LIFT2GO

ENTWICKLUNG UND KONSTRUKTION EINES MULTI-FUNKTIONALEN RADLIFTS FÜR DIE MONTAGE UND DEN TRANSPORT VON FAHRZEUGRÄDERN



Abbildung 1: Logo "Lift2Go" (mit ChatGPT erstellt)
Abbildung 2: Titelbild "Lift2Go" (eigenes Foto)

Diplomarbeit

Michel Klein

Teko Zürich

Z-TMA-23-T-a

Maschinenbautechniker HF 2026

Inhaltsverzeichnis

Management Summary **6**

1 Einleitung und Projektplanung **8**

1.1 Ausgangslage 8

1.2 Zieldefinition 9

1.3 Pflichtenheft 10

1.4 Abgrenzung 12

1.5 Terminplan (SOLL) 13

1.6 Projektrisiken 13

2 Lösungsfindung **15**

2.1 Marktanalyse 15

2.1.1 BLITZRotary, Mobile Wheel Carriage MW80 15

2.1.2 Winntec Classic Smart Cart 16

2.1.3 Erkenntnisse aus der Marktanalyse 16

2.2 Entwicklung des Lösungskonzepts 16

2.2.1 Grundkonzept des Radlifts 17

2.2.2 Ursprünglicher Lösungsansatz 17

2.2.3 Konstruktive Grundidee 17

2.2.4 Untersuchte Varianten der Transportfunktion 19

2.3 Auswahl des Hubsystems 20

2.3.1 Elektrischer Spindelantrieb 20

2.3.2 Elektrohydraulischer Antrieb 20

2.3.3 Bewertung und Auswahl 21

2.4 Auswahl der Hubspindel 22

2.4.1 TR20x8P4 zweigängig 22

2.4.2 TR20x4 eingängig 22

2.4.3 Kugelumlaufspindel 20x10 23

2.4.4 Berechnungsgrundlage der Spindelauswahl 23

2.4.5 Vergleich, Nutzwertanalyse und Auswahl der Hubspindel 25

2.5 Auslegung und Auswahl von Motor und Getriebe 27
2.5.1 Anforderung an den Antrieb 27
2.5.2 Auswahl von Motor und Winkelgetriebe 27
3 Konstruktion und technische Auslegung 29
3.1 Gesamtkonstruktion....29
3.2 Führungssäule und Hubschlitten 31
3.2.1 Berechnung Führungsreibung und Spindeldrehmoment....32
3.3 Radaufnahme und Rollen....34
3.4 Klappmechanismus der Radaufnahme....35
3.5 Grundgestell und Fahrwerk 36
3.5.1 Berechnung der Kippstabilität 37
3.6 Transportfunktion für vier Räder 38
3.7 Hubantrieb....40
3.7.1 Einbau von Spindel, Motor und Winkelgetriebe 41
3.7.2 Lagerung der Hubspindel....41
3.7.3 Auslegung Federdruckbremse 42
3.8 Elektrischer Aufbau und Steuerung 43
3.8.1 Energieversorgung und Akku 43
3.8.2 BLDC-Motor und Motortreiber 44
3.8.3 Bedienung AUF und AB....45
3.8.4 Endschalter....45
3.8.5 Steuerung Federdruckbremse....46
3.8.6 Not-Halt-Schalter....46
3.8.7 Funktionsweise der Steuerung....46
3.8.8 Elektroschema 47
3.9 Verbleibende Risiken nach der Konstruktion 47
3.9.1 Berücksichtigung von Normen....48
4 Realisierung....48
4.1 Materialbeschaffung und Kosten 48
4.1.1 Beschaffung Trapezgewindespindel....49

4.1.2 Beschaffung Winkelgetriebe 50
4.2 Fertigung 50
4.2.1 Fertigung des Grundgestells und der Führungssäule 51
4.2.2 Fertigung des Hubschlittens, der Gleitführung und der Spindelbefestigung 52
4.2.3 Fertigung der Radaufnahme 53
4.2.4 Fertigung der Greifgabeln für den Radtransport 54
4.3 Montage 57
4.3.1 Montage des Hubantriebs 57
4.3.2 Elektrische Installation 58
4.3.3 Endmontage 60
5 Inbetriebnahme und Tests 61
5.1 Inbetriebnahme 61
5.2 Funktionsprüfung der Hubfunktion 61
5.3 Funktionsprüfung der Transportfunktion 62
5.4 Überprüfung der Steuerung und Sicherheitsfunktionen 63
5.5 Elektrische Messungen des Hubantriebs 63
5.6 Erkenntnisse aus den praktischen Versuchen 66
6 Auswertung und Projektabschluss 66
6.1 Vergleich Pflichtenheft – Ergebnis 67
6.2 Zielerreichung 68
6.3 Terminplan (SOLL-IST-Vergleich) 69
6.4 Optimierungsvarianten 70
6.5 Reflexion 70
7 Schlusswort und Verdankungen 71
8 KI-Kommentar 72
9 Klassifizierung und Eigenständigkeitserklärung 72
10 Quellen- und Literaturverzeichnis 73
11 Abbildungsverzeichnis 75
12 Tabellenverzeichnis 76

13 Anhang 77

13.1 Teilestückliste 77

13.2 CAD-Zeichnungen 80

13.3 Detailzeichnung Trapezspindel 87

13.4 Übersicht Spindelvarianten 88

13.5 Abbildung kritische Drehzahlen 90

13.6 Elektroschema 91

13.7 Protokolle Coach-Gespräche (Vorzeigetermine) 92

Management Summary

In dieser Diplomarbeit wird ein mobiler, elektrisch betriebener Radlift für den Einsatz in Autowerkstätten entwickelt, konstruiert und als funktionsfähiger Prototyp hergestellt. Das Gerät mit dem Namen «Lift2Go» vereint zwei Funktionen, nämlich das Anheben und Positionieren einzelner Fahrzeugräder bei der Montage und Demontage sowie den Transport eines kompletten Radsatzes mit vier Rädern. Ziel des Projekts ist es, die körperlich belastenden Hebe- und Tragevorgänge beim Radwechsel zu reduzieren und damit die tägliche Arbeit in der Werkstatt zu erleichtern.

Zu Beginn des Projekts werden die Anforderungen an den Radlift in einem Pflichtenheft festgelegt und die Umsetzung anhand eines Terminplans vorbereitet. Eine kurze Marktanalyse bestehender Modelle zeigt verschiedene technische Lösungsansätze auf. Darauf aufbauend wird ein elektrischer Spindelantrieb gewählt, während für die Transportfunktion eine Lösung mit federbelasteten Greifgabeln entsteht.

Anschliessend erfolgt die Konstruktion und technische Auslegung des Radlifts mithilfe des CAD-Programms. Dabei werden das Grundgestell, die Führungssäule, der Hubschlitten, die Radaufnahme und die Transportfunktion konstruiert. Der Hubantrieb besteht aus einer Trapezgewindespindel, einem BLDC-Motor und einem Winkelgetriebe. Die Energieversorgung erfolgt über einen Akku. Für die Bedienung und Sicherheit werden unter anderem Endschalter, eine Federdruckbremse und ein Not-Halt-Taster vorgesehen.

Nach Abschluss der Konstruktion werden die benötigten Komponenten beschafft und die selbst entwickelten Bauteile gefertigt. Anschliessend erfolgt die mechanische Montage der Einzelteile zu Baugruppen und der Zusammenbau zu einem funktionsfähigen Gerät. Nach der elektrischen Verdrahtung erfolgt die Inbetriebnahme des fertigen Prototyps.

Die anschliessenden Funktionstests bestätigen die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Radlifts. Mit einem etwa 30 kg schweren Fahrzeugrad beträgt die Hubzeit rund 10 Sekunden. Der nutzbare Hubweg liegt bei 1060 mm, wobei eine maximale Höhe der Radmitte von ungefähr 1470 mm erreicht wird. Auch die praktische Montage eines Fahrzeugrades sowie die Aufnahme und der Transport eines kompletten Radsatzes können erfolgreich durchgeführt werden.

Der abschliessende Vergleich mit dem Pflichtenheft zeigt, dass die wesentlichen Projektziele erreicht werden. Gleichzeitig ergeben sich bei den Versuchen noch Verbesserungsmöglichkeiten. Insbesondere das Aufnehmen und Abladen eines Radsatzes erfordert einen gewissen Kraftaufwand. Auch bei der Not-Halt-Funktion und der Bedienung in engen Platzverhältnissen besteht weiteres Optimierungspotenzial. Die geforderte Akkulaufzeit konnte bisher noch nicht durch einen vollständigen Dauertest bestätigt werden.

Mit dem «Lift2Go» ist aus einer ursprünglichen Idee ein funktionsfähiger Prototyp entstanden, der die Radmontage und den Radtransport in einem Gerät vereint. Die praktischen Versuche zeigen, dass das entwickelte Konzept grundsätzlich für den Werkstattalltag geeignet ist. Auch wenn für eine weitere Verbesserung noch Anpassungen notwendig sind, konnte mit dieser Diplomarbeit eine Grundlage für eine mögliche Weiterentwicklung geschaffen werden.

1 Einleitung und Projektplanung

In einer Autowerkstatt gehören körperliche Arbeiten zum Alltag. Fahrzeuge werden gewartet, repariert und mit unterschiedlichsten Werkzeugen und Hilfsmitteln bearbeitet. Trotz der zunehmenden technischen Unterstützung gibt es Tätigkeiten, bei denen nach wie vor viel Handarbeit erforderlich ist. Dazu gehört auch der saisonale Radwechsel, bei dem innerhalb kurzer Zeit zahlreiche Fahrzeugräder bewegt, demontiert und wieder montiert werden müssen.

Mit der Weiterentwicklung der Fahrzeuge verändern sich auch die Anforderungen an die Werkstattarbeit. Grössere und schwerere Rad-Reifen-Kombinationen machen den Radwechsel zunehmend anspruchsvoller. Umso wichtiger sind geeignete Hilfsmittel, die solche Arbeiten erleichtern und die körperliche Belastung reduzieren.

Die Idee für diese Diplomarbeit entstand während einer Kaffeepause in der Werkstatt. Im Gespräch darüber, wie sich der Radwechsel etwas einfacher gestalten liesse, kam der Gedanke auf, ein eigenes Hilfsmittel mit verschiedenen Funktionen zu entwickeln. Dieses sollte nicht nur einzelne Räder anheben und bei der Montage unterstützen, sondern auch gleich den Transport eines kompletten Radsatzes ermöglichen. So entstand die Idee eines mobilen Radlifts, der beide Aufgaben miteinander verbindet. Das Projekt wurde aus eigener Initiative und ohne einen konkreten Auftraggeber durchgeführt.

Die vorliegende Diplomarbeit beschreibt die Entwicklung eines Radlifts von der ersten Idee über die Konstruktion sowie Fertigung bis zur Erprobung eines funktionsfähigen Prototyps.

1.1 Ausgangslage

Die Montage und Demontage von Autorädern gehören zu den regelmässigen und körperlich anspruchsvollen Arbeiten in Autowerkstätten. Besonders während des saisonalen Reifenwechsels müssen täglich zahlreiche Räder demontiert, angehoben wieder montiert sowie innerhalb der Werkstatt von einem Ort zum anderen bewegt werden. Dabei wird ein einzelnes Rad während eines vollständigen Radwechsels mehrfach bewegt, angehoben und an der Radnabe positioniert. Während der Reifenwechselsaison können bei einer angenommenen Arbeitszeit von rund 20 Minuten pro Fahrzeug an einem gut ausgelasteten Arbeitstag etwa 25 Fahrzeuge bearbeitet werden. Bei vier Rädern pro Fahrzeug ergeben sich dadurch rund 100 Hebevorgänge allein bei der Montage der Räder. Bei mehreren Fahrzeugen pro Tag entsteht dadurch eine erhebliche körperliche Belastung für die Werkstattmitarbeitenden.

Die körperliche Beanspruchung nimmt stetig zu, da bei modernen Fahrzeugen zunehmend grosse und schwere Rad-Reifen-Kombinationen eingesetzt werden. Dies betrifft insbesondere neuere Autos, SUVs sowie viele Elektrofahrzeuge, bei denen häufig grosse Felgendimensionen und breite Reifen zum Einsatz kommen. Ein einzelnes komplettes Fahrzeugrad wiegt je nach Grösse und Ausführung häufig über 25 kg. Bei besonders grossen Rad-Reifen-Kombi-

nationen kann das Gewicht auch deutlich über 30 kg liegen. Für den Mechaniker bedeutet dies, dass schwere und gleichzeitig unhandliche Räder mehrmals täglich aus einer tiefen Position angehoben und möglichst präzise am Fahrzeug positioniert werden müssen. Zusätzlich muss das Rad während der Montage gehalten und gedreht werden, damit die Befestigungslöcher mit denen der Radnabe übereinstimmen.

Für diese Arbeiten sind bereits verschiedene Hilfsmittel auf dem Markt erhältlich. So gibt es Radlifte für das Anheben und Positionieren einzelner Fahrzeugräder sowie Transportwagen für den Transport kompletter Radsätze. Die beiden Aufgaben werden jedoch üblicherweise mit unterschiedlichen Geräten ausgeführt. Daraus entstand die Idee, beide Funktionen in einem mobilen Gerät zu kombinieren.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll deshalb ein elektrischer Radlift entwickelt und als funktionsfähiger Prototyp umgesetzt werden. Der Radlift soll ein einzelnes Rad elektrisch anheben und positionieren können und gleichzeitig den Transport eines kompletten Radsatzes mit vier Rädern ermöglichen. Ziel ist es, insbesondere die körperlich belastenden Hebe- und Tragevorgänge zu reduzieren und die Arbeitsabläufe beim Radwechsel zu erleichtern.

1.2 Zieldefinition

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Entwicklung, Konstruktion und der Fertigung eines mobilen Radlifts, welcher zwei Funktionen in einem Gerät vereint. Der Radlift soll einerseits das Anheben und Positionieren eines einzelnen Fahrzeugrades bei der Montage und Demontage unterstützen und andererseits für den Transport eines kompletten Radsatzes eingesetzt werden können. Die dafür erforderlichen technischen und funktionalen Anforderungen werden im Pflichtenheft festgelegt und dienen nach der Fertigstellung des Prototyps als Grundlage für die Überprüfung der Zielerreichung.

Der Radlift soll von einer Person bedient werden können und die körperlich belastenden Arbeitsschritte beim Radwechsel reduzieren. Er soll für Fahrzeugräder mit einem üblichen Gewicht von etwa 20 bis 35 kg ausgelegt werden. Das Rad soll elektrisch angehoben und auf die erforderliche Montage- beziehungsweise Demontagehöhe gebracht werden können. Die zu erreichende Arbeitshöhe (Radnabe) beträgt ca. 1200 mm. Das Rad muss sicher aufgenommen werden können und während des Hubvorgangs sicher geführt und abgestützt sein. Damit die Schraubenlöcher am Rad zu den Bolzen an der Radnabe des Fahrzeugs ausgerichtet werden können, muss sich das Rad von Hand drehen lassen.

Neben der Hubfunktion soll der Radlift auch für den Transport eines kompletten Radsatzes, bestehend aus vier Rädern, verwendet werden können. Die für die Hubfunktion benötigten Bauteile sollen so gestaltet sein, dass sie die Transportfunktion möglichst wenig behindern und

bei Nichtgebrauch platzsparend verstaut werden können. Der Wechsel zwischen den beiden Funktionen soll mit möglichst wenigen Handgriffen möglich sein.

Der Hubvorgang soll elektrisch über einen akkubetriebenen Antrieb erfolgen. Dadurch soll der Radlift unabhängig von einer externen Stromversorgung innerhalb der Werkstatt eingesetzt werden können. Die Energieversorgung soll so dimensioniert sein, dass zahlreiche Radwechsel ohne häufiges Zwischenladen möglich sind.

Bei der Entwicklung stehen neben der Funktion insbesondere eine einfache und sichere Bedienung, ausreichende Stabilität und eine kompakte Bauweise im Vordergrund. Das Ergebnis der Diplomarbeit soll ein funktionsfähiger Prototyp des Radlifts sein. Anhand des aufgebauten Prototyps sollen die definierten Anforderungen durch praktische Versuche überprüft und die Funktion der Hub- und Transportvorrichtung beurteilt werden. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen abschliessend zur Bewertung der Zielerreichung und zur Ermittlung möglicher Optimierungen dienen.

1.3 Pflichtenheft

Im folgenden Pflichtenheft werden die technischen und funktionalen Anforderungen an den Radlift festgelegt. Sie konkretisieren die zuvor beschriebene Zielsetzung und bilden die Grundlage für die anschliessende Lösungsfindung, Konstruktion und Auslegung des Geräts. Gleichzeitig dienen sie nach der Fertigstellung des Prototyps als Grundlage für die Überprüfung der Zielerreichung.

Die einzelnen Anforderungen werden entsprechend ihrer Bedeutung in MUSS-, SOLL- und KANN-Anforderungen unterteilt. MUSS-Anforderungen (1) sind für die erfolgreiche Umsetzung des Radlifts zwingend zu erfüllen. SOLL-Anforderungen (2) werden nach Möglichkeit umgesetzt, während KANN-Anforderungen (3) zusätzliche Optimierungen darstellen, deren Umsetzung vom Konstruktions- und Montageverlauf sowie den verfügbaren Ressourcen abhängig ist.

Nr.	*Bereich*	*Anforderungen*	*Zielwert/Vorgabe*	*Priorität*
1	Tragfähigkeit	Ein einzelnes Fahrzeugrad muss sicher angehoben werden können.	Hubkapazität: max. 40 kg	1 MUSS
2	Montagehöhe	Der Radlift muss unterschiedliche Arbeitshöhen erreichen können.	Montagehöhe des Fahrzeugrades: ca. 1200 mm	1 MUSS
3	Hubzeit	Ein vollständiger Hub soll in angemessener Zeit erfolgen.	max. 20 Sekunden Zielwert: 12 Sekunden	1 MUSS 3 KANN
4	Antrieb	Das Heben und Senken muss elektrisch erfolgen.	elektrischer Hubantrieb	1 MUSS
5	Energieversorgung	Der Radlift muss unabhängig vom Stromnetz betrieben werden können.	Akkubetrieb	1 MUSS

Nr.	Bereich	Anforderungen	Zielwert/Vorgabe	Priorität
6	Akkulaufzeit	Zwischen zwei Ladevorgängen sollen möglichst viele Arbeitszyklen möglich sein.	mind. 100 Hubvorgänge	2 SOLL
7	Bedienung	Das Gerät muss durch eine Person bedient werden können.	Eine-Personen-Bedienung	1 MUSS
8	Radaufnahme	Das Rad muss sicher aufgenommen werden und darf während des Hubvorgangs nicht herunterfallen.	sichere Aufnahme und Abstützung	1 MUSS
9	Radausrichtung	Das aufgenommene Rad muss zur Ausrichtung auf der Radaufnahme gedreht werden können.	Rad manuell drehbar	1 MUSS
10	Transportfunktion	Ein kompletter Radsatz muss mit dem Gerät transportiert werden können.	4 Kompletträder (Felge + Reifen) transportierbar	1 MUSS
11	Kompakte Bauweise	Die beiden Funktionen (Hub und Transport) dürfen sich nicht gegenseitig unnötig behindern.	nicht benötigte Bauteile müssen platzsparend verstaut werden können, weggeklappt oder einfach entfernt werden können	1 MUSS 2 SOLL
12	Mobilität	Das Gerät muss innerhalb der Werkstatt einfach bewegt werden können.	fahrbarer Grundrahmen, durch eine Person manövrierbar	1 MUSS
13	Stabilität	Der Radlift darf bei bestimmungsgemässer Verwendung nicht kippen.	standsicher auf ebenem Werkstattboden	1 MUSS
14	Sicherheit	Ein unkontrolliertes Absinken des Hubschlittens muss verhindert werden.	Last muss auch bei Ausfall des Antriebs sicher gehalten werden	1 MUSS
15	Hubpositionen	Ein unbeabsichtigtes Überschreiten des vorgesehenen Hubbereichs muss verhindert werden.	Endabschaltung oben und unten, Begrenzung Hubpositionen	1 MUSS
16	Konstruktion	Die Konstruktion muss den auftretenden Kräften standhalten.	ausreichende Dimensionierung mit Sicherheitsreserve	1 MUSS
17	Wartung	Wartungs- und Verschleissteile sollen möglichst einfach zugänglich sein.	wartungsfreundlicher Aufbau	2 SOLL
18	Herstellung	Konstruktion soll mit verfügbaren und üblichen Fertigungsverfahren herstellbar sein.	möglichst einfache Fertigungsteile und Einsatz von Standardkomponenten	2 SOLL
19	Kosten	Die Herstellungskosten des Radlifts sollen möglichst gering gehalten werden. Budget max. CHF 3000	kostengünstige Auswahl von Kauf- und Fertigungsteilen	3 KANN

Tabelle 1: Pflichtenheft

Das Pflichtenheft legt damit die wesentlichen Rahmenbedingungen für die weitere Entwicklung des Radlifts fest. Im weiteren Projektverlauf werden die gewählten Lösungen anhand dieser

Anforderungen entwickelt und ausgelegt. Nach der Fertigstellung und Inbetriebnahme des Prototyps werden die Anforderungen durch Messungen und praktische Funktionstests überprüft und in einem SOLL-IST-Vergleich bewertet.

1.4 Abgrenzung

Im Rahmen der Diplomarbeit wird ein funktionsfähiger Prototyp entwickelt, konstruiert, gefertigt und getestet. Der Schwerpunkt liegt auf der mechanischen Konstruktion, dem elektrischen Hubantrieb, der Aufnahme und Positionierung eines einzelnen Fahrzeugrades sowie der Transportfunktion für einen kompletten Radsatz. Ebenfalls berücksichtigt werden die für den Betrieb des Prototyps erforderlichen Sicherheitsfunktionen sowie eine einfache Bedienung.

Der vorgesehene Einsatzbereich beschränkt sich auf Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge innerhalb der festgelegten Anforderungen im Pflichtenheft. Der Radlift ist für den Einsatz auf ebenem Werkstattboden vorgesehen. Anwendungen für schwere Nutzfahrzeuge sowie der Einsatz auf unebenem Gelände oder ausserhalb der Werkstatt werden im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

Nicht Bestandteil der Arbeit ist die Entwicklung eines serienreifen Produktes. Eine vollständige Industrialisierung, Serienfertigung oder Optimierung für grössere Stückzahlen wird nicht durchgeführt. Ebenso sind eine abschliessende Produktzertifizierung sowie umfangreiche Dauerlauf- und Lebensdauerprüfungen nicht Bestandteil der Arbeit. Die für den sicheren Betrieb relevanten Funktionen werden jedoch bei der Konstruktion berücksichtigt und am Prototyp überprüft.

Die ergonomischen und gesundheitlichen Auswirkungen des Radlifts werden im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht wissenschaftlich untersucht. Ziel der Konstruktion ist es, manuelle Hebe- und Tragevorgänge beim Radwechsel zu reduzieren. Es werden jedoch keine Aussagen darüber getroffen, in welchem Umfang dadurch körperliche Belastungen oder mögliche gesundheitliche Beschwerden reduziert, beziehungsweise vermieden werden können. Eine entsprechende Beurteilung würde weiterführende ergonomische und arbeitsgesundheitliche Untersuchungen erfordern.

Der Prototyp dient dazu, die technische Machbarkeit des entwickelten Konzepts nachzuweisen und die im Pflichtenheft definierten Anforderungen unter praxisnahen Bedingungen zu überprüfen.

1.5 Terminplan (SOLL)

Der Terminplan zeigt die geplanten Arbeitsschritte, die vorgesehenen Zeiträume sowie den jeweiligen Zeitaufwand für die Durchführung der Arbeit. Er dient als zeitliche Orientierung für den Projektverlauf und soll sicherstellen, dass die einzelnen Projektphasen strukturiert bearbeitet werden. Zusätzlich werden zeitliche Reserven berücksichtigt, um auf mögliche Verzögerungen während der Arbeit reagieren zu können.

Datum	*Arbeitsschritt*	*Geplante Zeit*
01.07.2026 - 12.07.2026	Projektstart, Ausgangslage, Problemstellung, Zieldefinition, Pflichtenheft, Abgrenzung, Coach Gespräch	15 h
13.07.2026 - 19.07.2026	Informationssammlung, Marktanalyse und Recherche zu bestehenden technischen Lösungen, Hubsysteme, Spindelantriebe und Motoren	10 h
20.07.2026 - 17.08.2026	Konzeptentwicklung, Lösungsfindung, Handskizzen Grobkonstruktion im CAD, laufende Dokumentation	30 h
18.08.2026 - 07.09.2026	Detail-Konstruktion der Baugruppen, Technische Berechnungen und Auslegung (Spindel, Motor, Festigkeit), laufende Dokumentation	70 h
08.09.2026 - 21.09.2026	Beschaffung der Komponenten, Fertigungsvorbereitung	20 h
22.09.2026 - 05.10.2026	Fertigung der Einzelteile, Montage, elektrischer Aufbau und Inbetriebnahme des Prototyps	50 h
06.10.2026 - 12.10.2026	Funktionstests, Messungen, Optimierungen und Auswertung, Coach Gespräch	10 h
13.10.2026 - 17.10.2026	Dokumentation von Fertigung, Montage, Tests und Ergebnissen	10 h
18.10.2026 - 24.10.2026	Fertigstellung der Diplomarbeit, Reflexion, Schlusswort, Anhänge, Endkontrolle und finale Korrektur	35 h
28.10.2026	Abgabe der Diplomarbeit	-
TOTAL SOLL		**250 h**

Tabelle 2: Terminplan SOLL

Der Terminplan bildet die zeitliche Grundlage für die Durchführung des Projekts. Nach Abschluss der Arbeiten wird der geplante Ablauf dem tatsächlichen Verlauf gegenübergestellt und hinsichtlich wesentlicher Abweichungen ausgewertet.

1.6 Projektrisiken

Bei der Entwicklung und Herstellung des Radlift-Prototyps bestehen verschiedene technische und organisatorische Risiken, welche den Verlauf oder das Erreichen der gesetzten Ziele beeinflussen können. Um mögliche Probleme frühzeitig zu erkennen, werden bereits zu Beginn des Projekts die wesentlichen Risiken betrachtet und bewertet.

Zu den technischen Risiken zählen insbesondere eine unzureichende Leistungsfähigkeit des Hubsystems, Probleme bei der Führung und Positionierung des Rades sowie eine ungenügende Stabilität des Gerätes. Ebenfalls muss berücksichtigt werden, dass die vorgesehenen Sicherheitsfunktionen möglicherweise nicht wie geplant umgesetzt werden können oder während der Erprobung angepasst werden müssen.

Neben den technischen Risiken bestehen auch organisatorische und terminliche Risiken. Dazu gehören insbesondere Lieferverzögerungen bei Kaufteilen, ungeeignete oder nicht miteinander kompatible Komponenten sowie ein höherer Zeitaufwand für Entwicklung, Konstruktion, Beschaffung oder Montage als ursprünglich vorgesehen.

Die identifizierten Risiken werden anhand ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und ihrer möglichen Auswirkungen bewertet. Daraus lässt sich ableiten, welche Risiken während der weiteren Bearbeitung besonders berücksichtigt werden müssen. Die Bewertung ist in der nachfolgenden Risikomatrix dargestellt.

Nr.	*Risiko*	*E*	*A*	*R*	*Vorbeugende Massnahme*
R1	Hubsystem ungenügend	2	3	6	Antrieb berechnen, Reserven einplanen
R2	Führung klemmt / hohe Reibung	2	3	6	Führung auslegen, Toleranzen beachten
R3	Rad nicht ausreichend gesichert	1	3	3	Sichere Aufnahme in Konstruktion bedenken
R4	Standsicherheit ungenügend	1	3	3	Standsicherheit rechnerisch überprüfen
R5	Fehler im elektrischen System	1	3	3	Komponenten und Schnittstellen prüfen
R6	Akkulaufzeit ungenügend	2	2	4	Energiebedarf abschätzen, Reserven einplanen
R7	Lieferverzögerungen / Fehlbeschaffungen	2	2	4	frühzeitig prüfen und bestellen
R8	Konstruktion, Montage benötigt mehr Zeit als geplant	2	2	4	Zeitreserven einplanen und Fortschritt laufend prüfen

Tabelle 3: Risikomatrix der Projektrisiken

Legende

Eintrittswahrscheinlichkeit (E): 1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch

Auswirkung (A): 1 = gering, 2 = mittel, 3 = hoch

Risikowert (R): R = E x A

Die Risiken mit dem höchsten Risikowert werden im weiteren Projektverlauf besonders berücksichtigt und durch geeignete Massnahmen reduziert.

2 Lösungsfindung

Auf Grundlage der zuvor festgelegten Anforderungen werden in diesem Kapitel mögliche Lösungsansätze für den Radlift untersucht und schrittweise zu einem Gesamtkonzept weiterentwickelt. Dazu werden zunächst bestehende Produkte auf dem Markt betrachtet und deren Funktionsprinzipien analysiert. Anschliessend wird daraus ein eigenes Lösungskonzept entwickelt. Darauf aufbauend werden die für die Hubfunktion erforderlichen technischen Systeme untersucht und ausgewählt.

2.1 Marktanalyse

Zu Beginn der Lösungsfindung wird eine Marktanalyse durchgeführt. Dabei werden bestehende Geräte betrachtet, welche das Anheben und Positionieren einzelner Fahrzeugräder oder den Transport eines kompletten Radsatzes ermöglichen. Ziel der Marktanalyse ist bereits eingesetzte Funktionsprinzipien kennenzulernen und daraus mögliche Ansätze für die Entwicklung des eigenen Radlifts abzuleiten.

2.1.1 BLITZRotary, Mobile Wheel Carriage MW80

Als Referenz für das Anheben und Positionieren eines einzelnen Fahrzeugrades wird das Produkt «Mobile Wheel Carriage MW 80» betrachtet. Dabei handelt es sich um einen akkubetriebenen Radmontagewagen, welcher für die Montage und Demontage einzelner Fahrzeugräder eingesetzt wird.

Das Gerät besitzt eine maximale Tragfähigkeit von 80 kg und einen Hubweg von 1440 mm. Die Hubzeit beträgt ungefähr 20 Sekunden und die Senkzeit etwa 15 Sekunden. Mit dem Doppelakku sind laut Produktbeschreibung ungefähr 100 Hub- und Senkvorgänge möglich. Die Hubbewegung erfolgt über eine elektrisch angetriebene Spindel. Das Gerät verfügt zudem über eine integrierte Sicherheitsbremse. Das Rad wird auf einer Aufnahmegabel aufgenommen und kann für die Positionierung am Fahrzeug von Hand gedreht werden. Dadurch lässt sich das Rad auf die benötigte Höhe bringen und zur Radnabe ausrichten. (Vehicle Service Group, BlitzRotary GmbH, 2026)

Besonders interessant für die eigene Konstruktion ist das Prinzip der elektrisch angetriebenen Hubbewegung in Verbindung mit einer Radaufnahme, auf welcher das Rad angehoben und während der Montage positioniert werden kann. Auch die Möglichkeit, das aufgenommene Rad von Hand zu drehen, stellt einen interessanten Ansatz für die spätere Entwicklung der eigenen Radaufnahme dar.

2.1.2 Winntec Classic Smart Cart

Für den Transport eines kompletten Radsatzes wird der «Winntec Classic Smart Cart» näher betrachtet. Der Transportwagen ist für die gemeinsame Aufnahme und Bewegung mehrerer Reifen beziehungsweise kompletter Räder ausgelegt.

Er besitzt eine maximale Tragfähigkeit von 200 kg und ist für Räder mit einem Durchmesser von bis zu 760 mm geeignet. Die Aufnahme des Radsatzes erfolgt über automatisch federbetätigte Greifarme, welche sich seitlich am unteren Rad anlegen. Dadurch kann der komplette Radsatz gemeinsam aufgenommen und innerhalb der Werkstatt bewegt werden. (Winntec, Techno Marketing Group, 2026)

Durch die federbetätigten Greifarme lässt sich ein kompletter Radsatz mit wenigen Handgriffen aufnehmen und gemeinsam bewegen. Dieses Funktionsprinzip liefert einen möglichen Ansatz für die spätere Entwicklung der eigenen Transportlösung.

2.1.3 Erkenntnisse aus der Marktanalyse

Die Marktanalyse zeigt, dass für die beiden vorgesehenen Hauptfunktionen unterschiedliche Lösungen erhältlich sind. Der «Mobile Wheel Carriage MW80» unterstützt das elektrische Anheben und Positionieren eines einzelnen Fahrzeugrades, während der «Winntec Classic Smart Cart» für die gemeinsame Aufnahme und den Transport eines kompletten Radsatzes ausgelegt ist.

Bei den untersuchten Produkten werden diese beiden Aufgaben mit separaten Geräten gelöst. Für die eigene Entwicklung entsteht daraus die Idee, die Hub- und Positionierfunktion für ein einzelnes Rad mit der Transportfunktion für einen kompletten Radsatz in einem mobilen Gerät zu vereinen. Dabei sollen die betrachteten Produkte als Grundlage dienen, ohne bestehende Lösungen direkt zu übernehmen. Die konkrete Umsetzung dieser beiden Funktionen wird im nächsten Schritt im Rahmen der Konzeptentwicklung untersucht.

2.2 Entwicklung des Lösungskonzepts

Auf Grundlage des Pflichtenhefts und der Erkenntnisse aus der Marktanalyse wird im nächsten Schritt ein Lösungskonzept für den Radlift entwickelt. Dabei steht insbesondere die Kombination der beiden Hauptfunktionen im Vordergrund. Das Gerät soll sowohl das Anheben und Positionieren eines einzelnen Fahrzeugrades als auch den Transport eines kompletten Radsatzes ermöglichen.

Zuerst werden die einzelnen Funktionen des Radlifts betrachtet. Anschliessend wird überlegt, wie sich diese in einer gemeinsamen Konstruktion umsetzen lassen. Aus dieser Grundlage werden benötigten Bauteile ausgewählt.

2.2.1 Grundkonzept des Radlifts

Das Grundkonzept sieht ein mobiles Gerät vor, welches von einer Person innerhalb der Werkstatt bewegt und bedient werden kann. Für die Montage und Demontage soll ein einzelnes Fahrzeugrad aufgenommen, elektrisch angehoben und auf die erforderliche Arbeitshöhe gebracht werden können. Gleichzeitig soll das Rad während der Positionierung sicher abgestützt und von Hand gedreht werden können, um es zur Radnabe auszurichten.

Neben der Hubfunktion soll dasselbe Grundgerät für den Transport eines kompletten Radsatzes mit vier Rädern eingesetzt werden können. Beide Funktionen sollen dabei so miteinander kombiniert werden, dass ein Wechsel zwischen Hub- und Transportfunktion mit möglichst wenigen Handgriffen möglich ist.

2.2.2 Ursprünglicher Lösungsansatz

Ein erster Lösungsansatz sieht vor, die Transport- und Hubfunktion miteinander zu kombinieren. Dabei sollen die vier Räder zunächst als Stapel auf dem Radlift transportiert werden und bleiben während dem Montagevorgang auf der Greifgabel vom Radlift. Für die Montage wird jeweils das oberste Rad vom Stapel direkt mit der Hub- bzw. Greifgabel aufgenommen und um 90° in die senkrechte Position geschwenkt. Anschliessend wird das Rad auf die benötigte Arbeitshöhe angehoben.

Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass die Räder nicht einzeln vom vorher abgeladenen Stapel auf die Hubaufnahme umgesetzt werden müssten. Allerdings wäre dafür ein zusätzlicher Mechanismus zum Greifen und Schwenken der Räder erforderlich, wodurch das Gerät grösser, schwerer und konstruktiv aufwendiger werden würde. Ein weiterer Nachteil ist der Platzbedarf des verbleibenden Radstapels im Radlift. Bei der Montage des ersten Rades würden sich die drei übrigen Räder weiterhin auf dem Radlift befinden. Insbesondere bei grösseren Fahrzeugrädern könnte dadurch eine höhere Position des Fahrzeugs auf der Hebebühne notwendig werden, damit der Radlift unter das Fahrzeug gefahren werden kann. Dies könnte zu einer ungünstigen Arbeitshöhe bei der Radmontage führen.

Aufgrund des zusätzlichen konstruktiven Aufwands und der möglichen Einschränkungen bei der Bedienung wird diese Variante nicht weiterverfolgt. Stattdessen soll eine einfachere Lösung entwickelt werden, welche beide Funktionen in einem Gerät vereint, ohne dass die Räder direkt vom transportierten Radsatz aufgenommen werden müssen.

2.2.3 Konstruktive Grundidee

Ausgehend vom Grundkonzept wird eine Konstruktionslösung entwickelt, welche die Hub- und Transportfunktion in einem gemeinsamen Gerät vereint. Die grundsätzliche Anordnung der benötigten Baugruppen ist in Abbildung 3 dargestellt.

Für die Hubfunktion wird eine vertikale Hubeinheit vorgesehen, an welcher sich die Radaufnahme auf- und ab bewegen kann. Die Radaufnahme besteht aus zwei drehbaren Rollen, auf denen das einzelne Rad abgestützt wird. Dadurch kann das Rad während der Positionierung von Hand gedreht und zur Radnabe ausgerichtet werden. Damit die Radaufnahme die Transportfunktion nicht behindert, soll sie bei Nichtgebrauch nach oben geschwenkt werden können.

Das Grundgestell bildet die gemeinsame Basis der Konstruktion und nimmt sowohl die Hubeinheit als auch die für den Radsatz benötigte Transportaufnahme auf. Für die Transportfunktion sind seitlich angeordnete Greifelemente vorgesehen, welche am untersten Rad des Radsatzes anliegen. Das Fahrwerk ermöglicht das Verschieben des gesamten Gerätes innerhalb der Werkstatt.

Die grundsätzliche Anordnung der Baugruppen ist damit festgelegt. Im nächsten Schritt werden verschiedene Hubsysteme untersucht und miteinander verglichen.

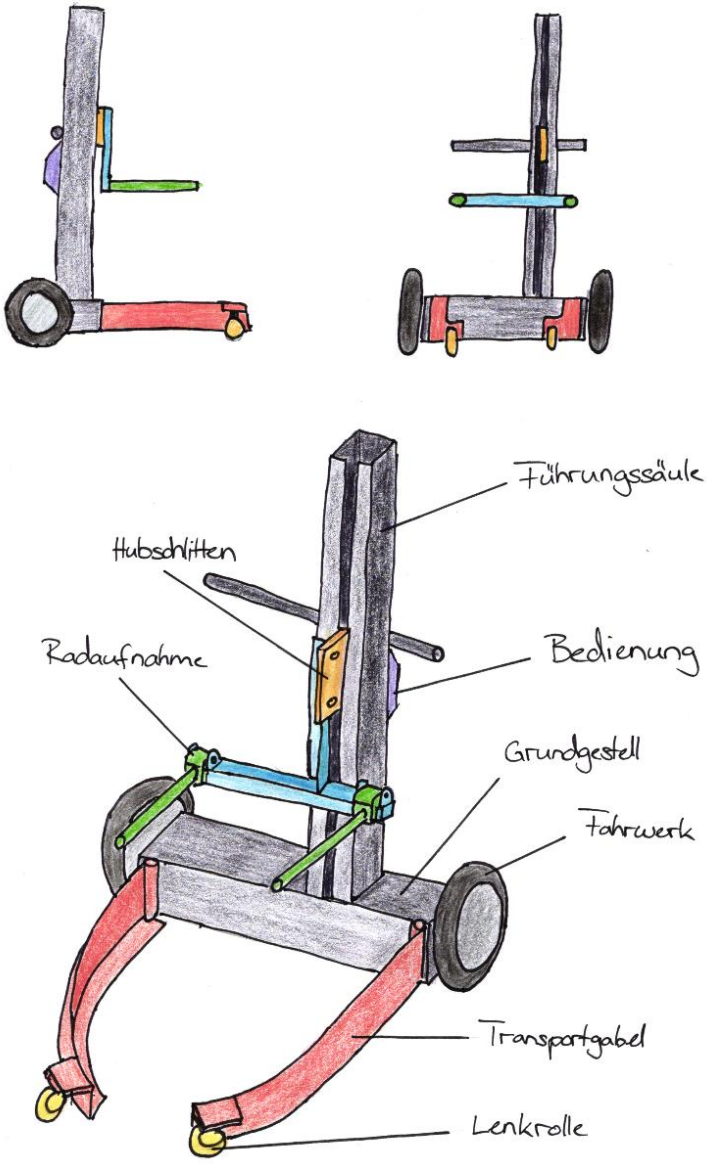


Abbildung 3: Konstruktive Grundidee des Radlifts (eigene Skizze)

2.2.4 Untersuchte Varianten der Transportfunktion

Für die Betätigung der Greifgabeln werden zunächst zwei Varianten in Betracht gezogen.

Bei der ersten Variante (Abbildung 4) sollen die Greifgabeln über ein Fusspedal in der Mitte des Grundgestells betätigt werden. Durch das Herunterdrücken des Pedals würden Schubstangen die hinteren Enden der Greifgabeln auseinanderdrücken, wodurch sich diese vorne schliessen. Über verschiedene Bohrungen könnte das Pedal in unterschiedlichen Positionen arretiert werden. Diese Variante wird aufgrund der vielen zusätzlichen beweglichen Bauteile und der benötigten Gelenkverbindungen verworfen.

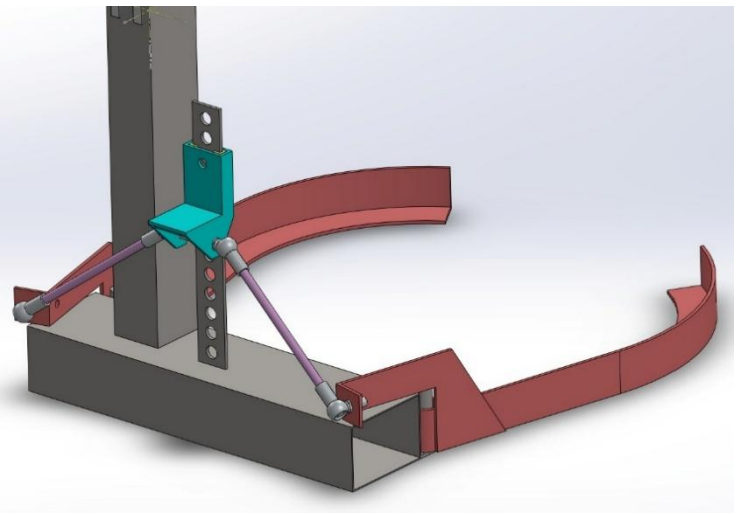


Abbildung 4: Transportfunktion Variante 1 mit Fusspedal (eigene CAD-Darstellung)



Abbildung 5: Transportfunktion Variante 2 mit Hebel (eigene CAD-Darstellung)

Bei der zweiten Variante (Abbildung 5) können die Greifgabeln durch seitlich verlängerte Hebel von Hand geöffnet und geschlossen werden. Diese Lösung wäre zwar mechanisch einfacher gewesen, hätte jedoch zu einer deutlich breiteren und unhandlicheren Bauweise geführt.

Nach dem Vergleich der beiden Varianten wird schliesslich eine Lösung mit zugfederbelasteten Greifgabeln gewählt. Diese öffnen sich beim Heranfahren an den Reifenstapel selbstständig und werden durch die Zugfedern (türkis in Abbildung 6) wieder geschlossen. Dadurch entfällt eine zusätzliche Betätigung über ein Fusspedal oder seitliche Hebel. Die gewählte Lösung ermöglicht eine kompakte Bauweise mit wenigen beweglichen Bauteilen und einer einfachen Bedienung. Der genaue Aufbau und die konstruktive Umsetzung werden im 3.6 beschrieben.

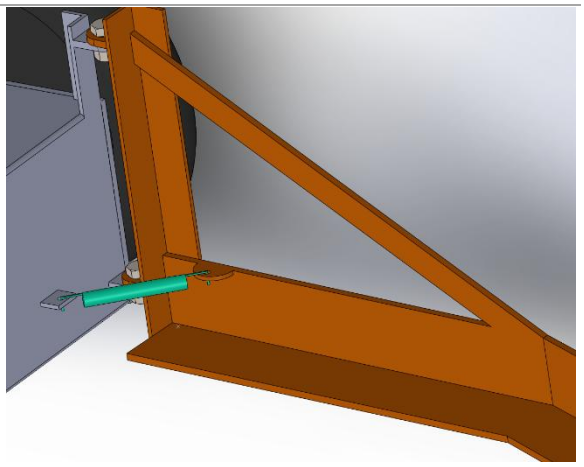


Abbildung 6: Transportfunktion Variante 3 mit Zugfedern (eigene CAD-Darstellung)

2.3 Auswahl des Hubsystems

Für die Umsetzung der Hubfunktion werden zwei unterschiedliche Antriebskonzepte untersucht. Betrachtet werden ein elektrischer Spindelantrieb und ein elektrohydraulischer Antrieb. Beide Varianten ermöglichen eine elektrisch betriebene Hubbewegung und können über einen Akku mit Energie versorgt werden. Anschliessend werden die beiden Systeme anhand der für den Radlift relevanten Kriterien miteinander verglichen.

2.3.1 Elektrischer Spindelantrieb

Bei dieser Variante wird der Hubschlitten über eine Gewindespindel angehoben und abgesenkt. Die Spindel wird durch einen elektrischen Getriebemotor angetrieben. Durch die Drehbewegung der Spindel bewegt sich die daran befestigte Spindelmutter samt Hubschlitten und Radaufnahme nach oben oder unten.

Die Energieversorgung des Motors erfolgt über einen Akku. Die Hubbewegung kann über die Bedienung in Auf- und Abwärtsrichtung gesteuert werden. Der Hubschlitten wird dabei seitlich geführt, damit die Spindel hauptsächlich nur durch axiale Kräfte belastet wird und möglichst keine Querkräfte aufnehmen muss. Abhängig von der gewählten Spindelart und Gewindesteigung ist eine zusätzliche Haltebremse erforderlich. Diese verhindert, dass sich der Hubschlitten bei ausgeschaltetem oder ausgefallenem Antrieb selbstständig absenkt.

2.3.2 Elektrohydraulischer Antrieb

Bei der hydraulischen Variante wird der Hubschlitten mit einem Hydraulikzylinder angehoben und abgesenkt. Eine elektrisch angetriebene Hydraulikpumpe fördert das Hydrauliköl aus einem Hydrauliktank in den Zylinder. Durch den entstehenden Druck fährt der Kolben aus und erzeugt die erforderliche Hubbewegung.

Zum Absenken wird das Hydrauliköl über ein Ventil zurück in den Ölbehälter geleitet. Die elektrische Energie für die Hydraulikpumpe wird ebenfalls über den Akku mit Strom versorgt. Für die Umsetzung werden neben dem Hydraulikzylinder somit zusätzlich eine Pumpe, ein Ölbehälter, Ventile und entsprechende Hydraulikleitungen benötigt.

2.3.3 Bewertung und Auswahl

Für die Bewertung der beiden Hubsysteme werden zunächst die relevanten Kriterien mithilfe einer Präferenzmatrix gewichtet. Dabei werden die Kriterien paarweise miteinander verglichen.

	Bauraum	Gewicht	Kosten	Wartungsaufwand	Sicherheit	Punkte	Gewichtung
Bauraum		1	2	2	0	**5**	**25 %**
Gewicht	1		2	2	0	**5**	**25 %**
Kosten	0	0		1	0	**1**	**5 %**
Wartungsaufwand	0	0	1		0	**1**	**5 %**
Sicherheit	2	2	2	2		**8**	**40 %**
Summe						**20**	**100 %**

Tabelle 4: Präferenzmatrix zur Gewichtung der Auswahlkriterien

Legende:

2 = wichtiger
1 = gleich wichtig
0 = weniger wichtig

Auf Grundlage dieser Gewichtung werden die beiden Hubsysteme in einer Nutzwertanalyse bewertet.

Kriterium	*Gewichtung in %*	*Spindelantrieb*		*Hydraulik*	
		Punkte	*Nutzwertpunkte*	*Punkte*	*Nutzwertpunkte*
Bauraum	25 %	4	100	1	25
Gewicht	25 %	3	75	2	50
Kosten	5 %	4	20	3	15
Wartungsaufwand	5 %	5	25	2	10
Sicherheit	40 %	4	160	3	120
Gesamtnutzwert	**100 %**		**380**		**220**
Rang	**500 P.**		**1**		**2**

Tabelle 5: Nutzwertanalyse der untersuchten Hubsysteme

Legende:

1 = sehr schlecht
2 = schlecht
3 = ausreichend
4 = gut
5 = sehr gut

Der elektrische Spindelantrieb erreicht mit einem Gesamtnutzwert von 380 Punkten beziehungsweise 76 % damit den ersten Rang. Der elektrohydraulische Antrieb erreicht 220 Punkte beziehungsweise 44 %. Insbesondere der geringere Bauraumbedarf, das niedrigere Gewicht

sowie der geringere Wartungsaufwand sprechen für den Spindelbetrieb. Dies ist für die kompakte und mobile Bauweise des Radlifts von Vorteil. Zudem werden keine zusätzliche Pumpe, kein Behälter sowie keine Hydraulikleitungen und Ventile benötigt. Aufgrund der höheren Gesamtbewertung wird deshalb der elektrische Spindelantrieb für die weitere Entwicklung ausgewählt.

2.4 Auswahl der Hubspindel

Nach der Entscheidung für einen elektrischen Spindelantrieb wird im nächsten Schritt eine geeignete Hubspindel ausgewählt. Dazu werden zunächst verschiedene Spindelausführungen betrachtet, die in der Übersichtstabelle im Anhang aufgeführt sind (siehe Anhang 13.4). Aus dieser Übersicht werden drei Varianten für die weitere Untersuchung ausgewählt. Dabei handelt es sich um eine zweigängige und eine eingängige Trapezgewindespindel sowie eine Kugelumlaufspindel. Als Grundlage für den Vergleich wird eine maximal bewegte Gesamtmasse von 40 kg und ein erforderlicher Hubweg von 1200 mm berücksichtigt. Die drei Varianten werden nachfolgend anhand ihrer technischen Eigenschaften untersucht. Die zugehörigen Berechnungen und der Vergleich folgen in den anschliessenden Kapiteln.

2.4.1 TR20x8P4 zweigängig

Die zweigängige Trapezspindel TR20x8P4 besitzt eine Gewindesteigung von 8 mm und eine Gewindeprofilteilung von 4 mm. Pro Umdrehung ergibt sich ein Hub von 8 mm (Mädler Norm-Antrieb AG, Trapezgewinde, 2026). Dadurch wird gegenüber einer eingängigen Trapezgewindespindel mit gleicher Drehzahl der doppelte Hubweg erreicht. Für 1200 mm Hub in 12 Sekunden benötigt sie nur etwa 750 U/min (Berechnung Spindeldrehzahl siehe Kapitel 2.4.4) und liegt somit unter der zulässigen maximalen Drehzahl von 1000 U/min auf 1500 mm (siehe Anhang 13.4). Die angestrebte Hubzeit kann mit dieser Variante somit erreicht werden. Das erforderliche Drehmoment ist aufgrund der grösseren Steigung etwas höher und beträgt etwa 1.3 Nm. Der Wirkungsgrad liegt bei ungefähr 39 % (Berechnung Steigungswinkel, Wirkungsgrad und Spindeldrehmoment siehe Kapitel 2.4.4). Diese Variante erfüllt damit sowohl die gewünschte Hubzeit als auch die Drehzahlanforderung. Wegen der grösseren Steigung ist jedoch keine zuverlässige Selbsthemmung vorhanden, weshalb eine zusätzliche Haltebremse vorgesehen werden muss.

2.4.2 TR20x4 eingängig

Die eingängige Trapezgewindespindel TR20x4 besitzt einen Hub von 4 mm pro Umdrehung (Mädler Norm-Antrieb AG, Trapezgewinde, 2026). Für einen Hubweg von 1200 mm innerhalb von 12 Sekunden wäre eine Spindeldrehzahl von etwa 1500 U/min erforderlich. Diese liegt über der für die vorgesehene freie Spindellänge berücksichtigten maximalen Drehzahl von 1000 U/min. Die angestrebte Hubzeit von 12 Sekunden kann mit dieser Variante daher nicht

erreicht werden. Bei einer Drehzahl von 1000 U/min beträgt die Hubzeit ungefähr 18 Sekunden. Das erforderliche Spindeldrehmoment beträgt rund 1.0 Nm. Mit einem Wirkungsgrad von etwa 25 % weist diese Variante zudem die höchsten Reibungsverluste der untersuchten Spindeln auf. Die Werte wurden mit den gleichen Berechnungsmethoden wie bei der TR20x8P4 ermittelt (siehe Kapitel 2.4.4).

2.4.3 Kugelumlaufspindel 20x10

Die Kugelumlaufspindel hat eine Steigung von 10 mm pro Umdrehung (Mädler Norm-Antrieb AG, Kugelgewindespindel, 2026). Für 1200 mm Hub in 12 Sekunden sind genau 600 U/min erforderlich. Diese Drehzahl liegt innerhalb des zulässigen Drehzahlbereichs der Spindel. Durch die Rollreibung zwischen Spindel und Mutter erreicht die Kugelumlaufspindel mit ungefähr 89 % den höchsten Wirkungsgrad der untersuchten Varianten. Dadurch beträgt das erforderliche Spindeldrehmoment trotz des grösseren Hubs pro Umdrehung lediglich rund 0.7 Nm. Aufgrund der geringeren Reibung besitzt die Kugelumlaufspindel jedoch keine Selbsthemmung. Deshalb ist auch bei dieser Variante eine zusätzliche Haltebremse erforderlich, welche ein unkontrolliertes Absinken des Hubschlittens verhindert. Die Werte wurden mit den gleichen Berechnungsmethoden wie bei der TR20x8P4 ermittelt (siehe Kapitel 2.4.4).

2.4.4 Berechnungsgrundlage der Spindelauswahl

Gewichtskraft

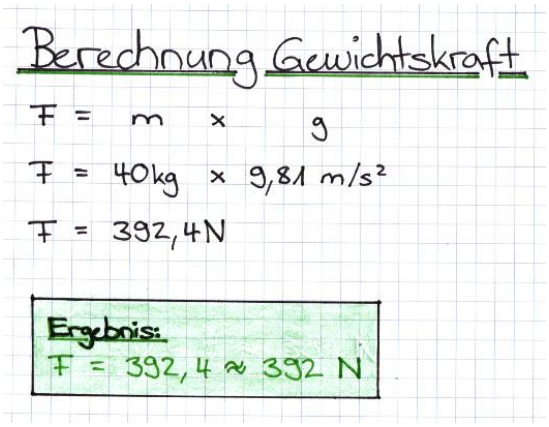


Abbildung 7: Berechnung Gewichtskraft

Für die weiteren Berechnungen wird mit einer Gewichtskraft von **392 N** gerechnet.

Spindeldrehzahl

Die erforderliche Spindeldrehzahl wird anhand der Hubdistanz von 1200 mm, des Hubs pro Umdrehung und der gewünschten Hubzeit bestimmt. Für die TR20x8P4 mit einem Hub von 8 mm pro Umdrehung ergibt sich beispielsweise für eine Hubzeit von 12 Sekunden:

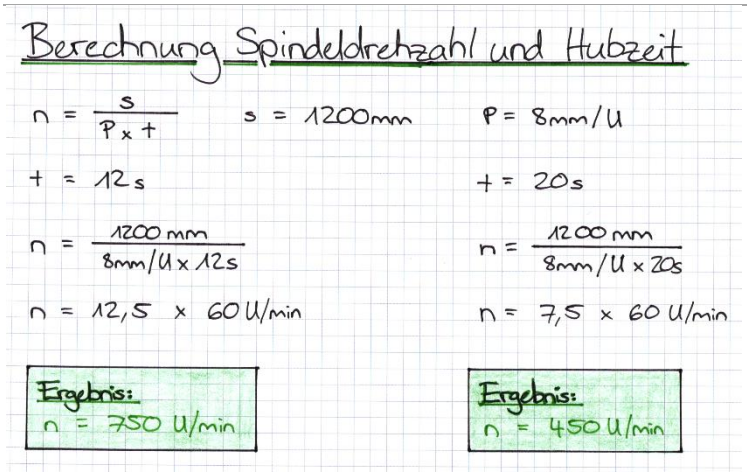


Abbildung 8: Berechnung Spindeldrehzahl

Nach demselben Vorgehen werden die erforderlichen Drehzahlen der übrigen Spindelvarianten für Hubzeiten von 12 und 20 Sekunden bestimmt. Die daraus resultierenden Werte sind im Kapitel 2.4.5 in Tabelle 6: Vergleich der untersuchten Hubspindeln zusammengefasst.

Steigungswinkel, Wirkungsgrad und Spindeldrehmoment

Der Steigungswinkel der Spindel wird aus dem Hub pro Umdrehung und dem mittleren Gewindedurchmesser bestimmt. Er beeinflusst zusammen mit der Reibung das erforderliche Antriebsdrehmoment der Spindel. Für die TR20x8P4 wird mit einem mittleren Gewindedurchmesser von 17.8 mm gerechnet. Damit beträgt der Steigungswinkel der TR20x8P4 rund **8.15°**.

Bei einer Trapezgewindespindel entstehen zwischen Spindel und Mutter Gleitreibungsverluste. Diese werden bei der Berechnung des Wirkungsgrades berücksichtigt. Für die überschlägige Berechnung wird für die Materialpaarung von Spindel und Mutter ein Reibungskoeffizient von μ = 0.20 (Stahl/Rotguss) gemäss Angaben des Händlers verwendet (Mädler Norm-Antrieb AG, Trapezgewinde, 2026). Für die TR20x8P4 wurde anhand des Steigungswinkels von 8.15° und der Gewindegeometrie ein Wirkungsgrad von rund **39 %** berechnet.

Der berechnete Wirkungsgrad wird anschliessend bei der Bestimmung des erforderlichen Spindeldrehmoments berücksichtigt. Das erforderliche Spindeldrehmoment wird aus der axial wirkenden Gewichtskraft sowie der Geometrie und Reibung der Spindel berechnet. Für die TR20x8P4 wird mit einer Gewichtskraft von 392 N, einem Steigungswinkel von 8.15° sowie einem Wirkungsgrad von 39 % gerechnet. Unter Berücksichtigung der Reibung ergibt sich ein erforderliches Spindeldrehmoment von rund **1.3 Nm**.

Daraus ergeben sich für die drei untersuchten Varianten die Werte von ~ 1.0 Nm für die TR20×4, ~ 1.3 Nm für die TR20x8P4 und ~ 0.7 Nm für die Kugelumlaufspindel 20x10.

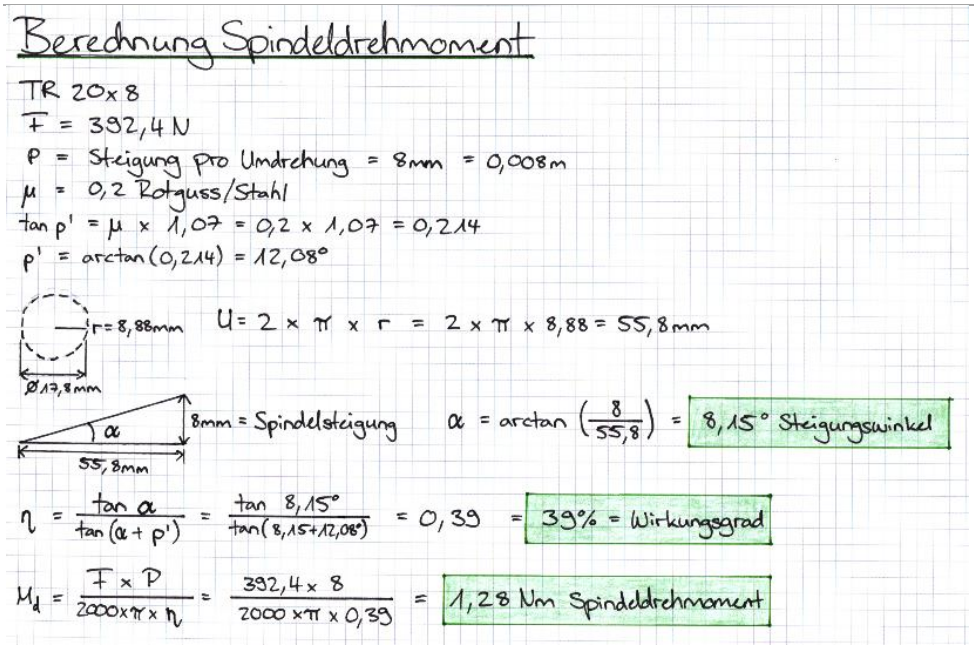


Abbildung 9: Berechnung Steigungswinkel, Wirkungsgrad und Spindeldrehmoment

Das benötigte Drehmoment und die Spindeldrehzahl sind wichtig für die anschliessende Auswahl von Motor und Getriebe. Das berechnete Spindeldrehmoment berücksichtigt die Reibung innerhalb des Spindelantriebs. Zusätzliche Reibungsverluste der späteren Hubschlittenführung sind darin noch nicht enthalten und werden bei der weiteren konstruktiven Auslegung berücksichtigt.

2.4.5 Vergleich, Nutzwertanalyse und Auswahl der Hubspindel

Die drei untersuchten Varianten werden anhand der zuvor beschriebenen Eigenschaften und berechneten Werte miteinander verglichen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Technische Eigenschaften	*Trapezspindel TR20x4 eingängig*	*Trapezspindel TR20x8 zweigängig*	*Kugelumlaufspindel 20x10*
Hub pro Umdrehung	4 mm	8 mm	10 mm
Bewegte Masse	40 kg	40 kg	40 kg
Gewichtskraft	392 N	392 N	392 N
Steigungswinkel	4.1°	8.14°	10.71°
Wirkungsgrad	25 %	39 %	89 %
Erforderliches Spindeldrehmoment	1.0 Nm	1.3 Nm	0.7 Nm
Zulässige Spindeldrehzahl	max. 1000 U/min	max. 1000 U/min	max. 1000 U/min
Drehzahl für 20s Hub	900 U/min	450 U/min	360 U/min
Drehzahl für 12s Hub	1500 U/min	750 U/min	600 U/min
Selbsthemmung	theoretisch möglich	nicht selbsthemmend	nicht selbsthemmend
Zusätzliche Bremse	empfohlen	erforderlich	erforderlich

Tabelle 6: Vergleich der untersuchten Hubspindeln

Das Diagramm im Anhang 13.5 zeigt, wie die maximale Spindeldrehzahl von der freien Spindellänge und dem Gewindedurchmesser abhängig ist.

Für die Bewertung der drei Spindelvarianten werden die Kriterien Drehzahl, Wirkungsgrad, Sicherheit und Kosten berücksichtigt. Die zulässige Drehzahl beziehungsweise Hubgeschwindigkeit und die Sicherheit werden mit jeweils 30 % gewichtet, da die geforderte Hubzeit eingehalten und gleichzeitig ein sicherer Betrieb gewährleistet werden muss. Der Wirkungsgrad und die Kosten werden mit jeweils 20 % berücksichtigt. Für die abschliessende Auswahl werden die drei untersuchten Spindelvarianten anhand der oben definierten und gewichteten Kriterien bewertet. Die Bewertung erfolgt mithilfe einer Nutzwertanalyse.

Kriterium	*Gewichtung in %*	*TR20x4*		*TR20x8P4*		*Kugelumlauf 20x10*	
		Punkte	*Nutzwert*	*Punkte*	*Nutzwert*	*Punkte*	*Nutzwert*
Drehzahl	30 %	2	60	4	120	5	150
Wirkungsgrad	20 %	3	60	4	80	5	100
Sicherheit	30 %	4	120	3	90	2	60
Kosten	20 %	5	100	5	100	2	40
Gesamtnutzwert	**100 %**		**340**		**390**		**350**
Rang	**500 P.**		**3**		**1**		**2**

Tabelle 7: Nutzwertanalyse zur Auswahl der Hubspindel

Legende:

1 = sehr schlecht
2 = schlecht
3 = ausreichend
4 = gut
5 = sehr gut

Die TR20x8P4 erreicht mit 390 Nutzwertpunkten beziehungsweise 78 % die höchste Gesamtbewertung und belegt damit den ersten Rang. Sie ermöglicht die angestrebte Hubzeit bei einer vergleichsweise moderaten Spindeldrehzahl und weist gegenüber der Kugelumlaufspindel deutliche Kostenvorteile auf. Die Kugelumlaufspindel erreicht aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades und der möglichen Hubgeschwindigkeit gute technische Werte, ist jedoch deutlich teurer. Die TR20x4 ist ebenfalls kostengünstig, benötigt aufgrund des geringeren Hubs pro Umdrehung jedoch eine deutlich höhere Drehzahl und erreicht die angestrebte Hubzeit von 12 Sekunden nicht innerhalb des berücksichtigten Drehzahlbereichs.

Aufgrund der höchsten Gesamtbewertung wird deshalb die zweigängige Trapezgewindespindel TR20x8P4 für den Hubantrieb ausgewählt.

2.5 Auslegung und Auswahl von Motor und Getriebe

Nach der Auswahl der Hubspindel wird im nächsten Schritt ein geeigneter Antrieb für die Spindel festgelegt. Dazu werden zunächst die Anforderungen an Motor und Getriebe bestimmt. Anschliessend werden verschiedene Antriebsmöglichkeiten untersucht und hinsichtlich ihrer Eignung für den Radlift beurteilt.

2.5.1 Anforderung an den Antrieb

Für die Auswahl des Antriebs werden die zuvor berechneten Werte der gewählten Spindel übernommen. Gemäss den Berechnungsgrundlagen in Kapitel 2.4.4 beträgt das erforderliche Spindeldrehmoment bei einer maximal bewegten Gesamtmasse von 40 kg rund 1.3 Nm. Für einen Hubweg von 1200 mm innerhalb von 12 Sekunden ist bei der gewählten TR20x8P4 mit einem Hub von 8 mm pro Umdrehung eine Spindeldrehzahl von 750 U/min erforderlich.

Der Antrieb muss somit mindestens das erforderliche Spindeldrehmoment bereitstellen und gleichzeitig die benötigte Drehzahl erreichen. Zusätzlich soll eine ausreichende Leistungsreserve für weitere Verluste vorhanden sein.

Neben diesen Leistungsanforderungen soll der Antrieb mit der vorgesehenen akkubetriebenen Energieversorgung betrieben werden können und sich möglichst kompakt in die Konstruktion integrieren lassen. Da die Hubspindel vertikal angeordnet ist, soll der Motor möglichst platzsparend im Bereich des Grundgestells untergebracht werden können.

2.5.2 Auswahl von Motor und Winkelgetriebe

Zunächst wird nach einer möglichst kompakten Antriebseinheit gesucht, bei welcher Motor und Getriebe bereits miteinander kombiniert sind. Als erste Variante wird ein Motor mit integriertem Schneckengetriebe betrachtet. Ein Schneckengetriebe ermöglicht eine rechtwinklige Anordnung von Motor und Spindel, wodurch der Motor platzsparend horizontal im unteren Bereich des Radlifts eingebaut werden könnte.

Bei der Suche kann jedoch keine geeignete Standardlösung gefunden werden, welche gleichzeitig die vorgesehene Betriebsspannung sowie die erforderliche Drehzahl und das benötigte Ausgangsdrehmoment erfüllt. Insbesondere die vergleichsweise hohe benötigte Ausgangsdrehzahl schränkt die Auswahl ein. Schneckengetriebe werden häufig mit grösseren Übersetzungen angeboten und erreichen dadurch hohe Ausgangsdrehmomente bei entsprechend niedrigeren Ausgangsdrehzahlen. Zudem kann bei einer für diese Anwendung erforderlichen kleinen Übersetzung nicht von einer ausreichenden Selbsthemmung ausgegangen werden. Diese Variante wird deshalb nicht weiterverfolgt.

Als zweite Variante wird ein Motor mit integriertem Planetengetriebe untersucht. Planetengetriebe weisen einen hohen Wirkungsgrad auf und können bei kompakter Bauform

vergleichsweise hohe Drehmomente übertragen. Eine direkte Anordnung unterhalb der Spindel würde jedoch aufgrund der Gesamtlänge von Motor und Getriebe zusätzlichen Bauraum in der Höhe beanspruchen. Bei einer seitlichen Anordnung wäre eine zusätzliche Kraftübertragung, beispielsweise über einen Zahnriemen oder Zahnräder, erforderlich. Auch bei dieser Variante kann keine geeignete Standardlösung gefunden werden, welche die erforderliche Kombination aus Drehzahl, Drehmoment und Betriebsspannung erfüllt.

Als dritte Variante wird deshalb ein separater bürstenloser Gleichstrommotor mit einem externen Winkelgetriebe betrachtet. Durch die Trennung von Motor und Getriebe kann der Antrieb flexibler im vorhandenen Bauraum angeordnet werden. Der Motor kann horizontal eingebaut werden, während das Winkelgetriebe die Drehbewegung um 90° auf die vertikal angeordnete Hubspindel überträgt.

Ausgewählt wird ein 24-V-BLDC[1]-Motor mit einer Nennleistung von 188 W, einer Nenndrehzahl von 3000 U/min und einem Nenndrehmoment von 0.6 Nm (reichelt elektronik GmbH, DC-Motor, 2026). Für die Anpassung von Drehzahl und Drehmoment wird ein Winkelgetriebe mit einer Übersetzung von 3:1 vorgesehen (Mädler Norm-Antrieb AG, Winkelgetriebe, 2026).

Durch die Übersetzung von 3:1 wird die Nenndrehzahl des Motors von 3000 U/min auf **1000 U/min** am Getriebeausgang reduziert. Gleichzeitig erhöht sich das verfügbare Drehmoment. Unter Annahme eines Getriebewirkungsgrades von 90 % ergibt sich ein theoretisches Ausgangsdrehmoment von rund **1.62 Nm.**

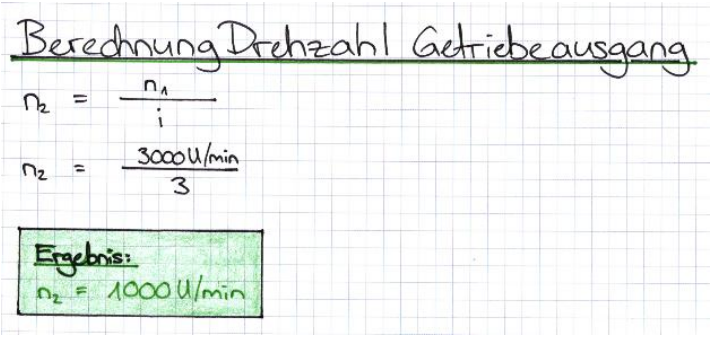


Abbildung 10: Berechnung Drehzahl Getriebeausgang

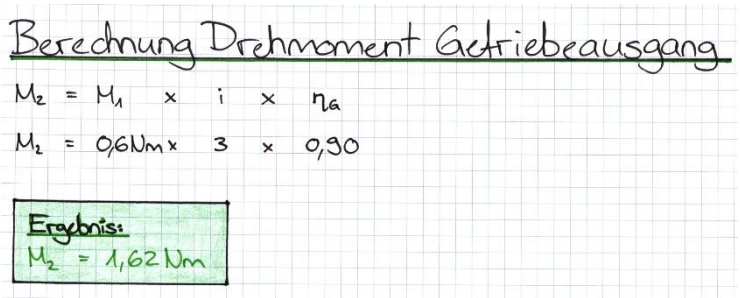


Abbildung 11: Berechnung Drehmoment Getriebeausgang

[1] Brushless Direct Current; bürstenloser Gleichstrommotor

Die verfügbare Drehzahl von 1000 U/min liegt über den benötigten 750 U/min. Auch das verfügbare Drehmoment von 1.62 Nm ist höher als das berechnete Spindeldrehmoment von rund 1.3 Nm. Die ausgewählte Kombination aus BLDC-Motor und Winkelgetriebe liefert somit die benötigte Drehzahl und das erforderliche Drehmoment.

Die zusätzlichen Reibungsverluste der Hubschlittenführung sind in dieser Berechnung noch nicht berücksichtigt. Diese werden bei der weiteren konstruktiven Auslegung betrachtet und die Funktion des Antriebs anschliessend am Prototyp unter Last überprüft.

3 Konstruktion und technische Auslegung

Nach der Auswahl des Hubsystems und der Antriebskomponenten wird der Radlift im CAD konstruiert. Die einzelnen Baugruppen sollen möglichst kompakt angeordnet werden. Gleichzeitig soll die Konstruktion stabil, einfach herstellbar und wartungsfreundlich sein. Bei der Auslegung wird insbesondere darauf geachtet, dass der Radlift von einer Person bedient werden kann. Zudem soll der Radlift sowohl für das Anheben eines einzelnen Fahrzeugrades als auch für den Transport eines kompletten Radsatzes eingesetzt werden können.

Die Konstruktion erfolgt Schritt für Schritt und wird dabei laufend überprüft und optimiert. Gleichzeitig werden die einzelnen Baugruppen aufeinander abgestimmt und an die konstruktiven Anforderungen angepasst. Die folgenden Abschnitte beschreiben die wichtigsten Baugruppen sowie deren konstruktive Ausführung.

3.1 Gesamtkonstruktion

Der Radlift besteht aus einem Grundgestell, einer vertikalen Führungssäule mit Hubschlitten, einer klappbaren Radaufnahme, einer Transportaufnahme sowie einem elektrischen Hubantrieb. Die Baugruppen werden so angeordnet, dass der Radlift möglichst kompakt bleibt. Gleichzeitig muss genügend Freiraum für die Aufnahme und Positionierung der Fahrzeugräder vorhanden sein.

Die Führungssäule bildet das zentrale Element der Konstruktion. Innerhalb der Säule befinden sich die Hubspindel sowie der bewegliche Hubschlitten. Am Hubschlitten ist die Radaufnahme befestigt, welche entlang der Führungssäule angehoben und abgesenkt werden kann. Für die Transportfunktion kann die Radaufnahme nach oben geschwenkt werden, wodurch der benötigte Bereich für die Aufnahme eines kompletten Radsatzes freigegeben wird.

Das Grundgestell verbindet die einzelnen Baugruppen und bildet gleichzeitig die Basis des Fahrwerks. Motor, Winkelgetriebe und Akku werden möglichst tief im Bereich des Grundgestells angeordnet. Dadurch wird der vorhandene Bauraum sinnvoll genutzt und gleichzeitig ein möglichst tiefer Schwerpunkt des Gerätes erreicht. Die Gesamtkonstruktion ist in Abbildung 12 dargestellt. Die einzelnen Baugruppen und deren konstruktive Ausführung werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben.

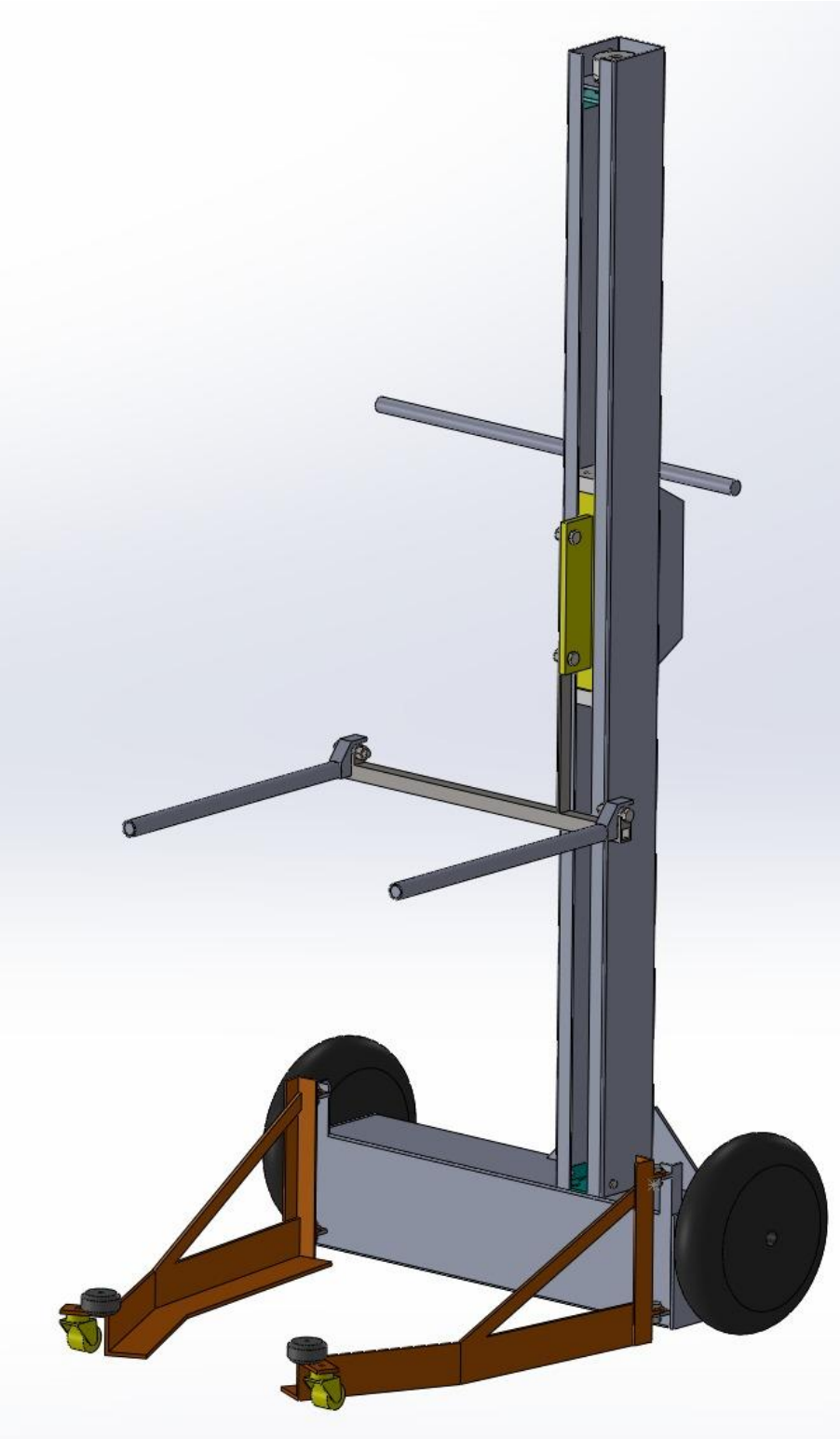


Abbildung 12: Gesamtansicht des Radlifts (eigene CAD-Darstellung)

3.2 Führungssäule und Hubschlitten

Der Hubschlitten dient zur Aufnahme der Radaufnahme und bewegt sich während des Hubvorgangs innerhalb der vertikalen Führungssäle. Die Führung sorgt dafür, dass sich der Hubschlitten möglichst gleichmässig und ohne Spiel auf und ab bewegt. Gleichzeitig nimmt sie die Kräfte und Momente auf, die durch die nach vorne ragende Radaufnahme entstehen. Dadurch wird die Spindel hauptsächlich axial belastet und weitgehend von Querkräften entlastet.

Als Führungssäule des Hubschlittens wird ein Rechteckrohr aus Stahl mit den Abmessungen 100x80x3 mm verwendet. Der Hubschlitten wird innerhalb dieses Profils geführt. Die Führung erfolgt über Gleitplatten aus POM-C[2], welche an den Innenflächen des Stahlprofils anliegen. POM-C wird aufgrund seiner guten Gleiteigenschaften, der hohen Verschleissfestigkeit und der einfachen Bearbeitbarkeit eingesetzt. Gleichzeitig wird dadurch ein direkter Stahl auf Stahl Kontakt zwischen Hubschlitten und Führungssäule vermieden.

Durch die nach vorne ausragende Radaufnahme entsteht am Hubschlitten ein Kippmoment. Dieses Moment wird über die Gleitplatten in die Führungssäule weitergeleitet. Um die dabei auftretenden Kräfte möglichst gering zu halten, werden die oberen und unteren Gleitplatten mit einem Abstand von ungefähr 262 mm zueinander angeordnet. Die Spindelmutter befindet sich innerhalb des Hubschlittens, sodass die Hubkraft möglichst zentral in die Konstruktion eingeleitet wird.

Der Hubschlitten wird als stabile Stahlkonstruktion ausgeführt und so dimensioniert, dass die auftretenden Belastungen sicher aufgenommen werden können. Gleichzeitig wird auf eine möglichst geringe Eigenmasse geachtet, da der Schlitten zusammen mit der Radaufnahme und dem Fahrzeugrad durch den Hubantrieb bewegt werden muss.

Durch die innenliegende Anordnung entsteht insgesamt eine kompakte und geschützte Führungseinheit. In Abbildung 13 ist der Aufbau des Hubschlittens innerhalb der Führungssäule dargestellt. Der Hubschlitten ist gelb dargestellt und die oberen und unteren POM-C-Gleitplatten sind pink dargestellt. Die mittig angeordnete Spindelmutter ist gold dargestellt und überträgt die Hubbewegung der Spindel auf den Hubschlitten.

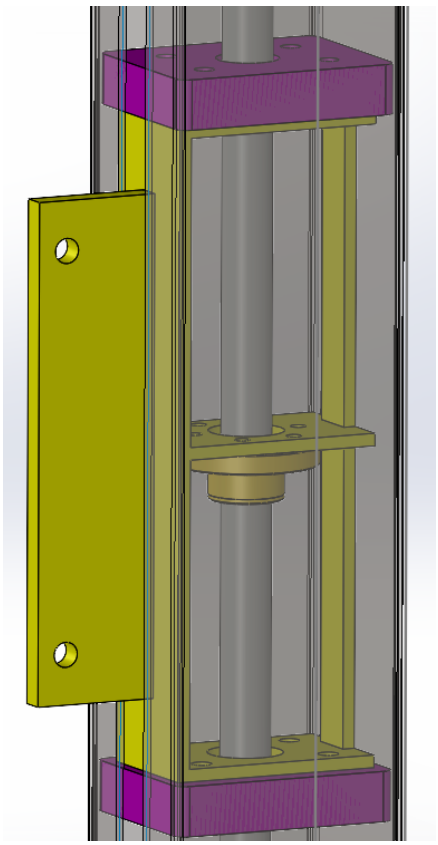


Abbildung 13: Aufbau der Führungssäule mit Hubschlitten und Gleitführung (eigene CAD-Darstellung)

[2] Polyoxymethylen-Copolymer; technischer Kunststoff mit guten Gleiteigenschaften

3.2.1 Berechnung Führungsreibung und Spindeldrehmoment

Zur Überprüfung der Hubschlittenführung werden die durch die ausragende Radaufnahme entstehenden Kippmomente und die daraus resultierenden Anpresskräfte auf die Gleitplatten berechnet. Aus diesen Kräften wird anschliessend die zusätzliche Gleitreibung ermittelt, die der Hubantrieb während der Hubbewegung überwinden muss.

Für die Berechnungen werden folgende Abstände berücksichtigt:

- 0.17 m: Abstand vom Hubschlitten bis zum Schwerpunkt des Fahrzeugrades in Fahrtrichtung nach vorne
- 0.14 m: Seitlicher Abstand von der Mitte des Hubschlittens bis zum Schwerpunkt des Fahrzeugrades
- 0.262 m: Vertikaler Abstand zwischen der oberen und unteren Gleitplatte des Hubschlittens

Die für die Berechnung verwendeten Reibungskoeffizienten werden dem Fachbuch «Roloff/Matek Maschinenelemente» entnommen. Dabei wird zwischen geschmierter und ungeschmierter Gleitreibung unterschieden. (Spura, Fleischer, Wittel, & Jannasch, 2023, S. 1009)

Anschliessend wird anhand der ermittelten Reibkräfte das zusätzliche erforderliche Spindeldrehmoment berechnet und überprüft, ob die Drehmomentreserve des gewählten Hubantriebs weiterhin ausreicht.

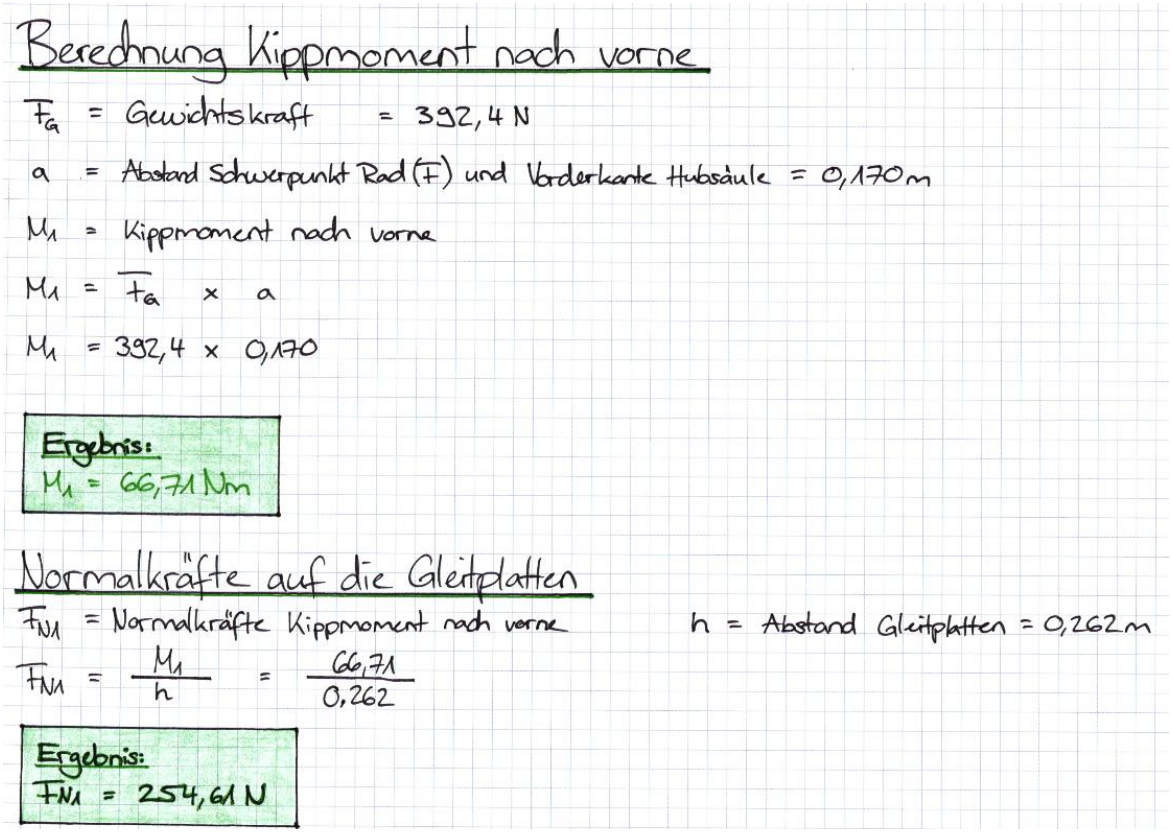


Abbildung 14: Berechnung Kippmoment nach vorne

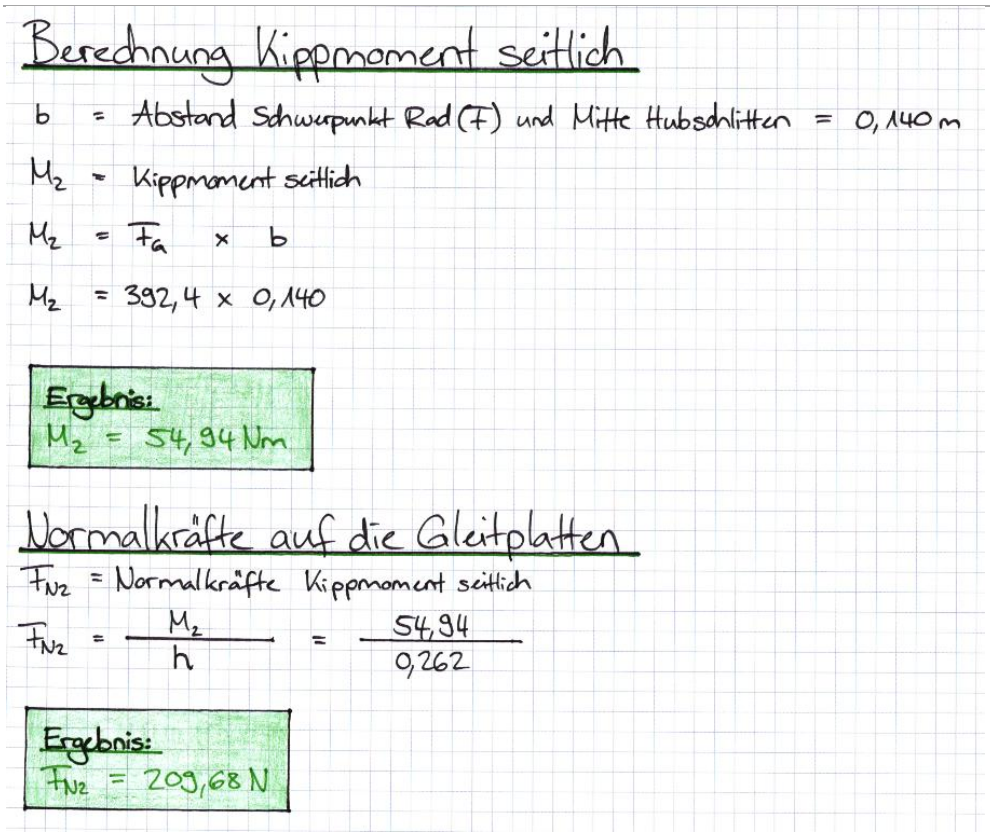


Abbildung 15: Berechnung Kippmoment seitlich

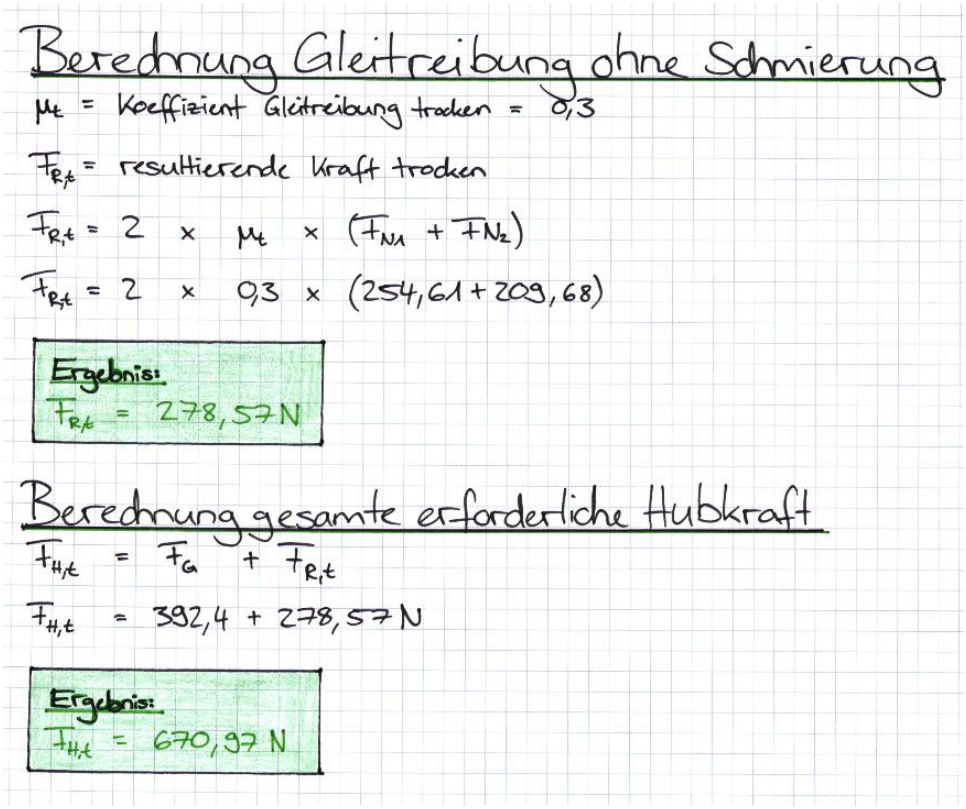


Abbildung 16: Berechnung Gleitreibung ohne Schmierung

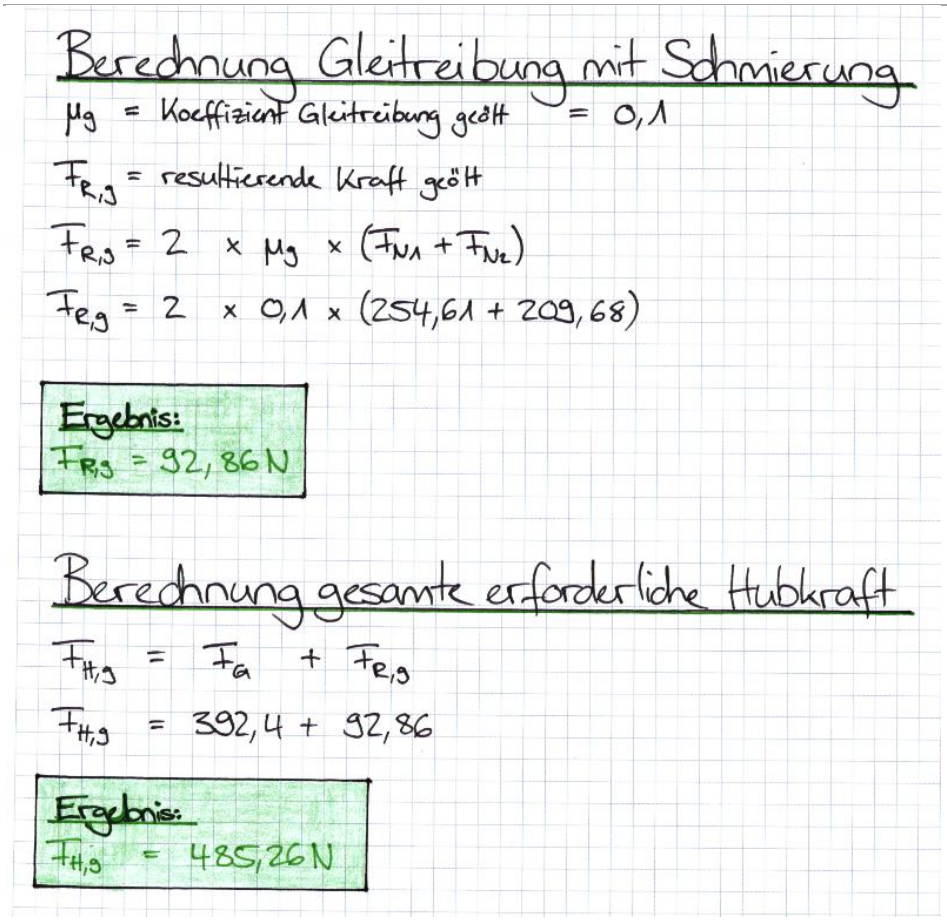


Abbildung 17: Berechnung Gleitreibung mit Schmierung

Die Berechnungen zeigen, dass durch die ausragende Radaufnahme erhebliche Anpresskräfte zwischen den Gleitplatten und der Führungssäule entstehen. Diese verursachen während der Hubbewegung eine zusätzliche Reibkraft, die neben der eigentlichen Gewichtskraft überwunden werden muss.

Durch die Berücksichtigung dieser Führungsreibung erhöht sich das erforderliche Spindeldrehmoment gegenüber der ursprünglichen Berechnung. Der Vergleich zwischen geschmierter und ungeschmierter Führung zeigt zudem, welchen Einfluss die Schmierung auf die Reibung und somit auf den Hubantrieb hat.

Der Vergleich mit dem verfügbaren Drehmoment von 1.62 Nm am Getriebeausgang zeigt, dass bei geschmierter Führung nur noch eine geringe Drehmomentreserve vorhanden ist. Die Funktion des Hubantriebs wird deshalb am Prototyp unter Last geprüft.

3.3 Radaufnahme und Rollen

Die Radaufnahme wird so konstruiert, dass unterschiedliche Personenwagenräder sicher aufgenommen und angehoben werden können. Das Rad liegt dabei auf zwei parallel angeordneten Rollen auf. Die Rollen sind drehbar gelagert, sodass das aufgenommene Rad von Hand

gedreht werden kann. Dadurch lassen sich bei der Montage des Rades die Bohrungen der Felge zu den Bolzen der Radnabe einfach ausrichten.

Die beiden Rollen sind einseitig an der Radaufnahme befestigt und ragen nach vorne aus. Bei der Konstruktion wird darauf geachtet, den Abstand zwischen Rad und Führungssäule möglichst gering zu halten. Dadurch wird der Hebelarm des aufgenommenen Rades reduziert und somit auch das auf den Hubschlitten und die Führung wirkende Kippmoment.

Die Lagerung der Rollen erfolgt über Gleitlager. Dabei dreht sich die jeweilige Rolle auf einer feststehenden Achse. Durch diesen einfachen Aufbau kann das Fahrzeugrad während der Positionierung leicht von Hand gedreht werden.

In der Abbildung 18 ist die blau dargestellte Halterung der Radaufnahme zu erkennen. Diese ist seitlich zur Führungssäule versetzt, damit die Radschrauben bei der Montage frei zugänglich bleiben und nicht durch die Säule verdeckt werden. Die orange dargestellten Radaufnahmen sind drehbar gelagert und nehmen das Fahrzeugrad auf.

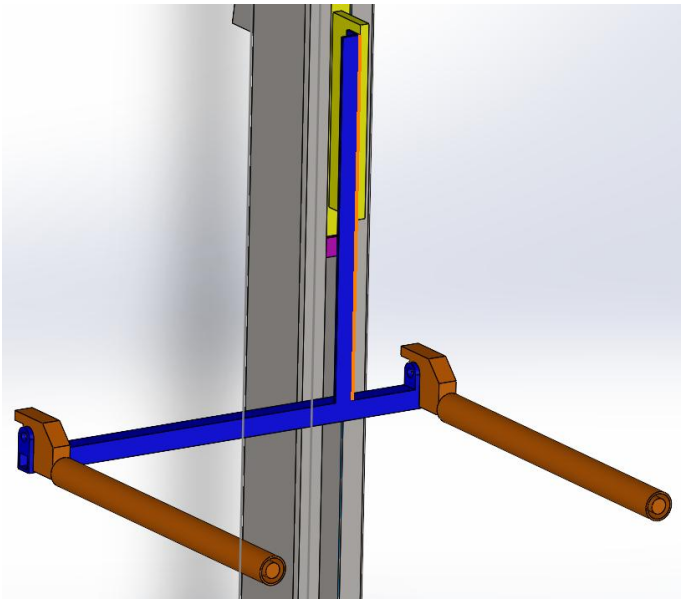


Abbildung 18: Aufbau der Radaufnahme und Rollen (eigene CAD-Darstellung)

3.4 Klappmechanismus der Radaufnahme

Da der Radlift zusätzlich für den Transport eines kompletten Radsatzes eingesetzt werden soll, wird die Radaufnahme klappbar ausgeführt. Die gesamte Aufnahme kann um 90° nach oben geschwenkt werden. Dadurch wird der Bereich vor der Führungssäule freigegeben und steht für die Transportfunktion zur Verfügung.

In der horizontalen Arbeitsstellung liegt die Aufnahme an einem mechanischen Anschlag an. Dadurch wird die beim Anheben eines Rades entstehende Belastung direkt in die Konstruktion des Hubschlittens übertragen und das Gelenk wird nicht allein durch das auftretende Biegemoment belastet.

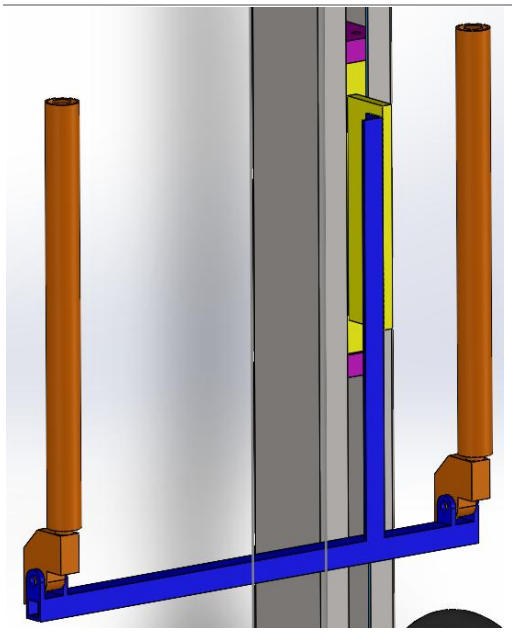


Abbildung 19: Klappmechanismus der Radaufnahme in hochgeschwenkter Stellung (eigene CAD-Darstellung)

Zusätzlich wird die Radaufnahme in ihren vorgesehenen Stellungen gegen unbeabsichtigtes Schwenken gesichert. Dadurch bleibt sie während des Anhebens und Positionierens eines Fahrzeugrades zuverlässig in der horizontalen Arbeitsstellung arretiert und kann für die Transportfunktion sicher nach oben geschwenkt werden.

In der Abbildung 19 ist die Radaufnahme in der nach oben geschwenkten Stellung dargestellt. Die orange dargestellten Radaufnahmen werden dabei nach oben geschwenkt. Dadurch wird der Bereich vor der Führungssäule freigegeben.

3.5 Grundgestell und Fahrwerk

Das Grundgestell bildet die Basis des Radlifts und trägt die Führungssäule sowie die weiteren Komponenten. Bei der Konstruktion wird insbesondere auf eine kompakte und stabile Bauweise geachtet. Da das Fahrzeugrad während des Hubvorgangs vor der Führungssäule aufgenommen wird, entsteht ein Kippmoment, welches über das Grundgestell und das Fahrwerk sicher abgestützt werden muss.

Zur zusätzlichen Verstärkung wird hinter der Führungssäule eine trapezförmige Stahlstütze vorgesehen. Diese verbindet die Führungssäule mit dem Grundgestell und dient dazu, die auftretenden Biegekräfte besser in den Grundrahmen abzuleiten. Dadurch wird die Steifigkeit der Konstruktion erhöht und die Durchbiegung der Führungssäule unter Belastung reduziert.

Gleichzeitig wird das Grundgestell so ausgeführt, dass der Radlift möglichst nahe an das angehobene Fahrzeug beziehungsweise an einen Reifenstapel herangefahren werden kann.

Das Fahrwerk ermöglicht das Verschieben und Positionieren des Radlifts auf dem ebenen Werkstattboden. Die Anordnung der Fahrrollen wird so gewählt, dass eine ausreichend grosse und stabile Aufstandsfläche entsteht und das Gerät gleichzeitig von einer Person bewegt und manövriert werden kann.

Die hinteren Räder werden bewusst nicht lenkbar ausgeführt. Dadurch kann der Radlift für den Transport eines Radsatzes ähnlich wie eine Sackkarre nach hinten gekippt und auf den beiden hinteren Rädern bewegt werden. Die feste Ausrichtung dieser Räder erleichtert dabei das kontrollierte Kippen und Führen des Geräts. Für das normale Verschieben und Positionieren sind die vorderen Fahrrollen lenkbar ausgeführt.

Zusätzlich wird an der Führungssäule eine Haltestange angebracht, um das Schieben, Ziehen und Manövrieren des Radlifts zu erleichtern. Auch die Bedienelemente für die Hubbewegung werden direkt an der Führungssäule befestigt, sodass sie während der Bedienung gut erreichbar sind.

Schwerere Komponenten wie Akku, Motor und Winkelgetriebe werden möglichst tief im Bereich des Grundgestells angeordnet. Dadurch wird der Gesamtschwerpunkt abgesenkt, was sich zusätzlich positiv auf die Standsicherheit des Gerätes auswirkt.

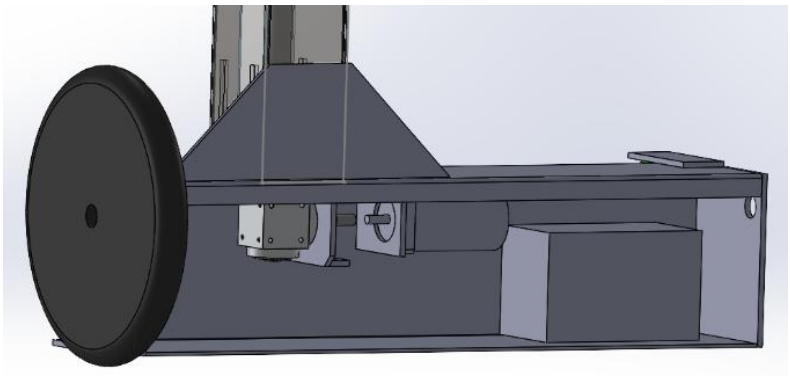


Abbildung 20: Grundgestell und Fahrwerk des Radlifts (eigene CAD-Darstellung)

In Abbildung 20 ist der konstruktive Aufbau des Grundgestells mit dem Fahrwerk dargestellt.

3.5.1 Berechnung der Kippstabilität

Neben der Stabilität des Grundgestells wird auch die Standsicherheit des Radlifts in verschiedenen Belastungssituationen untersucht. Dabei werden der unbeladene Radlift, der Radlift mit einem aufgenommenen Fahrzeugrad in 1000 mm Höhe sowie der Radlift mit einem kompletten Radsatz in der vorgesehenen Transportstellung betrachtet.

Für die Berechnungen wird von einem Eigengewicht des Radlifts von 50 kg und einem Radgewicht von jeweils 30 kg ausgegangen. Der Radlift befindet sich zum Zeitpunkt der Konstruktion noch in der Entwicklungsphase und es steht kein fertiger Prototyp für eine Messung zur Verfügung. Daher wird die Lage des Gesamtschwerpunkts anhand der vorgesehenen Bauteile und deren Gewichtsverteilung abgeschätzt.

Die Berechnungen zeigen, dass sich der Gesamtschwerpunkt in allen drei Fällen innerhalb der Aufstandsfläche des Fahrwerks befindet. Unter rein statischer Belastung auf einem ebenen, waagerechten Untergrund ist der Radlift somit in allen drei betrachteten Zuständen standsicher, solange keine zusätzlichen äusseren Kräfte einwirken.

Um die Kippstabilität genauer beurteilen zu können, wird zusätzlich für jeden Belastungsfall die erforderliche horizontale Kraft berechnet. Diese müsste in einer Höhe von 1 m auf den Radlift wirken müsste, damit dieser die Kippgrenze erreicht.

Die Ergebnisse ermöglichen einen Vergleich der drei Belastungsfälle und zeigen, wie sich die unterschiedliche Belastung und Schwerpunktlage auf die Kippstabilität auswirken.

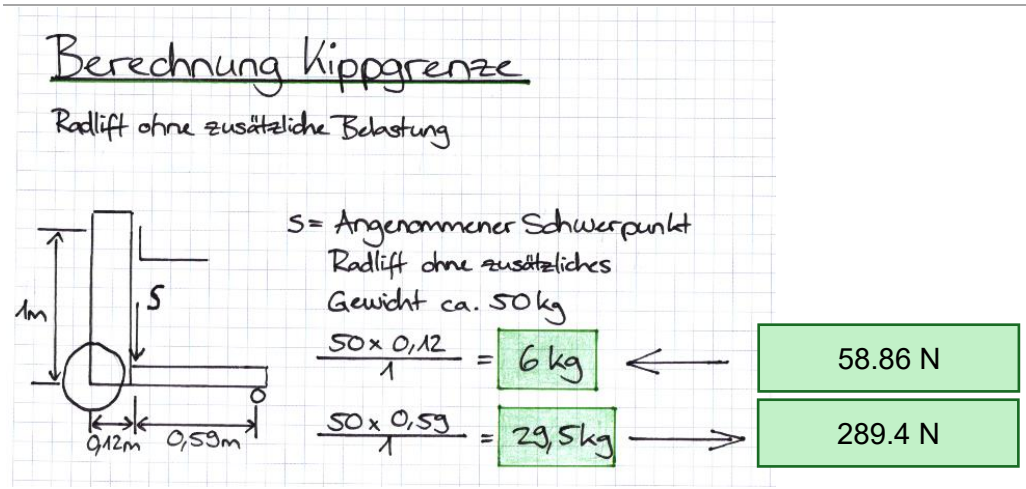


Abbildung 21: Berechnung Kippgrenze (Radlift ohne zusätzliche Belastung)

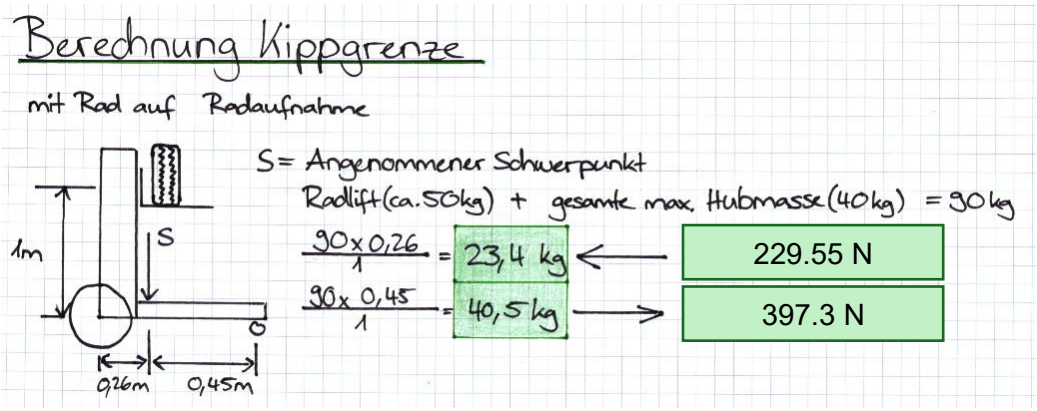


Abbildung 22: Berechnung Kippgrenze (mit Rad auf Radaufnahme)

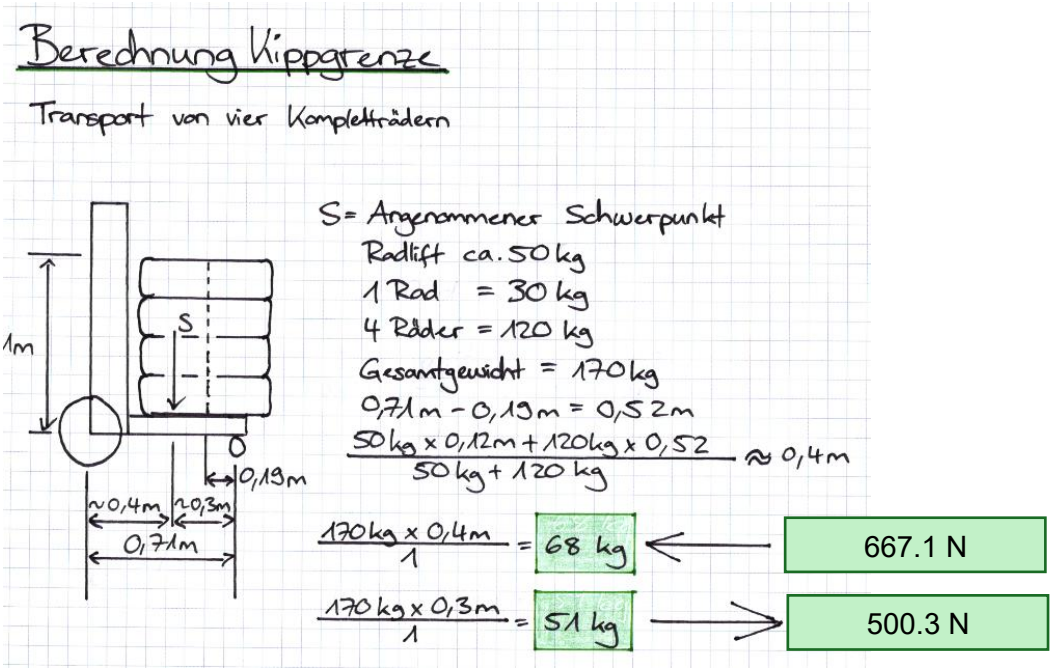


Abbildung 23: Berechnung Kippgrenze (Transport von vier Kompletträdern)

3.6 Transportfunktion für vier Räder

Neben dem Anheben und Positionieren eines einzelnen Rades wird der Radlift so konstruiert, dass auch ein kompletter Radsatz mit vier Rädern transportiert werden kann. Dazu kann die

Radaufnahme nach oben geschwenkt werden, wodurch der benötigte Platz für die Räder freigegeben wird.

Zur Aufnahme und Sicherung des Radsatzes sind im unteren Bereich des Grundgestells zwei schwenkbare Greifgabeln vorgesehen. Diese sind jeweils über einen Drehpunkt mit dem Grundgestell verbunden und können seitlich nach aussen beziehungsweise nach innen geschwenkt werden. Beim Heranfahren an einen Reifenstapel werden die Greifgabeln nach Aussen gedrückt. Durch Federkraft werden sie anschliessend wieder nach innen gezogen und legen sich seitlich am untersten Rad an. Dadurch wird der Radsatz zwischen den beiden Greifgabeln aufgenommen. Durch die bewegliche Lagerung können sich die Greifgabeln innerhalb des vorgesehenen Bereichs an unterschiedliche Raddurchmesser anpassen.

Durch diesen Aufbau kann ein kompletter Radsatz mit wenigen Handgriffen mit dem Radlift aufgenommen und innerhalb der Werkstatt transportiert werden. Die Transportfunktion ist fest in das Grundgerät integriert, so dass für den Wechsel zwischen Hub- und Transportfunktion kein separates Gerät erforderlich ist.

In Abbildung 24 ist der konstruktive Aufbau der Transportaufnahme mit den beiden schwenkbaren Greifgabeln dargestellt.

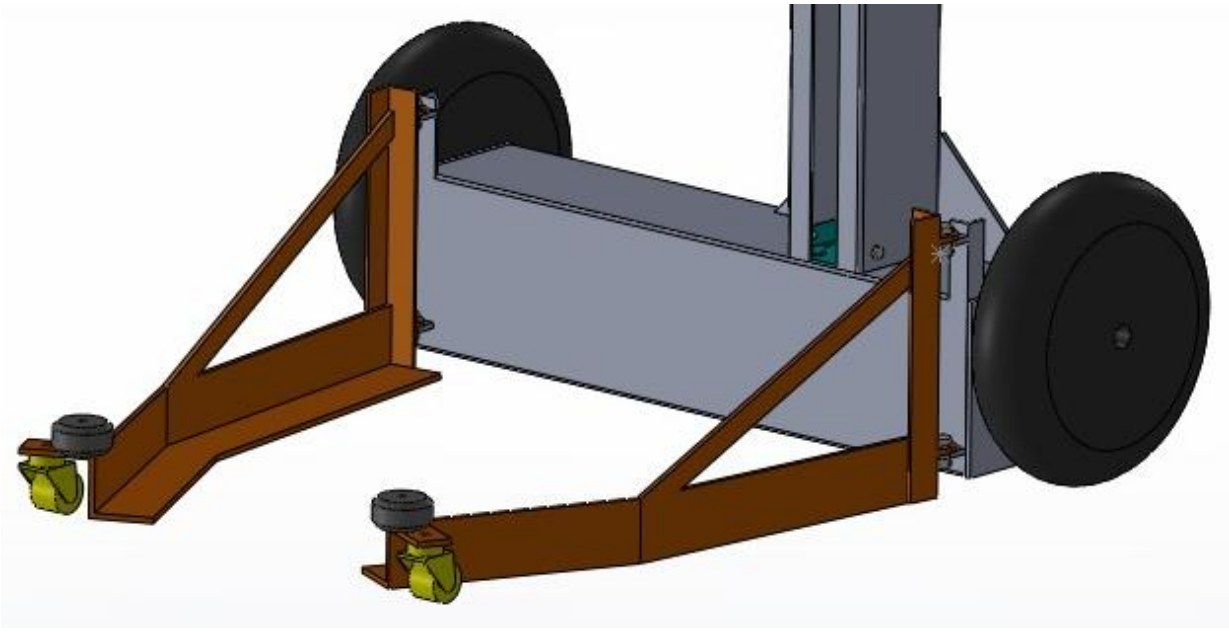


Abbildung 24: Transportaufnahme mit schwenkbaren Greifgabeln (eigene CAD-Darstellung)

3.7 Hubantrieb

Die in Kapitel 2 ausgewählten Komponenten zum Hubantrieb, erzeugen die vertikale Hubbewegung des Radlifts. Der Hubantrieb des Radlifts besteht aus der Trapezgewindespindel TR20x8P4, dem BLDC-Motor, dem Winkelgetriebe mit einer Übersetzung von 3:1, einer Kupplung sowie einer Federdruckbremse.

Die Drehbewegung des Motors wird über das Winkelgetriebe auf die vertikal angeordnete Hubspindel übertragen. Über die mit dem Hubschlitten verbundene Spindelmutter wird die Drehbewegung der Spindel in eine lineare Hubbewegung umgesetzt. Da bei der gewählten Spindel keine ausreichende Selbsthemmung vorausgesetzt werden kann, wird zusätzlich eine Federdruckbremse eingesetzt.

Die konstruktive Anordnung der Antriebskomponenten ist in Abbildung 25 dargestellt. Die Lagerung der Hubspindel sowie die Ausführung der Federdruckbremse werden in den folgenden Kapiteln genauer beschrieben.

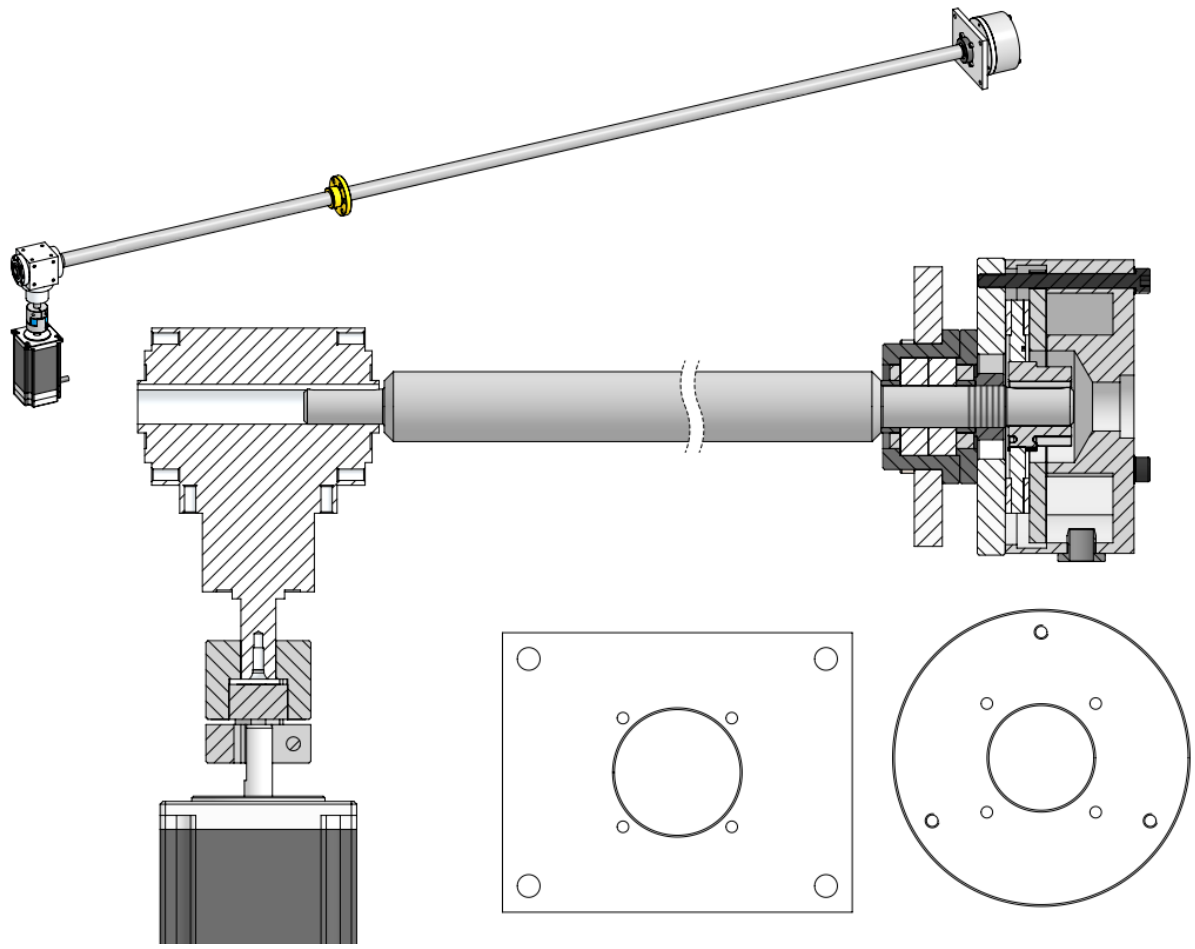


Abbildung 25: Konstruktive Anordnung der Antriebskomponenten (eigene CAD-Darstellung)

3.7.1 Einbau von Spindel, Motor und Winkelgetriebe

Die Trapezgewindespindel TR20x8P4 wird vertikal innerhalb der Führungssäule angeordnet. Die zugehörige Spindelmutter ist fest mit dem Hubschlitten verbunden. Durch die Drehbewegung entlang der Spindel bewegt sich die Spindelmutter zusammen mit dem Hubschlitten entlang der Führungssäule nach oben beziehungsweise nach unten.

Der BLDC-Motor wird im unteren Bereich des Grundgestells horizontal angeordnet. Zwischen Motor und Hubspindel befindet sich das Winkelgetriebe mit einer Übersetzung von 3:1. Dieses reduziert die Drehzahl zwischen Motor und Spindel, erhöht das verfügbare Drehmoment und lenkt die Drehbewegung um 90° auf die vertikal angeordnete Hubspindel um. Durch diese Anordnung kann der Motor platzsparend im unteren Bereich des Gerätes integriert werden.

Die Verbindung zwischen Motor, Winkelgetriebe und Hubspindel erfolgt über die vorgesehenen Wellenverbindungen beziehungsweise Kupplungen. Bei der konstruktiven Anordnung wird darauf geachtet, dass Motor, Winkelgetriebe und Hubspindel korrekt zueinander ausgerichtet und für Montage- und Wartungsarbeiten gut zugänglich sind.

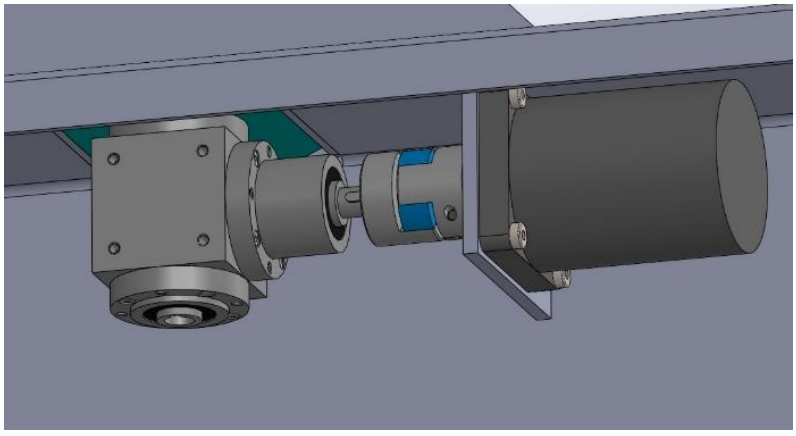


Abbildung 26: Anordnung von Motor, Winkelgetriebe und Kupplung (eigene CAD-Darstellung)

In Abbildung 26 ist die konstruktive Anordnung von Motor, Winkelgetriebe und Hubspindel dargestellt.

3.7.2 Lagerung der Hubspindel

Die Hubspindel wird hängend innerhalb der Führungssäule angeordnet. Am oberen Ende wird sie über ein Festlager gelagert, welches die auftretenden axialen Kräfte aufnimmt und in die Konstruktion der Führungssäule überträgt.

Durch die hängende Anordnung wird die Spindel beim Anheben der Last hauptsächlich auf Zug beansprucht. Dadurch wird insbesondere bei der vergleichsweise grossen Spindellänge das Risiko eines Ausknickens reduziert. Gleichzeitig wird die Gefahr von Schwingungen beziehungsweise eines seitlichen Ausschlagens der Spindel bei höheren Drehzahlen verringert.

Das untere Ende der Spindel ist als Zapfen mit Passfeder ausgeführt und wird von oben in die Hohlwelle des Winkelgetriebes eingeführt. Die Spindel wird axial nicht auf dem Winkelgetriebe abgestützt. Das integrierte Lager des Winkelgetriebes dient als Loslager für das untere Ende der Spindel und nimmt nur radiale Kräfte auf. Die axiale Spindelposition und die vertikale Spindellast werden durch das obere Festlager gewährleistet. Es wird darauf geachtet, dass die Lagerstelle für die Montage und Wartung zugänglich bleibt. In Abbildung 27 ist die untere Führung der Spindel dargestellt.

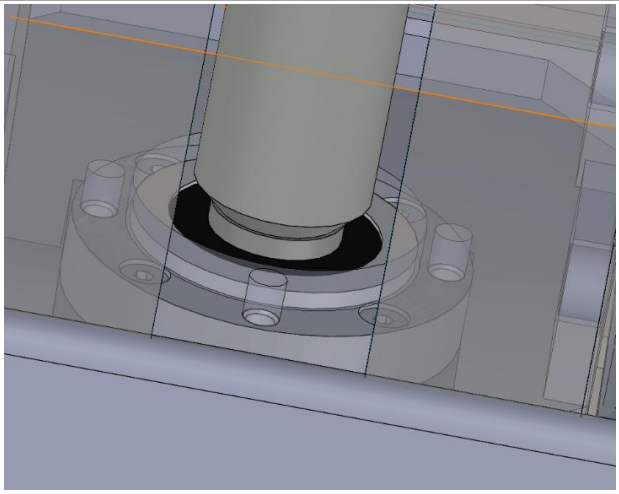


Abbildung 27: Untere Führung der Hubspindel im Bereich des Winkelgetriebes (eigene CAD-Darstellung)

3.7.3 Auslegung Federdruckbremse

Da bei der gewählten Trapezgewindespindel keine ausreichende Selbsthemmung vorausgesetzt werden kann, wird zusätzlich eine Federdruckbremse eingesetzt. Diese verhindert, dass sich die Hubspindel unter der Gewichtskraft der angehobenen Last selbstständig zurückdreht und der Hubschlitten unbeabsichtigt absinkt.

Die Federdruckbremse wird am oberen Ende der Hubspindel angeordnet. Sie ist als Ruhestrombremse ausgeführt und wird im Betrieb elektrisch gelöst. Im stromlosen Zustand schliesst die Bremse durch Federkraft und hält die Hubspindel fest. Dadurch bleibt die Last auch bei einer Unterbrechung der Energieversorgung gehalten.

Für die Konstruktion wird eine Federdruckbremse vom Typ K01 mit 24-V-DC eingesetzt. Das nominale statische Bremsmoment beträgt 4.5 Nm. Zur Überprüfung der Dimensionierung wird dieses mit dem zuvor berechneten erforderlichen Spindeldrehmoment von rund 1.3 Nm verglichen. (JS-Technik GmbH, 2026)

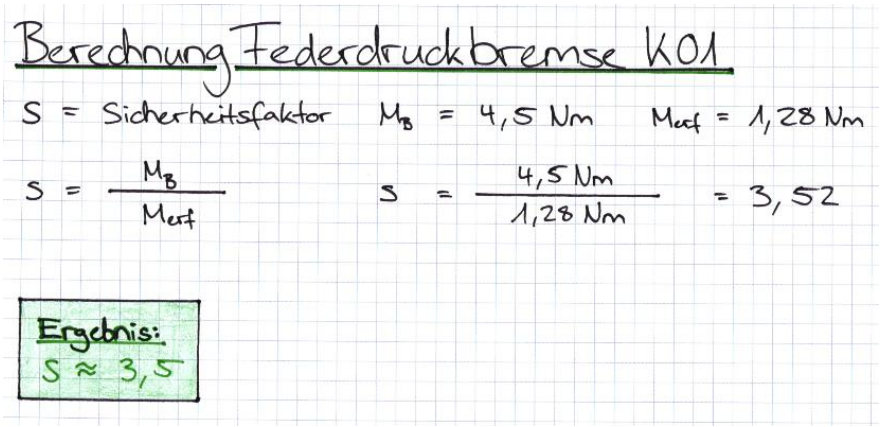


Abbildung 28: Berechnung Überprüfung Haltemoment

Der Vergleich des statischen Bremsmoments von 4.5 Nm mit dem berechneten Hubdrehmoment von 1.28 Nm ergibt einen Faktor von rund **3.5**. Da das zum Halten der Last erforderliche Bremsmoment aufgrund der Gewindereibung geringer ausfällt, stellt dieser Vergleich eine konservative Abschätzung dar.

Die elektrische Ansteuerung und das Zusammenspiel der Federdruckbremse mit den Bedienelementen und Sicherheitseinrichtungen werden in Kapitel 3.8 näher beschrieben.

3.8 Elektrischer Aufbau und Steuerung

Die elektrische Anlage des Radlifts wird als 24-V-System ausgeführt. Sie versorgt den Hubantrieb sowie die für die Bedienung und Sicherheit benötigten elektrischen Komponenten. Zum Aufbau gehören im Wesentlichen der Akku, der BLDC-Motor mit Motortreiber, die Bedienelemente, die Endschalter sowie die Federdruckbremse.

Bei der Auslegung der Steuerung wird auf eine möglichst einfache und übersichtliche Bedienung geachtet. Der Hubschlitten soll über separate Taster kontrolliert angehoben und abgesenkt werden können. Gleichzeitig wird sichergestellt, dass die Bewegung an den oberen und unteren Endpositionen begrenzt wird und der Hubantrieb bei Bedarf über einen Not-Halt stillgesetzt werden kann.

Die Federdruckbremse wird in die elektrische Steuerung eingebunden und nur während einer gewollten Hubbewegung gelöst. Wird der Antrieb gestoppt oder die Spannungsversorgung unterbrochen, schliesst die Bremse durch Federkraft und hält die Hubspindel fest.

Die einzelnen Komponenten der Energieversorgung und Steuerung sowie deren Funktionsweise werden in den folgenden Abschnitten näher beschrieben.

3.8.1 Energieversorgung und Akku

Die Energieversorgung erfolgt über einen wiederaufladbaren 24-V-Lithium-Ionen-Akku. Dadurch kann das Gerät unabhängig von einer externen Stromversorgung innerhalb der Werkstatt eingesetzt werden. Der verwendete Akku besitzt laut Anbieter eine Kapazität von 30 Ah und hat eine maximale Ladespannung von 29.4 V. (Fruugo.com Limited, 2026)

Die Kapazität des Akkus ist so gewählt, dass für den Hubantrieb sowie die weiteren elektrischen Komponenten eine ausreichende Energiereserve zur Verfügung steht. Der eingesetzte BLDC-Motor besitzt eine Nennleistung von 188 W (reichelt elektronik GmbH, DC-Motor, 2026). Selbst bei längeren Arbeitseinsätzen stellt der Akku damit im Verhältnis zur benötigten Motorleistung eine vergleichsweise grosse Energiereserve bereit.

Die theoretisch gespeicherte Energie des Akkus beträgt bei einer Nennspannung von 24 V und einer angegebenen Kapazität von 30 Ah:

E = U x C = 24 V x 30 Ah = 720 Wh

Für eine realistische Abschätzung wird nicht die gesamte theoretische Kapazität als nutzbar angenommen. Bei einer angenommenen nutzbaren Kapazität von 80 % stehen rechnerisch rund 576 Wh zur Verfügung.

Die tatsächliche Reichweite beziehungsweise Anzahl möglicher Hubvorgänge hängt jedoch von der Belastung des Motors, der Hubdauer, den Verlusten im Antrieb sowie dem Energiebedarf der weiteren elektrischen Komponenten ab. Die tatsächliche Leistungsaufnahme und Akkulaufzeit werden deshalb nach der Inbetriebnahme des Prototyps praktisch überprüft.

Der Akku wird im unteren Bereich des Grundgestells angeordnet. Dadurch bleibt er für das Laden und für Wartungsarbeiten zugänglich und trägt aufgrund seiner tiefen Einbauposition gleichzeitig zu einem niedrigen Schwerpunkt des Radlifts bei.

3.8.2 BLDC-Motor und Motortreiber

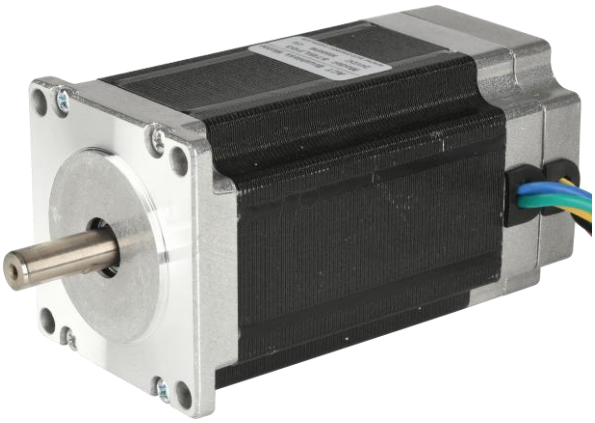


Abbildung 29: BLDC-Motor (reichelt elektronik GmbH, DC-Motor, 2026)

Für den Hubantrieb wird der bereits in Kapitel 2.5 ausgewählte 24-V-BLDC-Motor ACT Motor 57BLF03 eingesetzt. Der Motor besitzt eine Nennleistung von 188 W, eine Nenndrehzahl von 3000 U/min und ein Nenndrehmoment von 0.6 Nm (reichelt elektronik GmbH, DC-Motor, 2026). Da die mechanische Auswahl und Auslegung des Motors bereits in Kapitel 2.5.2 behandelt wurde, wird an dieser Stelle hauptsächlich auf dessen elektrische Ansteuerung eingegangen.

Zur Ansteuerung des Motors wird ein BLDC-Motortreiber vom Typ BLDC-8015A verwendet. Dieser ist für eine Versorgungsspannung von 24 bis 50 V DC ausgelegt und eignet sich damit für das vorgesehene 24-V-System (reichelt elektronik GmbH, Treiber, 2026). Der Motortreiber übernimmt die Steuerung der drei Motorphasen und sorgt dafür, dass diese in der richtigen Reihenfolge angesteuert werden. Dafür nutzt er die Signale der Hall-Sensoren, welche die Position des Rotors erfassen. Über die Steuereingänge des Motortreibers können die



Abbildung 30: Motortreiber BLDC-8015A (reichelt elektronik GmbH, Treiber, 2026)

Drehrichtung sowie die Freigabe des Motors vorgegeben werden. Dadurch lässt sich die Auf- und Ab-Bewegung des Hubschlittens über die vorgesehenen Bedientaster steuern. Die Bedientaster schalten dabei nicht direkt den Motorstrom, sondern dienen zur Ansteuerung der entsprechenden Steuereingänge.

Der Motortreiber wird zusammen mit den weiteren elektrischen Komponenten geschützt im Bereich des Grundgestells angeordnet. Bei der Platzierung wird darauf geachtet, dass die elektrischen Anschlüsse zugänglich bleiben und eine ausreichende Wärmeabfuhr gewährleistet ist.

3.8.3 Bedienung AUF und AB

Für die Bedienung der Hubbewegung werden zwei separate Drucktaster für AUF und AB vorgesehen. Dadurch kann der Hubschlitten gezielt in die gewünschte Richtung bewegt und das Fahrzeugrad auf die erforderliche Höhe positioniert werden.

Die Taster werden als Totmanntaster ausgeführt, sodass die Hubbewegung nur so lange erfolgt, wie der entsprechende Taster betätigt wird. Nach dem Loslassen wird die Bewegung gestoppt. Dies ermöglicht insbesondere beim Ausrichten des Rades an der Radnabe eine kontrollierte Positionierung.

Die Taster werden im Steuerkreis eingebunden und schalten den Motorstrom nicht direkt. Die eigentliche Leistungssteuerung des BLDC-Motors erfolgt über den Motortreiber.

3.8.4 Endschalter

Um zu verhindern, dass der Hubschlitten über den vorgesehenen Fahrbereich hinaus bewegt wird, sind an der oberen und unteren Endposition je ein Endschalter montiert. Diese begrenzen den maximalen Weg des Hubschlittens und schützen die mechanischen Komponenten vor einem Überfahren der Endstellungen.

Wenn der obere Endschalter erreicht ist, wird die weitere Aufwärtsbewegung unterbrochen. Eine Bewegung nach unten ist weiterhin möglich. Entsprechend verhindert der untere Endschalter die weitere Abwärtsbewegung, während der Hubschlitten weiterhin nach oben bewegt werden kann.

Die Endschalter werden so an der Führungssäule angeordnet, dass sie durch den Hubschlitten zuverlässig betätigt werden und dann noch genügend Bremsweg vorhanden ist, bevor eine mechanische Endstellung erreicht wird. Die genaue Position der Endschalter kann bei der Montage des Radlifts eingestellt werden. Dadurch wird ermöglicht, dass der verfügbare Hubweg möglichst vollständig genutzt werden kann und gleichzeitig ein ausreichender Bremsweg bis zu den mechanischen Endlagen bestehen bleibt.

3.8.5 Steuerung Federdruckbremse

Die Federdruckbremse wird elektrisch in die Steuerung des Hubantriebs eingebunden. Da sie nach dem Ruhestromprinzip arbeitet, ist die Bremse im spannungslosen Zustand geschlossen und wird nur für eine gewollte Hubbewegung elektrisch gelöst.

Bei Betätigung eines Tasters für AUF oder AB wird die Bremse gelöst und der Motor für die entsprechende Bewegungsrichtung aktiviert. Wird der Taster losgelassen, stoppt der Motor und die Bremse blockiert sofort die Spindel. Dadurch wird die Hubspindel nach jeder Bewegung zuverlässig festgehalten.

Auch beim Erreichen einer Endposition oder bei einer Unterbrechung der Spannungsversorgung schliesst die Bremse selbstständig. Dadurch wird verhindert, dass sich die Hubspindel unbeabsichtigt zurückdreht und der Hubschlitten absinkt.

Die konkrete elektrische Verschaltung der Bremse mit den übrigen Komponenten wird im Elektroschema im Kapitel 3.8.8 dargestellt.

3.8.6 Not-Halt-Schalter

Als zusätzliche Sicherheitseinrichtung wird ein gut erreichbarer Not-Halt-Schalter vorgesehen. Da beim Radlift hauptsächlich Gefahren durch die Bewegung des Hubschlittens und mögliche Quetschstellen entstehen, wird ein Not-Halt und kein Not-Aus eingesetzt. Ziel ist es, die gefährliche Bewegung möglichst schnell zu stoppen und nicht in erster Linie die gesamte elektrische Anlage spannungsfrei zu schalten.

Bei Betätigung des Not-Halt-Schalters wird die Freigabe des Antriebs unterbrochen. Gleichzeitig wird die Federdruckbremse stromlos, sodass diese durch ihre Federkraft schliesst und die Spindel festhält. Dadurch wird verhindert, dass der Hubschlitten nach dem Betätigen des Not-Halt unkontrolliert absinkt.

Der Not-Halt-Schalter wird so positioniert, dass er während der Bedienung des Radlifts schnell und einfach erreicht werden kann. Nach einer Betätigung muss er bewusst zurückgestellt werden, bevor der Hubantrieb erneut in Betrieb genommen werden kann.

3.8.7 Funktionsweise der Steuerung

Im normalen Betrieb wird der Radlift über die beiden Drucktaster gesteuert. Beim Betätigen des Tasters «AUF» wird die Federdruckbremse gelöst und der Motortreiber steuert den Motor in Hubrichtung an. Der Hubschlitten bewegt sich nach oben, bis der Taster losgelassen oder der obere Endschalter erreicht wird.

Beim Betätigen des Tasters «AB» werden ebenfalls die Bremse gelöst und die Drehrichtung des Motors über den Motortreiber umgekehrt. Der Hubschlitten bewegt sich kontrolliert nach

unten. Beim Loslassen des Tasters oder beim Erreichen des unteren Endschalters wird die Abwärtsbewegung unterbrochen.

Wird keiner der beiden Taster betätigt, bleibt der Motor stehen und die Federdruckbremse hält die Spindel fest. Bei Betätigung des Not-Halt-Schalters wird die Antriebsfreigabe unabhängig von den Bedientastern unterbrochen. Gleichzeitig wird die Federdruckbremse stromlos und schliesst, wodurch die Hubspindel festgehalten wird.

3.8.8 Elektroschema

Auf Grundlage der zuvor festgelegten Steuerungsfunktionen wird mit der Website Scheme-it ein Elektroschema für den Radlift erstellt (DigiKey Germany GmbH, 2026). Darin werden die Energieversorgung, der Motortreiber, der BLDC-Motor, die Bedientaster, die Endschalter, die Federdruckbremse sowie der Not-Halt-Schalter miteinander verbunden.

Das Elektroschema dient als Grundlage für die spätere Verdrahtung des Radlifts. Dabei werden die Leistungs- und Steuerkreise übersichtlich dargestellt, sodass die Energieversorgung des Antriebs sowie die Signalwege der einzelnen Bedienelemente und Sicherheitseinrichtungen nachvollziehbar sind. Das vollständige Elektroschema befindet sich im Anhang 13.6.

3.9 Verbleibende Risiken nach der Konstruktion

Die zu Beginn des Projekts identifizierten technischen und organisatorischen Risiken werden bei der Konstruktion des Radlifts berücksichtigt. Durch die Auslegung des Hubantriebs wird dargestellt, dass das erforderliche Drehmoment mit einer entsprechenden Reserve zur Verfügung steht. Die Führung des Hubschlittens wird so ausgeführt, dass die auftretenden Kräfte und Momente aufgenommen werden können. Zur Sicherung der Hubbewegung werden Endschalter, eine Federdruckbremse sowie ein Not-Halt vorgesehen. Gleichzeitig werden schwere Komponenten möglichst tief im Grundgestell angeordnet, um die Standsicherheit des Gerätes zu unterstützen.

Trotz dieser konstruktiven Massnahmen können einzelne Risiken erst am fertig aufgebauten Prototyp abschliessend beurteilt werden. Dazu gehört insbesondere, ob der Hubantrieb unter realer Belastung ausreichend Leistung zur Verfügung stellt und ob zusätzliche Reibungsverluste in der Führung, im Winkelgetriebe oder an der Spindel auftreten. Auch die leichtgängige Führung des Hubschlittens und das Verhalten der langen Hubspindel bei der vorgesehenen Drehzahl können erst im praktischen Betrieb vollständig beurteilt werden.

Ein weiteres Risiko besteht durch mögliche Einklemm- und Quetschstellen an den beweglichen Bauteilen. Insbesondere zwischen dem Hubschlitten und der Führungssäule sowie im Bereich der Greifgabeln können beim Heben, Senken oder beim Aufnehmen eines Radstapels Finger eingeklemmt werden. Bei der aktuellen Konstruktion sind diese Gefahrenstellen nicht

vollständig durch Schutzabdeckungen gesichert. Für einen späteren regelmässigen Werkstatteinsatz müssten deshalb geeignete Schutzmassnahmen vorgesehen werden, um das Risiko von Quetschverletzungen zu reduzieren (z. B. Zweihandsteuerung anstelle von Einhandtastern).

3.9.1 Berücksichtigung von Normen

Bei der Konstruktion des Radlifts werden grundlegende Sicherheitsanforderungen an Maschinen berücksichtigt. Als Orientierung dienen öffentlich zugängliche Informationen der SUVA sowie die Anwendungsbereiche der Normen EN ISO 12100 und EN 60204-1. (Suva, EN ISO 12100, 2026) (Suva, EN 60204-1, 2026)

Im Vordergrund stehen mögliche Gefährdungen durch Quetschstellen, bewegliche Bauteile, unkontrolliertes Absenken des Hubschlittens und die elektrische Steuerung. Zur Verringerung dieser Risiken werden unter anderem Endschalter, eine Federdruckbremse und ein Not-Halt-Schalter vorgesehen.

Eine vollständige Prüfung nach den genannten Normen wird im Rahmen der Diplomarbeit nicht durchgeführt. Die Einhaltung sämtlicher Sicherheitsanforderungen ist deshalb nicht nachgewiesen.

4 Realisierung

Nach Abschluss der Entwicklung, Konstruktion und technischen Auslegung folgt die praktische Umsetzung des Radlifts. Die für die Umsetzung benötigten Komponenten werden zunächst beschafft. Anschliessend werden die einzelnen Baugruppen gemäss der im CAD entwickelten Konstruktion gefertigt und zum vollständigen Prototyp zusammengebaut.

In diesem Kapitel werden die Materialbeschaffung und die entstandenen Kosten sowie die Fertigung und Montage der einzelnen Baugruppen beschrieben. Dabei werden auch notwendige Anpassungen dokumentiert, welche sich während der Montage gegenüber der ursprünglichen Konstruktion ergeben.

4.1 Materialbeschaffung und Kosten

Für die Realisierung des Radlifts werden die benötigten Materialien und Kaufteile beschafft. Dabei wird zwischen selbst zu fertigenden Bauteilen und bereits fertig erhältlichen Komponenten unterschieden.

Die Stahlprofile, Bleche und weiteren benötigten Materialien für das Grundgestell, die Führungssäule, den Hubschlitten und die verschiedenen Aufnahmen werden entsprechend den konstruktiv festgelegten Abmessungen beschafft. Für die Stahlbauteile wird der gut schweissbare Baustahl S235JR verwendet.

Komponenten, deren eigene Herstellung nicht sinnvoll oder nicht möglich ist, werden als Kaufteile bezogen. Dazu gehören insbesondere die Hubspindel mit Spindelmutter, das Winkelgetriebe, die Lagerung, der BLDC-Motor mit Motortreiber, die Federdruckbremse sowie die benötigten elektrischen Komponenten.

Bei der Beschaffung wird neben der technischen Eignung auch auf Verfügbarkeit, Lieferzeit und Kosten geachtet. Insbesondere die zuvor ausgelegten Komponenten des Hubantriebs müssen den in der Konstruktion festgelegten Anforderungen entsprechen.

Sämtliche verwendeten Materialien und Kaufteile werden in einer Teilestückliste erfasst. Darin sind unter anderem die benötigte Anzahl, die Bezeichnung, der Lieferant sowie die jeweiligen Kosten aufgeführt. Die vollständige Teilestückliste befindet sich im Anhang 13.1.

Die Gesamtkosten des Prototyps für die beschafften Materialien und Kaufteile betragen insgesamt CHF 2'269.50. Kleinmaterial wie Schrauben, Kabel und weitere Verbindungselemente werden teilweise aus dem vorhandenen Werkstattlager oder Privatbestand verwendet und müssen deshalb nicht zusätzlich beschafft werden. Diese sind in den ausgewiesenen Beschaffungskosten geschätzt. Die detaillierte Kostenaufstellung ist der Teilestückliste im Anhang 13.1 zu entnehmen.

4.1.1 Beschaffung Trapezgewindespindel

Die Trapezgewindespindel TR20x8P4 aus C15 wird aufgrund der benötigten Bearbeitung der Spindelenden als Massanfertigung bestellt. Dafür wird mit SolidWorks eine Detailzeichnung mit den erforderlichen Abmessungen, Gewinden und Passfedernuten erstellt und dem Lieferanten übermittelt.

Bei der Ausarbeitung der Detailzeichnung wird darauf geachtet, dass die Anschlussmasse auf die vorgesehenen Lager, das Winkelgetriebe und die Federdruckbremse abgestimmt sind. Die Durchmesser und Längen der bearbeiteten Spindelenden werden entsprechend den benötigten Einbaumassen festgelegt. Für die Passfedernuten werden die erforderlichen Abmessungen und Toleranzen angegeben, damit die Drehmomentübertragung über die Passfedern gewährleistet werden kann. Zusätzlich werden die Übergänge zwischen den unterschiedlichen Durchmessern mit Radien versehen, um die Kerbwirkung und damit lokale Spannungsspitzen zu reduzieren. Die Detailzeichnung der Trapezspindel befindet sich im Anhang 13.3.

Aufgrund der Bearbeitung beträgt die Lieferzeit rund drei Wochen, weshalb die Spindel frühzeitig zusammen mit dem Winkelgetriebe beim gleichen Lieferanten bestellt wird. Als Spindelmutter wird eine passende Flanschmutter aus Rotguss RG7 eingesetzt.

4.1.2 Beschaffung Winkelgetriebe

Das Winkelgetriebe mit einer Übersetzung von 3:1 wird bereits frühzeitig zusammen mit der massgefertigten Spindel beim gleichen Lieferanten bestellt. Da die Bearbeitung der Spindel eine Lieferzeit von rund drei Wochen erfordert, muss die Bestellung bereits zu einem Zeitpunkt erfolgen, an dem die endgültige Auslegung des Antriebs noch nicht vollständig abgeschlossen ist. Zu diesem Zeitpunkt wird noch von einer früheren Motorauslegung und einer Getriebeübersetzung von 3:1 ausgegangen. Bei der späteren Überprüfung der Antriebsauslegung zeigt sich, dass mit dem ausgewählten BLDC-Motor mit 3000 U/min eine Übersetzung von 4:1 rechnerisch besser geeignet wäre. Damit würden die berechnete Spindeldrehzahl von 750 U/min und somit die angestrebte Hubzeit von rund 12 Sekunden erreicht. Mit einem 4:1 übersetzten Getriebe wäre eine grössere Drehmomentreserve vorhanden. Da das bereits beschaffte 3:1 Getriebe nicht zurückgegeben werden kann, wird es zunächst im Prototyp eingesetzt und bei der Inbetriebnahme praktisch überprüft. Die Befestigungsmasse und Wellendurchmesser der beiden Getriebeausführungen sind identisch, sodass bei Bedarf ohne konstruktive Änderungen auf die 4:1 Ausführung gewechselt werden kann.

4.2 Fertigung

Nach Abschluss der Konstruktion und der Berechnungen beginnt die Fertigung des Radlifts. Die im CAD erstellte Konstruktion soll möglichst genau umgesetzt werden. Falls während der Fertigung und Montage Anpassungen nötig sind, werden diese direkt vorgenommen.

Die benötigten Stahlprofile, Bleche und weiteren Bauteile werden gemäss den erstellten Zeichnungen vorbereitet und bearbeitet. Dabei kommen je nach Bauteil unterschiedliche Fertigungsverfahren wie Sägen, Bohren, Fräsen, Drehen und Schweissen zum Einsatz. Zugekaufte Komponenten wie Spindel, Spindelmutter, Motor, Winkelgetriebe, Lager und elektrische Bauteile werden anschliessend in die gefertigte Konstruktion eingebaut.

Der Zusammenbau erfolgt schrittweise nach Baugruppen. Dadurch können Passungen, Bewegungsfreiheit und Funktion der einzelnen Komponenten bereits während des Zusammenbaus überprüft und bei Bedarf angepasst werden. Es wird besonders auf die leichtgängige Führung des Hubschlittens, die korrekte Ausrichtung der Spindel sowie die sichere Befestigung der Antriebskomponenten geachtet.

4.2.1 Fertigung des Grundgestells und der Führungssäule

Die Fertigung beginnt mit der Bearbeitung des Grundgestells und der Führungssäule. Zunächst werden die benötigten Bohrungen für die Radachse in die Seitenplatten eingebracht. Für die Befestigung der Radaufnahme am Hubschlitten wird in das Rechteckrohr der Führungssäule ein Längsschlitz geschnitten. Die benötigten Aus- und Trennschnitte werden mit einem Winkelschleifer ausgeführt.

Danach werden die beiden Seitenplatten bündig an den linken und rechten Enden des Gehäuses positioniert und mittels MAG-Schweissen[3] befestigt. Im nächsten Schritt wird die Position der Führungssäule auf der Oberseite des Gehäuses ausgemessen und angezeichnet. Der benötigte Ausschnitt wird ebenfalls mit dem Winkelschleifer herausgetrennt, sodass die Führungssäule in das Grundgestell eingesetzt werden kann.

Beim Ausrichten der Führungssäule wird besonders darauf geachtet, dass diese im rechten Winkel zum Gehäuse steht. Eine möglichst genaue Ausrichtung ist wichtig, damit der Hubschlitten später senkrecht geführt wird. Nach dem Ausrichten wird die Führungssäule zunächst am Grundgestell mit der Schweissvorrichtung angepunktet.

Zur zusätzlichen Versteifung wird auf der Rückseite der Führungssäule eine trapezförmige Verstärkungsplatte eingesetzt und ebenfalls mittels MAG-Schweissen befestigt. Dadurch wird insbesondere der Übergangsbereich zwischen Führungssäule und Grundgestell verstärkt.

Um den Wärmeeintrag beim Schweissen möglichst gering zu halten und dadurch den Verzug der Stahlteile durch Wärme zu reduzieren, werden die Bauteile zunächst nur punktweise miteinander verschweisst. Die Schweisspunkte werden dabei möglichst abwechselnd und gegenüberliegend gesetzt. Erst nachdem sämtliche Bauteile ausgerichtet, angepunktet und dadurch ausreichend fixiert sind, werden die endgültigen Schweissnähte ausgeführt. Die Schweissnähte werden als Kehlnähte ausgeführt. Damit die maximal mögliche Festigkeit der Schweissnähte erreicht wird, sind die Breiten der Schweissnähte entsprechend den Blechdicken nach Erfahrungswerten ausgeführt.

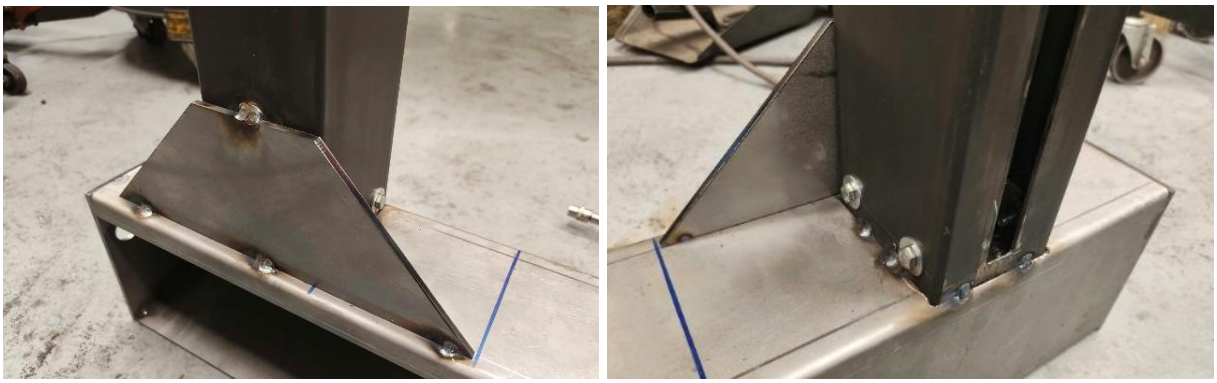


Abbildung 31: Verstärkungsplatte an der Führungssäule, Ansicht hinten (links) und vorne (rechts) (eigenes Foto)

[3] Metall-Aktiv-Gas-Schweissen

4.2.2 Fertigung des Hubschlittens, der Gleitführung und der Spindelbefestigung

Zunächst werden die benötigten Bohrungen für die Befestigung der Spindelmutter sowie der POM-C-Gleitplatten in die vorbereiteten Bauteile des Hubschlittens eingebracht. Anschliessend werden die einzelnen Stahlteile des Hubschlittens ausgerichtet und mittels MAG-Schweissen miteinander verbunden. Wie bereits beim Grundgestell werden die Bauteile zuerst angepunktet und erst nach der Kontrolle der Ausrichtung vollständig verschweisst.

Bei der Fertigung des Hubschlittens wird besonders auf die Masshaltigkeit und Rechtwinkligkeit geachtet. Da der Hubschlitten innerhalb der Führungssäule läuft, können grössere Abweichungen zu erhöhter Reibung oder einem Verklemmen führen. Gleichzeitig muss die Spindelmutter möglichst mittig zur Hubspindel positioniert sein, damit diese beim späteren Betrieb korrekt geführt wird und die Spindel durch die Mutter nicht seitlich ausgelenkt wird.

Für die Gleitführung werden am oberen und unteren Bereich des Hubschlittens POM-C-Gleitplatten verschraubt. Die Gleitplatten werden zunächst mit leichtem Übermass gefertigt und anschliessend von Hand mit einer Feile schrittweise angepasst. Die Bearbeitung erfolgt so lange, bis sich der Hubschlitten mit möglichst geringem Spiel und gleichzeitig ohne übermässigen Widerstand innerhalb der Führungssäule bewegen lässt. Dadurch kann die Passung direkt an die tatsächlich gefertigte Führungssäule angepasst werden.

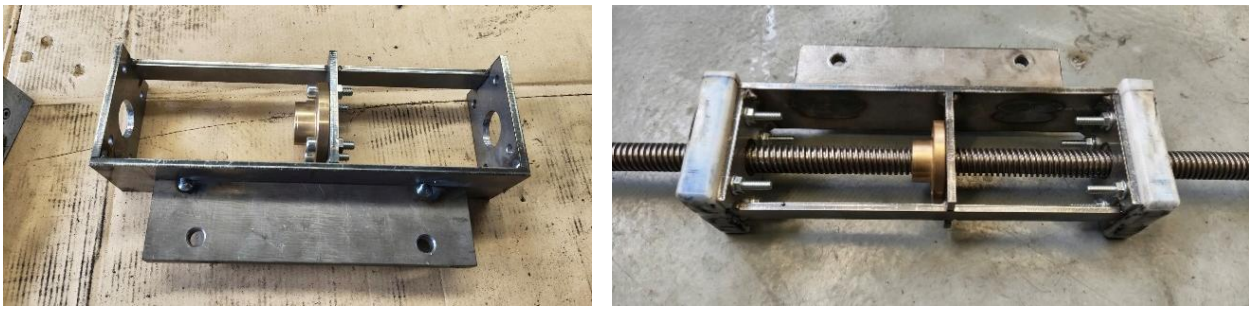


Abbildung 32: Hubschlitten mit Spindelmutter (links) und eingesetzter Spindel (rechts) (eigene Fotos)

Zur Befestigung der beiden Halteplatten für die Spindelbefestigung wird jeweils auf der linken und rechten Seite ein Winkelprofil angeschweisst. Auf der Innenseite an den Winkelprofilen werden Muttern angepunktet. Dadurch können die Halteplatten an der Führungssäule verschraubt und bei Bedarf wieder demontiert werden. Nach der Fertigung werden die Halteplatten eingesetzt und die Position der Spindel kontrolliert.



Abbildung 33: Halteplatte für Winkelgetriebe unten (eigenes Foto)

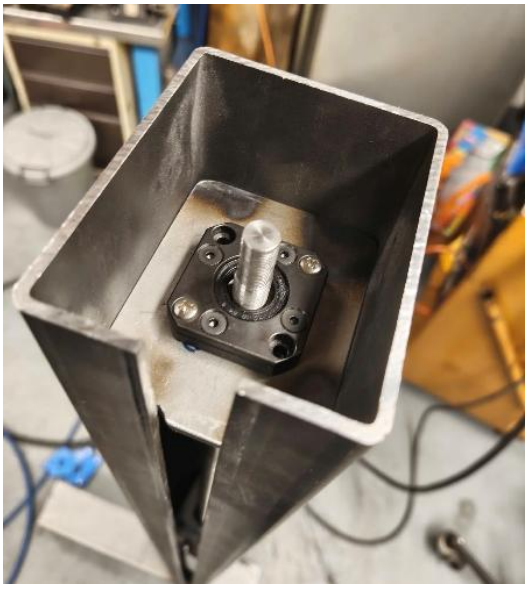


Abbildung 34: Halteplatte mit Festlager für Spindelbefestigung oben (eigenes Foto)

Die obere Halteplatte dient zur Aufnahme des Festlagers, über welches die Hubspindel hängend in der Führungssäule gelagert wird. Die untere Halteplatte nimmt das Winkelgetriebe auf und sorgt gleichzeitig für die seitliche Führung des unteren Spindelendes.

4.2.3 Fertigung der Radaufnahme

Bei der ursprünglichen Konstruktion ist vorgesehen, die Radaufnahme über einen Klappmechanismus um 90° nach oben schwenken zu können. Während der Vorbereitung der Fertigung wird diese Ausführung nochmals überprüft und zugunsten einer einfacheren Steckverbindung angepasst. Die benötigte Funktion bleibt dadurch erhalten, während auf die Herstellung eines zusätzlichen Klappmechanismus verzichtet werden kann. Aufgrund des geringeren Fertigungsaufwands und der verbleibenden Projektzeit wird deshalb die Stecklösung umgesetzt.

Als Verbindung zwischen Hubschlitten und Radaufnahme werden zwei Winkelprofile miteinander verschweisst. Durch die doppelte Ausführung entsteht eine möglichst steife Aufnahme, welche die beim Anheben des Fahrzeugrades auftretenden Biegekräfte aufnehmen kann. Die Aufnahme wird mit je zwei Schrauben pro Seite am Hubschlitten befestigt.

Für die eigentliche Radaufnahme wird ein Vierkantrohr aus Stahl verwendet, welches horizontal vor dem Hubschlitten angeordnet ist. An beiden Enden werden jeweils horizontale und vertikale Bohrungen eingebracht. Dadurch können die beiden Rollen entweder horizontal für den Hubbetrieb oder vertikal für die seitliche Transportführung eingesteckt werden. Für die Transportfunktion werden die Rollen aus der horizontalen Position herausgezogen und vertikal nach oben beziehungsweise unten eingesteckt. Dadurch wird der benötigte Bereich vor dem Radlift für die Transportfunktion freigegeben.

Für die korrekte Positionierung des Vierkantrohrs werden die zuvor gefertigten Winkelprofile zunächst am montierten Hubschlitten befestigt. Anschliessend wird das Vierkantrohr mittig zum Grundgestell ausgerichtet und mit den Winkelprofilen verschweisst. Durch dieses Vorge-

hen wird die Radaufnahme zum Gestell zentrisch und zur bereits seitlich versetzt montierten Führungssäule ausgerichtet.

Die beiden Rollen der Radaufnahme bestehen jeweils aus einer Vollstahlstange mit 16 mm Durchmesser. Je ein Ende der Achsen ist steckbar ausgeführt. Auf den beiden Achsen wird je ein Aluminiumrohr mit jeweils zwei Gleitlagern drehbar gelagert. Dadurch kann sich das aufgenommene Fahrzeugrad auf den beiden Rollen drehen, was die Ausrichtung des Rades bei der Montage am Fahrzeug erleichtert. Die Steckachsen werden auf der Rückseite mit einem Splint gegen unbeabsichtigtes Herausziehen gesichert. Auf der Vorderseite der Achsen verhindert eine Schraube mit einer grossen Unterlegscheibe, dass das Aluminiumrohr mit den eingesetzten Gleitlagern von der Achse rutschen kann.

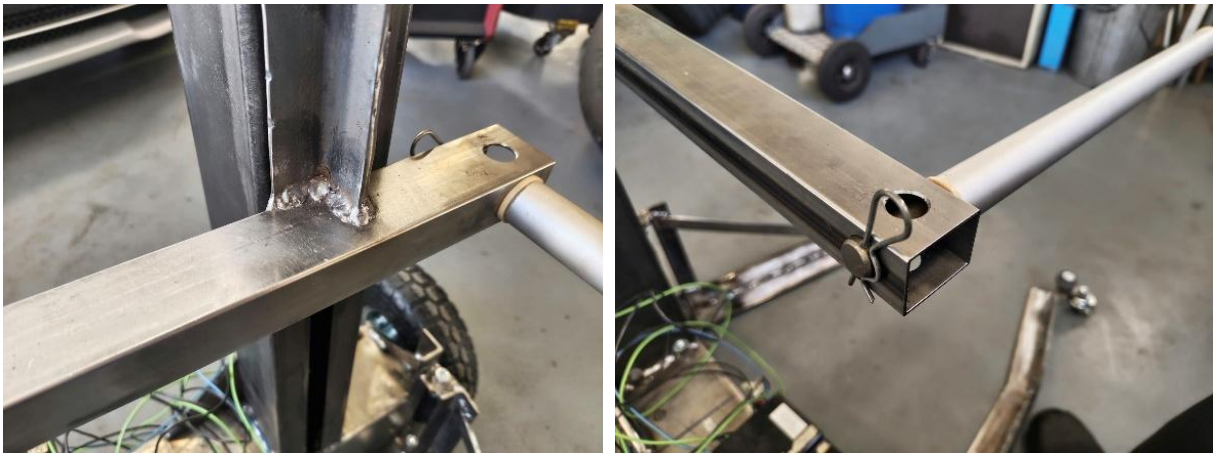


Abbildung 35: steckbare Radaufnahme mit Sicherungssplint (eigene Fotos)

4.2.4 Fertigung der Greifgabeln für den Radtransport

Für die Aufnahme eines kompletten Radsatzes werden auf beiden Seiten des Grundgestells schwenkbare Greifgabeln angefertigt. Zunächst werden links und rechts am Grundgestell Verlängerungen angeschweisst. Dadurch können die Drehpunkte einer Greifgabel mit einem grösseren Abstand zueinander angeordnet werden. Die breitere Abstützung der Gabel reduziert die Belastung der einzelnen Befestigungspunkte und ermöglicht eine stabilere Aufnahme der auftretenden Kräfte, insbesondere beim Anheben und Transportieren von vier Fahrzeugrädern.



Abbildung 36: Angeschweisste Verlängerung am Grundgestell für Gelenk der Greifgabel (eigenes Foto)



Abbildung 37: Hilfskonstruktion zur Ausrichtung der Gelenkpunkte (eigenes Foto)

Anschliessend werden pro Seite zwei Halterungen für die gelenkige Befestigung der Greifgabeln am Grundgestell angeschweisst. Damit die beiden Gelenkpunkte einer Greifgabel genau auf derselben Achse liegen, werden sie während des Schweissens mit einer Hilfskonstruktion zueinander ausgerichtet. Dadurch wird verhindert, dass die Greifgabeln später aufgrund versetzter Drehpunkte klemmen oder schwergängig schwenken.

Die Form der Greifgabeln wird während der Fertigung nochmals an die praktische Anwendung angepasst. Insbesondere der Knickwinkel der beiden Gabeln wird erst am aufgebauten Grundgestell festgelegt, da sich die spätere Auflage des Reifens im CAD nur schwer ausreichend beurteilen liess. Ziel ist es, eine Form zu erreichen, an der unterschiedliche Reifengrössen möglichst gut und sicher anliegen können. Die Winkelprofile werden dazu an der festgelegten Position mit einem Winkelschleifer eingeschnitten, im Bereich des Knicks erwärmt und anschliessend in die benötigte Form gebogen. Danach werden die bearbeiteten Bereiche wieder verschweisst. Anschliessend wird an jeder Greifgabel eine zusätzliche Verstärkungsstrebe angeschweisst. Diese versteift die Gabel und unterstützt die Aufnahme der höheren Belastung, die beim Anheben und Transportieren eines kompletten Radsatzes mit vier Fahrzeugrädern entsteht.



Abbildung 38: Anpassung Greifgabel während Fertigung (links) und fertig geschweisste Greifgabel mit Verstärkungsstrebe (rechts) (eigene Fotos)

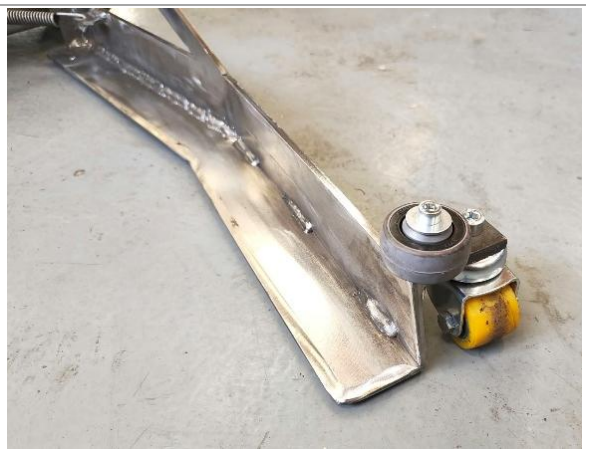


Abbildung 39: Führungs- und Lenkrolle (eigenes Foto)

Am vorderen Ende jeder Greifgabel wird mit möglichst geringem Abstand zum Boden eine Lenkrolle montiert. Diese Lenkrollen bilden zusammen mit den beiden grossen Rädern am Grundgestell das Fahrwerk des Radlifts und ermöglichen, dass dieser im normalen Betriebszustand aufrechtstehend verschoben und manövriert werden kann. Der geringe Abstand zum Boden hält die Greifgabeln möglichst tief und erleichtert somit das Unterfahren beziehungsweise Umfahren des untersten Reifens eines Radstapels. Zusätzlich wird im vorderen Bereich jeder Gabel eine horizontal ausgerichtete Rolle angebracht. Diese kommt beim Heranfahren seitlich mit dem Reifen in Kontakt und ermöglicht, dass die Greifgabel beim Umfahren des Rades nach aussen gedrückt wird, ohne am Reifen hängen zu bleiben.

Für die selbstständige Rückstellung der Greifgabeln werden Zugfedern eingesetzt. Dazu werden am Grundgestell und an den Greifgabeln entsprechende Federaufnahmen angeschweisst. Am Grundgestell sind mehrere Einhängepositionen vorgesehen, sodass die Federspannung bei Bedarf später angepasst werden kann. Beim Heranfahren an einen Radstapel werden die Greifgabeln durch den Kontakt mit dem untersten Reifen nach aussen gedrückt. Nachdem die breiteste Stelle des Reifens passiert wurde, zieht die Feder die Gabeln wieder nach innen, bis diese seitlich am Reifen anliegen.

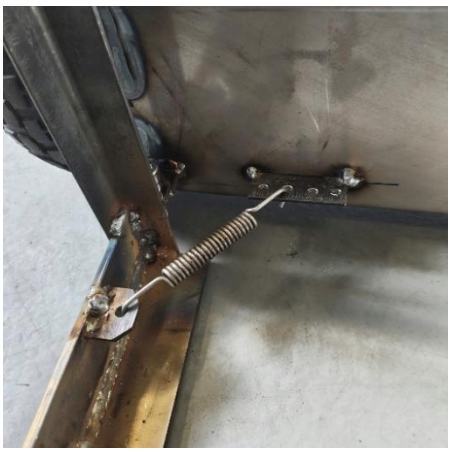


Abbildung 40: Zugfeder für automatische Greifgabelspannung (eigenes Foto)

Damit ist die ursprünglich geplante Transportfunktion konstruktiv umgesetzt. Ob sich die Greifgabeln bei unterschiedlichen Radgrössen zuverlässig öffnen und wieder schliessen und ob die gewählte Federspannung geeignet ist, wird im Rahmen der späteren Funktionstests überprüft.

4.3 Montage

Nach Abschluss der Fertigung werden die einzelnen Baugruppen sowie die zugekauften Komponenten zum vollständigen Radlift zusammengebaut. Dabei werden zunächst die mechanischen Komponenten des Hubantriebs montiert und zueinander ausgerichtet. Anschliessend erfolgt die elektrische Installation mit den erforderlichen Bedien- und Sicherheitselementen.

Während der Montage wird darauf geachtet, dass sich alle beweglichen Bauteile frei bewegen können und die einzelnen Komponenten korrekt zueinander positioniert sind. Abschliessend werden die noch fehlenden Bauteile montiert und der Radlift für die anschliessende Inbetriebnahme vorbereitet.

4.3.1 Montage des Hubantriebs

Die Montage des Hubantriebs beginnt mit dem Einbau der Spindel und des Hubschlittens. Zunächst wird der Hubschlitten ohne Spindel in die Führungssäule eingesetzt. In dieser Position werden die POM-C-Gleitplatten am Hubschlitten festgeschraubt, damit sich diese möglichst genau an der tatsächlichen Lage innerhalb der Führungssäule ausrichten. Anschliessend wird der Hubschlitten wieder ausgebaut und über die Spindelmutter auf die Trapezspindel geschraubt.

Am oberen Ende der Spindel wird das Festlager zusammen mit der zuvor gefertigten Halteplatte montiert. Die Befestigung der Spindel erfolgt über das dafür vorgesehene Gewinde am Festlager. Anschliessend werden Spindel, Hubschlitten und obere Lagerung gemeinsam von oben in die Führungssäule eingesetzt. Die Halteplatte des Festlagers wird danach mit der Führungssäule von aussen verschraubt. Dadurch ist die Spindel am oberen Ende axial und radial gelagert und hängt innerhalb der Führungssäule.

Das Winkelgetriebe wird mit der unteren Halteplatte fest verschraubt und von unten in die Führungssäule eingesetzt. Dabei wird gleichzeitig der untere Spindelzapfen in die Hohlwelle des Winkelgetriebes eingeführt. Anschliessend wird die untere Halteplatte mit der Führungssäule verschraubt. Die Befestigungsbohrungen an der Führungssäule werden bewusst mit etwas Spiel ausgeführt. Dadurch kann die Position des Winkelgetriebes bei der Montage geringfügig angepasst und zum Motor und der Spindel ausgerichtet werden. Damit soll verhindert werden, dass durch die Position des Winkelgetriebes unerwünschte Verspannungen auf die Spindel übertragen werden. Das im Winkelgetriebe integrierte Wälzlager der Hohlwelle dient gleichzeitig als Loslager für die radiale Führung des unteren Spindelendes. Die axiale Spindellast wird über das obere Festlager aufgenommen. Die Drehmomentübertragung vom Winkelgetriebe zur Spindel erfolgt über eine Passfeder.

Der Elektromotor wird an der dafür vorgesehenen Motorhalteplatte befestigt und über eine elastische Klauenkupplung mit der Eingangswelle des Winkelgetriebes verbunden. Die beiden Kupplungshälften werden mit je einer Klemmverbindung an der Motorwelle und an der Eingangswelle des Winkelgetriebes fixiert. Durch das elastische Zwischenelement der Kupplung können geringe Fluchtungsabweichungen zwischen Motor- und Getriebewelle ausgeglichen werden.



Abbildung 41: Montage von Winkelgetriebe und Kupplung im Grundgestell (eigenes Foto)

Die Federdruckbremse wird am oberen Ende der Spindel oberhalb des Festlagers montiert. Dazu wird auf der Halteplatte des Festlagers eine zusätzliche Bremsplatte mithilfe von Distanzhülsen befestigt. Auf dieser Platte wird anschliessend die Federdruckbremse verschraubt. Die Drehmomentübertragung zwischen Bremse und Spindel erfolgt ebenfalls über eine Passfeder.

Vor dem endgültigen Festziehen der Befestigungen werden Spindel, Winkelgetriebe, Kupplung und Motor sorgfältig zueinander ausgerichtet. Anschliessend wird die Spindel von Hand gedreht und kontrolliert, ob sie sich über den gesamten vorgesehenen Verfahrweg leichtgängig bewegen lässt. Gleichzeitig wird überprüft, ob der Hubschlitten ohne Verklemmen oder übermässigen Widerstand in der Führungssäule läuft. Die Spindel sowie die Gleitflächen der POM-C-Platten werden für den Betrieb leicht mit Öl geschmiert.

Nach dieser mechanischen Kontrolle ist der Hubantrieb vollständig montiert und für die anschiessende elektrische Installation vorbereitet.

4.3.2 Elektrische Installation

Nach der mechanischen Montage des Hubantriebs erfolgt die elektrische Installation am Radlift. Als Grundlage des zuvor erstellten Elektroschemas wird die gesamte Schaltung zunächst ausserhalb des Radlifts aufgebaut und getestet. Dadurch können die einzelnen Anschlüsse und Steuerfunktionen überprüft und mögliche Fehler frühzeitig erkannt werden, bevor die elektrischen Komponenten endgültig verbaut werden.

Für die Ansteuerung des BLDC-Motors wird der Motortreiber BLDC-8015A eingesetzt. Die Steuerung der Drehrichtung, der Motorfreigabe und der Federdruckbremse erfolgt insgesamt über fünf Relais. Beim Hochfahren übernimmt Relais RY1 die Drehrichtungsvorgabe über den Anschluss F/R (Forward/Reverse), Relais RY2 die Motorfreigabe über ENBL (Enable) und Relais RY4 die Ansteuerung der Federdruckbremse. Beim Herunterfahren erfolgt die Motorfreigabe über Relais RY3 und die Bremsbetätigung über Relais RY5.

Während des ersten Versuchsaufbaus funktioniert die Steuerung zunächst nicht wie vorgesehen. Die Fehlersuche gestaltet sich zeitaufwendig, da anfangs unklar ist, ob ein Verdrahtungsfehler oder ein defektes Bauteil vorliegt. Schliesslich wird festgestellt, dass Relais RY3 defekt ist. Nach dessen Austausch funktionieren beide Fahrtrichtungen wie vorgesehen. Erst nach erfolgreicher Überprüfung der gesamten Schaltung werden die elektrischen Komponenten in den Radlift eingebaut.

Der 24-V-Akku wird im unteren Gehäuse neben dem BLDC-Motor befestigt. Die Stromversorgung ist mit einer Sicherung und einem Hauptschalter ausgestattet. Der Motortreiber wird zusammen mit den fünf Relais auf der linken Seite unterhalb des Winkelgetriebes befestigt. Die Motorleitungen werden innerhalb des Gehäuses direkt vom Motortreiber zum BLDC-Motor geführt.

Die Bedienung erfolgt über zwei separate Taster für die Aufwärts- und Abwärtsbewegung. An der Vorderseite der Führungssäule werden im oberen und unteren Bereich jeweils ein Endschalter montiert. Sobald der Hubschlitten den entsprechenden Endschalter betätigt, wird die jeweilige Fahrbewegung unterbrochen. Die entgegengesetzte Fahrtrichtung bleibt weiterhin möglich.

Die Federdruckbremse bleibt im Ruhezustand geschlossen und wird beim Betätigen eines der beiden Bedientaster elektrisch gelöst. Sobald der Taster losgelassen oder der entsprechende Endschalter betätigt wird, schliesst die Bremse wieder und hält die Spindel fest.

Der Not-Halt-Taster wird in den Steuerkreis der Bedientaster eingebunden, da er gemäss der aufgedruckten Kontaktbelastbarkeit nur für einen Strom von etwa 3 A ausgelegt ist. Bei seiner Betätigung werden die Fahrbefehle unterbrochen und die Federdruckbremse schliesst. Die Spannungsversorgung des Motortreibers bleibt bei dieser Ausführung jedoch bestehen.

Die Leitungen der Bedientaster, Endschalter und Federdruckbremse sind ausserhalb der Führungssäule über einen Kabelkanal zum unteren Gehäuse geführt, da innerhalb der Führungssäule aufgrund des beweglichen Hubschlittens nicht genügend Platz vorhanden ist. Im Gehäuse werden die Leitungen mit Kabelbindern befestigt. Am Motortreiber und an den Relais erfolgt der Anschluss über Schraubklemmen. Für die Verbindung an den Schaltern, der Federdruckbremse und dem Akku werden Kabelschuhe verwendet, damit diese bei Bedarf wieder einfach gelöst werden können.

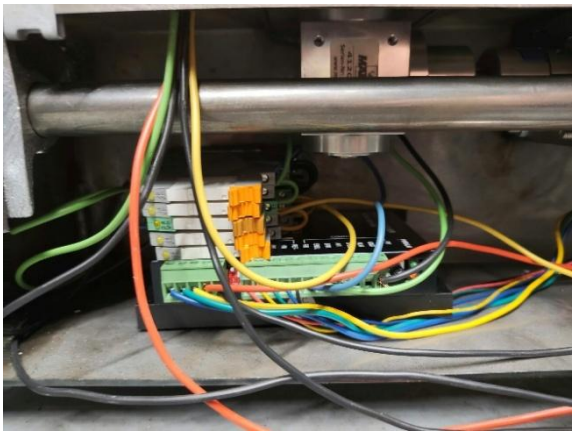


Abbildung 42: Verkabelung Relais und Motortreiber (eigenes Foto)

Die Steuerung ist nach dem erfolgreichen Test des externen Versuchsaufbaus und dem anschliessenden Einbau der elektrischen Komponenten für die weitere Inbetriebnahme vorbereitet.

4.3.3 Endmontage

Nach dem Einbau der mechanischen und elektrischen Komponenten werden die einzelnen Baugruppen zum vollständigen Radlift zusammengefügt. Dabei wird darauf geachtet, dass die beweglichen Bauteile ausreichend Bewegungsfreiheit haben und die elektrischen Leitungen die Hubbewegung nicht behindern. Anschliessend ist das Gerät für die ersten Funktionstests bereit.

Als abschliessender Arbeitsschritt werden die Stahlbauteile lackiert. Da die Oberflächen bisher unbehandelt sind, besteht insbesondere bei Feuchtigkeit die Gefahr von Korrosion. Zum Schutz vor Rost werden die Stahlbauteile zunächst grundiert und anschliessend mit einem 2K-Lack aus Spraydosen lackiert. Dadurch erhalten die Bauteile gleichzeitig eine einheitliche Oberflächengestaltung.



Abbildung 43: fertiger Radlift «Lift2Go» (eigene Fotos)

Mit dem Abschluss der Montage liegt der erste funktionsfähige Prototyp des Radlifts vor. Das entwickelte Gerät erhält den Namen «Lift2Go». Dieser soll die beiden Hauptfunktionen des Gerätes widerspiegeln: das Anheben und Positionieren einzelner Fahrzeugräder sowie den mobilen Transport eines kompletten Radsatzes.

5 Inbetriebnahme und Tests

Nach Abschluss der Montage wird der Radlift in Betrieb genommen und auf seine Funktion überprüft. Dabei wird untersucht, ob die Hub- und Transportfunktion wie vorgesehen arbeiten und ob sich das Gerät unter realistischen Werkstattbedingungen bedienen lässt. Zusätzlich werden die elektrischen Steuerfunktionen überprüft und erste Messungen zum Hubantrieb durchgeführt.

5.1 Inbetriebnahme

Nach dem Einbau der mechanischen und elektrischen Komponenten wird der Radlift erstmals als vollständiges Gerät in Betrieb genommen. Da die elektrische Steuerung bereits vor dem Einbau separat aufgebaut und getestet wurde, funktioniert der Hubantrieb bei der ersten Inbetriebnahme wie vorgesehen.

Der Hubschlitten lässt sich über die beiden Bedientaster aufwärts- und abwärtsbewegen. Die Bewegung erfolgt über den BLDC-Motor, das Winkelgetriebe und die Trapezgewindespindel. Dabei zeigt sich, dass der Hubschlitten über den gesamten Hubweg bewegt werden kann.

5.2 Funktionsprüfung der Hubfunktion

Zur Überprüfung der Hubfunktion wird zunächst der Hubschlitten ohne Fahrzeugrad über den gesamten Hubweg bewegt. Anschliessend werden Versuche mit einem etwa 30 kg schweren Fahrzeugrad durchgeführt.

Der tatsächlich nutzbare Hubweg des Hubschlittens beträgt 1060 mm. Da sich die Radaufnahme und Radmitte bereits in der untersten Stellung über dem Werkstattboden befinden, ist die erreichbare Montagehöhe des Fahrzeugrades entsprechend grösser. Bei einem grossen Fahrzeugrad kann die Radmitte auf eine maximale Höhe von 1470 mm angehoben werden. Damit wird die im Pflichtenheft vorgesehene Arbeitshöhe von 1200 mm erreicht und überschritten.

Ohne Fahrzeugrad benötigt der Hubschlitten für die Aufwärtsbewegung ungefähr 8 Sekunden. Mit einem etwa 30 kg schweren Fahrzeugrad verlängert sich die Hubzeit auf rund 10 Sekunden. Damit wird die ursprünglich angestrebte Hubzeit von 12 bis 20 Sekunden unterschritten.

Zusätzlich wird ein Belastungsversuch mit zwei schweren Fahrzeugrädern durchgeführt, die zusammen ungefähr 60 kg wiegen. Auch bei dieser deutlich höheren Belastung kann der Radlift beide Räder vollständig anheben. Dabei ist festzustellen, dass sich die Hubgeschwindigkeit gegenüber dem Versuch mit einem einzelnen Fahrzeugrad etwas verringert.

Der Hubantrieb funktioniert jedoch weiterhin. Mit diesem Versuch wird gezeigt, dass der Radlift auch eine Belastung oberhalb der rechnerisch ausgelegten maximalen bewegten Masse von 40 kg inklusive Hubschlitten bewältigen kann. Daraus lässt sich jedoch keine höhere zulässige Betriebslast ableiten. Damit ist die im Pflichtenheft vorgesehene maximal bewegte Masse von 40 kg inklusive Hubschlitten erfüllt.

Die Radaufnahme erfüllt ihre vorgesehene Funktion. Das Fahrzeugrad liegt auf den beiden Rollen auf und bleibt selbstständig in seiner Position, ohne dass es während des Hubvorgangs von Hand festgehalten werden muss. Gleichzeitig lässt sich das Rad auf den Rollen von Hand drehen, sodass es zur Radnabe ausgerichtet werden kann.

Das Manövrieren des Radlifts funktioniert grundsätzlich gut. Bei beengten Platzverhältnissen, beispielsweise wenn eine Fahrzeughebebühne nahe an einer Wand steht, ist das genaue Positionieren jedoch etwas schwieriger. Dies liegt insbesondere daran, dass die hinteren Fahrrollen nicht lenkbar sind.

Die praktische Anwendung wird zusätzlich bei der Montage eines Fahrzeugrades überprüft. Dabei kann das Rad mit dem Radlift angehoben, positioniert und am Fahrzeug montiert werden. Die grundsätzliche Funktion der elektrischen Radmontagehilfe wird damit bestätigt.

Zusätzlich wird überprüft, ob sich die Radaufnahme bei längerer Belastung selbstständig absenkt. Dazu bleibt ein Fahrzeugrad während rund 30 Minuten in angehobener Position auf der Radaufnahme. Während dieser Zeit wird keine erkennbare Absenkung des Hubschlittens festgestellt. Die Federdruckbremse hält die Spindel im Stillstand fest und verhindert dadurch eine unbeabsichtigte Bewegung der Radaufnahme.

5.3 Funktionsprüfung der Transportfunktion

Neben der Hubfunktion werden die Aufnahme und der Transport eines Radsatzes überprüft. Dazu wird der Radlift an einen Reifenstapel herangefahren, sodass die beiden unteren Greifgabeln das unterste Rad aufnehmen können.

Die Greifgabeln funktionieren grundsätzlich wie vorgesehen. Beim Heranfahren werden sie durch den Kontakt mit dem Reifenstapel nach aussen bewegt und können diesen anschliessend umfassen. Allerdings muss der Radlift mit etwas Kraft gegen den Reifenstapel geschoben werden, damit dieser vollständig aufgenommen wird und bündig am Grundrahmen anliegt.

Auch beim Abladen zeigt sich eine Einschränkung. Die Räder müssen zunächst etwas aus den Greifgabeln geschoben werden, bis sie genügend Haftung auf dem Werkstattboden haben. Erst danach kann der Radlift vom Reifenstapel wegbewegt werden.

Bei der praktischen Erprobung zeigt sich ausserdem, dass kleinere Hindernisse wie beispielsweise Bodenschwellen ohne Schwierigkeiten überfahren werden können. Der Reifenstapel bleibt dabei sicher auf dem Gerät und wird durch die Greifgabeln zuverlässig gehalten. Auch beim Überfahren solcher Unebenheiten wird kein Verrutschen oder Herunterfallen der Räder festgestellt.

Insgesamt funktioniert die vorgesehene Transportfunktion gut. Die Versuche zeigen jedoch, dass die Aufnahme und das Abladen eines Radsatzes einen gewissen Kraftaufwand erfordern.

5.4 Überprüfung der Steuerung und Sicherheitsfunktionen

Im Rahmen der Inbetriebnahme werden die Bedientaster, die Endschalter, die Federdruckbremse und der Not-Halt-Taster auf ihre Funktion überprüft.

- Die Aufwärts- und Abwärtsbewegung kann über die entsprechenden Bedientaster gesteuert werden. Sobald ein Taster losgelassen wird, stoppt die Fahrbewegung.
- Die beiden Endschalter begrenzen den Hubweg in der oberen und unteren Endposition. Wird ein Endschalter betätigt, wird die Bewegung in die entsprechende Richtung unterbrochen.
- Auch die Federdruckbremse funktioniert bei der Betätigung der Bedientaster wie vorgesehen. Während einer Fahrbewegung wird sie elektrisch gelöst. Wird die Bewegung beendet, schliesst sie wieder. Bei einem Ausfall der Stromversorgung wird der Hubantrieb nicht mehr elektrisch angetrieben. Die Federdruckbremse bleibt dabei geschlossen und hält den Hubschlitten in seiner Position.
- Beim Betätigen des Not-Halt-Tasters wird der Steuerstromkreis unterbrochen, sodass über die Bedientaster keine weitere Fahrbewegung ausgelöst werden kann. Die Spannungsversorgung des Motortreibers bleibt dadurch auch bei betätigtem Not-Halt-Taster bestehen.

Eine manuelle Absenkfunktion ist bei der bestehenden Konstruktion nicht vorgesehen. Sollte sich bei einem Stromausfall noch ein Fahrzeugrad auf der angehobenen Radaufnahme befinden, müsste dieses bei Bedarf von Hand heruntergehoben werden.

5.5 Elektrische Messungen des Hubantriebs

Während der Inbetriebnahme werden erste Messungen der Stromaufnahme durchgeführt. Da keine geeignete Gleichstrommesszange zur Verfügung steht, wird dafür ein vorhandenes analoges Amperemeter verwendet. Dieses wird zwischen der Stromversorgung und dem Motortreiber angeschlossen.

Beim Hochfahren ohne Fahrzeugrad wird eine Stromaufnahme von ungefähr 14 A angezeigt. Mit einem etwa 30 kg schweren Fahrzeugrad steigt der angezeigte Strom auf rund 20 A. Beim Herunterfahren mit derselben Last beträgt die Stromaufnahme ungefähr 10 A.

Da das verwendete analoge Amperemeter eine Nullpunktabweichung aufweist und keine geeignete Gleichstrommesszange für eine Kontrollmessung zur Verfügung steht, können die angezeigten Stromwerte nur als Näherungswerte betrachtet werden. Die Stromaufnahme erscheint insbesondere beim Hochfahren relativ hoch. Eine genauere Überprüfung mit einem geeigneten Messgerät steht deshalb noch aus.

Anhand dieser Messwerte lässt sich die theoretisch mögliche Anzahl Hubzyklen mit dem 30 Ah Akku abschätzen. Bei einer angenommenen nutzbaren Akkukapazität von 80 % und einer Hub- beziehungsweise Senkzeit von jeweils 10 Sekunden ergeben sich rechnerisch rund 288 vollständige Hubzyklen. Die Berechnung ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

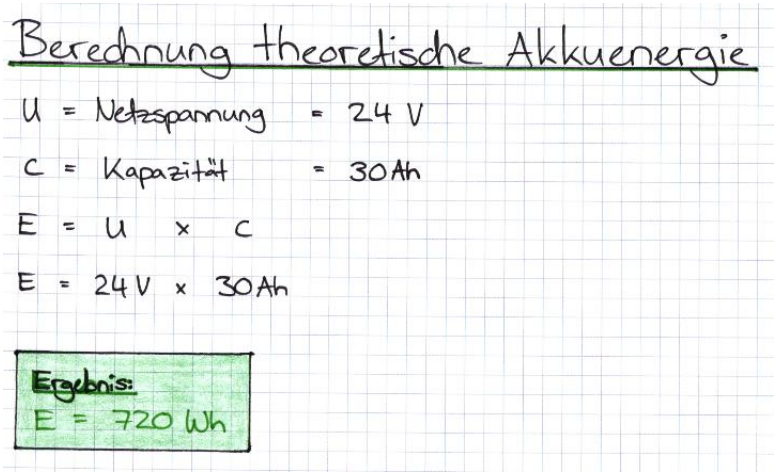


Abbildung 44: Berechnung theoretische Akkuenergie

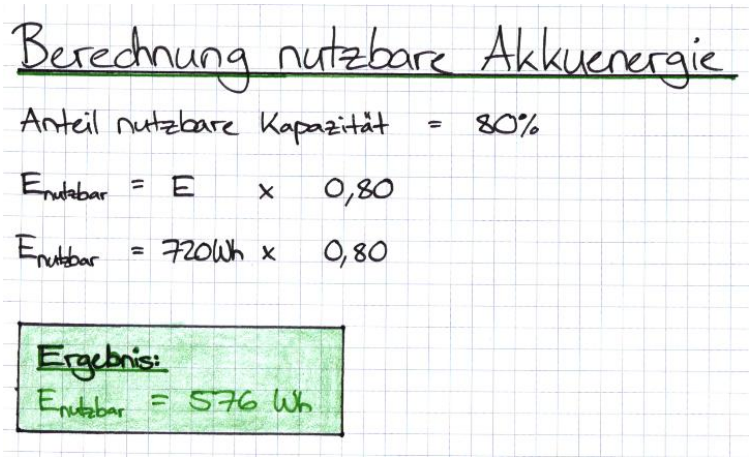


Abbildung 45: Berechnung nutzbare Akkuenergie

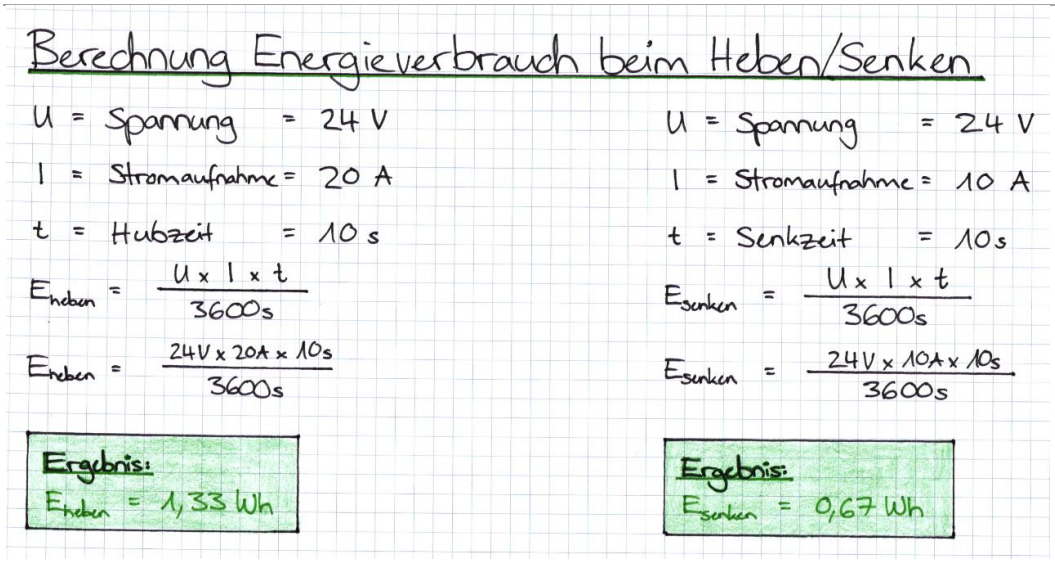


Abbildung 46: Berechnung Energieverbrauch beim Heben/Senken

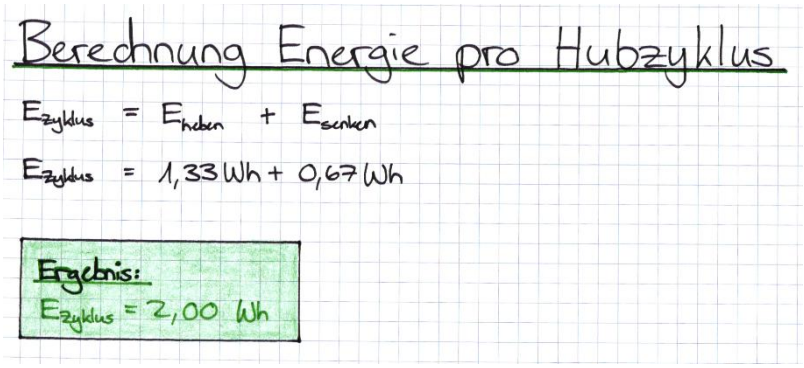


Abbildung 47: Berechnung Energie pro Hubzyklus

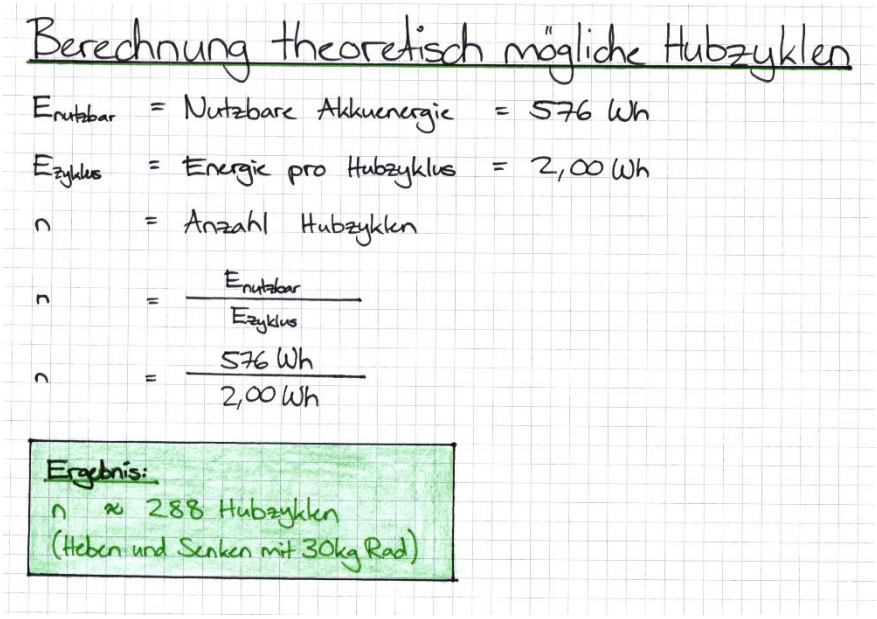


Abbildung 48: Berechnung theoretisch mögliche Hubzyklen

5.6 Erkenntnisse aus den praktischen Versuchen

Während der Versuche zeigt sich, dass der Hubschlitten auch bei nicht betätigter Federdruckbremse nicht selbstständig nach unten fährt. Eine mögliche Ursache dafür ist die Selbsthemmung der Trapezgewindespindel. Auch zusätzliche Reibung in der Führung oder im Antrieb könnte dazu beitragen. Die genaue Ursache wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter untersucht. Die Federdruckbremse bleibt deshalb als zusätzliche Halteeinrichtung Bestandteil der Konstruktion.

Die praktischen Tests zeigen insgesamt, dass beide Hauptfunktionen des Radlifts umgesetzt werden können. Ein einzelnes Fahrzeugrad kann elektrisch angehoben, auf der Radaufnahme gedreht und am Fahrzeug montiert werden. Auch die Aufnahme und der Transport eines Radsatzes funktionieren wie vorgesehen. Der Radlift weist eine gute Standsicherheit auf. Sowohl beim Anheben eines Fahrzeugrades als auch bei der Nutzung der Transportfunktion wird keine auffällige Kippneigung festgestellt. Eine messtechnische Überprüfung der Kippsicherheit unter definierten ungünstigen Lastbedingungen wurde bisher jedoch nicht durchgeführt.

Bei der praktischen Anwendung werden jedoch auch einzelne Einschränkungen festgestellt. Insbesondere das Aufnehmen und Abladen des Reifenstapels erfordert einen gewissen Kraftaufwand. Zudem ist das genaue Positionieren des Radlifts bei engen Platzverhältnissen aufgrund der nicht lenkbaren hinteren Fahrrollen erschwert. Die Überprüfung der elektrischen Steuerung zeigt, dass die Bedientaster, Endschalter und Federdruckbremse grundsätzlich wie vorgesehen funktionieren. Der Not-Halt-Taster unterbricht derzeit lediglich den Steuerstromkreis, während der Motortreiber weiterhin mit Spannung versorgt wird. Insgesamt bestätigen die bisherigen Versuche die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Radlifts.

Die Rückmeldungen der Mitarbeitenden aus der Werkstatt sind durchwegs positiv. Besonders die Möglichkeit, schwere Fahrzeugräder künftig nicht mehr selbst anheben und einzelne Räder nicht mehr tragen oder herumrollen zu müssen, wird begrüsst. Auch die optische Gestaltung des fertig lackierten Radlifts wurde positiv bewertet.

Die Mitarbeitenden sehen zudem einen Vorteil darin, dass der Radlift zwei Funktionen in einem Gerät vereint. Vergleichbare Hilfsmittel für die einzelnen Aufgaben sind zwar bereits auf dem Markt erhältlich, jedoch mit entsprechenden Anschaffungskosten verbunden. Zudem würden zwei separate Geräte zusätzlichen Platz in der Werkstatt beanspruchen.

6 Auswertung und Projektabschluss

Zum Abschluss werden die erreichten Ergebnisse mit dem Pflichtenheft verglichen. Ausserdem werden mögliche Verbesserungen des Radlifts aufgezeigt.

6.1 Vergleich Pflichtenheft – Ergebnis

Zum Abschluss des Projekts werden die im Pflichtenheft festgelegten Anforderungen mit den erreichten Ergebnissen verglichen. Dabei wird beurteilt, welche Anforderungen erfüllt, teilweise erfüllt oder nicht erfüllt werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse im Überblick.

Nr.	*Bereich*	*Vorgabe*	*Erreichtes Ergebnis*	*Bewertung*
1	Tragfähigkeit	max. bewegte Masse inkl. Rad und Hubschlitten: 40 kg	Hubversuch mit zwei Fahrzeugrädern gleichzeitig ca. 60 kg	ERFÜLLT ✓
2	Montagehöhe	1200 mm	tatsächlicher Hubweg 1060 mm, max. Montagehöhe ca. 1470 mm	ERFÜLLT ✓
3	Hubzeit	max. 20 s Zielwert 12 s	ca. 10 s mit Fahrzeugrad	ERFÜLLT ✓
4	Antrieb	elektrisches Heben und Senken	beide Bewegungen funktionieren elektrisch	ERFÜLLT ✓
5	Energieversorgung	Akkubetrieb	Betrieb über Akku	ERFÜLLT ✓
6	Akkulaufzeit	mind. 100 Hubvorgänge	noch kein entsprechender Dauertest durchgeführt	OFFEN
7	Bedienung	Eine-Person-Bedienung	Radaufnahme, Hubfunktion und Radmontage durch eine Person möglich	ERFÜLLT ✓
8	Radaufnahme	sichere Aufnahme und Abstützung	Rad bleibt selbstständig auf der Aufnahme stehen	ERFÜLLT ✓
9	Radausrichtung	Rad manuell drehbar	Rad lässt sich auf den Rollen drehen und ausrichten	ERFÜLLT ✓
10	Transportfunktion	vier Kompletträder Transportierbar	Aufnahme und Transport eines Reifenstapels funktionieren	ERFÜLLT ✓
11	Kompakte Bauweise	Hub- und Transportfunktion dürfen sich nicht behindern	Radaufnahme ist umsteckbar. Beide Funktionen können am gleichen Gerät genutzt werden	ERFÜLLT ✓
12	Mobilität	fahrbarer Grundrahmen, durch eine Person bewegbar	Radlift lässt sich gut manövrieren und kleinere Hindernisse können überfahren werden	ERFÜLLT ✓
13	Stabilität	Standsicherheit auf ebenem Werkstattboden	bei praktischen Versuchen wurden keine auffälligen Kippneigungen festgestellt	TEILWEISE NACHGEWIESEN (✓)

Nr.	Bereich	Vorgabe	Erreichtes Ergebnis	Bewertung
14	Sicherheit	Last auch bei Antriebsausfall sicher halten	Federdruckbremse schliesst stromlos, Hubschlitten bleibt stehen und senkt sich nicht ab	ERFÜLLT ✓
15	Hubpositionen	Endabschaltung oben und unten	beide Endabschalter funktionieren und begrenzen den Hubbereich	ERFÜLLT ✓
16	Konstruktion	ausreichende Dimensionierung mit Sicherheitsreserve	erfolgreicher Hubversuch mit ca. 60 kg	ERFÜLLT ✓
17	Wartung	wartungsfreundlicher Aufbau	sämtliche Bauteile sind verschraubt bzw. so befestigt, dass sie für Wartungsarbeiten mit geringem Aufwand demontiert werden können	ERFÜLLT ✓
18	Herstellung	möglichst einfache Fertigung und Einsatz von Standartteilen	Radlift konnte mit den verfügbaren Fertigungsverfahren hergestellt werden, Wo möglich wurden Standardteile verwendet	ERFÜLLT ✓
19	Kosten	wirtschaftliche Auswahl von Kauf- und Fertigungsteilen	bei Konstruktion wurde auf eine wirtschaftliche Auswahl der Komponenten und den Einsatz handelsüblicher Bauteile geachtet	ERFÜLLT ✓

Tabelle 8: Vergleich Pflichtenheft – Ergebnis

6.2 Zielerreichung

Der Vergleich mit dem Pflichtenheft zeigt, dass die meisten Projektziele erreicht werden konnten. Die elektrische Hubfunktion, die sichere Radaufnahme und die Möglichkeit, das Rad zur Montage auszurichten, funktionieren wie vorgesehen. Die geforderte Montagehöhe von 1200 mm wird mit einer erreichten Höhe von bis zu 1470 mm überschritten. Auch die Hubzeit liegt mit rund 10 Sekunden bei einem etwa 30 kg schweren Rad unter dem vorgesehenen Zielwert von 12 Sekunden. Die Transportfunktion für einen kompletten Radsatz mit vier Rädern konnte ebenfalls erfolgreich umgesetzt werden.

Die Anforderung Akkulaufzeit konnte bisher noch nicht abschliessend durch praktische Tests überprüft werden. Bei der Aufnahme und beim Abladen eines Reifenstapels sowie beim Manövrieren unter engen Platzverhältnissen zeigten sich zudem einzelne Einschränkungen. Die grundsätzlichen Sicherheitsfunktionen wurden überprüft. Eine vollständige sicherheitstechnische Bewertung des Prototyps konnte im Rahmen der Diplomarbeit jedoch nicht durch-

geführt werden. Insgesamt ist es gelungen, einen funktionsfähigen Radlift zu entwickeln und herzustellen, der die beiden Funktionen vereint und die körperlich belastenden Arbeitsschritte beim Radwechsel reduzieren soll.

6.3 Terminplan (SOLL-IST-Vergleich)

Der Ist-Terminplan zeigt den tatsächlichen zeitlichen Ablauf des Projekts und ermöglicht einen Vergleich mit der ursprünglichen Planung. Dabei werden die durchgeführten Arbeiten sowie mögliche zeitliche Abweichungen dargestellt.

Arbeitsschritt	*Zeit SOLL*	*Zeit IST*	*Abweichung und Begründung*
Projektstart, Ausgangslage, Problem-stellung, Zieldefinition, Pflichtenheft, Abgrenzung, Coach Gespräch	15 h	15 h	0 h
Informationssammlung, Marktanalyse und Recherche zu bestehenden technischen Lösungen, Hubsysteme, Spindelantriebe und Motoren	10 h	15 h	+ 5 h umfangreiche Recherche und Komponentenvergleiche
Konzeptentwicklung, Lösungsfindung, Handskizzen Grobkonstruktion im CAD, laufende Dokumentation	30 h	35 h	+ 5 h ursprüngliches Konzept verwor-fen und neue Lösung entwickelt
Detail-Konstruktion der Baugruppen, technische Berechnungen und Auslegung (Spindel, Motor, Festigkeit), laufende Dokumentation	70 h	80 h	+ 10 h hoher konstruktiver Aufwand auf-grund technischer Komplexität
Beschaffung der Komponenten, Fertigungsvorbereitung	20 h	30 h	+ 10 h Verzögerung durch Unsicherhei-ten bei der Komponentenaus-wahl
Fertigung der Einzelteile, Montage, elektrischer Aufbau und Inbetriebnahme des Prototyps	50 h	45 h	- 5 h schnellere Umsetzung dank praktischer Berufserfahrung
Funktionstests, Messungen, Optimierungen und Auswertung	10 h	5 h	- 5 h geringerer Aufwand für Tests und Auswertung als ursprünglich geplant
Dokumentation von Fertigung, Montage, Tests und Ergebnissen	10 h	10 h	- 0 h
Fertigstellung der Diplomarbeit, Reflexion, Schlusswort, Anhänge, Endkontrolle und finale Korrektur	35 h	40 h	+ 5 h unterschätzter Aufwand für Fertigstellung und Endkontrolle
TOTAL	**250 h**	**275 h**	**+ 25 h**

Tabelle 9: Terminplanung SOLL-IST-Vergleich inkl. Abweichungsbegründungen

Der tatsächliche Zeitaufwand ist bei rund 275 Stunden und liegt damit 25 Stunden über der Planung. Der Mehraufwand entstand hauptsächlich bei der Entwicklung und Konstruktion, der Beschaffung sowie der Fertigstellung der Diplomarbeit.

6.4 Optimierungsvarianten

Die praktischen Versuche haben gezeigt, dass der Radlift seine vorgesehenen Hauptfunktionen erfüllt. Dennoch wurden einige Möglichkeiten festgestellt, wie das Gerät bei einer Weiterentwicklung verbessert werden könnte.

- Bei den Greifgabeln könnte die Geometrie angepasst werden, damit sich der Reifenstapel mit weniger Kraft aufnehmen lässt. Um das Abladen zu erleichtern, wäre zusätzlich ein Hebelmechanismus am Grundgestell denkbar. Mit diesem könnte der Reifenstapel beim Betätigen des Hebels nach vorne aus den Greifgabeln geschoben werden, sodass der Radlift anschliessend einfacher vom Stapel entfernt werden kann.
- Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit wäre, die Gleitplatten des Hubschlittens durch Rollen zu ersetzen. Dadurch könnte die Reibung bei der Hubbewegung verringert werden.
- Auch bei der Not-Halt-Funktion wäre eine Optimierung denkbar. Der aktuell verwendete Not-Halt-Taster unterbricht lediglich den Steuerstromkreis. Durch den Einbau eines geeigneten Tasters könnte bei einer Betätigung zusätzlich die Spannungsversorgung des Antriebs abgeschaltet werden.
- Als letzte Option zur Verbesserung des Radlifts wäre die Möglichkeit zur kontrollierten manuellen Absenkung bei einem Stromausfall. Dadurch könnte ein angehobenes Fahrzeugrad bei fehlender Stromversorgung wieder abgesenkt werden, ohne es von Hand von der Radaufnahme heben zu müssen.

Mit diesen Anpassungen könnte der Radlift bei einer späteren Weiterentwicklung noch verbessert werden. Sie bieten mögliche Ansätze für eine spätere Weiterentwicklung des bestehenden Prototyps.

6.5 Reflexion

Die Entwicklung, Konstruktion und die Fertigung des Radlifts waren für mich eine sehr interessante, aber auch anspruchsvolle Erfahrung. Es freut mich, dass ich meine ursprüngliche Idee in einen funktionierenden Prototyp umsetzen konnte. Bei den praktischen Tests zeigte sich, dass sowohl das elektrische Anheben und Positionieren eines Fahrzeugrades als auch der Transport eines kompletten Radsatzes funktionieren. Natürlich gibt es noch einige Punkte, die verbessert werden könnten, trotzdem bin ich mit dem erreichten Ergebnis zufrieden.

Die Diplomarbeit hat mir im Grossen und Ganzen viel Spass gemacht, auch wenn ich den Aufwand zu Beginn etwas unterschätzt habe. Da ich zuvor noch nie ein Projekt in diesem Umfang selbstständig durchgeführt hatte, war ich zwischendurch auch etwas überfordert. Besonders die vielen unterschiedlichen Aufgaben, von der Konstruktion über die technischen Berechnungen bis hin zur Fertigung und der elektrischen Steuerung, waren teilweise herausfordernder und zeitaufwendiger als erwartet. Durch die Komplexität der Aufgaben ent-

standen Situationen, welche neu beurteilt werden mussten und einen anderen Lösungsweg erforderten.

Am meisten Freude bereitete mir die praktische Arbeit in der Werkstatt. Es war motivierend zu sehen, wie aus den ersten Ideen und CAD-Zeichnungen nach und nach ein fertiges Gerät entstand. Besonders der Moment, als der Radlift zum ersten Mal funktionierte, war für mich ein Erfolgserlebnis. Rückblickend würde ich bei einem zukünftigen Projekt vor allem die Zeitplanung anders angehen. Einige Arbeiten benötigten deutlich mehr Zeit als ursprünglich vorgesehen, wodurch es gegen Ende etwas stressig wurde. Ich habe daraus gelernt, dass es wichtig ist, genügend Zeitreserven einzuplanen und mögliche Herausforderungen frühzeitig zu erkennen.

Insgesamt konnte ich während dieser Diplomarbeit viele neue Erfahrungen sammeln und mein technisches Wissen erweitern. Auch wenn nicht immer alles auf Anhieb funktionierte und ich teilweise stark herausgefordert wurde, habe ich viel dazugelernt und kann diese Erfahrungen bei zukünftigen Projekten nutzen.

7 Schlusswort und Verdankungen

Mit dem Abschluss dieser Diplomarbeit ist aus einer anfänglichen Idee während einer Kaffeepause in der Autowerkstatt ein funktionsfähiger Radlift entstanden, der uns die tägliche Arbeit etwas erleichtern soll. Auch wenn noch Verbesserungspotenzial besteht, bin ich stolz auf das erreichte Ergebnis und freue mich, dass ich meine Idee mit dem Prototyp in die Praxis umsetzen konnte.

An dieser Stelle bedanke ich mich bei meinem Coach für die fachliche Begleitung und die hilfreichen Rückmeldungen während der Diplomarbeit.

Ein weiterer Dank gilt meiner Familie, die mich in dieser Zeit auf unterschiedliche Weise unterstützt hat. Sei es durch technische Hilfe bei der Umsetzung, beim Durchlesen und Korrigieren der Diplomarbeit oder durch die moralische Unterstützung in den etwas herausfordernden Phasen.

Abschliessend blicke ich auf eine intensive und lehrreiche Zeit zurück. Auch wenn mich dieses Projekt teilweise vor komplexe Herausforderungen gestellt hat, bin ich froh, meine Idee entwickelt, konstruiert und schliesslich auch gebaut zu haben. Nun freue ich mich darauf, dass sich meine Freizeit wieder etwas weniger um den Lift2Go dreht.

8 KI-Kommentar

Bei der Erstellung der Diplomarbeit kam KI als ergänzendes Hilfsmittel zum Einsatz. Die KI unterstützte hauptsächlich bei der Gliederung und Strukturierung der Dokumentation sowie bei der Überprüfung des inhaltlichen Aufbaus und der Verständlichkeit einzelner Textabschnitte. Ausserdem wurde KI für Fragen zur Formatierung und Darstellung in Word genutzt. KI diente dabei als unterstützendes Werkzeug bei einzelnen Fragestellungen. Die inhaltliche Ausarbeitung der Diplomarbeit sowie die Entwicklung des Radlifts, die Konstruktion, die Auswahl der Komponenten und die Fertigung und Überprüfung des Prototyps erfolgten eigenständig. Die technischen Entscheidungen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse beruhen auf meiner eigenen Arbeit.

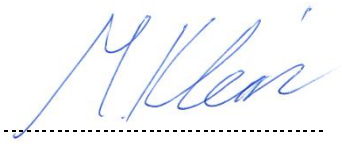
9 Klassifizierung und Eigenständigkeitserklärung

Meine Diplomarbeit ist privat und darf innerhalb der TEKO verwendet werden. Eine Veröffentlichung ist nur mit meiner schriftlichen Einwilligung gestattet. Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und nur unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst habe. Die Verwendung von KI habe ich gemäss den Vorgaben im Kapitel 8 offengelegt.

Ort, Datum

Saland, 22. Oktober 2026

Michel Klein



Unterschrift des Studierenden

10 Quellen- und Literaturverzeichnis

DigiKey Germany GmbH. (09. 10 2026). *DigiKey Scheme It*. Abgerufen am 09. 10 2026 von DigiKey Scheme It: https://www.digikey.com/en/schemeit/project/radlift-schema-f3c4165dafad45f68efa3df07c5065e8/96d62064ce9f4e25a9fed38c38db811b

Fruugo.com Limited. (11. 10 2026). *Fruugo.com Limited, Heimwerkerbedarf, Werkzeugzubehör, Elektrowerkzeug-Akkus*. Abgerufen am 11. 10 2026 von Fruugo.com Limited, Heimwerkerbedarf, Werkzeugzubehör, Elektrowerkzeug-Akkus: https://www.fruugoschweiz.com/24v-30ah-7s3p-akku-30000mah-elektrofahrrad-li-ionen-akku-pack-ladegerat/p-382721507-824270184?language=de

JS-Technik GmbH. (13. 10 2026). *JS-Technik GmbH, Produkte, Zubehör Elektromotoren, Federdruckbremse*. Abgerufen am 13. 10 2026 von JS-Technik GmbH, Produkte, Zubehör Elektromotoren, Federdruckbremse: https://www.js-technik.ch/federdruckbremse-k01/K01-2201-11-24V-DC

Mädler Norm-Antrieb AG, Kugelgewindespindel. (11. 10 2026). *Mädler Norm-Antrieb AG.* Abgerufen am 11. 10 2026 von Mädler Norm-Antrieb AG: https://smarthost.maedler.de/datenblaetter/K43_526.pdf

Mädler Norm-Antrieb AG, Trapezgewinde. (11. 10 2026). *Mädler Norm-Antrieb AG.* Abgerufen am 11. 10 2026 von Mädler Norm-Antrieb AG: https://smarthost.maedler.de/datenblaetter/trapezgewinde.pdf

Mädler Norm-Antrieb AG, Winkelgetriebe. (18. 10 2026). *Mädler Norm-Antrieb AG, Produkte, Getriebe und Getriebemotoren, Kegelradgetriebe, Miniatur-Kegelradgetriebe*. Abgerufen am 18. 10 2026 von Mädler Norm-Antrieb AG, Produkte, Getriebe und Getriebemotoren, Kegelradgetriebe, Miniatur-Kegelradgetriebe: https://www.maedler.ch/product/1643/1331/1337/3136/miniatur-kegelradgetriebe-mku-bauart-h-i31

reichelt elektronik GmbH, DC-Motor. (11. 10 2026). *reichelt elektronik GmbH, Bauelemente, Automationstechnik, Robotik, Bausätze, Module, Robotik, Elektrische Antriebe, DC-Motoren*. Abgerufen am 11. 10 2026 von reichelt elektronik GmbH, Bauelemente, Automationstechnik, Robotik, Bausätze, Module, Robotik, Elektrische Antriebe, DC-Motoren: https://www.reichelt.com/ch/de/shop/produkt/dc-motor_buerstenlos_24_v_188_w_60_ncm-271496

reichelt elektronik GmbH, Treiber. (11. 10 2026). *reichelt elektronik GmbH, Bauelemente, Automationstechnik, Robotik, Bausätze, Module, Robotik, Elektrische Antriebe, Schrittmotoren, Treiber / Controller*. Abgerufen am 11. 10 2026 von reichelt elektronik

GmbH, Bauelemente, Automationstechnik, Robotik, Bausätze, Module, Robotik, Elektrische Antriebe, Schrittmotoren, Treiber / Controller: https://www.reichelt.com/ch/de/shop/produkt/treiber_fuer_bldc-motoren-323255#closemodal

Spura, C., Fleischer, B., Wittel, H., & Jannasch, D. (2023). *Roloff/Matek Maschinenelemente.* Wiesbaden: Springer Vieweg.

Suva, EN 60204-1. (11. 10 2026). *Suva, Downloads, Sicherheit von Maschinen - Das Wichtigste zur elektrischen Ausrüstung von Maschinen EN 60204-1.* Abgerufen am 10. 11 2026 von Suva, Downloads, Sicherheit von Maschinen - Das Wichtigste zur elektrischen Ausrüstung von Maschinen EN 60204-1: https://www.suva.ch/de-ch/download/factsheets/sicherheit-von-maschinen---das-wichtigste-zur-elektrischen-ausruestung-von-maschinen/sicherheit-von-maschinen---das-wichtigste-zur-elektrischen-ausruestung-von-maschinen--ce16-1.d

Suva, EN ISO 12100. (11. 10 2026). *Suva, Downloads, Sicherheit von Maschinen - Das Wichtigste zur Risikobeurteilung. Überblick über den Inhalt der EN ISO 12100.* Abgerufen am 11. 10 2026 von Suva, Downloads, Sicherheit von Maschinen - Das Wichtigste zur Risikobeurteilung. Überblick über den Inhalt der EN ISO 12100: https://www.suva.ch/de-ch/download/dokument/sicherheit-von-maschinen-br-das-wichtigste-zur-risikobeurteilung-br-ueberblick-ueber-den-inhalt-der-en-iso-12100/--ce15-1.d

Vehicle Service Group, BlitzRotary GmbH. (30. 09 2026). *Rotary Solutions, Product, Wheel Service*. Abgerufen am 30. 09 2026 von Rotary Solutions, Product, Wheel Service: https://rotarysolutions.eu/en/products/wheel-service-en/wheel-assembly-trolley-en/mobile-wheel-carriage-mw80/

Winntec, Techno Marketing Group. (30. 09 2026). *Winntec, Products, Wheel Handling Equipment*. Abgerufen am 30. 09 2026 von Winntec, Products, Wheel Handling Equipment: https://winntec.net/product/y471147hd-classic-smart-cart/

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Logo "Lift2Go" (mit ChatGPT erstellt) 1
Abbildung 2: Titelbild "Lift2Go" (eigenes Foto) 1
Abbildung 3: Konstruktive Grundidee des Radlifts (eigene Skizze) 18
Abbildung 4: Transportfunktion Variante 1 mit Fusspedal (eigene CAD-Darstellung) 19
Abbildung 5: Transportfunktion Variante 2 mit Hebel (eigene CAD-Darstellung) 19
Abbildung 6: Transportfunktion Variante 3 mit Zug-federn (eigene CAD-Darstellung) 20
Abbildung 7: Berechnung Gewichtskraft 23
Abbildung 8: Berechnung Spindeldrehzahl 24
Abbildung 9: Berechnung Steigungswinkel, Wirkungsgrad und Spindeldrehmoment 25
Abbildung 10: Berechnung Drehzahl Getriebeausgang 28
Abbildung 11: Berechnung Drehmoment Getriebeausgang 28
Abbildung 12: Gesamtansicht des Radlifts (eigene CAD-Darstellung) 30
Abbildung 13: Aufbau der Führungssäule mit Hubschlitten und Gleitführung (eigene CAD-Darstellung) 31
Abbildung 14: Berechnung Kippmoment nach vorne 32
Abbildung 15: Berechnung Kippmoment seitlich 33
Abbildung 16: Berechnung Gleitreibung ohne Schmierung 33
Abbildung 17: Berechnung Gleitreibung mit Schmierung 34
Abbildung 18: Aufbau der Radaufnahme und Rollen (eigene CAD-Darstellung) 35
Abbildung 19: Klappmechanismus der Radaufnahme in hochgeschwenkter Stellung (eigene CAD-Darstellung) 36
Abbildung 20: Grundgestell und Fahrwerk des Radlifts (eigene CAD-Darstellung) 37
Abbildung 21: Berechnung Kippgrenze (Radlift ohne zusätzliche Belastung) 38
Abbildung 22: Berechnung Kippgrenze (mit Rad auf Radaufnahme) 38
Abbildung 23: Berechnung Kippgrenze (Transport von vier Kompletträdern) 38
Abbildung 24: Transportaufnahme mit schwenkbaren Greifgabeln (eigene CAD-Darstellung) 39
Abbildung 25: Konstruktive Anordnung der Antriebskomponenten (eigene CAD-Darstellung) 40
Abbildung 26: Anordnung von Motor, Winkelgetriebe und Kupplung (eigene CAD-Darstellung) 41
Abbildung 27: Untere Führung der Hubspindel im Bereich des Winkelgetriebes (eigene CAD-Darstellung) 42
Abbildung 28: Berechnung Überprüfung Haltemoment 42
Abbildung 29: BLDC-Motor (reichelt elektronik GmbH, DC-Motor, 2026) 44
Abbildung 30: Motortreiber BLDC-8015A (reichelt elektronik GmbH, Treiber, 2026) 44

Abbildung 31: Verstärkungsplatte an der Führungssäule, Ansicht hinten (links) und vorne (rechts) (eigenes Foto) 51
Abbildung 32: Hubschlitten mit Spindelmutter (links) und eingesetzter Spindel (rechts) (eigene Fotos) 52
Abbildung 33: Halteplatte für Winkelgetriebe unten (eigenes Foto) 52
Abbildung 34: Halteplatte mit Festlager für Spindelbefestigung oben (eigenes Foto) 53
Abbildung 35: steckbare Radaufnahme mit Sicherungssplint (eigene Fotos) 54
Abbildung 36: Angeschweisste Verlänger-ung am Grundgestell für Gelenk der Greifgabel (eigenes Foto) 54
Abbildung 37: Hilfskonstruktion zur Ausrichtung der Gelenkpunkte (eigenes Foto) 55
Abbildung 38: Anpassung Greifgabel während Fertigung (links) und fertig geschweisste Greifgabel mit Verstärkungsstrebe (rechts) (eigene Fotos) 55
Abbildung 39: Führungs- und Lenkrolle (eigenes Foto) 56
Abbildung 40: Zugfeder für automatische Greifgabelspannung (eigenes Foto) 56
Abbildung 41: Montage von Winkelgetriebe und Kupplung im Grundgestell (eigenes Foto) 58
Abbildung 42: Verkabelung Relais und Motortreiber (eigenes Foto) 59
Abbildung 43: fertiger Radlift «Lift2Go» (eigene Fotos) 60
Abbildung 44: Berechnung theoretische Akkuenergie 64
Abbildung 45: Berechnung nutzbare Akkuenergie 64
Abbildung 46: Berechnung Energieverbrauch beim Heben/Senken 65
Abbildung 47: Berechnung Energie pro Hubzyklus 65
Abbildung 48: Berechnung theoretisch mögliche Hubzyklen 65

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Pflichtenheft 11
Tabelle 2: Terminplan SOLL 13
Tabelle 3: Risikomatrix der Projektrisiken 14
Tabelle 4: Präferenzmatrix zur Gewichtung der Auswahlkriterien 21
Tabelle 5: Nutzwertanalyse der untersuchten Hubsysteme 21
Tabelle 6: Vergleich der untersuchten Hubspindeln 25
Tabelle 7: Nutzwertanalyse zur Auswahl der Hubspindel 26
Tabelle 8: Vergleich Pflichtenheft – Ergebnis 68
Tabelle 9: Terminplanung SOLL-IST-Vergleich inkl. Abweichungsbegründungen 69

13 Anhang

13.1 Teilestückliste

Grundgerüst

Z-Nr.	*Anzahl*	*Teil*	*Material / Typ*	*Lieferant*	*Kosten*
1	1	Rechteckrohr (Führungs-säule)	S235JR, 100x80x3 mm	Schefer-Metall	CHF 40.00
2	1	Gehäuse (Grundgestell)	S235JR	Schefer-Metall	CHF 38.00
3	1	Trapezstütze	S235JR	Schefer-Metall	CHF 9.00
4	2	Seitenplatte	S235JR	Schefer-Metall	CHF 18.00
5	1	Motorhalter	S235JR	Schefer-Metall	CHF 3.00
6	1	Gehäuse Abdeckung	Aluminium 1 mm	Werkstattlager	CHF 5.00
7	2	Rad	260 mm Luftrad	Hostettler Auto-technik	CHF 32.80
8	2	Achsbock	20 mm	FTA AG	CHF 47.84
9	1	Radachse	20x1105 mm	FTA AG	CHF 35.20
10	2	Stellring Achse	20 mm	FTA AG	CHF 9.44
11	4	Zylinderschraube	M8x20	Werkstattlager	CHF 0.80
12	4	Mutter	M8	Werkstattlager	CHF 0.80
Total Kosten Grundgerüst					**CHF 239.88**

Lift-Antrieb

Z-Nr.	*Anzahl*	*Teil*	*Material / Typ*	*Lieferant*	*Kosten*
13	1	Trapezspindel	TR20x8P4 C15 L = 1500 mm	Mädler	CHF 504.05
14	1	Flanschmutter	20x8 Rotguss RG7	Mädler	CHF 90.65
15	1	Winkelgetriebe	Übersetzung 3:1	Mädler	CHF 436.20
16	1	Festlager	FK12	Mädler	CHF 84.90
17	1	Federdruckbremse	Temporiti K01, 24 V DC, 4.5 Nm	JS-Technik	CHF 211.93
18	1	Halteplatte Festlager	S235JR	Schefer-Metall	CHF 5.00
19	1	Bremsplatte Federdruck-bremse	S235JR	Schefer-Metall	CHF 5.00
20	1	Halteplatte Winkelge-triebe	S235JR	Schefer-Metall	CHF 5.00
21	1	BLDC-Motor	ACT Motor 57BLF03, 24 V, 188 W	Reichelt Elektro-nik	CHF 58.98
22	1	BLDC-Motortreiber	BLDC-8015A	Reichelt Elektro-nik	CHF 43.28
23	1	24 V Akku	24 V 30 Ah Li-Ionen	Fruugo.com	CHF 79.00
24	1	Kupplung	Elastomer Klauen-kupplung	Hanser	CHF 97.29
25	2	Passfeder	3x3x20 mm 4x4x16 mm	Hanser	CHF 1.00
26	8	Zylinderschraube	M4	Werkstattlager	CHF 0.80
27	4	Zylinderschraube	M5	Werkstattlager	CHF 0.40
28	12	Sechskantschraube	M6	Werkstattlager	CHF 1.20
29	4	U-Scheibe	M6	Werkstattlager	CHF 0.40
30	8	Mutter	M6	Werkstattlager	CHF 0.80
31	4	Distanzhülse	M6	Werkstattlager	CHF 1.00
Total Kosten Lift-Antrieb					**CHF 1'626.88**

Hubschlitten und Radaufnahme

Z-Nr.	Anzahl	Teil	Material / Typ	Lieferant	Kosten
32	3	Hubschlittenplatte	S235JR	Schefer-Metall	CHF 6.00
33	1	Hubschlittenplatte vorne	S235JR	Schefer-Metall	CHF 7.00
34	1	Hubschlittenverstärkung	S235JR 260x20x5 mm	Schefer-Metall	CHF 3.00
35	1	Hubschlitten-An-schraubplatte	S235JR 200x50x10 mm	Schefer-Metall	CHF 10.00
36	2	Gleitplatte	POM-C	AliExpress	CHF 68.68
37	4	Gleitlager	Iglidur J	Igus	CHF 39.39
38	2	Radaufnahmerolle, Alu-Rundrohr	Aluminium 25 mm	Hornbach	CHF 12.50
39	2	Winkelprofil	Stahl 30x30x100 mm	Hornbach	CHF 11.60
40	1	Rechteckrohr	1000x20x30 mm	Hornbach	CHF 12.70
41	8	Zylinderschraube	M6x25	Werkstattlager	CHF 0.80
42	8	Zylinderschraube	M6x20	Werkstattlager	CHF 0.80
43	2	Sechskantschraube	M10x20	Werkstattlager	CHF 0.40
44	2	Mutter	M10	Werkstattlager	CHF 0.40
45	14	Sicherungsmutter	M6	Werkstattlager	CHF 1.40
46	18	U-Scheibe	M6	Werkstattlager	CHF 1.80
Total Kosten Hubschlitten und Radaufnahme					**CHF 176.47**

Transportaufnahme

Z-Nr.	Anzahl	Teil	Material / Typ	Lieferant	Kosten
47	4	Flachstange	S235JR 560x50x5 mm	Schefer-Metall	CHF 64.00
48	1	Flachstange	S235JR 1000x20x5 mm	Schefer-Metall	CHF 10.00
49	2	Lenkrolle	Tragkraft 100 kg	FTA AG	CHF 47.84
50	2	Führungsrolle	GN22870	Hanser	CHF 5.50
51	2	Zugfeder	100 mm	Werkstattlager	CHF 5.00
52	4	Schrauben	M10x30	Werkstattlager	CHF 0.80
53	4	Sicherungsmutter	M10	Werkstattlager	CHF 0.80
54	2	Zylinderschraube	M8x20	Werkstattlager	CHF 0.20
55	2	Mutter	M8	Werkstattlager	CHF 0.20
56	2	Zylinderschraube	M6x20	Werkstattlager	CHF 0.20
Total Kosten Transportaufnahme					**CHF 134.54**

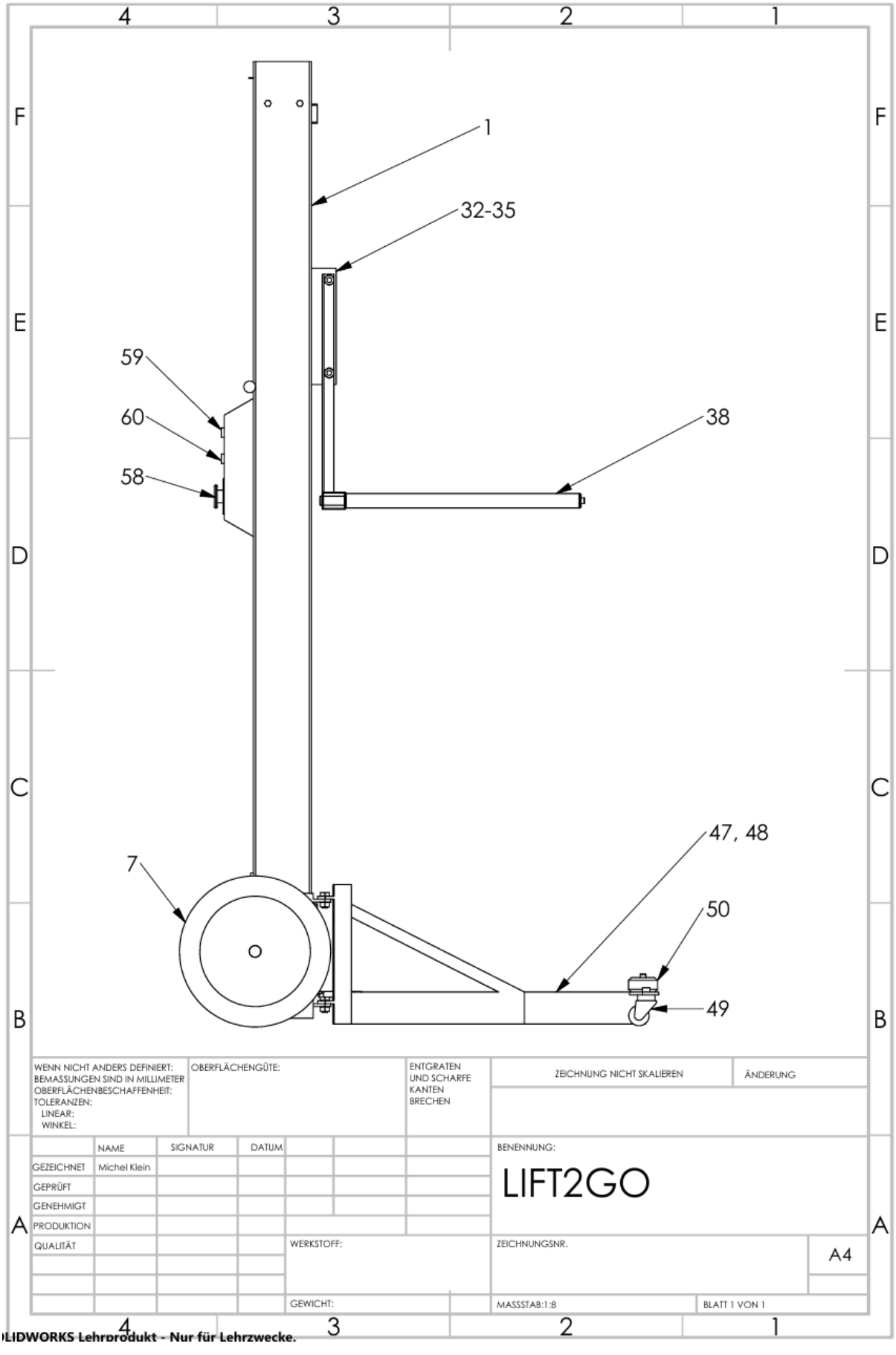
Elektrik und Steuerung

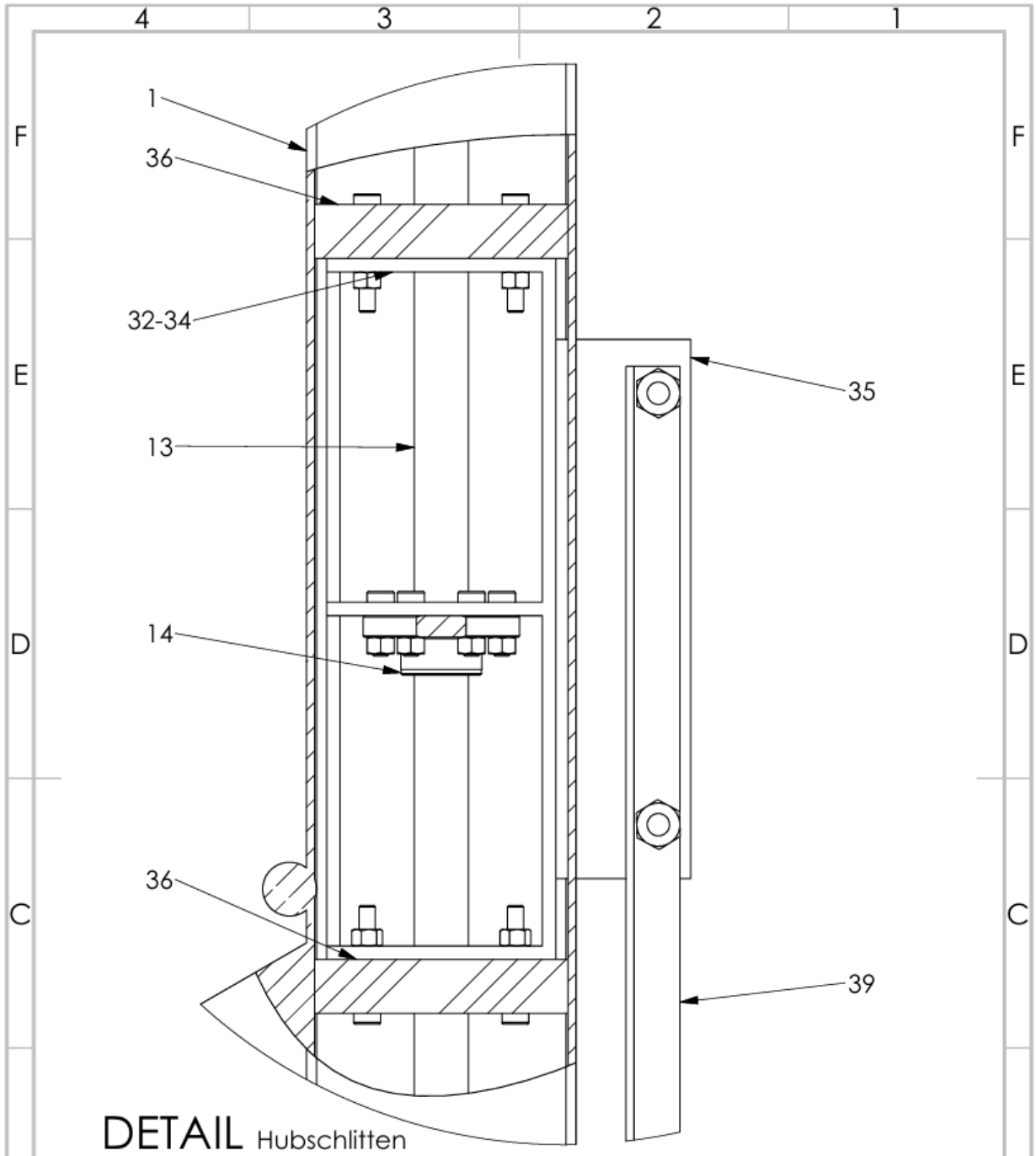
Z-Nr.	Anzahl	Teil	Material / Typ	Lieferant	Kosten
57	1	Akku mit Ladegerät	Li-Ion, 24 V, 30 Ah	Fruugo	CHF 79.00
58	1	Not-Halt-Schalter	Ausschaltfunktion	AliExpress	CHF 4.39
59	1	Drucktaster AUF	Tastfunktion	AliExpress	CHF 3.37
60	1	Drucktaster AB	Tastfunktion	AliExpress	CHF 3.37
61	1	Endschalter oben	Endposition	AliExpress	CHF 3.55
62	1	Endschalter unten	Endposition	AliExpress	CHF 3.55
63	5	Relais	24 V DC	Privatbestand	CHF 50.00
64	1	Sicherung	30 A	Werkstattlager	CHF 2.50
65	5	Elektrokabel	6 mm²	Werkstattlager	CHF 1.00
66	20	Stecker / Klemmen / Kabelschuhe		Werkstattlager	CHF 10.00
67	1	Kabelschutz / Kabelkanal	Kunststoff	Privatbestand	CHF 10.00
Total Kosten Elektrik und Steuerung					**CHF 170.73**

Kostenzusammenstellung

Kostenart	*Betrag*	
Grundgerüst	CHF	239.88
Lift-Antrieb	CHF	1'626.88
Hubschlitten und Radaufnahme	CHF	176.47
Transportaufnahme	CHF	134.54
Elektrik und Steuerung	CHF	170.73
Abzug doppelt aufgeführter Akku	*CHF*	*- 79.00*
Werkstattlager / Privatbestand	CHF	97.50
Neubeschaffungen	CHF	2'172.00
Gesamtkosten	**CHF**	**2'269.50**

13.2 CAD-Zeichnungen



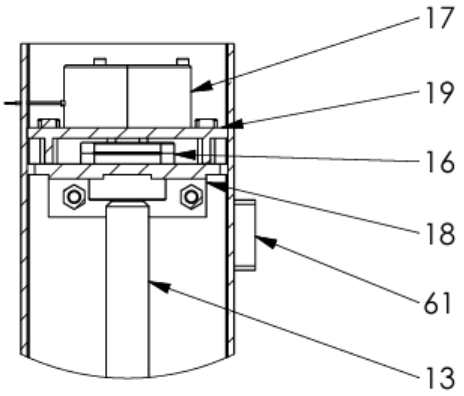


DETAIL Hubschlitten

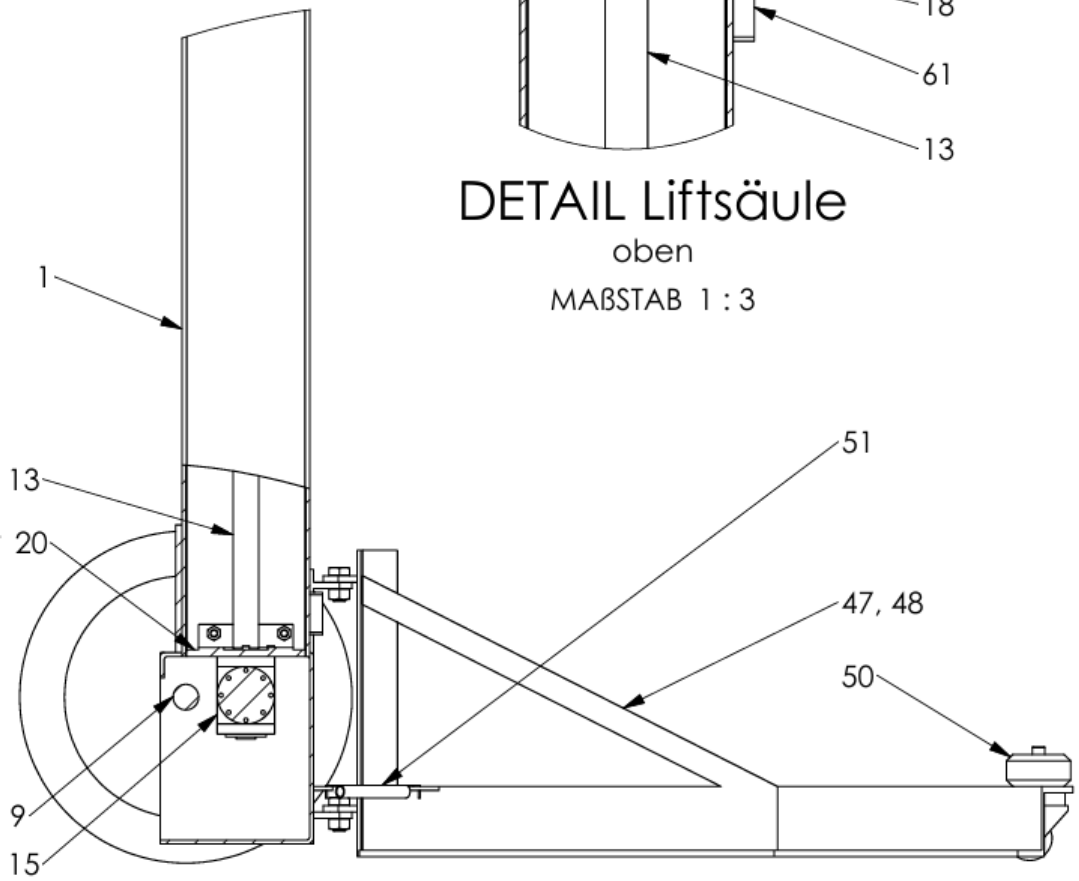
MAßSTAB 1 : 2

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:	OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN	ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN	ÄNDERUNG	
	NAME	SIGNATUR	DATUM	BENENNUNG:		
GEZEICHNET	Michel Klein					
GEPRÜFT						
GENEHMIGT						
PRODUKTION						
QUALITÄT				WERKSTOFF:	ZEICHNUNGSNR. LIFT2GO	A4
				GEWICHT:	MASSSTAB 1:2	BLATT 1 VON 1

SOLIDWORKS Lehrprodukt - Nur für Lehrzwecke.



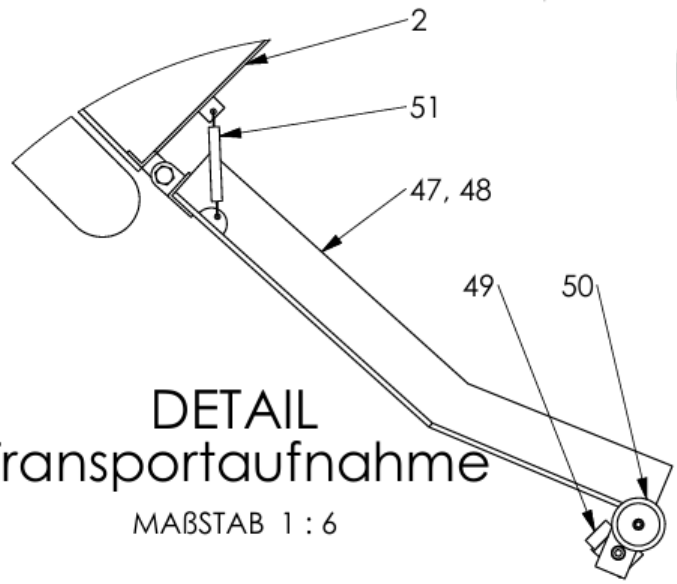
DETAIL Liftsäule
oben
MAßSTAB 1 : 3



DETAIL Unterer Teil Radlift
MAßSTAB 1 : 5

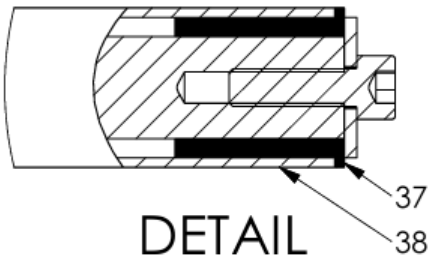
WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:	OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN	ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN	ÄNDERUNG		
	NAME	SIGNATUR	DATUM			BENENNUNG:	
GEZEICHNET	Michel Klein						
GEPRÜFT							
GENEHMIGT							
PRODUKTION							
QUALITÄT				WERKSTOFF:		ZEICHNUNGSNR. LIFT2Go	A4
				GEWICHT:		BLATT 1 VON 1	

SOLIDWORKS Lehrprodukt - Nur für Lehrzwecke.



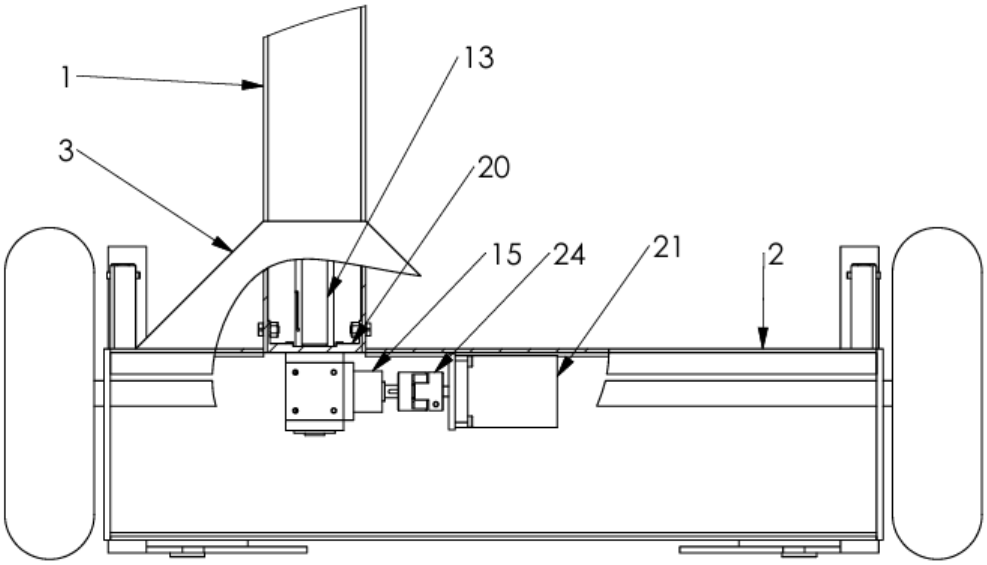
DETAIL
Transportaufnahme

MAßSTAB 1 : 6



DETAIL
Radaufnahme
unten

MAßSTAB 1 : 1



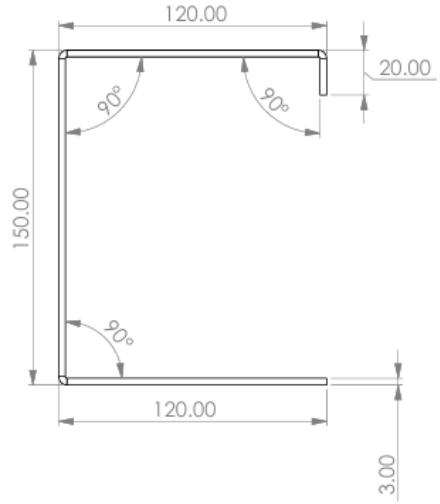
DETAIL Radlift unten

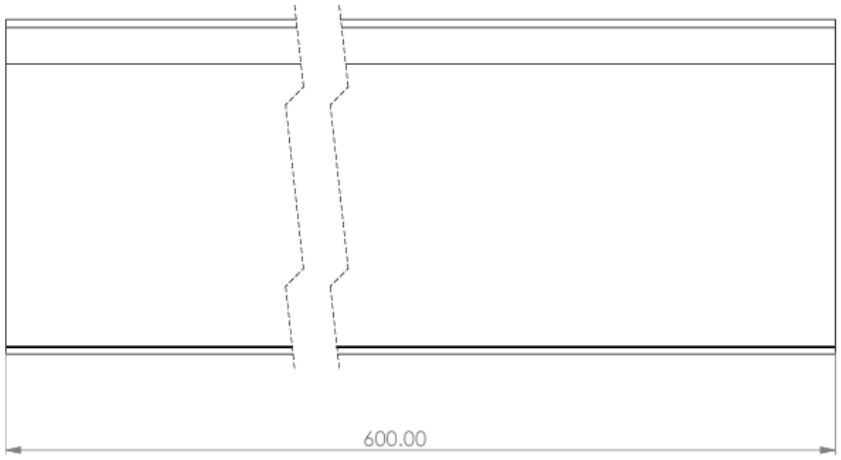
Ansicht von hinten

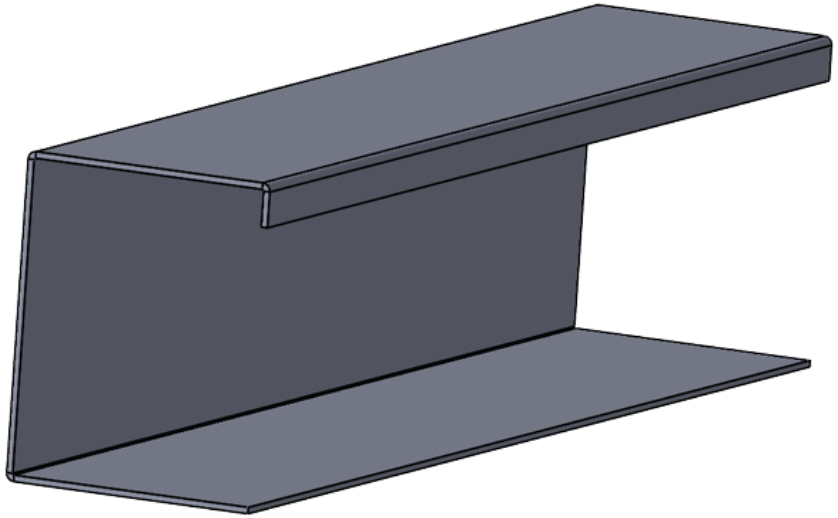
MAßSTAB 1 : 5

WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:	OBERFLÄCHENGÜTE:		ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN	ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN	ÄNDERUNG	
	NAME	SIGNATUR	DATUM	BENENNUNG:		
GEZEICHNET	Michel Klein					
GEPRÜFT						
GENEHMIGT						
PRODUKTION						
QUALITÄT				WERKSTOFF:	ZEICHNUNGSNR. LIFT2GO	A4
				GEWICHT:		BLATT 1 VON 1

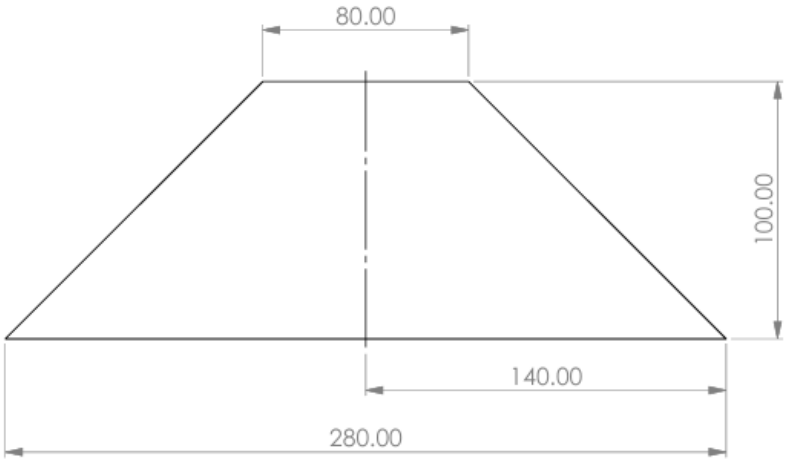
LIDWORKS Lehrprodukt - Nur für Lehrzwecke.

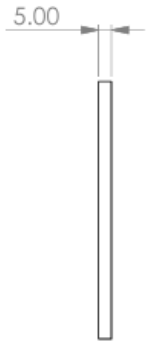


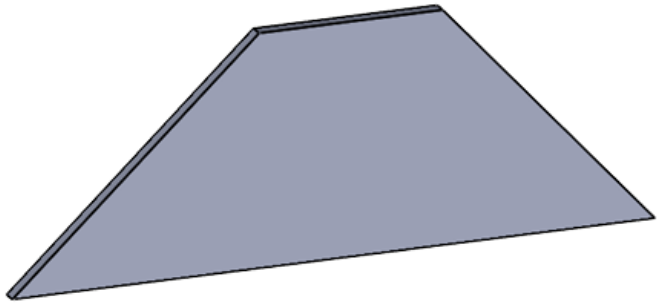




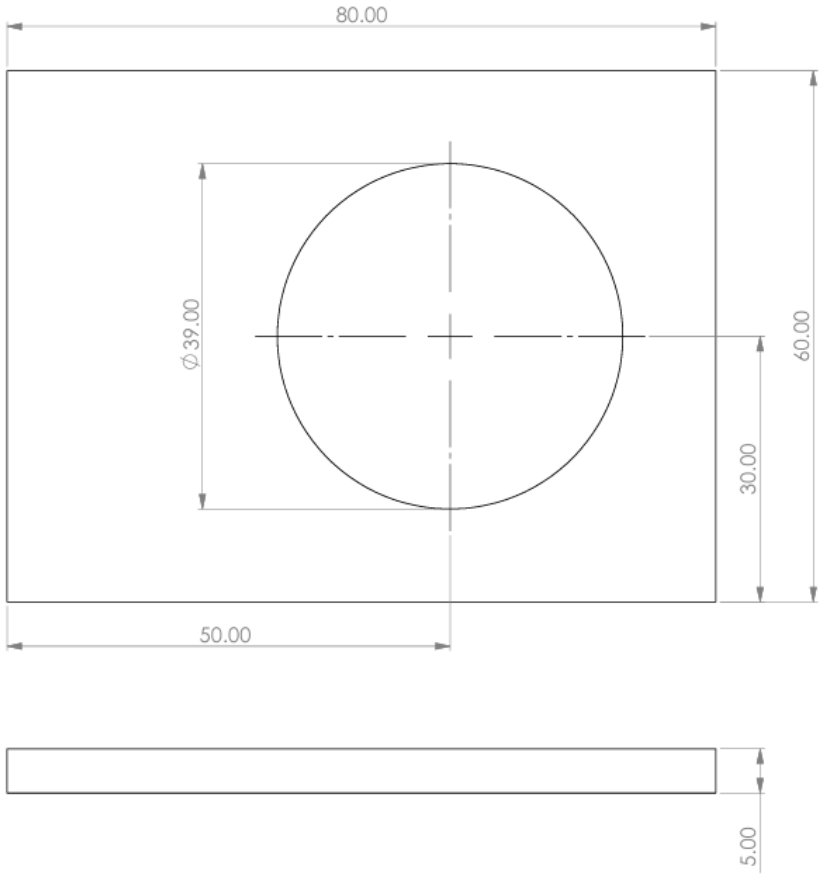
WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:		OBERFLÄCHENGÜTE:				ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN	ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN / ÄNDERUNG
	NAME	SIGNATUR	DATUM				BENENNUNG: Gehäuse
GEZEICHNET	M. Klein		15.09.2026				
GEPRÜFT							
GENEHMIGT							
PRODUKTION							
QUALITÄT				WERKSTOFF:			ZEICHNUNGSNR.: A3
				GEWICHT:		MASSSTAB:1:2	BLATT 1 VON 1

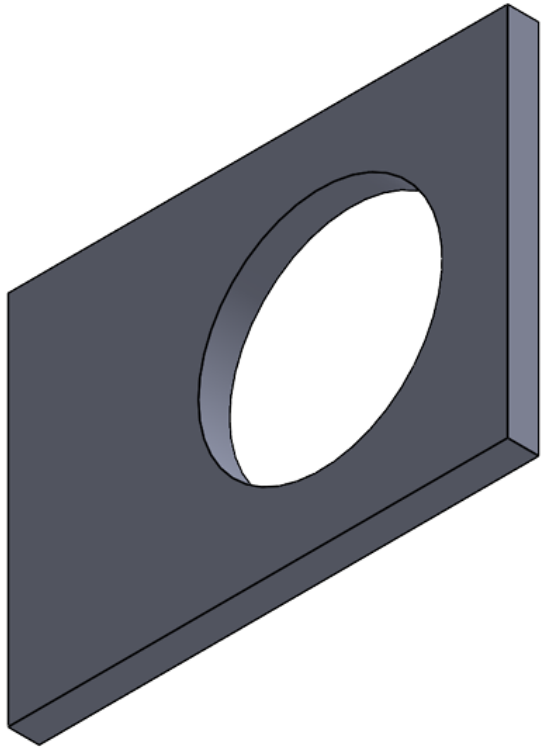






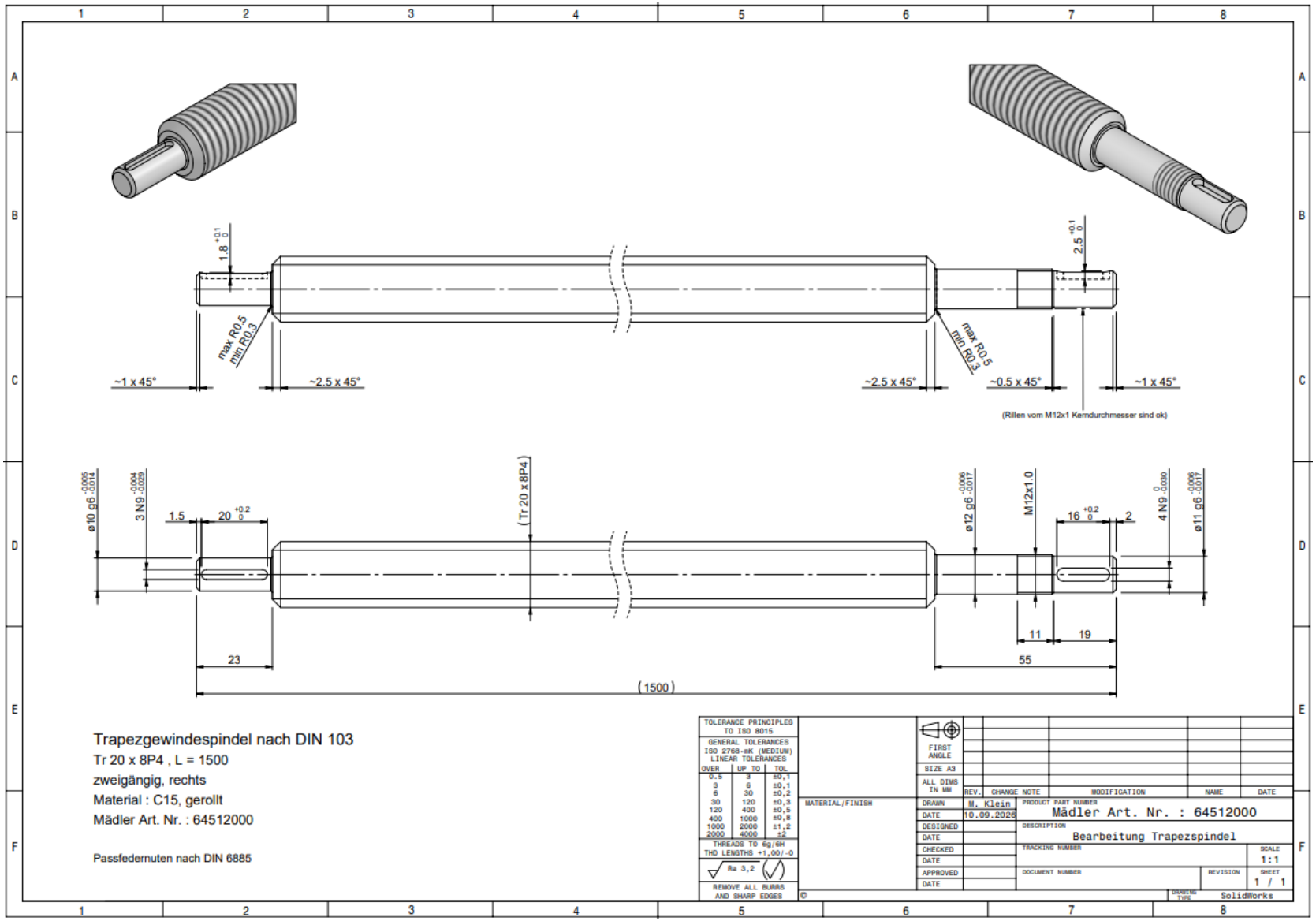
WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:		OBERFLÄCHENGÜTE:			ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN	ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN	ÄNDERUNG
	NAME	SIGNATUR	DATUM			BENENNUNG: Trapezstütze	
GEZEICHNET							
GEPRÜFT							
GENEHMIGT							
PRODUKTION							
QUALITÄT				WERKSTOFF:		ZEICHNUNGSNR.	A3
				GEWICHT:		MASSSTAB:1:2	BLATT 1 VON 1





WENN NICHT ANDERS DEFINIERT: BEMASSUNGEN SIND IN MILLIMETER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT: TOLERANZEN: LINEAR: WINKEL:		OBERFLÄCHENGÜTE:			ENTGRATEN UND SCHARFE KANTEN BRECHEN	ZEICHNUNG NICHT SKALIEREN	ÄNDERUNG
	NAME	SIGNATUR	DATUM			BENENNUNG:	
GEZEICHNET							
GEPRÜFT							
GENEHMIGT							
PRODUKTION							
QUALITÄT				WERKSTOFF:		ZEICHNUNGSNR. Motorhalter	A3
				GEWICHT:		MASSSTAB:2:1	BLATT 1 VON 1

13.3 Detailzeichnung Trapezspindel



13.4 Übersicht Spindelvarianten

Trapezgewindespindeln

Katalog: https://blaetterkatalog.maedler.de/blaetterkatalog/#page_510

Erforderliche Parameter	Bewegte Masse	m	kg	40
	Hubweg	H	mm	1200
	Hubzeit min	tmin	sec	12
	Hubzeit max	tmax	sec	20
	Reibwert (Stahl / Rotguss , trocken)	μ	1	0.20
	Trapezgewinde Flankenwinkel (30°)	β	°	15

				zweigängig				eingängig					
Katalogdaten	**Gewinde**			TR 16 x 8 P4	TR 20 x 8 P4	TR 24 x 10 P5	TR 30 x 12 P6	TR 18 x 4	TR 20 x 4	TR 24 x 5	TR 28 x 5	TR 30 x 6	TR 32 x 6
	Steigung	P	mm	8	8	10	12	4	4	5	5	6	6
	Flanken-ø min	FDmin	mm	13.640	17.640	21.094	26.547	15.640	17.640	21.094	25.094	26.547	28.547
	Flanken-ø max	FDmax	mm	13.905	17.905	21.394	26.882	15.905	17.905	21.394	25.390	26.882	28.882
	Drehzahl max, bei 1200mm freier Länge ?	Umax	min^{-1}	800	1000	1200	1500	750	1000	1200	1400	1500	1500
Basisberechnung	Drehzahl min (bei max Hubzeit) (rot = **nicht** zulässig)	Umin	min^{-1}	450	450	360	300	900	900	720	720	600	600
	Drehzahl max (bei min Hubzeit) (rot = **nicht** zulässig)	Umax	min^{-1}	750	750	600	500	1500	1500	1200	1200	1000	1000
	Flanken-ø durchschnitt	FD	mm	13.773	17.773	21.244	26.715	15.773	17.773	21.244	25.242	26.715	28.715
	Flanken-Umfang	FU	mm	43.3	55.8	66.7	83.9	49.6	55.8	66.7	79.3	83.9	90.2
	Steigung	tan(α)	1	0.185	0.143	0.150	0.143	0.081	0.072	0.075	0.063	0.071	0.067
	Steigung	α	°	**10.48**	**8.15**	**8.52**	**8.14**	**4.62**	**4.10**	**4.28**	**3.61**	**4.09**	**3.81**
	Gewichtskraft vertikal	Fm	N	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392
Theoretische Berechnung	Gewichtskraft Normal zu Steigung	FN	N	386	388	388	388	391	391	391	392	391	392
	Gewichtskraft Normal zu Gewindefläche	FN'	N	399	402	402	402	405	405	405	405	405	405
	Gewicht Abrutschkraft, parallel zu Gewindefläche	FA	N	74	58	60	58	33	29	30	26	29	27
	Gewichtsreibung, parallel zu Gewindefläche	FR	N	80	80	80	80	81	81	81	81	81	81
	Selbsthemend	-	-	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
	Erforderliche Schiebekraft aufwärts, parallel zu Gewindefläche	Fauf	N	154	138	141	138	114	110	111	107	110	108
	Erforderliche Schiebekraft abwärts, parallel zu Gewindefläche *(⊖ = Bremsen)*	Fab	N	6	23	20	23	48	52	51	56	52	54
	Erforderliche Schiebekraft aufwärts, horizontal	Fauf'	N	156	139	142	139	114	110	112	107	110	108
	Erforderliche Schiebekraft abwärts, horizontal *(⊖ = Bremsen)*	Fab'	N	6	23	20	23	48	52	51	56	52	54
	Erforderliches Drehmoment aufwärts	Mauf	Nm	**1.1**	**1.2**	**1.5**	**1.9**	**0.9**	**1.0**	**1.2**	**1.3**	**1.5**	**1.6**
	Erforderliches Drehmoment abwärts *(⊖ = Bremsen)*	Mab	Nm	0.0	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8
Berechnung gemäss Mädlerkatalog	Steigungswinkel	α	°	10.5	8.2	8.5	8.1	4.6	4.1	4.3	3.6	4.1	3.8
	Reibungswinkel	ρ'	°	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
	Wirkungsgrad	η	1	0.45	0.39	0.40	0.39	0.27	0.25	0.26	0.22	0.25	0.23
	Erforderliches Antriebsdrehmoment	Md	Nm	**1.1**	**1.3**	**1.6**	**1.9**	**0.9**	**1.0**	**1.2**	**1.4**	**1.5**	**1.6**
	nicht Selbsthemmend !												
	Wirkungsgrad	η	1	-0.15	-0.48	-0.41	-0.48	-1.62	-1.96	-1.83	-2.36	-1.96	-2.19
	Drehmoment infolge Axiallast *(⊕ = Bremsen)*	Md	Nm	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Kugelumlaufspindeln

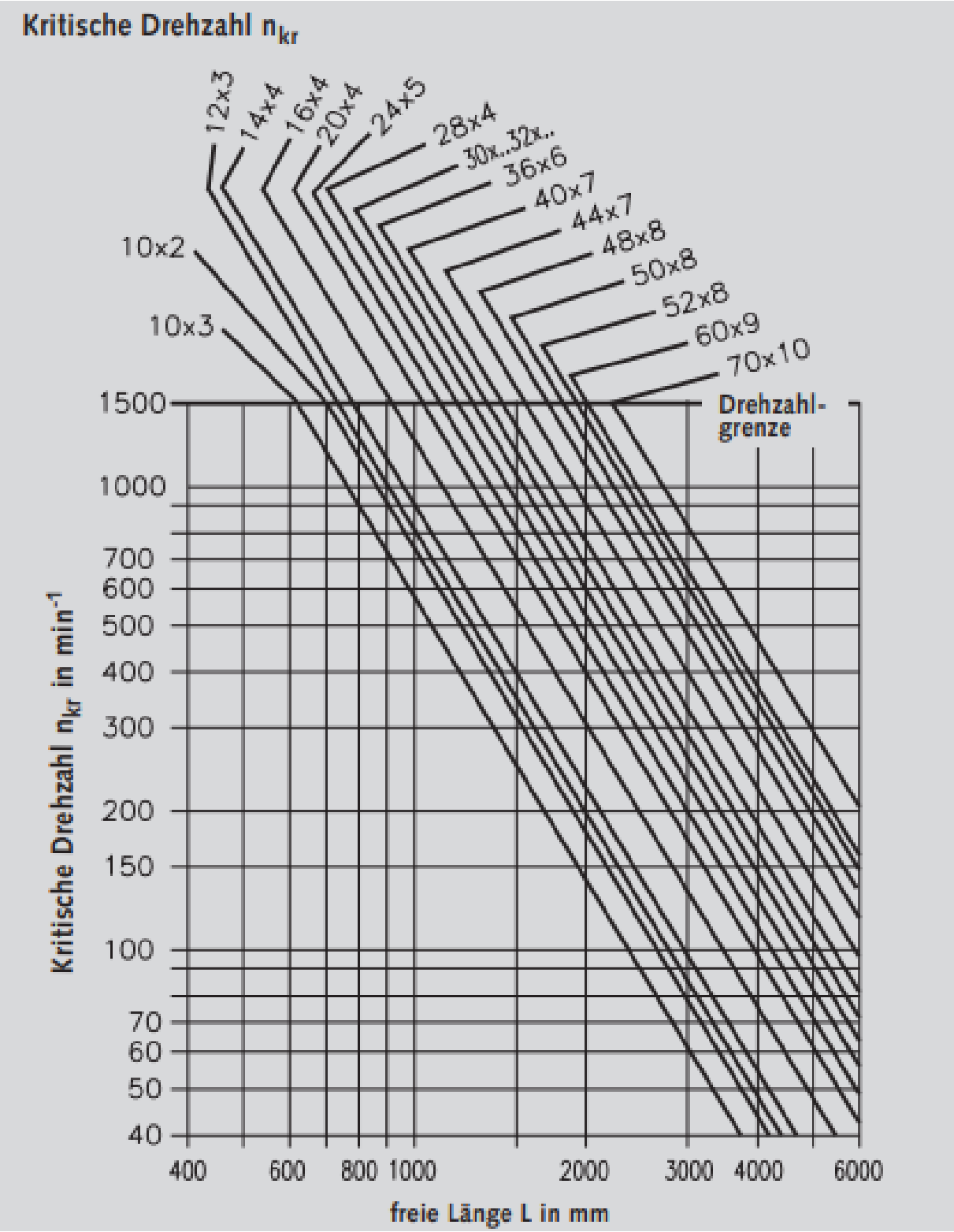
Katalog: https://blaetterkatalog.maedler.de/blaetterkatalog/#page_510

Erforderliche Parameter	Bewegte Masse	m	kg	40
	Hubweg	H	mm	1200
	Hubzeit min	tmin	sec	12
	Hubzeit max	tmax	sec	20
	Reibwert	μ	1	0.02

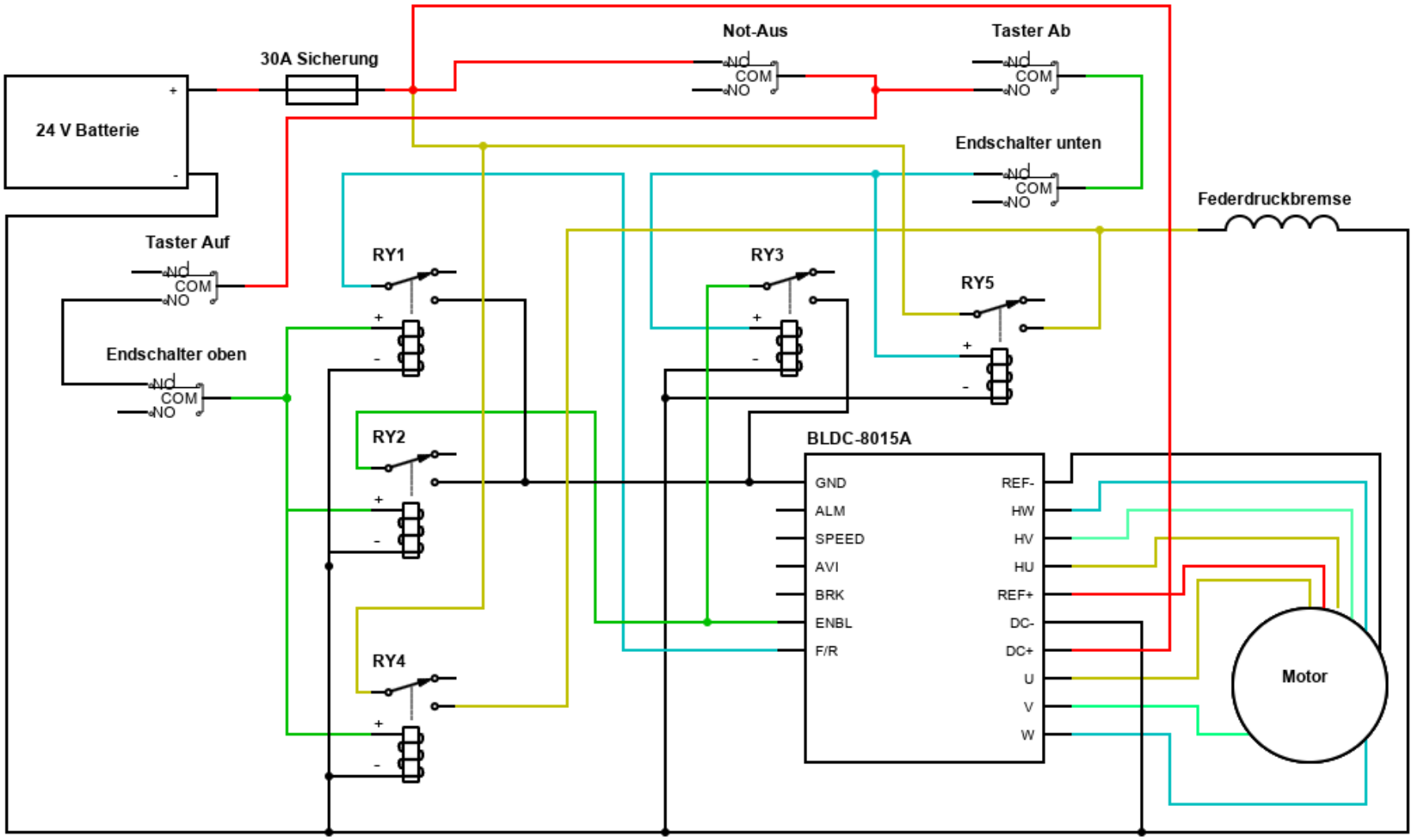
	Gewinde			16 x 5	16 x 10	16 x 16	20 x 5	20 x 10	20 x 20	25 x 5	25 x 10	25 x 25	32 x 5	32 x 10	32 x 20	32 x 32
Katalogdaten	Gangzahl	n	1	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	1	2	4
	Steigung	P	mm	5	10	16	5	10	20	5	10	25	5	10	20	32
	Aussendurchmesser	D	mm	16	16	16	20	20	20	25	25	25	32	32	32	32
	Kugel-ø	FDmin	mm	3.175	3.500	2.778	3.175	3.175	3.175	3.175	3.500	3.969	3.175	6.350	3.969	4.762
	Drehzahl max, bei 1200mm freier Länge ?	Umax	min^{-1}	800	800	800	1000	1000	1000	1200	1200	1200	1500	1500	1500	1500
Basisberechnung	Drehzahl min (bei max Hubzeit) (rot = **nicht** zulässig)	Umin	min^{-1}	720	360	225	720	360	180	720	360	144	720	360	180	112.5
	Drehzahl max (bei min Hubzeit) (rot = **nicht** zulässig)	Umax	min^{-1}	1200	600	375	1200	600	300	1200	600	240	1200	600	300	187.5
	Flanken-ø durchschnitt	FD	mm	12.825	12.500	13.222	16.825	16.825	16.825	21.825	21.500	21.031	28.825	25.650	28.031	27.238
	Flanken-Umfang	FU	mm	40.3	39.3	41.5	52.9	52.9	52.9	68.6	67.5	66.1	90.6	80.6	88.1	85.6
	Steigung	tan(α)	1	0.124	0.255	0.385	0.095	0.189	0.378	0.073	0.148	0.378	0.055	0.124	0.227	0.374
	Steigung	α	°	**7.07**	**14.29**	**21.07**	**5.40**	**10.71**	**20.73**	**4.17**	**8.42**	**20.73**	**3.16**	**7.07**	**12.80**	**20.50**
	Gewichtskraft vertikal	Fm	N	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392
Theoretische Berechnung	Gewichtskraft Normal zu Steigung	FN	N	389	380	366	391	386	367	391	388	367	392	389	383	368
	Gewicht Abrutschkraft, parallel zu Gewindefläche	FA	N	48	97	141	37	73	139	29	57	139	22	48	87	137
	Gewichtsreibung, parallel zu Gewindefläche	FR	N	8	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8	8	7
	Selbsthemend	-	-	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN
	Erforderliche Schiebekraft aufwärts, parallel zu Gewindefläche	Fauf	N	56	104	148	45	81	146	36	65	146	29	56	95	145
	Erforderliche Schiebekraft abwärts, parallel zu Gewindefläche (⊖ = *Bremsen*)	Fab	N	-41	-89	-134	-29	-65	-132	-21	-50	-132	-14	-41	-79	-130
	Erforderliche Schiebekraft aufwärts, horizontal	Fauf'	N	57	108	159	45	82	156	36	66	156	30	57	97	155
	Erforderliche Schiebekraft abwärts, horizontal (⊖ = *Bremsen*)	Fab'	N	-41	-92	-143	-29	-66	-141	-21	-50	-141	-14	-41	-81	-139
	Erforderliches Drehmoment aufwärts	Mauf	Nm	**0.4**	**0.7**	**1.1**	**0.4**	**0.7**	**1.3**	**0.4**	**0.7**	**1.6**	**0.4**	**0.7**	**1.4**	**2.1**
	Erforderliches Drehmoment abwärts (⊖ = *Bremsen*)	Mab	Nm	-0.3	-0.6	-0.9	-0.2	-0.6	-1.2	-0.2	-0.5	-1.5	-0.2	-0.5	-1.1	-1.9
Berechnung gemäss Mädlerkatalog	Steigungswinkel	α	°	7.1	14.3	21.1	5.4	10.7	20.7	4.2	8.4	20.7	3.2	7.1	12.8	20.5
	Reibungswinkel	ρ'	°	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	Wirkungsgrad	η	1	0.85	0.92	0.94	0.81	0.89	0.94	0.77	0.87	0.94	0.72	0.85	0.91	0.94
	Erforderliches Antriebsdrehmoment	Md	Nm	**0.4**	**0.7**	**1.1**	**0.4**	**0.7**	**1.3**	**0.4**	**0.7**	**1.7**	**0.4**	**0.7**	**1.4**	**2.1**
	nicht Selbsthemmend !															
	Wirkungsgrad	η	1	0.83	0.91	0.94	0.77	0.88	0.94	0.71	0.85	0.94	0.61	0.83	0.90	0.94
	Drehmoment infolge Axiallast (⊕ = *Bremsen*)	Md	Nm	0.3	0.6	0.9	0.3	0.6	1.2	0.2	0.5	1.5	0.2	0.5	1.1	1.9

13.5 Abbildung kritische Drehzahlen

Link: https://smarthost.maedler.de/datenblaetter/trapezgewinde.pdf



13.6 Elektroschema



13.7 Protokolle Coach-Gespräche (Vorzeigetermine)

Gesprächsprotokoll 1

Diplomcoach	Nicolas Stankowski
Datum	3.Juli 2026
Zeit	11:15 - 12:10 Uhr
Gesprächsinitiative	Michel Klein

Besprochene Themen

- Aufbau, Struktur und Umfang der Diplomarbeit: Besprechung der geplanten Gliederung sowie des erforderlichen Umfangs der Arbeit
- Technische Berechnungen: Klärung, welche Berechnungen notwendig sind und wie detailliert diese dargestellt werden sollen, insbesondere Kosten, Lasten und Festigkeit wurden genannt
- Sicherheitsanforderungen und Tragfähigkeit des Radlifts: Tragfähigkeit praktisch nachweisen und rechnerisch nachweisen sowie sicherheitsrelevante Aspekte beleuchten
- Umfang der Konstruktion und des Prototyps: Besprechung Umfang der konstruktiven Entwicklung und der praktischen Umsetzung/Montage Prototyp
- Dokumentation der Entwicklung und technischer Entscheidungen, Lösungsvarianten

Hinweise des Diplomcoachs

- Auf klaren roten Faden achten
- Projektthema und Nutzen des Radlifts begründen
- Verschiedene Lösungsvarianten aufzeigen und vergleichen
- Wichtige Berechnungen nachvollziehbar dokumentieren
- Umfangreiche Detailinformationen in den Anhang verschieben
- Microsite rechtzeitig hochladen
- Kompetenzprofil nicht vergessen

Fazit

Die Arbeit soll logisch aufgebaut sein sowie Entscheidungen und Entwicklungsschritte nachvollziehbar erklären und darstellen. Die wichtigsten Berechnungen und Vergleiche sollen im Haupttext enthalten sein, während umfangreiche Detailinformationen im Anhang aufgeführt werden können.

Gesprächsprotokoll 2

Diplomcoach	Nicolas Stankowski
Datum	9.Oktober 2026
Zeit	17:30 - 18:10 Uhr
Gesprächsinitiative	Michel Klein

Besprochene Themen

- Aktueller Stand der Diplomarbeit: rund 12'500 Wörter und 60 Seiten, Prototyp fertig gebaut
- Umfang der Arbeit und mögliche Obergrenze
- Übersichtlichkeit und Lesbarkeit der Dokumentation
- Darstellung technischer Schwierigkeitsgrad
- Aufteilung der Inhalte zwischen Haupttext und Anhang
- Umfang der bisherigen Berechnungen
- Abschlusspräsentation und praktische Demonstration

Hinweise des Diplomcoachs

- Umfang von etwa 80-100 Seiten ohne Anhang ist angemessen
- Technischen Schwierigkeitsgrad ausreichend aufzeigen
- Frühere Lösungsansätze und Überlegungen dokumentieren
- Relevante Normen sowie Warn- und Gefahrenzeichen prüfen
- Kippsicherheit und Korrosionsschutz berücksichtigen
- Sichere Haltefunktion bei längerer Belastung und Stromausfall beachten
- Aussagekräftige Bilder und farbige Tabellen verwenden
- Auf gute Lesbarkeit und roten Faden achten
- Microsite ansprechend gestalten
- Ein gedrucktes Exemplar der Diplomarbeit für Diplomcoach erstellen

Fazit

Besonders wichtig sind die nachvollziehbare Darstellung der technischen Überlegungen, die Sicherheitsaspekte und eine übersichtliche Gestaltung der Arbeit. Diese Hinweise werden bei der abschliessenden Überarbeitung berücksichtigt.