Kg

Tabelle 13: Greifkraftvergleich Männer/Frauen

Somit beträgt die kleinste gemessene Kraft 25.8 kg. Dies entspricht etwa einer Kraft von 253 Newton. Da die Kraftmessungen aus der Studie allerdings der maximal möglichen Greifkraft der jeweiligen Testperson entsprechen, muss die für die Montagehilfe definierte Greifkraft deutlich unter diesem Wert liegen. Es wird daher eine Greifkraft von 80 Newton angestrebt, damit die MitarbeiterInnen die Montagehilfe ohne Probleme auch über einen längeren Zeitraum verwenden können.

4.9.4 Belastungsgrenzen Stossverbinder

Beim Stossverbinder muss auf die Greifkraft geachtet werden, damit es nicht zu einer Überlastung der Hand kommt. Ebenfalls muss das Gesamtgewicht des Stossverbinders im Rahmen gehalten werden, damit keine zu grosse und deshalb schädliche Last während der Anwendung angehoben werden muss. Der Stossverbinder soll daher möglichst leicht designt werden.

Folgende Grenzwerte sollen in die Anforderungsliste miteinfließen:

- Hand-Greifkraft 80 Newton

4.9.5 Belastungsgrenzen Transportwagen

Beim Transportwagen müssen zwei Aspekte beachtet werden. Zum einen müssen die ergonomischen Aspekte der Stoss- und Zugkraft beachtet werden, denn der Mitarbeiter sollte beim Verschieben des Transportwagens nicht überlastet werden. Der zweite wichtige Aspekt stellt die maximale Hebekraft dar. Diese ist als die maximale Kraft definiert, die ein Mitarbeiter aufbringen darf, um eine Laufschiene am TrackMotion anzubringen. Dabei basiert die Auslegung auf die Fallbeispiele aus Unterkapitel 4.9.1 «Anheben von Lasten».

- Anstossgewicht zwischen 15 und max. 25 kg
- Griffanschläge zwischen 75 und 110 cm
- Anzustrebende 90°-Ellenbogenhaltung
- Genügend Fussraumfreiheit

4.10 Konzeptionierung Montagehilfen

Da der SOLL-Prozess nun entwickelt ist und die Arbeitsvorschriften für die zu optimierenden Arbeitsschritte bekannt sind, beginnt die konkrete Ausarbeitung der neuen Montagehilfen. Diese werden mithilfe einer eigenen Anforderungsliste, eines Morphologischen Kastens und den jeweils daraus entstehenden Konzeptskizzen von Grund auf neu entwickelt. Es wird mit der Ausarbeitung des Stossverbinders begonnen, worauf im Anschluss dasselbe Prinzip auch bei der Ausarbeitung des Transportwagens angewendet wird.

4.11 Konzeptionierung Stossverbinder

Als erste neue Montagehilfe wird der Stossverbinder erarbeitet. Wie vorgängig beschrieben, entfällt bei Anwendung des Stossverbinders das händische Zusammenziehen der Schienenstösse. Dadurch hat der Mitarbeiter für die Bedienung des Furchapparats beide Hände frei zur Verfügung.

4.11.1 Anforderungsliste Stossverbinder

Zu Beginn der Konstruktion muss eine Anforderungsliste erstellt werden, die eine Übersicht über die gewünschten Funktionen des Stossverbinders ermöglicht. Es werden in der Anforderungsliste sowohl Soll- als auch Wunschziele definiert. Zudem werden auch die wichtigsten Werte und Daten eingetragen, sodass die Anforderungsliste einige Merkmale der Montagehilfe schon einmal grob skizziert.

Nr.	Anforderung	Forderung	Wunsch	Werte und Daten
0	Funktion: Der Stossverbinder soll den Schienenstoss autonom zusammenziehen, damit der Mitarbeiter beide Hände für andere anfallende Tätigkeiten frei hat.			
1	Geometrie			
1.1	Verstellbare Aufnahmen für Schienenanschlagpunkte	x		mögliche Anschlagpunkte: 50mm, 75mm, 100mm
1.2	Für beide Laufschienebaugrößen geeignet		x	Baugrößen: M10, M12
1.3	Kompakte Bauweise, keine abstehenden Komponenten (Tiefe)	x		Tiefe: max. 100 mm
2	Kinematik			
2.1	Applikation per Handkraft	x		
2.2	Möglichst kleine Griffweite für den Anwender		x	Griffweite max. 90 mm
2.3	Schutz vor Selbstzerstörung der Montagehilfe im Rahmen inadäquater Anwendung durch Mitarbeiter		x	mechanische Wegbegrenzungen
3	Kräfte			
3.1	Doppelte Sicherheit	x		
3.2	Bedienung mittels Handkraft	x		max. 80 N
3.3	Klemmkraft durch Federkraft	x		
4	Sicherheit			
4.1	Einklemmschutz für Finger	x		Wegbegrenzung mit Stellschraube
4.2	Keine scharfkantigen Teile	x		
4.3	Minimale Verletzungsgefahr	x		
5	Werkstoffe			
5.1	Aluminium		x	
5.2	Duroplastische Kunststoffe		x	
5.3	3D-Druck-fähiges Material		x	

6	Fertigung			
6.1	Möglichst simple Bauteile	x		
6.2	3D-Druck-Bauteile		x	
6.3	Maschinelle Fertigung möglich	x		
7	Montage			
7.1	Schnelle, unkomplizierte Montage	x		
7.2	Standardbauteile von Lieferanten verwendbar		x	
8	Instandhaltung, Wartung und Service			
8.1	Keine Wartung nötig	x		
9	Gebrauch			
9.1	Durch Mitarbeiter der Montageabteilung	x		
9.2	Bedienung ohne zusätzliches Werkzeug	x		
9.3	Unterbringung auf dem Transportwagen des Furchapparats		x	
10	Kosten			
10.1	Möglichst tiefe Materialkosten		x	100.- (Materialkosten)

Tabelle 14: Anforderungsliste Stossverbinder

Durch die obige Anforderungsliste sind die wichtigsten Punkte für den Stossverbinder festgelegt. Es werden im Anschluss mithilfe eines Morphologische Kastens verschiedene Möglichkeiten in Bezug auf Aufbau und Funktion des Stossverbinders aufgezeigt. Der Morphologische Kasten dient des Weiteren der Ideenfindung für die Konzeptskizzen, welche später im Text dargestellt und dokumentiert werden.

4.11.2 Morphologischer Kasten Stossverbinder

1 Schienenanschlagnpunkte			
1.1 Schienenoberfläche	1.2 erste Bohrungen	1.3 Schienenmitte	
			
2 Materialauswahl			
2.1 Aluminum	2.2 Kunststoffe / 3 Druck	2.3 Stahl	
			
3. Gelenkmechanik			
3.1 Passschraube	3.2 Gleitlagerung	3.3 Kugellager	
			
4. Handgriff			
4.1 kein spezieller Handgriff	4.2 3D Druck Handgriff	4.3 Standardhandgriff	
			
5 Schienenbefestigung für Verspannung			
5.1 Magnetbefestigungspunkt	5.2 Rundbolzen für Schienenlöcher	5.3 Saugheber als Anschlagspunkt	
			
6 Erzeugung Verspannungskraft			
6.1 Feder	6.2 Exzenter	6.3 Spindel	6.4 Gummispanner
			

Abbildung 41: Morphologischer Kasten

4.11.3 Bewertung Morphologischer Kasten

GW = Gewichtungsfaktor V = Variante Pkt. = Punkte GP = Gewichtungsfaktor x Punkte
Punkteskala: 4 = sehr gut, 3 = gut, 2 = ausreichend, 1 = gerade noch tragbar,
 0 = unbrauchbar

1. Schienenanschlagspunkt		Bewertung der Varianten					
		V1.1		V1.2		V1.3	
Bewertungskriterien	GW	Pkt.	GP	Pkt.	GP	Pkt.	GP
Montage	4	3	12	4	16	3	12
Sicherheit	3	3	9	3	9	3	9
Kosten	2	2	4	3	6	2	4
Geschwindigkeit	3	4	12	4	12	3	9
Baugrösse	3	3	9	3	9	1	3
Summe		46		52		37	

2. Materialauswahl		Bewertung der Varianten					
		V2.1		V2.2		V2.3	
Bewertungskriterien	GW	Pkt.	GP	Pkt.	GP	Pkt.	GP
Gewicht	4	3	12	4	16	2	8
Fertigung	2	3	6	2	4	3	6
Kosten	3	3	9	2	6	3	9
Summe		27		26		23	

3. Gelenkmechanik		Bewertung der Varianten					
		V3.1		V3.2		V3.3	
Bewertungskriterien	GW	Pkt.	GP	Pkt.	GP	Pkt.	GP
Kosten	2	4	8	3	6	3	6
Montage	2	4	8	4	8	3	6
Dauerbelastung / Verschleiss	4	2	8	4	16	4	16
Herstellung / Fertigung	3	4	12	3	9	2	6
Summe		36		39		34	

GW = Gewichtungsfaktor V = Variante Pkt. = Punkte GP = Gewichtungsfaktor x Punkte
Punkteskala: 4 = sehr gut, 3 = gut, 2 = ausreichend, 1 = gerade noch tragbar,
 0 = unbrauchbar

4. Handgriff	Bewertung der Varianten						
		V4.1		V4.2		V4.3	
Bewertungskriterien	GW	Pkt.	GP	Pkt.	GP	Pkt.	GP
Kosten	2	4	8	3	6	2	4
Ergonomie	4	1	4	3	12	3	12
Sicherheit	3	1	3	3	9	3	9
Summe		15		27		25	

5. Schienenbefestigung für Verspannung	Bewertung der Varianten						
		V5.1		V5.2		V5.3	
Bewertungskriterien	GW	Pkt.	GP	Pkt.	GP	Pkt.	GP
Sicherheit	3	3	9	3	9	2	6
Kosten	2	2	4	3	6	2	4
Montage	3	2	6	4	12	2	6
Geschwindigkeit	4	2	8	4	16	3	12
Summe		27		43		28	

6. Erzeugung Verspannungskraft	Bewertung der Varianten								
		V6.1		V6.2		V6.3		V6.4	
Bewertungskriterien	GW	Pkt.	GP	Pkt.	GP	Pkt.	GP	Pkt.	GP
Kosten	3	4	12	2	6	3	9	4	12
Sicherheit	3	3	9	3	9	3	9	3	9
Montage	2	3	6	2	4	2	4	2	4
Bedienbarkeit	3	4	12	2	6	3	9	3	9
Komplexität der Mechanik	3	4	12	2	6	2	2	2	2
Summe		51		31		33		36	

4.11.4 Konzeptskizzen Schienenstossverbinder

Basierend auf dem erarbeiteten Morphologischen Kasten wurden Konzepte für den Stossverbinder erarbeitet. Nachfolgend werden drei Konzepte aufgezeigt, erläutert und zum Schluss einer Bewertung unterzogen, damit sich das am besten geeignete Konzept herauskristallisiert. Es wird im Anschluss konkretisiert.

Konzeptskizze A, Exzentermechanik

Nach händischer Betätigung eines Spannhebels soll mithilfe eines Exzenterbolzens die Verspannung der Laufschiene erreicht werden. Die verspannte Position soll dann mithilfe eines Arretier-Stifts gehalten werden, wodurch der Mitarbeiter anschliessend beide Hände zum Bedienen des Furchapparats frei hat. Damit der Stossverbinder bereits vor der Verspannung an den Laufschiene haftet, wird zusätzlich ein Magnet in den Verbinder integriert.

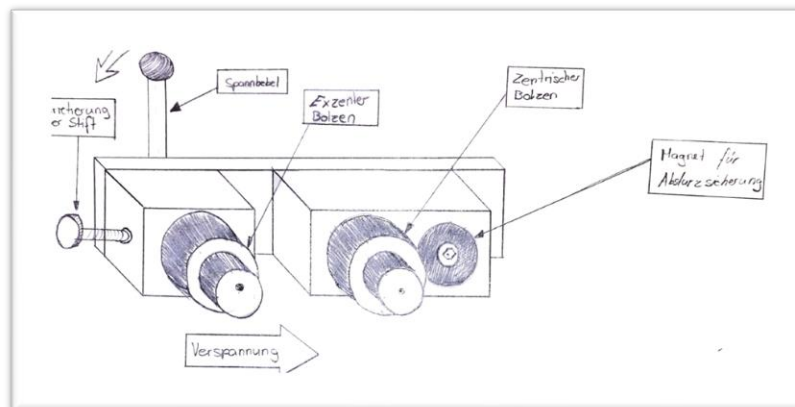


Abbildung 42: Konzeptskizze Exzenter

Konzeptskizze B, Gewindemechanik

Bei der Gewindemechanik wird das Zusammenziehen der Laufschiene mithilfe einer Gewindespindel erreicht. Dabei wird die Festseite (auf der untenstehenden Abbildung der Quader rechts) mit einem zentrischen Bolzen direkt auf der Grundplatte verschraubt. Auf der Festseite wird ebenfalls eine Gewindespindel mittels messingernem oder bronzenem Gewindeinsatz fixiert. Die Loseseite (auf der untenstehenden Abbildung der Quader links) wird dagegen mithilfe von Langlöchern und Passschrauben verschiebbar auf der Grundplatte montiert. Die Gewindespindel wird an der Loseseite mit einem Kugellager befestigt und ermöglicht so das Verschieben des zentrischen Bolzens, womit eine Verspannung erzielt werden kann. Die Verspannung der Laufschiene wird dabei durch einen an der Spindel befestigten Handhebel von Hand ausgelöst. Ähnlich wie bei der Exzentermechanik wird die Montagehilfe mit einem integrierten Magneten vor einem allfälligen Absturz bewahrt.

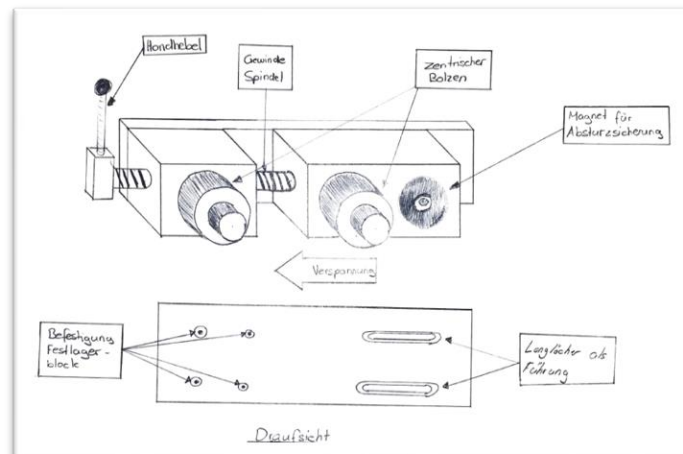


Abbildung 43: Konzeptskizze Spindel

Konzeptskizze C, Federmechanik

Im Sinne des Konzepts Federmechanik erfolgt die Verspannung der Laufschienen durch Federkraft. Es wird ein Gelenkpunkt definiert, welcher das Zentrum der Verspannzange bildet. Anschliessend wird die obere Seite der beiden Hebelarme als Handgriff verwendet, während die untere Seite als Anschlagpunkt an der Schiene dient. Die Feder wird dabei an der unteren Seite zwischen die beiden Hebelarme eingebaut. Somit wird das Ausüben einer dem Hebelgesetz entsprechenden Kraft auf den Schienenstoss ermöglicht. Im Sinne des Hebelgesetzes kann nach Errechnen der durch den Mitarbeiter aufzuwendenden Kraft die optimale Handgrifflänge definiert werden. Schrauben zwischen den Handgriffen sollen zudem durch Einschränkung des Bewegungsradius ein Überspannen der Feder verhindern. Eine ähnliche Funktion übernimmt eine Schraube an der Anschlagseite. Sie sorgt dafür, dass die Feder nie vollständig entlastet wird und somit nicht aus den Haltetaschen rutscht.

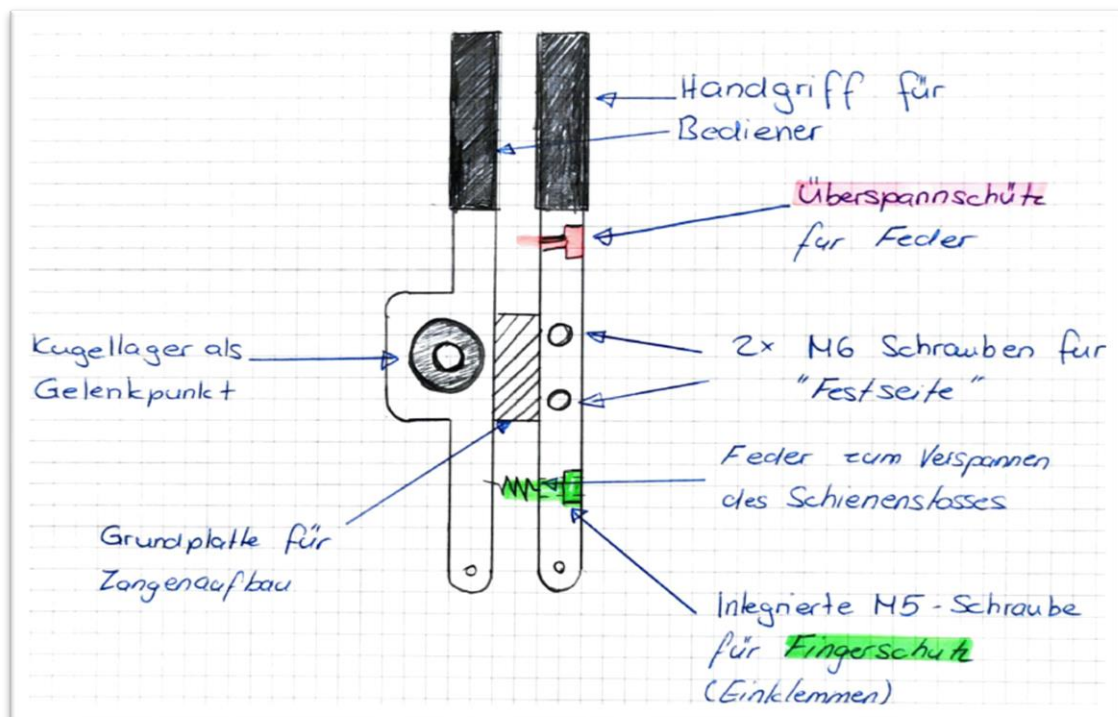


Abbildung 44: Konzeptskizze Federmechanik

4.11.5 Technische / Wirtschaftliche Bewertung der Konzeptskizzen Stossverbinder

Für die Evaluation des am besten geeigneten Konzepts, wird eine technische und eine wirtschaftliche Bewertung aller drei Konzepte vorgenommen. Es werden dabei verschiedene im Vorfeld definierte Faktoren in die Bewertung miteinbezogen. Zum Schluss der Bewertung wird anhand der Punkteverteilung in den einzelnen Kriterien die Gesamtbewertung errechnet und das Konzept mit der besten Gesamtbewertung wird konkret ausgearbeitet.

Punkteskala:

4 Punkte = sehr gut

3 Punkte = gut

2 Punkte = ausreichend

1 Punkt = gerade noch tragbar

0 Punkte = unbefriedigend

Technische Bewertung

Bewertungskriterien	Konzept A	Konzept B	Konzept C	Maximum
Platzbedarf	3	3	4	4
Anzahl Teile / Komplexität	2	2	3	4
Ergonomie	3	3	4	4
Montage / Anbringung	3	3	3	4
Anbaugeschwindigkeit	4	3	4	4
Summe	15	14	18	20

Technische Wertigkeit:

$\frac{\text{SummeKonzept}}{\text{SummeMaximum}}$

0.75

0.7

0.9

Tabelle 15: Technische Bewertung Stossverbinder

Wirtschaftliche Bewertung

Die wirtschaftliche Wertigkeit wird nur relativ zu den anderen Konzepten bewertet, das heisst es werden keine konkreten Kosten angegeben.

Bewertungskriterien	Konzept A	Konzept B	Konzept C	Maximum
Fertigungskosten	2	2	3	4
Bedienerfreundlichkeit	3	3	3	4
Recycling	3	3	3	4
Flexibilität	3	3	4	4
Summe	11	11	13	16

Wirtschaftliche Wertigkeit:

$\frac{\text{SummeKonzept}}{\text{SummeMaximum}}$

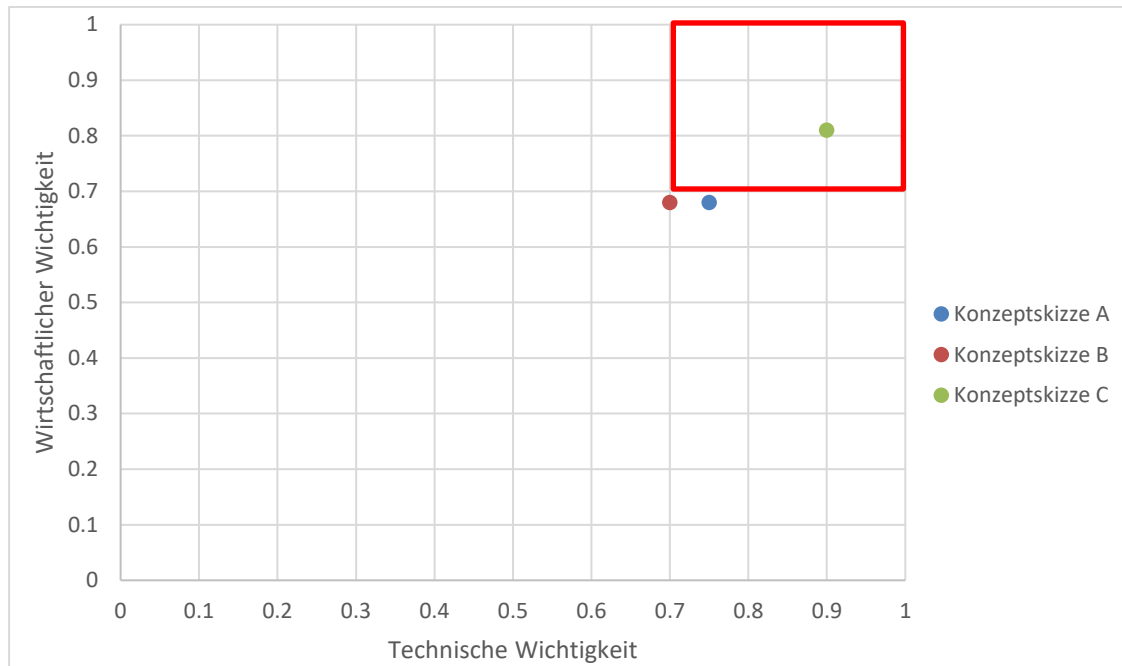
0.68

0.68

0.81

Tabelle 16: Wirtschaftliche Bewertung Stossverbinder

S-Diagramm



Fazit

Skala der Wertigkeiten

- sehr gute Lösung Wt > 0.8
- gute Lösung Wt = 0.7
- unbefriedigende Lösung Wt < 0.6

Konzept A:

Wie man in der obigen Grafik gut erkennen kann, befindet sich das Konzept A ausserhalb des Bereiches einer guten Lösung. Die Exzentermechanik kommt weniger gut mit den Toleranzunterschieden der Laufschiene zurecht, da mit dem Arretier-Stift lediglich eine einzige Position möglich ist.

Konzept B:

Auch Konzept B befindet sich ausserhalb des Bereiches einer guten Lösung. Das Funktionsprinzip mit der Spindel ist durch seine Selbsthemmung technisch zwar eine gute Lösung, für Kleinserien kommt die Herstellung einer Spindel aber verhältnismässig teuer und deshalb weniger interessant.

Konzept C

Das Konzept B erreicht mit $Wt > 0.7$ die beste Bewertung im S-Diagramm. Das Konzept C überzeugt vor allem durch seinen simplen Aufbau und seine kompakte Bauform in Bezug auf seine Tiefe, welche beim Montieren der Laufschiene begrenzt ist.

4.11.6 Konzeptentscheid

Basierend auf diese Auswertung konnte das Konzept C evaluiert werden, welches am besten auf die Anwendungsanforderungen zugeschnitten ist. Das somit gewählte Konzept wurde im Morphologischen Kasten mit einer grünen Linie ersichtlich gemacht. Konzept C kann nun in die definitive Entwurfsphase übergehen.

4.12 Konzeptionierung Transportwagen

Als weitere Montagehilfe soll ein Transportwagen entwickelt werden. Dabei sollen jegliche Verbesserungsansätze aus der IST-Prozessanalyse in den neu erarbeiteten Transportwagen einfließen.

4.12.1 Anforderungsliste Transportwagen

Wie schon beim Stossverbinder, wird zu Beginn eine Anforderungsliste für den Transportwagen erstellt, um eine Übersicht seiner erwünschten Funktionen zu erhalten. In der Anforderungsliste werden ebenfalls Soll- und Wunschziele definiert.

Nr.	Anforderung	Forderung	Wunsch	Werte und Daten
0	Funktion: Der Transportwagen soll die anzuhebende Last der Laufschiene minimieren und den einzelnen Mitarbeiter somit entlasten.			
1	Geometrie			
1.1	Höhenverstellbar für die Schienenentnahme		x	
1.2	Mobilität der gesamten Konstruktion	x		Schwerlastrollen
1.3	Transportkapazität umfasst mehrere Laufschiene gleichzeitig		x	Für circa 20 Meter TrackMotion: 10 Laufschiene und 5 Zahnstangen
1.4	Schmale Bauweise in Bezug auf die Breite	x		Breite: max. 800 mm
2	Energie			
2.1	Schienebewegung per Handkraft	x		
2.2	Fahrbewegung per Muskelkraft	x		
3	Kräfte			
3.1	Maximale Schiebelast für den Mitarbeiter		x	max. 300N
3.2	Maximale Hebelast für den Mitarbeiter	x		max. 15 kg
4	Sicherheit			
4.1	Doppelte Sicherheit	x		
4.2	Keine scharfkantigen Komponenten	x		
4.3	Minimale Verletzungsgefahr	x		

5	Ergonomie			
5.1	Simple Bedienung	x		
5.2	Vordefinierte Griffpunkte für den Mitarbeiter	x		Stoss- und Zugpunkte definieren
5.3	Aufrechtes Stehen während der Montage möglich		x	
5.4	Ergonomische Höhe der Griffhaltung	x		75 – 110 cm 90°-Ellenbogenhaltung
5.5	Genügend Fussraumfreiheit	x		
6	Herstellung			
6.1	Mit Aluprofilen (Eigenfertigung)		x	
6.2	Schweisskonstruktion		x	
6.3	Einfache Bauteile, mögliche Fertigung in der Lehrwerkstatt		x	
6.4	Einfache Schlussmontage der Bauteile	x		
7	Instandhaltung, Wartung und Service			
7.1	Minimale Wartungsaufgaben			
8	Gebrauch			
8.1	Einsatz neben dem TrackMotion während der Schienenmontage	x		

Tabelle 17: Anforderungsliste Transportwagen

Durch die erarbeitete Anforderungsliste sind die wichtigsten Punkte für den Transportwagen festgelegt. Nun werden im Rahmen eines Morphologischen Kastens verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, wie Funktion und Aufbau des Transportwagens aussehen könnten. Der Morphologische Kasten dient auch der Ideenfindung für die nachfolgenden Konzeptskizzen.

4.12.2 Morphologischer Kasten Transportwagen




1 Fahrsystem		
1.1 4x Lenkbare Räder	1.2 2x Lenkbare- 2x Feste Räder	1.3 Unterbau für Rollwagen
		
2 Materialwahl		
2.1 Aluminum	2.2 Güdel Profilstangen	2.3 Stahl
		
3. Haltegriff für Mitarbeiter		
3.1 Handbarren	3.2 2-fach Handgriffe	
		
4. Funktionsprinzip Höhenverstellung (Wunschziel)		
4.1 Scherenheber	4.2 Seilzug	4.3 Umlaufregal
		
5 Antrieb Höhenverstellung (Wunschziel)		
5.1 Handkurbel	5.2 Fusspedal	5.3 Koplung über Vorwärtsbewegung
		

Abbildung 45: Morphologischer Kasten Transportwagen

4.12.3 Bewertung Morphologischer Kasten

GW = Gewichtungsfaktor V = Variante Pkt. = Punkte GP = Gewichtungsfaktor x Punkte
Punkteskala: 4 = sehr gut, 3 = gut, 2 = ausreichend, 1 = gerade noch tragbar,
 0 = unbrauchbar

1. Fahrsysteme	Bewertung der Varianten						
	GW	V1.1		V1.2		V1.3	
		Pkt.	GP	Pkt.	GP	Pkt.	GP
Bewertungskriterien							
Montage	2	3	6	3	6	4	8
Sicherheit	3	4	12	4	12	2	6
Kosten	2	3	6	3	6	2	4
Flexibilität	3	4	12	3	9	2	6
Baugrösse	3	4	12	4	12	2	6
Fahrstabilität	4	3	12	4	16	4	16
Summe			60		61		46

2. Materialauswahl	Bewertung der Varianten						
	GW	V2.1		V2.2		V2.3	
		Pkt.	GP	Pkt.	GP	Pkt.	GP
Bewertungskriterien							
Gewicht	2	4	8	4	8	2	4
Fertigung	3	3	9	3	9	3	9
Kosten	3	3	9	2	6	4	12
Festigkeit	4	2	8	3	12	4	16
Summe			34		35		41

3. Haltegriff für Mitarbeiter	Bewertung der Varianten				
	GW	V3.1		V3.2	
		Pkt.	GP	Pkt.	GP
Bewertungskriterien					
Kosten	3	4	12	4	12
Ergonomie	4	3	12	3	12
Bewegungsfreiheit	4	3	12	4	16
Summe			36		40

GW = Gewichtungsfaktor V = Variante Pkt. = Punkte GP = Gewichtungsfaktor x Punkte
Punkteskala: 4 = sehr gut, 3 = gut, 2 = ausreichend, 1 = gerade noch tragbar,
 0 = unbrauchbar

4. Funktionsprinzip Höhenverstellung	GW	Bewertung der Varianten					
		V4.1		V4.2		V4.3	
Bewertungskriterien		Pkt.	GP	Pkt.	GP	Pkt.	GP
Kosten	3	3	9	3	9	2	6
Montage	2	3	6	3	6	2	4
Transportmenge	4	4	16	3	12	2	8
Herstellung	2	3	6	4	8	3	6
Beladen der Laufschiene	4	4	16	2	8	3	12
Summe			53		43		36

5. Antrieb für Höhenverstellung	GW	Bewertung der Varianten					
		V5.1		V5.2		V5.3	
Bewertungskriterien		Pkt.	GP	Pkt.	GP	Pkt.	GP
Funktionalität	4	3	12	2	8	4	16
Kosten	2	4	8	3	6	2	4
Sicherheit	3	3	9	2	6	3	9
Geschwindigkeit	4	2	8	2	8	4	16
Summe			37		28		45

Konzeptskizze A, Scherenhubtisch mit 2 Ladetischen

Als Basis wird ein Transportwagen konstruiert, auf welchem die einzelnen Laufschiene gestapelt werden können. Dabei werden auf der linken Seite des Transportwagens Laufschiene und Zahnstangen für die Montage auf der Zahnstangenseite gestapelt. Die rechte Seite des Transportwagens wird dagegen nur mit Laufschiene bestückt für die Laufschiene montage auf der Laufschienseite. Somit werden die Schiene respektive Zahnstangen der entsprechenden Seiten des TrackMotion's während des Montagevorgangs praktischerweise voneinander getrennt aufbewahrt, wodurch eine bessere Übersichtlichkeit gewonnen werden kann.

Für die beiden Monteure, welche die Laufschiene zusammen anbringen, sind in Fahrtrichtung an beiden Seiten des Transportwagens Stoss- und Zuggriffe angebaut, damit der Transportwagen zu zweit bewegt werden kann. Die Front des Transportwagens besitzt zwei lenkbare Rollen, die die Steuerung des Wagens ermöglichen. Zusätzlich können mithilfe von zwei kleinen Scherenhubtischmechaniken auf dem Transportwagen die Laufschiene wie auch die Zahnstange auf die Entnahmehöhe gebracht werden. Die Mechanik der beiden Scheren wird getrennt voneinander angesteuert, damit beide Seiten des TrackMotion einzeln abgearbeitet werden können. Der Antrieb dieser Scherenmechanik wird dabei durch zwei getrennt ansteuerbare Hydraulikzylinder gewährleistet. Die benötigte Hydraulikenergie wird mittels einer Hydraulikpumpe erzeugt, welche durch die hintere, nicht steuerbare Achse angetrieben wird.

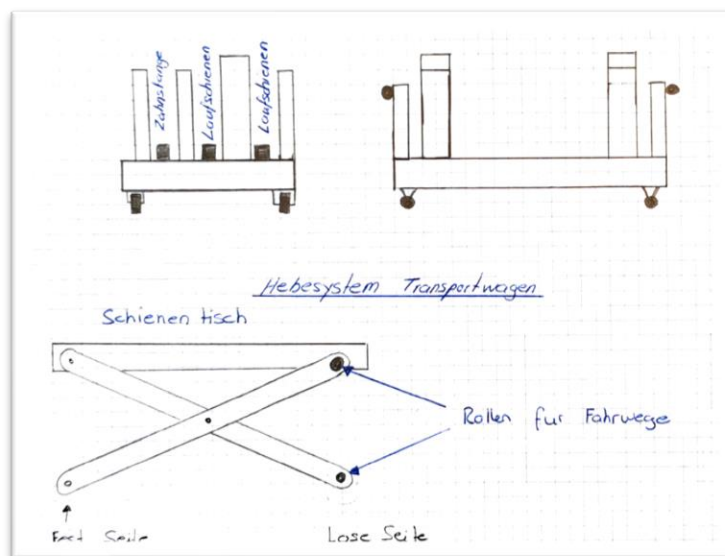


Abbildung 46: Konzeptskizze Scherenhubtisch

Konzeptskizze B, Umlaufregal für Schienenlagerung

Durch eine Transportkette mit Auslegern für die Laufschiene soll eine Höhenverstellung erreicht werden, Dabei werden die Laufschiene zu Beginn der Montage mittels Manipulators auf die Transportkette aufgesetzt. Nach Ankunft am TrackMotion kann mit einer Handkurbel die Entnahmehöhe verstellt werden. Alternativ ist eine direkte Verbindung mit der hinteren Festachse denkbar, wodurch eine automatische Höhenverstellung möglich ist. In Fahrtrichtung sind Stoss- und Zuggriffe angebracht, mithilfe derer die Mitarbeiter den Transportwagen bewegen können. Der Transportwagen besitzt an der Front zudem zwei lenkbare Räder, wodurch er an eine optimale Position zum TrackMotion rangiert werden kann.

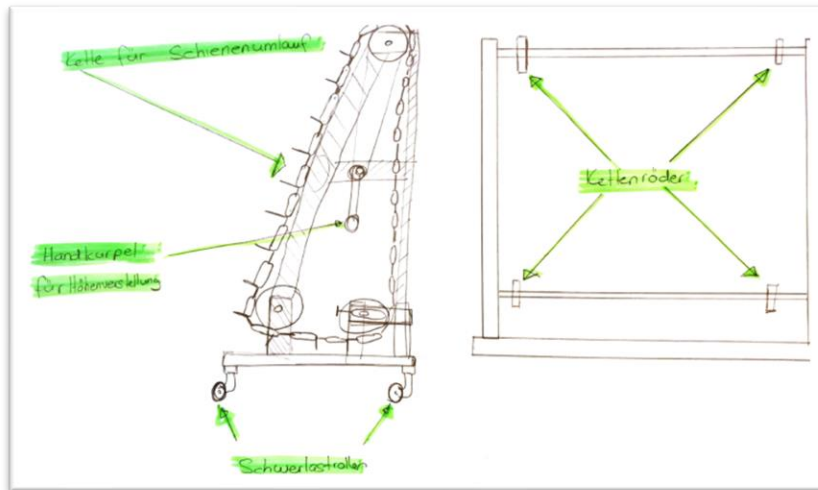


Abbildung 47: Konzeptskizze Umlaufregal

Konzeptskizze C, Senkrechtförderer mit Seilzug

Das Konzept des Senkrechtförderers umfasst ein ähnliches Prinzip wie das der Scherenmechanik. Dieser Transportwagen verfügt vorne ebenfalls über zwei lenkbare Räder. Für die Höhenverstellung der Laufschienen werden senkrechte Führungsschienen für Umlaufeinheiten angebracht, entlang derer die Schienenaufnahmen in der Höhe verfahren können. Zu Beginn des Montagevorgangs können in einer einzigen Schienenaufnahme gleichzeitig drei Laufschiene eingelegt werden. Die Schienenaufnahmen können entlang der Führungsschiene aufgefahren werden und mit Laufschiene bestückt werden. Die unterste Schienenaufnahme kann mithilfe eines auf der Stütze der Führungsschiene umgelenkten Seilzuges auf die entsprechende Entnahmehöhe bewegt werden. Dieser Vorgang wird durch Drehung eines Handhebels durchgeführt. Als zweite Möglichkeit steht ein mit der hinteren Festachse verbundener Seilzug im Raum, der eine automatische Höhenverstellung ermöglicht.

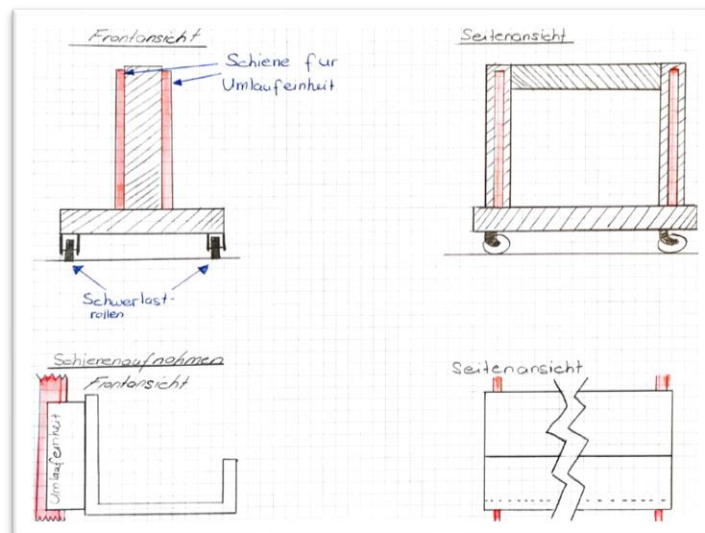


Abbildung 48: Konzeptskizze Senkrechtförderer

4.12.4 Technische / Wirtschaftliche Bewertung der Konzeptskizzen Transportwagen

Wie bereits beim Stossverbinder, wird nun auch beim Transportwagen sowohl eine technische wie auch eine wirtschaftliche Bewertung aller drei möglichen Konzepte bezüglich ihrer Eigenschaften durchgeführt.

Punkteskala:

4 Punkte = sehr gut

3 Punkte = gut

2 Punkte = ausreichend

1 Punkt = gerade noch tragbar

0 Punkte = unbefriedigend

Technische Bewertung

Bewertungskriterien	Konzept A	Konzept B	Konzept C	Maximum
Platzbedarf	3	3	3	4
Transportmenge	4	2	3	4
Stabilität	3	2	3	4
Beladeaufwand	4	2	2	4
Summe	14	9	11	16

Technische Wertigkeit:

$\frac{\text{SummeKonzept}}{\text{SummeMaximum}}$

$\frac{14}{16} = 0.88$ 0.56 0.69

Tabelle 18: Technische Bewertung Transportwagen

Wirtschaftliche Bewertung

Die wirtschaftliche Wertigkeit bewerten wir nur vergleichend, das heisst nicht mit konkreten Preisen.

Bewertungskriterien	Konzept A	Konzept B	Konzept C	Maximum
Fertigungskosten	3	2	2	4
Bedienerfreundlichkeit	3	2	3	4
Recycling	4	2	3	4
Flexibilität	4	3	2	4
Summe	14	9	10	16

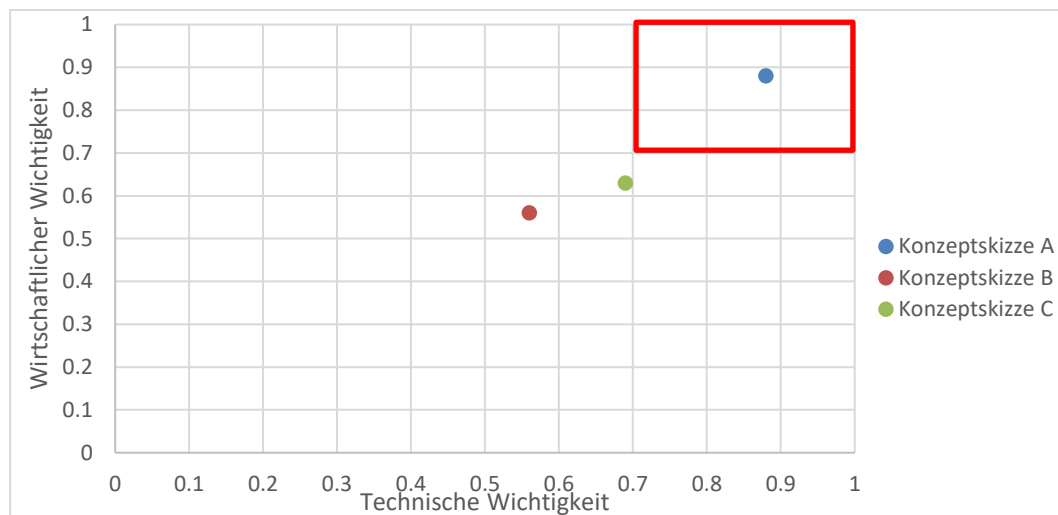
Wirtschaftliche Wertigkeit:

$\frac{\text{SummeKonzept}}{\text{SummeMaximum}}$

$\frac{14}{16} = 0.88$ 0.56 0.63

Tabelle 19: Wirtschaftliche Bewertung Transportwagen

S-Diagramm



Fazit

Skala der Wertigkeiten

- sehr gute Lösung Wt > 0.8
- gute Lösung Wt = 0.7
- unbefriedigende Lösung Wt < 0.6

Konzept A:

Wie anhand der Grafik gut erkennbar, erreicht das Konzept einen Wert über 0.8. Dieses Konzept überzeugt vor allem durch seine Vielseitigkeit. Es können grosse aber auch kleinere Mengen an Laufschiene ohne jegliche Anpassung transportiert werden. Ein zusätzlicher Vorteil liegt in der Tatsache, dass zuerst ein Transportwagen erstellt wird, welcher auch ohne automatische Höhenverstellung eingesetzt werden kann. Die Montageleitung der Module Montage kann sich infolgedessen sogar entscheiden, ob sie den Transportwagen mit oder ohne automatische Höhenverstellung wünscht. Auch finanziell ist die Konstruktion interessant, da keine teuren Anbaukomponenten (z.B. Transportkette oder Umlaufeinheiten) vonnöten sind.

Konzept B:

Das Konzept B erhält eine Gesamtbewertung ausserhalb einer zufriedenstellenden Lösung. Gründe dafür sind eine geringe Transportkapazität, die zwingende Anschaffung einer Schlepp- oder Transportkette und komplexere Konstruktionsarbeit.

Konzept C

Das Konzept C befindet sich innerhalb des Bereiches einer zufriedenstellenden Lösung. Allerdings werden für den Bau des Konzeptes C Umlaufeinheiten benötigt, was die Kosten deutlich erhöht. Des Weiteren ist das Beladen des Transportwagen im Rahmen des Konzeptes C aufwändiger im Vergleich zu Konzept A, da die Schienen einzeln in die Aufnahmen gelegt werden müssen.

4.12.5 Konzeptentscheid

Anhand der obigen Auswertung kristallisierte sich das Konzept A heraus, welches insgesamt am besten auf die Anwendungsanforderungen zugeschnitten ist. Der somit abgeschlossene Entscheid für Konzept A wurde im Morphologischen Kasten ebenfalls mit einer grünen Linie dargestellt. Somit kann nun Konzept A in die definitive Entwurfsphase übergehen.

5 Konstruktionen / Berechnungen

Nach Abschluss der Konzeptionierung erfolgt nun die konkrete Konstruktion der beiden Montagehilfen. Dazu gehören auf die Montagehilfen zugeschnittene Festigkeitsberechnungen. Wie auch schon bei der Konzeptionierung werden die beiden Montagehilfen in Sachen Konstruktion und Berechnung nacheinander bearbeitet, damit ein besserer Überblick über das Vorgehen der entsprechenden Montagehilfe entsteht. Zu Beginn dieses Kapitels werden aber zuerst die Gestaltungsrichtlinien festgelegt, welche für die Konstruktion beider Montagehilfen Gültigkeit besitzen.

5.1 Gestaltungsrichtlinien

Bei den Gestaltungsrichtlinien handelt es sich um Produktionseigenschaften, die bei der Konstruktion von Bauteilen beachtet werden müssen. Es gibt sehr viele Richtlinien, von denen man einige beachten muss oder kann. In dieser Arbeit wurde insbesondere auf folgende drei Richtlinien ein Augenmerk gesetzt.

Festigkeitsgerecht:

Bei der festigkeitsgerechten Gestaltungsrichtlinie geht es um eine den Festigkeitsansprüchen entsprechenden Konstruktion. Diese Richtlinie stellt dabei sicher, dass die Montagehilfen eine genügend grosse Festigkeit besitzen, um ihrer jeweiligen Belastung standzuhalten.

Fertigungsgerecht:

Beim fertigungsgerechten Gestalten werden Gestalt und Werkstoff des zu entwerfenden Produktes so festgelegt, dass mit den vorgesehenen Fertigungsverfahren eine kostengünstige und problemlose Herstellung in guter Qualität erreicht wird.

Funktionsgerecht:

Funktionsgerechte Gestaltung umfasst die vollständige Erfüllung der Anforderungen, die für den problemlosen Gebrauch und die Anwendung des Produktes erforderlich sind. Im Rahmen der beiden Montagehilfen bezieht sich diese Richtlinie vor allem auf die zu behebenden Probleme, welche bei der IST-Analyse festgestellt wurden.

5.2 Konstruktion Stossverbinder

Durch die Bewertung der drei Konzeptskizzen hat sich die Variante «Federmechanik» als bestmögliche Lösung herauskristallisiert. Dabei soll die Klemmkraft, welche für das Zusammenziehen der Schienenstösse nötig ist, durch eine Feder erzeugt werden. Nachfolgend wird die Konstruktion der einzelnen Komponenten aufgezeigt und deren jeweilige Funktionen erklärt.

5.2.1 Schienenstoss Abmessungen

Zu Beginn der Konstruktion muss der Abstand der Anschlagpunkte an den Laufschienen bestimmt werden. Die Auswertung des Morphologischen Kastens hat ergeben, dass ein Anschlagpunkt an den jeweils ersten Bohrungen der Laufschienen am sinnvollsten ist.

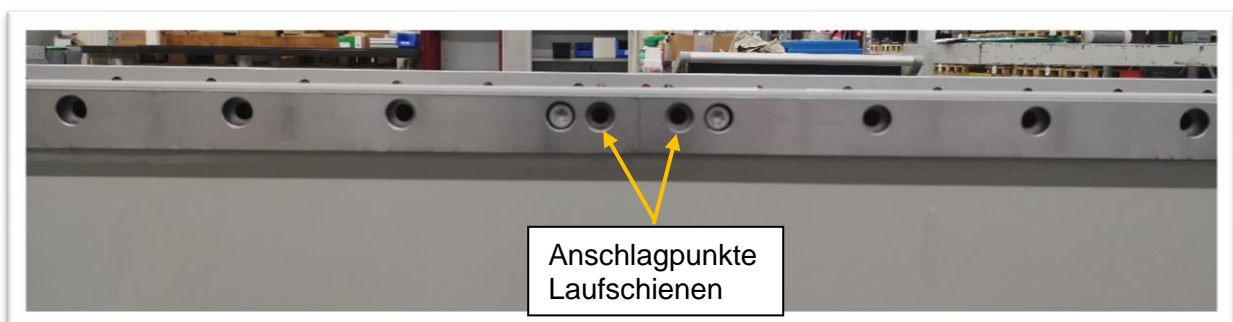


Abbildung 49: Anschlagpunkte für Stossverbinder

Um eine optimale Auslegung des Stossverbinders garantieren zu können, muss die

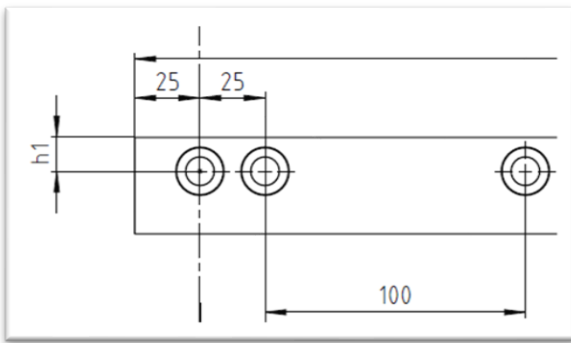


Abbildung 50: Vermassung Bohrung

Fertigungstoleranz der beiden ersten Bohrungen beachtet werden.

Wie auf der Abbildung 50 zu sehen ist, beträgt die Distanz von einem Schienenende bis zur ersten Bohrung 25 mm. Dadurch ergibt sich eine Gesamtdistanz von 50 mm zwischen den beiden ersten Bohrungen zwei verschiedener Laufschiene, da die benachbarte Laufschiene dasselbe Lochbild gespiegelt besitzt. Somit muss der Stossverbinder eine minimale Bewegungsstrecke von 50 mm aufweisen.

Damit allfällige Fertigungstoleranzen ausgeglichen werden können, wird für den Stossverbinder eine minimale Bewegungsstrecke von 49 mm eingeplant.

Die maximale Öffnung des Stossverbinders muss die Lücke, welche beim unverspannten Verbinden der Laufschiene auftreten kann, abdecken können. Auf Abbildung 51 wird die grösstmögliche Schienenstosslücke aufgezeigt.

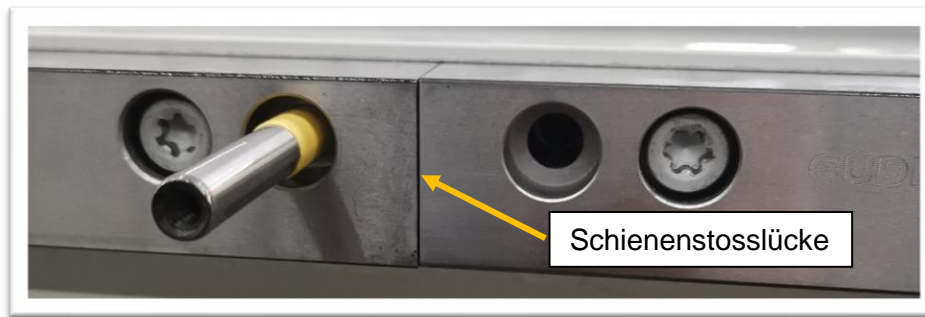


Abbildung 51: Maximale Lücke Schienenstoss

Da die Lücke nur eine geringe Distanz aufweist, kann mit einer maximalen Bewegungsweite von 51.5 mm der ganze Bereich des Schienenstosses abgedeckt werden und eine anforderungsgerechte Verbindung erreicht werden.

Diese somit definierte Wegbegrenzung soll mithilfe einer Stellschraube realisiert werden, damit diese bei Bedarf auch nachträglich nochmals angepasst werden kann.

5.2.2 Aufbau des Stossverbinders

Der Grundaufbau soll aus zwei Handhebel fixiert auf eine Grundplatte als Zentrum des Stossverbinders bestehen. Einer dieser Hebel soll direkt mithilfe zweier Schrauben mit der Grundplatte verschraubt werden und wird als Festgriff bezeichnet. Der zweite Hebel wird beweglich montiert, um die vorgegebene Bewegungsstrecke aus Unterkapitel 6.2.1 abdecken zu können. Jener Hebel wird in der Konstruktion als Lagergriff bezeichnet. Um die Mobilität des Lagergriffs über eine lange Dauer garantieren zu können, wird als Drehpunkt ein Gleitlager in die Konstruktion eingearbeitet. Die beiden Handgriffe des Stossverbinders werden mithilfe eines 3D-Druckers gefertigt, sodass er optimal auf die Montagehilfe angepasst ist. Nachfolgend sind auf einer Handskizze die wichtigsten Komponenten des Stossverbinders zu sehen.

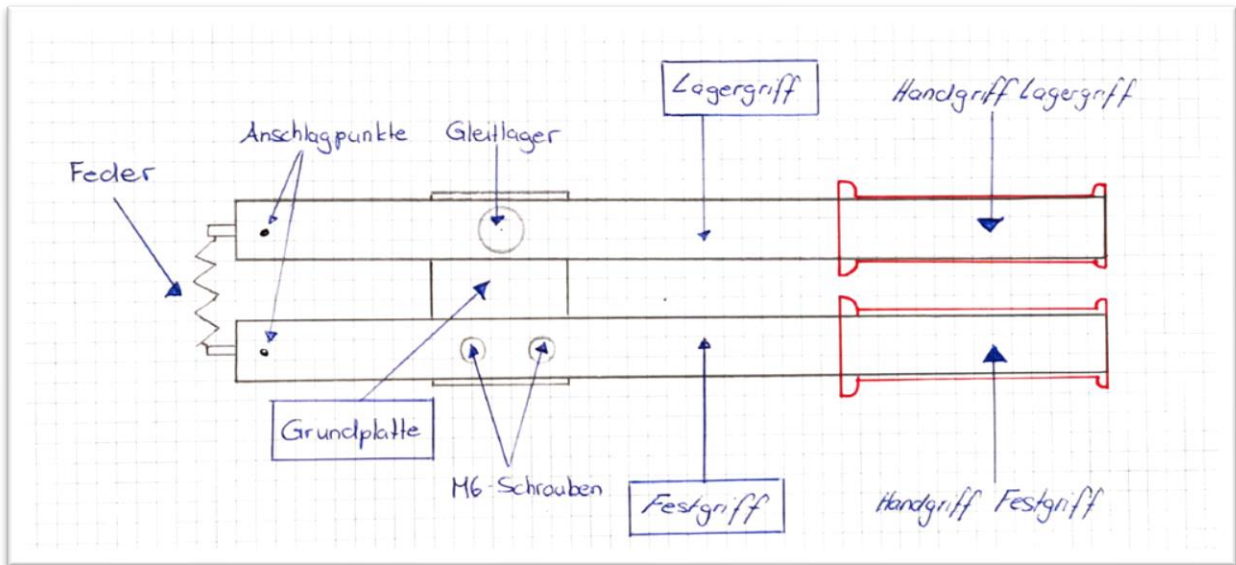


Abbildung 52: Skizze Aufbau Stossverbinder

Die Feder, welche die Schienenstöße zusammenziehen soll, wird ganz vorne an der Montagehilfe befestigt. So kann entsprechend dem Hebelgesetz eine möglichst hohe Kraft auf die Anschlagpunkte erzeugt werden.

Damit der Schienenstossverbinder in die Bohrungen der Laufschiene eingreifen kann, werden sogenannte Anschlagbolzen entworfen, welche direkt in die Stirnlochbohrungen eingreifen. Um diese Anschlagbolzen am Stossverbinder zu fixieren, wird auf der Rückseite des Stossverbinders ein M6-Gewinde zentrisch eingearbeitet. Dadurch sind die Anschlagbolzen austauschbar und die Montagehilfe wird für jeden Schientyp einsetzbar. An der Spitze des Anschlagbolzens soll auf beiden Seiten eine Fläche eingearbeitet werden, damit ein Gabelschlüssel für deren Demontage angesetzt werden kann. Dies im Falle, dass der Bolzen bei der Demontage nicht gelöst werden kann. Die folgende Abbildung zeigt eine Skizze eines derartigen Anschlagbolzens.

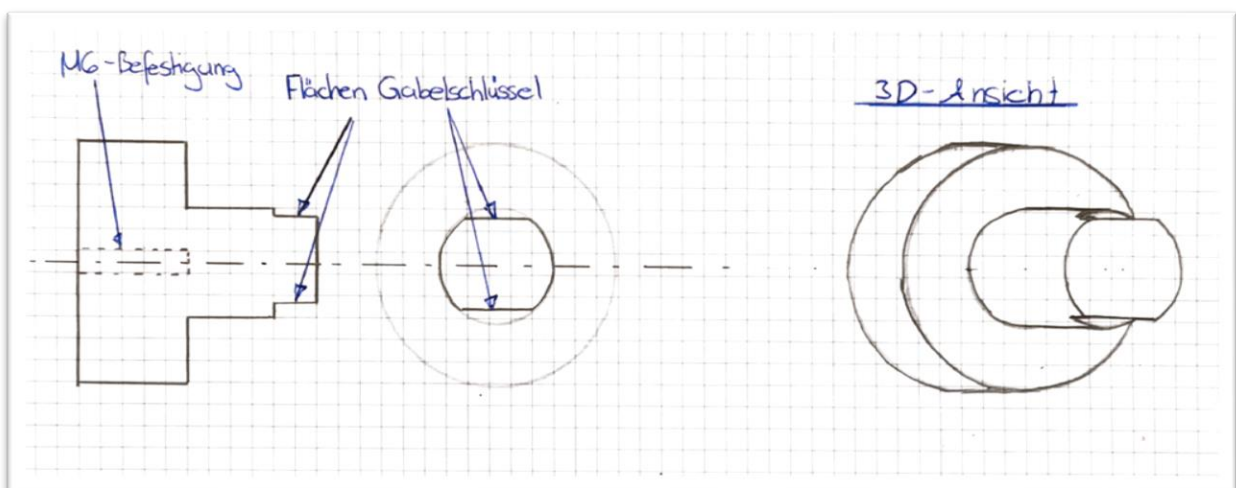


Abbildung 53: Skizze Anschlagbolzen

5.3 Berechnung Stossverbinder

In den nächsten Abschnitten werden nun alle benötigten Kräfte und Berechnungen für die Montagehilfe Stossverbinder aufgeführt. Es sind zudem auch einige Versuche dokumentiert, welche in der Montage durchgeführt worden sind.

5.3.1 Zug-Test bei Schienenstossvarianten

Um den Stossverbinder optimal an die drei Laufschiene-Baugrößen anzupassen, muss vorgängig die benötigte Kraft zum Verspannen der Laufschiene evaluiert werden. Um diese erforderlichen Kräfte herauszufinden, wurden mehrere Zug-Versuche an den Schienen durchgeführt. Dazu wurde während der Montage eines TrackMotion`s ein Zugmessgerät an den jeweiligen Schienenstoss angesetzt und der Schienenstoss im Anschluss händisch angezogen.

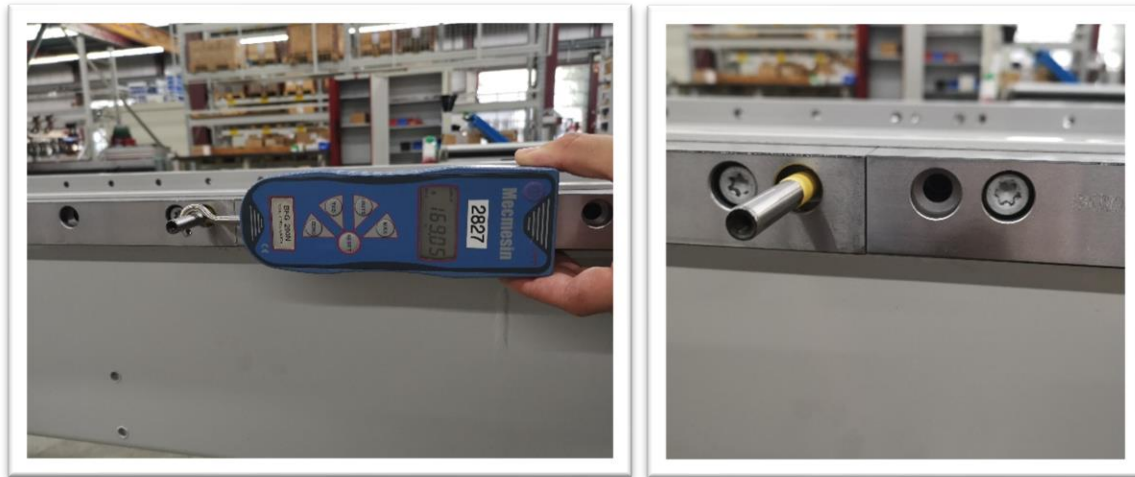


Abbildung 54: Messversuch mit Zugmessgerät

Um beide möglichen Verbindungsarten zu testen, wurde sowohl die Laufschienseite als auch die Seite mit Laufschiene plus Zahnstangen separat getestet. Es ergaben sich daraus die folgenden Werte:

Zug-Versuche TrackMotion							
Laufschiengrösse M10				Laufschiengrösse M12			
Laufseite mit M10-Furchschrauben		Zahnstangenseite mit M10-Schrauben		Laufseite mit M12-Furchschrauben		Zahnstangenseite mit M12-Schrauben	
Zug-Test	Kraft (N)	Zug-Test	Kraft (N)	Zug-Test	Kraft (N)	Zug-Test	Kraft (N)
1	148.95	1	189.45	1	188.00	1	225.90
2	143.00	2	188.30	2	177.45	2	217.15
3	141.55	3	181.00	3	175.20	3	220.90
4	134.05	4	171.45	4	172.55	4	210.30
5	138.50	5	157.95	5	176.60	5	210.85
6	138.65	6	148.40	6	183.25	6	218.90
7	134.40	7	174.45	7	187.75	7	205.25
8	138.35	8	153.15	8	167.75	8	211.75
9	136.25	9	120.65	9	172.40	9	213.80
10	142.10	10	120.00	10	182.50	10	202.00
Schnitt	139.58	Schnitt	160.48	Schnitt	178.35	Schnitt	213.68

Tabelle 20: Zugversuche für Stossverbinder

Durch die Auswertung der Zug-Tests konnte festgestellt werden, dass für die sichere Verbindung eines jeden Schienenstosses mindestens eine Kraft von **213.62** Newton aufgebracht werden muss. Basierend auf diesem erprobten Wert kann nun die Berechnung der Feder durchgeführt werden, welche die Kraft für das Verspannen der Laufschiene aufwenden soll.

5.3.2 Auslegung der Feder

Die Feder bildet das Herzstück des Stossverbinders und muss daher genau an die Vorgaben angepasst werden. Damit wird gewährleistet, dass die Verspannung der Laufschiene erreicht wird und auch dass die händische Betätigung trotzdem noch möglich ist. Auf der nächsten Abbildung werden die Kräfte und Hebelwege der Konstruktion aufgezeigt.

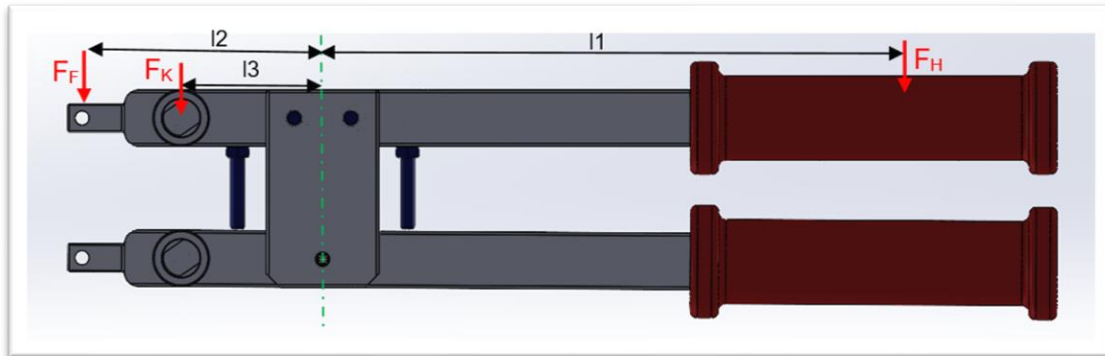


Abbildung 55: Berechnungsgrößen für Federauslegung

Legende					
l1	Handhebelstrecke	210 mm	FH	Hebelkraft Handgriff	
l2	Federhebelstrecke	85 mm	FF	Federkraft	
l3	Klemmhebelstrecke	50 mm	FK	Klemmkraft	213.62 N

Tabelle 21: Berechnung Federauslegung

In der Legende sind alle vorgegebenen Werte zur Abbildung 55 angegeben. Die Streckenangaben konnten jeweils aus den CAD-Daten entnommen werden und entsprechen somit genau der angepeilten Konstruktion.

Mithilfe des Hebelgesetzes soll nun anhand dieser Größen die benötigte Federkraft berechnet werden.

Berechnung der Federkraft:

$$\sum M = 0 = MF - MK$$

$$\sum M = 0 = FF * l2 - FK * l3$$

$$\rightarrow FF = \frac{FK * l3}{l2} = \frac{213.62N * 50mm}{85mm} = 125.658 \text{ Newton}$$

Die Berechnung hat eine Mindestkraft von 125.658 Newton für das Verspannen der Schienenstösse ergeben. Dabei muss die Federkraft aufgebracht werden, während sich der Stossverbinder in der Fertigungsnorm der Bohrungen befindet. Diese Distanz liegt wie in Kapitel 5.2.1 bereits dargelegt zwischen 49.8 – 50.2 mm. Mithilfe des CAD-Programms kann dadurch die im Minimum nötige Strecke für den Federweg bei 49.8 mm extrahiert werden. Auf der folgenden Abbildung sehen Sie die besagten Distanzen.

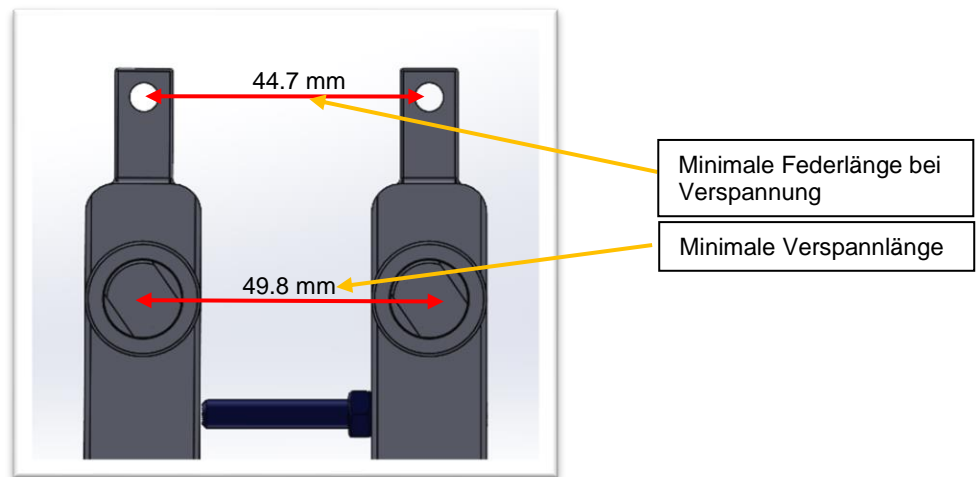


Abbildung 56: Vermessung min. Federlänge

Da die Federkraft bei grösserer Distanz zunimmt, muss die Mindestkraft bei 44.7 mm erreicht werden. Anhand dieser Erkenntnis musste nun eine geeignete Feder aus den Datenblättern gewählt werden.

Die Feder, welche verbaut werden soll, wird von der Firma Kubo Tech AG vertrieben und ist in diversen Grössen und Kraft-Varianten verfügbar.

Dabei ist es wichtig zu beachten, dass die Feder nicht über ihre maximal zulässige Prüflänge gezogen wird, da sie ansonsten Schaden nehmen und im Anschluss nicht mehr die geforderte Kraft aufbringen können. Nachfolgend wird eine passende Federn präsentiert und deren Zugkraft berechnet.

Feder 8104-085965

Die Feder mit der Artikelnummer 8104-085965 besitzt bei maximal zulässiger Prüflänge In eine Gesamtlänge von 49.3 mm und entwickelt dabei eine Kraft von 207 Newton. Die Federrate (R), definiert als Kraftzunahme pro Weg, beträgt laut Datenblatt 15.38 N/mm

Art.Nr.	Bezeichnung	d [mm]	D [mm]	L0 [mm]	n	ID-Nr.	Lager	ab 1	ab 5	ab 10	ab 25	ab 50	ab 100	Anzahl
8104-085965	Normzugfedern rostfrei nach DIN 2089/2, Werkstoff Nr. 1.4310	1.8	7.2	39.2	16	220 695	auf Anfrage	1305.00	1020.00	790.00	605.00	375.00	265.00	<input type="text"/>

Abbildung 57: Federtyp 8104-085965

Somit kann nun diese Feder auf ihre vorhandene Kraft überprüft werden.

Legende		
FF	Federkraft	
Fn	Maximal zulässige Federkraft	207 N
ln	Maximal zulässige Prüflänge	49.3 mm
lmF	Kleinster Federweg Mechanik beim Verspannen	44.7 mm
R	Federrate	15.38 N/mm

Tabelle 22: Berechnung Federkraft

Berechnung Federkraft:

$$FF = Fn - ((ln - lmF) * R)$$

$$FF = 207N - ((49.3mm - 44.7mm) * 15.38 \frac{N}{mm}) = 136.252 \text{ Newton}$$

Diese Feder kommt folglich in Betracht, da sie die Anforderungen erfüllt.
In einem weiteren Schritt wurde nun mithilfe von EXCEL ein Berechnungstool erstellt, welches anhand der Federkraft (FF) automatisch die Klemmkraft (FK) und die Handkraft (FH) berechnen kann.

Die folgenden Graphiken zeigen die erwähnte Excelmaske, mit welcher verschiedene Federkräfte FF eingelesen und umgerechnet werden können.

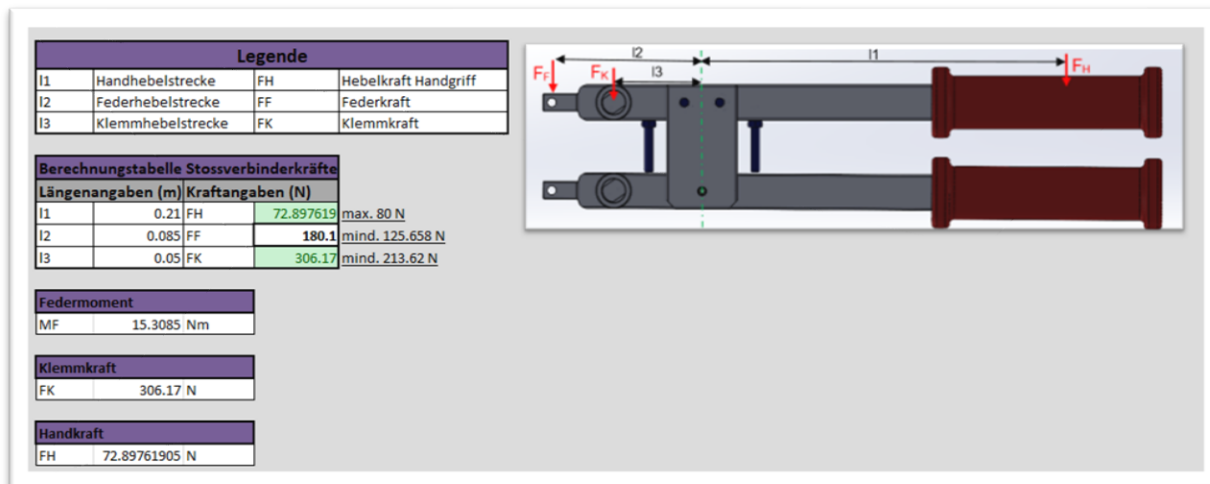


Abbildung 58: Excel-Berechnungsmaske

Legende		
FH	Hebelkraft Handgriff	
FF	Federkraft	136.252N
FK	Klemmkraft	
l1	Handhebelstrecke	210 mm
l2	Federhebelstrecke	85 mm
l3	Klemmhebelstrecke	50 mm

Tabelle 23: Berechnung Klemmkraft

Für die Berechnung der effektiven Klemmkraft kann das Hebelgesetz angewendet werden.

Berechnung der effektiven Klemmkraft:

$$\sum M = 0 = MF - MK$$

$$\sum M = 0 = FF * l2 - FK * l3$$

$$FK = \frac{FF * l2}{l3} = \frac{136.252N * 85mm}{50mm} = 231.63 \text{ Newton}$$

Im Anschluss kann entsprechend demselben Prinzip wie oben auch die effektive Handkraft berechnet werden.

Berechnung effektive Handkraft:

$$\sum M = 0 = MF - MH$$

$$\sum M = 0 = FF * l2 - FH * l1$$

$$FH = \frac{FF * l2}{l1} = \frac{136.252N * 85mm}{210mm} = 55.15 \text{ Newton}$$

Die errechneten Hand- und Klemmkräfte waren absolut zufriedenstellend in dem Sinne, dass sie die Anforderungen gänzlich erfüllen. Die Handkraft liegt, wie zuvor in der Anforderungsliste definiert, bei unter 60 Newton. Auch die Klemmkraft ist höher als die vorgängig im Rahmen der Zug-Tests berechnete minimale Klemmkraft von 125.658 Newton. Nachdem nun alle physisch vorhandenen Kräfte bekannt sind, kann mit den Festigkeitsberechnungen der Mechanik begonnen werden.

5.3.3 Festigkeitsberechnungen Mechanik

Festigkeitskontrolle am Lagerpunkt

Die grössten Belastungen am Lagerpunkt entstehen bei Zusammendrücken des Handhebels bis zum Anschlag. Dabei erreicht die Feder ihre grösste Dehnung, wodurch sie die ihr maximal mögliche Kraft entfaltet. Auf der nachfolgenden Abbildung werden die Distanzen und Kräfte dargestellt, welche für die Festigkeitsberechnung benötigt werden.

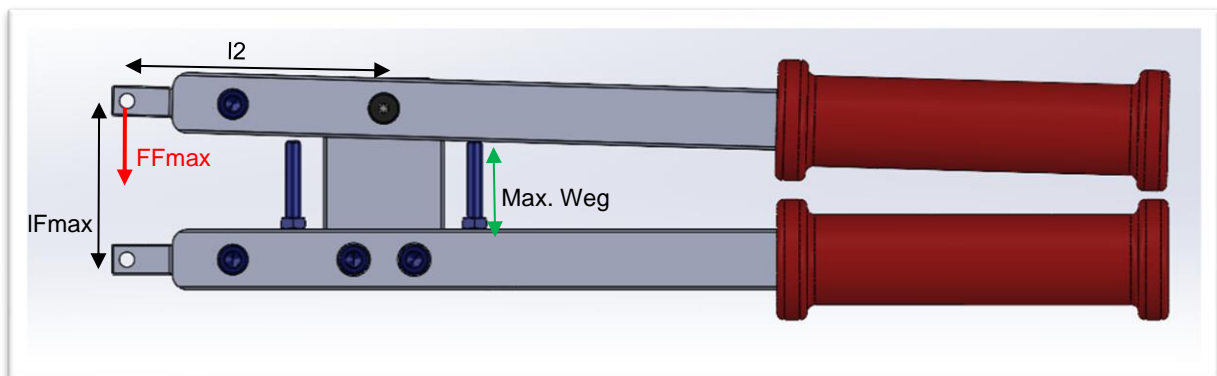


Abbildung 59: Berechnungsgrößen Lagerpunktüberprüfung

Legende		
FFmax	Maximale Federkraft	
IFmax	Maximaler Federweg	47.55 mm
L2	Federhebelstrecke	85 mm

Tabelle 24: Berechnung Lagerpunkte

Zu Beginn der Berechnungen muss die maximale Federkraft (FFmax) bei maximaler Strecke (IFmax) der Feder berechnet werden. Dies erhält man ebenfalls mithilfe der Federrate R. Die maximale Strecke der Feder kann wiederum mithilfe des CAD-Programmes gemessen werden und beträgt 48 mm.

Berechnung maximale Federkraft:

$$\begin{aligned}
 FF_{\max} &= F_n - ((l_n - l_{F_{\max}}) * R) \\
 &= 207N - \left((49.3mm - 47.55mm) * 15.38 \frac{N}{mm} \right) = 180.1 \text{ Newton}
 \end{aligned}$$

Die maximal durch die Mechanik erreichbare Federkraft beträgt 180.1 Newton. Diese maximale Kraft wirkt somit auch auf den Lagerpunkt.

Nachdem die maximale Federkraft bekannt ist, wird der Querschnitt des Gelenkpunktes, das heisst der Gleitlagerquerschnitt überprüft. Auf der folgenden Abbildung wird der zu prüfende Querschnitt dargestellt.

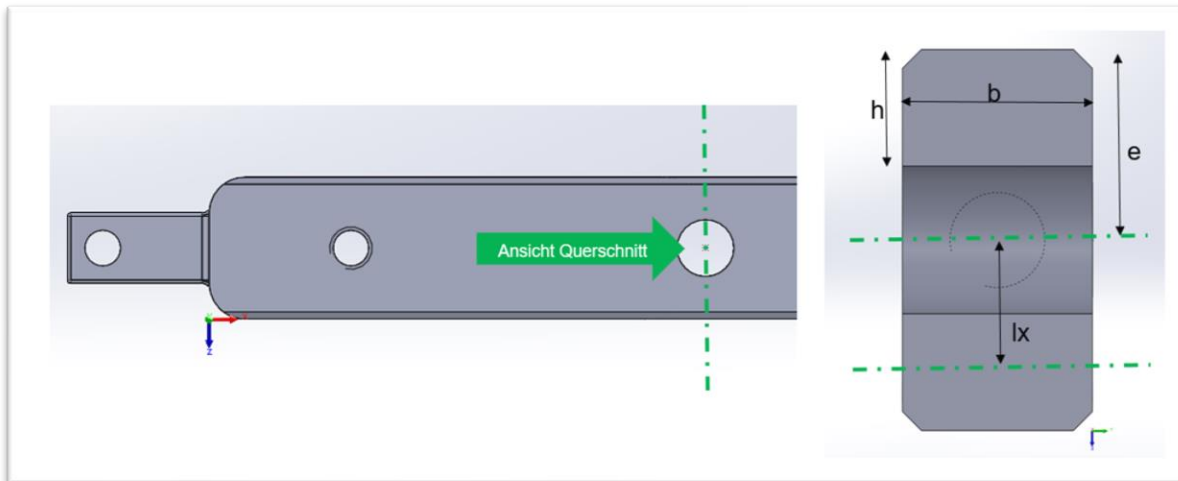


Abbildung 60: Darstellung Lagerquerschnitt

Um die Spannung an diesem Querschnitt zu bestimmen, muss das maximale Biegemoment und das Widerstandsmoment bekannt sein.

Berechnung maximales Biegemoment:

$$Mb_{max} = FF_{max} * l_2 = 180.1N * 85mm = 15'308.5 Nmm$$

Berechnung Widerstandsmoment:

$$I_x = 2 * \left(\frac{b * h^3}{12} + b * h * l_x^2 \right)$$

$$I_x = 2 * \left(\frac{10mm * (6.5mm)^3}{12} + 10mm * 6.5mm * 6.75mm^2 \right) = 6380.83 mm^4$$

$$W = \frac{I_x}{e} = \frac{6380.83mm^4}{10mm} = 638.083mm^3$$

Berechnung Spannung am Gelenkpunkt:

$$\sigma_{vor} = \frac{Mb_{max}}{W} = \frac{15'308.5 Nmm}{638.083mm^3} = 23.99 N/mm^2$$

Anhand der Berechnung der vorhandenen Spannung am Gelenkpunkt-Querschnitt ist die Auswahl eines geeigneten Materials für die Herstellung des Festhebels möglich. Die Fasen des Hebels werden in die Berechnung nicht miteinbezogen, da diese bei Verwendung einer mindestens zweifachen Sicherheit vernachlässigt werden kann. Dies weil bei einem Stossverbinder sind keine dynamischen Lasten oder Schläge zu erwarten. Materialien die dafür zur Auswahl stehen, sind in der untenstehenden Tabelle mit ihrer jeweiligen Biegefestigkeit gelistet.

Material	Kurzname	Biegefestigkeit
Aluminium	EN-AW Al Mg2.5	65 N/mm ²
Stahl	S235JR	180 N/mm ²

Tabelle 25: Materialauslegung Stossverbinder

Aufgrund des geringeren Gewichts wird Aluminium für die Herstellung des Stossverbinders verwendet. Mit seiner Biegefestigkeit von 65 N/mm² erreicht es eine Sicherheit von 2.7, was für den Einsatz eines Stossverbinders ausreicht.

Kontrolle Flächenpressung Passschultererschraube

Eine weitere kritische Stelle stellt die Berührungsfläche zwischen der Passschultererschraube und dem Gleitlager dar. Es muss die Flächenpressung unter die Lupe genommen werden, um den vorhandenen Druck auf das Gleitlager sowie auf das Material des Lagergriffs zu überprüfen. Auf der nächsten Abbildung werden die benötigten Kräfte dargestellt, welche im Anschluss berechnet werden sollen.

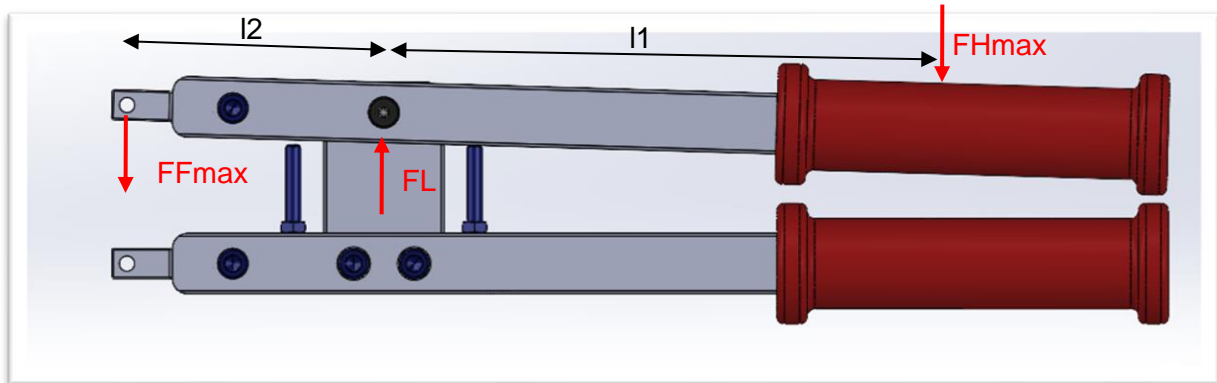


Abbildung 61: Berechnungsgrößen für Flächenpressungen im Lager

Legende		
FFmax	Maximale Federkraft	
FHmax	Maximale Handkraft	
FL	Kraft im Lagerpunkt	263.69 N
l1	Handhebelstrecke	210 mm
l2	Federhebelstrecke	85 mm

Tabelle 26: Berechnung Flächenpressung

Für die Berechnung der Kraft im Lagerpunkt können Federkraft und Handkraft summiert werden.

Berechnung max. Handkraft:

$$FH_{max} = \frac{FF_{max} * l_2}{l_1} = \frac{180.1 * 85mm}{210mm} = 72.898 \text{ Newton}$$

Berechnung Kraft im Lagerpunkt:

$$FL = FF_{max} + FH_{max} = 187N + 72.898N = 259.898 \text{ Newton}$$

Da nun die Kraft im Lagerpunkt feststeht, kann die Berechnung der Flächenpressung mithilfe der projizierten Fläche (aus jeweils den Breiten d1 und d2 multipliziert mit der Höhe h) in Angriff genommen werden. Als erstes wird der Druck im Gleitlager GSM-0608-10 von IGUS überprüft, welcher einen Wert von 78 MPa (=78 N/mm²) nicht überschreiten darf. Im Anschluss an diesen Abschnitt sehen Sie eine Abbildung des Lagereinbau-Querschnitts.

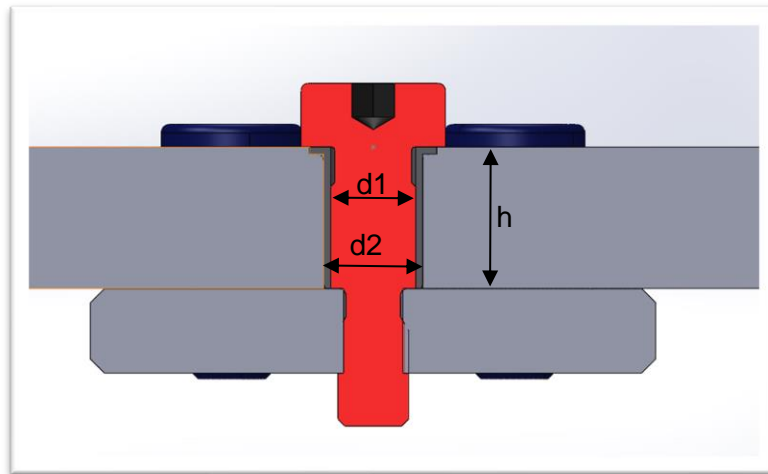


Abbildung 62: Querschnitt-Ansicht Lager

Legende		
h	Dicke Lagergriff	10 mm
d1	Breite Passschulterschraube	6 mm
d2	Breite Gleitlagerbuchse	7 mm

Tabelle 27: Berechnung Lagerkraft

Berechnung Flächenpressung von Passschulterschraube zu Gleitlagerbuchse:

$$\sigma_p = \frac{FL}{A_{PS}} = \frac{259.898N}{(6mm * 10mm)} = 4.332 \text{ N/mm}^2$$

Berechnung Flächenpressung von Gleitlagerbuchse zu Lagergriff:

$$\sigma_{GL} = \frac{FL}{A_{GL}} = \frac{259.898N}{(7mm * 10mm + 2 * 0.5mm)} = 3.713 \text{ N/mm}^2$$

Die Berechnung zeigt somit, dass weder auf die Passschulterschraube noch auf die Gleitlagerbuchse eine problematische Flächenpressung entsteht.

Kontrolle Biegespannung der Federanschlusslaschen

Eine weitere erforderliche Überprüfung ist die Belastung der Federanschlusslaschen, welche die Feder an ihren Enden fixieren. Die grössten Belastungen treten dabei an den beiden Einschraubstellen auf, auf die das grösste Moment wirkt. In der untenstehenden Darstellung finden Sie die für die Überprüfung nötigen Berechnungsgrössen.

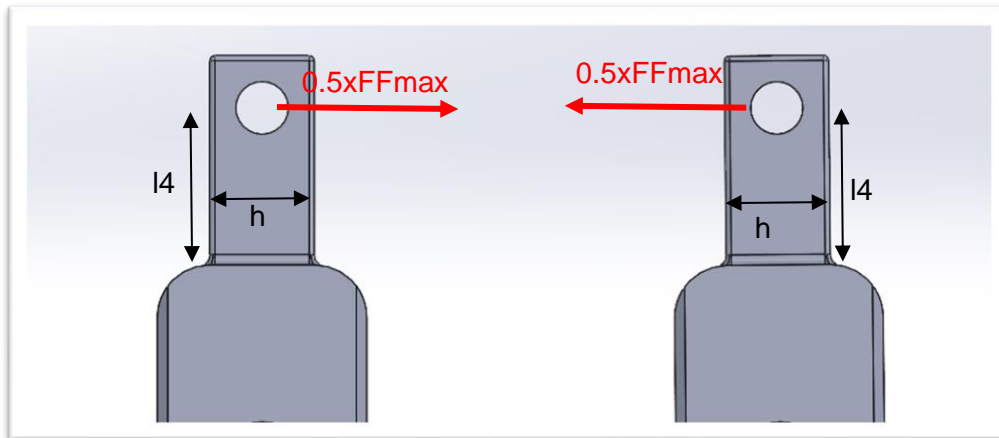


Abbildung 63: Berechnungsgrössen Überprüfung Anschlusslaschen

Legende		
0.5xFFmax	Hälfte der max. Federkraft	90.5 N
l4	Hebellänge Anschlusslaschen	15 mm
h	Höhe des Federanschlusses	10 mm
b	Breite des Federanschlusses	5 mm

Tabelle 28: Berechnung Biegespannung Anschlusslaschen

Berechnung des maximalen Biegemoments an den Anschlusslaschen:

$$Mb_{max} = 0.5 * FF_{max} * l4 = 90.5N * 15mm = 1357.5 Nmm$$

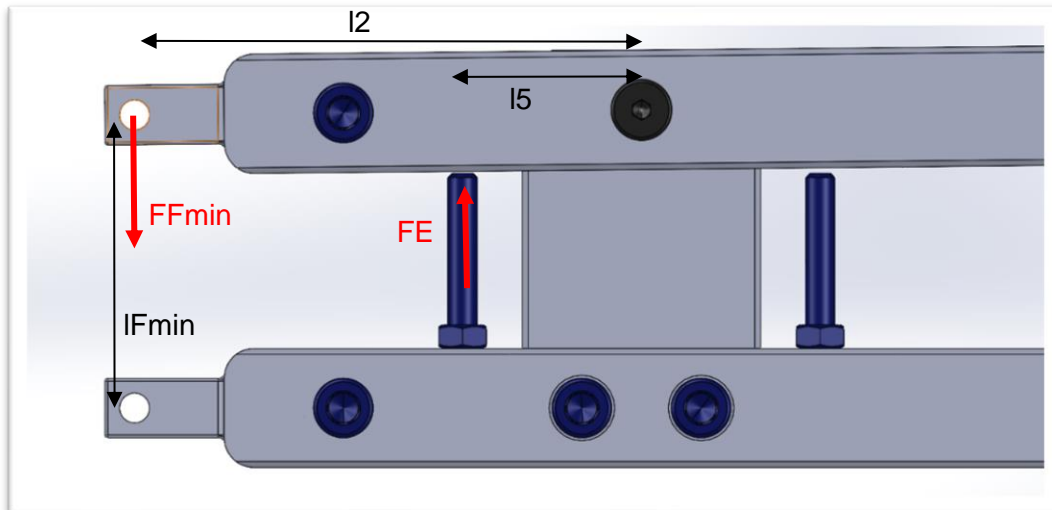
Berechnung der Biegespannung in den Anschlusslaschen:

$$\sigma_{vor} = \frac{Mb_{max}}{W} = \frac{1357.5 Nmm}{\frac{b * h^2}{6}} = 16.29 N/mm^2$$

Somit liegt den Anschlusslaschen eine maximale Biegespannung von 16.29 N/mm² an, was kein Problem für die Aluminiumlegierung darstellt.

Kontrolle Flächenpressung Einstellschrauben

Die letzte vorgenommene Kontrolle betrifft die Flächenpressung auf den Einstellschrauben. Die Einstellschrauben sollen einerseits eine vollständige Entspannung der Feder verhindern und andererseits für eine limitierte Bewegungsfreiheit des Stossverbinders sorgen, was wiederum einer Überspannung der Feder vorbeugt. Im Anschluss werden alle relevanten Berechnungsgrössen dargestellt.



Legende		
FFmin	Minimale Federkraft	
FE	Kraft auf die Einstellschraube	
l2	Federhebelstrecke	85 mm
l5	Einstellschraubenhebelstrecke	30 mm
lFmin	Minimale Federstrecke	44.2 mm

Tabelle 29: Berechnung Flächenpressung Stellschrauben

Zu Beginn dieser Überprüfung muss die minimale Federkraft bestimmt werden. Dafür wird im CAD-Programm die Federstrecke entfernt, welche bei Nicht-Verspannen der Laufschiene erreicht wird.

Berechnung der minimalen Federkraft:

$$FF_{min} = F_n - ((l_n - l_{Fmin}) * R)$$

$$FF_{min} = 207 - ((49.3\text{mm} - 44.2\text{mm}) * 15.38\text{N/mm}) = 128.562\text{ Newton}$$

Berechnung der Einstellschraubenkraft:

$$\sum M = 0 = FF_{min} * l_2 - FE * l_5$$

$$FE = \frac{FF_{min} * l_2}{l_5} = \frac{128.562\text{N} * 85\text{mm}}{30\text{mm}} = 364.259\text{ Newton}$$

Berechnung der Flächenpressung auf die Einstellschraube:

$$p = \frac{FE}{A_{ES}} = \frac{FE}{\pi * r^2} = \frac{364.259\text{N}}{\pi * (1.75\text{mm})^2} = 9.624\text{N/mm}^2$$

Somit besteht eine Flächenpressung von 9.624 N/mm² welche für das Material problemlos tragbar ist.

Mit Abschluss der Berechnungen sind nun alle relevanten Punkte des Stossverbinders kontrolliert worden. Als nächster Schritt in der Entwicklung des Schienenstossverbinders erfolgt im Kapitel 7 seine konkrete Ausarbeitung. In diesem Kapitel werden alle seine Komponenten im CAD erstellt und können zum Schluss als Baugruppe präsentiert werden.

5.4 Konstruktion Transportwagen

Die Auswertung des Morphologischen Kastens hat ergeben, dass das Konzept A die beste Antwort auf die Problematik liefert. Konzept A besteht, wie oben bereits beschrieben, aus einem Transportwagen mit gestapelten Schienen optional kombiniert mit einem Scherenhubtisch. Zu Beginn wird ein Transportwagen konstruiert, auf welchem die Schienen, mithilfe eines Kammes seitlich gestützt, transportiert werden können. Die nächste Skizze erklärt die Grundkonstruktion des Transportwagens.

5.4.1 Grundkonstruktion Transportwagen

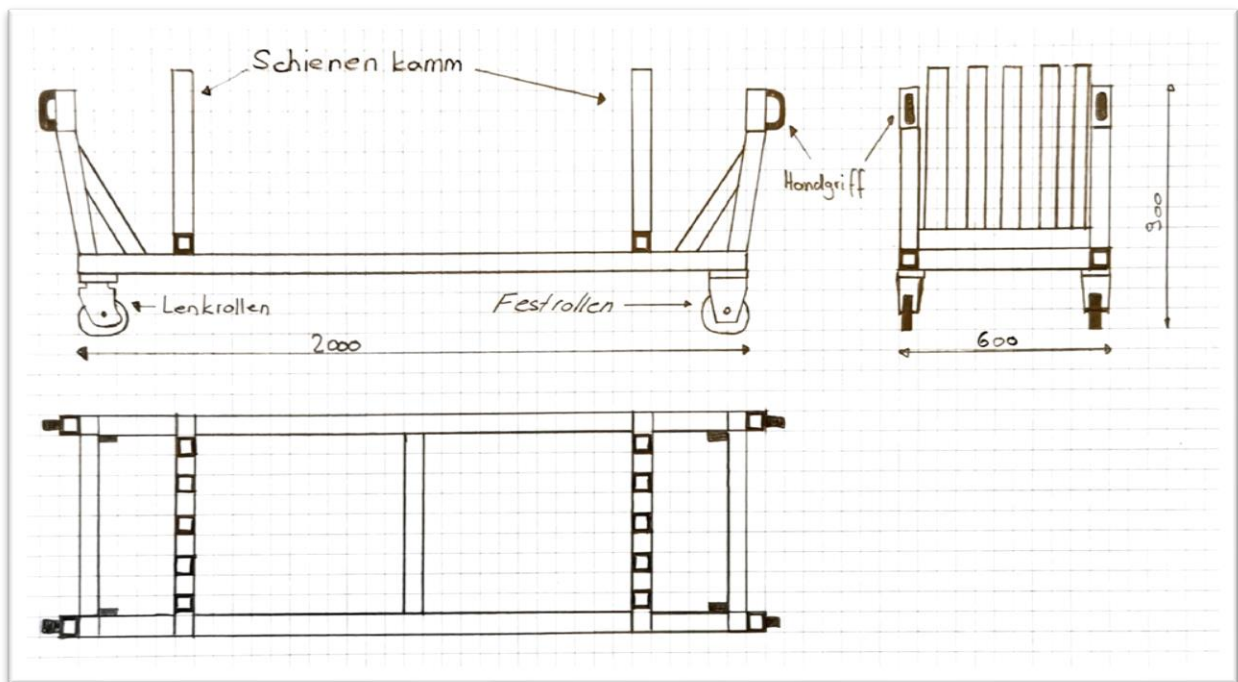


Abbildung 64: Skizze Aufbau Transportwagen

Als Basis fungiert ein rechteckiger Rahmen, welcher mithilfe von Schwerlastrollen mobil gemacht wird. An der Vorderseite des Transportwagens sind lenkbare Rollen montiert, damit ein einfaches Manövrieren des Transportwagens möglich ist. Diese lenkbaren Rollen besitzen zusätzlich Feststeller, welche ein Sichern des Transportwagens vor ungewolltem Wegrollen möglich machen. Als vordefinierte Griffpunkte für den Mitarbeiter werden an den beiden Enden des Transportwagens Handgriffe angebaut. Die Laufschiene und Zahnstangen werden in die Kämme eingelegt, womit eine seitlich stabilisierte Stapelung der Schienen gewährleistet ist. Der Grundrahmen soll als Schweisskonstruktion aus 40x40mm Hohlprofilen hergestellt werden. Es kann damit eine lange Einsatzzeit gewährleistet werden und der Grundaufbau erhält eine genügend hohe Festigkeit.

5.4.2 Mechanisch einstellbare Schienenhöhe

Damit die Schienen nicht auf ergonomisch ungünstig niedriger Höhe gestapelt werden müssen, wird eine einstellbare Grundhöhe entsprechend den Kammspitzen angestrebt. Dafür werden Einsätze konstruiert, welche zwischen die Kämme gehängt werden können. Dies zahlt sich vor allem im Falle eines TrackMotion's aus, für welches nur wenige Schienen benötigt werden. Diese müssen infolge der Einsätze nicht auf der Grundhöhe gestapelt werden, sondern der Stapel kann weiter oben begonnen werden. Die folgende Abbildung soll einen Überblick über dieses Prinzip der Höhenverstellung bieten.

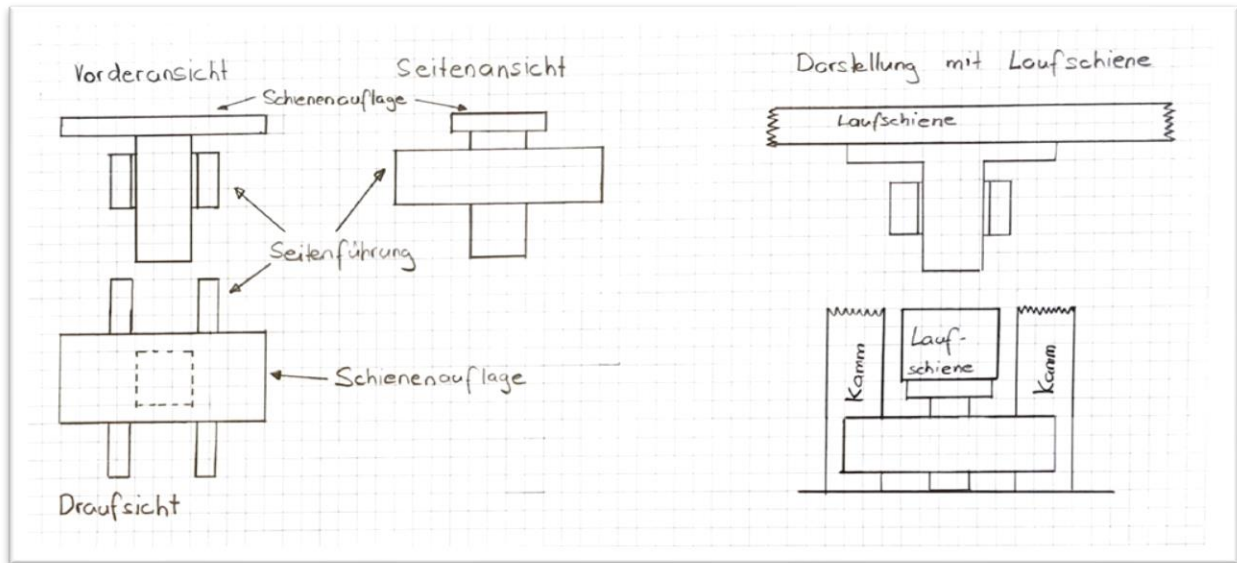


Abbildung 65: Skizze Höhenverstellung für Laufschiene

Die zwischen den Kämmen angebrachten Einsätze sollen in verschiedenen Höhen hergestellt werden, damit so die Variierung der Grundhöhe möglich ist. Die Einsätze ermöglichen somit eine einfache und kostengünstige Höhenverstellung. Sie soll eine Alternative bieten, falls der Einbau einer komplexeren automatischen Höhenverstellung in den Transportwagen nicht möglich oder zu teuer ist.

Nun da die Skizzen des Transportwagens bestehen, werden die Festigkeitsberechnungen durchgeführt und die entsprechenden Materialien festgelegt.

5.5 Berechnungen Transportwagen

In den nächsten Abschnitten werden alle relevanten Berechnungen für die Festigkeitsüberprüfung für den Transportwagen aufgezeigt und dokumentiert.

5.5.1 Berechnung Schienenkamm

Im Falle der Kämmen wird überprüft, ob die beiden die Basis der Kämmen bildenden Querträger, überhaupt der gesamten Last der Schienen standhalten können. Verwendet werden soll ein 40x40mm Hohlprofil aus Stahl S355J2H mit 4 mm Wandung. Für die Berechnungen des Transportwagens wird eine TrackMotion-Länge von 20 m angenommen. Daraus ergibt sich eine Schienenmenge von 2x 10 Laufschiene und 1x 10 Zahnstangen. Auf der nächsten Abbildung werden alle notwendigen Kräfte und Distanzen dargestellt und benannt.

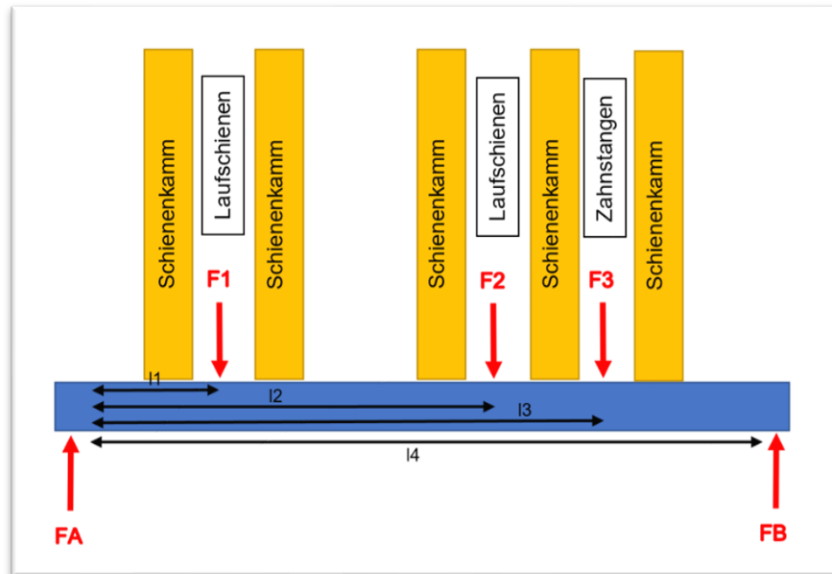


Abbildung 66: Berechnung Schienenkamm

Legende					
F1	Kraft Laufschiene Seite 1	2344.6 N	l1	Weg Laufschienseite 1	110 mm
F2	Kraft Laufschiene Seite 2	2344.6 N	l2	Weg Laufschienseite 2	335 mm
F3	Kraft Zahnstangen Seite 2	1981.6 N	l3	Weg Zahnstangenseite 2	420 mm
FA	Kraft auf Grundrahmen		l4	Gesamtlänge Träger	560 mm
FB	Kraft auf Grundrahmen				

Tabelle 30: Berechnung Schienenkamm

In der Konstruktion wird auf beiden Seiten des Transportwagens ein Schienenkamm verbaut, daher können die angegebenen Kräfte für die Berechnung des einzelnen Schienenkammes halbiert werden.

Halbierte Schienenkraft		
F1	Kraft Laufschienseite 1	1172.3 N
F2	Kraft Laufschienseite 2	1172.3 N
F3	Kraft Zahnstangenseite 2	990.8 N

Berechnung Kraft FB:

$$\sum M = 0 = F1 * l1 + F2 * l2 + F3 * l3 - FB * l4$$

$$FB = \frac{F1 * l1 + F2 * l2 + F3 * l3}{l4}$$

$$FB = \frac{1172.3N * 110mm + 1172.3N * 335mm + 990.8N * 420mm}{560mm} = 1674.7 \text{ Newton}$$

Berechnung Kraft FA:

$$\sum F = 0 = FA + FB - F1 - F2 - F3$$

$$FA = F1 + F2 + F3 - FB = 2 * 1172.3N + 990.8N - 1674.7N = 1660.7 \text{ Newton}$$

Berechnung maximales Biegemoment:

Für die Berechnung von $M_{b_{max}}$ wurde ein Momentenverlauf skizziert, um den Schnittpunkt optisch darzustellen.

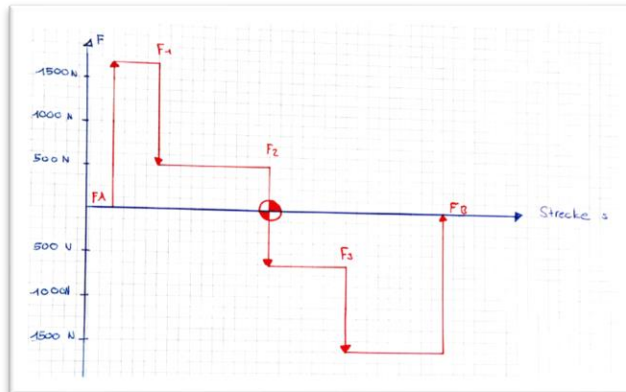


Abbildung 67: Momentenverlauf Schienenkamm

$$M_{b_{max}} = F_B * l_1 + (F_B - F_1) * (l_2 - l_1)$$

$$M_{b_{max}} = 1674.7N * 0.11m + (1674.7N - 1172.3N) * (0.335m - 0.11m) = 297.3 Nm$$

Maximale Biegespannung im Träger t=4mm:

$$\sigma_{vor} = \frac{M_{b_{max}}}{W} = \frac{297 \cdot 257 Nmm}{6297.6 mm^3} = 47.2 N/mm^2$$

Widerstandsmoment des Trägers t=4mm:

$$W = \frac{B * H^3 - b * h^3}{6 * H}$$

$$W = \frac{40mm * 40mm^3 - 32mm * 32mm^3}{6 * 40mm} = 6297.6 mm^3$$

Die maximale Biegespannung für den Schienenkamm beträgt 47.2 N/mm². Die maximale Biegespannung für Stahl S355J2H beträgt 255 N/mm², woraus sich eine 5.4-fache Sicherheit ergibt. Da die Sicherheit mit diesem Profil sehr hoch ist, werden die Berechnungen zusätzlich mit einem 40x40 mm Hohlprofil aus Stahl 235JRH mit lediglich 3mm Wandung (t) durchgeführt. Dieses Material ist rund ein Kilo pro Meter leichter, wodurch das Gesamtgewicht des Transportwagen gesenkt werden kann.

Maximale Biegespannung im Träger t=3mm:

$$\sigma_{vor} = \frac{M_{b_{max}}}{W} = \frac{297 \cdot 257 Nmm}{5098.6 mm^3} = 58.3 N/mm^2$$

Widerstandsmoment des Trägers t=3mm:

$$W = \frac{B * H^3 - b * h^3}{6 * H}$$

$$W = \frac{40mm * 40mm^3 - 34mm * 34mm^3}{6 * 40mm} = 5098.6 mm^3$$

Durch die dünnere Wandung wird die Spannung auf 58.3 N/mm² erhöht und die maximale Biegespannung sinkt auf 180 N/mm². Somit ergibt sich bei diesem Material eine Sicherheit

von 3.2, was für diesen Transportwagen ausreicht. Es lässt sich dadurch immer noch ein unausgeglichenes Beladen oder allfälliges Überladen des Transportwagens aushalten.

5.5.2 Berechnungen Fahrgestell

In einem nächsten Schritt wird das Fahrgestell auf seine Festigkeit überprüft. Da die Kraft FB aus den Berechnungen zum Schienenkamm leicht höher ist als FA, wird für die Auslegung des Fahrgestells mit der Kraft FB (1674.7 N) gerechnet. Die Graphik unten zeigt optisch alle relevanten Kräfte und Distanzen auf.

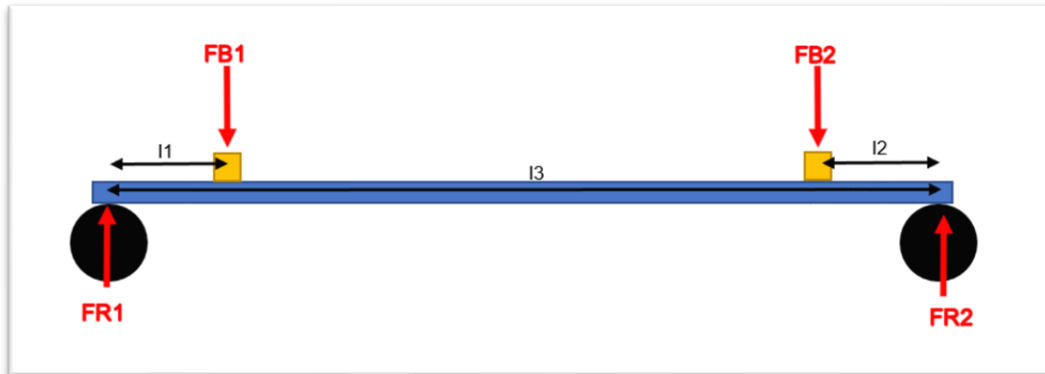


Abbildung 68: Berechnung Fahrgestell

Legende					
FB1	Kraft von Schienenkamm	1674.7 N	l1	Weg Laufschienseite 1	280 mm
FB2	Kraft von Schienenkamm	1674.7 N	l2	Weg Laufschienseite2	280 mm
FR1	Kraft auf Rad 1		l3	Gesamtlänge Fahrgestell	1900 mm
FR2	Kraft auf Rad2				

Tabelle 31: Berechnung Fahrgestell

Berechnung Kraft FR1:

$$\sum M = 0 = FB2 * l2 + FB1 * (l3 - l1) - FR1 * l3$$

$$FB = \frac{FB2 * l2 + FB2 * (l3 - l1)}{l4}$$

$$FB = \frac{1674.7N * 280mm + 1674.7N * (1900mm - 280mm)}{1900mm} = 1674.7Newton$$

Durch die symmetrische Belastung des Fahrgestells ergibt sich für FR1 und FR2 jeweils die Kraft von FB1 und FB2.

Berechnung Kraft FR2:

$$FR2 = FR1 = 1674.7 Newton$$

Berechnung des maximalen Biegemoment:

Für die Berechnung des $M_{b_{max}}$ wurde der Momentenverlauf skizziert, um den Schnittpunkt optisch darzustellen.

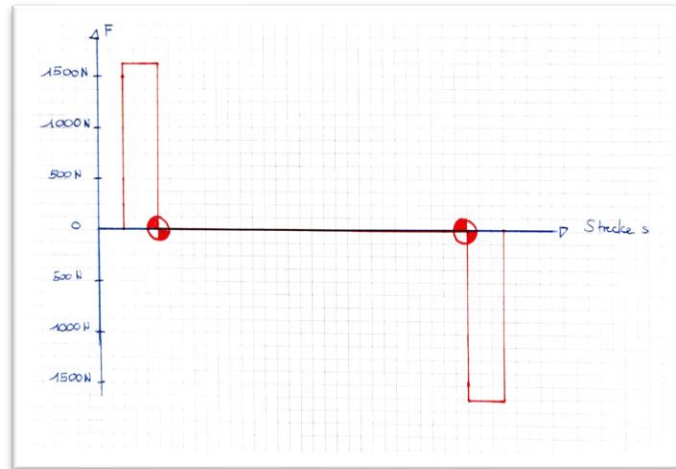


Abbildung 69: Momentenverlauf Fahrgestell

$$M_{b_{max}} = FR_1 * l_1$$

$$M_{b_{max}} = 1674.7N * 0.28m = 468.9Nm$$

Maximale Biegespannung im Träger:

$$\sigma_{vor} = \frac{M_{b_{max}}}{W} = \frac{468.916Nm}{6297.6mm^3} = 74.46 N/mm^2$$

Widerstandsmoment des Trägers t=4mm:

$$W = \frac{B * H^3 - b * h^3}{6 * H}$$

$$W = \frac{40mm * 40mm^3 - 32mm * 32mm^3}{6 * 40mm} = 6297.6mm^3$$

Somit ergibt sich im Fahrgestellrahmen ein maximales Biegemoment von 74.46 N/mm². Mit dem Hohlprofil 40x40mm mit 4mm Wandung aus Stahl S355J2H ergibt sich somit eine Sicherheit von 3,4. Somit weist das Fahrgestell eine ungefähr gleich hohe Sicherheit wie der Schienenkamm auf und genügt daher auch den Anforderungen.

5.5.3 Berechnung Räderbelastung

Um die Räder korrekt auszuwählen, muss das Gesamtgewicht des Fahrgestells inklusive dem Gewicht der Ladung bekannt sein. Dafür wird in einem ersten Schritt das Gesamtgewicht des Fahrgestells mithilfe einer Tabelle ermittelt.

Gewichtstabelle Einzelprofile für das Fahrgestell							
Nr.	Material	Stahl	Kg/ m	Länge in m	Stk.	Gewicht	Einheit
1	Hohlprofil 40x40 mm d = 4mm	S335J2H	4.39	2	2	17.6	Kg
2	Hohlprofil 40x40 mm d = 4mm	S335J2H	4.39	0.52	3	6.8	Kg
3	Hohlprofil 40x40 mm d = 4mm	S335J2H	4.39	0.59	10	25.9	Kg
4	Hohlprofil 40x40 mm d = 4mm	S335J2H	5.39	0.7	4	15.1	Kg
5	Hohlprofil 40x40 mm d = 4mm	S335J2H	5.39	0.25	4	5.4	Kg
6	Hohlprofil 40x40 mm d = 4mm	S335J2H	5.39	0.35	4	7.5	Kg
Totalgewicht Fahrgestell ($m_{\text{Fahrgestell}}$)						78.3	Kg

Tabelle 32: Gewichtsberechnung Fahrgestell

Zum Eigengewicht des Fahrgestelles muss nun noch das Gewicht von Laufschiene und Zahnstangen für die Herstellung eines 20-Meter-TrackMotions addiert werden.

Gewichtsberechnungen	Anzahl (Stk.)	Gewicht (kg)
Montageseite mit Laufschiene + Zahnstangen		
Anzahl Laufschiene	10.00	239.00
Anzahl Zahnstangen	10.00	202.00
Totale Anzahl und Gewicht	20.00	441.00
Montageseite mit Laufschiene		
Anzahl Laufschiene	10.00	239.00
Totale Anzahl und Gewicht	10.00	239.00
Totale Last auf dem Transportwagen (m_{Schiene})	30.00	680.00

Tabelle 33: Gewichtsberechnung Schiene

Somit kann das Totalgewicht ermittelt werden, welches auf den Rollen lastet.

Berechnung Gesamtgewicht:

$$m_{ges} = m_{\text{Fahrgestell}} + m_{\text{Schiene}}$$

$$m_{ges} = 78.3Kg + 680Kg = 758.3 Kg$$

Das Gesamtgewicht des Transportwagens liegt also bei 758.3 Kg. Dieses Gewicht kann nun auf die vier Räder verteilt werden.

Gewicht pro Rad:

$$m_{\text{Rad}} = \frac{m_{ges}}{4} = \frac{758.3Kg}{4} = 189.6 Kg$$

Ein Rad muss somit 189.6 kg Last aufnehmen. Anhand dieser Erkenntnisse kann nun die Materialentscheidung für die Räder getroffen werden.

5.5.4 Berechnung der Schiebekraft

Für die Berechnung der für das Fortbewegen des Transportwagens nötigen Schiebelast gibt die Firma Blickle für alle Radvariante den entsprechenden Rollwiderstand an. Der Rollwiderstand kann auf der abgebildeten Tabelle als Prozentsatz pro Rad entnommen werden.





				
Polyurethanwerkstoff	Blickle Extrathane®	Blickle Softhane®	Blickle Besthane®	Blickle Besthane® Soft
Technische Daten				
Härte	92 Shore A	75 Shore A	92 Shore A	75 Shore A
Abriebfestigkeit	40 mm ³	45 mm ³	40 mm ³	50 mm ³
Rückprallelastizität	42 %	57 %	65 %	75 %
Rollwiderstand	0,9 %	1,0 %	0,7 %	0,8 %
Zugfestigkeit	48 N/mm ²	44 N/mm ²	46 N/mm ²	40 N/mm ²
Bruchdehnung	510 %	520 %	650 %	700 %
Maximale Geschwindigkeit	16 km/h	16 km/h	25 km/h	25 km/h

Abbildung 70: Tabelle Rollwiderstand Besthane

Für die Auslegung der Räder wird das Material Besthane gewählt, da mit diesen Rollen eine hohe Last transportiert werden kann. Zudem sind die Rollen für einen Dauerbetrieb geeignet und besitzen einen sehr kleinen Rollwiderstand. Anhand der vorliegenden Daten kann schliesslich die Schiebekraft des Transportwagens berechnet werden.

Legende		
z_{Rad}	Anzahl Räder	4 Stk.
m_{Rad}	Kraft von Schienenkamm	1674.7 N
g	Gewichtskraft Erde	9.81 N/kg
FS	Schiebekraft	

Tabelle 34: Berechnung Schiebekraft

Berechnung Schiebekraft:

$$FS = z_{Rad} * m_{Rad} * g * \text{Rollwiderstand}$$

$$FS = 4 * 189.6kg * 9.81 \frac{N}{kg} * 0.007 = 52.08 \text{ Newton}$$

Es ergibt sich eine Schiebekraft von ca. 52 Newton für den beladenen Transportwagen. Damit kann der angestrebte Grenzwert aus der Anforderungsliste von 300 Newton problemlos erreicht werden.

5.5.5 Auswahl der Räder

Die Auswahl der Räder fiel auf folgende Typen:

Lenkbare Räder in Fahrtrichtung vorne: **LH-G 125K-1**

LH-G 125K-1

Rollwiderstand
■■■■■ hervorragend

Fahrgeräusch
■■■■□ ausreichend

Bodenschonung
■■■■□ ausreichend

Plattengröße		100 x 85
Schraublochentfernung		80 x 60
Schraubloch-Ø		9
Rad-Ø		125 mm (D)
Radbreite		35 mm (T2)
Tragfähigkeit		450 kg
Gesamthöhe		165 mm (H)
Ausladung Lenkrolle		45 mm
Temperaturbeständigkeit		-25 ° C
Temperaturbeständigkeit bis		120 ° C
Belagshärte		180 - 220 HB
Lagerart		Kugellager




Abbildung 71: Lenkrolle LH-G 125K-1

Die Räder zeichnen sich durch ihre hohe Tragelast und ihren geringen Rollwiderstand aus. Die nur moderate Bodenschonung und die etwas lautereren Fahrgeräusche sind für die Anwendung in einer Montagehalle kein Problem.

Starre Räder (Bockrollen) in Fahrtrichtung hinten: **BH-G 125K-1**

BH-GB 125K-1

Rollwiderstand
■■■■■ hervorragend

Fahrgeräusch
■■■■□ gut

Bodenschonung
■■■■□ gut

Plattengröße		100 x 85
Schraublochentfernung		80 x 60
Schraubloch-Ø		9
Rad-Ø		125 mm (D)
Radbreite		40 mm (T2)
Tragfähigkeit		500 kg
Gesamthöhe		165 mm (H)
Stückgewicht		2,1 kg
Temperaturbeständigkeit		-25 ° C
Temperaturbeständigkeit bis		70 ° C
Belagshärte		92° Shore A
Lagerart		Kugellager



Abbildung 72: Bockrollen BH-GB 125K-1

Dieser Bockrollentyp entspricht derselben Baureihe wie die lenkbaren Rollen, womit er somit ebenfalls optimal an den Transportwagen passt.

5.5.6 Flächenpressung mechanische Höhenverstellung

Durch die Höhenverstellung mithilfe eines 30x30 mm Hohlprofils, auf welches ein Halter gesetzt wird, muss die Flächenpressung auf dd Hohlprofil überprüft werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt alle relevanten Kräfte auf.

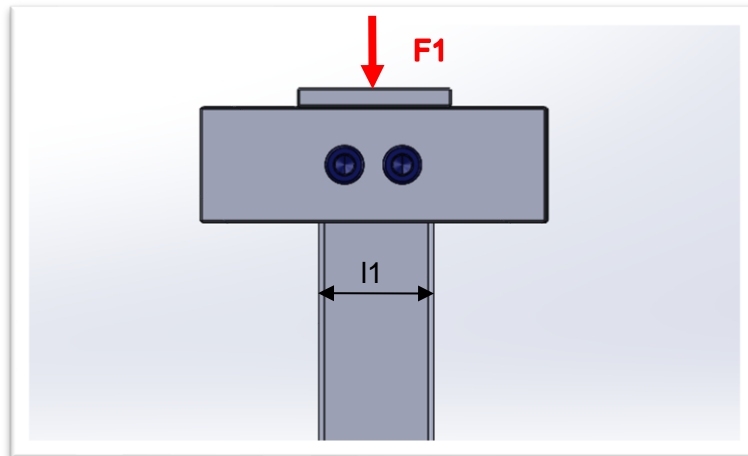


Abbildung 73: Berechnung Flächenpressung Höhenverstellung

Legende		
F1	Kraft Laufschienseite 1	1172.3 N
l1	Seitenlänge Hohlprofil	30 mm
l2	Innenseitenlänge Hohlprofil	24 mm

Abbildung 74: Berechnung Höhenverstellung

Berechnung der Flächenpressung:

$$p = \frac{F1}{A} = \frac{1172.3N}{((30mm * 30mm) - (24mm * 24mm))} = 3.6 N/mm^2$$

Somit beträgt die Flächenpressung lediglich 3.6 N/mm². Diesen Wert kann das Hohlprofil aus Stahl S235JR mit seiner zulässigen Flächenpressung von 180 N/mm² spielend erreichen. Da die Flächenpressung also so tief ausfällt, wird ein Hohlprofil mit kleinerer Wandung (wie z.B. 1.5mm) gewählt.

Berechnung der Flächenpressung mit Hohlprofil t=1.5mm:

$$p = \frac{F1}{A} = \frac{1172.3N}{((30mm * 30mm) - (27mm * 27mm))} = 6.9 N/mm^2$$

Dadurch entsteht eine Flächenpressung von 6.9 N/mm², was immer noch kein Problem darstellt.

Nach der Auslegung der Höhenverstellung sind die Berechnungen für den Transportwagen abgeschlossen, wodurch er an die Ausarbeitungsphase weitergegeben werden kann.

6 Ausarbeiten

In der Ausarbeitungsphase werden die definitiven CAD-Konstruktionen der beiden Montagehilfen erstellt. Dafür fließen alle Erkenntnisse aus der Konzept- und Konstruktionsphase in die fertigen Baugruppen ein. Die Ausarbeitungsphase wird wie bereits in der Konzept- und Konstruktionsphase der Schienenstossverbinder und der Transportwagen getrennt vorgestellt.

6.1 Ausarbeitung Schienenstossverbinder

In den nachfolgenden Unterkapitel wird die Ausarbeitung präsentiert und zum Schluss mit einer kompletten Darstellung der Baugruppe aufgezeigt.

6.1.1 Handgriff

Die beiden Handgriffe werden mithilfe des 3D-Druckverfahrens hergestellt. Dadurch lässt sich kostengünstig ein individueller Handgriff herstellen, welcher hundertprozentig auf den Stossverbinder abgestimmt werden kann. Ein weiterer Vorteil der 3D-Drucktechnik ist das geringe Eigengewicht des Handgriffes.

Aus Gründen einer Rotationssicherung ist die Aufnahme auf den Fest- und Lagergriff rechteckig aufgebaut. Dadurch ist ein Drehen des Handgriffes während der Benutzung nicht möglich. Am oberen Ende wurde zudem eine Senkkopfbohrung eingearbeitet, damit der Handgriff am Fest- und Lagergriff befestigt werden kann und gegen ein allfälliges Abrutschen gesichert ist.

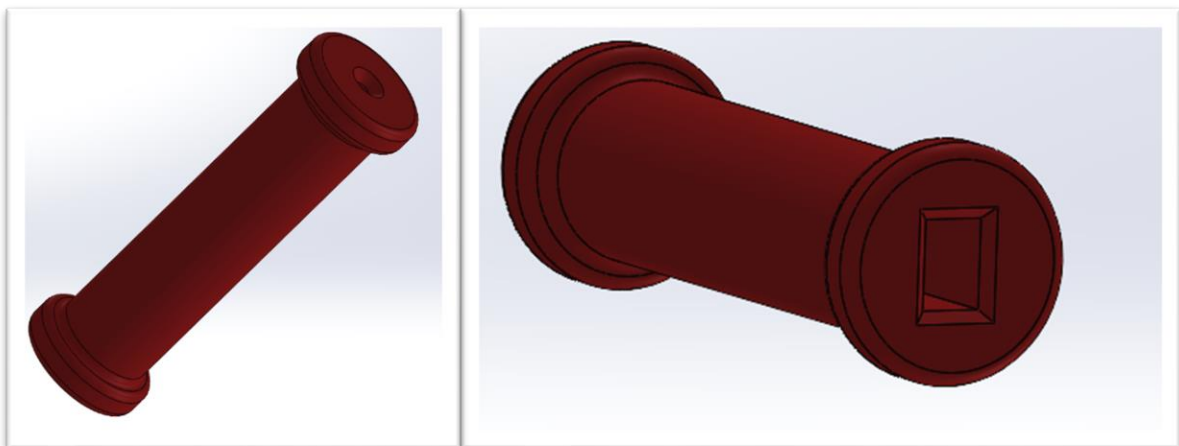


Abbildung 75: Handgriff mit rechteckigem Verdrehschutz

6.1.2 Festgriff

Für die Konstruktion des Festgriffes wird ein Grundprofil von 20x10 mm verwendet, welches anschliessend bearbeitet werden kann. Für die Befestigung des Festgriffes an der Grundplatte werden 2 6mm Stirnlochbohrungen verwendet, welche anschliessend mit zwei M6x12mm Innensechskantschrauben befestigt werden können. Für die Befestigung des Haltegriffes wurde am oberen Ende des Profils eine Verjüngung eingearbeitet, welche den Querschnitt auf 15x10 mm reduziert, und so genügend Platz für den Haltegriff vorhanden ist. An der unteren Seite befindet sich eine M6 Gewindebohrungen, an welcher später die Anschlagbolzen befestigt werden können.



Abbildung 76: Konstruktion Festgriff

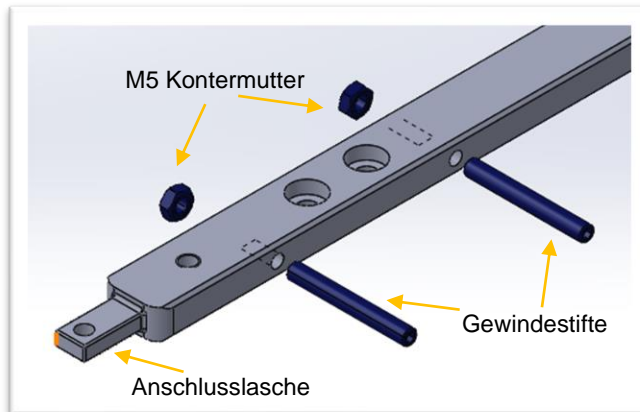


Abbildung 77: Bohrungen Wegbegrenzung

An der Seite des Festgriffes befinden sich M5 Gewindelöcher, bei welchen mithilfe eines M5x40 mm Gewindestiftes die Bewegungsstrecken des Stossverbinders eingestellt werden können. Damit sich die Gewindestifte nicht lösen können, werden diese mit einer Kontermutter von vorne gesichert. Stirnseitig befindet sich eine M5 Bohrung, bei welcher die Augenschraube befestigt werden kann, welche die Feder halten soll.

6.1.3 Lagergriff

Der Lagergriff besteht aus dem gleichen 20x10 mm Grundprofil wie der Festgriff. Auch die Verjüngung für den Handgriff, die Bohrung für den Anschlagbolzen und die M5 Befestigungsbohrung für die Augenschraube ist im Vergleich zum Festgriff identisch. Dadurch können die beiden Bauteile beinahe auf gleiche Art vorbereitet werden.



Abbildung 78: Konstruktion Lagergriff

Anders als der Festgriff besitzt der Lagergriff ein integriertes Lager, welches für die Beweglichkeit des Stossverbinders verantwortlich ist. Wie in der Konzeptphase ausgewertet und anschliessend in den Berechnungen überprüft, wird das Gleitlager GSM-0608-10 der Firma IGUS eingebaut. Der schmier- und wartungsfreie Gleitlagereinsatz besteht aus Kunststoff und besitzt eine hohe Verschleissfestigkeit. Zudem ist der Gleitlagereinsatz unempfindlich gegen Staub und Schmutz, wodurch er für den Einsatz in einer Montageabteilung gut geeignet ist. Der Gleitlagereinsatz besitzt einen Innendurchmesser von 6 mm und eines Aussendurchmesser von 8 mm. Für die Aufnahmebohrung ist eine vorgegebene Toleranz von 8.000 bis 8.015 mm (H7) einzuhalten, damit das Gleitlager eingepresst werden kann. Diese Toleranz wird in der CAD-Konstruktion miteinbezogen, um einen korrekten Sitz des Gleitlagers garantieren zu können. Der Innendurchmesser wird erst nach dem Einpressvorgang seinen endgültigen Durchmesser von min. 6.02 bis 6.068 mm erreichen. Für die Befestigung des Lagergriffs wird eine M5x6x10 mm Passschulterschraube verwendet, welche eine möglichst verschleissfreie Bewegung des Gleitlagers sicherstellen soll.

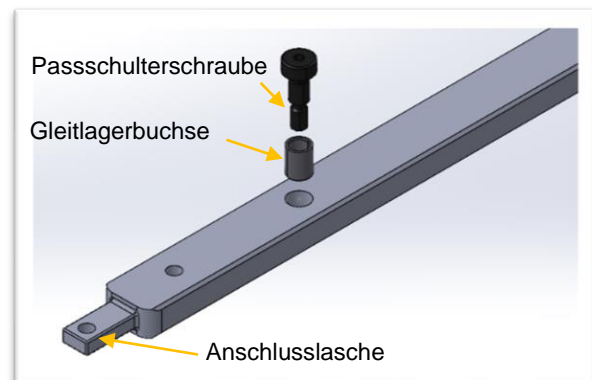


Abbildung 79: Zusammenstellung Lagergriff

6.1.4 Anschlagbolzen

Die Anschlagbolzen werden für die verschiedenen Laufschiengrößen einzeln angepasst. Dadurch kann für jede Laufschiene ein passender Anschlagbolzen angefertigt werden. Durch die austauschbaren Anschlagbolzen wird garantiert, dass im Falle eines neuen Schientyps der Stossverbinder auch weiterhin eingesetzt werden kann. Dies verleiht dem Stossverbinder zusätzlich Vielseitigkeit. Für die Demontage der Anschlagbolzen werden Flächen eingearbeitet, an welchen mit einem Gabelschlüssel angesetzt werden kann, falls der Bolzen festsitzen sollte. Für die Fertigung der Montagebolzen muss beachtet werden, dass auf jeden Fall ein Untermass toleriert wird, damit die Bolzen eine Spielpassung besitzen.

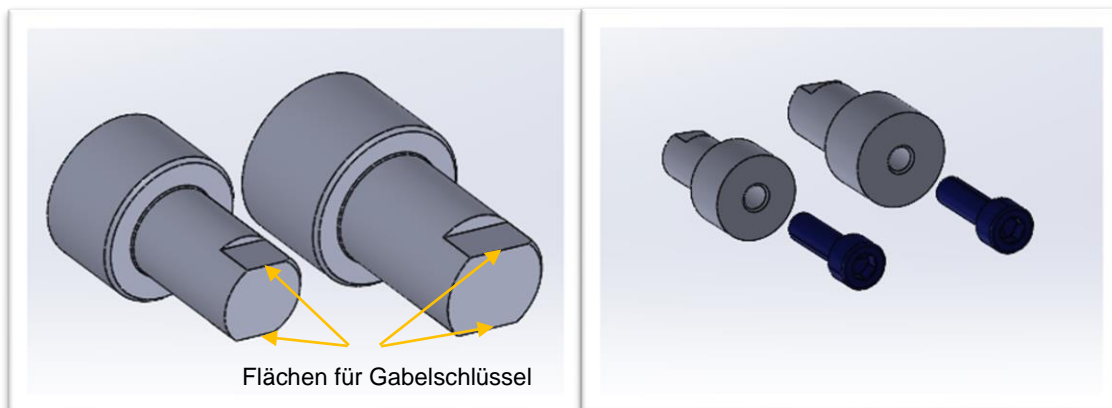


Abbildung 80: Anschlagbolzen mit Zylinderschraube M6x20 mm Befestigung

6.1.5 Zusammengestellte Baugruppe

Nachdem alle einzelnen Bauteile ausgearbeitet wurden, werden diese zu einer kompletten Baugruppe zusammengeführt. Dabei kann kontrolliert werden, ob die einzelnen Konstruktionen überhaupt zusammenpassen und ob die Bewegungsfreiheit des Stossverbinders gewährleistet ist. Die Federanlasslaschen verbaut wird, kann leider im CAD nicht dargestellt werden, da die ausgewählte Feder nicht als CAD-Datei verfügbar ist. Auf den nachfolgenden Abbildungen wird der Stossverbinder dargestellt.

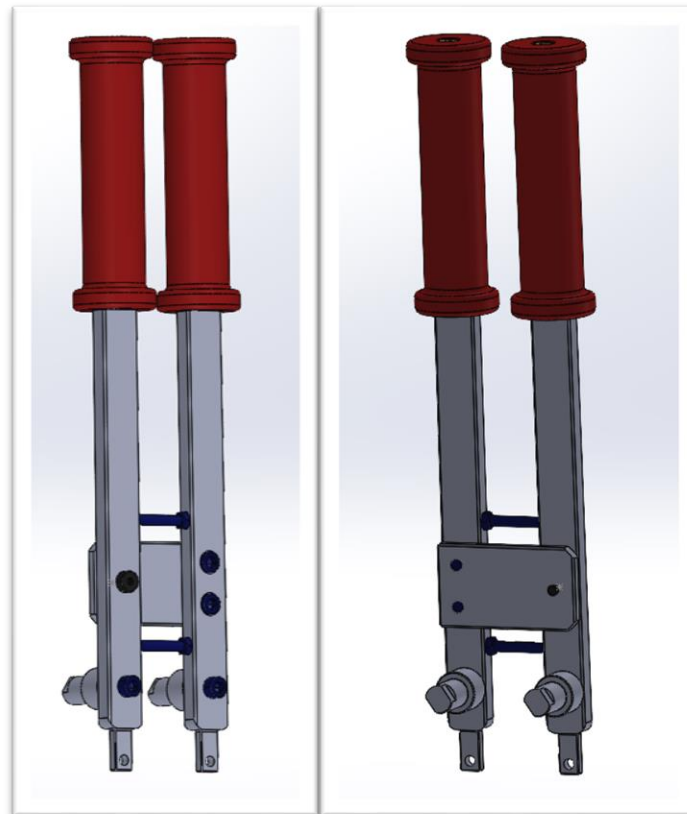


Abbildung 81: Baugruppe Stossverbinder

Stückliste Stossverbinder				
Nr.	Anzahl	Beschreibung	Lieferant	Bestellnummer
1	1 Stk.	Festgriff	Güdel	
2	1 Stk.	Lagergriff	Güdel	
3	1 Stk.	Grundplatte Für Griffmontage	Güdel	
4	2 Stk.	Handgriff Stossverbinder	Güdel	
5	2 Stk.	Anschlagbolzen M10	Güdel	
6	2 Stk.	Anschlagbolzen M12	Güdel	
7	1 Stk.	Normfedern	Kubo Tech AG	8104-085965
8	1 Stk.	Gleitlagerbuchse	IGUS	GSM-0608-10
9	1 Stk.	Passschulter-schraube M5/6x10	Bossard	1079891
10	2 Stk.	Innensechskantschraube M6x12	Bossard	1004271
11	2 Stk.	Innensechskantschraube M6x20	Bossard	1004336
12	2 Stk.	Gewindestifte M5x40	Bossard	1034723
13	2 Stk.	Sechskantmutter M5	Bossard	1089560

Tabelle 35: Stückliste Stossverbinder

Nach der Zusammenstellung der Baugruppe und einer Stückliste ist die Ausarbeitung des Stossverbinders abgeschlossen. Im nächsten Kapitel wird im Anschluss eine Risikoanalyse für den Stossverbinder durchgeführt. Zum Schluss werden im Unterkapitel 6.3 «Zielauswertung» die Anforderungen aus der Anforderungsliste überprüft. Abgesehen davon ist der Stossverbinder aber nun so weit ausgearbeitet, dass er der Montageleitung präsentiert werden kann, um somit eine Freigabe für den Bau eines ersten Prototypen zu erhalten.

6.1.6 Risikoanalyse Stossverbinder

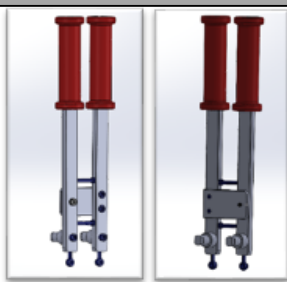

E	Daten	Nr.	Beschreibung																																		
E1	Produktbezeichnung	E1.1	Stossverbinder																																		
E1	Typenbezeichnung	E1.2	Montagehilfe																																		
E2	Hersteller	E2.1	Güdel AG, Thomas Michel																																		
E3	Datum	E3.1	15.10.2021																																		
E4	Verfasser	E4.1	Thomas Michel																																		
E5	Mitgeltende Dokumente	E5.1	N/A																																		
E6	Bemerkungen	E6.1	N/A																																		
N	Normen	Beschreibung																																			
N1	2006/45/EG																																				
N2																																					
V	Angewandte Verfahren bei der Risikobeurteilung																																				
A		Schadenausmass (S)			Wahrscheinlichkeit (W)		Zone (Z)																														
B		I	Tod	A	häufig	Zone 1: Grosse Risiken																															
C		II	Schwere bleibender Gesundheitsschaden	B	gelegentlich	Zone 2: Mittlere Risiken																															
D		III	leichter bleibender Gesundheitsschaden	C	selten	Zone 3: Kleine Risiken																															
E		IV	Heilbarer Gesundheitsschaden mit Arbeitsausfall	D	unwahrscheinlich																																
V		V	Heilbarer Gesundheitsschaden ohne Arbeitsausfall	E	praktisch unmöglich																																
G	Grenzen der Maschine	Nr.	Beschreibung	Aufgaben	Bemerkungen	Anschlussdokumente																															
G1	Bestimmungsgemässe Verwendung	G1.1	- Verspannen der einzelnen Schienenstösse in der Laufschiene Montage der TackMotion in der Güdel Module Montage.	N/A	N/A	N/A																															
		G1.2	- Nur zum Verspannen von vorgegebenen Laufschiene (M10, M12)	N/A	N/A	N/A																															
	Nicht bestimmungsgemässe Verwendung, Missbrauch	G1.3	- Verwendung der Montagehilfe ohne vorgängige Instruktion für die korrekte Anwendung des Stossverbinders - Verwendung durch Benutzer in unzulänglicher Verfassung - Verwendung der Maschine in defektem Zustand - Verwendung von Ersatzteilen, welche der Originalspezifikationen nicht entsprechen - Jede andere Verwendung, für welche die Montagehilfe nicht explizit bestimmt ist	N/A	N/A	N/A																															
G2	Nutzung	G2.1	Gewerblich	Ja	N/A	N/A																															
		G2.2	Privat	Nein	N/A	N/A																															
G3	Gefährdete Personen	G3.1	Besonders befähigte Personen (Wartung / Diagnostik)	Installation Wartung Reparatur Instruktion Ausbildung	Aufgrund der Fachkenntnisse aus Berufsausbildung, Berufserfahrung und zeitnaher beruflicher Tätigkeit muss ein zuverlässiges Verständnis sicherheitstechnischer Belangen gegeben sein, damit Kontrollen ordnungsgemäss durchgeführt werden können.	N/A																															
		G3.3	Laien und nicht instruierte Personen	Kein	N/A	N/A																															
		G3.4	Andere gefährdete Personen	Kein	N/A	N/A																															
Nr.	Lebensphase	Nr.	Aufgabe / Tätigkeit	Nr.	Gefährdung Gefährdungssituation und -ereignis	Gesundheitsschaden	Ist Risiko			Risikominderung			Rest Risiko																								
1	Installation	1.1	Demontage der Anschlagbolzen	1.1.1	Abrutschen des Gabelschlüssels während der Demontage der Anschlagbolzen	Quetschung Schnittwunde	S	W	Z	2	Stossverbinder bei Demontage auf Tisch fixieren	S	W	Z																							
															IV	C	2	IV	D	2																	
2	Betrieb	2.1	Anbringen der Montagehilfe	2.1.1	Herunterfallen der Montagehilfen während der Schienenmontage	Quetschen Stossen	IV	B	2	Tragen der persönlichen Sicherheitschuhe	V	B	1																								
														2.2	Spannen der Montagehilfe	2.2.2	Einklemmen der Finger bei Ueberspannung / Zerstörung der Feder	Quetschungen	IV	C	2	Wegbeschränkung während des Spannens durch Stellschrauben	IV	E	1												
																										2.3	Entspannen der Montagehilfe	2.2.3	Einklemmen der Finger zwischen den Haltegriffen	Quetschungen	IV	C	2	Wegbeschränkung der Haltegriffe durch eine Stellschraube	IV	E	1
4	Demontage Ausserbetriebsnahme	4.1	Ausser-Betriebsnahme	4.1.1	Abspicken der Feder bei der Demontage	Augenverletzungen	II	B	2	Schutzbrillen tragen, Stellschraube komplett entfernen, damit die Feder entspannt ist	II	E	2																								
														5	Entsorgung	5.1	Fachgerechte Entsorgung der	5.1.1	Verletzungsgefahr durch Scharfkantige Bauteile	Schnittwunden	V	C	3	Tragen der persönlichen Schutzausrüstung													

Tabelle 36: Risikoanalyse Stossverbinder

6.2 Ausarbeitung Transportwagen

In den nächsten Unterkapiteln wird die Ausarbeitung vorgestellt und im Anschluss die komplette Darstellung der Baugruppe präsentiert.

6.2.1 Handgriff

Wie schon beim Stossverbinder wird auch beim Transportwagen ein eigener Handgriff mit dem 3D-Druckverfahren hergestellt, da die auf dem Markt erhältlichen Handgriffe im Fall des Transportwagens nicht angewendet werden können. Der Handgriff ist so konzipiert, dass er über ein 40x40 mm Hohlprofil gesteckt werden kann. Somit müssen keine Anpassungen am Profil vorgenommen werden. Für die Fixierung des Handgriffes am Montagewagen wird eine M5x16 mm Senkkopfschraube verwendet, welche an der Unterseite verschraubt werden kann. Somit wird auch verhindert, dass das Abziehen des Handgriffes während dem Stoss- oder Zugvorgang, nicht möglich ist.

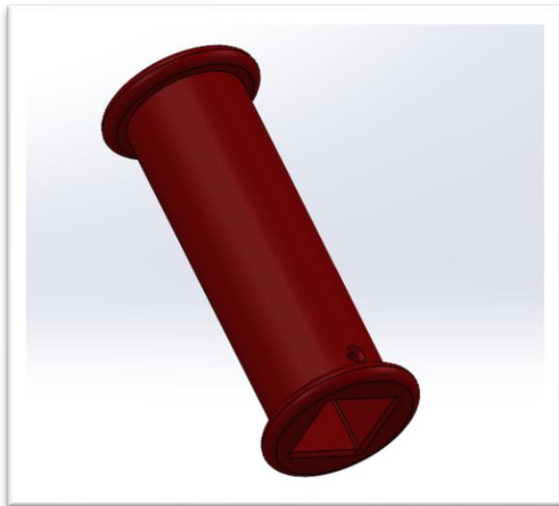


Abbildung 82: Handgriff Transportwagen

6.2.2 Fahrgestell des Transportwagens

Für das Fahrgestell, worauf die Schienen aufliegen, wird eine Schweisskonstruktion aus 40x40 mm Hohlprofilen hergestellt. Auf der folgenden Abbildung wird der Grundrahmen ohne Anbauteile aufgezeigt.

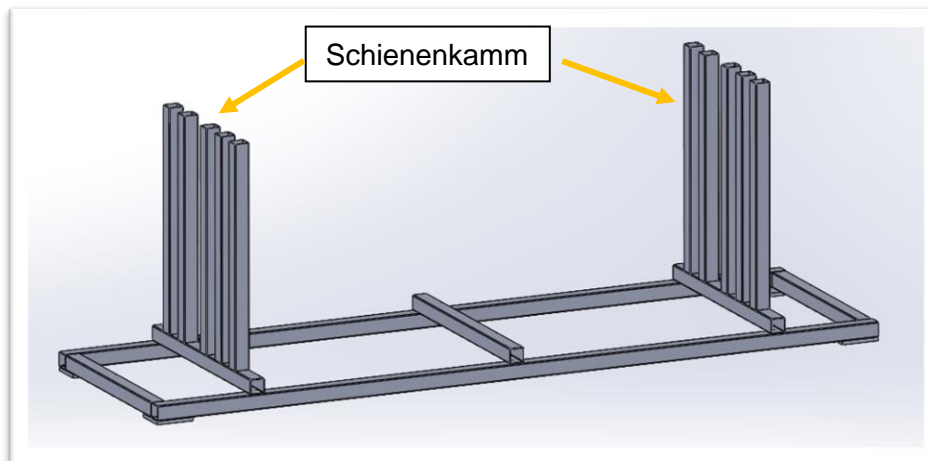


Abbildung 83: Grundrahmen ohne Anbauteile

Dabei werden die bereits im Rahmen der Berechnungen überprüften Schienenkämme direkt auf den Grundrahmen geschweisst, was eine sichere Verbindung der beiden Teile auf längere Zeit gewährleistet. Sollte die Schienengesamtlänge in naher Zukunft verkürzt geführt werden, kann der Transportwagen mit zwei weiteren Schienenkämmen ergänzt werden. Dadurch kann er nach der Anpassung dieselbe Menge an Schienen transportieren, wie vor der Anpassung. Durch den Sicherheitsfaktor von über drei, welcher in die Berechnungen miteinbezogen wurde, stellt diese Anpassung für den Grundrahmen kein Problem dar.

Haltepunkt für Mitarbeiter

In einem nächsten Schritt werden die Haltepunkte für die Mitarbeiter an den Grundrahmen angebracht. Diese werden ebenfalls direkt mit dem Grundrahmen verschweisst, womit auch hier eine sichere und langlebige Verbindung geschaffen wird.

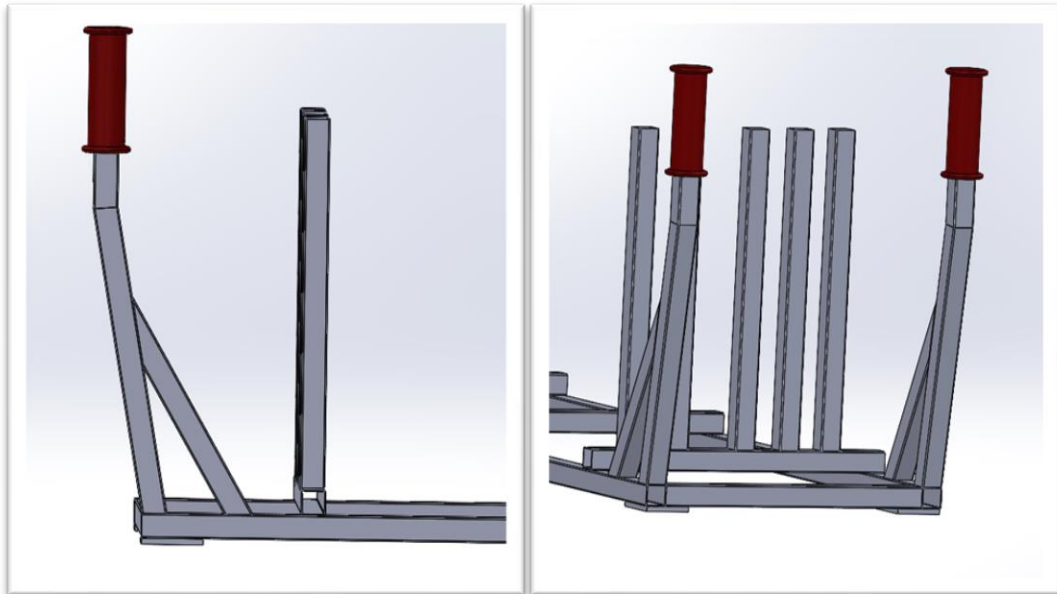


Abbildung 84: Haltepunkte für Mitarbeiter

Der Mitarbeiter hat aufgrund der untereinander nicht verbundenen Haltepunkte genügend Freiraum nach vorne hin, um die Laufschiene zu ergreifen. Zudem sind die Handgriffe leicht nach hinten geneigt, damit seitlich genügend Freiraum zur Verfügung steht, um die Schienen herauszunehmen. Die Handgriffe befinden sich nach dem Anbau der Räder auf einer Höhe von ca. 90cm, was den ergonomischen Anforderungen aus der Anforderungsliste gerecht wird.

Schienen-Vorbereitungshalter

Damit die Schienen vor der Montage gereinigt und mit dem Abziehstein abgezogen werden können, ist auf dem Schienenkamm jeweils an den beiden äussersten Streben eine Schienenhalterung angebracht.

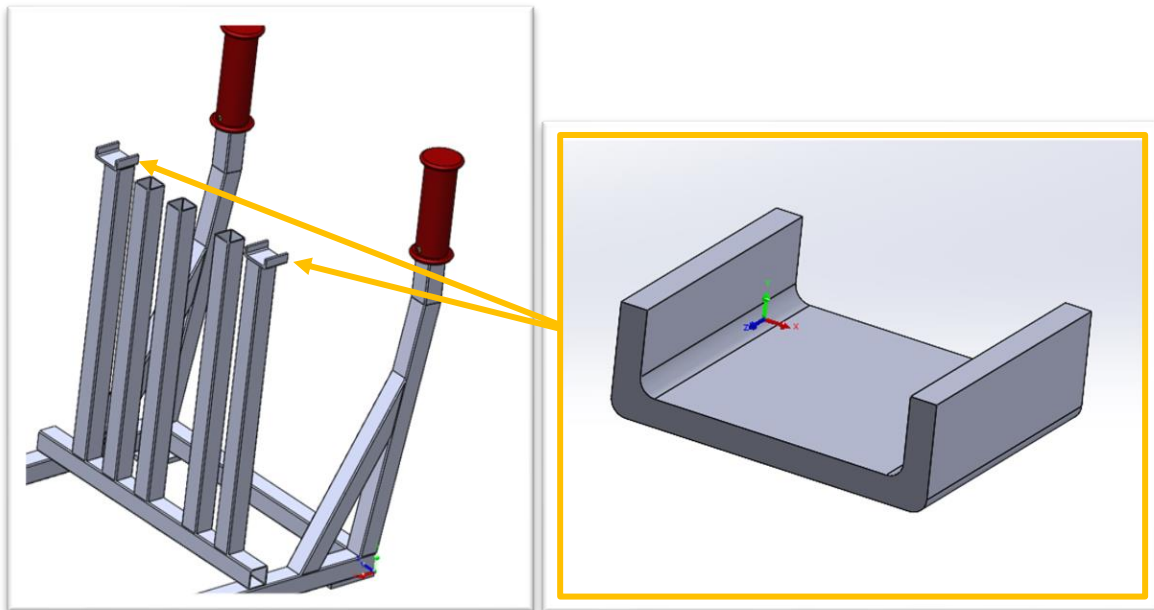


Abbildung 85: Schienen-Vorbereitungshalter

Der Schienen-Vorbereitungshalter wird ebenfalls direkt mit dem Schienenkamm verschweisst. Somit können auf beiden Seiten des Transportwagens die Schienen direkt vorbereitet werden.

Anbau Räder

Die Räder umfassen wie bereits im Morphologischen Kasten bestimmt zwei gelenkte und zwei feste Rädern. Für die Montage der Räder werden 10 Millimeter dicke Stahlplatten an den Grundrahmen angeschweisst, welche ein Lochbild von 80x60 mm aufweisen. Dies entspricht dem Lochbild der angestrebten Räder.

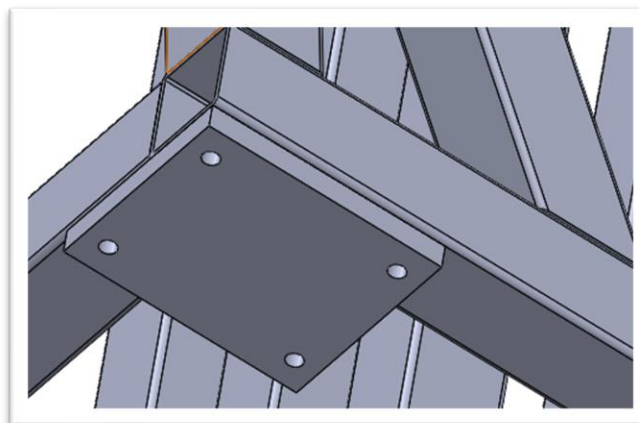


Abbildung 86: Radaufnahme am Grundrahmen

Nach Abschluss der Berechnungen ist die mögliche Last pro Rad mit 189.6 Kg bekannt. Die gewählten Räder sind von der Firma Blickele welche sich auf den Vertrieb von verschiedensten Rädervarianten spezialisiert hat.

Für den Transportwagen werden jeweils zwei gelenkte und zwei feste Räder mit einem Durchmesser von 125 mm ausgewählt. Die festen Räder besitzen eine Tragfähigkeit von 500 kg, was einer 2.6-fachen Sicherheit entspricht. Die gelenkten Räder besitzen eine maximale Tragfähigkeit von 450 kg was einer Sicherheit von 2.4 entspricht.

Somit sind beide Radtypen mit mehr als zweifacher Sicherheit ausgelegt, was für den Bau eines Transportwagen genügt.



Abbildung 87: Radbefestigung am Transportwagen

Die Räder werden mithilfe von vier M8x12 Sechskantschrauben und einer M8 Unterlegscheibe von unten an die Aufnahmen geschraubt. Zum Abschluss der Ausarbeitung wird eine Stückliste erstellt, auf welcher alle verbauten Bauteile aufgelistet sind.

Stückliste Transportwagen				
Nr.	Anzahl	Beschreibung	Lieferant	Bestellnummer
Grundrahmen				
1	2 Stk	Hohlprofil 40x40, 2000	Kiener + Wittlin AG	7612884618788
2	2 Stk.	Hohlprofil 40x40, 520	Kiener + Wittlin AG	7612884618788
3	3 Stk.	Hohlprofil 40x40, 595	Kiener + Wittlin AG	7612884618788
4	10 Stk.	Hohlprofil 40x40, 590	Kiener + Wittlin AG	7612884618788
5	4 Stk.	Schienen-Vorbereitungshalter	Güdel	
6	4 Stk.	Radaufnahme-Platten	Güdel	
Handgriffe				
7	4 Stk.	Hohlprofil 40x40, 500, Enden abgeschrägt	Kiener + Wittlin AG	7612884618788
8	4 Stk.	Hohlprofil 40x40; 400 Enden abgeschrägt	Kiener + Wittlin AG	7612884618788
9	4 Stk.	Hohlprofil 40x40, 240 Enden abgeschrägt	Kiener + Wittlin AG	7612884618788
10	2 Stk.	Handgriff Transportwagen	Güdel	
11	4 Stk.	Senkkopfschraube M5x16	Bossard	1202200
Räder				
12	2 Stk.	Lenkbare Räder	Blickle	LH-G 125K-1
13	2 Stk.	Feste Räder	Blickle	BH-GB 125K-1
14	16 Stk.	Sechskantschraube M8x12	Bossard	1049763
15	16 Stk.	Unterlegscheibe M8	Bossard	1761846

Tabelle 37: Stückliste Transportwagen

Somit ist das Fahrgestell des Transportwagens komplett ausgearbeitet.

6.2.3 Beladener Transportwagen

Auf der Abbildung 88 wird der Transportwagen als Baugruppe präsentiert. Die Abbildung zeigt zudem den beladenen Zustand des Transportwagens, auf welchem die Schienen als rote und die Zahnstangen als blaue Balken dargestellt sind. Zudem sind jeweils eine Zahnstange und eine Laufschiene auf dem Schienenvorbereitungshalter platziert, um von diesem Vorgang ebenfalls eine Idee aufkommen zu lassen.

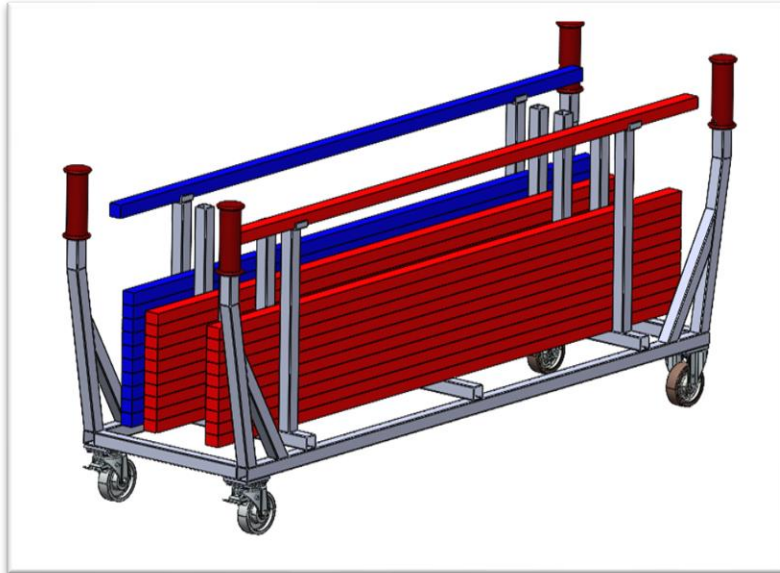


Abbildung 88: Beladener Transportwagen

Auslegung und Ausarbeitung des Transportwagens sind nun abgeschlossen. In einem weiteren Schritt wird eine Risikoanalyse für den Transportwagen erstellt. Zum Schluss wird die Zusatzaufgabe Höhenverstellung erläutert.

6.2.4 Risikoanalyse Transportwagen

E	Daten	Nr.	Beschreibung								
E1	Produktbezeichnung	E1.1	Transportwagen								
E1	Typenbezeichnung	E1.2	Montagehilfe								
E2	Hersteller	E2.1	Güdel AG, Thomas Michel								
E3	Datum	E3.1	15.10.2021								
E4	Verfasser	E4.1	Thomas Michel								
E5	Mitgeltende Dokumente	E5.1	N/A								
E6	Bemerkungen	E6.1	N/A								
N	Normen	Beschreibung									
N1	2006/45/EG										
N2											
V	Angewandte Verfahren bei der Risikobeurteilung										
A		Schadenausmass (S)		Wahrscheinlichkeit (W)	Zone (Z)						
B		I	Tod	A häufig	Zone 1: Grosse Risiken						
C		II	Schwere bleibender Gesundheitsschaden	B gelegentlich	Zone 2: Mittlere Risiken						
D		III	leichter bleibender Gesundheitsschaden	C selten	Zone 3: Kleine Risiken						
E		IV	Heilbarer Gesundheitsschaden mit Arbeitsausfall	D unwahrscheinlich							
V		V	Heilbarer Gesundheitsschaden ohne Arbeitsausfall	E praktisch unmöglich							
G	Grenzen der Maschine	Nr.	Beschreibung	Aufgaben	Bemerkungen	Anschlussdokumente					
G1	Bestimmungsgemäse Verwendung	G1.1	- Transport der Laufschiene und Zahnstangen für den Montagevorgang der Güdel TrackMotion Montage	N/A	N/A	N/A					
	Einschränkungen	G1.2	- Der Transportwagen darf nur auf seine maximal zulässige Nutzlast beladen werden.	N/A	Der Transportwagen ist für 20 Meter TrackMotion ausgelegt	N/A					
	Nicht bestimmungsgemäse Verwendung, Missbrauch	G1.3	- Beladung von anderweitigen Materialien ausser Laufschiene und Zahnstangen für die Montage der TrackMotion - Verwendung durch Benutzer in unzulänglicher Verfassung - Verwendung der Maschine in defektem Zustand - Verwendung von Ersatzteilen, welche der Originalspezifikationen nicht entsprechen - Jede andere Verwendung, für welche die Montagehilfe nicht explizit bestimmt ist	N/A	N/A	N/A					
G2	Nutzung	G2.1	Gewerblich	Ja	N/A	N/A					
		G2.2	Privat	Nein	N/A	N/A					
G3	Gefährdete Personen	G3.1	Besonders befähigte Personen (Wartung / Diagnostik)	Transport Installation Wartung Reparatur Instruktion Ausbildung	Aufgrund der Fachkenntnisse aus Berufsausbildung, Berufserfahrung und zeitnaher beruflicher Tätigkeit muss ein zuverlässiges Verständnis sicherheitstechnischer Belangen gegeben sein, damit Kontrollen ordnungsgemäss durchgeführt werden können.	N/A					
		G3.3	Laien und nicht instruierte Personen	Kein	N/A	N/A					
		G3.4	Andere gefährdete Personen	Kein	N/A	N/A					
Nr.	Lebensphase	Nr.	Aufgabe / Tätigkeit	Nr.	Gefährdung Gefährdungssituation und -ereignis	Gesundheitsschaden	Ist Risiko S W Z	Risikominderung	Rest Risiko S W Z		
1	Transport	1.1	Transportieren	1.1.1	Einklemmen von Gliedmassen beim Abladen des Transportwagens	Quetschen Stossen	III C 2	Abladen mit Hilfe des Hallenkranes, keine Personen im			
				1.1.2	Verrutschen des Transportwagens während des Transportes	Quetschen Stossen	III C 2	Feststellbare Räder feststellen, Transportwagen korrekt Festzurren	III E 3		
2	Installation	2.1	Montage der Räder	2.1.1	Einklemmen von Gliedmassen durch umkippen des Transportwagens	Quetschen Stossen	III B 1	Transportwagen während Radmontage aufbocken und gebeug umkippen sichern	III E 2		
3	Betrieb	3.1	Beladen der Laufschiene	3.1.1	Einklemmen von Fingern beim ablegen der Laufschiene und Zahnstangen auf den Transportwagen.	Quetschen Stossen	IV B 2	Tragen von persönlicher Schutzausrüstung. Zweihandbedienung des Manipulators	IV E 3		
				3.2	Verschieben des Transportwagens	3.2.1	Einklemmen der Füßen unter den Rädern	Quetschen Stossen	B IV 2	Tragen der persönlichen Sicherheitsschuhe	V B 3
				3.2.2	Einklemmen von Gliedmassen zwischen Hindernissen und dem Transportwagen	Quetschen Stossen	IV C 2	Tragen der persönlichen Schutzausrüstung			
4	Instandhaltung	4.1	Instandhaltungsarbeiten	4.1.1	Einklemmen von Gliedmassen während auswechslung eines Rades	Quetschen Stossen	III B 1	Transportwagen während Radmontage aufbocken und gebeug umkippen sichern	III E 2		
				4.1.3	Schneiden an scharfkantigen Teilen	Schnittwunden Abschürfen	IV C 2	Tragen der persönlichen Schutzausrüstung und Scharfkantige Teile vermeiden	IV C 2		
5	Demontage Ausserbetriebsnahme	5.1	Ausserbetriebsnahme	6.1.1	Alle Demontage und Montage Arbeiten. Gefahr der Verletzung von Gliedmassen beim Ausbauen der Komponenten durch scharfkantige Teile	Quetschen Schneiden Erfassen Abschürfen	IV B 2	Tragen der persönlichen Schutzausrüstung			
				5.2	Demontage der Räder	6.2.1	Einklemmen von Gliedmassen durch umkippen des Transportwagens	Quetschen Stossen	III B 1	Transportwagen während Radmontage aufbocken und gebeug umkippen sichern	III E 2
6	Entsorgung	6.1	Entsorgung der Werkstoffen	7.1.2	Gefahr der Verletzung von Gliedmassen durch scharfkantige Teile	Quetschen Schneiden	IV B 2	Tragen der persönlichen Schutzausrüstung			

Tabelle 38: Risikoanalyse Transportwagen

6.2.5 Mechanisch verstellbare Schienenhöhe

Damit die Schienen bei kleineren Transportmengen nicht zu tief gelagert werden müssen, kann ein Einsatz zwischen die Schienenkämme gelegt werden, wodurch die Starthöhe für das Stapeln der Schienen angehoben wird. Das Prinzip wurde bereits im Unterkapitel 5.4.2 «mechanisch einstellbare Schienenhöhe» genauer erklärt und wird nun als CAD-Konstruktion ausgearbeitet. Auf der Abbildung 89 wird die Konstruktion dargestellt.

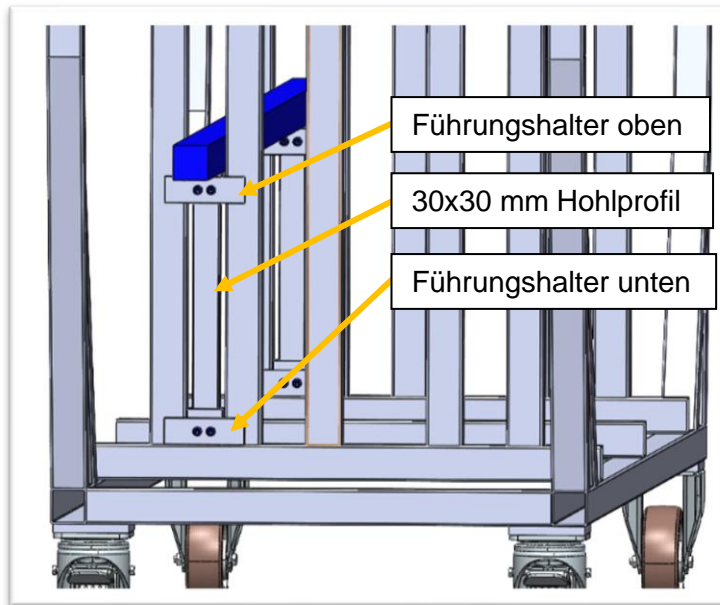


Abbildung 89: Mechanische Höhenverstellung

Mithilfe eines 30x30 mm Hohlprofils, bei welchem unten und oben die Führungshalter aufgesteckt werden können, kann eine beliebige Starthöhe erreicht werden. Somit können einige Standardlängen aus 30x30 mm Hohlprofilen zugeschnitten werden und mit jeweils sechs oberen und sechs unteren Führungshaltern montiert werden. Mithilfe dieser Konstruktion ist eine simple mechanische Höhenverstellung als Alternative zur automatischen Höhenverstellung möglich.

6.2.6 Automatische verstellbare Schienenhöhe

Die automatische Höhenverstellung, welche durch einen integrierten Scherenhubtisch erreicht werden soll, kann aus zeitlichen Gründen nicht fertig konstruiert werden. Einige Ideen und Berechnungen in Richtung einer Konstruktion der entsprechenden Scherenmechanik konnten bereits durchgeführt werden. Das betrifft einerseits das Berechnungstool, welches zu einem Teil bereits erstellt wurde, damit wie beim Stossverbinder die zu berechnenden Werte direkt abgelesen werden können. Es besteht ebenfalls eine erste, grob skizzierte CAD-Zeichnung von einer solchen Mechanik, welche eine Basis für eine allfällige Ausarbeitung zu einem späteren Zeitpunkt bilden kann. Nachfolgend werden die bereits im Rahmen dieser Diplomarbeit erarbeiteten Überlegungen zur Scherenmechanik aufgezeigt.

Berechnungstool

Für die Gewichtsberechnungen wurde ein EXCEL-Berechnungstool erstellt, um für die verschiedenen TrackMotion Längen das Gesamtgewicht der Schienen zu berechnen. Für die geplante automatische Höhenverstellung wurden im bestehenden EXCEL-Berechnungstool zusätzlich die Belastungen für die Scherenmechanik aufgezeigt, und eine dazugehörige Kräftetabelle angefertigt.

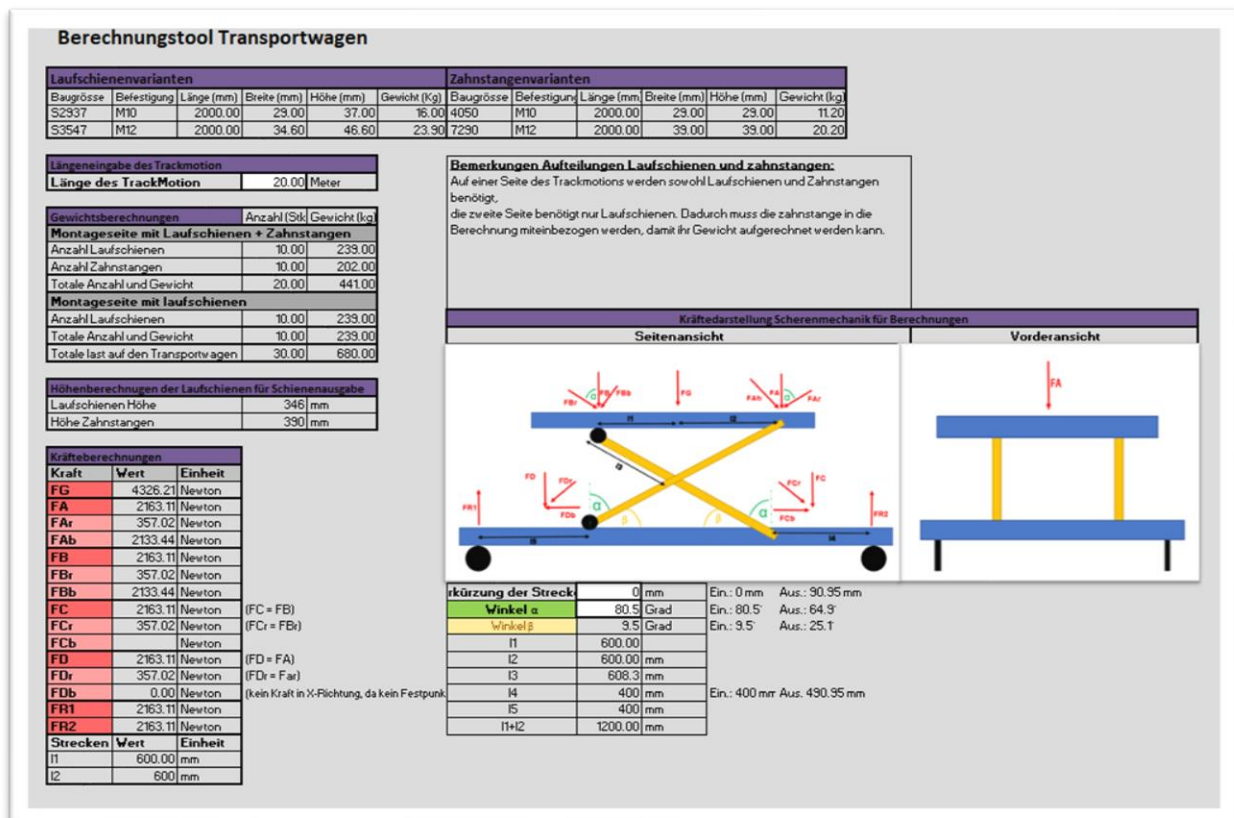


Abbildung 90: Berechnungstool Transportwagen

CAD-Konzept

Eine erste CAD-Konstruktion konnte umrissen werden. Mit dieser soll aufgezeigt werden, wie der Aufbau der Scherenmechanik aussehen kann. Die nächste Abbildung gewährt einen Überblick über diese Konstruktion.

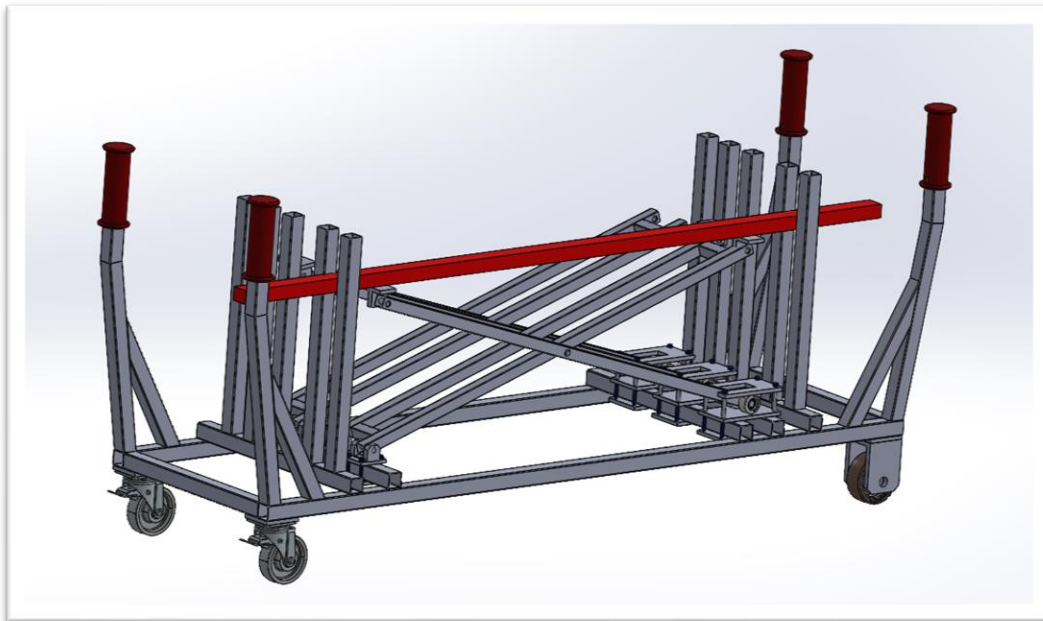


Abbildung 91: Konstruktion Scherenmechanik

Durch Rollen soll die Scherenmechanik auf der beweglichen Seite in einer Führung verfahren können. Die Befestigungspunkte auf der Festseite und auf der beweglichen Seite sollen beide jeweils nicht fest mit dem Grundrahmen verschweisst, sondern mit Flanschplatten an die 40x40 mm Hohlprofile verspannt werden. Dies soll die bei einer Schweisskonstruktion entstehenden Toleranzen kompensieren und eine leichtere Montage ermöglichen, da die Lagerpunkte auf die Scherenmechanik ausgerichtet werden können. Die nächsten zwei Abbildungen erlauben eine detaillierte Ansicht der Festlager und der beweglichen Rollen.

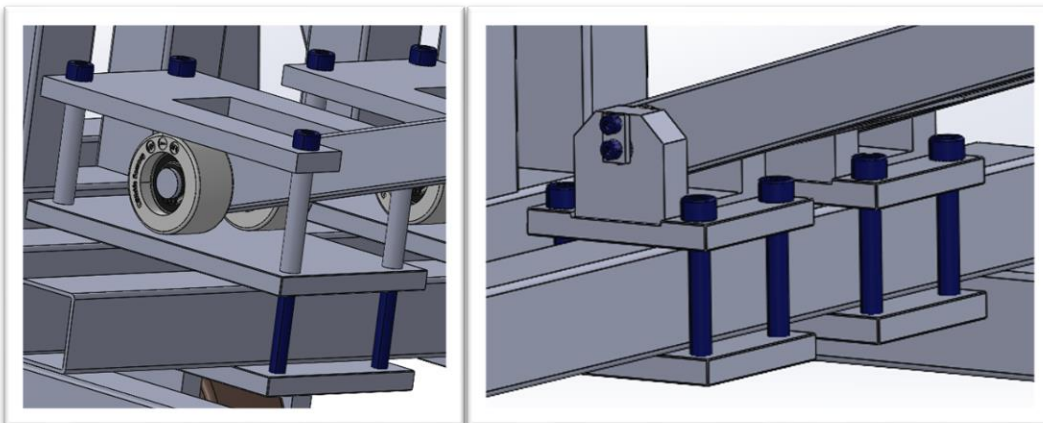


Abbildung 92: Bewegliche Rollen und Festlager

Im Rahmen der CAD-Konstruktion konnte eine erste Idee für die automatische Höhenverstellung gewonnen werden, welche sicherlich in die Weiterentwicklung des Transportwagens einfließen wird.

Somit ist die Ausarbeitung des Transportwagens abgeschlossen. In einem nächsten Schritt wird eine Zielauswertung der Arbeit durchgeführt.

6.3 Zielauswertung

Nach der Fertigstellung der Montagehilfen erfolgt eine Auswertung der angestrebten Ziele. Es werden dabei die wichtigsten Ziele aufgelistet und deren Bewertung mit anschliessender Begründung dokumentiert. Zudem werden auch alle Anforderungen aufgelistet (Forderung- und Wunschziele), welche nicht erreicht oder umgesetzt wurden. Alle weiteren unerwähnten Anforderungen gelten als erfüllt und werden nicht weiter behandelt.

Ziele	Auswertung	Begründung
Anforderungsliste Prozessmodellierung		
Visuelle Darstellung des IST- und SOLL-Prozesses	Erfüllt	Mithilfe eines Ablaufplans wurden die beiden Prozesse dargestellt.
Steigerung der Ergonomie für den Mitarbeiter	Erfüllt	Die Hebelast konnte für den einzelnen Mitarbeiter deutlich gesenkt werden. Zudem ergibt sich eine deutliche Erleichterung durch das Verspannen mithilfe dem Stossverbinder.
Steigerung der Sicherheit	Erfüllt	Das Verspannen der Schienen konnte durch die Entwicklung des Schienenstossverbinders deutlich sicherer gemacht werden.
Anforderungsliste Stossverbinder		
Auf alle Laufschiementypen anwendbar	Erfüllt	Durch die austauschbaren Anschlagbolzen können alle Laufschiementypen bedient werden.
Kompakte Bauweise, nicht abstehend (Tiefe)	Erfüllt	Der Stossverbinder besitzt eine Tiefe von 25mm ab der Schienenoberfläche. Somit konnte die Anforderung von max. 100 mm Tiefe ohne Probleme eingehalten werden.
Griffweite für Bediener möglichst klein	Erfüllt	Die grösste Griffweite für den Bediener beträgt ca.83 mm, wodurch die Vorgabe von 90 mm eingehalten werden könnte.
Bedienung per Handkraft / Griffkraft	Erfüllt	Der Stossverbinder wird per Handkraft bedient. Zudem beträgt die maximale Griffkraft bei maximaler Federkraft 73 Newton, was die Anforderung von max. 80 Newton erfüllt.
Einklemmschutz Finger	Erfüllt	Durch das Einarbeiten der Stellschrauben konnte der Bewegungsradius so weit eingeschränkt werden, dass ein Einklemmen der Finger nicht möglich ist.
Anforderungsliste Transportwagen		
Mehrere Schienen transportierbar	Erfüllt	Der Transportwagen ist so ausgelegt, dass die Produktion von 20 m TrackMotion mit einer 3-fachen Sicherheit durchgeführt werden kann.
Schmale Bauweise in Bezug auf die Breite	Erfüllt	Der Transportwagen besitzt eine Breite von 600 mm, womit die Vorgabe von 800 mm eingehalten wurde.
Maximale Schiebelast für Mitarbeiter	Erfüllt	Die Schiebelast für den Mitarbeiter beträgt nach Abschluss der Berechnung ca. 52 N, wodurch die angestrebten 300 N eingehalten werden konnten.
Hebelast für den Mitarbeiter	Erfüllt	Die maximale Hebelast für den Mitarbeiter beträgt 11.5 Kg, womit die Vorgaben von max. 15 Kg eingehalten werden konnten.

Vordefinierte Griffpunkte für den Mitarbeiter	Erfüllt	Durch das Anbringen der vier Handgriffe konnten definierte Griffpunkte erstellt werden
Höhe für Griffhaltung beachten	Erfüllt	Die Griffhöhe beträgt ca. 90 cm, wodurch die Vorgaben von 75 bis 110 cm eingehalten werden konnten.
Verstellbare Höhe für Schienenentnahme	Nicht erfüllt	Die Höhe der Schienenentnahme lässt sich nur grob einstellen. Die automatische Höheneinstellung konnte aus zeitlichen Gründen nicht erreicht werden (Siehe dazu Kapitel 6.4 Weiteres Vorgehen)

Tabelle 39: Zielauswertung der Diplomarbeit

6.4 Fazit

Im Rahmen der Zielauswertung wird ersichtlich, dass beinahe alle Ziele erfüllt werden konnten. Einzig die automatische Höhenverstellung konnte noch nicht fertig umgesetzt werden. Sie wird aber sicherlich in naher Zukunft noch fertigkonstruiert werden. Ebenfalls konnte aufgezeigt werden, dass die Ausarbeitung eines neuen SOLL-Prozesses in Verbindung mit den zwei Montagehilfen eine sinnvolle Optimierung der Güdel Module Montage darstellt. Die Arbeitsergonomie und die Sicherheit während der Montage der TrackMotion für die Mitarbeiter kann durch die Ausarbeitung dieser Diplomarbeit gesteigert werden. Die Diplomarbeit kann daher erfolgreich abgeschlossen und der Montageleitung vorgestellt werden. In den folgenden Abschnitten wird nun das weitere Vorgehen mit den erarbeiteten Konzepten aufgezeigt.

6.5 Weiteres Vorgehen

Prozess

Nach Abschluss der Diplomarbeit werden die erarbeiteten Prozesse und Montagehilfen der Montageleitung vorgelegt. Diese entscheidet, welche Änderungen übernommen werden und welche Anpassungen vor der Umsetzung noch vorgenommen werden müssen.

Stossverbinder

Der Stossverbinder wird nach seiner Freigabe durch die Montageleitung an die Konstruktionsabteilung abgegeben. Diese nimmt allenfalls noch Änderung an den CAD-Daten vor, damit schliesslich ein erster Prototyp der Montagehilfe gebaut werden kann.

Transportwagen

Das erarbeitete Konzept des Transportwagens wird ebenfalls der Montageleitung vorgestellt. Zudem wird die Zusatzaufgabe der automatischen Höhenverstellung mittels Scherenhubtisch präsentiert. Falls die Einbindung des Scherenhubtisches in den Transportwagen auf Interesse stösst, wird das Projekt Transportwagen in die Konstruktionsabteilung weitergegeben, welche das Gesamtkonzept fertig ausarbeitet, damit ebenfalls ein erster Prototyp des neuen höhenverstellbaren Transportwagens hergestellt werden kann.

6.6 Selbstständigkeitserklärung:

Mit dieser Unterschrift wird bestätigt, dass diese Arbeit selbstständig verfasst wurde. Alle fremden Quellen sind entsprechend bezeichnet und im Quellenverzeichnis aufgeführt.

Ort: Gondiswil

Thomas Michel

Datum: 30.Oktober 2021



Thomas Michel

7 Persönliche Reflexion der Diplomarbeit

Prozessentwicklung

Durch die Arbeit an dieser Diplomarbeit konnte ich das während der letzten 6 Semester an der TEKO Bern Gelernte zu einem grossen Teil anwenden. Die Prozessanalyse, welche ich im Rahmen meiner Diplomarbeit durchgeführt habe, kannte ich bis dahin nur theoretisch aus dem Unterricht Projektmanagement. Ich war daher sehr motiviert, eine derartige Analyse erstmals in einem praxisorientierten Projekt in Angriff zu nehmen und meine erste eigene Prozessmodellierung durchzuführen. Bei der Erstellung des IST-Prozesses halfen mir sicherlich die eigenen Erfahrungen, welche ich in der Montage sammeln konnte. Durch Gespräche mit langjährigen Mitarbeitern aus der Montageabteilung konnten zusätzlich hilfreiche Erkenntnisse gewonnen werden. Die anschliessende Erstellung des SOLL-Prozesses erarbeitete ich mithilfe der Lehrmittel aus dem Fach Projektmanagement Schritt für Schritt. Somit konnte ich als ersten Teil meiner Arbeit eine aus meiner Sicht gelungene Prozessanalyse durchführen, wodurch ich einen ersten Einblick in die Prozessmodellierung erhalten habe. Auch die Erarbeitung der Grenzwerte mithilfe der offiziellen Suva-Dokumente interessierte mich sehr, da man sich dabei mit sämtlichen relevanten Faktoren zu den einzelnen Anwendungen auseinandersetzen musste. Dieser Teilschritt der Arbeit war während der Erarbeitung der Diplomarbeit eine gern gesehene Herausforderung für mich, da ich an diesem Punkt genau bestimmen konnte, welche Faktoren für die spätere Konstruktion der Montagehilfen zu beachten sind. Somit konnte ich die Montagehilfen gezielter entwerfen und deren Funktionen jeweils entsprechend anpassen.

Stossverbinder

Bei der Entwicklung des Stossverbinders kam eine Vielzahl von Ideen auf, wie das Verspannen der Schienen durchgeführt werden könnte. Die Ausarbeitung war dementsprechend interessant und vielseitig, da dadurch eine grosse Anzahl von Konstruktionskonzepten zusammenkamen. Die schliesslich gewählte Federmechanik im Zusammenspiel mit einem Gleitlager erwies sich als kostengünstige und zuverlässige Lösung, welche aus meiner Sicht sehr gelungen ist. Da die gesamte Konstruktion aus einfachen Bauteilen besteht und ein Teil davon sogar mit dem 3D-Drucker hergestellt werden kann, kann alles in unserer Internen Fertigung hergestellt werden. Dies war ebenfalls ein gestecktes Ziel meiner Arbeit.

Transportwagen

Der Transportwagen stellte mich zu Beginn vor einige Herausforderungen, da schon vor mir viele Ideen und Versuche für ein solches System entstanden sind. Bei der Bewältigung dieser Herausforderungen half mir vor allem die vorgängig erstellte Prozessanalyse. Mit ihr konnte ich aufzeigen, dass es keine komplexe Mechanik benötigt, um die Schienen an das TrackMotion zu befördern. Es reicht eine Anpassung der Arbeitsabfolge, damit der Mitarbeiter deutlich entlastet werden kann. Somit wird auch die Produktivität der Montage nicht herabgesetzt. Die Konstruktion des Transportwagens konnte ich leider nicht zu meiner vollen Zufriedenheit abschliessen, da es zeitlich knapp wurde und die ganzen zusätzlichen Berechnungen und Konstruktionen den Umfang der Diplomarbeit überstiegen hätten. Daher habe ich den Transportwagen in Teilbereiche unterteilt, damit ich nur das erste Teilziel des Transportwagens, dafür jedoch vollumfänglich, in der Diplomarbeit bearbeiten konnte. Der Grundaufbau des von mir konstruierten Transportwagens stellt meiner Meinung nach eine gute Basis für den optionalen Aufbau einer automatischen Höhenverstellung dar. Auch aufgrund des Sicherheitsfaktors, welcher in die Berechnungen miteingeflossen sind, bietet meine Konstruktion eine solide Basis für die Weiterentwicklung des Transportwagens.

Nach Abschluss der Diplomarbeit bin ich mit dem Erreichten zufrieden, da beinahe alle Anforderungen erreicht worden sind. Zudem war die Erarbeitung der gesamten Dokumentation interessant und lehrreich zugleich, da einige neue Aspekte angewendet und behandelt werden konnten.

7.1 Danksagungen

Während meiner Arbeit an der Diplomarbeit wurde ich von einigen Personen unterstützt, bei welchen ich mich bedanken möchte.

Ich möchte meinen Dank insbesondere Stefan Moor aussprechen, welcher mir während der gesamten Erarbeitung der Diplomarbeit jederzeit als Ansprechperson bei Fragen zur Seite stand.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinem Diplomlehrer Admir Softic bedanken, welcher mich während der gesamten Zeit mit hilfreichen Hinweisen und Tipps unterstützt hat.

Ebenfalls Danke sagen möchte ich Romy Bergmann, welche die Diplomarbeit orthographisch korrigiert hat.

8 Quellenangaben, Hilfsmittel und Verzeichnisse

8.1 Quellen

8.1.1 Literatur

Analyse Montageprozess Konzeptphase

Buch: Organisation und Projektmanagement – TK 2019, Compendio Bildungsmedien

Angaben Still Hubwagen: → Staplerhandel.ch

Angaben zur «Anheben von Lasten» Lasten → suva.ch (Anhang)

Angaben zu «Stoss- und Zugkraft für transportwagen» → suva.ch (Anhang)

Angaben zu Hand-Greifkraft → Studienarbeit der Universität Wien (Anhang)

Stossverbinder

Berechnungen Stossverbinder

Alle Berechnungen, welche für den Stossverbinder durchgeführt wurden, stammen aus der Formelsammlung «Formeln und Tabellen zur Technischen Mechanik» von Alfred Böge

Angaben Federberechnung → Kubo Tech.ch

Auslegung Werkstoff Aluminium → bbm: 978-3-8348-9496-0/1.pdf (springer.com)

Angaben igus Gleitlager GSM-0608-10 → Iigus.ch / zylindrische Gleitlager / GSM-0608-10

Transportwagen

Berechnungen Transportwagen

Alle Berechnungen, welche für den Transportwagen durchgeführt wurden, stammen aus der Formelsammlung «Formeln und Tabellen zur Technischen Mechanik» von Alfred Böge

Biegefestigkeit Stahl → Tabellenbuch, Roloff/Matek Maschinenelemente

Gewichtsermittlung Fahrgestell → Kiener-wittlin.ch

Angaben Räder → Blickle-raeder.ch, Dokument: Blickle_PU_Kompetenz_DE

8.1.2 CAD-Daten

Alle CAD-Dateien, welche nicht selbst konstruiert sind, wurden von folgenden Seiten bezogen.

Montage Material → bossard.com

IGUS Gleitlager → igus.ch

Blickle Räder → Blickle-raeder.ch

8.1.3 Bilder

Alle Bilddateien. Welche aus dem Internet entnommen wurden, sind nachfolgen aufgelistet.

Titelbild, Güdel Modultypen

Güdel, Inc. Ann Arbor, Michigan, MI 48108 (thomasnet.com)

Firmenportrait, Güdel Langenthal

GÜDEL WERK 3 - Architekturprojekte - baudokumentation.ch

Firmenportrait, Produktpalette Laufschiene

Laufschiene - Güdel - Rollen / Präzision / linear (directindustry.de)

Firmenportrait, Produktpalette TrackMotion

Neue Bodenverfahrschse Track Motion Floor von Güdel (produktion.de)

Umlade Vorgang mit 2 Meter Paletten, Still Gabelverlängerung

Gabelverlängerung GG 150/70 (Länge 2000) | STILL.shop

SOLL-Modellierung, Möglichkeit Förderrollen

Schwerkraft-Rollenbahnen | Torwegge.de

SOLL-Modellierung, Möglichkeit Manipulator / Gelenkarm

Manipulator entlastet den Werker beim Blechhandling (industrie.de)

Arbeitsvorschriften

Sämtliche Bilder aus dem Unterkapitel «Anheben von Lasten»

*88190_d.pdf

Smedley-Dynamometer

Smedley-Dynamometer - Bing images

Stossverbinder

Morphologischer Kasten, Materialwahl Aluminium

Rundprofil aus Aluminium 40mm Durchmesser (profilzuschnitt24.de)

Morphologischer Kasten, Materialwahl Stahl

PVC Vierkant 100x100mm grau Länge wählbar PVC-U 4-kant Stab Kunststoff Stange | eBay

Morphologischer Kasten, Gelenkmechanik Passschraube

HUG Technik Shop | Passschraube mit Ansatz D1 = 4, D = M3, - K0705.04X12 ✓ (hug-technik.com)

Morphologischer Kasten, Gelenkmechanik Gleitlager

Gleitlager, alle Arten | Gleitlager - Gelenklager | Wälzlager | Produkte | IHB - Imhof Häusermann AG Birsfelden

Morphologischer Kasten, Gelenkmechanik Kugellager

Seilwinden Kugellager geschlossen HSW9500 horntools | Seilwinden Ersatzteile | Parts HSW9500

Morphologischer Kasten, Handgriff Standarhandgriff

Ersatz-Handgriff für Vierfußgehilfe XXL DIETZ - aktivwelt.de

Morphologischer Kasten, Schienenbefestigung Magnetbefestigung

Gummierter Topfmagnet mit Gewindezapfen M8, Ø 66 mm - supermagnete.ch

Morphologischer Kasten, Schienenbefestigung Saugheber
118 mm Aluminium Saugheber - bis 50 kg | Kaufen auf Ricardo

Morphologischer Kasten, Verspannung Feder
AR08312700 - Zugfeder, Spannfeder ARIENS :: Federn :: Geräteteile :: Riemen Antriebe
Geräteteile :: MotorAn

Morphologischer Kasten, Verspannung Exzenter
Spannrolle schwere Baureihe, Typ M, mit Exzenter kaufen - im Haberkorn Online-Shop

Morphologischer Kasten, Verspannung Spindel
HUG Technik Shop | GEWINDESPINDEL M16X150 F. STELLFUß, EDELSTAHL; - HUG
Online Shop (hug-technik.com)

Morphologischer Kasten, Verspannung Gummispanner
www.krishnaboys hostel.com/lyevoe-Set-mit-Tube-JL308-411017/Fitness-&-Jogging/

Auslegung Feder; Federtypen Variante 1 und Variante 2
Zugfedern nach DIN 2089/2, nichtrostend - KUBO

Transportwagen

Morphologischer Kasten; 4x Lenkbare Räder
Delex-Rollen – 4 lenkbare Transportrollen für Europaletten mit Gummibereifung
(europaletten-kaufen24.de)

Morphologischer Kasten, 2x Lenkbare- 2x Festeräder
Set Rollen Dreh- Bremse Und Fest Kautschuk Grau Flexibel Durchmesser 150mm | eBay

Morphologischer Kasten, Unterbau Hubwagen
Hubtechnik für Profis kaufen | Jungheinrich PROFISHOP (jh-profishop.de)

Morphologischer Kasten, Aluminium
Rundprofil aus Aluminium 40mm Durchmesser (profilzuschnitt24.de)

Morphologischer Kasten, Güdel Profilstangen
Aluprofile 24 - Aluprofile, Aluminiumprofile, Strebenprofile, Nutprofil, Maschinenbauprofile

Morphologischer Kasten, Stahl
PVC Vierkant 100x100mm grau Länge wählbar PVC-U 4-kant Stab Kunststoff Stange | eBay

Morphologischer Kasten, Scherenheber
ProfiPaul® - Der Werkstattprofi - ProfiPaul Scherenhebebühne (DSLS 608)

Morphologischer Kasten, Seilzug
Seilzug Mechanisch - Bing images

Morphologischer Kasten, Keine Höhenverstellung
nicht-vorhanden-300x300.png (300x300) (mietcheck.de)

Morphologischer Kasten; Umlaufregal
Lagerung von Sterilgut im Krankenhaus - Hänel (sterilgut-lagerung.ch)

Morphologischer Kasten, Handbarren
Gitterbox Transportwagen - Bing images

Morphologischer Kasten, 2-fach Handgriff
handgriff - Bing images

Morphologischer Kasten, Handkurbel
Einhell TC-WI 500 - Galaxus

Morphologischer Kasten, Fusspedal
HYDRAULISCHE FUSSPUMPE HYDRAULIKPUMPE MIT PNEUMATISCHEM FUSSPEDAL
FERVI 0664 (gls72.com)

Morphologischer Kasten, Kopplung über Vorwärtsbewegung
Transportwagen im September schon ab 24,90€ ++ Gratis Versand (hubtechnik24.de)

Berechnung, Schiebekraft, Blickle Rollwiderstandstabelle
Datenblatt «Unsere Kompetenzen Fertigung von Polyurethanrädern» (Anhang DA)

Berechnung, Lenkbare Räder
Produkt LH-G 125K-1 (blickle-raeder.ch)

Berechnung, Feste Räder
Produkt BH-GB 125K-1 (blickle-raeder.ch)

8.2 Hilfsmittel

Für das Erarbeiten und Konstruieren der einzelnen Bauteile und der zusammengeführten Baugruppen, wurde die Studentenversion von SolidWorks verwendet. Für die Erstellung der Dokumentation und der Berechnungstools wurde Microsoft Office 365 verwendet. Um die Prozesse visuell darzustellen, wurde der Xmind7 verwendet, welcher zum Erstellen von Mind-Map und Prozessen verwendet werden kann. Alle Berechnungen, welche in der Dokumentation aufgeführt sind, wurden mithilfe des Casio-Classpad fx-CP400 durchgeführt. Alle Berechnungen, welche in der Dokumentation aufgeführt sind, wurden mithilfe der Formelsammlung «Formeln und Tabellen zur Technischen Mechanik» von Alfred Böge erstellt.

8.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Güdel Firmensitz in Langenthal	8
Abbildung 2: Laufschiene mit Rollenbock	9
Abbildung 3: Güdel TrackMotion	9
Abbildung 4: Komponentendarstellung TrackMotion.....	10
Abbildung 5: Verspannung mit dem Stemmeisen	11
Abbildung 6: Montagebolzen	12
Abbildung 7: Projektstrukturplan	14
Abbildung 8: SWOT-Analyse	17
Abbildung 9: Mind-Map Themenausarbeitung	19
Abbildung 10: Black-Box	21
Abbildung 11: Ablauf Prozessentwicklung	22
Abbildung 12: Geliefertes Schienenmaterial	23
Abbildung 13: Laufschiene auf Transportwagen	24
Abbildung 14: Vorbereitung der Laufschiene mit Abziehstein	24
Abbildung 15: Befestigte Laufschiene.....	25
Abbildung 16: Montage Laufschiene mit Zahnstange	25
Abbildung 17: Darstellung IST-Prozess	26
Abbildung 18: Prozessausschnitt Montage IST-Prozess.....	32
Abbildung 19: Furchapparat	32
Abbildung 20: Befestigungsbolzen	33
Abbildung 21: Prozessausschnitt Montage SOLL-Prozess	34
Abbildung 22: Gabelverlängerung STILL.....	35
Abbildung 23: Mind-Map Umlade Möglichkeiten	36
Abbildung 24: Förderrollentisch	37
Abbildung 25: Beispiel eines Manipulators	38
Abbildung 26: Darstellung SOLL-Modellierung mit Rüstvorgang	40
Abbildung 27: SOLL-Modellierung ohne Rüstvorgang	41
Abbildung 28: Häufigkeit und Dauer des Hebevorgangs.....	42
Abbildung 29: Maximales Gewicht der angehobenen Last	43
Abbildung 30: Position des Oberkörpers während der Montage	43
Abbildung 31: Arbeitsumgebung.....	44
Abbildung 32: Schema für Gesamtbeurteilung	44
Abbildung 33: Beurteilung der Massnahmen	45
Abbildung 34: Verwendetes Transportmittel	46
Abbildung 35: Äussere Einflüsse auf den Transportwagen.....	46
Abbildung 36: Grenzwerte für Stosskräfte	47
Abbildung 37: Bewertungsfaktoren Griffhaltung.....	47
Abbildung 38: Beurteilung der Faktoren	48
Abbildung 39: Gefahreinstufung	48
Abbildung 40: Smedley-Dynamometer	49
Abbildung 41: Morphologischer Kasten	53
Abbildung 42: Konzeptskizze Exzenter.....	56
Abbildung 43: Konzeptskizze Spindel.....	56
Abbildung 44: Konzeptskizze Federmechanik	57
Abbildung 45: Morphologischer Kasten Transportwagen.....	62
Abbildung 46: Konzeptskizze Scherenhubtisch	65
Abbildung 47: Konzeptskizze Umlaufregal.....	66
Abbildung 48: Konzeptskizze Senkrechtförderer	66
Abbildung 49: Anschlagpunkte für Stossverbinder.....	69
Abbildung 50: Vermassung Bohrung	70
Abbildung 51: Maximale Lücke Schienenstoss	70
Abbildung 52: Skizze Aufbau Stossverbinder	71
Abbildung 53: Skizze Anschlagbolzen	71
Abbildung 54: Messversuch mit Zugmessgerät	72

Abbildung 55: Berechnungsgrößen für Federauslegung	73
Abbildung 56: Vermassung min. Federlänge	74
Abbildung 57: Federtyp 8104-085965.....	74
Abbildung 58: Excel-Berechnungsmaske	75
Abbildung 59: Berechnungsgrößen Lagerpunktüberprüfung	76
Abbildung 60: Darstellung Lagerquerschnitt	77
Abbildung 61: Berechnungsgrößen für Flächenpressungen im Lager	78
Abbildung 62: Querschnitt-Ansicht Lager	79
Abbildung 63: Berechnungsgrößen Überprüfung Anschlusslaschen	80
Abbildung 64: Skizze Aufbau Transportwagen	82
Abbildung 65: Skizze Höhenverstellung für Laufschiene	83
Abbildung 66: Berechnung Schienenkamm	84
Abbildung 67: Momentenverlauf Schienenkamm.....	85
Abbildung 68: Berechnung Fahrgestell.....	86
Abbildung 69: Momentenverlauf Fahrgestell.....	87
Abbildung 70: Tabelle Rollwiderstand Besthane.....	89
Abbildung 71: Lenkrolle LH-G 125K-1	90
Abbildung 72: Bockrollen BH-GB 125K-1	90
Abbildung 73: Berechnung Flächenpressung Höhenverstellung.....	91
Abbildung 74: Berechnung Höhenverstellung.....	91
Abbildung 75: Handgriff mit rechteckigem Verdrehschutz.....	92
Abbildung 76: Konstruktion Festgriff	92
Abbildung 77: Bohrungen Wegbegrenzung	93
Abbildung 78: Konstruktion Lagergriff.....	93
Abbildung 79: Zusammenstellung Lagergriff.....	93
Abbildung 80: Anschlagbolzen mit Zylinderschraube M6x20 mm Befestigung.....	94
Abbildung 81: Baugruppe Stossverbinder	95
Abbildung 82: Handgriff Transportwagen	97
Abbildung 83: Grundrahmen ohne Anbauteile	97
Abbildung 84: Haltepunkte für Mitarbeiter.....	98
Abbildung 85: Schienen-Vorbereitungshalter.....	99
Abbildung 86: Radaufnahme am Grundrahmen	99
Abbildung 87: Radbefestigung am Transportwagen	100
Abbildung 88: Beladener Transportwagen.....	101
Abbildung 89: Mechanische Höhenverstellung	103
Abbildung 90: Berechnungstool Transportwagen	104
Abbildung 91: Konstruktion Scherenmechanik	105
Abbildung 92: Bewegliche Rollen und Festlager.....	105

8.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Laufschienvarianten Güdel AG	9
Tabelle 2: Projektrisikoaanalyse	15
Tabelle 3: Anforderungsliste Prozessmodellierung	20
Tabelle 4: Prozessaufnahme	23
Tabelle 5: Prozessfragen IST-Analyse	27
Tabelle 6: Schwachstelle 1	29
Tabelle 7: Schwachstelle 2	30
Tabelle 8: Schwachstelle 3	31
Tabelle 9: Montagewerkzeuge für das TrackMotion	33
Tabelle 10: Arbeitsschritte Schienenmontage am TrackMotion	33
Tabelle 11: Bewertung Schnittstellenproblematik	39
Tabelle 12: IST- SOLL-Vergleich "Heben von Lasten"	44
Tabelle 13: Greifkraftvergleich Männer/Frauen	49
Tabelle 14: Anforderungsliste Stossverbinder	52
Tabelle 15: Technische Bewertung Stossverbinder	58
Tabelle 16: Wirtschaftliche Bewertung Stossverbinder	58
Tabelle 17: Anforderungsliste Transportwagen	61
Tabelle 18: Technische Bewertung Transportwagen	67
Tabelle 19: Wirtschaftliche Bewertung Transportwagen	67
Tabelle 20: Zugversuche für Stossverbinder	72
Tabelle 21: Berechnung Federauslegung	73
Tabelle 22: Berechnung Federkraft	74
Tabelle 23: Berechnung Klemmkraft	75
Tabelle 24: Berechnung Lagerpunkte	76
Tabelle 25: Materialauslegung Stossverbinder	77
Tabelle 26: Berechnung Flächenpressung	78
Tabelle 27: Berechnung Lagerkraft	79
Tabelle 28: Berechnung Biegespannung Anschlusslaschen	80
Tabelle 29: Berechnung Flächenpressung Stellschrauben	81
Tabelle 30: Berechnung Schienenkamm	84
Tabelle 31: Berechnung Fahrgestell	86
Tabelle 32: Gewichtsrechnung Fahrgestell	88
Tabelle 33: Gewichtberechnung Schienen	88
Tabelle 34: Berechnung Schiebekraft	89
Tabelle 35: Stückliste Stossverbinder	95
Tabelle 36: Risikoanalyse Stossverbinder	96
Tabelle 37: Stückliste Transportwagen	100
Tabelle 38: Risikoanalyse Transportwagen	102
Tabelle 39: Zielauswertung der Diplomarbeit	107

9 Anhang

1. Protokoll 1. Zwischengespräch
2. Protokoll 2. Zwischengespräch
3. Suva Beurteilung, Heben und Tragen von Lasten
4. Suva Beurteilung, Stossen und Ziehen von Gegenständen auf Rollen
5. Dokument Handkraft-Studie, Richtwert zur Handkraft
6. IGUS GSM-0608-10 Produktdatenblatt

Protokoll 1. Zwischengespräch Diplomarbeit 2021 TEKO Bern

Datum: 2. Oktober 2021

Ort: TEKO Bern, Belpstrasse 37, 3007 Bern

Startzeit: 11:30 Uhr

Anwesend:

Diplomlehrer	Admir Softic
Student	Thomas Michel
Student	Lukas Jaggi
Student	Jonas Hofer
Student	Marco Küng
Student	Adrian Herzig
Student	Claudio Lager

Thema:

1. Besprechung Aufgabenstellung
2. Besprechung Anforderungsliste
3. Zeitplan SOLL-Modellierung vorstellen

Diplomlehrer:


Admir Softic

Student:


Thomas Michel

Protokoll 2. Zwischengespräch Diplomarbeit 2021 TEKO Bern

Datum: 23. Oktober 2021

Ort: TEKO Bern, Belpstrasse 37, 3007 Bern

Startzeit: 11:30 Uhr

<u>Anwesend:</u>	Diplomlehrer	Admir Softic
	Student	Thomas Michel
	Student	Lukas Jaggi
	Student	Jonas Hofer
	Student	Marco Küng
	Student	Adrian Herzig
	Student	Claudio Lagger

Thema:

1. Vorstellung des IST-Zeitplans
2. Vorstellung Entwicklungsprozess der Diplomarbeit
3. Vorstellung Endprodukte der Diplomarbeit

Diplomlehrer:


Admir Softic

Student:


Thomas Michel

Bewertung

A

Belastung an einem Arbeitstag

Wie lange dauert der einzelne Hebe- oder Tragevorgang?

kürzer als 5 Sekunden	länger als 5 Sekunden	Bewertung
Wie viele Vorgänge pro Tag?	Gesamtdauer unter Last pro Tag?	
bis zu 10	weniger als 5 Min.	<input type="text"/> 1
11 bis 40	5 bis 15 Min.	<input type="text"/> 2
41 bis 200	16 bis 60 Min.	<input type="text"/> 4
201 bis 500	61 bis 120 Min.	<input type="text"/> 6
501 bis 1000	121 bis 240 Min.	<input type="text"/> 8
mehr als 1000	mehr als 240 Min.	<input type="text"/> 10

B





Gewicht der Last

Wer führt den Vorgang aus?

Männer	Frauen	Bewertung
Wie schwer ist die mittlere Last?	Wie schwer ist die mittlere Last?	
bis zu 10 kg	bis zu 5 kg	<input type="text"/> 1
11 bis 20 kg	6 bis 10 kg	<input type="text"/> 2
21 bis 30 kg	11 bis 15 kg	<input type="text"/> 4
31 bis 40 kg	16 bis 25 kg	<input type="text"/> 7
mehr als 40 kg	mehr als 25 kg	<input type="text"/> 25

C

Körperhaltung und Distanz zur Last

Wie wird gearbeitet?	Bewertung
 <ul style="list-style-type: none"> • Oberkörper aufrecht, nicht verdreht • Last direkt am Körper abgestützt 	<input type="text"/> 1
 <ul style="list-style-type: none"> • Oberkörper geringfügig vorgeneigt oder verdreht • Last nahe am Körper 	<input type="text"/> 2
 <ul style="list-style-type: none"> • Oberkörper und Hüften gebeugt • Oberkörper leicht vorgeneigt und gleichzeitig verdreht • Last über Schulterhöhe oder am Boden 	<input type="text"/> 4
 <ul style="list-style-type: none"> • Oberkörper stark vorgeneigt und gleichzeitig verdreht • Kauernde oder knieende Position • Last körperfern 	<input type="text"/> 8

Falls unterschiedliche Körperhaltungen eingenommen werden, können Sie bei der Bewertung einen Mittelwert bilden. Berücksichtigen Sie keine extreme Körperhaltungen, die nur selten vorkommen.

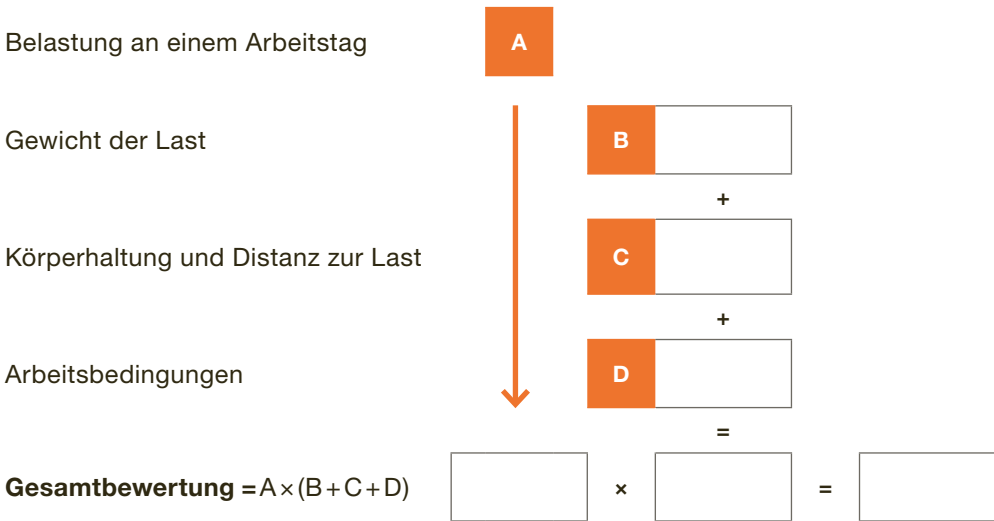
D

Arbeitsbedingungen

Gibt es Behinderungen (Platzverhältnisse, Bodenbeschaffenheit, Form der Last)?	Bewertung
• Gute Arbeitsbedingungen ohne irgendwelche Einschränkungen	<input type="text"/> 0
• Beeinträchtigung der Standsicherheit • Behinderungen in der Arbeitszone (freie Arbeitsfläche kleiner als 1,5 m ²) • ungenügende Beleuchtung	<input type="text"/> 1
• Last ist sehr schwierig zu greifen oder ihr Schwerpunkt ist instabil • stark eingeschränkte Bewegungsfreiheit	<input type="text"/> 2

Gesamtbewertung

Berechnen Sie die Gesamtbewertung aus den Ergebnissen der einzelnen Merkmale gemäss folgendem Schema:



Beurteilung

Gesamtbewertung	Beurteilung und notwendige Massnahmen
kleiner als 10	Geringe Belastung Eine Gesundheitsgefährdung durch körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich.
11 bis 25	Wesentliche Belastung Eine körperliche Überbeanspruchung ist bei Jugendlichen unter 21 Jahren, älteren Mitarbeitenden über 50 Jahren oder reduziert leistungsfähigen Personen möglich. In diesen Fällen sind Massnahmen zur Umgestaltung der Arbeitsplätze oder -abläufe sinnvoll.
26 bis 50	Erhöhte Belastung Eine körperliche Überbeanspruchung ist für ungeübte normal belastbare Personen möglich. Für diesen Personenkreis sind Massnahmen zur Umgestaltung der Arbeitsplätze oder -abläufe angezeigt und die betroffenen Personen sind in körperschonenden Arbeitstechniken beim Umgang mit Lasten anzuleiten.
grösser als 50	Hohe Belastung Eine körperliche Überbeanspruchung ist auch für geübte Mitarbeitende möglich. Massnahmen zur substanziellen Reduktion der Belastung sind auf jeden Fall erforderlich und die betroffenen Personen müssen die körperschonenden Arbeitstechniken beherrschen.

Zusätzlich zur obigen Beurteilung sind die spezifischen Bestimmungen zum Mutterschutz zu berücksichtigen: www.admin.seco.ch > Arbeit > Arbeitsbedingungen > Arbeitnehmerschutz > Schwangere und Stillende

Anleitung

Kreuzen Sie bei jedem der Leitmerkmale A bis D diejenige Zeile an, die der betrachteten Arbeitssituation entspricht. Notieren Sie dann die einzelnen Bewertungen (Zahl beim angekreuzten Kästchen) in die Felder A bis D für die Gesamtbewertung. Diese berechnen Sie mit der Formel **A × (B + C + D)**.

Beurteilt werden Teiltätigkeiten bezogen auf einen durchschnittlichen Arbeitstag. Wechseln bei einer Tätigkeit Lastgewichte oder Körperhaltungen, so sind gewichtete Mittelwerte zu bilden. Besteht eine Gesamttätigkeit aus mehreren Teiltätigkeiten mit deutlich unterschiedlicher Lastenhandhabung, so sind diese getrennt zu bewerten. Es ist grundsätzlich erlaubt, bei der Bewertung zu interpolieren (Zwischenstufen zu bewerten).

A Belastung an einem Arbeitstag

Dieses Leitmerkmal bewerten Sie entweder für kurze oder länger dauernde Umsetzungsvorgänge:

- Für Teiltätigkeiten mit kurzen Hebe-, Absenk- oder Umsetzungsvorgängen (Dauer unter 5 Sekunden) ist die Anzahl der Vorgänge bestimmend.
- Für Teiltätigkeiten, bei denen die Last länger gehalten wird, ist die Gesamtdauer des Haltens (unter Last) bestimmend. **Gesamtdauer = Anzahl der Vorgänge × Dauer eines einzelnen Vorgangs.**

B Gewicht der Last beim einzelnen Vorgang

Dieses Leitmerkmal bewerten Sie entweder für Männer oder für Frauen.

Werden bei der beurteilten Tätigkeit unterschiedliche Lasten gehandhabt, so kann ein gewichteter Mittelwert gebildet werden. Wenn die grösste Einzellast jedoch bei Männern 40 kg und bei Frauen 25 kg überschreitet, ist die Bewertung immer **B = 25**.

Relevant für die Bewertung ist die «wirksame Last» – die Kraft, die tatsächlich aufgewendet werden muss. Diese Kraft entspricht nicht immer dem Gewicht des Gegenstands. Beim Kippen eines Kartons wirken nur etwa 50 %, bei der Verwendung eines Schub- oder Sackkarrens nur 10 % der Lastmasse. Bei unhandlichen Lasten können ungünstige Hebelarme oder schlechter Kraftschluss höhere Gewichtskräfte wirken lassen. In solchen Fällen kann eine Abschätzung mittels des subjektiv empfundenen Kraftaufwands sinnvoll sein (siehe Arbeitsplatzcheck körperliche Belastungen, www.suva.ch/66128.d, Punkt 3.1).

C Körperhaltung und Distanz der Last

Die Körperhaltung bewerten Sie anhand der Piktogramme in der Tabelle. Berücksichtigen Sie diejenigen Körperhaltungen, die für die Teiltätigkeit charakteristisch sind. Werden während der Arbeit unterschiedliche Körperhaltungen eingenommen, so kann ein Mittelwert gebildet werden. **Keine Extremwerte verwenden, die nur gelegentlich vorkommen!**

D Arbeitsbedingungen

Bewerten Sie dieses Merkmal anhand der überwiegend vorkommenden Bedingungen. Auch hier sind schwierige Bedingungen, die nur gelegentlich vorkommen, nicht zu berücksichtigen.

Fallbeispiel

Situation: Ausräumen von Containern durch Frauen. 400 Pakete pro Arbeitstag und Person.

A: Belastung an einem Arbeitstag

Regelmässiges Wiederholen kurzer Hebe- und Umsetzungsvorgänge: 400 pro Tag

Bewertung: A = 6

B: Gewicht der Last beim einzelnen Vorgang

Die Lastgewichte liegen zwischen 3 und 15 kg. Davon sind etwa 10 Prozent schwerer als 10 kg. Geschätztes mittleres Lastgewicht = 7 kg
[(3 + 10) : 2 × 0,9 + (11 + 15) : 2 × 0,1 = 7,15]

Bewertung: B = 2

C: Körperhaltung und Distanz der Last

Unterschiedliche Körperhaltung je nach Fortschritt des Ausräumens: Zu Beginn geringes Vorneigen, am Ende weites, verdrehtes Vorneigen. Bewertung der überwiegenden Körperhaltung abgeschätzt nach Anteilen: C = (2 + 8) : 2

Bewertung: C = 5

D: Arbeitsbedingungen

Keine besonderen Einschränkungen.

Bewertung: D = 0

Gesamtbewertung

A × (B + C + D) -> 6 × (2 + 5 + 0) = 42

Beurteilung

Der Beurteilungsschlüssel auf Seite 3 zeigt eine erhöhte Belastung an. Gestaltungsmassnahmen zu deren Minderung sind dringend empfohlen. Zum Beispiel: Verringerung der Stückzahl durch andere Arbeitsteilung. Kleinere Abpackgrössen.

Dieses Hilfsmittel basiert auf der «Leitmerkmalermethode zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen», Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik, Deutschland, 2001.

Suva
Postfach, 6002 Luzern
www.suva.ch/88190.d

Ausgabe: Mai 2019

Publikationsnummer
88190.d

Beurteilung der körperlichen Belastung

Stossen und Ziehen von Gegenständen auf Rollen

Dieses Hilfsmittel dient zur Beurteilung der körperlichen Belastung einer Einzelperson beim Stossen und Ziehen von Gegenständen auf Rollen. Es erlaubt die grundsätzliche Einschätzung eines bestimmten Arbeitsablaufs im Hinblick auf den Gesundheitsschutz. Es kann aber auch als Beurteilungsgrundlage dienen bei einer Schadensabklärung. Um eine betriebliche Situation gesamthaft einzuschätzen, ist die Beurteilung mit mindestens drei verschiedenen Mitarbeitenden durchzuführen.

Eine Anleitung finden Sie unter: www.suva.ch/88293-1.d

Basisdaten

Betrieb/ Organisationseinheit			
verantwortlicher Ansprechpartner	z. B. Vorgesetzter, Sicherheitsbeauftragter		
genauer Arbeitsort	Halle / Büro, Arbeitsplatz		
Funktion/Tätigkeit der betroffenen Person	kurze Beschreibung des untersuchten Arbeitsablaufs		
Angaben zur betroffenen Person	Geschlecht Mann <input type="checkbox"/> Frau <input type="checkbox"/>	Alter (Jahre)	unter 21 <input type="checkbox"/> 21 – 50 <input type="checkbox"/> über 50 <input type="checkbox"/>
	Körpergrösse _____ cm	Körpergewicht _____ kg	
Beilagen	Fotos, Video, Pläne etc.		
Beurteilung durchgeführt von	Name und Vorname	Datum	Visum

Verwendetes Transporthilfsmittel			
<input type="checkbox"/> Karren (1 oder 2 Räder)	<input type="checkbox"/> Wagen mit einer Starrachse und einer oder zwei Lenkrollen	<input type="checkbox"/> Wagen mit 4 unabhängigen Lenkrollen	<input type="checkbox"/> Wagen mit Deichsel, Handhubwagen
			

Transportierte Gewichte	Leergewicht Transporthilfsmittel _____ kg	Nutzlast _____ kg
	Gesamtgewicht _____ kg	

1. Äussere Bedingungen des Arbeitsablaufs

Bedingung	Trifft zu	+/-	Trifft nicht zu
Die Wege sind frei, ohne blockierende Schwellen oder Behinderungen.			
Die Fahrwege sind gerade, ohne enge Kurven.			
Der Boden ist flach, keine Passagen mit Gefälle über 5 %.			
Der Boden ist sauber, trocken und griffig.			
Die Sicht ist frei.			
Geeignete Transporthilfen stehen zur Verfügung.			
Schwierig zu lenkende Transporthilfsmittel (z. B. Container) werden zu zweit geführt.			
Transporthilfsmittel mit grossem Radabstand (z. B. Krankenbett) werden zu zweit geführt.			
Die Transportmittel werden gewartet.			
Zweckdienliche Persönliche Schutzausrüstung steht zur Verfügung (z. B. Handschuhe oder Schutzschuhe).			
Das Ladegut ist korrekt gesichert.			

2. Körperliche Belastung im gesamten Arbeitsablauf

2.1 Anstrengung beim untersuchten Ablauf, kombiniert mit der Dauer pro Tag

Kraftaufwand nach Einschätzung der betroffenen Person

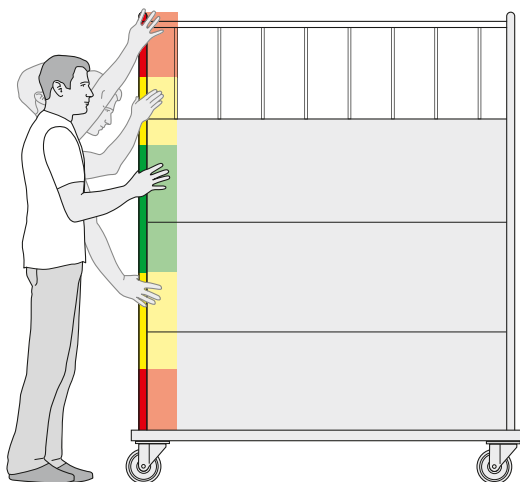
Skala 1-10	qualitative Bewertung				
1-3	gering/mässig (langsame Ausführung, häufige Kurzpausen)	1			
4-6	gross (mässig intensive Ausführung, gelegentliche Pausen)	2	Weniger als 2 h pro Tag	2-4 h pro Tag	Mehr als 4 h pro Tag
7-10	sehr gross/extrem (schnelle Ausführung; seltene Pausen, Sprechen erschwert)	3			

2.2 Anstoss- oder Anzugsgewicht, kombiniert mit der Häufigkeit pro Stunde

Messung der Anstoss- oder Anzugsgewichte eines Transporthilfsmittels mit einer Federwaage

Frauen	Männer				
0-7 kg	0-12 kg	1			
7-15 kg	12-25 kg	2	Weniger als 5 mal pro Stunde	5-12 mal Stunde	Mehr als 12 mal pro Stunde
über 15 kg	über 25 kg	3			

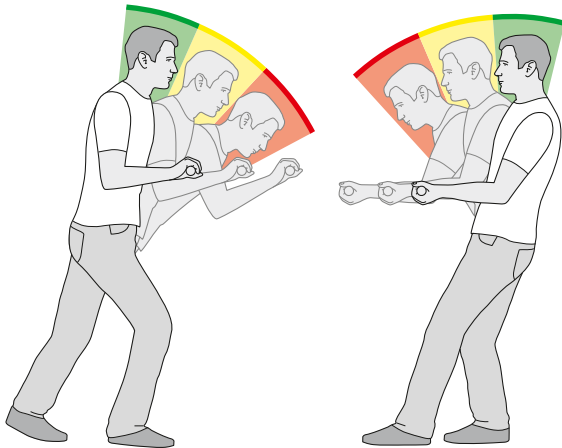
2.3 Höhe der Greifzone



1	• zwischen Hüft- und Brusthöhe (75-110 cm)	
2	• zwischen Hüft- und Kniehöhe (40-75 cm) oder • Zwischen Brust- Augenhöhe (110-140 cm)	
3	• über Augenhöhe (> 140 cm) oder • unter Kniehöhe (< 40 cm)	

2.4 Beugung des Oberkörpers

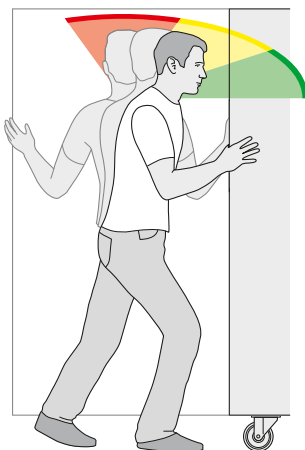
Überwiegend oder immer wieder zu beobachtende Haltung



1	<ul style="list-style-type: none">• aufrechte Haltung, gerader Rücken	<input type="checkbox"/>
2	<ul style="list-style-type: none">• leicht gebeugter Oberkörper beim Stossen• leichter Rundrücken beim Ziehen	<input type="checkbox"/>
3	<ul style="list-style-type: none">• stark gebeugter Oberkörper beim Stossen• starker Rundrücken beim Ziehen	<input type="checkbox"/>

2.5 Verdrehung des Oberkörpers

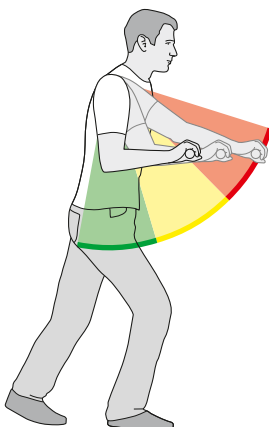
Überwiegend oder immer wieder zu beobachtende Haltung



1	<ul style="list-style-type: none">• Oberkörper nicht verdreht (Schultern zeigen in die gleiche Richtung wie die Hüfte)	<input type="checkbox"/>
2	<ul style="list-style-type: none">• Oberkörper leicht verdreht (Schultern ca. 45° abgedreht)	<input type="checkbox"/>
3	<ul style="list-style-type: none">• Oberkörper stark verdreht (Schultern beinahe 90° abgedreht)	<input type="checkbox"/>

2.6 Armhaltung

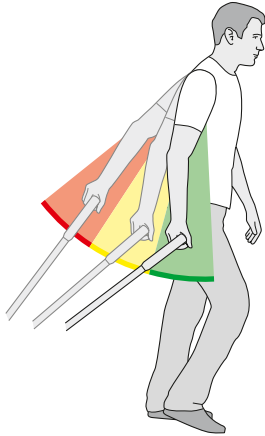
Überwiegend oder immer wieder zu beobachtende Haltung



1	<ul style="list-style-type: none">• Ellbogen seitlich des Körpers, Arme angewinkelt (ca. 90°)	<input type="checkbox"/>
2	<ul style="list-style-type: none">• Ellbogen knapp vor dem Körper, Arme mit offenem Schulter- und Ellbogenwinkel	<input type="checkbox"/>
3	<ul style="list-style-type: none">• Ellbogen deutlich vor dem Körper, Arme fast oder ganz gestreckt	<input type="checkbox"/>

2.7 Armhaltung beim Vorwärtsgen mit Deichselführung

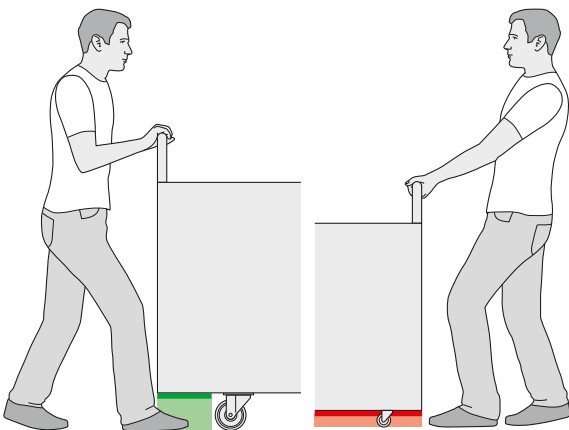
Überwiegend oder immer wieder zu beobachtende Haltung



1	• deichselführende Hand auf der Seite des Körpers	
2	• deichselführende Hand knapp hinter dem Körper	
3	• deichselführende Hand deutlich hinter dem Körper	

2.8 Fussfreiheit bei Transporthilfsmitteln ohne Deichsel

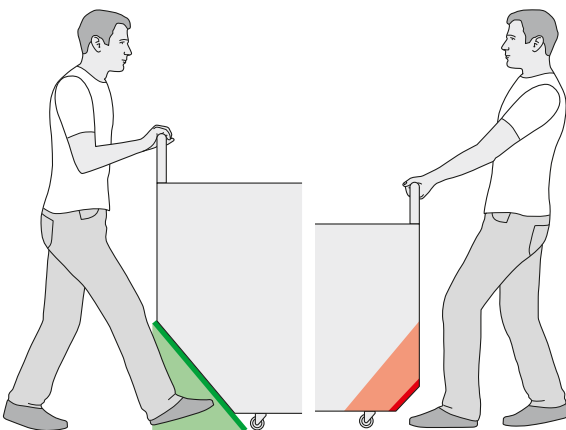
Keine Behinderung, kein Anschlagen am Transporthilfsmittel der Zehen oder der Ferse



1	• ganzer Vorderfuss passt ohne Einschränkung unter das Transporthilfsmittel	
2	• Platz unter dem Transporthilfsmittel reicht nur für die Zehen	
3	• kein Freiraum für Zehen oder Füße unter dem Transporthilfsmittel	

2.9 Beinfreiheit bei Transporthilfsmitteln ohne Deichsel

Keine Behinderung, kein Anschlagen am Transporthilfsmittel von Knie, Schienbein oder der Wade



1	• Beinfreiheit beim Stossen und Ziehen voll gewährleistet, grosse Schritte möglich	
2	• Beinfreiheit nur teilweise ausreichend, keine grossen Schritte mehr möglich	
3	• Beinfreiheit eingeschränkt oder nicht vorhanden, nur kleine Schritte möglich	

3. Körperliche Belastung in der anstrengendsten Einzelsituation

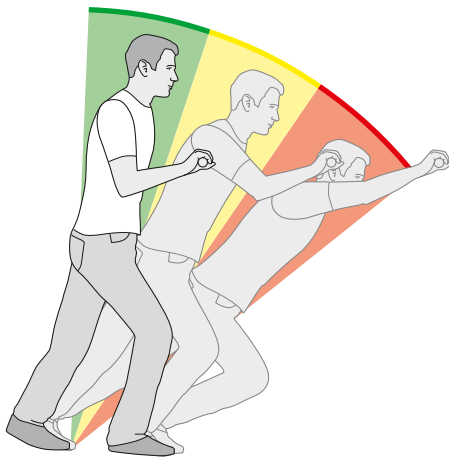
Die folgenden Einstufungen beziehen sich nur auf diese Situation.

3.1 Welches ist die anstrengendste Einzelsituation im ganzen Arbeitsablauf?

Zum Beispiel beim Anstossen, beim Überfahren von Schwellen oder bei Richtungswechseln

3.2 Anstellwinkel des Körpers bei geradem Rücken

Als Indikator des Kräfteinsatzes



1	<ul style="list-style-type: none"> • aufrecht (Schulter +/- über der Hüfte) • leicht nach vorne geneigt (Schulter unmittelbar vor Hüfte) • leicht nach hinten geneigt (Schulter unmittelbar hinter Hüfte) 	
2	<ul style="list-style-type: none"> • deutlich nach vorne geneigt (Schulter deutlich vor Hüfte) • deutlich nach hinten geneigt (Schulter deutlich hinter Hüfte) 	
3	<ul style="list-style-type: none"> • stark nach vorne geneigt (Schultern mehr als eine Unterarmlänge vor der Hüfte) • stark nach hinten geneigt (Schultern mehr als eine Unterarmlänge hinter der Hüfte) 	

3.3 Kraftaufwand im Moment der maximalen Anstrengung

Zum Beispiel beim Anstossen, beim Überfahren von Schwellen oder bei Richtungswechseln

1	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 5%;">0</td> <td>gar kein Kraftaufwand</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>sehr geringer Kraftaufwand (gerade feststellbar)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>geringer Kraftaufwand (leicht)</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>mässiger Kraftaufwand</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>grosser Kraftaufwand</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>sehr grosser Kraftaufwand</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>äusserst grosser Kraftaufwand (beinahe maximal)</td> </tr> </table>	0	gar kein Kraftaufwand	1	sehr geringer Kraftaufwand (gerade feststellbar)	2	geringer Kraftaufwand (leicht)	3	mässiger Kraftaufwand	4		5	grosser Kraftaufwand	6		7	sehr grosser Kraftaufwand	8		9		10	äusserst grosser Kraftaufwand (beinahe maximal)	<p style="background-color: #008000; color: white; text-align: center; padding: 5px;">1</p> <p>Aktivität mit höchstens mässigem Kraftaufwand</p>	
0	gar kein Kraftaufwand																								
1	sehr geringer Kraftaufwand (gerade feststellbar)																								
2	geringer Kraftaufwand (leicht)																								
3	mässiger Kraftaufwand																								
4																									
5	grosser Kraftaufwand																								
6																									
7	sehr grosser Kraftaufwand																								
8																									
9																									
10	äusserst grosser Kraftaufwand (beinahe maximal)																								
2		<p style="background-color: #ffff00; text-align: center; padding: 5px;">2</p> <p>Mässiger oder grosser Kraftaufwand nötig</p>																							
3		<p style="background-color: #ff0000; text-align: center; padding: 5px;">3</p> <p>Aktivität mit sehr grossem Kraftaufwand, der bis an die Belastungsgrenze geht.</p>																							

4. Zusammenzug und Beurteilung

Summe der Anzahl grüner, gelber oder roter Einstufungen pro Abschnitt des Formulars

Zusammenzug aus den Abschnitten 1 bis 3	Anzahl Einstufungen pro Abschnitt		
	grün	gelb	rot
1 Äussere Bedingungen			
2 Körperliche Belastung ganzer Arbeitsablauf			
3 Körperliche Belastung in der anstrengendsten Einzelsituation			
Gesamtsumme der Einstufungen			

Werden mindestens eine rote oder mehr als fünf gelbe Einstufungen ausgewiesen, dann sind auf jeden Fall Massnahmen zum Schutz der Gesundheit Ihrer Mitarbeitenden zu treffen.

Beurteilung	Einstufung	Handlungsbedarf
Keine offensichtliche Fehlbelastung oder nur während kurzer Zeit. Es sind keine gesundheitlichen Gefährdungen zu erwarten.	alle grün	Im Normalfall kein Handlungsbedarf. Für Jugendliche, ältere oder reduziert leistungsfähige Mitarbeitende können Schutzmassnahmen angezeigt sein.
Fehlbelastungen während begrenzter Zeit vorhanden. In Kombination mit anderen Fehlbelastungen, können gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden.	bis 5 × gelb	Schutzmassnahmen sind auf jeden Fall notwendig:
	ab 6 × gelb	
Inakzeptable Fehlbelastung, wenn häufig, oder während längerer Zeit ausgeführt, ist eine Gefährdung der Gesundheit wahrscheinlich.	1 × rot oder mehr	wer: _____ bis: _____

Suva
Gesundheitsschutz
Bereich Physik
Postfach, 6002 Luzern

Auskünfte
Tel. 041 419 58 51

Download
www.suva.ch/88293.d

Titel
Beurteilung der körperlichen Belastung
Stossen und Ziehen von Gegenständen auf Rollen

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – mit Quellenangabe gestattet.
Erstausgabe: November 2017
Überarbeitete Ausgabe: Mai 2019

Publikationsnummer
88293.d (nur als PDF erhältlich)

Das Modell Suva Die vier Grundpfeiler



Die Suva ist mehr als eine Versicherung; sie vereint Prävention, Versicherung und Rehabilitation.



Gewinne gibt die Suva in Form von tieferen Prämien an die Versicherten zurück.



Die Suva wird von den Sozialpartnern geführt. Die ausgewogene Zusammensetzung im Suva-Rat aus Arbeitgeber-, Arbeitnehmer- und Bundesvertretern ermöglicht breit abgestützte, tragfähige Lösungen.



Die Suva ist selbsttragend; sie erhält keine öffentlichen Gelder.

Richtwerte zur Handkraft

Eine Studie der Universität Wien belegt, dass die individuelle Handkraft ein Indiz für die künftig zu erwartende Gesundheit sein kann.

Für diese Studie wurden über einen Zeitraum von 30 Jahren die Daten von 11 790 Personen aus Deutschland im Alter von 17 bis 90 Jahren erhoben und mit dem persönlichen Gesundheitszustand in Verbindung gebracht. Die Greif- bzw. Handkraft wurde dabei mit einem Smedley-Dynamometer (100 kg) gemessen.

Daran anschließend wurde ein geschlechtsspezifischer Mittelwert der Greifkraft für die verschiedenen Altersgruppen und Körpergrößen ermittelt und eine um ca. 20 Prozent geringere Greifkraft als klinisch bedeutsamer „schwacher Griff“ definiert.

Weniger als 10 Prozent der Frauen und Männer im Alter von 65 bis 69 Jahren wurden gemäß dieser Definition als schwach eingestuft. Im Alter zwischen 80 und 90 Jahren wuchs dieser Anteil an der Bevölkerung auf etwa die Hälfte an.

Die Wissenschaftler fanden auch heraus, dass sich eine gesunde Lebensweise mit ausreichend Bewegung direkt auf die Handkraft auswirkt.

Als einfachen und kostengünstigen Test zur Veranschaulichung oder Prüfung der individuellen Fitness empfehlen die Wissenschaftler einen einfachen Test mit einer Waage.

Wenn man bei 54 kg Körpergewicht einhändig und mit gestrecktem Arm mit den Fingern eine Stange greift und sein Gewicht für fünf Sekunden anheben kann, beträgt die Griffkraft mindestens 54 Kilogramm. Ein 90 kg schwerer Mann kommt auf die gleiche Griffstärke, wenn er sich so von der Waage abheben kann, dass die Waage nur noch 36 Kilogramm anzeigt.

Auf den folgenden Seiten finden Sie die Mittelwerte für die alterstypische Greifkraft.

Interessant übrigens: Die Greifkraft unterscheidet sich offenbar regional. So haben Männer in Norwegen z.B. im Durchschnitt mehr Kraft in den Händen als Männer in Deutschland. Selbst in Deutschland haben Männer aus Bayern im Mittelwert eine überdurchschnittliche Handkraft im Vergleich zum deutschlandweiten Mittelwert. Die Handkraft hängt u.a. auch von der beruflichen Tätigkeit ab – sitzende Tätigkeiten sind für die Handkraft wenig förderlich ...

Richtwerte zur Handkraft bei Frauen

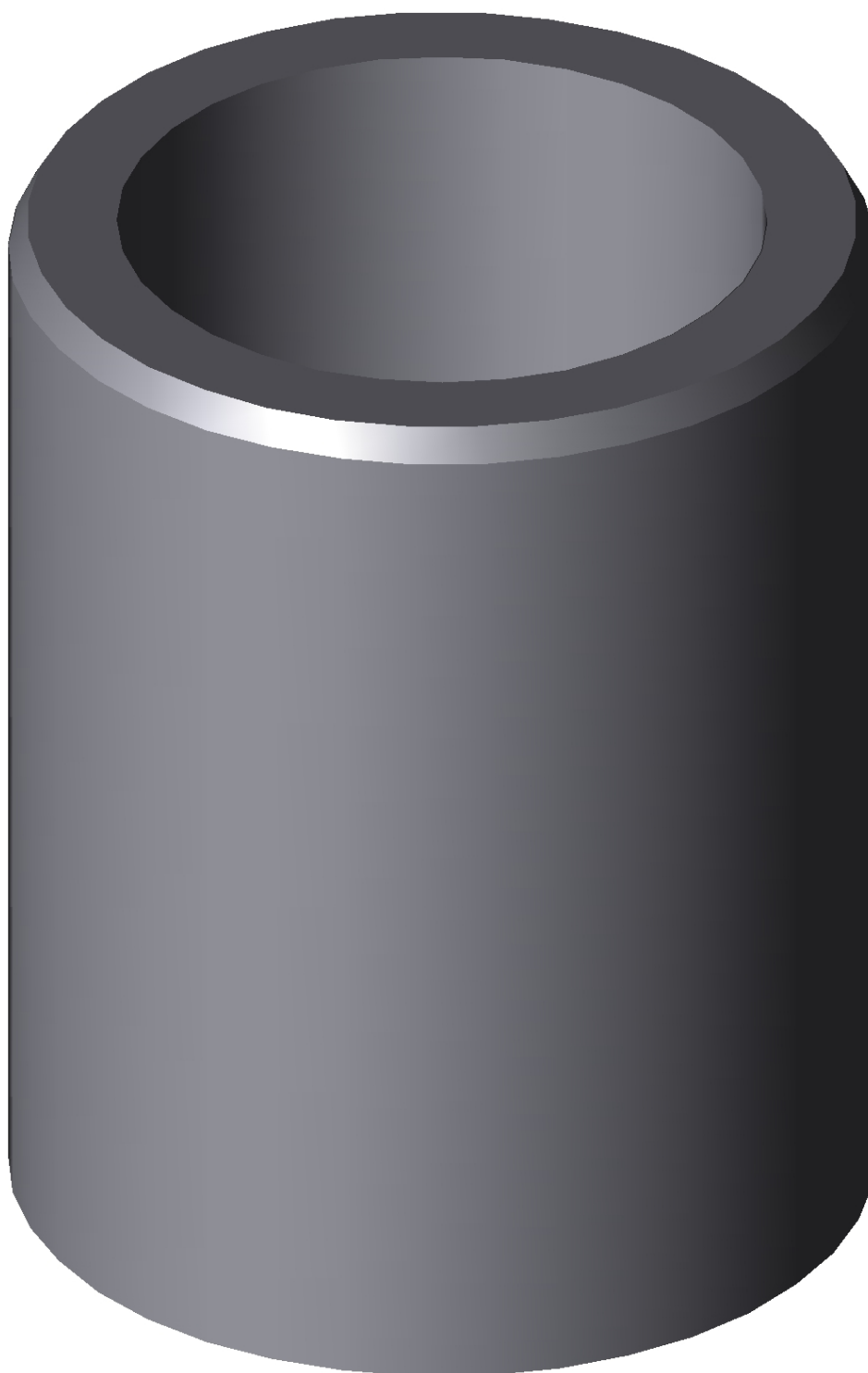
Alter	Größe (cm)	Handkraft in kg	Schwacher Griff (kg)	Alter	Größe (cm)	Handkraft in kg	Schwacher Griff (kg)
17-19	150-154	27.8	21.6	50-54	150-154	28.2	22.3
	155-159	29.2	22.9		155-159	30.1	24.2
	160-164	30.2	24.0		160-164	31.5	25.6
	165-169	31.2	25.0		165-169	32.9	27.0
	170-174	32.2	26.0		170-174	33.9	28.0
	175-179	33.0	26.7		175-179	35.2	29.3
	180-184	33.8	27.6		180-184	35.6	29.7
20-24	150-154	29.1	23.7	55-59	150-154	26.9	21.4
	155-159	30.2	24.8		155-159	28.8	23.3
	160-164	31.5	26.1		160-164	30.2	24.7
	165-169	32.5	27.1		165-169	31.2	25.7
	170-174	33.4	28.0		170-174	32.0	26.5
	175-179	34.5	29.0		175-179	32.5	27.0
	180-184	35.0	29.6		180-184	32.9	27.4
25-29	150-154	30.8	25.2	60-64	150-154	25.8	20.5
	155-159	31.5	25.9		155-159	27.4	22.1
	160-164	32.3	26.7		160-164	28.9	23.6
	165-169	33.3	27.7		165-169	29.9	24.6
	170-174	34.2	28.6		170-174	30.6	25.4
	175-179	35.3	29.7		175-179	31.3	26.0
	180-184	36.4	30.8		180-184	31.5	26.2
30-34	150-154	31.4	25.6	65-69	150-154	24.5	19.3
	155-159	32.0	26.2		155-159	26.2	21.0
	160-164	32.7	26.9		160-164	27.5	22.3
	165-169	33.7	27.9		165-169	28.6	23.4
	170-174	34.6	28.8		170-174	29.5	24.3
	175-179	35.8	30.0		175-179	30.3	25.1
	180-184	37.0	31.2		180-184	30.5	25.3
35-39	150-154	31.0	24.8	70-74	150-154	23.4	18.5
	155-159	32.2	26.1		155-159	24.7	19.8
	160-164	33.2	27.0		160-164	26.1	21.2
	165-169	34.3	28.2		165-169	27.3	22.4
	170-174	35.3	29.1		170-174	28.1	23.2
	175-179	36.5	30.3		175-179	28.7	23.8
	180-184	37.6	31.4		180-184	29.2	24.3
40-44	150-154	31.5	25.3	75-79	150-154	22.7	18.2
	155-159	32.7	26.4		155-159	23.3	18.8
	160-164	33.7	27.4		160-164	24.0	19.5
	165-169	34.8	28.6		165-169	24.9	20.4
	170-174	35.8	29.6		170-174	26.1	21.6
	175-179	37.1	30.8		175-179	27.6	23.1
	180-184	38.0	31.8		180-184	28.9	24.4
45-49	150-154	29.8	23.7	80-90	150-154	19.9	15.9
	155-159	31.4	25.3		155-159	20.4	16.4
	160-164	32.8	26.7		160-164	21.2	17.1
	165-169	34.1	28.0		165-169	22.1	18.0
	170-174	35.2	29.1		170-174	23.8	19.7
	175-179	36.2	30.1		175-179	23.0	19.0
	180-184	37.0	30.9		180-184		

Diese Richtwerte wurden im Fachmagazin „Plos one“ veröffentlicht. Sie basieren auf einer Studie der Soziologin Nadja Schreiber, Universität Wien.

Richtwerte zur Handkraft bei Männern

Alter	Größe (cm)	Handkraft in kg	Schwacher Griff (kg)	Alter	Größe (cm)	Handkraft in kg	Schwacher Griff (kg)
17–19	160–164	44.6	34.9	50–54	160–164	45.9	37.4
	165–169	45.1	35.4		165–169	47.7	39.2
	170–174	46.5	36.9		170–174	49.4	40.8
	175–179	47.5	37.8		175–179	50.9	42.4
	180–184	48.5	38.8		180–184	52.1	43.6
	185–189	49.3	39.6		185–189	53.1	44.5
	190+	50.4	40.7		190+	54.1	45.5
20–24	160–164	47.0	38.8	55–59	160–164	42.8	34.3
	165–169	47.8	39.5		165–169	45.1	36.6
	170–174	49.1	40.8		170–174	47.4	38.9
	175–179	50.3	42.0		175–179	49.3	40.9
	180–184	51.2	42.9		180–184	51.1	42.6
	185–189	51.8	43.5		185–189	52.4	43.9
	190+	52.7	44.4		190+	53.5	45.1
25–29	160–164	49.4	41.1	60–64	160–164	41.0	32.5
	165–169	49.9	41.6		165–169	43.2	34.7
	170–174	50.9	42.6		170–174	45.7	37.3
	175–179	51.9	43.6		175–179	47.6	39.1
	180–184	52.8	44.5		180–184	49.2	40.7
	185–189	54.2	45.9		185–189	50.7	42.2
	190+	56.2	47.9		190+	52.0	43.5
30–34	160–164	51.1	42.8	65–69	160–164	40.2	32.8
	165–169	51.8	43.5		165–169	42.0	34.6
	170–174	52.6	44.3		170–174	43.6	36.3
	175–179	53.5	45.2		175–179	45.3	37.9
	180–184	54.5	46.2		180–184	46.9	39.6
	185–189	55.9	47.6		185–189	48.9	41.6
	190+	57.3	49.0		190+	50.6	43.2
35–39	160–164	47.8	38.0	70–74	160–164	37.2	29.6
	165–169	50.2	40.4		165–169	39.1	31.5
	170–174	52.0	42.2		170–174	41.1	33.5
	175–179	53.6	43.8		175–179	42.7	35.2
	180–184	54.9	45.1		180–184	44.4	36.8
	185–189	56.1	46.3		185–189	46.4	38.9
	190+	57.2	47.5		190+	47.6	40.0
40–44	160–164	47.9	38.6	75–79	160–164	34.7	26.8
	165–169	49.9	40.6		165–169	35.9	28.0
	170–174	51.8	42.5		170–174	37.5	29.6
	175–179	53.4	44.0		175–179	39.0	31.1
	180–184	54.5	45.2		180–184	40.6	32.7
	185–189	55.8	46.4		185–189	42.7	34.8
	190+	56.9	47.6		190+	45.4	37.5
45–49	160–164	48.2	39.7	80–80	160–164	29.1	21.6
	165–169	50.0	41.5		165–169	31.2	23.6
	170–174	51.6	43.1		170–174	33.0	25.4
	175–179	53.0	44.4		175–179	34.0	26.4
	180–184	54.2	45.7		180–184	35.8	28.3
	185–189	55.4	46.8		185–189	39.5	32.0
	190+	56.4	47.9		190+	40.9	33.3

Diese Richtwerte wurden im Fachmagazin „Plos one“ veröffentlicht. Sie basieren auf einer Studie der Soziologin Nadja Schreiber, Universität Wien.



Konfiguration

Merkmal	Wert
iglidur®	
Art.Nr.	GSM-0608-10
d1 [mm]	6
d2 [mm]	8
b1 [mm]	10