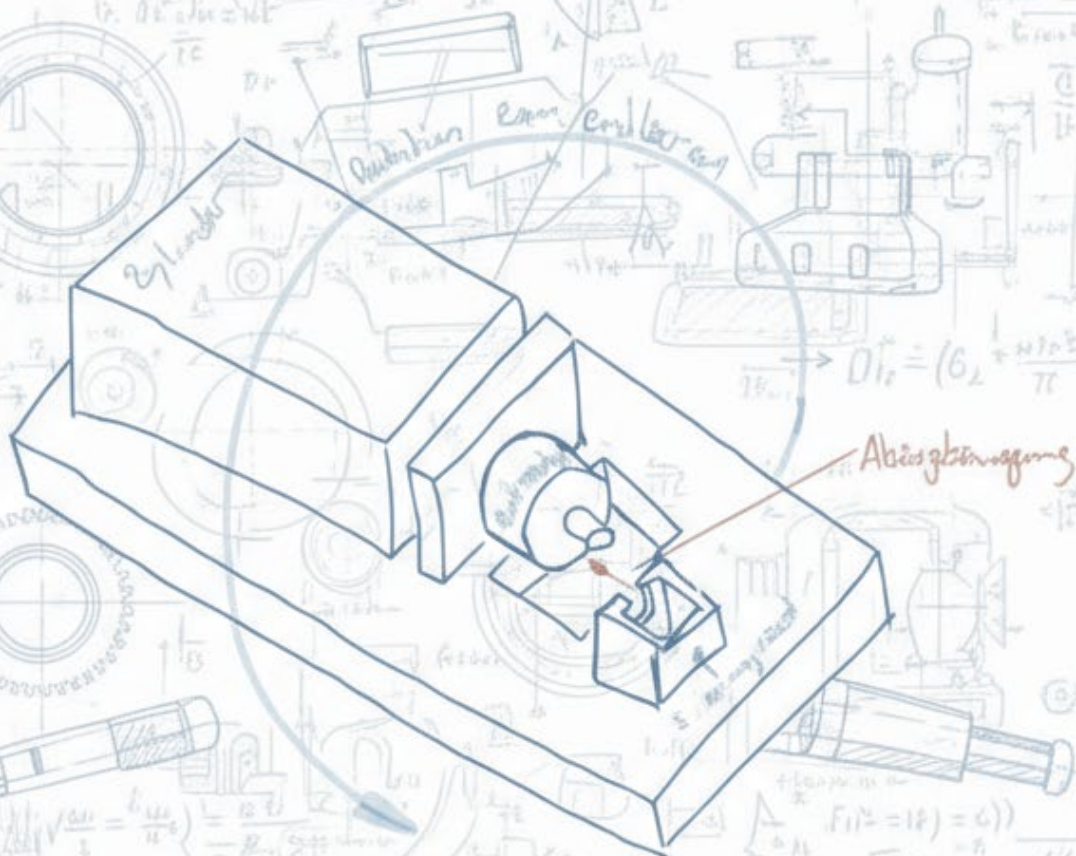


TEKO Schurter AG

Pull-Off Force Test/R-Kalt Test



Diplomarbeit

Diplomand: Hilar Rieder

Diplomlehrer: Antonio Foschini

Dipl. Maschinenbautechniker HF

Abschlussjahr: 2025

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Management Summary	4
Ausgangslage und Problemstellung	4
Projektziele und Anforderungen	4
Lösungskonzept und technische Umsetzung	4
Validierung und Wirtschaftlichkeit	4
Ergebnis und Ausblick	4
Beruflicher Lebenslauf	5
Einleitung	5
Projektinitialisierung	6
Projektdaten	6
Aufgabenstellung	6
Pflichtenheft	6
Zieldefinition	6
Zielscheibe	6
SMART	7
Projektplanung	8
Vorgehensmodell	8
Strukturtable Theorie	8
Strukturtable Praxis	9
Kommunikationsplanung	9
Projektplan	10
Projektrealisierung	11
Kreativitätsmethoden	11
Variante Blau	12
Variante Magenta	12
Variante Grün	13
Variante Gelb	13
R-Kalt Test	13

Präferenzmatrix-----	14
Projektausführung-----	18
Planen/Informieren-----	18
Konzept Pull-Off Force Test-----	18
Konzept R-Kalt Messung-----	19
PoC (Proof of Concept)-----	19
ROI/Payback-----	22
FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)-----	23
Konstruktion-----	24
Risikoanalyse-----	27
FEM (Finite Elemente Methode)-----	30
Berechnung-----	35
UR Cobot-----	38
Software-----	38
Projektabschluss-----	40
Soll/Ist Vergleich-----	40
Zielevaluierung-----	41
Reflexion-----	41
Weg zum Ziel-----	43
Lessons learned-----	43
Persönliches Schlusswort-----	44
Verdankungen-----	45
Eigenständigkeitserklärung-----	45
Quellenverzeichnis-----	47
Anhangsverzeichnis-----	47

Management Summary

Diese Diplomarbeit im Studiengang Dipl. Maschinenbautechniker HF an der TEKO wurde bei der Schurter AG durchgeführt und befasst sich mit der Automatisierung zweier manueller Produktionsprüfungen für die UMT-H Sicherungsfamilie.

Ausgangslage und Problemstellung

Die manuelle Durchführung beider Prüfungen erfordert täglich 90 Minuten Arbeitszeit pro Operator. Hinzu kommen die Herausforderungen fehlender Korrelation der Prüfdaten mit den Produktionsdaten aufgrund unbekannter Sicherungszuordnung sowie ein erhöhtes Fehlerrisiko durch menschliches Versagen. Diese Prüfungen liefern jedoch kritische Qualitätsdaten über den Lötprozess, einen der sensibelsten Prozesse in der Produktionsanlage.

Projektziele und Anforderungen

Das Projekt verfolgt die Integration automatisierter Prüfstationen in die bestehende Produktionsanlage mit definierten SMART-Zielen.

Lösungskonzept und technische Umsetzung

Nach systematischer Variantenentwicklung mittels Kreativitätsmethoden (Mind Maps, Morphologischer Kasten) und Bewertung durch Präferenzmatrix und Nutzwertanalyse wurde die finale Variante evaluiert.

Validierung und Wirtschaftlichkeit

Das erfolgreich durchgeführte Proof of Concept (PoC) hat das Messkonzept durch einen Vergleich mit dem bestehenden System validiert. Dabei zeigte sich eine deutlich ausgeprägtere Normalverteilung als beim aktuellen System, was die Überlegenheit des automatisierten Ansatzes bestätigt.

Die ROI-Berechnung ergibt bei einem konservativen Ansatz 8%, was einem Gewinn von 800 CHF im ersten Jahr und einen Payback von ca. 11 Monaten.

Ergebnis und Ausblick

Die Diplomarbeit stellt eine vollständig konstruierte, validierte und wirtschaftlich sinnvolle Automatisierungslösung für beide Produktionsprüfungen bereit. Das Projekt erfüllt alle definierten SMART-Ziele und schafft die Grundlage für eine erhöhte Produktqualität, relevante Prozessdaten und signifikante Kostenersparnisse. Dank der detaillierten Konstruktionsdokumentation, der Softwareflowcharts und der Risikoanalysen kann die Fertigstellung und Inbetriebnahme bis Ende 2025 zeitnah erfolgen.

Beruflicher Lebenslauf

2026-	MSC Lean Automation Engineer, KKS AG, Steinen
2023-2025	Automation Engineer continuous improvement, Schurter AG, Luzern
2020-2022	Polymechaniker (Schichtleiter) Pilatus Aircraft Ltd, Zerspanung Kleinteile, Stans
2018-2020	Polymechaniker, Sigrist AG, Sachseln
2016-2018	Luftfahrzeugmechaniker Pilatus Aircraft Ltd, Systemintegration PC21, Stans
2011-2015	Lehre als Polymechaniker, Militärflugplatz Sion

Einleitung

Diese Diplomarbeit ist der Schlüssel zum erfolgreichen Abschluss des Lehrgangs Dipl. Maschinenbautechniker HF an der TEKO. Ich habe die Möglichkeit, die Diplomarbeit bei meinem Arbeitgeber, der Schurter AG, zu absolvieren. Um die Qualität der Produkte sicherzustellen, werden bei der Schurter AG regelmässig Produktionsprüfungen durchgeführt. Bei der UMT-H Familie werden zwei dieser Prüfungen von Hand durchgeführt. Die Produkte der UMT-H Familie sind SMD-Sicherungen. Sie bestehen aus einem Keramikgehäuse, einem Schmelzleiter, verschiedenen Füllmedien und zwei Kappen. Bei den Prüfungen handelt es sich um einen Kappenabzugstest und eine R-Kalt Messung. Diese Messungen liefern relevante Daten über die Qualität des Lötprozesses, der zu den heikelsten Prozessen der Produktionsanlage zählt. Dafür benötigen die Operator täglich 90 Minuten. Zudem können wir die gewonnenen Daten nicht mit den Produktionsdaten in Relation bringen, da wir nicht wissen welche Sicherung wir prüfen. Zudem besteht ein erhöhtes Fehlerrisiko durch menschliches Versagen.



Abbildung 1 SMD-Sicherung

Projektinitialisierung

Projektdaten

Start: 15.09.2025

Abgabe: 10.11.2025

Präsentation: 28.11.2025

Aufgabenstellung

Die Teko verlangt eine Diplomarbeit, die etwa 150 bis 200 Stunden Arbeit umfasst, um den Lehrgang abschliessen zu können. Das Thema der Arbeit wurde bereits bei der Themeneingabe genehmigt. Das entsprechende Dokument finden Sie im [Anhang](#).

Die beiden oben genannten Produktionsprüfungen sollen automatisiert und in die Produktionsanlage integriert werden. Dadurch verbessern wir die Qualität und gewinnen neue Erkenntnisse über den Produktionsprozess. Darüber hinaus gewinnen wir 540 Minuten Arbeitszeit pro Woche, in denen die Operator andere Arbeiten ausführen können.

In der Diplomarbeit beschränke ich mich auf die Konstruktion der Messstation. Ich werde das Projekt im Betrieb vollständig beenden.

Pflichtenheft

Das Pflichtenheft wurde vor dieser Arbeit erstellt und von den Auftraggebern genehmigt. Sie finden dieses Dokument im [Anhang](#).

Zieldefinition

Die Zieldefinition ist im [Pflichtenheft](#) detailliert beschrieben sowie im [Projektauftrag](#). Beide Dokumente befinden sich im Anhang.

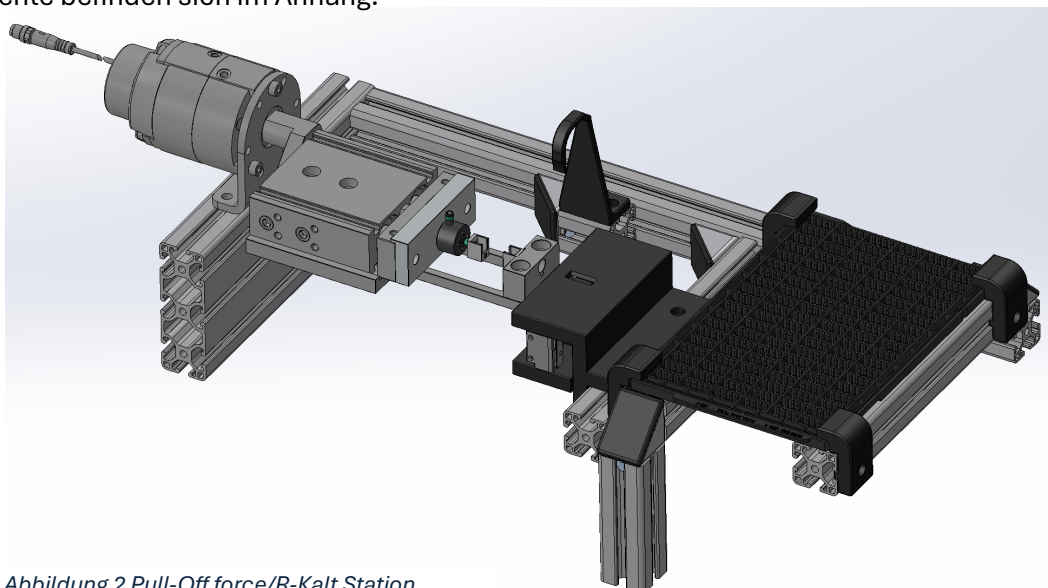
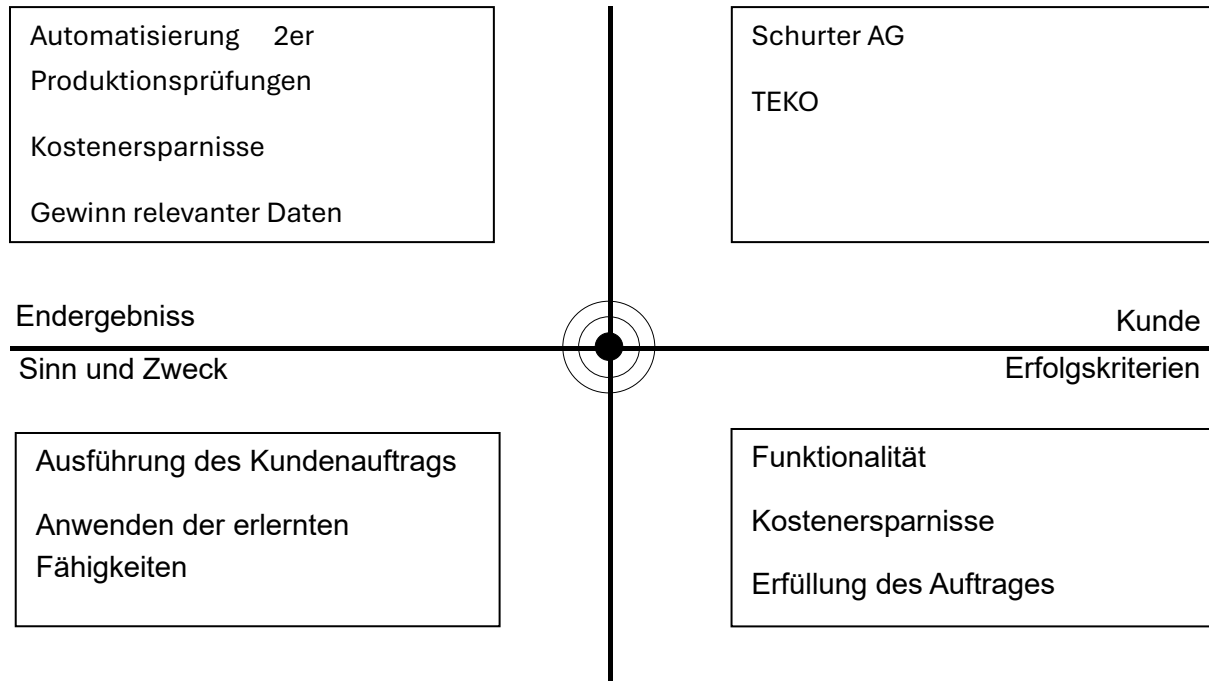


Abbildung 2 Pull-Off force/R-Kalt Station

Zielscheibe



SMART

- Spezifisch** Die Produktionsprüfungen sind automatisiert und in der Produktionsanlage integriert.
- Messbar** Die Taktzeit von 4 Sekunden darf nicht überschritten werden. Die zwei Prüfstationen bestehen die MSA.
- Attraktiv** Durch dieses Projekt werden monatlich knapp 3000 Franken an Mitarbeiterkosten gespart. Relevante Daten werden gewonnen, die korrelierbar sind.
- Realistisch** Das Projekt wurde im Rahmen einer Produktionsoptimierung evaluiert und bestätigt.
- Terminiert** Die Diplomarbeit startet am 15.09.2025 und muss am 10.11.2025 abgegeben werden. Das Gesamtprojekt muss bis Ende 2025 beendet sein.

Projektplanung

Vorgehensmodell

Ich begann mit der Planung mithilfe der Strukturtable. Durch die tabellarische Darstellung ist sie leicht lesbar und mit wenig Aufwand erweiterbar. Um die weiteren Schritte zu vertiefen, ist es anhand dieser Tabelle einfacher den Projektablaufplan nachzuvollziehen, da beide ähnlich gegliedert sind.

Strukturtable Theorie

Projekt «Pull-Off Force Test»	Projektinitialisierung	Organisieren
		Auftragsklärung
		Definition
	Projektplanung	Projektstrukturplan
		Ressourcenplan
		Ablaufplan
		Kommunikationsplan
	Projektrealisierung	Ideenfinden
		Varianten bilden
		Präferenzmatrix / Nutzwertanalyse
		Varianten bewerten
		SWOT / Risiko Analyse/FMEA
		Massnahmen
	Projektabschluss	SOLL / IST
		Evaluation
		Ausblick / Reflexion
		Schlussbesprechung
	Vortrag	Vorbereiten
		Präsentieren

Strukturtabelle Praxis

Projekt «Pull-Off Force Test»	Entwicklung	Planen
		Konstruieren
		Berechnungen
		Detail besprechen
		Projektfreigabe
	Fertigen	Kalkulieren
		Materialbeschaffung
		Drehen, Fräsen, Drucken
	Montage	Material bereitstellen
		Montieren
		Testen
	Vortrag	Vorbereiten
		Präsentieren

Kommunikationsplanung

Anspruchsgruppe	Themen	Periodizität	Kanal	Verantwortung
Auftraggeber Schurter AG	Dokumentation	alle 2 Wochen	Teams Persönlich	Projektteam
Projektteam	Entwicklung Probleme Lösungen Dokumentation	Wöchentlich	Teams WhatsApp	Projektleiter
Nutzer Schurter AG	Probleme Lösungen Inputs	Monatlich	Persönlich WhatsApp	Projektleiter
TEKO	Gesamter Projektverlauf	Gemäss Dozent	Teams	Projektleiter

Projektplan

Pull-Off Force Test

Schurter AG
Projektleiter: HilarRieder (HRI)

Projektmitarbeiter: Thimon Kohli (TKO), Sven Abplanalp (SAB)

Projektanfang:

So, 14.9.2025

Anzeigewoche:

2

EINFACHES GANTT-DIAGRAMM von Vertex42.com
<https://www.vertex42.com/ExcelTemplates/simple-gantt-chart.html>

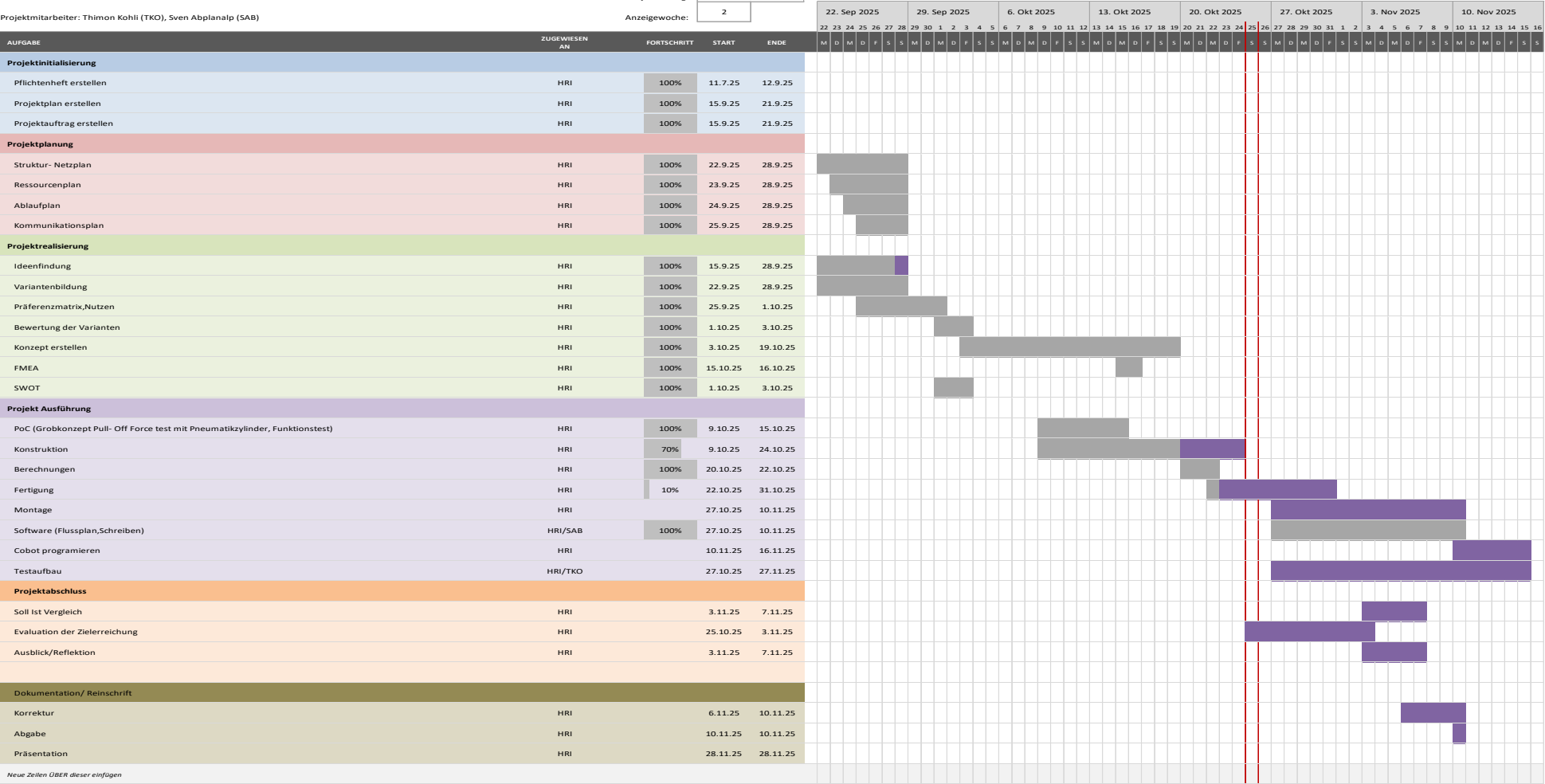


Abbildung 5 Projektplan

Projektrealisierung

Kreativitätsmethoden

Durch das Pflichtenheft sind viele Punkte bereits vorgegeben. Lediglich bei Material, Kraftmessung und Antrieb habe ich freie Auswahl. Um aus diesen drei Kategorien die beste Lösung zu finden, habe ich Mind Maps mit den verschiedenen Möglichkeiten und deren Vor- und Nachteilen erstellt.

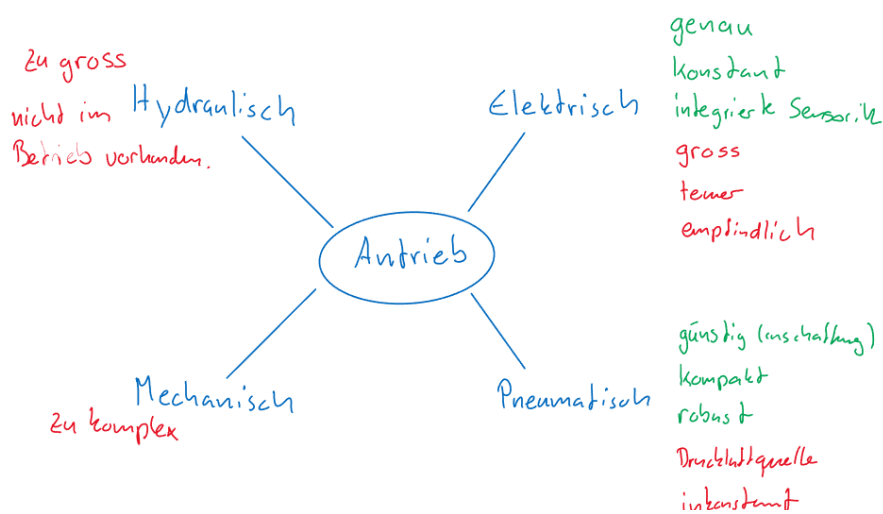


Abbildung 6 MindMap Antrieb



Abbildung 7 MindMap Material

Abbildung 8 MindMap Kraftmessung

Nach diesem Schritt habe ich mittels Morphologischem Kasten versucht einige Lösungsvarianten zu erarbeiten.

Antrieb	Pneumatisch		Elektrisch
Kraftmessung	Messdose	Strom/Druck	Mechanisch
Material	Metall	3D-Druck	Kombi

Variante Blau

Diese Variante besteht aus einem pneumatischen Antrieb. Die Kraftmessung wird über die Drucküberwachung im Zylinder realisiert. Bei der Materialwahl wurde sich für eine Kombination entschieden. Die grösste Herausforderung bei dieser Variante ist sicherlich die Kraftmessung. Um diese zu realisieren, benötigt man ein Proportional-Druckregelventil, das den «Staudruck» messen kann. Die Wiederholgenauigkeit und Prozesssicherheit dieses System sind fragwürdig. Der Aufbau aus Metall- sowie 3D-Druckteilen ist eine kosteneffiziente und sinnvolle Lösung.

Variante Magenta

Bei dieser Variante ist der Antrieb elektrisch ausgeführt. Die Kraftmessung erfolgt über eine Stromüberwachung. Die Materialwahl fällt erneut auf die Kombination. Nachteile dieser Variante sind einerseits die Baugrösse und andererseits die hohen Kosten. Elektrische Lineareinheiten, die Kräfte bis 500N erreichen, sind meist teuer und/oder gross. Zudem gibt es nicht viele Anbieter, die eine Steuerung anbieten, welche den Strom mit ausreichender Genauigkeit messen kann. In der Regel beträgt die Messabweichung 10 bis 15 %. Das ist für die geforderte Aufgabe zu viel. Auch hier ist die Lösung mit Metall- und Druckteilen sinnvoll.

Variante Grün

Der Antrieb wird wieder pneumatisch gelöst. Die Kraftmessung erfolgt mechanisch. Bei der Materialwahl fällt die Entscheidung erneut auf Kombi. Diese Variante ist auf den ersten Blick die einfachste und günstigste. Es handelt sich um einen einfachen Pneumatikantrieb in Kombination mit einer Art «Zugwaage». Doch bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass einige wichtige Punkte nicht erfüllt werden. So werden die Daten aus dem Zugversuch nicht direkt der SPS mitgeteilt. Im Vergleich zu den vorherigen Varianten muss hier ein zusätzliches Element eingebaut werden, das die Daten an die SPS übermittelt. Zudem ist die Genauigkeit der Zugwaage entscheidend. Es ist nicht sicher, ob es ausreichend präzise Modelle gibt.

Variante Gelb

Die letzte Variante verfügt wieder über einen pneumatischen Antrieb. Die Kraftmessung erfolgt mittels Messdose. Bei der Materialwahl wurde wieder auf die Kombi zurückgegriffen. Diese Variante scheint die beste zu sein. Der Antrieb ist preiswert und kompakt. Die Kraftmessung mittels Messdose ist hochpräzise. Die Wiederholgenauigkeit ist sehr hoch. Die Anschaffungskosten der Messdose sind allerdings relativ hoch. Sie ist jedoch sehr robust und ermöglicht eine sehr einfache Datenübertragung. Zudem ist die Prozesssicherheit am höchsten. Die Materialkombi rundet die Variante ab. Komplexe Teile können effizient mit dem 3D-Drucker hergestellt werden. Statisch stark beanspruchte Teile können aus Metall oder Aluminium gefertigt werden.

Die oben genannten Varianten werden nachfolgend mittels einer Präferenzmatrix und einer Nutzwertanalyse bewertet. Anschliessend steht fest, welche Variante sich am besten eignet, um die Aufgabe zu erfüllen. Sollte das Ergebnis für mein Team und mich nicht plausibel sein, werden wir eine Sensitivitätsanalyse durchführen.

R-Kalt Test

Für den R-Kalt Test oder auch 4-Leiter-Messung genannt, habe ich keine Kreativitätsmethode angewandt. Sowohl die Prüfstifte als auch deren Positionierung sind definiert. Auch das Messgerät ist definiert. Der konstruktive Teil der 4-Leiter-Messung besteht somit nur aus Halterungen. Diese werden zu weiten Teilen aus 3D-Druckteilen bestehen. Eine Herausforderung wird darin bestehen, das Prüfnest so zu konstruieren, dass die Sicherung immer an derselben Position gemessen wird, ohne dass diese vom Vakuumgreifer gelöst wird. Da die Sicherungen direkt vom Transportband noch zu warm sind, um die R-Kalt Messung durchzuführen, werden sie auf einem Tray platziert. Auf dem Tray können die Sicherungen abkühlen und anschliessend weiterverarbeitet werden. Das Tray ist mit einem RFID-Chip ausgestattet. Auf dem Chip können Informationen wie Auftragsnummer, Datum usw. gespeichert werden.

Präferenzmatrix

Kriterium	Daten	Kosten	Baugrösse	Wdh	Proz	Genauigkeit	Robstheit	Summe	Gewicht
Datenübertragung	-	1	1	1	1	1	1	6	28,6%
Kosten	0	-	1	1	1	1	1	5	23,8%
Baugröße	0	0	-	1	1	1	1	4	19,0%
Wiederholgenauigkeit (Wdh)	0	0	0	-	0	1	1	2	9,5%
Prozesssicherheit (Proz)	0	0	0	0	-	1	1	2	9,5%
Genauigkeit	0	0	0	0	0	-	1	1	4,8%
Robustheit	0	0	0	0	0	0	-	0	0,0%
SUMME								20	100%

1 = Zeilen-Kriterium wichtiger, 0 = weniger wichtig

Mithilfe der Präferenzmatrix wird die Gewichtung der einzelnen Aspekte ermittelt. Nach dem Ausfüllen der Matrix ist klar ersichtlich, welches Kriterium welche Gewichtung erhält. In der untenstehenden Tabelle ist die Reihenfolge stichwortartig beschrieben und es wird erläutert, warum sie so gewählt wurde. Ich habe die Werte zusätzlich auf ganze Zahlen gerundet damit die nachfolgenden Auswertungen zu vereinfachen. Die Reihenfolge der Gewichtung wurde hierbei nicht verändert.

Rang	Kriterium	Gewicht	Begründung der Gewichtung
1	Datenübertragung	25%	Höchste Priorität - Speichern und Analyse der gewonnenen Daten
2	Kosten	20%	Sehr wichtig - Wirtschaftlichkeit bestimmt Projektumsetzung
3	Baugröße	18%	Wichtig - Konstruktiver Bauraum begrenzt
4	Prozesssicherheit	12%	Technisch wichtig - Zuverlässigkeit des Prüfprozesses
4	Genauigkeit	12%	Technisch wichtig - Messqualität für Prüfergebnis
4	Wiederholgenauigkeit	10%	Technisch wichtig - Reproduzierbarkeit der Messungen
7	Robustheit	3%	Grundanforderung - Wird bei allen Varianten vorausgesetzt

Im nächsten Schritt verwende ich eine Bewertungsmatrix. In dieser werden die Kriterien jeder Variante bewertet. Die Ergebnisse fließen anschliessend in die Nutzwertanalyse ein.

Bewertungsmatrix

Kriterium	Gewicht	Variante Blau	Variante Magenta	Variante Grün	Variante Gelb
Datenübertragung	25%	3	3	1	5
Kosten	20%	4	2	5	3
Baugröße	18%	4	2	4	4
Wiederholgenauigkeit	12%	2	2	3	5
Prozesssicherheit	12%	2	3	2	5
Genauigkeit	10%	2	2	3	5
Robustheit	3%	3	3	3	5

Bewertungsskala: 1 = sehr schlecht, 2 = schlecht, 3 = befriedigend, 4 = gut, 5 = sehr gut

In der nachfolgenden Nutzwertanalyse werden die Ergebnisse aufgelistet und die Rangfolge gebildet. Dazu wird in der Nutzwertanalyse stets die Gewichtung mit dem Wert der Bewertungsmatrix multipliziert und das Ergebnis durch 100 dividiert, sodass sich für jedes Kriterium jeder Variante eine Punktzahl ergibt. Zum Schluss werden alle Punkte jeder Variante addiert. Die Totalpunktzahl ergibt die Rangfolge. Die Variante mit der höchsten Punktzahl gewinnt.

Nutzwertanalyse

Kriterium	Gewicht	Blau		Magenta		Grün		Gelb	
		Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte	Wert	Punkte
Datenübertragung	25%	3	0,75	3	0,75	1	0,25	5	1,25
Kosten	20%	4	0,80	2	0,40	5	1,00	3	0,60
Baugröße	18%	4	0,72	2	0,36	4	0,72	4	0,72
Wiederholgenauigkeit	12%	2	0,24	2	0,24	3	0,36	5	0,60
Prozesssicherheit	12%	2	0,24	3	0,36	2	0,24	5	0,60
Genauigkeit	10%	2	0,20	2	0,20	3	0,30	5	0,50
Robustheit	3%	3	0,09	3	0,09	3	0,09	5	0,15
Gesamtnutzwert	100%		3,04		2,40		2,96		4,42
Rangfolge			2		4		3		1

Wie zu erwarten war, hat die gelbe Variante am besten abgeschnitten. Sowohl das Team als auch die Auswertung haben das gleiche Ergebnis erzielt. Somit steht fest, welche Variante nun ausgearbeitet werden kann. Der nächste Schritt wird ein Grobkonzept sein, damit der Funktionstest des Pneumatikantriebs möglichst zeitnah durchgeführt werden kann.

Projektausführung

Planen/Informieren

Zunächst habe ich alle nötigen Informationen intern beschafft. Um dies zu realisieren, habe ich eine Impactanalyse durchgeführt. Bei der Erstellung waren Vertreter aller relevanten Abteilungen anwesend. Im Rahmen der Impactanalyse wurden die relevanten Themen besprochen. Das Resultat ist eine Auflistung aller Risiken, NoGos und Must-haves. Zudem wurde das Vorgehen für den EMP (Erst Muster Prüfung) definiert. Ebenso wurde die Notwendigkeit einer MSA (Measurement System Analysis) bestätigt.

Konzept Pull-Off Force Test

Nach der Ideenfindung und deren Bewertung hat sich Variante Gelb durchgesetzt. Der Testaufbau besteht somit aus einem Pneumatik Zylinder der die Kappen von der Sicherung zieht. Die Kraftmessung erfolgt über eine Kraftmessdose. Um die Sicherung sicher aufnehmen zu können, müssen zwei Nester konstruiert werden. Das gesamte System soll mittels Pneumatik Rotationsmodul um 180° gedreht werden um das ganze zu entleeren. Das Bestücken der Prüfstation erfolgt mittels vorhandenem Gantry mit Vakuumsauger.

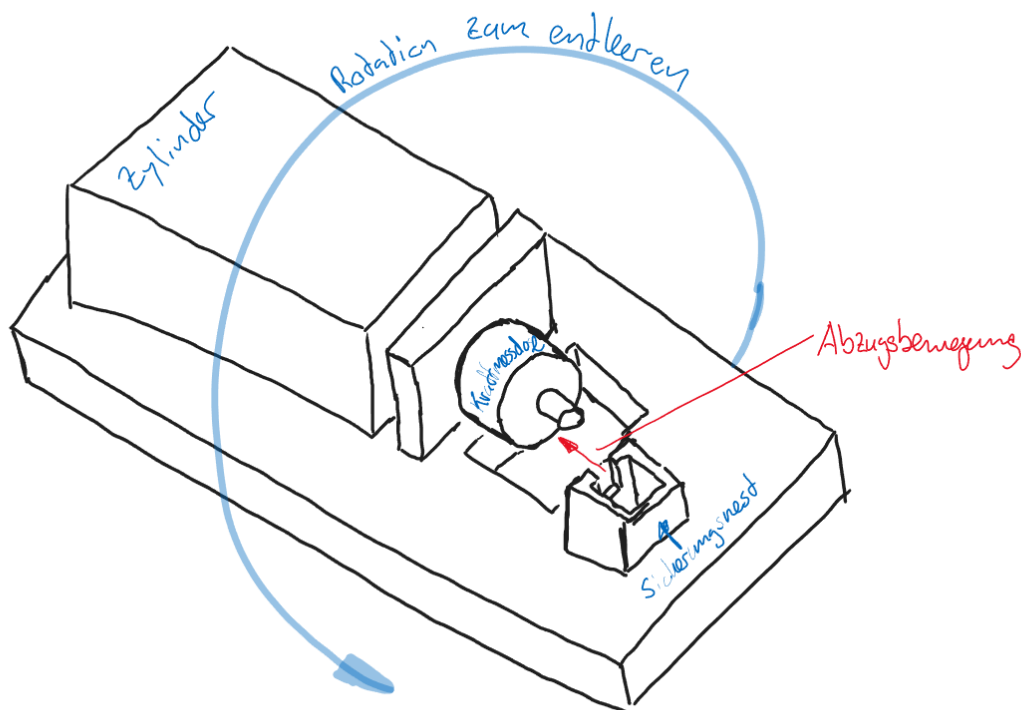


Abbildung 9 Skizze Konzept Pull-Off Force Test

Konzept R-Kalt Messung

Die Komponenten der R-Kalt Messung werden vom Kunden vorgegeben. Dies beinhaltet das Messgerät, die Prüfspitzen und die Positionen, an denen die Prüfspitzen auf der Sicherung messen sollen. Um die Positionierung der Sicherung zu garantieren, soll ein Nest konstruiert werden. Dieses soll die Sicherung möglichst immer in die gleiche Position zentrieren. Dabei darf die Sicherung aber nicht vom Vakuumsauger gelöst werden. Sollte dies doch der Fall sein muss die Konstruktion so entworfen sein, dass ein erneutes Ansaugen der Sicherung problemlos möglich

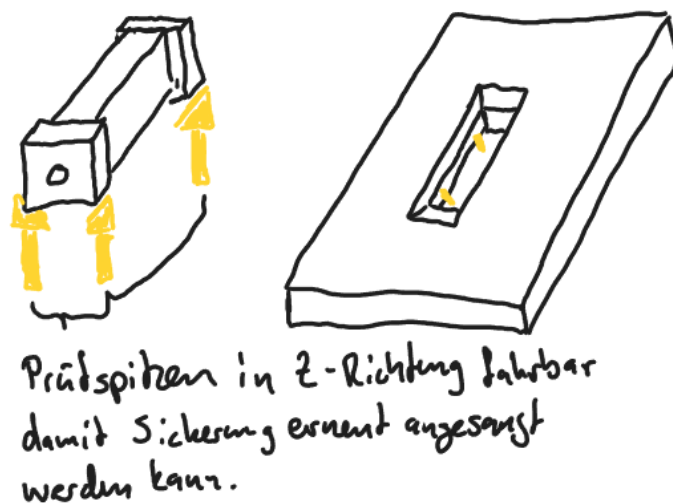


Abbildung 10 Konzept R-Kalt Messung

ist. Damit die Sicherungen nicht zu warm sind, werden diese auf einem Tray zwischengelagert. Hier können sie abkühlen und anschliessend weiterverarbeitet werden. Da es keine genaue Definition der Position und Art der Prüfspitzen gibt, wurde gemeinsam mit dem Produktverantwortlichen festgelegt, dass das neue System mittels $1\text{m}\Omega$ Widerstand validiert wird. Ist die Validierung erfolgreich, wird das Konzept als Standard definiert.

PoC (Proof of Concept)

Zunächst habe ich evaluiert, welche Kraft der Pneumatikzylinder haben muss, um einen sauberen und gleichmässigen Bewegungsfluss zu gewährleisten. Aus den gesammelten Produktionsdaten weiss ich, dass die bisher höchst gemessene Kraft nicht über 200N betrug. Ich habe die Zylinder, die sich im Kolbendurchmesser unterschieden, mit einem Gewicht von 25kg belastet und den Zylinder einfahren lassen. Schnell wurde klar, je grösser der Kolbendurchmesser, desto besser das Ergebnis. Das beste Ergebnis erzielte ein Zylinder mit einer Kraft von 500N . Mit diesem Kennwert habe ich mich an FESTO gewandt. Ich habe ihnen die Situation geschildert. FESTO hat mir daraufhin einen Doppelkolbenzylinder mit geführten Kolbenstangen empfohlen. Mit einem Kolbendurchmesser von 25mm erreicht der Zylinder beim Ausfahren eine Kraft von 590N und

beim Einfahren 454N. Während des Pull-Off Force Test wird der Zylinder eingefahren. Somit beträgt die maximale Kraft 454N. Anstelle der üblichen Endlagensensoren habe ich mich für einen Positionssensor von FESTO entschieden. In Kombination mit der Kraftmessdose habe ich mit diesem Sensor die Möglichkeit, ein Kraft-Weg Diagramm des Pull-Off Force Test zu visualisieren. Bei der Kraftmessdose habe ich mich an Baumer Electronics gewandt. Wir setzen bereits mehrere



Abbildung 11 Kraft-Weg Diagramm

Kraftmessdosen dieses Herstellers ein und haben bislang nur positive Erfahrungen gemacht. Die kleinste Version der Kraftmessdosen hat einen Messbereich von 0N-500N. Ideal für unsere Prüfstation.

Während der Wartezeit auf die Bestellteile habe ich bereits eine einfache Konstruktion realisiert um das PoC auszuführen. Sobald ich alle Teile erhalten hatte, wurde das PoC aufgebaut. Das Kraft-Weg Diagramm zeigte eine zuverlässig konstante Kurve. Somit habe ich mich mit dem Produktverantwortlichen und der Qualitätsverantwortlichen getroffen um die Validierung des Messsystems festzulegen. Es wurde ein einfaches Prüfverfahren definiert. Es werden 50 Sicherungen mit dem aktuellen System gemessen und 50 Sicherungen mit dem PoC. Die resultate werden anschliessend auf eine Normalverteilung untersucht. Je ausgeprägter die Normalverteilung desto geeigneter ist das System. Die Auswertung zeigt eindeutig, dass das PoC

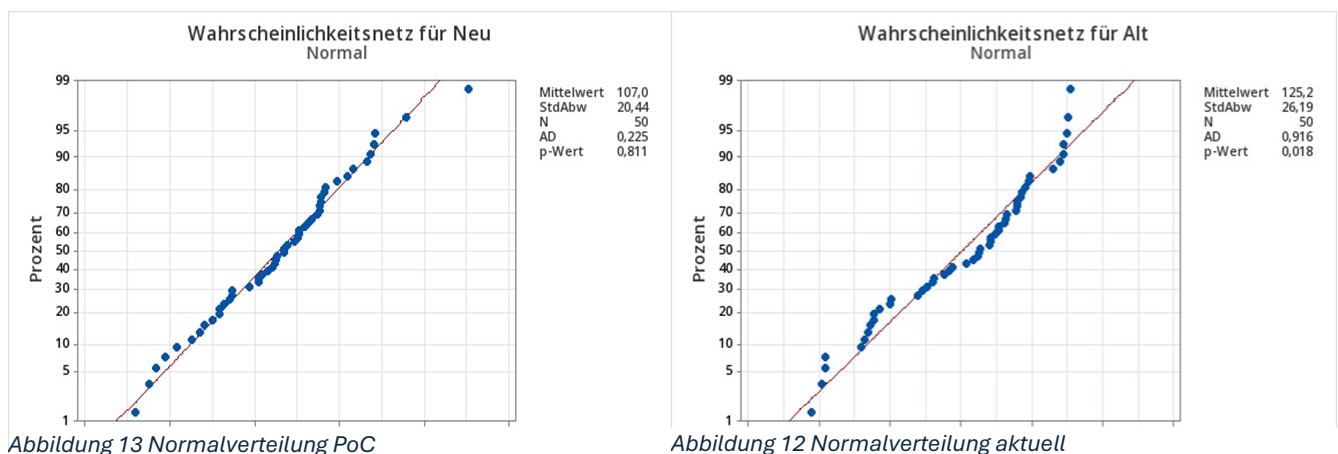


Abbildung 13 Normalverteilung PoC

Abbildung 12 Normalverteilung aktuell

eine ausgeprägtere Normalverteilung aufweist, als das aktuelle System. Aufgrund dieses Ergebnisses konnte ich das PoC als erfolgreich deklarieren.

Dieses Ergebnis ist der wichtigste Meilenstein des Projekts. Ohne ein positives Ergebnis hätte das Projekt nicht weiter realisiert werden können. Um die Wirtschaftlichkeit des Projekts zu ermitteln, habe ich ein grobes Budget erstellt und eine ROI sowie eine Payback Berechnung durchgeführt. Dazu im nächsten Abschnitt mehr.

To reduce cost, we want to automate pull-off force test and add the "R-Kalt" measurement. Currently we need 90 min. per day. A total of 36h per month 6/3 (2880.-). We also benefit from additional data and can increase the autonomy of the system.

Process

1. pick up the fuse with the gantry (Trayhandler)
2. execute the "R-Kalt" measurement
3. placing the fuse into the pull-off force station
4. execute the pull-off force test
5. rotate the pull-off force station for cleaning
6. send data
7. decision go/nogo

Costs

1. parts external	ca. 2000.-
2. design	ca. 1200.-
3. software	ca. 2400.-
4. parts internal	ca. 1000.-
5. integration	ca. 1000.-
6. feasibility study	ca. 1000.-
7. R-Kalt	ca. 1400.-

Total **10000.-**

Abbildung 14 Investmentantrag

ROI/Payback

Diese beiden Begriffe sind jedem bekannt. Ihre Bedeutung kennt kaum jemand. Der ROI (Return on Investment) wird oft als Payback bezeichnet. Darum folgen hier die Definitionen der beiden Begriffe und ein Rechenbeispiel anhand der Diplomarbeit.

ROI

Der ROI (Return on Investment) ist eine Kennzahl, die die Rentabilität einer Investition misst. Sie setzt den Gewinn ins Verhältnis zum investierten Kapital.

$$\text{Invest} = 10'000.-$$

$$\text{Gewinn} = 0.54 \times 3 \text{ Schichten} \times 6 \text{ Tage} \times 50 \text{ Wochen} \times 80.-/h = \underline{36'000.-}$$

$$\text{ROI} = \frac{36'000 - 10'000}{10'000} \times 100\% = \underline{\underline{260\%}}$$

Die ROI Berechnung ergibt 260%. Somit werden pro investiertem Franken, 2.6 Franken gewonnen.

Payback

Der Payback beschreibt den Zeitraum, in dem die Investmentsumme durch den erzielten Gewinn vollständig zurückbezahlt ist.

$$\text{Invest} = 10'000.-$$

$$\text{Gewinn} = 36'000.-/\text{Jahr} \rightarrow 3'000.-/\text{Monat}$$

$$\text{Payback} = \frac{10'000.-}{3'000.-} = \underline{\underline{3.3}}$$

Der Payback zeigt, dass sich die Investition nach 3.3 Monaten vollständig amortisiert hat.

Nun sollte der Unterschied zwischen den Begriffen klar sein. Mit dem Payback wird eine Periode berechnet, mit dem ROI hingegen wird die Rentabilität der Investition ermittelt.

Da es sich bei dem Gewinn um Arbeitsstunden handelt, kann dieser nicht zu 100% berücksichtigt werden. Ich wähle einen konservativen Ansatz und berücksichtige nur 30% des Gewinns in der Berechnung. Somit ergibt sich ein Payback von rund 11 Monaten und ein ROI von 8%. Das bedeutet einen Gewinn von 8 Rappen pro investiertem Franken. Bei dieser Investition sind es im ersten Jahr 800 Franken.

$$\text{Gewinn} = 36'000.- \times 0.3 = \underline{10'800.-/\text{Jahr}} \rightarrow \underline{900.-/\text{Monat}}$$

$$\text{Invest} = 10'000.-$$

$$\text{ROI} = \frac{10'800 - 10'000}{10'000} \times 100 = \underline{\underline{8\%}} \quad \text{Payback} = \frac{10'000}{900} = \underline{\underline{11.1}}$$

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

Um die Prozesssicherheit zu erhöhen und mögliche Fehlerquellen frühzeitig zu identifizieren, habe ich eine FMEA durchgeführt. Leider reichte die Zeit nicht aus, um eine detaillierte FMEA durchzuführen. Zudem erstellen wir intern keine FMEA. Daher fehlt uns auch die nötige Routine, um diese ohne grossen Zeitaufwand zu erstellen. Ich habe im Software-Flowchart zu jedem Prozessschritt mögliche Fehlerquellen aufgeschrieben. Anschliessend habe ich diese bewertet und mit Rot, Gelb und Grün markiert. Alles, was rot markiert ist, erfordert eine Massnahme, bei Gelb habe ich Empfehlungen notiert.

- 1) Tray nicht in Position
- 2) R-Kalt Station nicht in Position
Sicherung bleibt auf Station zurück
- 3) Pull-Off force Station nicht in Position
Zylinder nicht in Position
Rotationsmodul nicht in Position
- 4) Zylinder nicht in Position
Rotationsmodul nicht in Position
Sicherung fällt nicht aus Nest.
Zylinder fährt in Grundstellung mit Sicherung im Nest

Da jede Position mit einem Sensor abgefragt wird, ist die Erkennbarkeit bei den Zylinder- und Rotationsmodulpositionen sehr hoch. Die Auswirkungen sind gering und können leicht behoben werden. Deshalb erhalten diese Fälle eine grüne Markierung und es sind keine weiteren Massnahmen erforderlich.

Die Positionen der einzelnen Stationen werden nicht überwacht. Wir erkennen einen Fehler erst, wenn es zu einer Zyklusstörung kommt. Das kann zu Schäden führen. Daher erhalten diese Fälle eine gelbe Markierung. Um das Risiko zu minimieren, wird mittels Software in einem vorgegebenen Intervall ein Kalibrierungsprogramm durchgeführt. Dabei werden ohne Sicherung am Sauger und mit einem Sicherheitsabstand in Z alle Positionen abgefahren. Die Positionen in X und Y können auf dem HMI korrigiert werden.

Die in den Prüfnestern steckenbleibenden Sicherungen bergen ein hohes Risiko. Es gibt keine Sensoren, die dies überwachen. Der Fehler führt zwingend zu einer Prozessstörung und kann erhebliche Schäden verursachen. Daher werden diese Fälle rot markiert. Es sind zwingende Massnahmen nötig. Wie ich das Problem gelöst habe, werde ich im Kapitel [Konstruktion](#) näher erläutern. Bleibt eine Sicherung im Nest und fährt der Zylinder in Grundstellung, kann dies zur Zerstörung der Kraftmessdose oder zu Beschädigungen an den Prüfnestern führen. Da es keine aktive Überwachung gibt, die prüft, ob das Nest leer ist, wird dieser Fall rot eingestuft. Daher wird dieser Fall als kritisch eingestuft. Um dies zu verhindern, wird in die Pneumatikleitung der Grundstellung ein Druckregelventil eingebaut. Die Zylinderkraft kann so eingestellt werden, dass in diesem Fall keine Schäden auftreten.

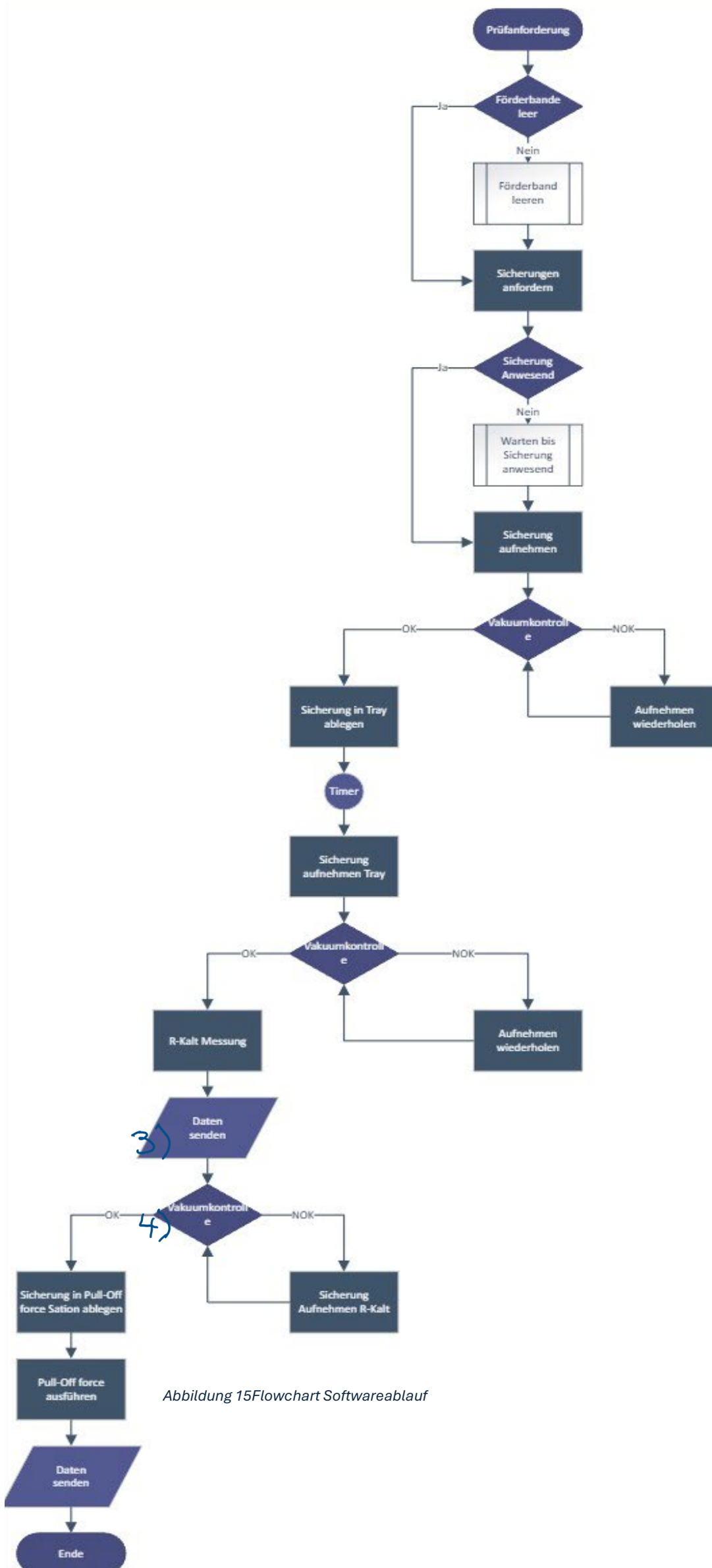


Abbildung 15 Flowchart Softwareablauf

Konstruktion

Die gesamte Konstruktion wurde mit SolidWorks umgesetzt. Nach dem erfolgreichen Abschluss des PoC wurden die Konzepte verfeinert und schliesslich vollständig konstruiert. Ich habe besonderen Wert darauf gelegt, die Anzahl der Aktoren so gering wie möglich zu halten und die Konstruktion simpel und modular zu gestalten. Da die Prüfstation in eine bestehende Anlage integriert werden musste, war ich bei der Positionierung und Gestaltung relativ eingeschränkt. Was ich am Anfang unterschätzt habe, sind die doch recht begrenzten Platzverhältnisse. Mir ist erst spät aufgefallen, dass mir gar nicht der gesamte Platz zur Verfügung steht, den ich gedacht hatte. Ich habe nicht berücksichtigt, wie weit das Gantry fahren kann. Zudem hat das Gantry in der Y-Richtung einen stark auftragenden Aufbau, der den Bearbeitungsbereich nochmals einschränkt. Nachdem ich den Bearbeitungsbereich definiert hatte, habe ich die Station neu ausgelegt. Es hat eine Weile gedauert, bis ich eine geeignete Lösung fand, aber es mussten nur kleinere Anpassungen vorgenommen werden. Trotzdem habe ich Wert darauf gelegt, dass die relevanten Teile gut zugänglich sind. Im folgenden Kapitel werde ich einige Herausforderungen mit detaillierten Lösungen präsentieren.

Trägereinheit Prüfstation

Die gesamte Prüfstation besteht aus drei Teilen. Dies sind die Pull-Off-Force-Station, die R-Kalt-Station und das Tray. Alle drei Stationen müssen auf derselben Höhe stehen, damit der Vakuumsauger die Sicherung überall zuverlässig ansaugen und abblasen kann. Um möglichst modular zu bleiben und unnötige Konstruktionen zu vermeiden, habe ich mich für ein Trägersystem aus ITEM-Profilen entschieden. Dank der grossen Auswahl an Profilen und Verbindungsmöglichkeiten konnte ich schnell die geeignete Trägereinheit zusammenstellen.

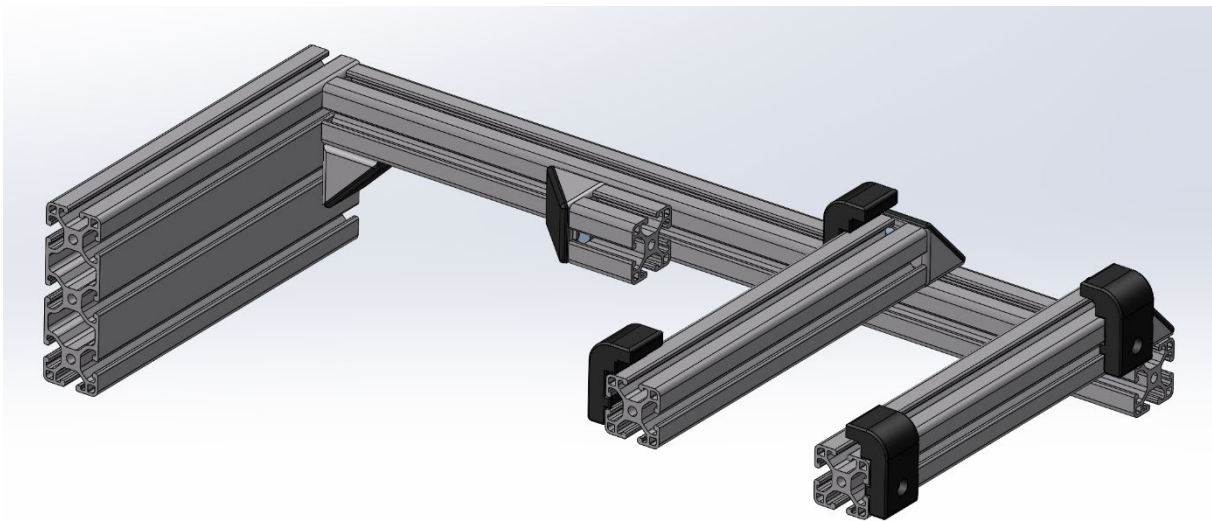


Abbildung 16 Trägereinheit

Das System ist leicht, modular aufgebaut und bietet viele Befestigungsmöglichkeiten. Zudem war der Konstruktionsaufwand sehr gering. ITEM stellt die Profile in der gewünschten Länge als STEP-Datei zur Verfügung.

Push out

Um Punkt 4 der FMEA zu lösen, habe ich mich dafür entschieden, den Abzugszylinder exzentrisch zu montieren. So erhalte ich zwei unterschiedliche Positionen in X und Z bei einer 180°-Rotation. Als Nächstes habe ich eine Art «Finger» konstruiert. Dieser ist so platziert, dass bei der Rotationsbewegung die Sicherung zuverlässig ausgestossen wird. Die Konstruktion wurde so ausgelegt, dass der «Finger» als Sollbruchstelle dient. Hergestellt habe ich den Push-out mittels 3D-Druck. So war ich frei in der Gestaltung und musste nicht darauf achten, dass der Push-out spannend herstellbar ist. Im Kapitel «FEM» findet ihr die Analyse und Berechnung der Bruchkraft. Es war eine Herausforderung, den Push-out so zu konstruieren, dass er stabil genug ist, aber trotzdem kompakt genug, damit er bei der Rotation nicht mit der Konstruktion kollidiert. Gelb markiert die Kritischen Stellen.

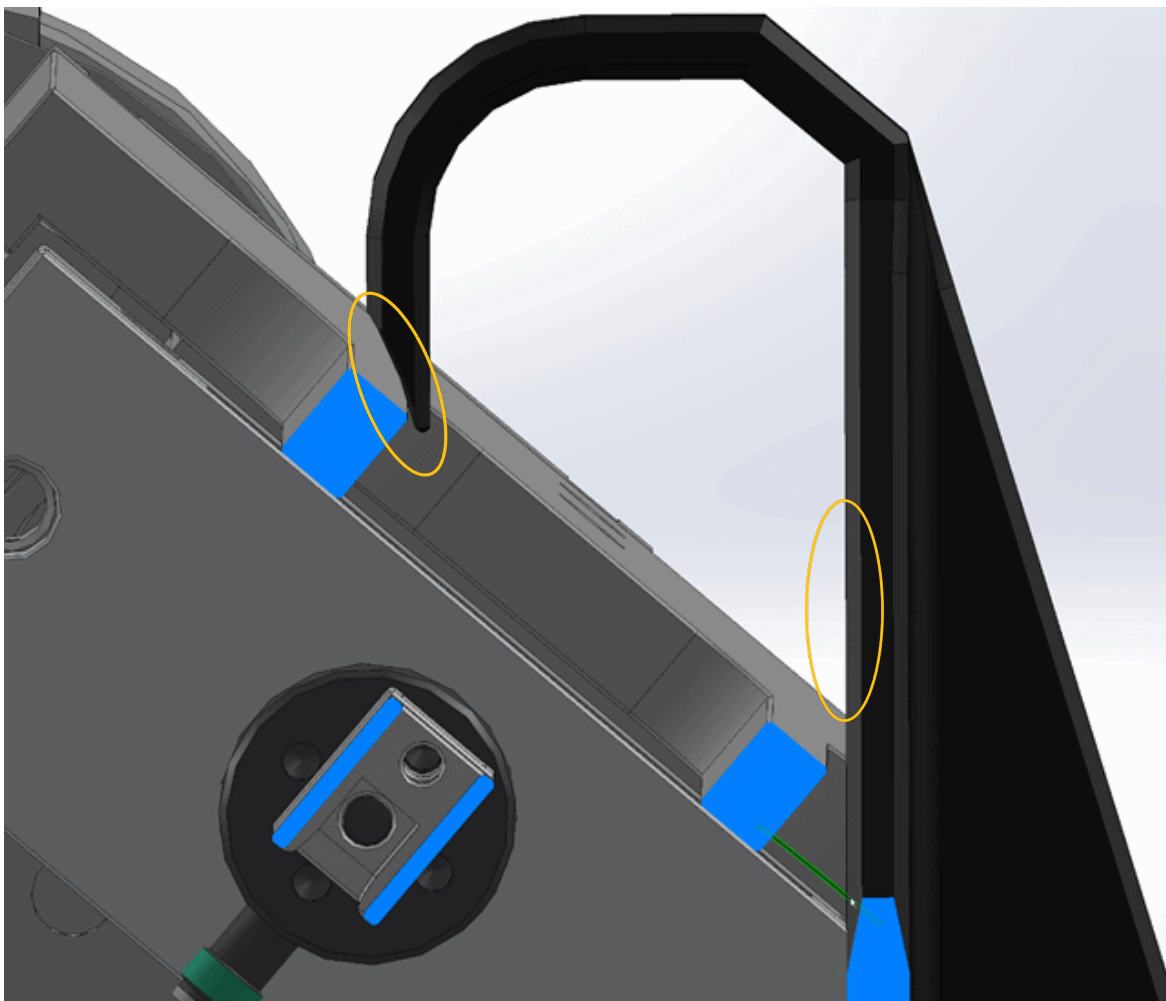


Abbildung 17 Push out

R-Kalt Test

B Beim R-Kalt-Test wird die Sicherung auf vier Messtaster gedrückt. Die Position der Messtaster muss dabei immer dieselbe sein. Bei Versuchen haben wir herausgefunden, dass es zu Messabweichungen von bis zu 20 % kommen kann. Daher habe ich ein Prüfnest konstruiert. Das Nest hat ein leichtes Übermass, damit die Sicherung nicht verklemmt, die korrekte Position jedoch sichergestellt ist. Die Prüfstifte sind in Z-Richtung beweglich. Somit kann der Vakuumsauger die Sicherung bis auf den Nestboden drücken und die Messung wird erfolgreich durchgeführt. Sollte die Sicherung während des Prozesses vom Vakuumsauger gelöst werden, können die Prüfspitzen mittels Zylinder weggefahren werden. Dadurch liegt die Sicherung flach im Nest und ein erneutes Ansaugen ist gewährleistet. Zudem ist das System sehr wartungsfreundlich. Der untere Teil kann mit nur zwei Schrauben entfernt werden. Danach sind alle relevanten Teile leicht zu erreichen. Die gesamte Station wird mittels 3D-Druck hergestellt. Dadurch ergibt sich der Vorteil, dass ich nicht auf spannende Herstellbarkeit achten muss. Zusätzlich habe ich das untere Teil «hol» konstruiert. So spare ich ca. 43 % Gewicht und Druckmaterial. Da das Teil keinerlei belastenden Funktionen ausgesetzt ist, kann das Aushöhlen ohne Risiko vollzogen werden.

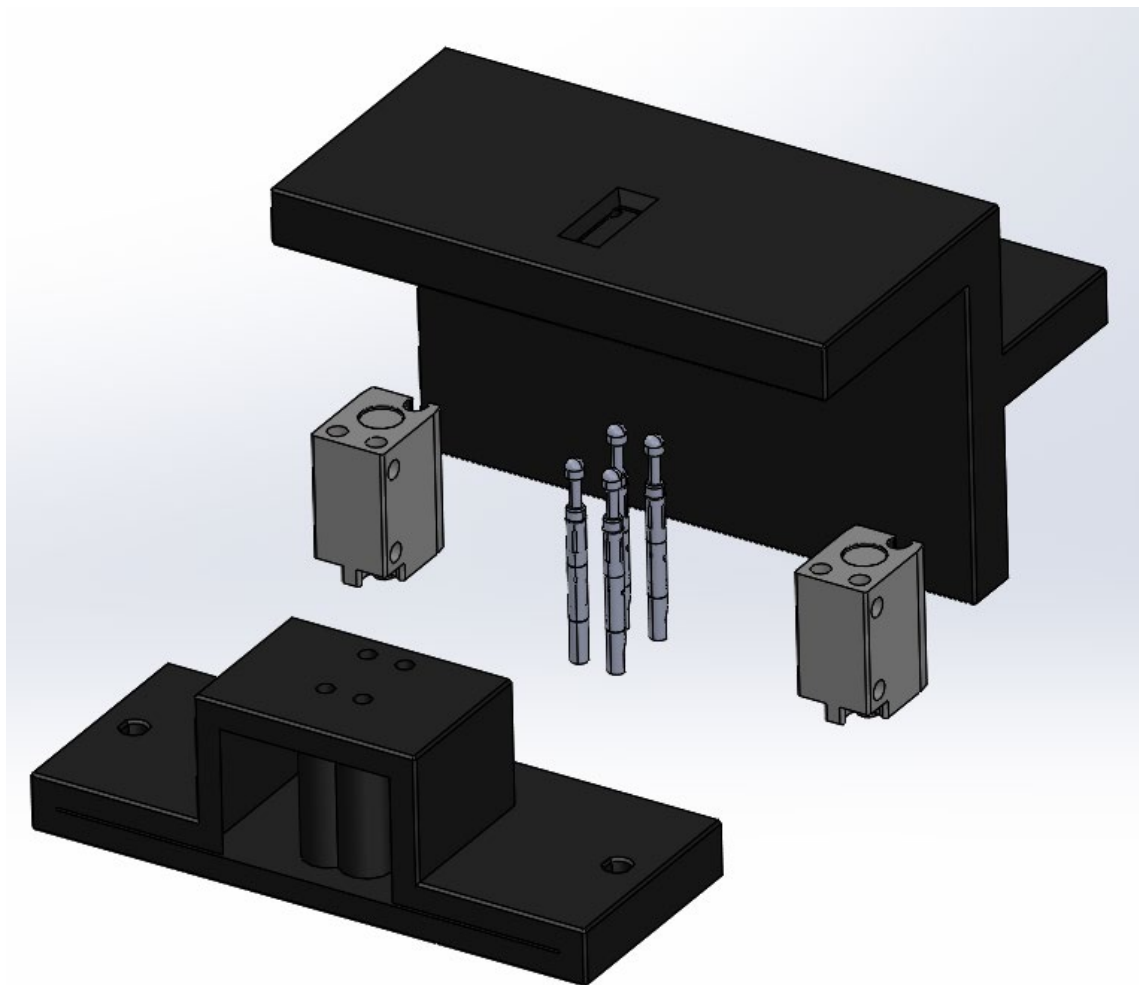


Abbildung 18 R-Kalt Station

Risikoanalyse

Um Personenschäden so gering wie möglich zu halten, habe ich eine Risikoanalyse erstellt.

Lebenszyklusphasen und Risikobetrachtung

1. Konzeptphase

- Spezifische Lastfälle (z. B. Temperatur, Vibration)
- Umweltbedingungen (z. B. Staub, Feuchtigkeit)
- Anforderungsänderungen durch Kunde

2. Entwicklungsphase

- Fertigungsverträglichkeit von CAD-Geometrien
- Auswahl alternativer Werkstoffe bei Lieferengpässen
- Software-/Steuerentwicklungs-Risiken

3. Beschaffung und Produktion

- Qualitätssicherung bei Zulieferern
- Terminverzug durch Just-in-Time
- Rückruf-/Reklamationsquote

4. Installation und Inbetriebnahme

- Schnittstellen zwischen Mechatronik und SPS
- Elektroinstallation nach lokalen Vorschriften
- Erstbemusterung und Abnahmeprotokoll

5. Betriebs- und Nutzungsphase

- Bedienschulung versus Bedienfehler
- Überlastschutz und Notabschaltung
- Verschleiß dynamischer Komponenten

6. Wartung und Inspektion

- Ersatzteilmanagement
- Dokumentation von Reparaturzyklen
- Instandhaltungsintervalle versus Lebensdauer

7. Ausserbetriebnahme und Entsorgung

- Demontage
- Recycling von Komponenten
- Entsorgung gefährlicher Stoffe

Die Phasen 1 und 2 wurden bereits in der FMEA behandelt und werden daher in der Risikoanalyse nicht noch einmal berücksichtigt. Für die weiteren Punkte habe ich eine Excel-Tabelle erstellt. Diese beinhaltet alle relevanten Informationen.

ID	Phase	Tätigkeit	Gefahr/Risiko	Auswirkung	Entdeckbarkeit	Wahrscheinlichkeit	Schwere	RPN	Gegenmassnahmen
1	3	Beschaffung (FESTO, Baumer)	Lieferverzögerung	Zeitverzögerung	4	4	8	128	Frühzeitig bestellen und aktive Verfolgung des Status
2	3	Produktion (Fertigungsteile)	Lieferverzögerung	Zeitverzögerung	5	6	8	240	Frühzeitige Aufgabe der Teile (Intern) und aktive Verfolgung des Status
3	3	Qualitätskontrollen	Mängel	Zeitverzögerung	1	3	8	24	100% Kontrolle aller Teile
4	4.5.6.7.	Gantry in motion	Quetschung	Personenschaden/Materialschaden	1	2	10	20	Gantry in motion nur möglich wenn Schutztüren geschlossen sind
5	4.5.6.7.	Pull-Off force test	Quetschung	Personenschaden/Materialschaden	8	6	10	480	Pull-Off force test nur ausführbar wenn alle Schutztüren geschlossen sind
6	4.5.6.7.	Pull-Off force test Störung	Keramiksplinter	Personenschaden/Materialschaden	10	6	10	600	Schutztüren öffnen nur möglich wenn Druckluft ausgeschaltet ist.

Wie ersichtlich, muss bei den Punkten 5 und 6 gehandelt werden. Bei Punkt 2 reicht erhöhte Aufmerksamkeit. Bei Punkt 5 besteht die Gefahr, dass der Abzugsmechanismus bei geöffneten Schutztüren ausgelöst wird. Somit besteht die Gefahr, dass sich der Bediener erheblich verletzt. Daher wird die Software so programmiert, dass dies nur bei geschlossenem Schutzkreis möglich ist. Somit ist es praktisch unmöglich, dass es zu Schäden kommt. Punkt 6 beinhaltet das Risiko von Verletzungen durch Keramiksplinter. Tritt während des Abzugsversuchs eine Störung auf, steht das gesamte System unter Spannung. Werden jetzt die Schutztüren geöffnet, besteht das Risiko, dass das Gehäuse zerbricht und die Splitter den Bediener erheblich verletzen. Um dies zu vermeiden, wird die Software so programmiert, dass sich die Schutztüren im Störfall nur öffnen lassen, wenn die Druckluft ausgeschaltet ist. So ist das System nicht mehr unter Spannung und das Risiko des Zerberstens ist gering. Somit ergibt die Risikoanalyse nach den Anpassungen kein akutes Risiko mehr.

Definition des Wertebereichs

Entdeckbarkeit

- 1 Fehler wird praktisch immer entdeckt (100 % Inline-Kontrolle mit hoher Genauigkeit)
- 2-3 Sehr hohe Entdeckungsrate (100 % Prüfung, aber geringere Genauigkeit)
- 4-6 Mittlere Entdeckungsrate (Stichprobenprüfung, visuelle Kontrolle)
- 7-8 Niedrige Entdeckungsrate (sporadische Stichproben, einfache Sichtprüfung)
- 9 Sehr niedrige Entdeckungsrate (nur End-of-Line, wenig systematische Tests)
- 10 Fehler wird praktisch nie entdeckt (keine Prüfung)

Wahrscheinlichkeit

- 1 Praktisch nie, fast vollständig fehlerfrei
- 2-3 Sehr selten
- 4-6 Gelegentlich, aber überschaubares Fehleraufkommen
- 7-8 Häufiger, erfordert sofortige Aufmerksamkeit
- 9 Sehr häufig, gravierendes Problem
- 10 Kaum beherrschbar – praktisch bei jeder Anwendung Auftretend

Schwere

- 1 Kaum spürbare Änderungen, keine Auswirkungen auf Funktion oder Sicherheit
- 2-3 Leichte Beeinträchtigung der Funktion, nicht wahrnehmbar im Alltag
- 4-6 Deutliche Funktionsverschlechterung, Kundenbeschwerden möglich
- 7-8 Ausfall sicherheitsrelevanter Funktionen, erhöhte Unfallgefahr
- 9 Kritisches Versagen, potenziell schwere Gesundheits- oder Umweltschäden
- 10 Lebensgefährliche Situation, umfassende rechtliche oder finanzielle Schäden

RPN (Risk Priority Number)

Die RPN setzt sich wie folgt zusammen: Erkennbarkeit, Wahrscheinlichkeit und Schwere werden multipliziert. Als Ergebnis erhält man eine Zahl zwischen 0 und 1000. Je grösser die Zahl ist, desto höher ist die Priorität des Risikos. Werden die vorgeschlagenen Ansätze umgesetzt, reduziert sich die RPN. Die Schwere bleibt jedoch immer gleich gewichtet. Die Schwere der Folgen eines Risikos kann nicht reduziert werden.

FEM (Finite Elemente Methode)

Push out

Der Push-out soll die Sicherung zuverlässig aus dem Prüfnest stossen. Er soll jedoch auch als Sollbruchstelle dienen, damit er als Erstes bricht, wenn zu grosse Kräfte wirken. Der Push-out ist aus Nylon 12 gefertigt und darf maximal mit 50 N/mm^2 belastet werden. Mittels FEM-Analyse habe ich eine maximale Messspannung von 776 N/mm^2 erhalten. Somit führt diese Belastung sicher zum Bruch. Diese Spannung wird durch das Rotationsmodul erzeugt, welches eine maximale Anschlagkraft von 320 N erzeugt. Auf dem Bild zeigen die grünen Pfeile die fixierte Geometrie und die violetten Pfeile die Kraft und deren Richtung. Dank der FEM-Analyse weiss ich, wo der Push-out brechen wird, und kann somit die theoretische Bruchkraft anhand der Querschnittsfläche und der zulässigen Spannung für Nylon 12 errechnen.

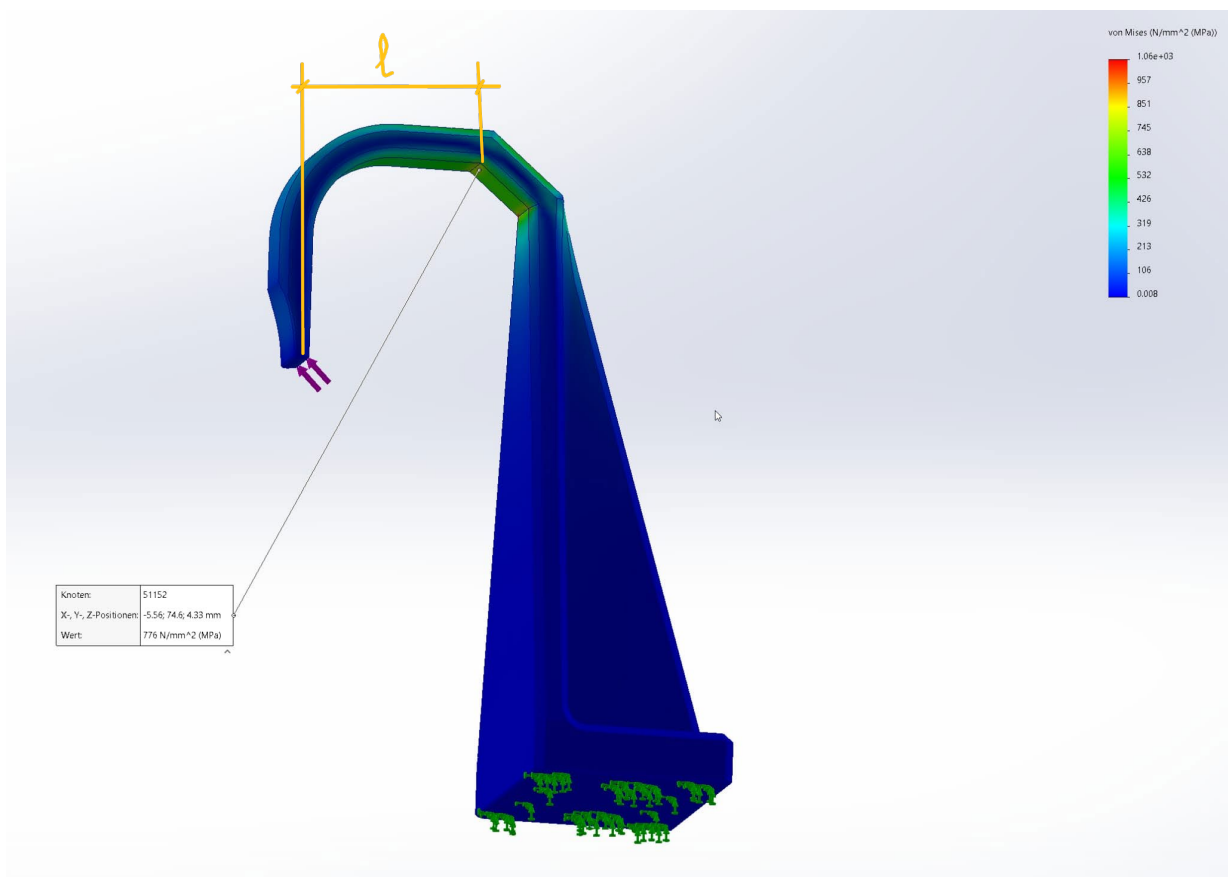


Abbildung 19 FEM-Analyse Push out

geg: $A = 4 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ $\sigma_{\text{max}} = 50 \text{ N/mm}^2$ $l = 10 \text{ mm}$
 Ges: F_{max}

$$F_{\text{max}} = \frac{\sigma_{\text{max}} \cdot W}{l} = \frac{50 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{8 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}^2}{6}}{20 \text{ mm}} = \underline{53.3 \text{ N}} \rightarrow \underline{5.3 \text{ kg}}$$

Somit bricht der Push-out bei einer anliegenden Kraft von ca. $5,3 \text{ kg}$. Diese Kraft ist für die Aufgabe ausreichend. Ich kann die Kraft verändern, indem ich die Querschnittsfläche verändere.

Ich habe das ganze nochmals simuliert mit 53N und habe laut FEM-Analyse immer noch eine zu hohe Kraft. Im Bild ersichtlich die fixierte Geometrie mit grünen Pfeilen und die Kraft samt Richtung mit violetten Pfeilen. Bei dieser Analyse ist gut zu sehen, dass der Bruch weiter hinten statt findet als angenommen. Somit ist auch der Hebel länger als angenommen.

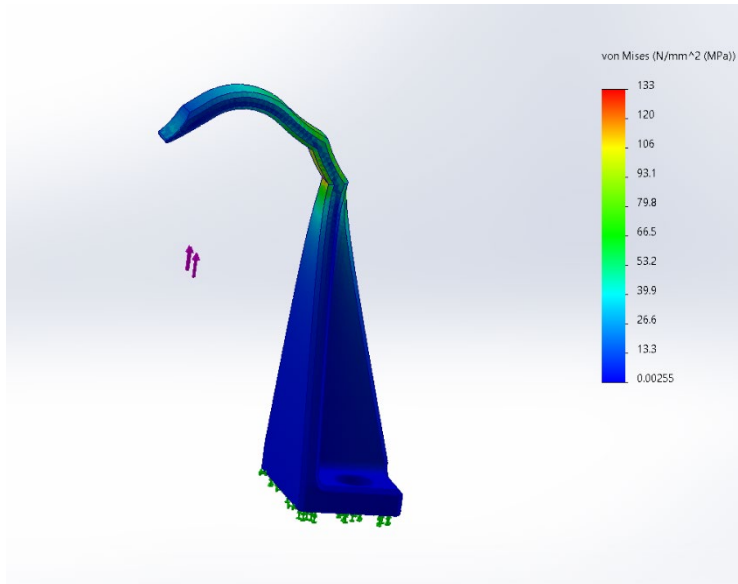


Abbildung 20 FEM Push out 53N

Ich habe weitere Analysen erstellt, bis ich eine von Miess Spannung unter 50N/mm² erhalten habe. Bei einer Kraft von 22.5 N bricht der Push out laut FEM nicht mehr. Ich habe meine Handrechnung wiederholt, da ich eine doppelt so grosse Kraft erhalten habe.

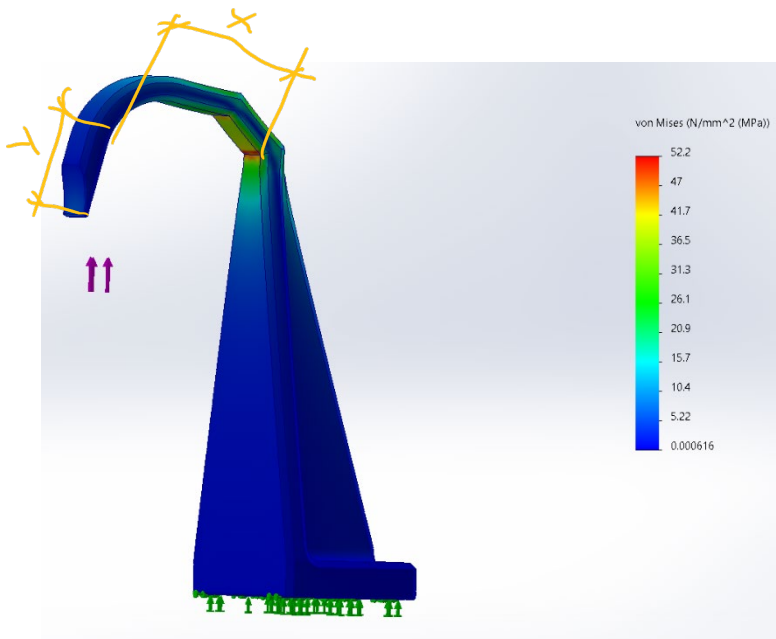


Abbildung 21 FEM Push out 22.5N

Ich habe eine Länge von 36.5mm angenommen. Diese setzt sich aus den 26.5mm Läng X und 10mm der Länge Y zusammen. Das Resultat sind 29.2 N was nahe der FEM-Analyse ist. Somit kann ich sagen dass der Push out sicher zwischen einer Belastung von 2-5 kg brechen wird. Um die Sicherung zuverlässig aus dem Prüfnest zu stossen, reichen einige 100 Gramm aus.

$$F_{\max} = \frac{\sigma_{\max} \times W}{l} = \frac{50 \text{ N/mm}^2 \times \frac{8 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}^2}{6}}{36.5 \text{ mm}} = \underline{\underline{29.2 \text{ N}}}$$

Base

Um sicherzustellen, dass Base und Extraction Nest Adapter keiner zu grossen Belastung ausgesetzt sind, habe ich dies mittels FEM-Analyse überprüft. Ich habe alle Abhängigkeiten sorgfältig definiert, um eine Verfälschung des Resultats zu vermeiden. Alle Schraubenverbindungen wurden definiert und mit dem entsprechenden Drehmoment versehen. Zusätzlich wurden alle Kontaktflächen definiert. Abschliessend habe ich die fixierte Geometrie und die Kraft samt Richtung definiert. Anschliessend konnte ich die Studie ausführen. Es werden zahlreiche Studienergebnisse bereitgestellt, für mich waren jedoch lediglich 2 von Bedeutung. Diese werde ich im Folgenden aufführen und erläutern. Der ausführliche FEM-Bericht ist im [Anhang](#) beigelegt.

Von Miess Spannung

Die von Miess Spannung drückt aus, wie stark ein Material an einem Punkt beansprucht wird. Wenn diese Spannung die zulässige Spannung des Materials überschreitet, beginnt das Material zu versagen oder zu brechen. Ich habe die dünnen Streben der Base kontrollieren wollen. Ich habe jeweils eine Studie mit 454N und eine mit 200N erstellt. Die grünen Pfeile zeigen die fixierte Geometrie und die roten Pfeile die Kraft samt Richtung.

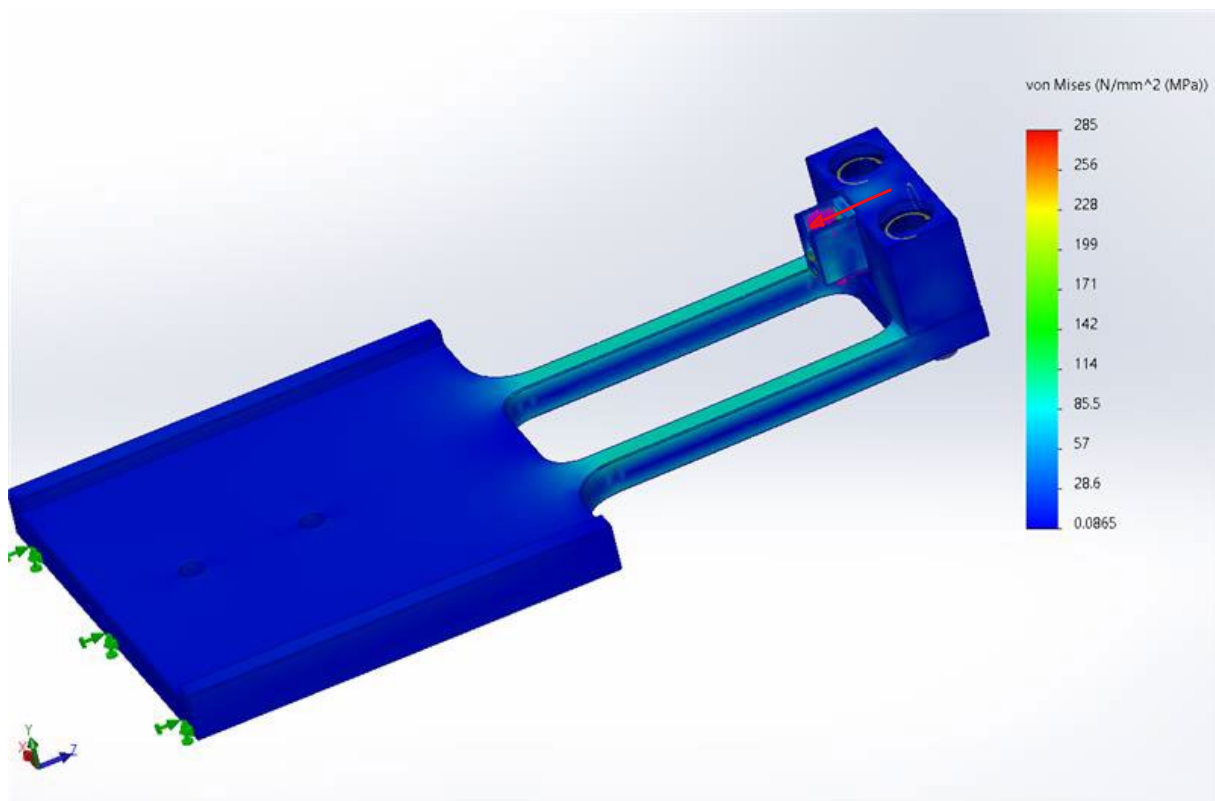


Abbildung 22 FEM von Miess 454N

Es ist gut zu erkennen, dass im Prüfnest sowie in den Streben die grösste Spannung auftritt. Mit 285N/mm^2 befinden wir uns über dem zulässigen Bereich für Aluminium 6082-T6, dass eine

Streckgrenze($R_{p0.2}$) von ca. 250N/mm^2 aufweist. Diese Spitze ist jedoch in einem Knotenpunkt, wo die Berechnung nicht richtig ausgeführt wird. Auf dem Bild sind die Verformungen gut ersichtlich und zeigen, dass wir ca. 150N/mm^2 an Spannung haben. Somit ist die Belastung zulässig. Im nächsten Bild seht ihr die Studie mit 200N Belastung.

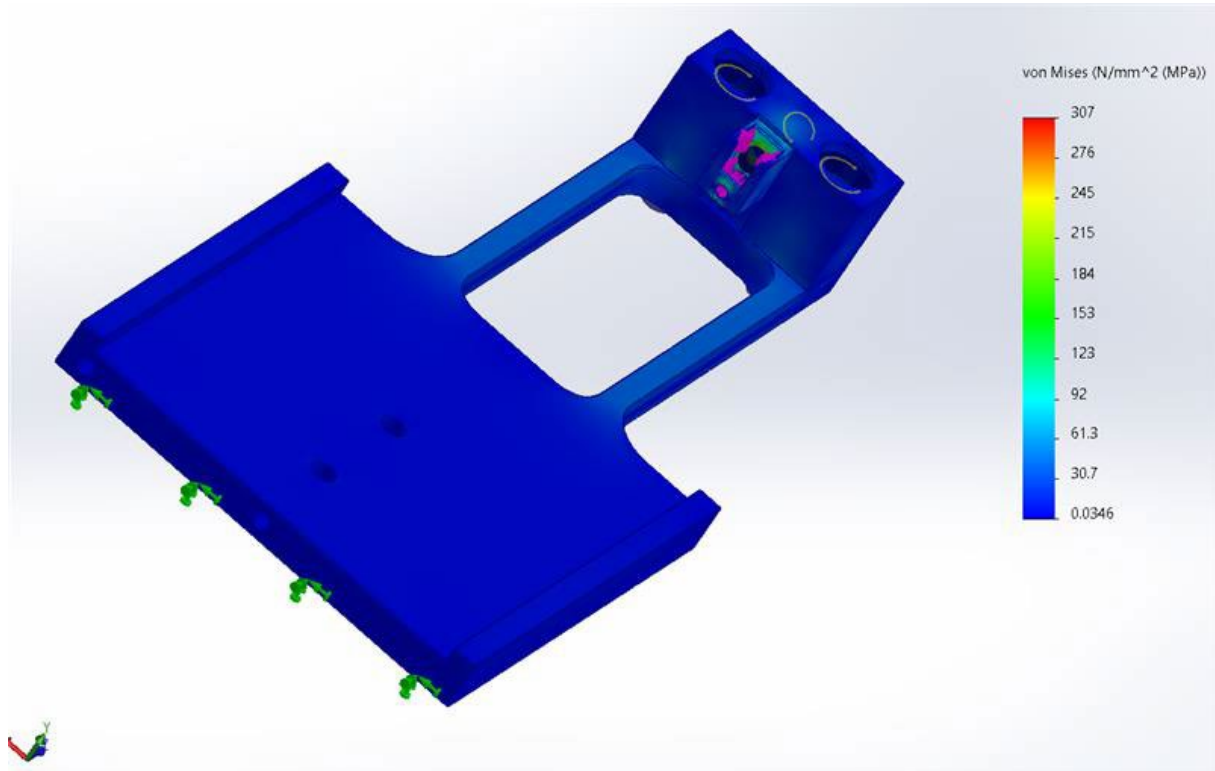


Abbildung 23 FEM von Miess 200N

Gut zu sehen, dass die grösste Spannung am Gewinde ist. Hier im Bereich von $120\text{--}180\text{N/mm}^2$. Die Verschraubung habe ich separat berechnet. Der Rest der Konstruktion ist im Bereich von $60\text{--}90\text{N/mm}^2$ Spannung ausgesetzt. Deutlich geringer als bei 454N Belastung.

Sicherheitsfaktor

Mit einer Zusatzfunktion, kann ich den Sicherheitsfaktor anzeigen lassen. So kann ich leicht erkennen wo die Konstruktion Schwachstellen hat und wo nicht. Die erste Abbildung zeigt wiederum die Studie mit 454N Belastung.

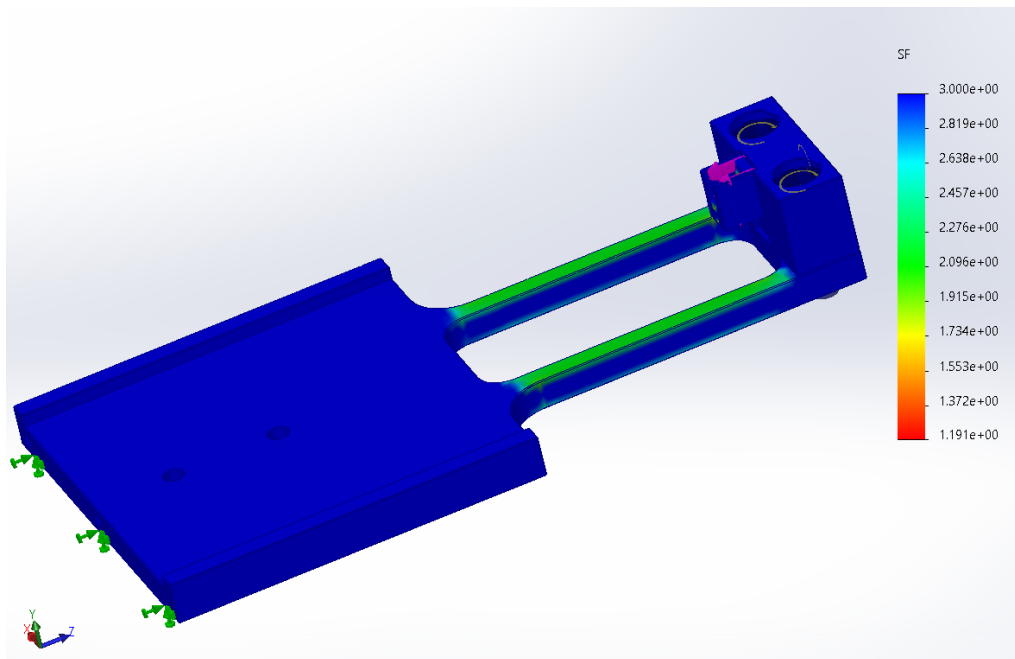


Abbildung 24 FEM Sicherheitsfaktor 454N

Gut zu erkennen, dass die dünnen Streben bei der Belastung einen Sicherheitsfaktor von ca.2 Aufweisen. Für Materialien mit dynamischen Lasten wird ein Sicherheitsfaktor 3 empfohlen. Somit leicht unter der Empfehlung. Trotzdem sehe ich kein Risiko, da die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Lastfall eintritt, sehr gering ist. In der Nächsten Abbildung ist die Studie mit 200N Belastung zu sehen.

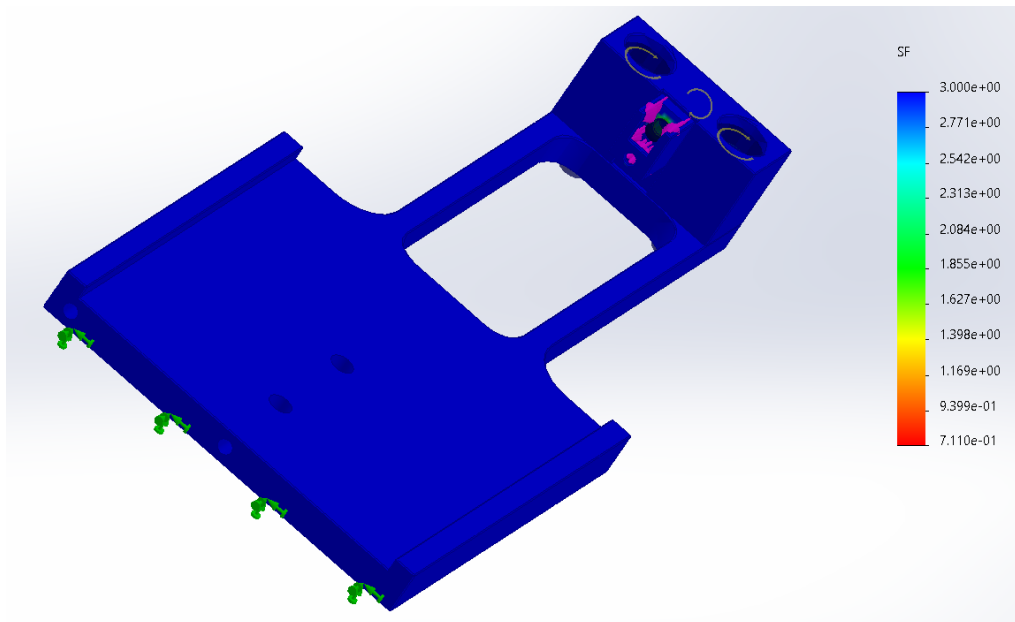


Abbildung 25 FEM Sicherheitsfaktor 200N

Die Ganze Konstruktion weist einen Sicherheitsfaktor von 3 auf. Somit ist die Konstruktion sicher und auch auf Dauerfestigkeit geprüft und zulässig.

Berechnung

M4 Gewinde

Um sicherzustellen, dass die Schraubenverbindung der Sicherungsnester nicht zu hohen Kräften ausgesetzt ist, habe ich die minimale Einschraubtiefe berechnet.

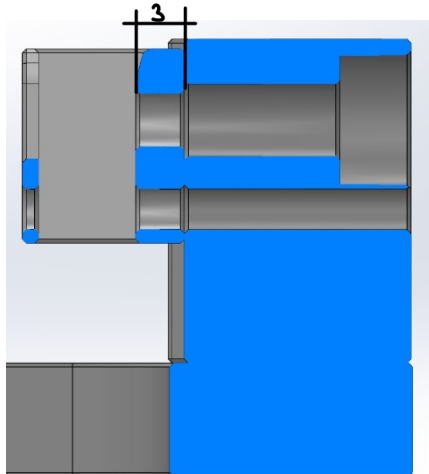


Abbildung 26 Schnittansicht
Sicherungsnest

Gegeben

Kraft $F = 500\text{N}$

Einschraubtiefe $L_e = 3\text{mm}$

Nenndurchmesser $d = 4\text{mm}$

Steigung $P = 0.7\text{mm}$

Flankendurchmesser $d_2 = 3.545\text{mm}$

Kerndurchmesser $D_1 = 3.242\text{mm}$

Mutter 1.4301

$R_m = 500\text{MPa}$ $R_p = 210\text{MPa}$ $\beta = 0.7$

Schraube Stahl 8.8

$R_m = 800\text{MPa}$

$R_p = 640\text{MPa}$

$\beta = 0.5774$

$$J_m = \beta \times R_m = 0.5774 \times 800\text{MPa} = 461.88\text{MPa}$$

$$J_m = \beta \times R_m = 0.7 \times 500\text{MPa} = 350\text{MPa}$$

$$\alpha = \frac{J_m}{J_s + J_m} = \frac{350\text{MPa}}{350\text{MPa} + 461.88\text{MPa}} = 0.4311$$

$$d_s = d_2 + (0.5 - \alpha) + \frac{P}{\tan(30^\circ)} = 3.545 + (0.5 - 0.4311) + \frac{0.7}{0.5774} = 3.629\text{mm}$$

Kontrolle

$$D_1 = 3.242 < d_s = 3.629 < d = 4 \quad \checkmark$$

$$A_s = F \times \left(\frac{1}{J_m} + \frac{1}{J_s} \right) = 500\text{N} \times \left(\frac{1}{461.88\text{MPa}} + \frac{1}{350\text{MPa}} \right) = 2.511\text{mm}^2$$

$$m = \frac{A_s}{d_s \times \pi} = \frac{2.511\text{mm}^2}{3.629\text{mm} \times \pi} = 0.220\text{mm}$$

$$S = \frac{L_e}{m} = \frac{3\text{mm}}{0.22\text{mm}} = 13.63\text{mm}$$

$$* \quad N \times \frac{1}{\text{MPa}} + \frac{1}{\text{MPa}} \Rightarrow N \times \frac{2}{\text{MPa}} \Rightarrow N \times \frac{2}{\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \Rightarrow \frac{2\text{N}}{\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \Rightarrow \frac{2\cancel{\text{N}}\text{mm}^2}{\cancel{\text{N}}} = 2\text{mm}^2$$

Die Berechnung erfolgte nach der Dose-Methode (VDI-basiert). Mit einer Einschraubtiefe von 3 mm liege ich 1 mm unter der Standardempfehlung (VDI 2230) für Stahl-Stahl-Verbindungen. Die Berechnung zeigt jedoch, dass der Sicherheitsfaktor 13,6 bei einer maximalen Belastung von 500N beträgt. Somit sind die 3 mm ausreichend, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

Flächenpressung Sicherungsnest

Während des Abzugsversuchs werden die Messingkappen der Sicherung mit drei Seiten pro Kappe gegen die Prüfnester aus 1.4301 gezogen. Ich möchte ermitteln, ob die Flächenpressung bei Maximalkraft von 500 N bzw. bei Betriebskraft von 200 N zulässig ist.

Gegeben

Kraft = 500 N / 200 Kappenseite $a = 5.35 \text{ mm}$ Wandstärke $t = 0.2 \text{ mm}$ $R_m = 500 \text{ N/mm}^2$

$$A_{\text{ges}} = 3 \times a \times t = 3 \times 5.35 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm} = 3.21 \text{ mm}^2$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{500 \text{ N}}{3.21 \text{ mm}^2} = 155.76 \text{ N/mm}^2 \quad p = \frac{F}{A} = \frac{200 \text{ N}}{3.21 \text{ mm}^2} = 62.3 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{\text{zul}} = 0.4 \times R_m = 0.5 \times 500 \text{ N/mm}^2 = 200 \text{ N/mm}^2$$

Kontrolle

$$p = 62.3 \text{ N/mm}^2 < p = 155.76 \text{ N/mm}^2 < p_{\text{zul}} = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \frac{p_{\text{zul}}}{p} = \frac{200 \text{ N/mm}^2}{155.76 \text{ N/mm}^2} = 1.28 \quad S = \frac{p_{\text{zul}}}{p} = \frac{200 \text{ N/mm}^2}{62.3 \text{ N/mm}^2} = 3.2$$

Die Ergebnisse zeigen, dass die Flächenpressung in beiden Fällen zulässig ist. Der Sicherheitsfaktor mit Maximalkraft beträgt 1,28, was zulässig ist, für Dauerbelastungen jedoch zu knapp. Da die erwartete Maximalkraft im Normalbetrieb jedoch nur 200 N beträgt, ist der Sicherheitsfaktor 3,2 und somit ausreichend für Dauerbelastungen.

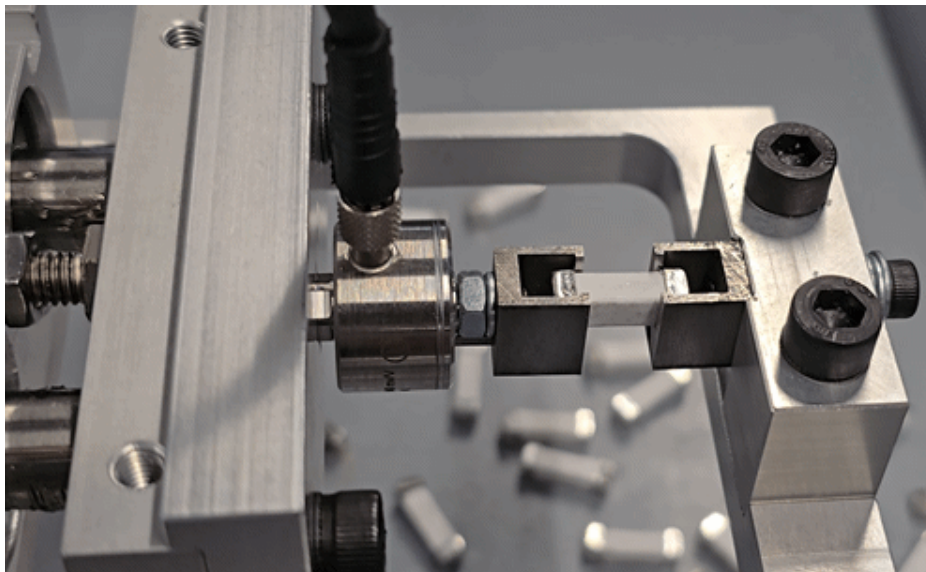


Abbildung 27 Pull-Off Force Test

Lagerkraft F_z im Rotationsmodul

Um eine Überbelastung des Lagers im Rotationsmodul auszuschliessen, habe ich dessen Lagerkraft berechnet.

GegebenMasse $m = 1\text{ kg}$ Länge Vorbau $L = 210\text{ mm}$ Lagerabstand $l = 25\text{ mm}$ $F_{z\max} = 60\text{ N}$ $g = 9.81\text{ m/s}^2$

$$F_G = m \cdot g = 1\text{ kg} \times 9.81\text{ m/s}^2 = \underline{\underline{9.81\text{ N}}}$$

Im statischen Zustand ist das Zentrale Kräftesystem im Gleichgewicht somit gilt:

$$F_G = F_z = 9.81\text{ N}$$

$$\text{Kontrolle } F_z = 9.81\text{ N} < F_{z\max} = 60\text{ N} \quad \checkmark$$

$$S = \frac{F_{z\max}}{F_z} = \frac{60\text{ N}}{9.81\text{ N}} = \underline{\underline{6.1}}$$

$$M_{\text{Lager}} = F_z \times L \cdot l = 9.81\text{ N} \times 0.21\text{ m} \times 0.025\text{ m} = \underline{\underline{2.31\text{ Nm}}}$$

Die Berechnung zeigt, dass das Lager nicht überbelastet wird. FESTO macht keine Angaben zum maximalen Biegemoment im Lager. Da die Sicherheit bei F_z jedoch den Faktor 6 hat, habe ich diesbezüglich keine Bedenken. Um absolut sicher zu sein, kann man das maximale Biegemoment im Lager bei FESTO anfragen.

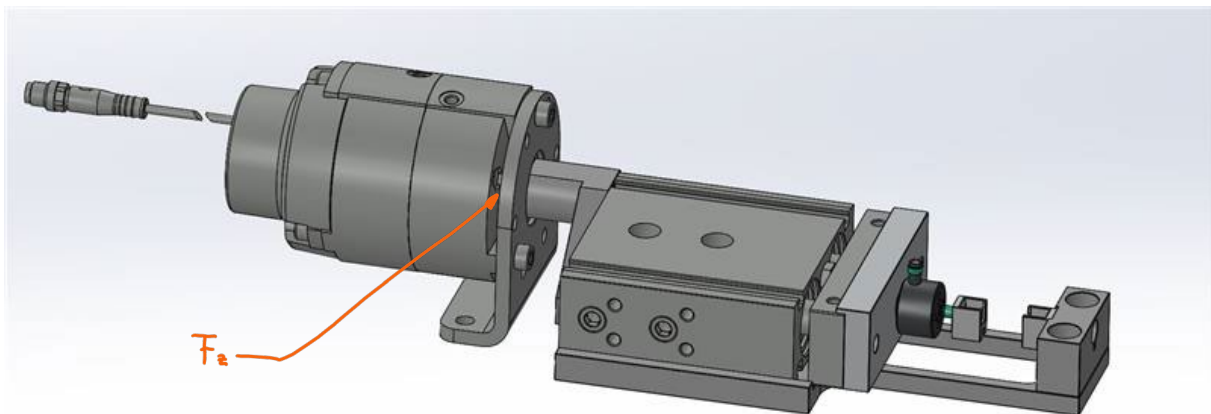


Abbildung 28 Pull-Off Force Station

UR Cobot

Da wir kein zweites Gantry vorrätig haben, wollte ich das Handling der Sicherung mit einem Cobot realisieren. Die Idee war, dass der Cobot die Sicherung mithilfe eines Vakuumsaugers von Position zu Position transportiert. Der dabei zurückzulegende Weg sollte identisch sein mit dem späteren Weg auf der Maschine. Zudem sollten die Beschleunigungs- und Geschwindigkeitswerte dieselben sein wie beim Gantry. Mit diesem Setup hätten wir den gesamten Prozess simulieren können. Durch das Einhalten der Strecke und Geschwindigkeit hätten wir auch die Gesamtzykluszeit in der Praxis ermitteln können. Leider musste ich den Cobot-Teil streichen. Ein End-of-Arm-Vakuummodul kostet zwischen 4000 und 8000 Euro. Ich habe einen Investitionsantrag gestellt. Dieser wurde jedoch nicht bewilligt. Leider reichte die Zeit nicht aus, um eine Eigenkonstruktion zu realisieren. Eventuell werde ich das nach der Diplomarbeit noch umsetzen.

Software

Damit mein Software-Engineer weiss, was er programmieren muss, habe ich mit dem Excel-Add-In «Visio Data Visualizer» ein Flowchart des Hauptprozesses erstellt. Visio Data Visualizer ist ein tolles Tool. Man erstellt eine Tabelle mit den gewünschten Schritten. Es gibt eine grosse Auswahl an Möglichkeiten (Prozess, Start, Ende, Entscheidung usw.). Das Add-In erstellt automatisch das Flowchart. Links im Bild ist die Tabelle zu sehen, rechts das Flowchart. Das Flowchart ist auf der nächsten Seite in einem grösseren Format verfügbar

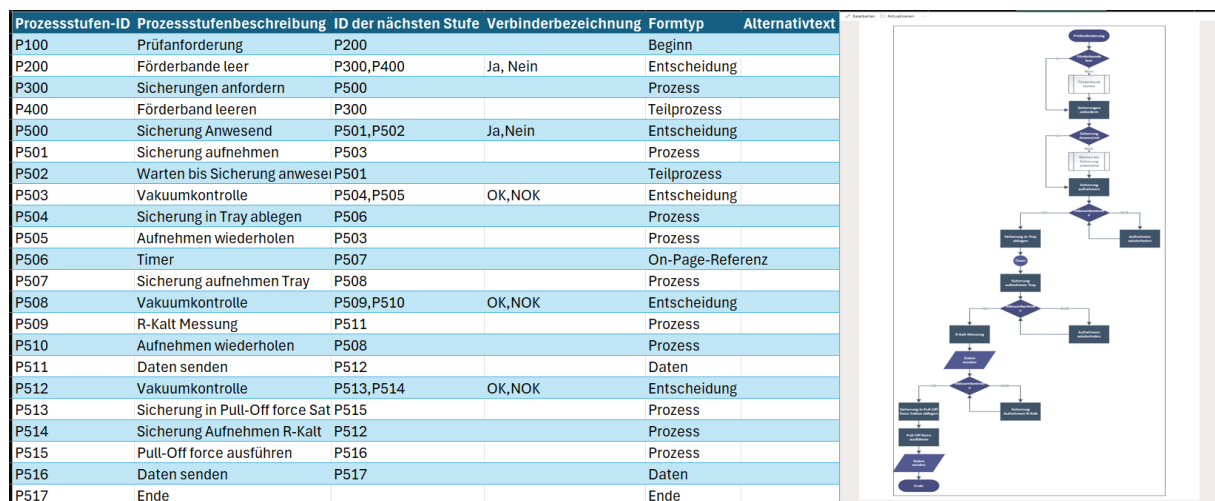


Abbildung 29 Flowchart Software

In einem weiteren Schritt werden auch für den Pull-Off force Prozess und die R-Kaltmessung solche Flowcharts erstellt.

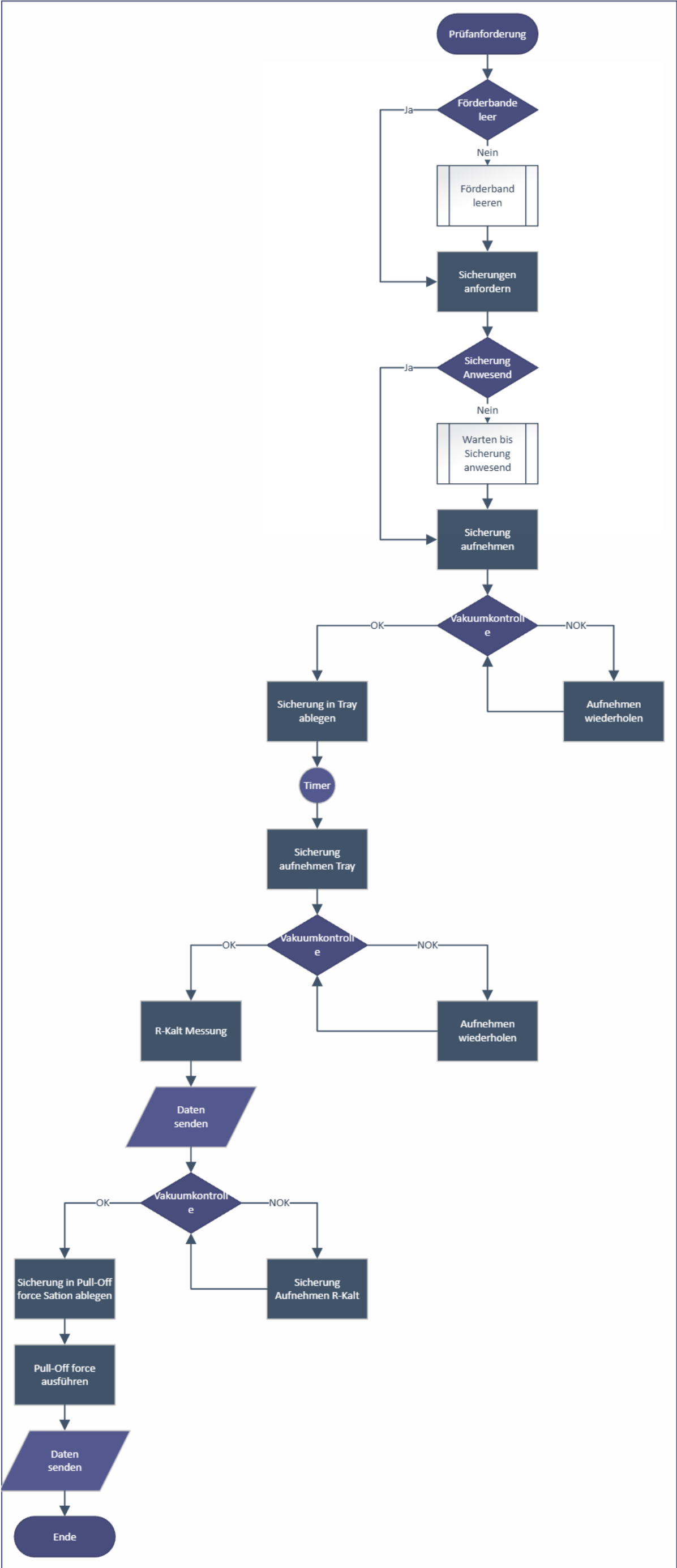


Abbildung 30 Flowchart Software Hauptprozess

Projektabschluss

Soll/Ist Vergleich

Anforderung	Soll	Ist	Status
Automatisierung Pull-Off Force	Vollständig konstruiert und validiert	Konstruktion fertig, PoC validiert	✓ Erfüllt
Automatisierung R-Kalt Messung	Vollständig konstruiert und validiert	Konstruktion fertig, Prüfnest optimiert	✓ Erfüllt
Taktzeit	≤ 4 Sekunden pro Sicherung	3,2–3,5 Sekunden (prognostiziert)	✓ Erfüllt
Messgenauigkeit (MSA)	Messsystem ist fähig	PoC zeigt bessere Normalverteilung als aktuelles System	✓ Erfüllt
Kostenersparnis	~3.000 CHF monatlich	2.970 CHF monatlich (90 min/Tag)	✓ Erfüllt
ROI	≥ 5% im ersten Jahr	8%	✓ Erfüllt
Schutzart	IP54	Alles > IP54	✓ Erfüllt
Datenintegration	RFID-Tray System mit Rückverfolgung	Konzept validiert, Schnittstellen definiert	✓ Erfüllt
Bauraum	Integration in bestehende Anlage	Modular mit ITEM-Profilen realisiert	✓ Erfüllt
Risikomanagement	FMEA durchgeführt, kritische Fehlerquellen adressiert	Flowchart mit rot-gelb-grün Markierung, Massnahmen definiert und umgesetzt	✓ Erfüllt
Fertigstellung Diplomarbeit	15.09.–10.11.2025	Abgegeben 10.11.2025	✓ Pünktlich
Gesamtprojekt	Fertig bis Ende 2025	Auf Kurs für Ende 2025	✓ Im Plan

Zielevaluierung

Die Evaluation der definierten SMART-Ziele zeigt, dass das Projekt erfolgreich durchgeführt wurde und alle Anforderungen vollständig erfüllt wurden.

Spezifisch - Die Automatisierung beider Produktionsprüfungen ist vollständig abgeschlossen. Sowohl die Pull-Off-Force-Station mit pneumatischem Antrieb und Kraftmessdose als auch die R-Kalt-Messstation wurden erfolgreich konstruiert und sind bereit für die Integration in die bestehende Produktionsanlage.

Messbar - Die geforderte Taktzeit von vier Sekunden wird unterschritten. Das erfolgreich durchgeführte PoC hat das Messkonzept validiert und eine deutlich ausgeprägtere Normalverteilung als das aktuelle System gezeigt.

Attraktiv - Die wirtschaftliche Attraktivität wurde nachgewiesen. Bei einem konservativen Ansatz ergibt die ROI-Berechnung einen Gewinn von 8 % (800 Franken) im ersten Jahr mit einer Amortisationszeit von ca. 11 Monaten. Die monatlichen Einsparungen von knapp 3000 Franken an Mitarbeiterkosten wurden bestätigt.

Realistisch - Das Projekt hat sich als vollständig realisierbar erwiesen. Die systematische Variantenentwicklung mithilfe einer Präferenzmatrix und einer Nutzwertanalyse führte zur optimalen Lösung. Alle technischen Herausforderungen konnten bewältigt werden.

Terminiert - Der vorgegebene Projektrahmen wurde eingehalten. Die Diplomarbeit wurde fristgerecht zwischen dem 15.09.2025 und dem 10.11.2025 abgeschlossen. Dank der detaillierten Konstruktionsdokumentation können die geplante Fertigstellung und Inbetriebnahme bis Ende 2025 realisiert werden.

Reflexion

Zunächst habe ich mich gefragt: «Wer liest das eigentlich?» Nicht nur die TEKO-Dozenten, sondern auch meine Kollegen bei Schurter sollen verstehen, warum ich diese Entscheidungen getroffen habe. Das hat mir bei der Strukturierung geholfen. Anstatt nur die Ergebnisse zu präsentieren, habe ich den Denkprozess dokumentiert: die Varianten, die Bewertungen, die Misserfolge.

Bei der Erstellung habe ich viel Zeit in die Visualisierung investiert. Kraft-Weg-Diagramme, Normalverteilungen und Flowcharts sind viel aussagekräftiger als hundert Worte. Die morphologische Box zeigt auf einen Blick, warum ich mich für Variante Gelb entschieden habe. Die Nutzwertanalyse mit den Gewichtungen erklärt die Entscheidungslogik. Das war zwar aufwändig, zahlt sich aber aus..

Die grösste Herausforderung bestand darin, die richtige Balance zwischen Tiefe und Lesbarkeit zu finden. Die FEM-Analyse des Push-outs ist wichtig, aber nicht jedes Detail musste in die Hauptarbeit aufgenommen werden. Deshalb habe ich vieles in den Anhang verschoben. Dazu

gehören Werkstattzeichnungen, detaillierte Datenblätter und der komplette FEM-Bericht. Die Arbeit bleibt lesbar, aber alles ist verfügbar, wenn jemand tiefer einsteigen möchte. Ich habe gelernt, kritische Momente zu erkennen. Das PoC war nicht «irgendein Testaufbau» – das war der Punkt, an dem sich entschied, ob das gesamte Projekt Sinn ergibt. Die ausgeprägtere Normalverteilung war keine nette Nebenerscheinung, sondern die Validierung der gesamten Strategie. Das habe ich in der Arbeit klar herausgearbeitet. Ich habe auch gelernt, mit Unsicherheit umzugehen. Es gab Momente, in denen ich nicht wusste, ob die Bauraumbeschränkungen lösbar sind. Ob der Push-out wirklich bricht, wenn er soll. Ob die FMEA vollständig genug ist. Diese Unsicherheiten gehören in eine ehrliche Dokumentation, sie dürfen nicht versteckt werden, sondern müssen als Handlungslogik erklärt werden.

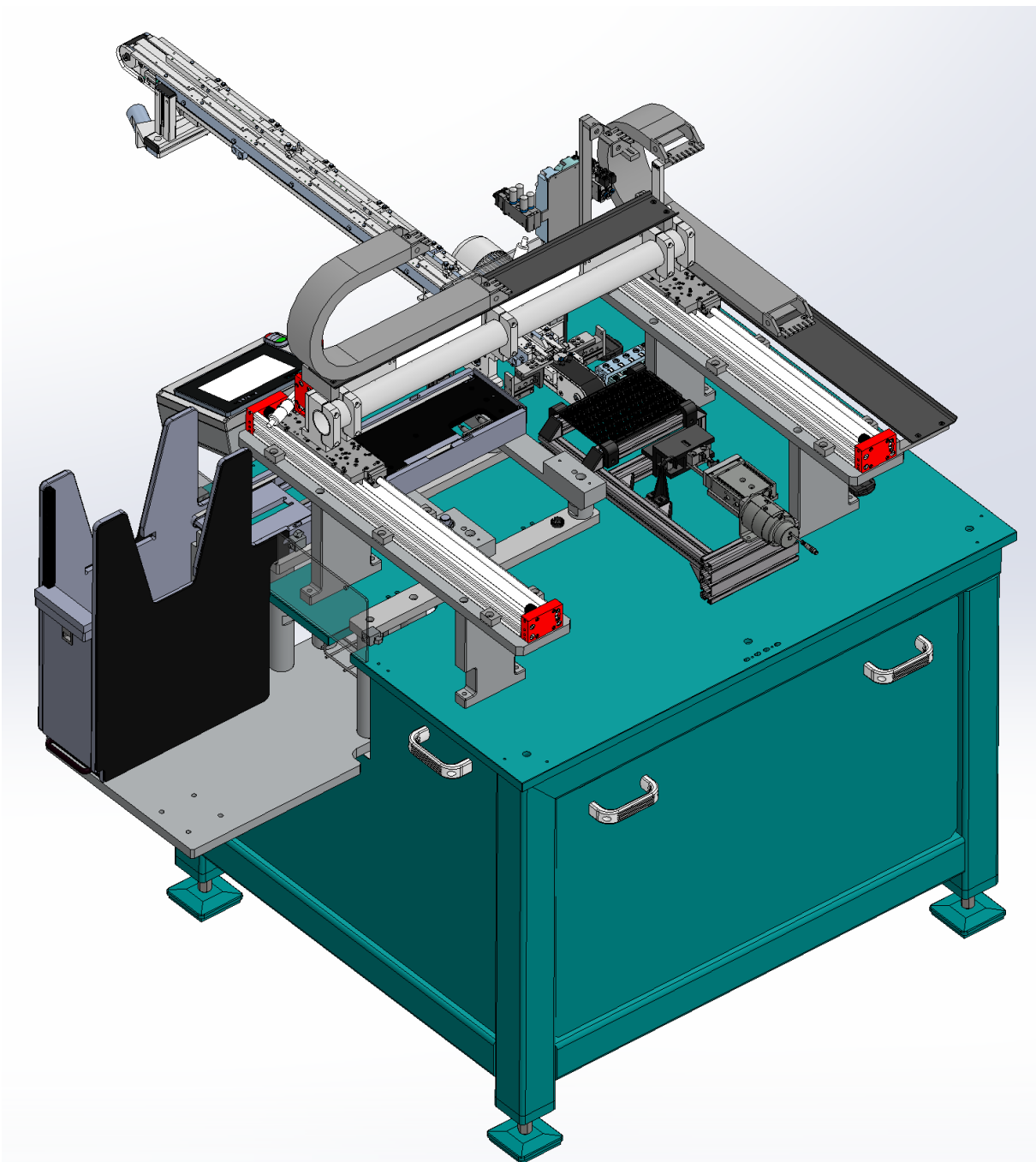


Abbildung 31 Trayhandler mit integrierter Prüfstation

Weg zum Ziel

Der Weg zur erfolgreichen Projektrealisierung war geprägt von einem systematischen Vorgehen und einer kontinuierlichen Anpassung an neue Erkenntnisse. Zu Beginn habe ich die Komplexität der Platzverhältnisse in der bestehenden Anlage unterschätzt. Mir fiel erst spät auf, dass der verfügbare Bauraum durch die Gantry-Reichweite und den auftragenden Y-Aufbau stark eingeschränkt war. Diese Erkenntnis zwang mich zu einer kompletten Neuauslegung der Station, was wertvolle Zeit kostete. Die Entscheidung für ITEM-Profile als Trägersystem erwies sich jedoch als genial. Dank der Modularität konnte ich schnell und effizient eine geeignete Trägereinheit zusammenstellen, ohne aufwendige Eigenkonstruktionen erstellen zu müssen. ITEM stellte die Profile sogar als STEP-Dateien zur Verfügung, wodurch sich der Konstruktionsaufwand minimal hielt. Ein kritischer Moment war die Kraftevaluierung für den Pneumatikzylinder. Die praktischen Tests mit verschiedenen Kolbendurchmessern bei 25 kg Belastung zeigten deutlich: Je grösser der Durchmesser, desto besser das Ergebnis. Durch die Zusammenarbeit mit FESTO wurde die optimale Lösung mit dem Doppelkolbenzylinder gefunden. Die FMEA-Durchführung war herausfordernd, da wir intern keine Routine haben. Ich entwickelte eine pragmatische Lösung in Form eines Softwareflowcharts mit Ampelsystem (rot/gelb/grün). Besonders die roten Risiken (Sicherungen bleiben im Nest stecken) erforderten konstruktive Lösungen wie den exzentrischen Push-out mit Sollbruchstelle.

Lessons learned

Diese Diplomarbeit hat mir wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Projekte und meine berufliche Entwicklung geliefert.

Planung ist alles, aber nicht alles ist planbar

Trotz sorgfältiger Vorbereitung traten unvorhergesehene Herausforderungen, wie Bauraumbeschränkungen, auf. Hätten wir frühere Begehungen und detaillierte Aufmasse durchgeführt, hätten wir Zeit gespart.

Lieferanteneinbindung zahlt sich aus

Die Zusammenarbeit mit den Unternehmen FESTO und Baumer Electronics war entscheidend. Dank ihres Fachwissens konnten optimale Komponentenentscheidungen getroffen werden. Da ich bereits positive Erfahrungen mit Baumer gemacht hatte, fiel mir die Entscheidung leichter.

Modularität als Erfolgskonzept

Die Entscheidung für ITEM-Profile und einen modularen Aufbau hat sich als goldrichtig erwiesen. Dadurch wurden Wartungsfreundlichkeit, die Demontierbarkeit der R-Kalt-Station mit nur zwei Schrauben und die Anpassungsfähigkeit maximiert.

3D-Druck als Konstruktionsbefreier

Die Möglichkeit, komplexe Geometrien ohne spanende Bearbeitung zu realisieren, eröffnete neue Lösungswege. Davon profitieren der Push-out und die R-Kalt-Station erheblich.

FEM-Analyse schafft Vertrauen

Die systematische Analyse des Push-outs (Bruchkraft: 5,3 kg) und der Flächenpressung gab bei kritischen Konstruktionsentscheidungen Sicherheit. Auch die Base wurde mittels FEM-Analyse als statisch sicher evaluiert.

Pragmatische FMEA ist besser als keine

Auch ohne eine interne FMEA-Routine konnte ich durch ein strukturiertes Vorgehen kritische Fehlerquellen identifizieren und Massnahmen definieren.

PoC als Projektrettung

Das erfolgreich validierte Proof of Concept stellte den entscheidenden Meilenstein dar. Die ausgeprägtere Normalverteilung im Vergleich zum aktuellen System legitimierte das gesamte Projekt.

Persönliches Schlusswort

Diese Diplomarbeit stellt einen wichtigen Meilenstein in meiner beruflichen Laufbahn als Maschinenbautechniker HF dar. Sie verbindet meine praktische Erfahrung bei der Schurter AG mit den theoretischen Grundlagen der TEKO auf perfekte Weise.

Ich bin besonders stolz auf die systematische Herangehensweise, die von der Kreativitätstechnik über die Präferenzmatrix bis hin zur FEM-Analyse reicht. Diese Methodik werde ich in zukünftigen Projekten konsequent anwenden. Die Tatsache, dass alle SMART-Ziele erreicht wurden, bestätigt den gewählten Ansatz. Die Lösung mit pneumatischem Antrieb, Kraftmessdose und modularem Aufbau überzeugte sowohl technisch als auch wirtschaftlich. Der ROI von 8 % und der Payback von 11 Monaten bei einem konservativen Ansatz unterstreichen die Attraktivität des Projekts..

Mich hat persönlich die Komplexität der Integration in bestehende Anlagen überrascht. Die an sich einfache Aufgabe, «zwei Prüfungen zu automatisieren», entpuppte sich als vielschichtiges Optimierungsproblem mit Bauraumbeschränkungen, Sicherheitsanforderungen und Wartungsaspekten. Die Zusammenarbeit mit verschiedenen Abteilungen – von der Qualitätssicherung über die Produktion bis hin zur Konstruktion – schärfte mein Verständnis für interdisziplinäre Projektarbeit. Besonders wertvoll war der Austausch mit den Operatoren, die täglich 90 Minuten mit den manuellen Prüfungen verbringen. Mit dem bevorstehenden Wechsel zur KKS AG als MSC Lean Automation Engineer nehme ich diese wertvollen Erkenntnisse mit. Die systematische Automatisierungsplanung, die Wichtigkeit von PoC-Validierungen und die Kraft modularer Konstruktionsansätze werden meine zukünftige Arbeit prägen.

Verdankungen

Ich möchte mich bei den Dozenten der TEKO Luzern bedanken für das vermittelte Wissen. Des Weiteren möchte ich mich auch bei der Schurter AG bedanken für die Möglichkeit diese Arbeit intern zu absolvieren und das mit entgegengebrachte Vertrauen. Speziell Danke will ich, Herrn Antonio Foschini für die professionelle Begleitung meiner Diplomarbeit. Auch Herrn Severio Brugnoli will ich speziell danken für die Unterstützung bei der Schurter Ag. Als letztes will ich Frau Schnyder-Moosig Irène danken, für ihren unermüdlichen Einsatz während dem ganzen Studium.

Eigenständigkeitserklärung

Diplomarbeit im Studiengang Dipl. Maschinenbautechniker HF

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und ausschliesslich die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle wörtlich oder sinngemäss übernommenen Textstellen aus fremden Quellen habe ich als solche gekennzeichnet.

Bei der Erstellung dieser Arbeit wurden die folgenden KI-Tools verwendet:

- Ich habe Perplexity für die Recherche und das Erstellen des Titelbildes genutzt.

Ich habe die mit KI-Tools generierten Inhalte überprüft, kritisch hinterfragt und eigenständig überarbeitet. Ich übernehme die vollständige Verantwortung für den Inhalt der Arbeit.

Ort, Datum

Flüeli-Randt, 08.11.2025

Unterschrift

Hilar

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 SMD-Sicherung	5
Abbildung 2 Pull-Off force/R-Kalt Station	6
Abbildung 3 Pull-Off force/R-Kalt Station	6
Abbildung 4 MindMap Antrieb	7
Abbildung 5 Projektplan	10
Abbildung 6 MindMap Antrieb	11
Abbildung 7 MindMap Material	11
Abbildung 8 MindMap Kraftmessung	11
Abbildung 9 Skizze Konzept Pull-Off Force Test	18
Abbildung 10 Konzept R-Kalt Messung	19
Abbildung 11 Kraft-Weg Diagramm	20
Abbildung 12 Normalverteilung aktuell	20
Abbildung 13 Normalverteilung PoC	20
Abbildung 14 Investmentantrag	21
Abbildung 15 Flowchart Softwareablauf	23
Abbildung 16 Trägereinheit	24
Abbildung 17 Push out	25
Abbildung 18 R-Kalt Station	26
Abbildung 19 FEM-Analyse Push out	30
Abbildung 20 FEM Push out 53N	31
Abbildung 21 FEM Push out 22.5N	31
Abbildung 22 FEM von Miess 454N	32
Abbildung 23 FEM von Miess 200N	33
Abbildung 24 FEM Sicherheitsfaktor 454N	34
Abbildung 25 FEM Sicherheitsfaktor 200N	34
Abbildung 26 Schnittansicht Sicherungsnest	35
Abbildung 27 Pull-Off Force Test	36
Abbildung 28 Pull-Off Force Station	37
Abbildung 29 Flowchart Software	38
Abbildung 30 Flowchart Software Hauptprozess	39
Abbildung 31 Trayhandler mit integrierter Prüfstation	42

Quellenverzeichnis

Für diese Arbeit gibt es keine externen Quellen anzugeben. Alle Inhalte stammen aus eigener Erfahrung und sind selbstständig erarbeitet worden – es wurde nichts übernommen, was belegt werden müsste.

Anhangsverzeichnis

MindMap.....48

Datenblätter.....51

FEM-Bericht57

Werkstattzeichnungen.....101

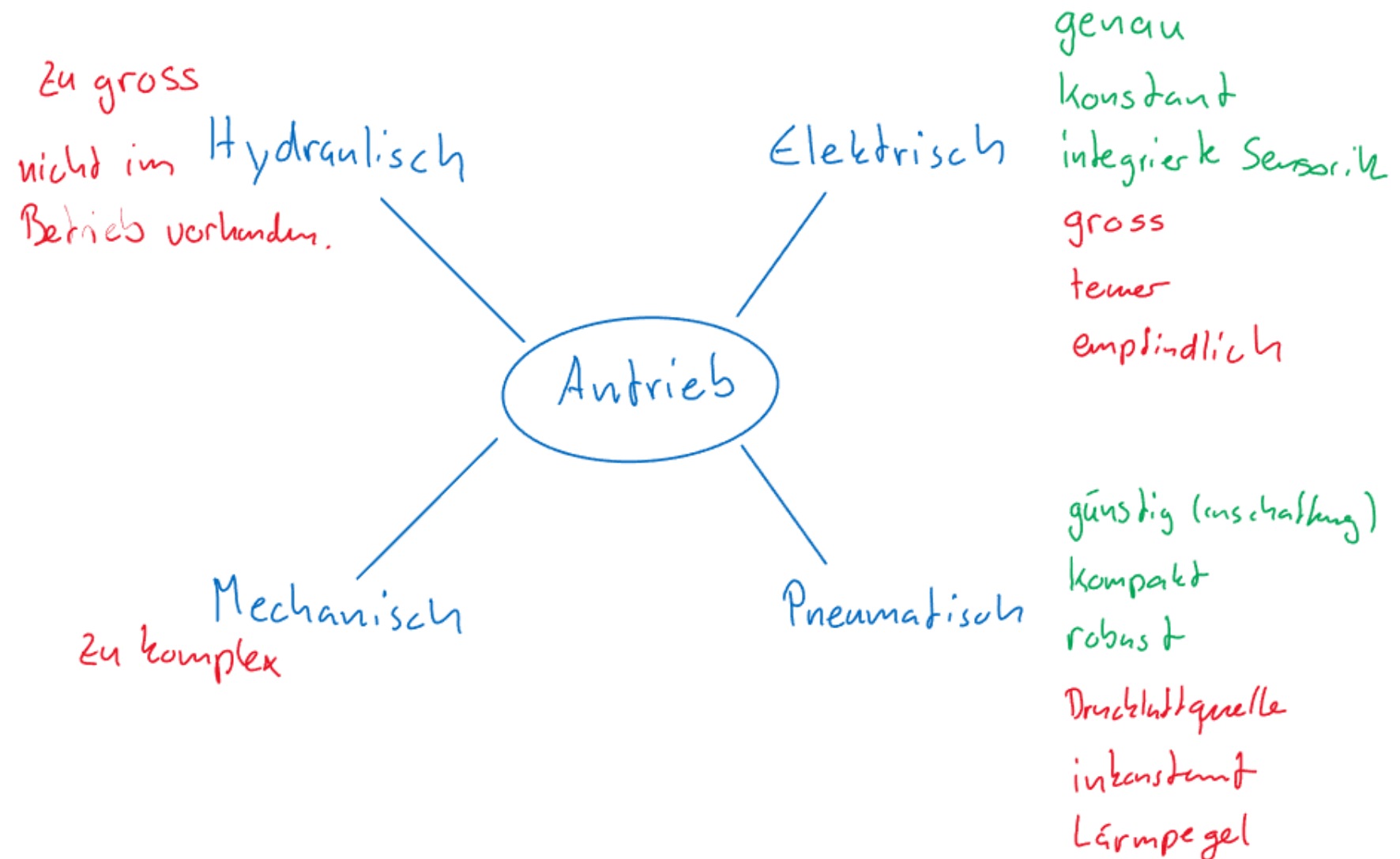
Projektantrag.....110

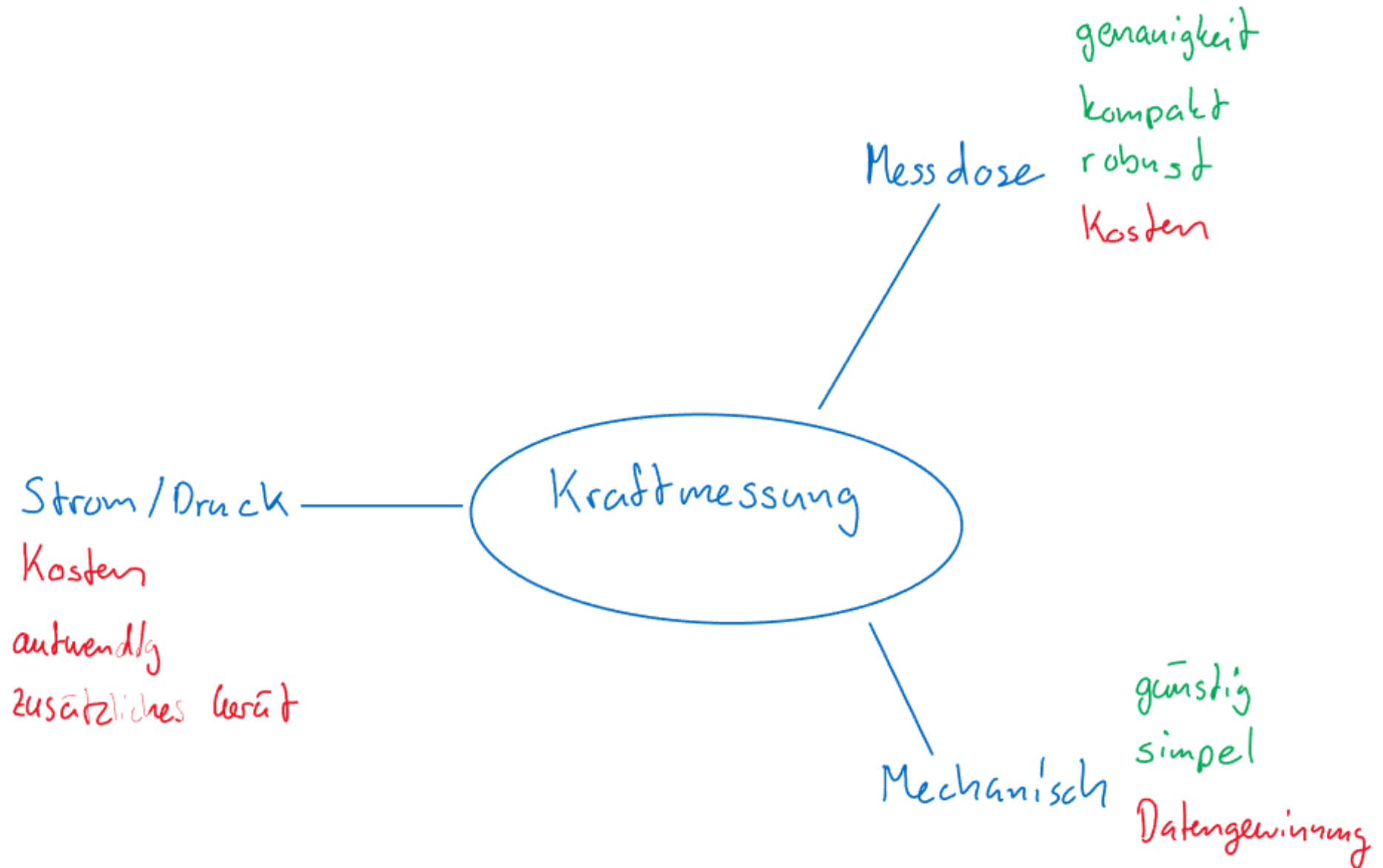
Themeneingabe112

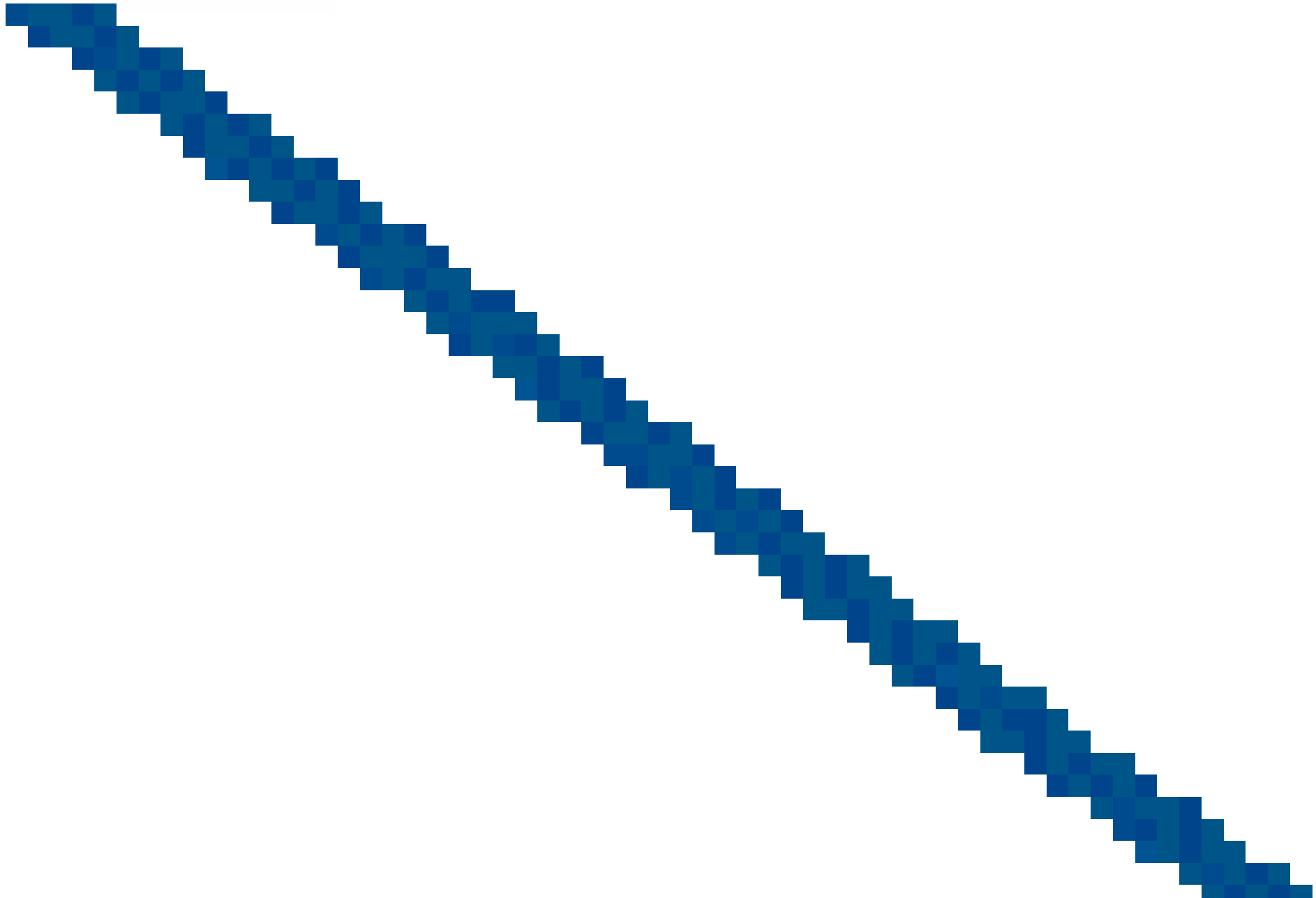
Pflichtenheft119

PoC Validierung.....127

MindMap



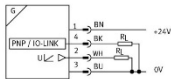




Positions-Transmitter

SDAT-MHS-M50-1L-SV-E-0.3-M8

Teilenummer: 8115394



Allgemeine Einsatzbedingungen

Datenblatt

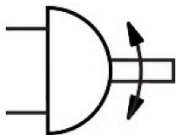
Merkmal	Wert
Bauform	für T-Nut
Symbol	00997376
Zulassung	RCM Mark c UL us - Listed (OL)
CE-Zeichen (siehe Konformitätserklärung)	nach EU-EMV-Richtlinie
UKCA-Zeichen (siehe Konformitätserklärung)	nach UK Vorschriften für EMV
Werkstoff-Hinweis	RoHS konform halogenfrei
Anwendungshinweis	https://www.festo.com/Drive-Sensor-Overview
Messgröße	Position
Messprinzip	magnetisch Hall
Erfassungsbereich	0 µm ... 50000 µm
Umgebungstemperatur	-25 °C ... 70 °C
Abtastintervall typ.	1 ms
Max. Verfahrensgeschwindigkeit	3 m/s
Auflösung Weg	0.05 mm
Wiederholgenauigkeit	0.1 mm
Schaltausgang	PNP
Schaltelementfunktion	Öffner/Schließer umschaltbar
Einschaltzeit	<2 ms
Ausschaltzeit	<2 ms
Max. Schaltfrequenz	1000 Hz
Max. Ausgangsstrom	100 mA
Max. Schaltleistung DC	2.7 W
Spannungsfall	2.5 V
Analogausgang	0 - 10 V
Empfindlichkeit	0.18 V/mm
Linearitätsfehler typ.	±0,25 mm
Min. Lastwiderstand Spannungsausgang	20 kOhm
Kurzschlussfestigkeit	ja
Überlastfestigkeit	vorhanden
Protokoll	I-Port IO-Link
IO-Link, Protokollversion	Device V 1.1
IO-Link, Profil	Smart sensor profile

Merkmal	Wert
IO-Link, Funktionsklassen	Binärer Daten Kanal (BDC) Prozess Daten Variable (PDV) Identifikation Diagnose Teach channel
IO-Link, Communication mode	COM3 (230,4 kBaud)
IO-Link, SIO-Mode Unterstützung	Ja
IO-Link, Port class	A
IO-Link, Prozessdatenbreite IN	2 Byte
IO-Link, Prozessdateninhalt IN	12 bit PDV (Positionsmesswert) 4 bit BDC (Positionsüberwachung)
IO-Link, minimale Zykluszeit	1 ms
Betriebsspannungsbereich DC	15 V ... 30 V
Restwelligkeit	10 %
Verpolungsschutz	für alle elektrischen Anschlüsse
Elektrischer Anschluss 1, Anschlussart	Kabel mit Stecker
Elektrischer Anschluss 1, Anschluss technik	M8x1 A-codiert nach EN 61076-2-104
Elektrischer Anschluss 1, Anzahl Pole/Adern	4
Elektrischer Anschluss 1, Befestigungsart	Schraubverriegelung
Elektrischer Anschluss 1, Anschlussbild	00991171
Abgangsrichtung Anschluß	längs
Werkstoff Steckkontakte	Kupfer-Legierung vergoldet
Prüfbedingungen Leitung	Biegewechselfestigkeit: nach Festo Norm Torsionsfestigkeit: > 300 000 Zyklen, ±270°/0,1 m Energiekette: > 5 Millionen Zyklen, Biegeradius 28 mm
Kabellänge	0.3 m
Leitungseigenschaft	energiekettentauglich/ robotertauglich
Farbe Kabelmantel	grau
Werkstoff Kabelmantel	TPE-U(PUR)
Befestigungsart	festgeschraubt von oben in Nut einsetzbar
Einbaulage	beliebig
Produktgewicht	19 g
Werkstoff Gehäuse	Polyester hochlegierter Stahl rostfrei
Werkstoff Überwurfmutter	Messing vernickelt
Werkstoff Folie	Polyester
Betriebsbereitschaftsanzeige	LED grün
Schaltzustandsanzeige	LED gelb
Statusanzeige	LED rot
Einstellmöglichkeiten	IO-Link Taste
Umgebungstemperatur bei beweglicher Kabelverlegung	-20 °C ... 70 °C
Schutzart	IP65 IP68
LABS-Konformität	VDMA24364-B2-L
Eignung zur Produktion von Li-Ionen Batterien	Geeignet für Batterieproduktion mit reduzierten Cu/Zn/Ni Werten (F1a)
Reinraumklasse	Klasse 4 nach ISO 14644-1

Schwenkantrieb
DRVS-25-180-P

Teilenummer: 1845717

FESTO



 Allgemeine Einsatzbedingungen

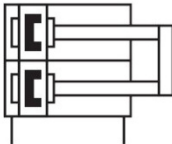
Datenblatt

Merkmal	Wert
Baugröße	25
Dämpfungswinkel	0.5 deg
Schwenkwinkel	0 deg ... 180 deg
Zulässiger Anschlagradius	≥21 mm
Dämpfung	elastische Dämpfungsringe/-platten beidseitig
Einbaulage	beliebig
Funktionsweise	doppeltwirkend
Konstruktiver Aufbau	Schwenkflügel
Positionserkennung	für Näherungsschalter
Symbol	00991265
Varianten	Zapfenwelle
Betriebsdruck	0.2 MPa ... 0.8 MPa
Betriebsdruck	2 bar ... 8 bar
Max. Schwenkfrequenz bei 0,6 MPa (6 bar, 87 psi)	3 Hz
Wiederholgenauigkeit	1 deg
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Hinweis zum Betriebs-/Steuermedium	Geölter Betrieb möglich (im weiteren Betrieb erforderlich)
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	1 - niedrige Korrosionsbeanspruchung
LABS-Konformität	VDMA24364-B2-L
Reinraumklasse	Klasse 5 nach ISO 14644-1
Umgebungstemperatur	0 °C ... 60 °C
Max. Anschlagkraft	320 N
Max. Axialkraft	40 N
Max. Radialkraft	60 N
Theoretisches Drehmoment bei 0,6 MPa (6 bar, 87 psi)	5 Nm
Zulässiges Massenträgheitsmoment	0.012 kgm²
Produktgewicht	494 g
Befestigungsart	mit Innengewinde
Pneumatischer Anschluss	M5
Werkstoff-Hinweis	RoHS konform
Werkstoff Antriebswelle	Stahl vernickelt
Werkstoff Dichtungen	TPE-U(PU)
Werkstoff Gehäuse	Aluminium-Druckguss, lackiert

Twin cylinder

DGTZ-GF-25-10-P-A

Part number: 8100637



Data sheet

 [General operating condition](#)

Feature	Value
Stroke	10 mm
Adjustable end position range/length	10 mm
Piston diameter	25 mm
Drive unit operating mode	Yoke
Cushioning	Elastic cushioning rings/pads at both ends
Mounting position	Any
Guide	Sliding guide
Structural design	Guide
Position sensing	For proximity sensor
Symbol	00991249
Operating pressure	0.1 MPa ... 0.8 MPa
Operating pressure	1 bar ... 8 bar
Mode of operation	Double-acting
Operating medium	Compressed air as per ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Information on operating and pilot media	Operation with oil lubrication possible (required for further use)
Corrosion resistance class (CRC)	1 - Low corrosion stress
LABS (PWIS) conformity	VDMA24364 zone III
Cleanroom class	Class 5 according to ISO 14644-1
Ambient temperature	-10 °C ... 80 °C
Impact energy in the end positions	0.3 J
Max. payload as a function of the stroke at defined distance xs	22.4 N
Theoretical force at 6 bar, retracting	454 N
Theoretical force at 6 bar, advancing	590 N
Moving mass	616 g
Product weight	616 g
Pneumatic connection	G1/8
Note on materials	RoHS-compliant
Cover material	Wrought aluminum alloy
Seals material	NBR
Housing material	Wrought aluminum alloy, anodized
Piston rod material	High-alloy stainless steel

Baumer Kraftmessdose



Kraftsensor
DLM20-IN.501.TP3.M4

Artikelnummer: 11217611

Auf einen Blick

- Für Zug- und Druckkräfte von 0 ... 500 N
- Linearitätsabweichung < 0,2 %
- Kleiner Aussendurchmesser für limitierte Platzverhältnisse
- Einseitiger Anschlag mit integriertem Sechskant für einfache Montage
- Sensorkörper aus Edelstahl mit Schutzart IP67
- Vollverschweisstes Sensordesign
- Dauerfest mit 100% Schwingbreite



Technische Daten

Allgemeine Daten

Messbereich	0 ... 500 N
Linearitätsabweichung	< 0,2 %
Wiederholbarkeit	< 0,1 %
TK Nullsignal	< 0,2 % / 10K
Nullpunktabweichung	< 20 %
Bauform	Inline
Mechanische Anbindung	M4 Gewinde / M4 Gewinde

Mechanische Daten

Überlast	150 %
Minimale Bruchkraft	200 %
Dauerfestigkeit	>10 Mio Zyklen bei 0...100% FS
Nennmessweg	15 µm
Gewicht	22 g

Mechanische Daten

Material Sensorkörper	Edelstahl, 1.4542
Elektrischer Anschluss	Stecker M5, 4-polig

Elektrische Daten

Nennkennwert	1 mV/V
Brückenwiderstand	1000 Ω
Betriebsspannungsbereich	0,5 ... 12 VDC
Signalpolarität positiv	Zug

Umgebungsbedingungen

Betriebstemperaturbereich	-40 ... 85 °C
Lagertemperaturbereich	-40 ... 85 °C
Schutzart EN 60529, ISO20653	IP 67

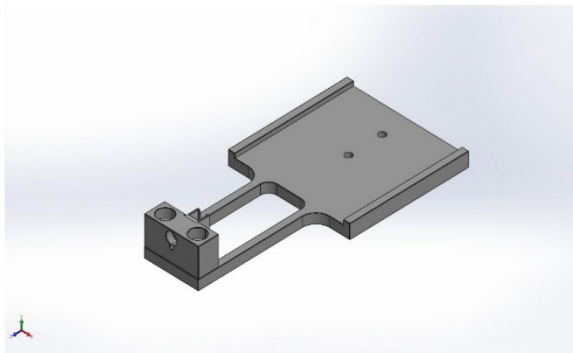
Konformität und Zulassungen

UL gelistet	E217824
-------------	---------

2025-07-15 Angegebene Produkteigenschaften und technische Daten stellen keine Garantieerklärung dar. Technische Änderungen vorbehalten.

FEM-Bericht

Base



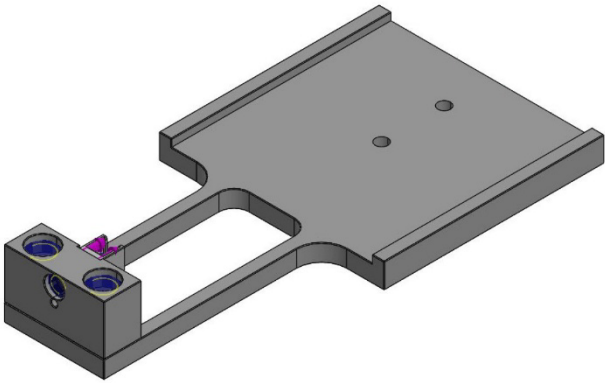
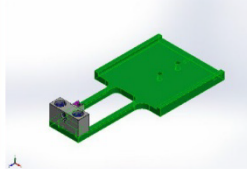
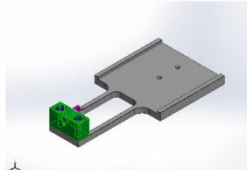
Beschreibung

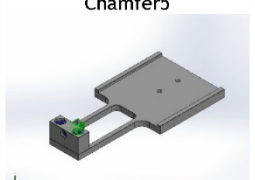
Simulation von D10-095-050

Datum: Donnerstag, 6. November 2025
Konstrukteur: HRI
Studenname: 454N
Analyseart: Statisch

Inhaltsverzeichnis

Beschreibung.....	1
Annahmen	2
Modellinformationen.....	3
Studieneigenschaften.....	5
Maßeinheiten	6
Materialeigenschaften	6
Lasten und Einspannungen.....	7
Verbindungsstückdefinitionen	8
Interaktionsinformationen	10
Netzinformationen	11
Sensordetails.....	12
Resultierende Kräfte	12
Balken	12
Ergebnisse untersuchen	13
Schlussfolgerung.....	15

 Modellname: D10-095-050 Aktuelle Konfiguration: Standard			
Volumenkörper			
Dokumentname und Referenz	Behandelt als	Volumetrische Eigenschaften	Dokumentpfad/Datum der Änderung
M4 Tapped Hole1 	Volumenkörper	Masse:0.18098 kg Volumen:6.70297e-05 m^3 Dichte:2'700 kg/m^3 Gewicht:1.77361 N	D:\TCWork\PROD\D10-094-410.SLDPRT Oct 24 13:18:18 2025
Chamfer1 	Volumenkörper	Masse:0.0248798 kg Volumen:9.21474e-06 m^3 Dichte:2'700 kg/m^3 Gewicht:0.243822 N	D:\TCWork\PROD\D10-094-411.SLDPRT Oct 13 08:21:00 2025

 Chamfer5	Volumenkörper	Masse:0.00393773 kg Volumen:4.98446e-07 m^3 Dichte:7'900 kg/m^3 Gewicht:0.0385897 N	D:\TCWork\PROD\D10-094-420.SLDPRT Oct 13 08:21:00 2025
---	---------------	--	---

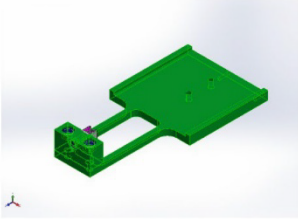
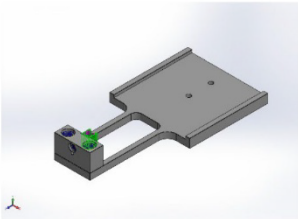
Studieneigenschaften

Studienname	454N
Analyseart	Statisch
Vernetzungstyp	Volumenkörpervernetzung
Thermische Auswirkung:	Ein
Wärmeoption	Temperaturbelastung berücksichtigen
Temperatur bei Nulldehnung	298 Kelvin
Flüssigkeitsdruckauswirkungen von SOLIDWORKS Flow Simulation einbeziehen	Aus
Solver-Typ	Automatisch
Inplane-Auswirkung:	Aus
Soft Spring:	Aus
Massenträgheitsentlastung:	Aus
Inkompatible Verbindungsoptionen	Automatisch
Große Verschiebung	Aus
Freie Körperkräfte berechnen	Ein
Reibung	Aus
Adaptionsmethode verwenden:	Aus
Ergebnisordner	SOLIDWORKS Dokument (D:\TCWork\PROD)

Maßeinheiten

Einheitensystem:	SI (MKS)
Länge/Verschiebung	mm
Temperatur	Kelvin
Winkelgeschwindigkeit	rad/s
Druck/Spannung	N/m ²

Matereialeigenschaften

Modellreferenz	Eigenschaften	Komponenten
	Name: EN-AW 6082 (3.2315) Modelltyp: Linear Elastisch Isotrop Standardversagenskriterium: Unbekannt Fließgrenze: 2e+08 N/m² Zugfestigkeit: 2.2e+08 N/m² Elastizitätsmodul: 7e+10 N/m² Poissonsche Zahl: 0.3897 Massendichte: 2'700 kg/m³ Schubmodul: 2.7e+10 N/m² Wärmeausdehnungskoeffizient: 2.4e-05 /Kelvin	Volumenkörper 1(M4 Tapped Hole1)(D10-094-410-1), Volumenkörper 1(Chamfer1)(D10-094-411-1)
Kurvendaten: N/A		
	Name: 1.4301 (X5CrNi18-10) Modelltyp: Linear Elastisch Isotrop Standardversagenskriterium: Unbekannt Fließgrenze: 4e+08 N/m² Zugfestigkeit: 6e+08 N/m² Elastizitätsmodul: 2e+11 N/m² Poissonsche Zahl: 0.28 Massendichte: 7'900 kg/m³ Schubmodul: 7.9e+10 N/m² Wärmeausdehnungskoeffizient: 1.1e-05 /Kelvin	Volumenkörper 1(Chamfer5)(D10-094-420-1)
Kurvendaten: N/A		

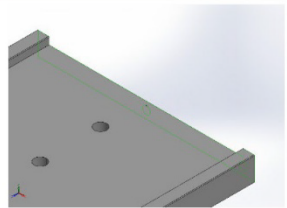


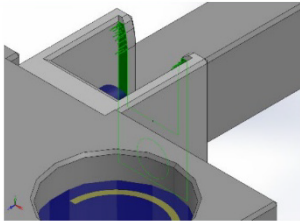
SOLIDWORKS Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

Simulation von D10-095-050

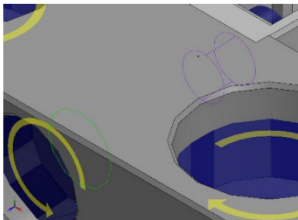
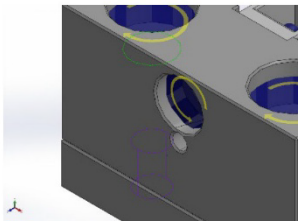
6

Lasten und Einspannungen

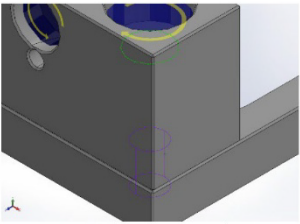
Einspannungsname	Einspannungsbild	Einspannungsdetails		
Fixiert-2		Elemente: 1 Fläche(n) Typ: Fixierte Geometrie		
Resultierende Kräfte				
Komponenten	X	Y	Z	Resultierend
Reaktionskraft(N)	-0.00119467	0.00840756	454.002	454.002
Reaktionsmoment(N.m)	0	0	0	0

Lastname	Bild laden	Lastdetails
Kraft-1		Elemente: 1 Fläche(n) Typ: Normalkraft anwenden Wert: 454 N

Verbindungsstückdefinitionen

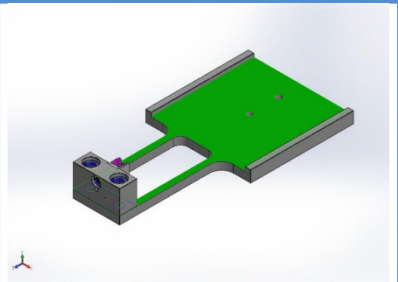
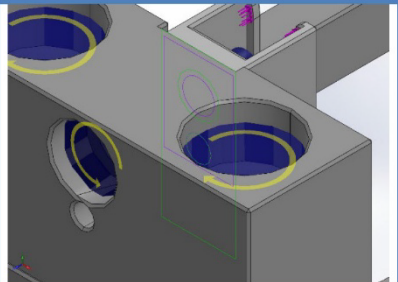
Stift-/Schrauben-/Lagerverbindungsglied				
Modellreferenz		Verbindungsstückdetails		Kraftdetails
 Stirnsenkungsschraube-3		Elemente: 1 Kante(n), 1 Fläche(n) Typ: Schraube(Kopf-/Mutterdurchmesser)(Stirnsenkungsschraube) Verbindungstyp: Verteilt Kopfdurchmesser: 7.5 mm Nominaler Schaftdurchmesser: 4 mm Materialname: Legierter Stahl Youngsches Modul: 2.1e+11 N/m^2 Poissonsche Zahl: 0.28 Vorlast (Drehmoment): 2.5 N.m Reibungsfaktor (K): 0.2 Passung: Nein		Keine Daten
Verbindungsstückkräfte				
Typ	X-Komponente	Y-Komponente	Z-Komponente	Resultierend
Axialkraft (N)	0	0	2'572.5	2'572.5
Schubkraft (N)	-1.9109	0.51088	0	1.9781
Biegemoment (N.m)	-0.049088	0.004623	0	0.049305
 Stirnsenkungsschraube-4		Elemente: 1 Kante(n), 1 Fläche(n) Typ: Schraube(Kopf-/Mutterdurchmesser)(Stirnsenkungsschraube) Verbindungstyp: Verteilt Kopfdurchmesser: 10.65 mm Nominaler Schaftdurchmesser: 6 mm Materialname: Legierter Stahl Youngsches Modul: 2.1e+11 N/m^2 Poissonsche Zahl: 0.28 Vorlast (Drehmoment): 6.6 N.m Reibungsfaktor (K): 0.2 Passung: Nein		Keine Daten

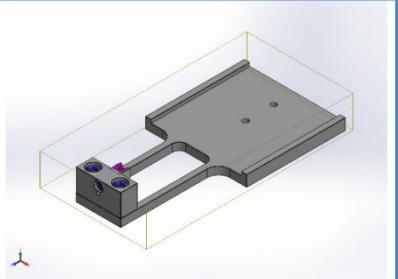
Verbindungsstückkräfte				
Typ	X-Komponente	Y-Komponente	Z-Komponente	Resultierend
Axialkraft (N)	0	4'517.1	0	4'517.1
Schubkraft (N)	9.8322	0	-9.2206	13.479
Biegemoment (N.m)	0.059694	0	0.10276	0.11884

 Stirnsenkungsschraube-5	Elemente: 1 Kante(n), 1 Fläche(n) Typ: Schraube(Kopf-/Mutterdurchmesser)(Stirnsenkungsschraube) Verbindungstyp: Verteilt Kopfdurchmesser: 10.65 mm Nominaler Schaftdurchmesser: 6 mm Materialname: Legierter Stahl Youngsches Modul: 2.1e+11 N/m^2 Poissonsche Zahl: 0.28 Vorlast: 6.6 N.m (Drehmoment): Reibungsfaktor (K): 0.2 Passung: Nein	Keine Daten
--	--	-------------

Verbindungsstückkräfte				
Typ	X-Komponente	Y-Komponente	Z-Komponente	Resultierend
Axialkraft (N)	0	4'416.6	0	4'416.6
Schubkraft (N)	1.1133	0	-6.998	7.086
Biegemoment (N.m)	0.088877	0	0.0031225	0.088931

Interaktionsinformationen

Interaktion	Interaktionsbild	Interaktionseigenschaften		
Lokale Interaktion-36		Typ: Kontaktinteraktionspaar Elemente: 2 Fläche(n) Erweitert: Oberfläche zu Oberfläche		
Kontakt/Reibungskraft				
Komponenten	X	Y	Z	Resultierend
Kontaktkraft(N)	2.9582E-30	-5.3819E-12	-1.272E-28	5.3819E-12
Lokale Interaktion-37		Typ: Kontaktinteraktionspaar Elemente: 2 Fläche(n) Erweitert: Oberfläche zu Oberfläche		
Kontakt/Reibungskraft				
Komponenten	X	Y	Z	Resultierend
Kontaktkraft(N)	4.4196E-28	-2.9056E-27	-3.3795E-13	3.3795E-13

Globale Interaktion		Typ: Verbunden Komponenten: 1 Komponente(n) Optionen: Unabhängiges Netz
---------------------	---	--

Netzinformationen

Vernetzungstyp	Volumenkörpervernetzung
Verwendeter Vernetzungstyp:	Gemischtes kurvengestütztes Netz
Jacobi-Punkte für Vernetzung hoher Qualität	16 Punkte
Maximale Elementgröße	4.56227 mm
Minimale Elementgröße	0.228113 mm
Netzqualität	Hoch
Fehlgeschlagene Teile unabhängigem neu vernetzen	Aus

Netzinformationen - Details

Gesamtknotenanzahl	32008
Gesamtelementanzahl	18616
Maximales Seitenverhältnis	305.02
% von Elementen mit Seitenverhältnis < 3	82.8
Prozentsatz Elemente mit Seitenverhältnis > 10	6.54
Prozentsatz verzerrte Elemente	0
Dauer bis zur Beendigung der Vernetzung (hh:mm:ss):	00:00:08
Computer-Name:	NBSAG4011

Sensordetails

Keine Daten

Resultierende Kräfte

Reaktionskräfte

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N	-0.00119467	0.00840756	454.002	454.002

Reaktionsmomente

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N.m	0	0	0	0

Freie Körperkräfte

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N	-2.73435e-05	0.000893863	-0.000435114	0.000994517

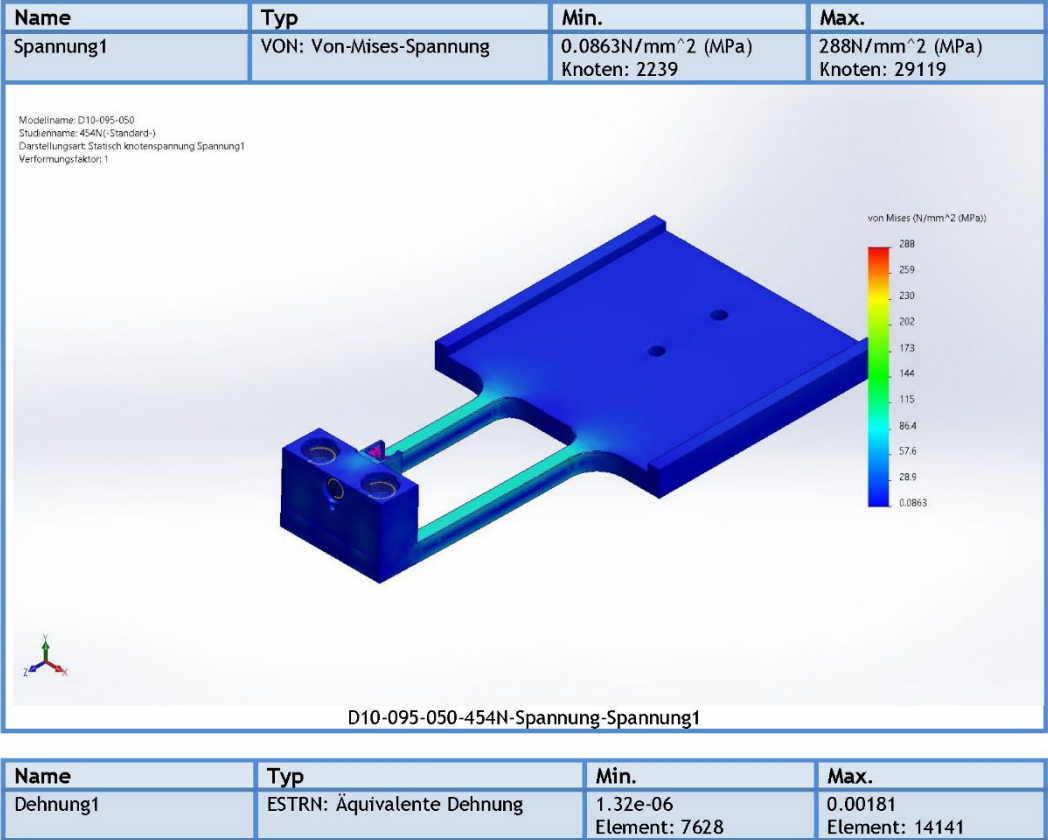
Freie Körpermomente

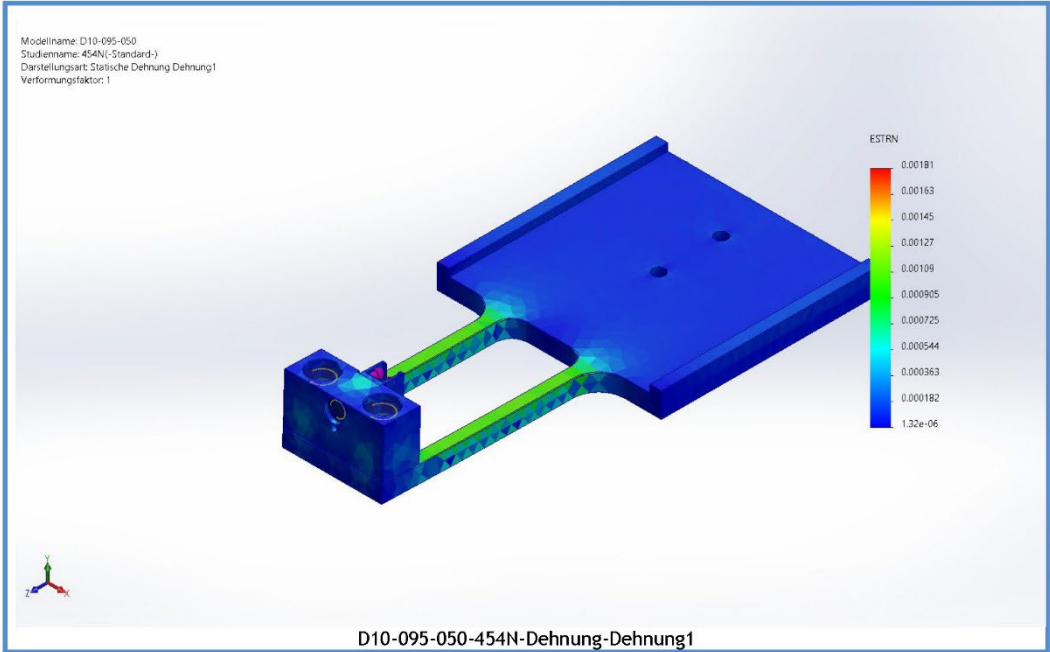
Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N.m	0	0	0	1e-33

Balken

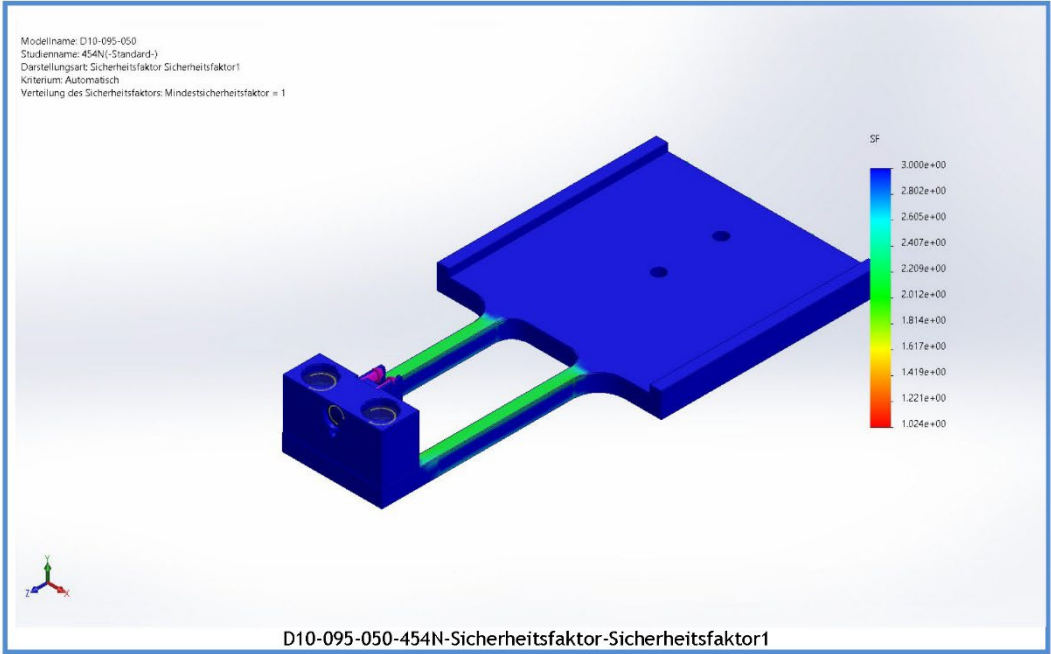
Keine Daten

Ergebnisse untersuchen

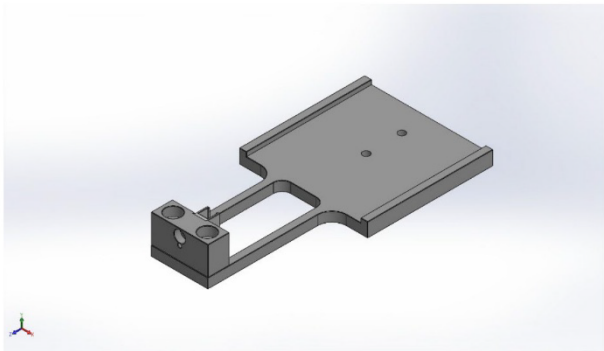




Name	Typ	Min.	Max.
Sicherheitsfaktor1	Automatisch	1.024e+00 Knoten: 27783	3.000e+00 Knoten: 1



Schlussfolgerung



Beschreibung
Keine Daten

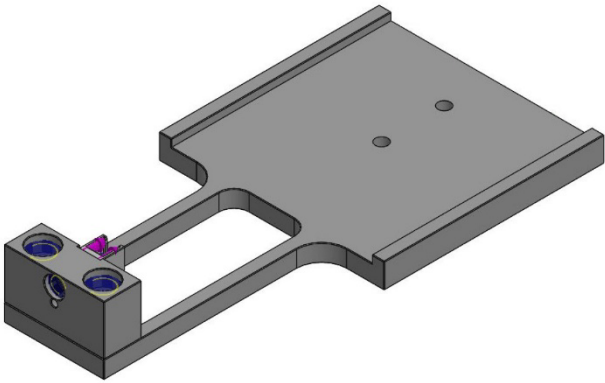
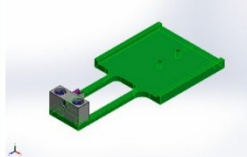
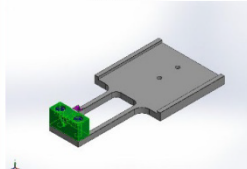
Simulation von D10-095-050

Datum: Donnerstag, 6. November 2025
Konstrukteur: Solidworks
Stuidentname: 200N von [454N]
Analyseart: Statisch

Inhaltsverzeichnis

Beschreibung.....	1
Annahmen	2
Modellinformationen.....	3
Studieneigenschaften.....	5
Maßeinheiten	6
Materialeigenschaften.....	6
Lasten und Einspannungen.....	7
Verbindungsstückdefinitionen.....	8
Interaktionsinformationen	10
Netzinformationen	11
Sensordetails.....	11
Resultierende Kräfte	12
Balken	12
Ergebnisse untersuchen	13
Schlussfolgerung.....	15



 Modellname: D10-095-050 Aktuelle Konfiguration: Standard			
Volumenkörper			
Dokumentname und Referenz	Behandelt als	Volumetrische Eigenschaften	Dokumentpfad/Datum der Änderung
M4 Tapped Hole1 	Volumenkörper	Masse:0.18098 kg Volumen:6.70297e-05 m^3 Dichte:2'700 kg/m^3 Gewicht:1.77361 N	D:\TCWork\PROD\D10-094-410.SLDPRT Oct 24 13:18:18 2025
Chamfer1 	Volumenkörper	Masse:0.0248798 kg Volumen:9.21474e-06 m^3 Dichte:2'700 kg/m^3 Gewicht:0.243822 N	D:\TCWork\PROD\D10-094-411.SLDPRT Oct 13 08:21:00 2025
Chamfer5	Volumenkörper	Masse:0.00393773 kg Volumen:4.98446e-07 m^3 Dichte:7'900 kg/m^3 Gewicht:0.0385897 N	D:\TCWork\PROD\D10-094-420.SLDPRT Oct 13 08:21:00 2025



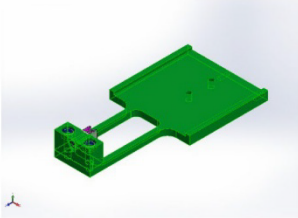
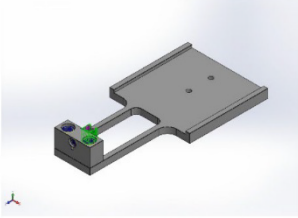
Studieneigenschaften

Studienname	200N von [454N]
Analyseart	Statisch
Vernetzungstyp	Volumenkörpervernetzung
Thermische Auswirkung:	Ein
Wärmeoption	Temperaturbelastung berücksichtigen
Temperatur bei Nulldehnung	298 Kelvin
Flüssigkeitsdruckauswirkungen von SOLIDWORKS Flow Simulation einbeziehen	Aus
Solver-Typ	Automatisch
Inplane-Auswirkung:	Aus
Soft Spring:	Aus
Massenträgheitsentlastung:	Aus
Inkompatible Verbindungsoptionen	Automatisch
Große Verschiebung	Aus
Freie Körperkräfte berechnen	Ein
Reibung	Aus
Adaptionmethode verwenden:	Aus
Ergebnisordner	SOLIDWORKS Dokument (D:\TCWork\PROD)

Maßeinheiten

Einheitensystem:	SI (MKS)
Länge/Verschiebung	mm
Temperatur	Kelvin
Winkelgeschwindigkeit	rad/s
Druck/Spannung	N/m ²

Materialeigenschaften

Modellreferenz	Eigenschaften	Komponenten
	Name: EN-AW 6082 (3.2315) Modelltyp: Linear Elastisch Isotrop Standardversagenskriterium: Unbekannt Fließgrenze: 2e+08 N/m² Zugfestigkeit: 2.2e+08 N/m² Elastizitätsmodul: 7e+10 N/m² Poissonsche Zahl: 0.3897 Massendichte: 2'700 kg/m³ Schubmodul: 2.7e+10 N/m² Wärmeausdehnungskoeffizient: 2.4e-05 /Kelvin	Volumenkörper 1(M4 Tapped Hole1)(D10-094-410-1), Volumenkörper 1(Chamfer1)(D10-094-411-1)
Kurvdaten: N/A		
	Name: 1.4301 (X5CrNi18-10) Modelltyp: Linear Elastisch Isotrop Standardversagenskriterium: Unbekannt Fließgrenze: 4e+08 N/m² Zugfestigkeit: 6e+08 N/m² Elastizitätsmodul: 2e+11 N/m² Poissonsche Zahl: 0.28 Massendichte: 7'900 kg/m³ Schubmodul: 7.9e+10 N/m² Wärmeausdehnungskoeffizient: 1.1e-05 /Kelvin	Volumenkörper 1(Chamfer5)(D10-094-420-1)
Kurvdaten: N/A		

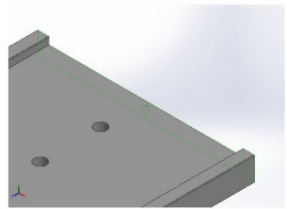


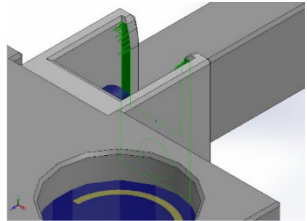
SOLIDWORKS Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

Simulation von D10-095-050

6

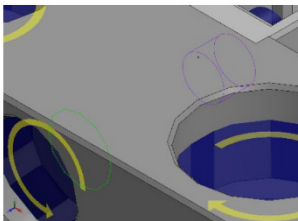
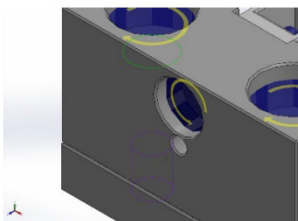
Lasten und Einspannungen

Einspannungsname	Einspannungsbild	Einspannungsdetails		
Fixiert-2		Elemente: 1 Fläche(n) Typ: Fixierte Geometrie		
Resultierende Kräfte				
Komponenten	X	Y	Z	Resultierend
Reaktionskraft(N)	-0.000124164	0.00117692	199.999	199.999
Reaktionsmoment(N.m)	0	0	0	0

Lastname	Bild laden	Lastdetails
Kraft-1		Elemente: 1 Fläche(n) Typ: Normalkraft anwenden Wert: 200 N

Verbindungsstückdefinitionen

Stift-/Schrauben-/Lagerverbindungsstück

Modellreferenz	Verbindungsstückdetails	Kraftdetails		
 Stirnsenkungsschraube-3	Elemente: 1 Kante(n), 1 Fläche(n) Typ: Schraube(Kopf-/Mutterdurchmesser)(Stirnsenkungsschraube) Verbindungstyp: Verteilt Kopfdurchmesser: 7.5 mm Nominaler Schaftdurchmesser: 4 mm Materialname: Legierter Stahl Youngsches Modul: 2.1e+11 N/m^2 Poissonsche Zahl: 0.28 Vorlast: 2.5 N.m (Drehmoment): Reibungsfaktor (K): 0.2 Passung: Nein	Keine Daten		
Verbindungsstückkräfte				
Typ	X-Komponente	Y-Komponente	Z-Komponente	Resultierend
Axialkraft (N)	0	0	2'567.5	2'567.5
Schubkraft (N)	0.9238	1.6127	0	1.8586
Biegemoment (N.m)	-0.047017	-0.014115	0	0.04909
 Stirnsenkungsschraube-4	Elemente: 1 Kante(n), 1 Fläche(n) Typ: Schraube(Kopf-/Mutterdurchmesser)(Stirnsenkungsschraube) Verbindungstyp: Verteilt Kopfdurchmesser: 10.65 mm Nominaler Schaftdurchmesser: 6 mm Materialname: Legierter Stahl Youngsches Modul: 2.1e+11 N/m^2 Poissonsche Zahl: 0.28 Vorlast: 6.6 N.m (Drehmoment): Reibungsfaktor (K): 0.2 Passung: Nein	Keine Daten		
Verbindungsstückkräfte				
Typ	X-Komponente	Y-Komponente	Z-Komponente	Resultierend
Axialkraft (N)	0	4'486.2	0	4'486.2

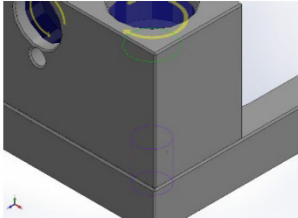


SOLIDWORKS Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

Simulation von D10-095-050

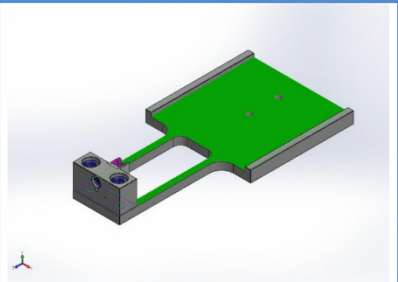
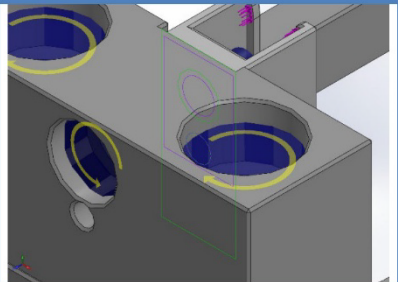
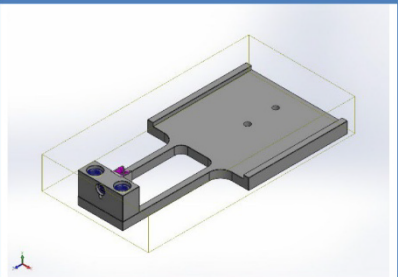
8

Schubkraft (N)	1.1853	0	-6.4938	6.6011
Biegemoment (N.m)	0.068698	0	0.046587	0.083004

 Stirnsenkungsschraube-5	Elemente: 1 Kante(n), 1 Fläche(n) Typ: Schraube(Kopf-/Mutterdurchmesser)(Stirnsenkungsschraube) Verbindungstyp: Verteilt Kopfdurchmesser: 10.65 mm Nominaler Schaftdurchmesser: 6 mm Materialname: Legierter Stahl Youngsches Modul: 2.1e+11 N/m^2 Poissonsche Zahl: 0.28 Vorlast (Drehmoment): 6.6 N.m Reibungsfaktor (K): 0.2 Passung: Nein	Keine Daten
--	--	-------------

Verbindungsstückkräfte				
Typ	X-Komponente	Y-Komponente	Z-Komponente	Resultierend
Axialkraft (N)	0	4'385.3	0	4'385.3
Schubkraft (N)	-0.41499	0	-4.9206	4.9381
Biegemoment (N.m)	0.055788	0	-0.1023	0.11652

Interaktionsinformationen

Interaktion	Interaktionsbild	Interaktionseigenschaften		
Lokale Interaktion-1		Typ: Kontaktinteraktionspaar Elemente: 2 Fläche(n) Erweitert: Oberfläche zu Oberfläche		
Kontakt/Reibungskraft				
Komponenten	X	Y	Z	Resultierend
Kontaktkraft(N)	6.5198E-29	-9.5145E-12	1.5218E-28	9.5145E-12
Lokale Interaktion-2		Typ: Kontaktinteraktionspaar Elemente: 2 Fläche(n) Erweitert: Oberfläche zu Oberfläche		
Kontakt/Reibungskraft				
Komponenten	X	Y	Z	Resultierend
Kontaktkraft(N)	-4.6247E-28	1.7355E-28	-3.9253E-12	3.9253E-12
Globale Interaktion		Typ: Verbunden Komponenten: 1 Komponente(n) Optionen: Unabhängiges Netz		

Netzinformationen

Vernetzungstyp	Volumenkörpervernetzung
Verwendeter Vernetzungstyp:	Gemischtes kurvengestütztes Netz
Jacobi-Punkte für Vernetzung hoher Qualität	16 Punkte
Maximale Elementgröße	4.25092 mm
Minimale Elementgröße	0.212546 mm
Netzqualität	Hoch
Fehlgeschlagene Teile unabhängigem neu vernetzen	Aus

Netzinformationen - Details

Gesamtknotenanzahl	34636
Gesamtelementanzahl	20264
Maximales Seitenverhältnis	366.1
% von Elementen mit Seitenverhältnis < 3	82.7
Prozentsatz Elemente mit Seitenverhältnis > 10	4.07
Prozentsatz verzerrte Elemente	0
Dauer bis zur Beendigung der Vernetzung (hh:mm:ss):	00:00:11
Computer-Name:	NBSAG4011

Sensordetails

Keine Daten



SOLIDWORKS Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

Simulation von D10-095-050 11

Resultierende Kräfte

Reaktionskräfte

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N	-0.000124164	0.00117692	199.999	199.999

Reaktionsmomente

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N.m	0	0	0	0

Freie Körperkräfte

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N	-9.91821e-05	-0.000816345	0.000423431	0.00092496

Freie Körpermomente

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N.m	0	0	0	1e-33

Balken

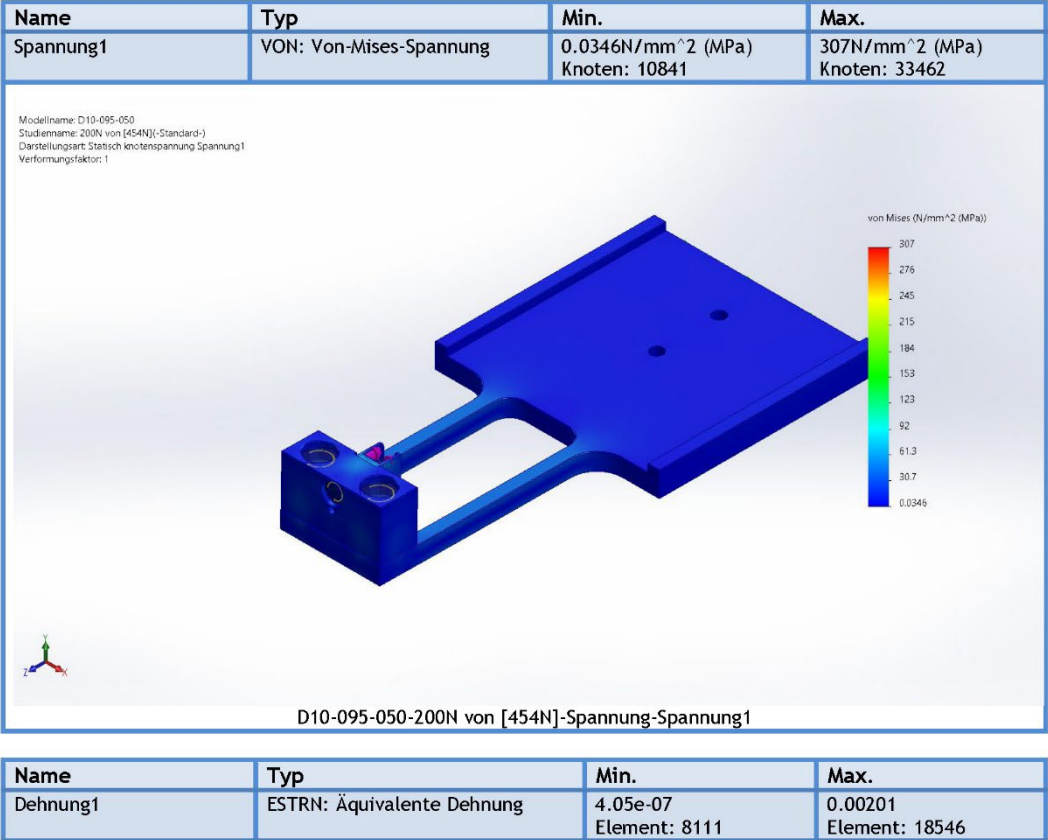
Keine Daten

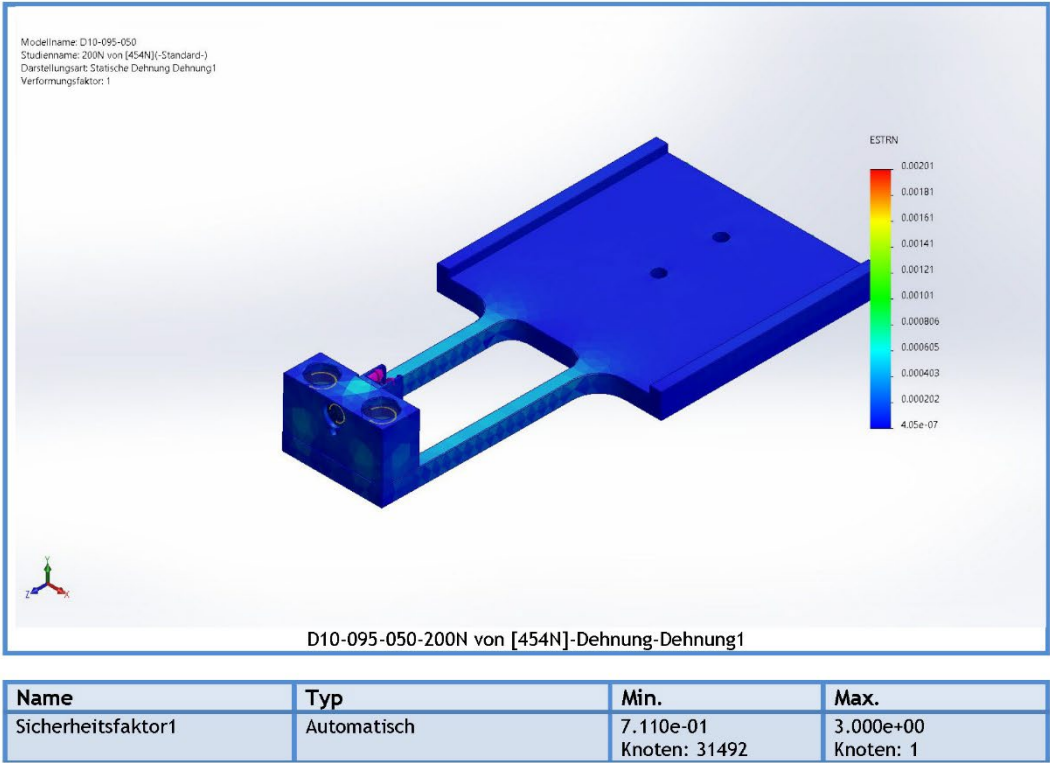


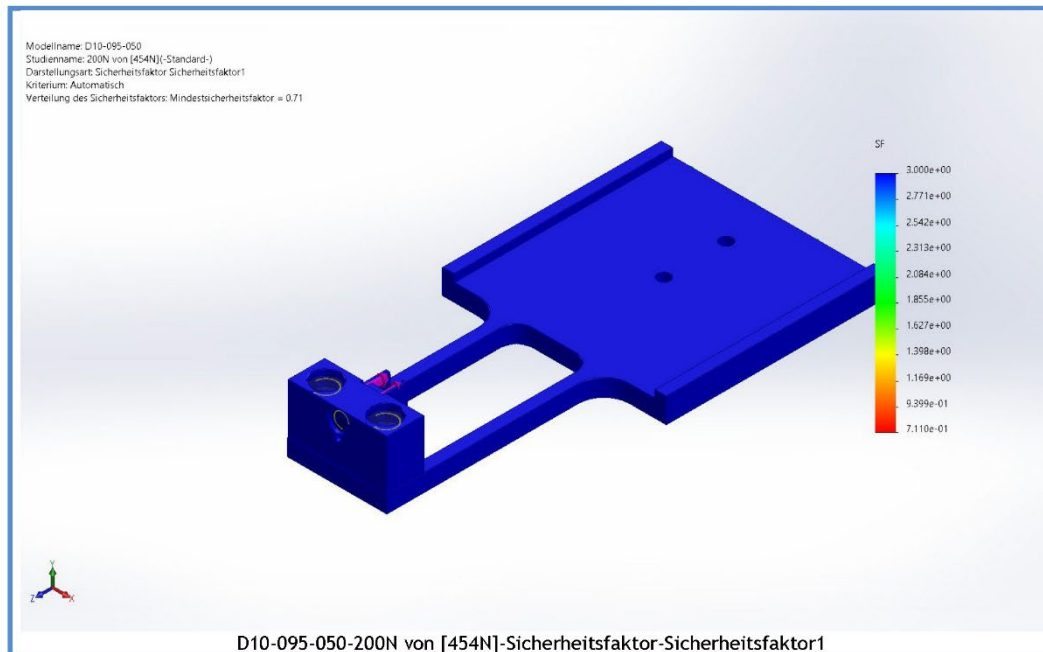
SOLIDWORKS Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

Simulation von D10-095-050 **12**

Ergebnisse untersuchen







Schlussfolgerung



Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

Simulation von D10-095-050 **15**

Push out



Beschreibung
Keine Daten

Simulation von D10-094-577

Datum: Donnerstag, 6. November 2025
Konstrukteur: Solidworks
Studienname: Push out 53 N
Analyseart: Statisch

Inhaltsverzeichnis

Beschreibung.....	1
Annahmen	2
Modellinformationen.....	2
Studieneigenschaften.....	3
Maßeinheiten	3
Materialeigenschaften	4
Lasten und Einspannungen.....	4
Verbindungsstückdefinitionen.....	5
Interaktionsinformationen	5
Netzinformationen	5
Sensordetails.....	6
Resultierende Kräfte	6
Balken	6
Ergebnisse untersuchen	7
Schlussfolgerung.....	9

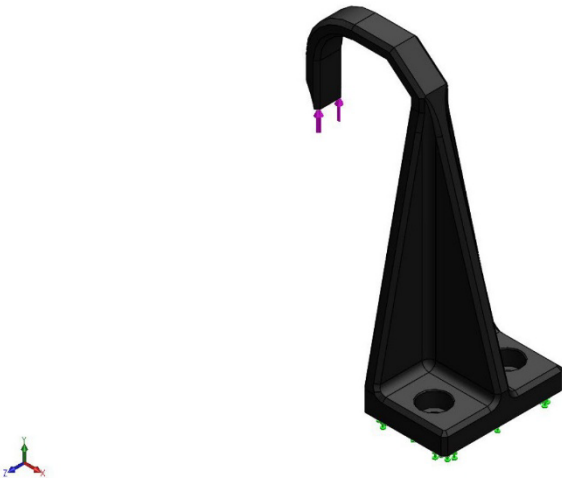


Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

Simulation von D10-094-577 1

Annahmen

Modellinformationen



Modellname: D10-094-577
Aktuelle Konfiguration: Standard

Volumenkörper			
Dokumentname und Referenz	Behandelt als	Volumetrische Eigenschaften	Dokumentpfad/Datum der Änderung
Chamfer8 	Volumenkörper	Masse:0.0146023 kg Volumen:1.4316e-05 m^3 Dichte:1'020 kg/m^3 Gewicht:0.143103 N	D:\TCWork\PRODD10-094-577.SLDPRT Nov 6 16:26:38 2025

Studieneigenschaften

Studienname	Push out
Analyseart	Statisch
Vernetzungstyp	Volumenkörpervernetzung
Thermische Auswirkung:	Ein
Wärmeoption	Temperaturbelastung berücksichtigen
Temperatur bei Nulldehnung	298 Kelvin
Flüssigkeitsdruckauswirkungen von SOLIDWORKS Flow Simulation einbeziehen	Aus
Solver-Typ	Automatisch
Inplane-Auswirkung:	Aus
Soft Spring:	Aus
Massenträgheitsentlastung:	Aus
Inkompatible Verbindungsoptionen	Automatisch
Große Verschiebung	Ein
Freie Körperkräfte berechnen	Ein
Reibung	Aus
Adaptionismethode verwenden:	Aus
Ergebnisordner	SOLIDWORKS Dokument (D:\TCWork\PROD)

Maßeinheiten

Einheitensystem:	SI (MKS)
Länge/Verschiebung	mm
Temperatur	Kelvin
Winkelgeschwindigkeit	rad/s
Druck/Spannung	N/m ²



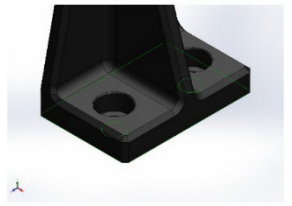
SOLIDWORKS Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

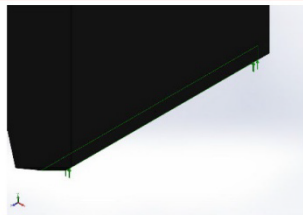
Simulation von D10-094-577 3

Matereialeigenschaften

Modellreferenz	Eigenschaften	Komponenten
	Name: Nylon 12 Modelltyp: Linear Elastisch Standardversagenskriterium: Unbekannt Zugfestigkeit: 5e+07 N/m ² Elastizitätsmodul: 2e+09 N/m ² Poissonsche Zahl: 0.394 Massendichte: 1'020 kg/m ³ Schubmodul: 3.189e+08 N/m ²	Volumenkörper 1(Chamfer8)(D10-094-577)
Kurvendaten: N/A		

Lasten und Einspannungen

Einspannungsname				
Einspannungsname	Einspannungsbild	Einspannungsdetails		
Fixiert-1		Elemente:	1 Fläche(n)	
		Typ:	Fixierte Geometrie	
Resultierende Kräfte				
Komponenten	X	Y	Z	Resultierend
Reaktionskraft(N)	-0.000253186	-53	-6.30468e-05	53
Reaktionsmoment(N.m)	0	0	0	0

Lastname	Bild laden	Lastdetails
Kraft-1		Elemente: 1 Fläche(n) Typ: Normalkraft anwenden Wert: 53 N

Verbindungsstückdefinitionen

Keine Daten

Interaktionsinformationen

Keine Daten

Netzinformationen

Vernetzungstyp	Volumenkörpervernetzung
Verwendeter Vernetzungstyp:	Gemischtes kurvengestütztes Netz
Jacobi-Punkte für Vernetzung hoher Qualität	16 Punkte
Maximale Elementgröße	1.21453 mm
Minimale Elementgröße	0.404838 mm
Netzqualität	Hoch

Netzinformationen - Details

Gesamtknotenanzahl	103429
Gesamtelementanzahl	68487
Maximales Seitenverhältnis	195.83
% von Elementen mit Seitenverhältnis < 3	99.3
Prozentsatz Elemente mit Seitenverhältnis > 10	0.0292
Prozentsatz verzerrte Elemente	0
Dauer bis zur Beendigung der Vernetzung (hh:mm:ss):	00:00:44
Computer-Name:	NBSAG4011



SOLIDWORKS Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

Simulation von D10-094-577

5

Sensordetails

Keine Daten

Resultierende Kräfte

Reaktionskräfte

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N	-0.000253186	-53	-6.30468e-05	53

Reaktionsmomente

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N.m	0	0	0	0

Freie Körperkräfte

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N	0	0	0	0

Freie Körpermomente

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N.m	0	0	0	0

Balken

Keine Daten

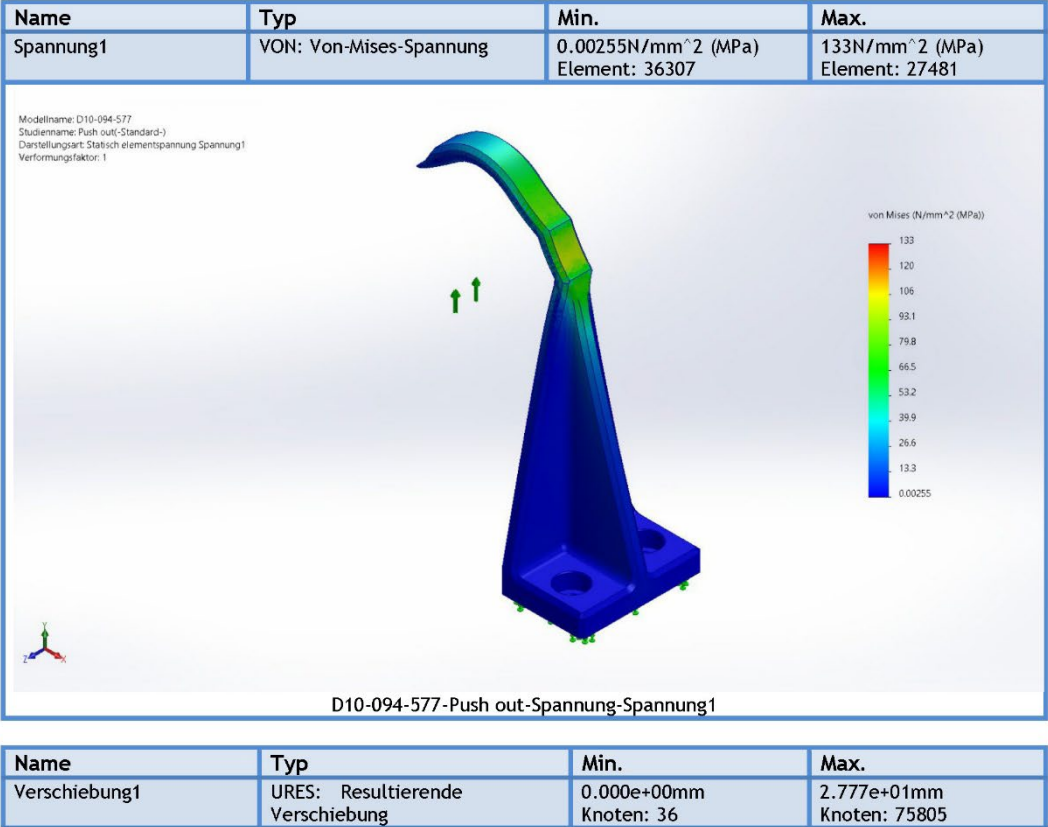


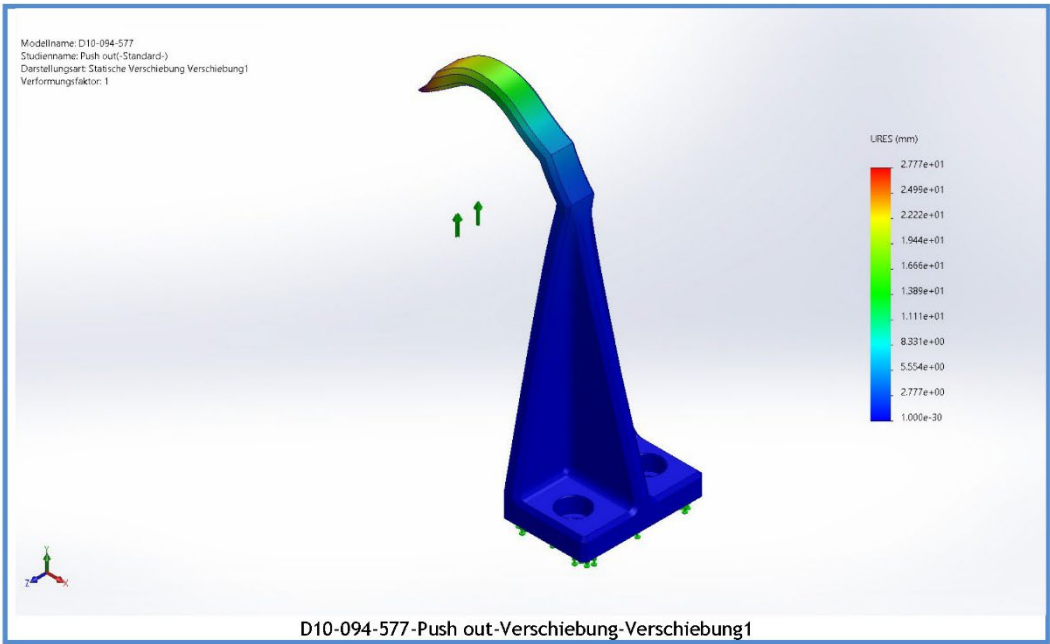
Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

Simulation von D10-094-577

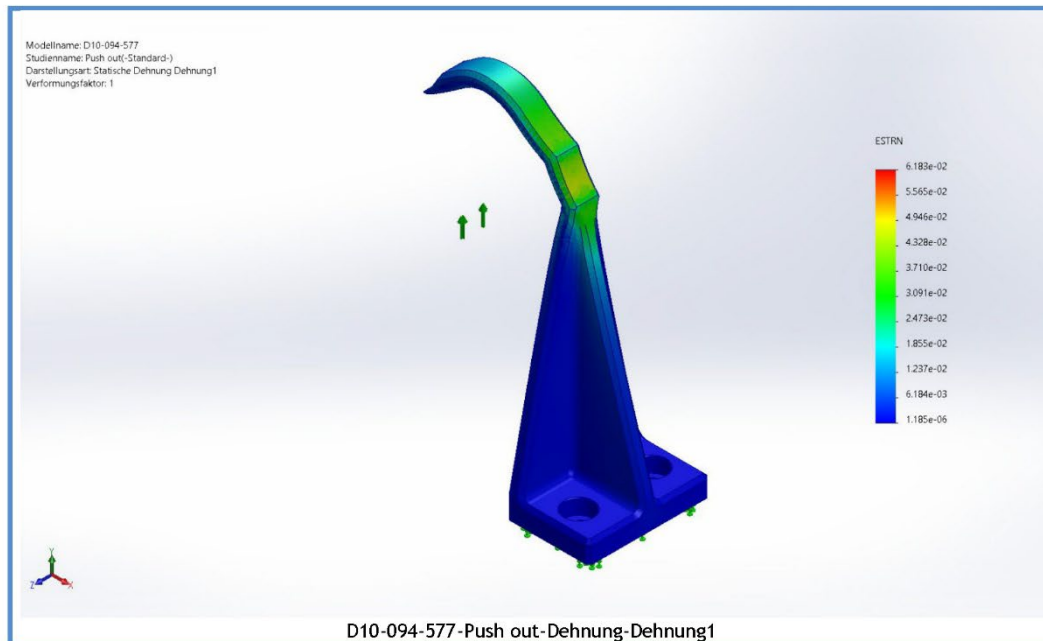
6

Ergebnisse untersuchen





Name	Typ	Min.	Max.
Dehnung1	ESTRN: Äquivalente Dehnung	1.185e-06 Element: 36307	6.183e-02 Element: 27481



Schlussfolgerung



Beschreibung
Keine Daten

Simulation von D10-094-577

Datum: Donnerstag, 6. November 2025
Konstrukteur: Solidworks
Stuidentname: 22N [Push out]
Analyseart: Statisch

Inhaltsverzeichnis

Beschreibung.....	1
Annahmen	2
Modellinformationen.....	2
Studieneigenschaften.....	3
Maßeinheiten	3
Materialeigenschaften	4
Lasten und Einspannungen.....	4
Verbindungsstückdefinitionen.....	5
Interaktionsinformationen	5
Netzinformationen	5
Sensordetails.....	6
Resultierende Kräfte	6
Balken	6
Ergebnisse untersuchen	7
Schlussfolgerung.....	9

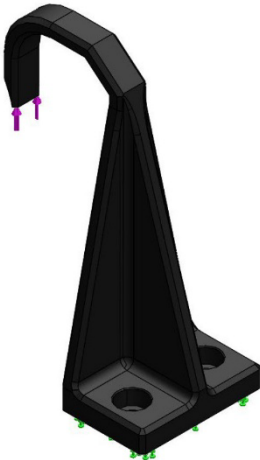


Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

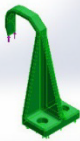
Simulation von D10-094-577 1

Annahmen

Modellinformationen



Modellname: D10-094-577
Aktuelle Konfiguration: Standard

Volumenkörper			
Dokumentname und Referenz	Behandelt als	Volumetrische Eigenschaften	Dokumentpfad/Datum der Änderung
Chamfer8 	Volumenkörper	Masse:0.0146023 kg Volumen:1.4316e-05 m^3 Dichte:1'020 kg/m^3 Gewicht:0.143103 N	D:\TCWork\PROD\D10-094-577.SLDPRT Nov 5 13:44:44 2025

Studieneigenschaften

Studienname	22N [Push out]
Analyseart	Statisch
Vernetzungstyp	Volumenkörpervernetzung
Thermische Auswirkung:	Ein
Wärmeoption	Temperaturbelastung berücksichtigen
Temperatur bei Nulldehnung	298 Kelvin
Flüssigkeitsdruckauswirkungen von SOLIDWORKS Flow Simulation einbeziehen	Aus
Solver-Typ	Automatisch
Inplane-Auswirkung:	Aus
Soft Spring:	Aus
Massenträgheitsentlastung:	Aus
Inkompatible Verbindungsoptionen	Automatisch
Große Verschiebung	Ein
Freie Körperkräfte berechnen	Ein
Reibung	Aus
Adaptionismethode verwenden:	Aus
Ergebnisordner	SOLIDWORKS Dokument (D:\TCWork\PROD)

Maßeinheiten

Einheitensystem:	SI (MKS)
Länge/Verschiebung	mm
Temperatur	Kelvin
Winkelgeschwindigkeit	rad/s
Druck/Spannung	N/m ²



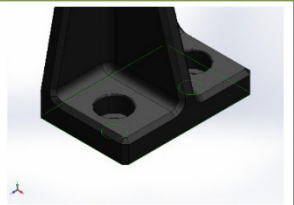
SOLIDWORKS Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

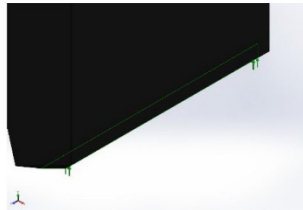
Simulation von D10-094-577 3

Matereialeigenschaften

Modellreferenz	Eigenschaften	Komponenten
	Name: Nylon 12 Modelltyp: Linear Elastisch Standardversagenskriterium: Unbekannt Zugfestigkeit: 5e+07 N/m ² Elastizitätsmodul: 2e+09 N/m ² Poissonsche Zahl: 0.394 Massendichte: 1'020 kg/m ³ Schubmodul: 3.189e+08 N/m ²	Volumenkörper 1(Chamfer8)(D10-094-577)
Kurvendaten: N/A		

Lasten und Einspannungen

Einspannungsname	Einspannungsbild	Einspannungsdetails		
Fixiert-1		Elemente: 1 Fläche(n) Typ: Fixierte Geometrie		
Resultierende Kräfte				
Komponenten	X	Y	Z	Resultierend
Reaktionskraft(N)	-0.0001151	-22.5	1.50502e-05	22.5
Reaktionsmoment(N.m)	0	0	0	0

Lastname	Bild laden	Lastdetails
Kraft-1		Elemente: 1 Fläche(n) Typ: Normalkraft anwenden Wert: 22.5 N

Verbindungsstückdefinitionen

Keine Daten

Interaktionsinformationen

Keine Daten

Netzinformationen

Vernetzungstyp	Volumenkörpervernetzung
Verwendeter Vernetzungstyp:	Gemischtes kurvengestütztes Netz
Jacobi-Punkte für Vernetzung hoher Qualität	16 Punkte
Maximale Elementgröße	1.21453 mm
Minimale Elementgröße	0.404838 mm
Netzqualität	Hoch

Netzinformationen - Details

Gesamtknotenanzahl	103429
Gesamtelementanzahl	68487
Maximales Seitenverhältnis	195.83
% von Elementen mit Seitenverhältnis < 3	99.3
Prozentsatz Elemente mit Seitenverhältnis > 10	0.0292
Prozentsatz verzerrte Elemente	0
Dauer bis zur Beendigung der Vernetzung (hh:mm:ss):	00:00:44
Computer-Name:	NBSAG4011



SOLIDWORKS Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

Simulation von D10-094-577 5

Sensordetails

Keine Daten

Resultierende Kräfte

Reaktionskräfte

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N	-0.0001151	-22.5	1.50502e-05	22.5

Reaktionsmomente

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N.m	0	0	0	0

Freie Körperkräfte

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N	0	0	0	0

Freie Körpermomente

Auswahlsatz	Maßeinheiten	Summe X	Summe Y	Summe Z	Resultierend
Gesamtes Modell	N.m	0	0	0	0

Balken

Keine Daten



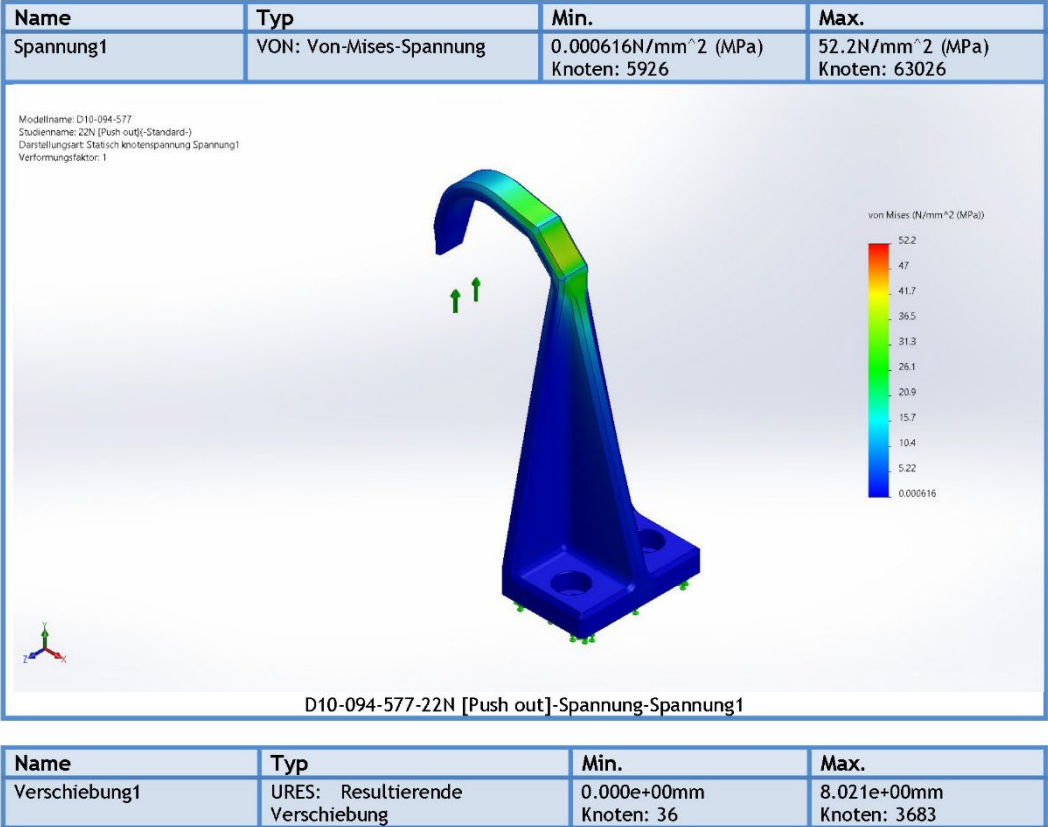
SOLIDWORKS

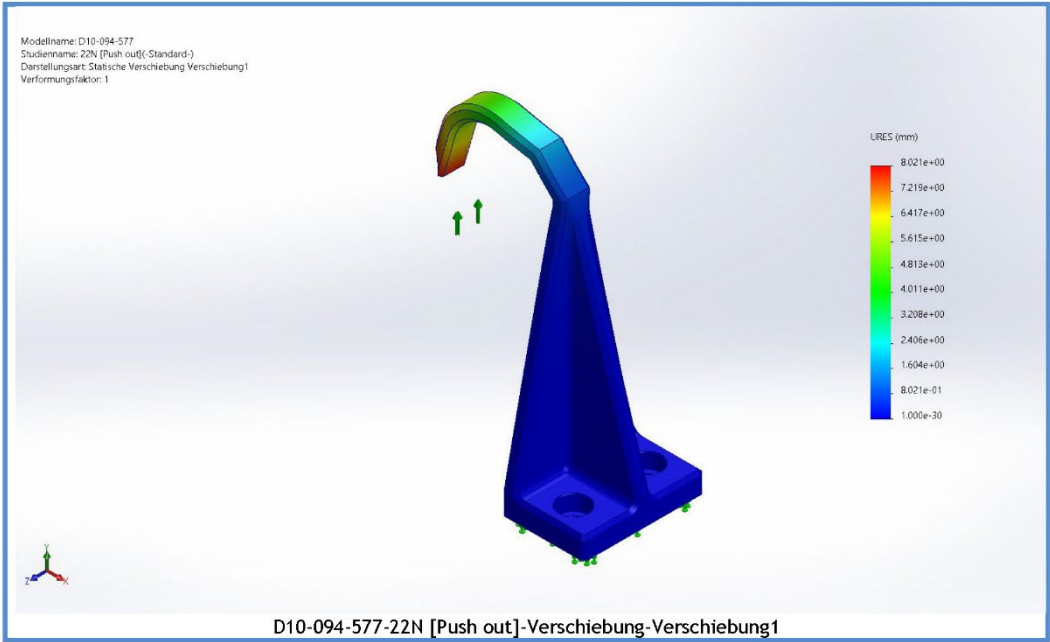
Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

Simulation von D10-094-577

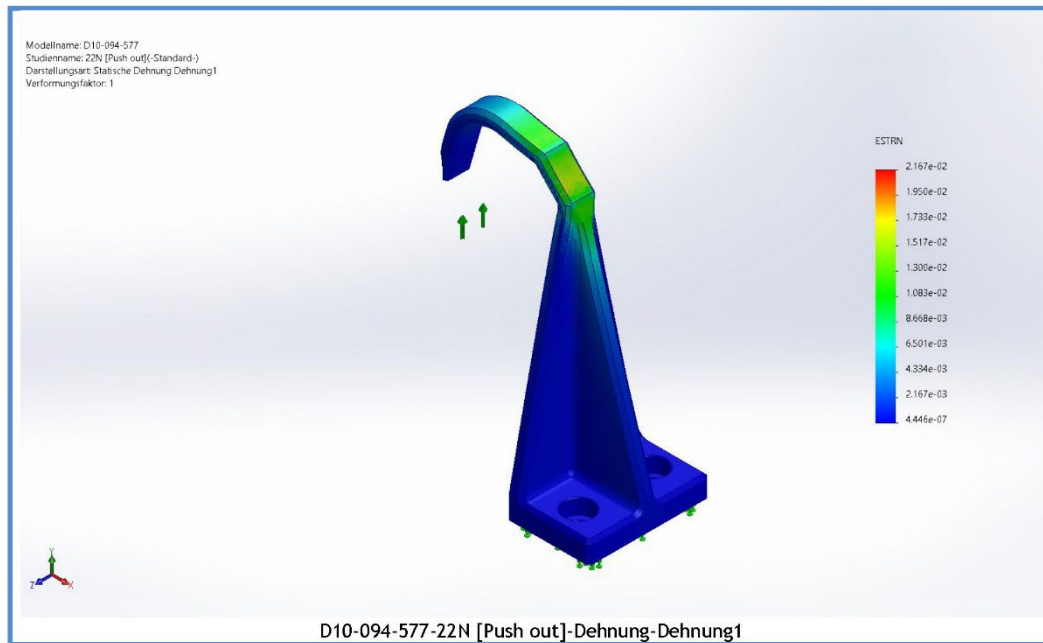
6

Ergebnisse untersuchen





Name	Typ	Min.	Max.
Dehnung1	ESTRN: Äquivalente Dehnung	4.446e-07 Element: 36307	2.167e-02 Element: 27481

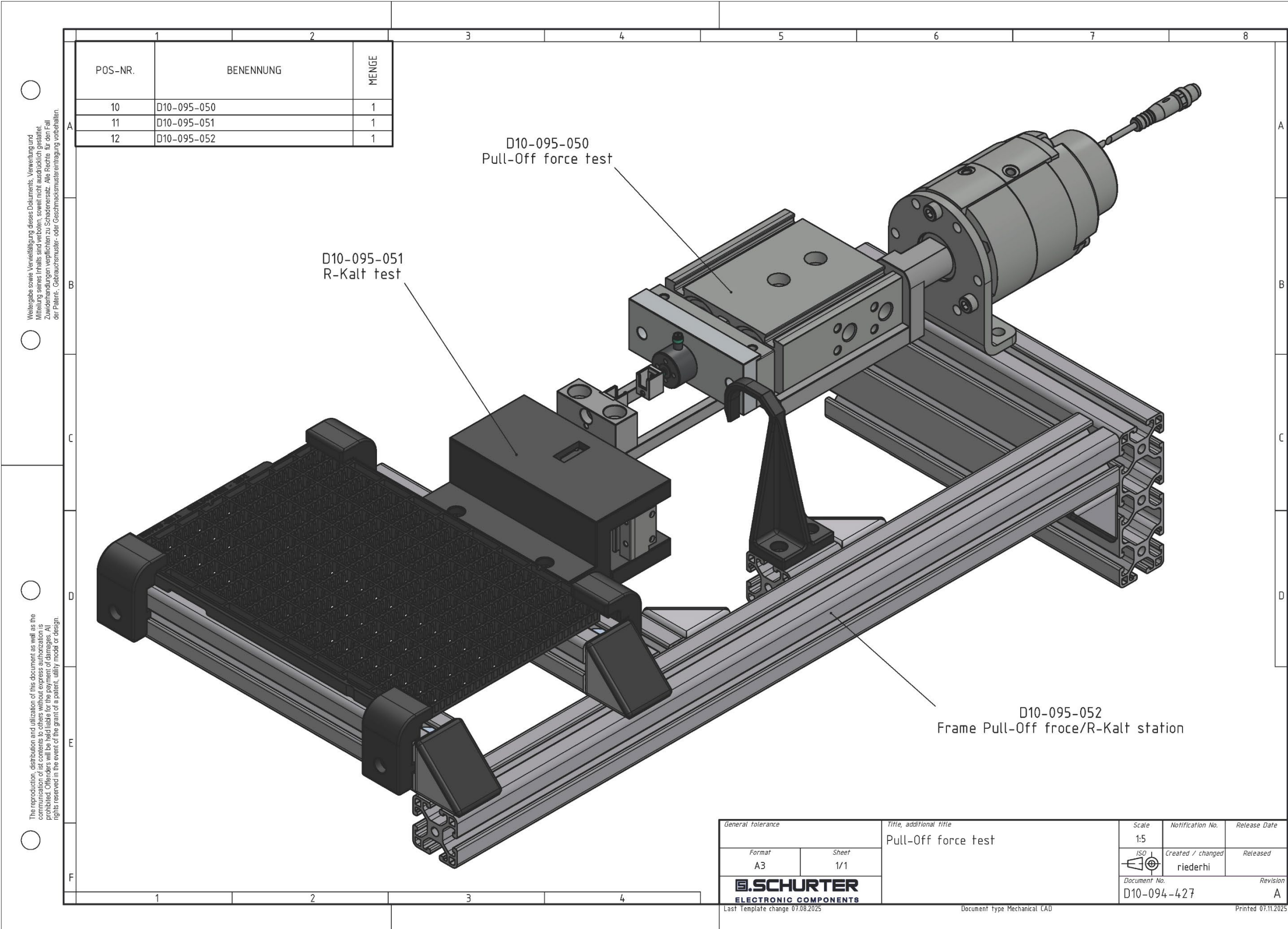


Schlussfolgerung



Analysiert mit SOLIDWORKS Simulation

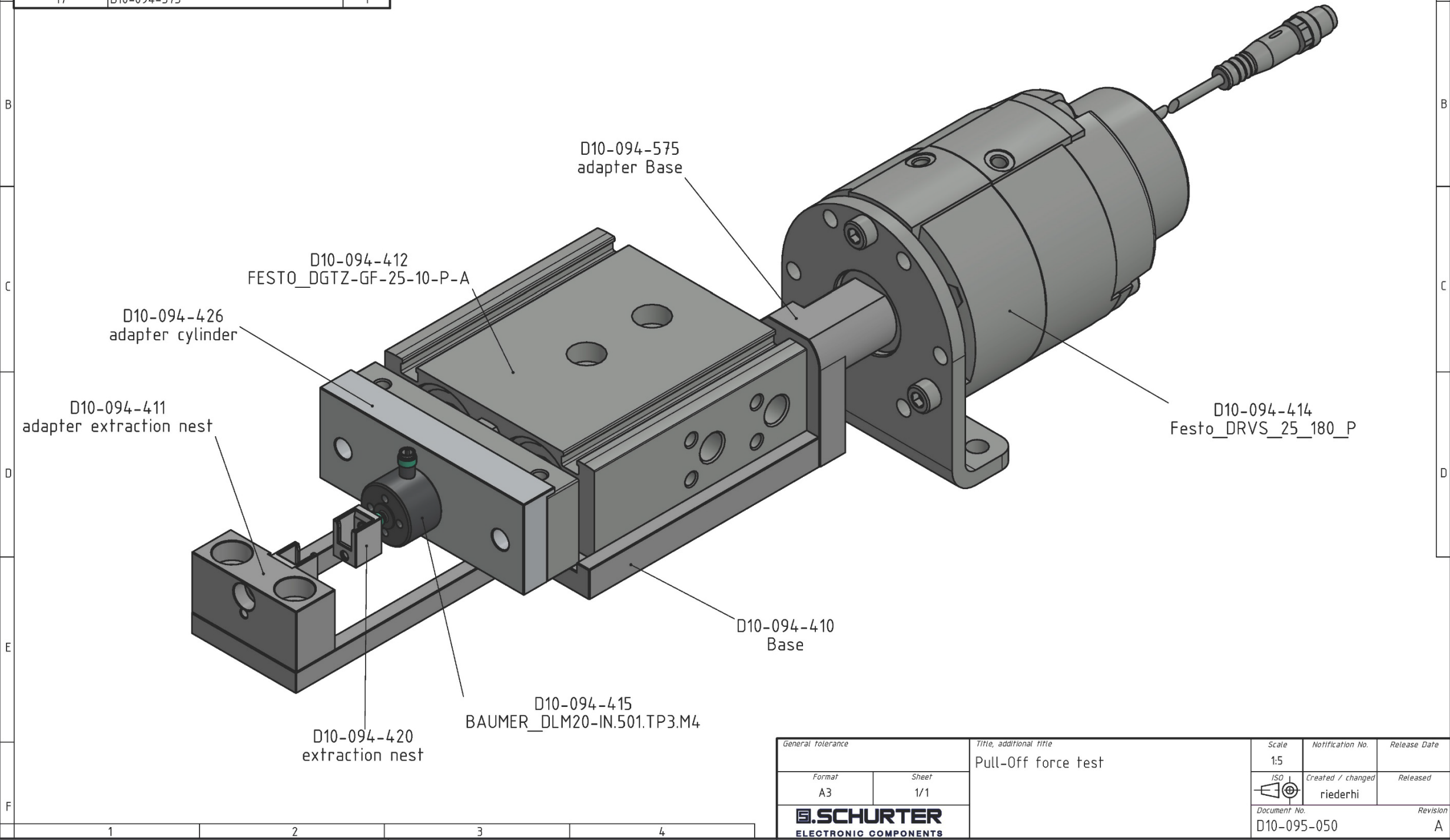
Simulation von D10-094-577 9



Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und
Mittlung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet.
Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall
der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmusterertragung vorbehalten.

The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the
communication of its contents to others without express authorization is
prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All
rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

POS.-NR.	BENENNUNG	MENGE
10	D10-094-414	1
11	D10-094-426	1
12	D10-094-411	1
13	D10-094-415	1
14	D10-094-412	1
15	D10-094-410	1
16	D10-094-420	2
17	D10-094-575	1



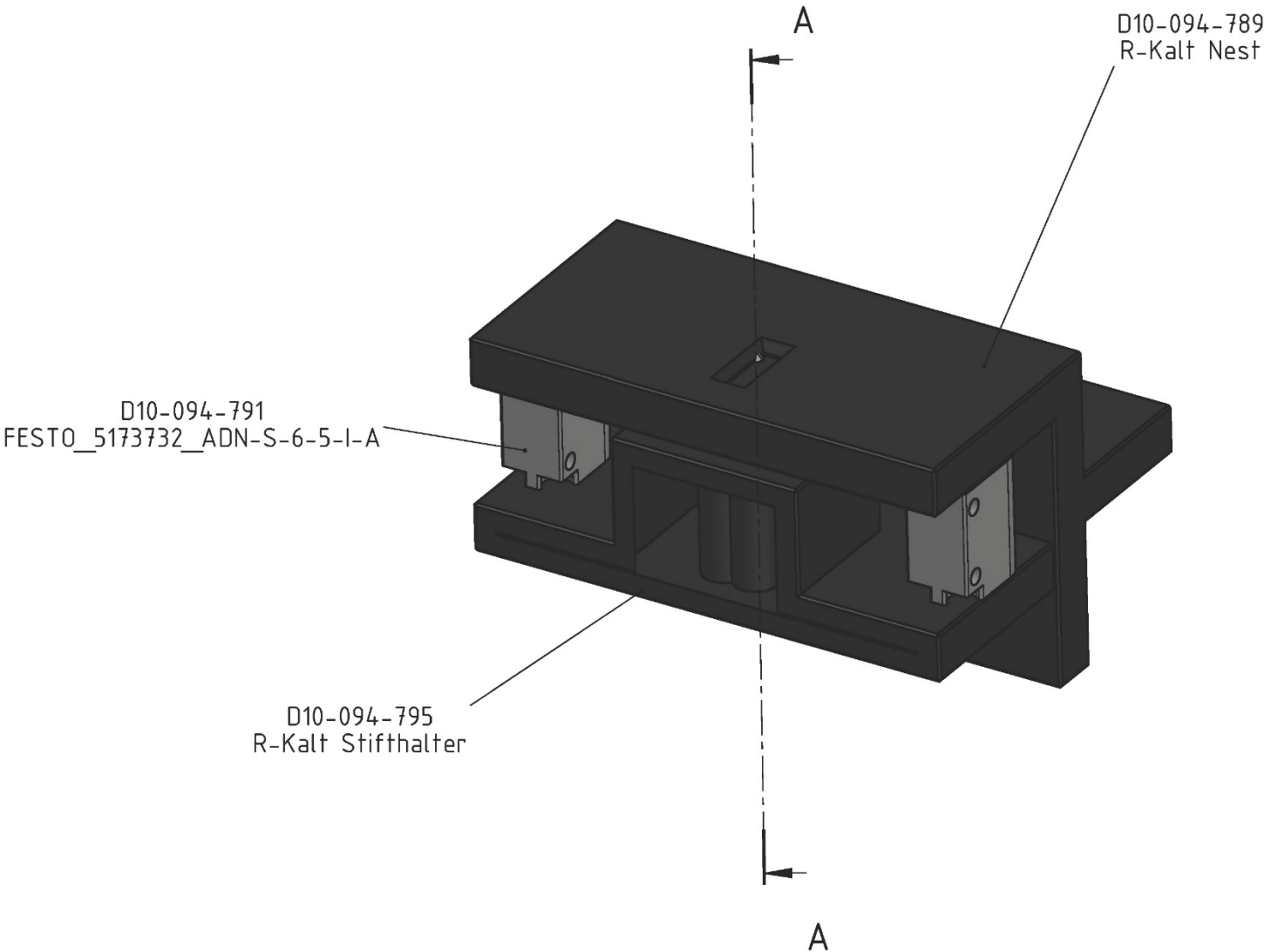
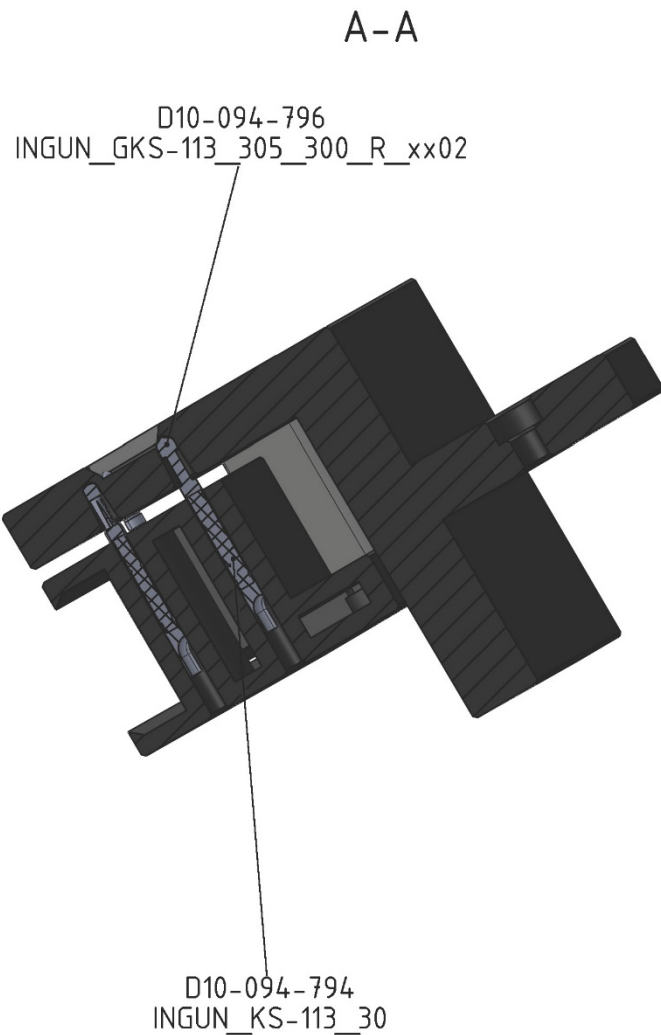
General Tolerance		Title, additional title		Scale	Notification No.	Release Date
Format		Sheet		1:5		
A3		1/1		ISO 1	Created / changed	Released
S.SCHURTER		Pull-Off force test			riederhi	
ELECTRONIC COMPONENTS				Document No.	Revision	
				D10-095-050	A	

Last Template change 07.08.2025 Document type Mechanical CAD Printed 07.11.2025

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und
Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet.
Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall
der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmusteranmeldung vorbehalten.

The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the
communication of its contents to others without express authorization is
prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All
rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.

POS-NR.	BENENNUNG	MENGE
10	D10-094-789	1
11	D10-094-791	2
12	D10-094-794	4
13	D10-094-796	4
14	D10-094-795	1



General tolerance		Title, additional title		Scale	Notification No.	Release Date
Format		Sheet		1:1		
A3		1/1		ISO 1	Created / changed	Released
SCHURTER ELECTRONIC COMPONENTS		R-Kalt test		Document No.		Revision
				D10-095-051		A

Last Template change 07.08.2025

Document type Mechanical CAD

Printed 07.11.2025

○ Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und
Mittlung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet.
Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall
der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmustererlangung vorbehalten.



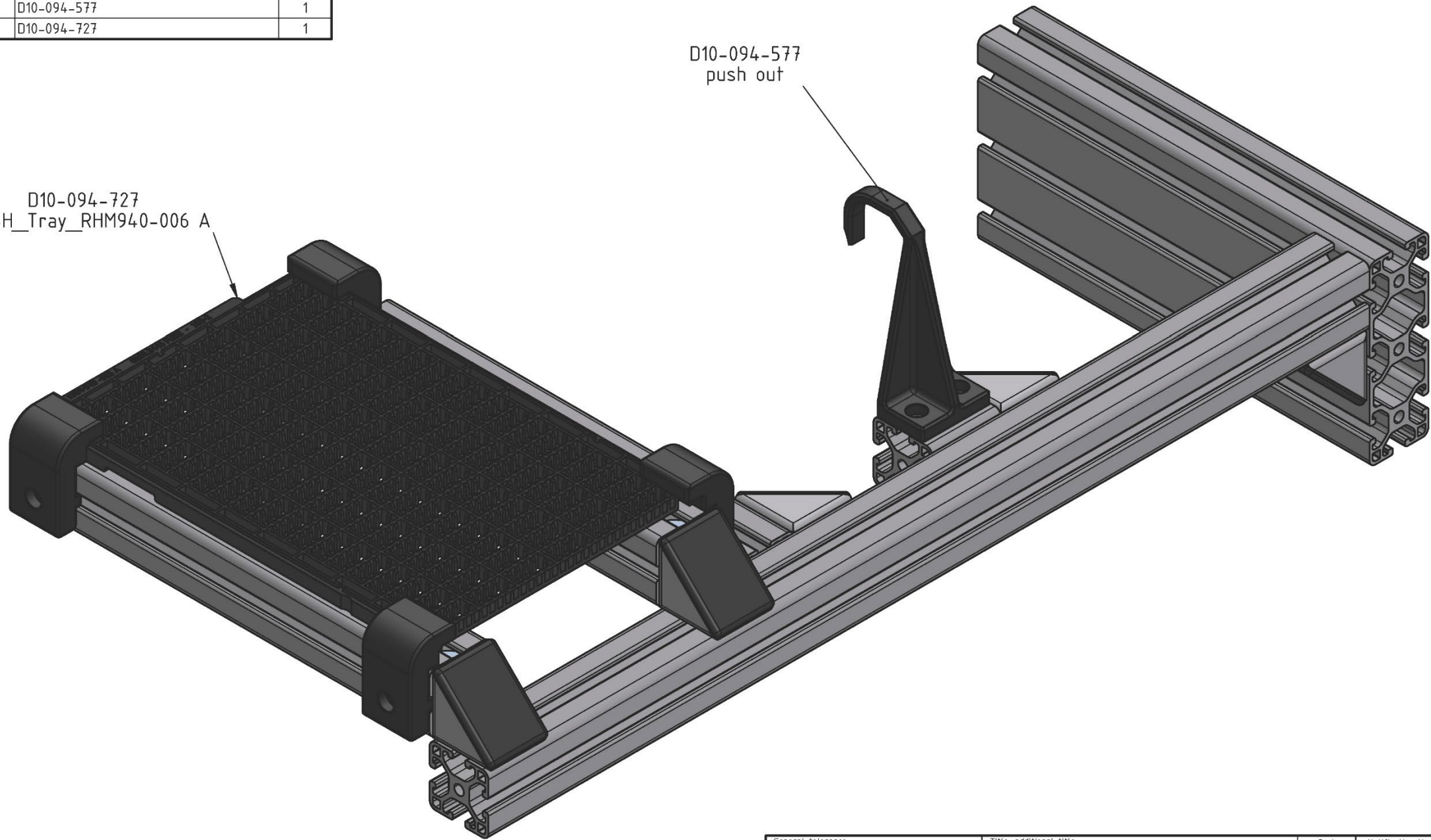
○ The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the
communication of its contents to others without express authorization is
prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All
rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.



POS-NR.	BENENNUNG	MENGE
10	D10-094-610	1
11	D10-094-609	1
12	D10-094-611	6
13	D10-094-613	1
14	D10-094-617	4
15	D10-094-807	1
16	D10-094-729	3
17	D10-094-577	1
18	D10-094-727	1

D10-094-727
UMT-H_Tray_RHM940-006 A

D10-094-577
push out

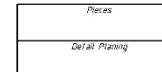


General Tolerance		Title, additional title		Scale	Notification No.	Release Date
Format		Sheet		1:5	Created / changed	Released
A3		1/1		ISO 1	riederhi	
SCHURTER ELECTRONIC COMPONENTS				Document No.		Revision
				D10-095-052		A

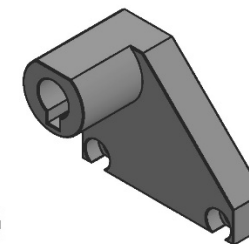
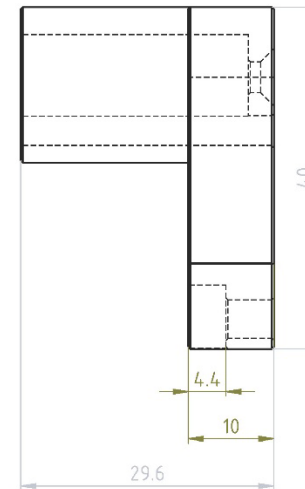
Last Template change 07.08.2025

Document type Mechanical CAD

Printed 07.11.2025



Material / Materialname EN-AW 6082 (3.2315)		Equipment number	
Heat Treatment		Surface Plating	Surface area 24987.99 mm ²
General Tolerance		Title, additional title Base	Weight Unit 180.98 G
Format A3	Sheet 1/1		Scale 1:1
			ISO  1:1
			Created / changed / Released riederhi
 SCHURTER ELECTRONIC COMPONENTS		Document No. D10-094-410	Revision



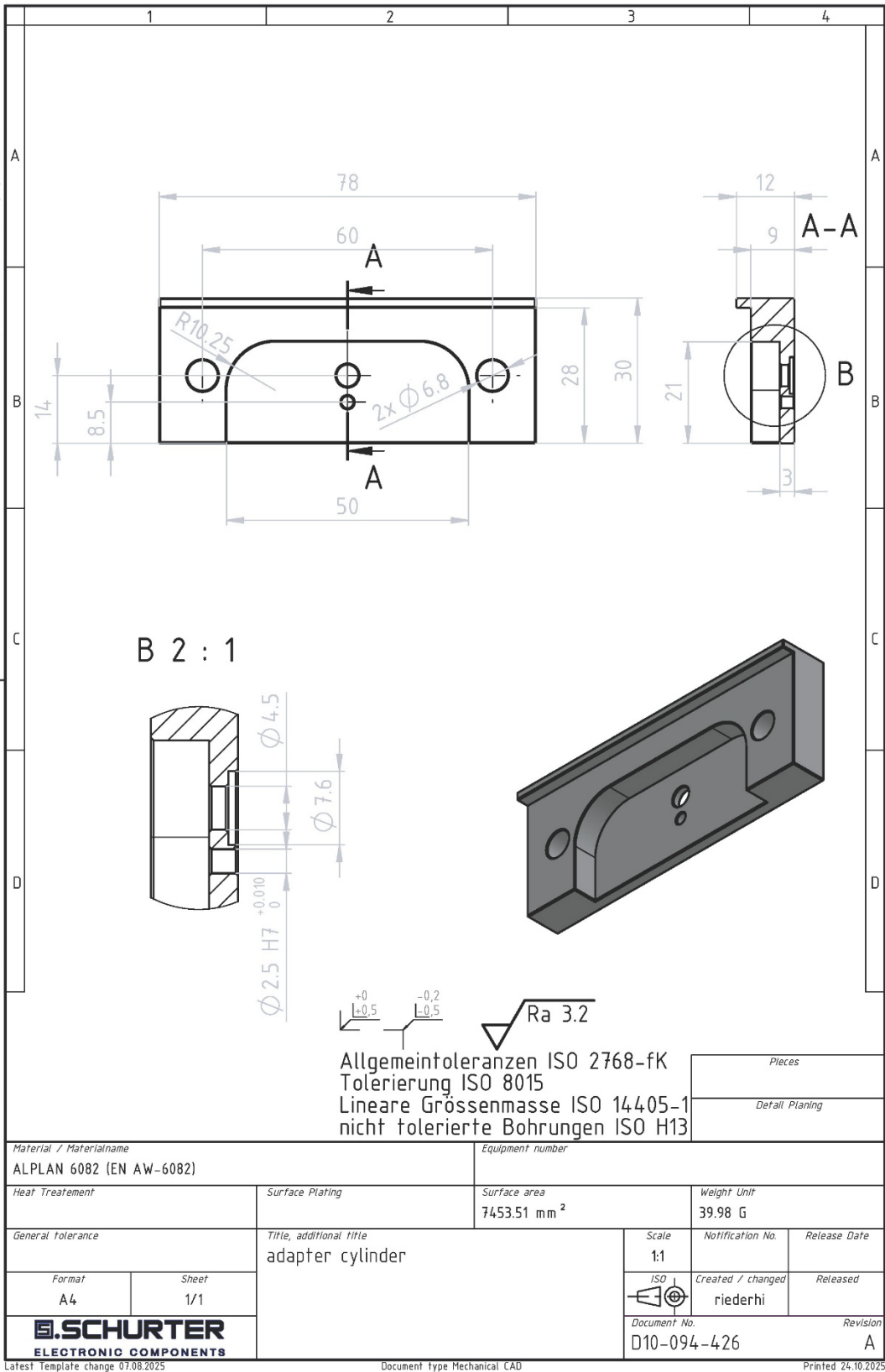
Allgemeintoleranzen ISO 2768-fK
Tolerierung ISO 8015
Lineare Grössenmasse ISO 14405-1
nicht tolerierte Bohrungen ISO H13

Material / Materiale		Equipment number			
EN-AW 6082 (3.2315)					
Heat Treatment	Surface Plating	Surface area	Weight Unit		
		7095.24 mm ²	48.95 G		
General tolerance		Title, additional title adaptee Base	Scale	Notification No.	Release Date
Format	Sheet		2:1		
A3	1/1		 ISO 9001	Created / changed riederhi	Released
		Document No.	Revision		
		D10-094-575	A		



Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksunterbreitung vorbehalten.

The reproduction, distribution and utilization of this document as well as the communication of its contents to others without express authorization is prohibited. Offenders will be held liable for the payment of damages. All rights reserved in the event of the grant of a patent, utility model or design.



Projektauftrag

Projektauftrag Pull-Off Force Test

Projektnummer: IH 5518492

Projektleiter: Hilar Rieder

1. Ausgangslage und Projektkontext	
Ausgangslage	Um den Lehrgang Maschinenbautechniker HF an der TEKÖ abschliessen zu können, muss eine Diplomarbeit erarbeitet werden.
Kundenanforderung	2 bestehende Produktionsprüfungen sollen automatisiert und in die Produktionsanlage integriert werden.
Rahmendbedingungen	Die neue Prüfstation muss die MSA bestehen und darf die Gesamtzykluszeit von 4 Sek. Nicht überschreiten.
Abgrenzung	Die Projektarbeit beinhaltet nur die Konstruktion der neuen Prüfstation.

Wirkung und Nutzen	
Nutzen	Durch diese Arbeit können wir unser erlerntes Wissen anwenden und festigen. Die Schurter AG profitiert von zusätzlichen relevanten Daten und finanziellen Ersparnisse.

Ziele	
Gesamtziel	Die Prüfstation besteht die MSA
Messbare Ziele	
Ziel 1	Die Gesamtzykluszeit soll unter 4 Sek. Betragen.
Ziel 2	Das Budget von 10'000.- soll eingehalten werden
Ziel 3	Die Prozessfähigkeit soll dem Standard entsprechen.

Projektorganisation	
Projektleiter	Hilar Rieder
Projektmitglieder	Timon Kohli, Automatisierer Sven Abplanalp, Programmierer
Auftraggeber	Schurter AG / TEKÖ
Weitere Beteiligte	Antonio Foschini, Severio Brugnoli

Projektstruktur	
Planung	Erstellen der Projektplanung
Konzeptphase	Erstellen des Konzepts
Konstruktion	Konstruieren der Vorrichtung
Herstellung	Herstellung der Einzelteile
Montage	Montage der Prüfstation
Dokumentation	Dokumentieren der Arbeit
Projektabschluss	Sauberer Abschluss des Projekts

Projektdaten	
Start	15.09.2025
Ende	10.11.2025
Präsentation	28.11.2025

Projektentscheid	
	Das Projekt wird genehmigt ☒ Das Projekt wird abgelehnt ☐ Begründung: Ort, Datum.....Luzern 26.09.25 Unterschrift Auftraggeber.....

Themeneingabe

Themeneingabe Diplomarbeit

Name:	Rieder
Vorname:	Hilar
Adresse, Ort:	Schluecht 1, 6073 Flüeli-Ranft
Tel: P,G	+41 79 551 89 76, +41 369 31 42
E-Mail:	hilar.rieder@johida.ch
Klasse:	L-TMA-22-Mi-a
Fachgebiet:	Dipl. Maschinenbautechniker/in HF
Auftraggeber:	Schurter AG

Rieder Hilar

Thema: Pulloff-Force Test / R-Kalt Test

Kurzbeschreibung: Bei der Herstellung der UMT-X Sicherung werden zwei wichtige Produktionsprüfungen von Mitarbeiter ausgeführt. Ich will diese Prüfungen vollautomatisieren und in die bestehende Anlage integrieren. Es handelt sich um eine R-Kalt Messung und einen Kappenabzugtest. Zurzeit können wir die gewonnen Werte nicht in Relation mit den Produktionsdaten bringen, da wir nicht wissen welche Sicherung wir prüfen. Mit der Vollintegration der Tests können wir die Daten der Prüfung mit den Produktionsdate in Relation bringen.

Ich will eine funktionsfähige Prüfstation konstruieren die Abzugskräfte von max. 500N erreicht. Eine weitere Konstruktion soll eine R-Kalt Messung ermöglichen. Die Sicherungen müssen in einem Tray zwischengelagert werden damit diese abkühlen können. Das Handling der ganzen Prüfprozedur soll mit dem bestehendem Gantry mittels Vakuumsauger erfolgen.

Bei Auftragsende ist die Konstruktion der Prüfstation beendet. Wenn möglich ist die Prüfstation vormontiert und einsatzbereit. Die Prüfstation hat den Funktionstest bestanden und hat alle internen Prüfungen und Prozessschritte absolviert und bestanden. Somit ist die Prüfstation bereit für die Integration und anschliessende Langzeittests.

Erfolgskriterien: Die Resultate der Prüfstation sind korrekt und verifiziert. Die Konstruktion besteht den Funktionstest ohne Fehlfunktion und Beschädigung.

Rieder Hilar

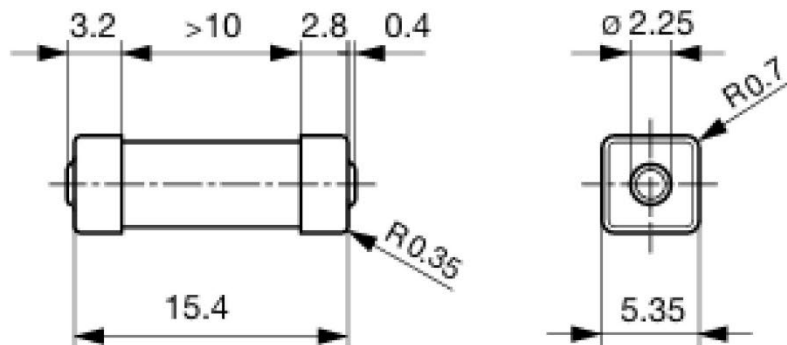
Seite 2 von 7

25. Mai 2025

Herausforderungen: Das Handling der Sicherung mittels Vakuumsauger ist sicher eine der grössten Herausforderungen. Die Konstruktion der R-Kalt Messung muss so gestaltet sein, dass das Abfallen der Sicherung während des Prüfvorgangs möglichst vermieden wird. Auch ein sauberes Ablegen der Sicherung in das Prüfnest der Abzugstation sollte mittels Konstruktion gewährleistet sein. Eine weitere Herausforderung wird sein, dass das Prüfnest des Kappenabzugtest nach der Prüfung rückstandlos leer ist.

Die komplette Prüfstation wird neu konstruiert. Der Kappenabzugtest soll via Pneumatik Zylinder statt einer elektronischen Linearachse ausgeführt werden. Die gesamte Prüfstation muss kompakter werden damit diese in den Trayhandler integriert werden kann. Es ist zu prüfen ob mittels Pneumatik Zylinder ein ruckfreier Abzugvorgang der Kappe ausgeführt werden kann. Da die Sicherung eher klein ist, wird es nicht einfach werden die Prüfnester zu definieren und so zu konstruieren, dass diese die Funktion gewährleisten und dennoch kosteneffizient herstellbar sind.

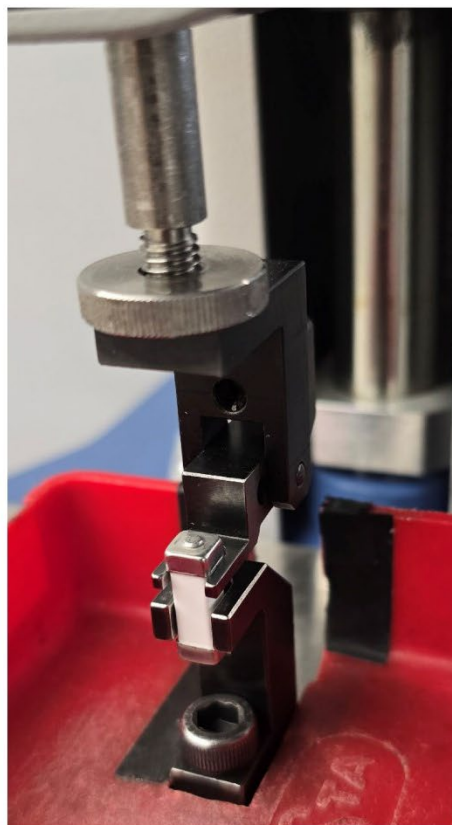
Dimensionen der Sicherung



Bisherige Prüfstation Kappenabzugstest



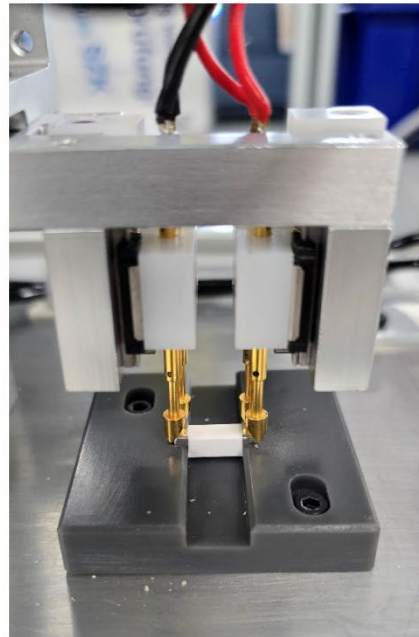
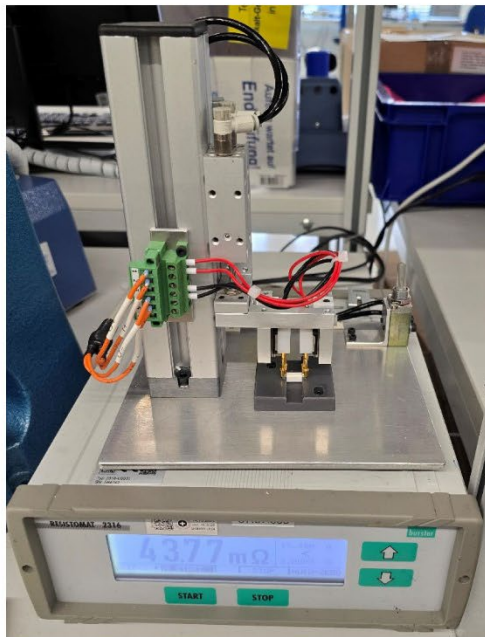
Rieder Hilar



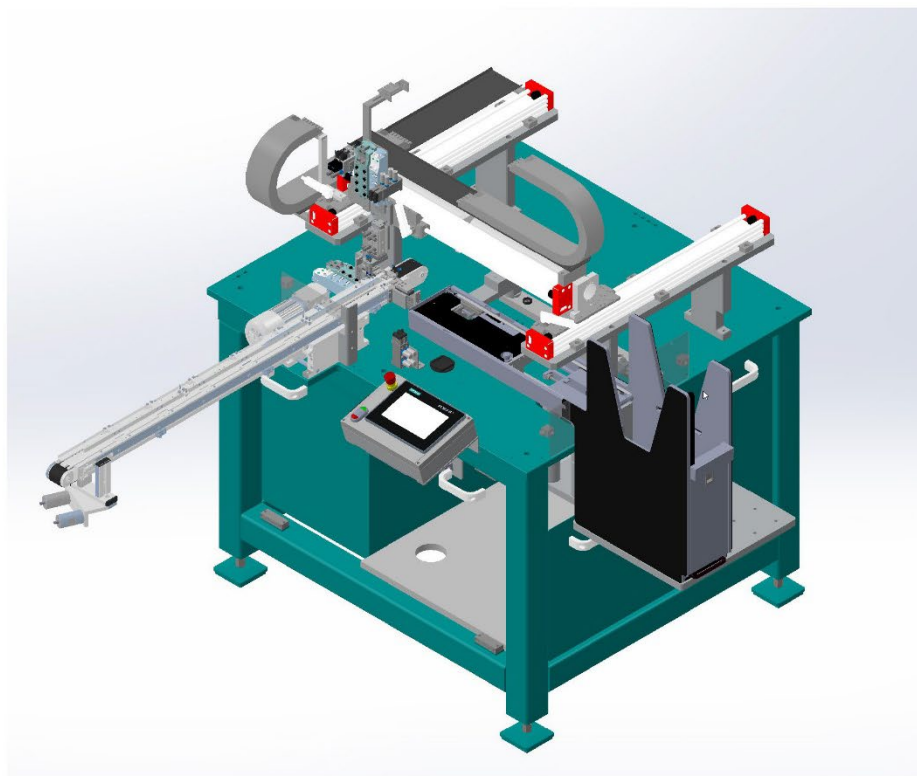
Seite 4 von 7

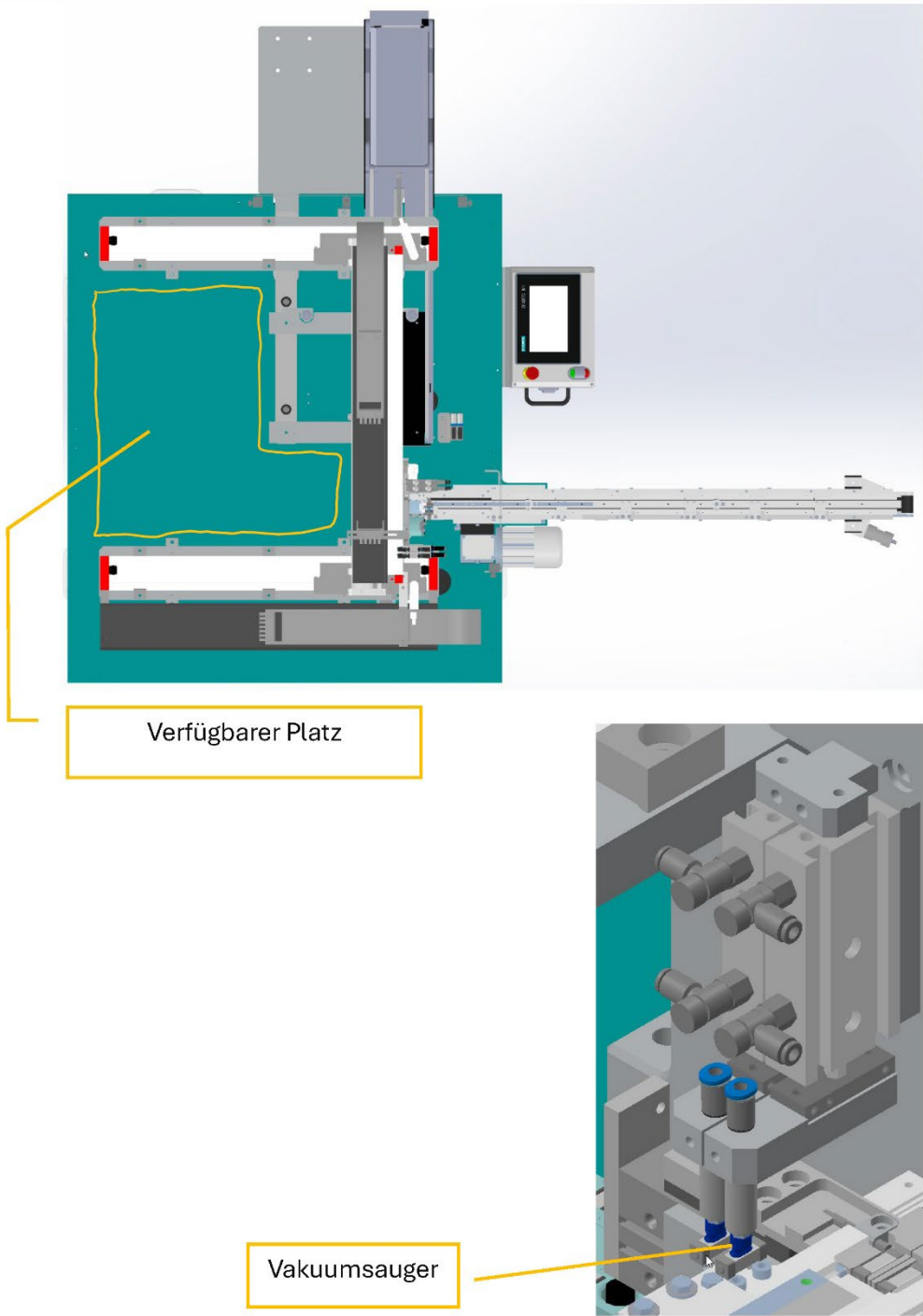
25. Mai 2025

Bisherige Prüfstation R-Kalt



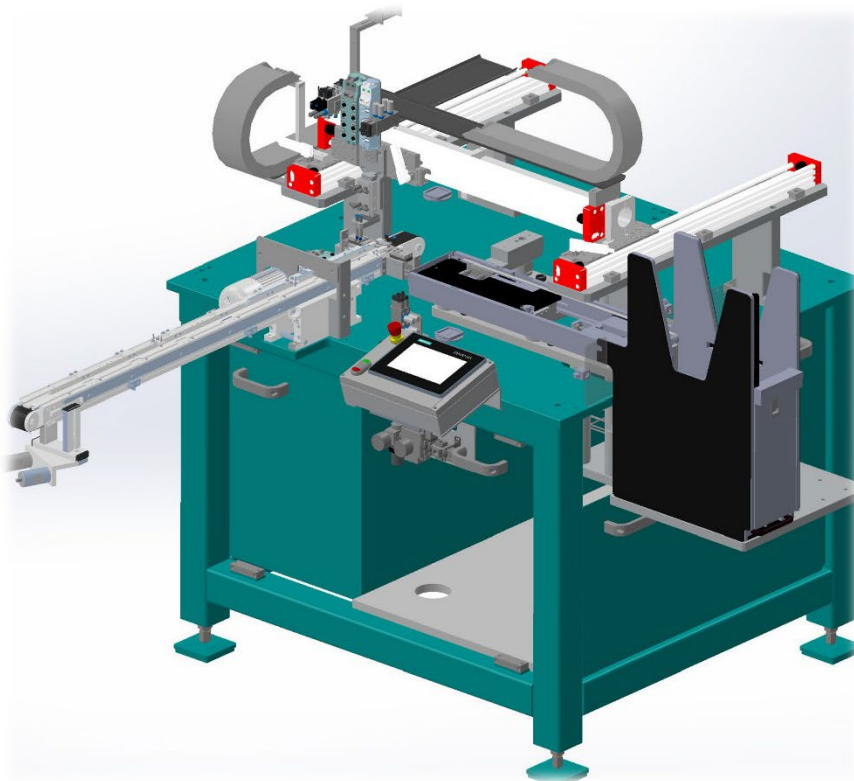
Trayhandler





Pflichtenheft

Pulloff-Force Test / R-Kalt Test



Diplomarbeit Lehrgang Maschinenbautechniker HF

Rieder Hilar

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

Die Schurter AG

Woraus ist die Idee für das Thema der Diplomarbeit entstanden?

Fachexperte

Projektübersicht

Zielsetzung

Anwendungsbereich

Abgrenzung

Randbedingungen

Technische Umgebung

Zeitlicher Rahmen

Budget

Anforderungen

Funktionelle Anforderung

Nicht funktionelle Anforderungen

Meilensteine

Signaturseite

Glossar

3

3

3

3

4

4

4

4

5

5

5

5

6

6

6

7

7

8

Einleitung

Die Schurter AG

Die Firma Schurter wurde 1933 gegründet mit Hauptsitz in Luzern. Schurter zählt rund 2000 Mitarbeiter in ca. 17 Länder. Bis im Februar 2023 war die Firma ein traditionelles Familienunternehmen. Die Schurter AG wurde von Capvis aufgekauft und neustrukturiert. Das Kerngeschäft ist die Entwicklung, Produktion und der Vertrieb von Elektro- und Elektronikkomponenten. Zu den Hauptgruppen gehören Sicherungen, Gerätestecker, EMV-Filter und Eingabesysteme. Einen Grossteil der Produktionsanlagen, der Produkte, stellt Schurter in Luzern eigenständig her.

Woraus ist die Idee für das Thema der Diplomarbeit entstanden?

Das Team wo ich angehöre ist darauf spezialisiert die Produktion zu optimieren und bei Störungen 3-Level Support zu bieten. Anfang des Jahres erhielt ich den Auftrag die Projekte zu präsentieren welche dieses Jahr umgesetzt werden sollen. Ziel der Projekte, Ausschussreduktion und somit Reduktion der Ausschusskosten. Im Zuge dieser Evaluation bin ich auf diese Projekt gestossen.

Fachexperte

Der betreuende Fachexperte ist Herr Brugnoli Severio, Teamleiter Production Cost Improvement. Severio ist mein direkter Vorgesetzter und verfügt über alle notwendigen Kenntnisse und Fähigkeiten um die Diplomarbeit fachgerecht zu bewerten.

Tel: 0413693265
Mail: severio.brugnoli@schurter.com
Adresse: Werkhofstrasse 8-12 6002 Luzern
Beruf: Teamlead Production Cost Improvement

Projektübersicht

Zielsetzung

Die Prüfung der Abzugkraft der Kappen und der Kaltwiderstand der Sicherung sollen automatisiert werden und in der Produktionsanlage integriert werden. Dadurch können Personalkosten gespart werden. Zudem können die gewonnenen Informationen der Tests in Relation mit den Produktionsdaten der Sicherungen gebracht werden. Dadurch ist es in Zukunft möglich neue Erkenntnisse über den Produktionsprozess zu gewinnen und den Ausschuss zu reduzieren.

Anwendungsbereich

Systemgruppe	Beschreibung
Transportsystem	3-Achs Gantry, Vakuumsauger; vorhanden
Prüfstation	Pneumatischer Abzugtest, elektrische R-Kaltmessung
Sensoriksystem	Widerstandsmessgerät, Positionssensor, Vakuumüberwachung
Steuerungssystem	SPS, HMI, SMARTfactory; vorhanden
Sicherheits- und Schutzsystem	Not-Aus, Schutztüren (geschlossener Kreis); vorhanden
Versorgungssystem	Pneumatik für Aktoren, Elektrik für Sensoren; vorhanden

Abgrenzung

Die Diplomarbeit befasst sich primär mit der Konstruktion der Prüfstation. Die Integration und die Inbetriebnahme sind nicht teil der Diplomarbeit.

Randbedingungen

Technische Umgebung

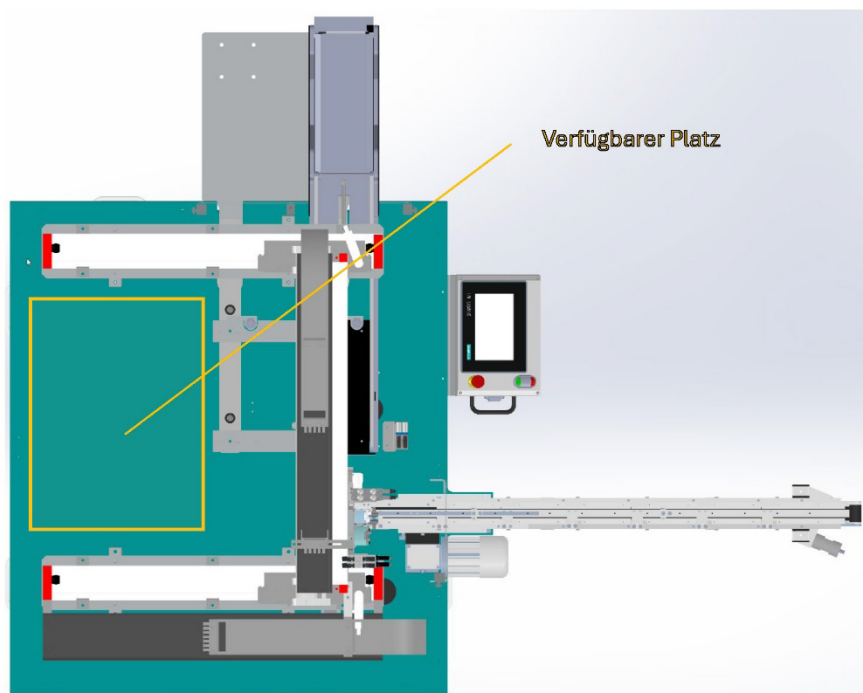
Die Prüfstation muss in der bestehenden Anlage integriert werden. Dafür steht ein Volumen von B:450mm L:600mm und H:150mm zur Verfügung. Die zu prüfende Sicherung wird mittels vorhandenem 3-Achs Gantry transportiert. Die Prüfstation muss mittels vorhandener SPS gesteuert werden. Die pneumatische und elektrische Versorgung wird von der bestehenden Anlage zur Verfügung gestellt. Die gewonnen Daten müssen mittels OPC UA Schnittstelle in die SAMRTfactory gespiesen werden.

Zeitlicher Rahmen

Die Diplomarbeit startet am Montag 15. September 2025 und endet am Montag, 10. November 2025 um 16.00 Uhr

Budget

Für das Gesamtprojekt wurden 10'000.- freigegeben. Davon sind rund 4000.- für die Konstruktion vorgesehen und 2000.- für Teile.



Anforderungen

Funktionelle Anforderung

Produktionsleistung:	Die bisherige Taktzeit von 4 Sekunden darf nicht überschritten werden.
Fehlerdiagnose:	Die Konstruktion muss so aufgebaut sein, dass Fehlfunktionen auf dem HMI angezeigt werden.
SPS-Anbindung:	Alle verwendeten Aktoren, sowie Antriebe müssen mittels vorhandener SPS angesteuert werden.
Schutzkreis:	Es dürfen keine Manipulationen durchgeführt werden, wenn Gefahr für den Bediener besteht.
Abzugtest:	Muss die Kappen immer komplett abziehen können, die zerstörte Sicherung muss rückstandslos entfernt werden.
R-Klatmessung:	Die Station muss so aufgebaut sein, dass die Sicherung auf die Prüfspitzen zentriert wird. Sollte die Sicherung ab dem Vakuumsauger fallen, soll die Möglichkeit bestehen diese wieder aufzunehmen.

Nicht funktionelle Anforderungen

Wiederholgenauigkeit:	Die Prüfstationen müssen die MSA bestehen
Verfügbarkeit:	Die Prüfstationen sollen einen OEE von >75% aufweisen
Schutzart:	Mindestens IP 54 gemäß EN 60529
Sicherheit:	Verschlüsselung sensibler Daten, OPC UA muss sicher sein
Schallpegel:	Auslösewert 80dB, Impulsspitze 135dB
Sicherungen:	Müssen bei Raumtemperatur liegen bei der R-Kaltmessung

Meilensteine

- KW 37

Freigabe Pflichtenheft, Projektstart
- KW 38-40

Konzept erarbeitet
- KW 41

Funktionstest
- KW 42-44

Finale Konstruktion
- KW 45-46

Dokumentation beenden

Signaturseite

Diese Seite dient der formellen Bestätigung und Freigabe des Pflichtenhefts durch die beteiligten Parteien.

Durch ihre Unterschriften bestätigen beide Parteien, dass sie das Pflichtenheft vollständig geprüft, dessen Anforderungen, Leistungen und Verantwortlichkeiten verstanden und inhaltlich akzeptiert haben. Die Unterschriften dokumentieren die verbindliche Freigabe des Dokuments und die Verpflichtung zur Einhaltung der darin festgelegten Bedingungen und Fristen.

Rolle	Name	Ort, Datum	Unterschrift
Fachexperte, Auftraggeber	Severio Brugnoli	Luzern 29.08.25	
Dozent, Auftraggeber	Antonio Foschini		

Glossar

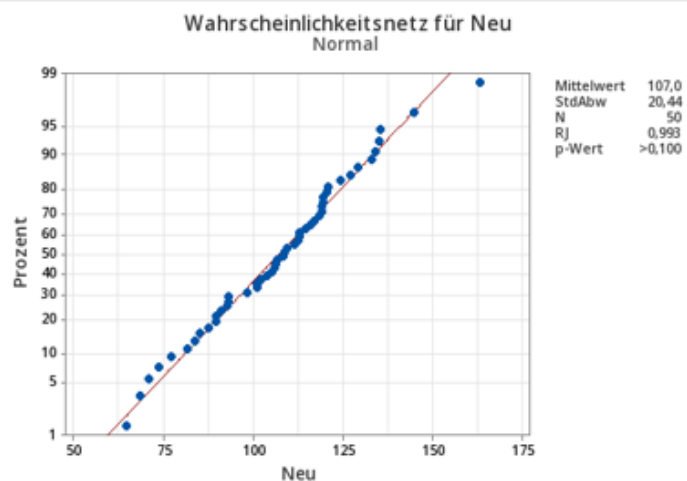
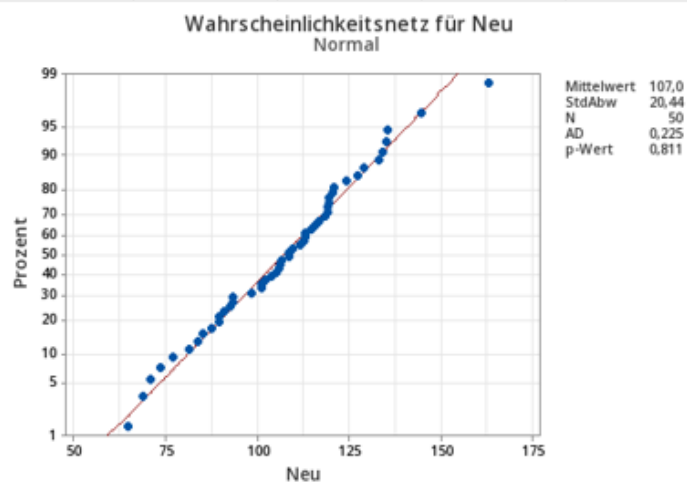
Gantry	Ein rahmenartiges, verfahrbares Trägersystem auf Linearführungen, das Werkzeuge oder Werkstücke in mehreren Achsen präzise positioniert.
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture, Kommunikationsprotokoll für den sicheren, standardisierten Datenaustausch.
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
HMI	Human-Machine Interface, grafische Benutzerschnittstelle worüber Prozesse und Anlagen kontrolliert und gesteuert werden können.
SMARTfactory	ermöglicht eine vernetzte, adaptive Fertigung, die mittels IoT, KI und Echtzeitdatenanalyse autonom optimiert wird.
IoT	Internet of Things, bezeichnet die Vernetzung physischer Objekte mit Sensoren, Software um Daten auszutauschen und Prozesse zu automatisieren.
KI	Künstliche Intelligenz, bezeichnet Systeme und Algorithmen, die aus Daten lernen, Muster erkennen und eigenständig Entscheidungen treffen.
MSA	bewertet Genauigkeit, Präzision, Wiederholbarkeit, Reproduzierbarkeit und Stabilität von Messsystemen.

PoC Validierung

Vergleichstest Kappenabzugkraft UMT-X Sicherungen.

Bei diesem Versuch wurde das bestehende System mit dem neuen System verglichen. Die Ergebnisse wurden auf eine Normalverteilung geprüft. Beim bestehenden System liegt keine Normalverteilung vor. Das neue System zeigt klar eine Normalverteilung auf. Es wird vermutet, dass beim bestehenden System die Sicherung sich während dem Test verformt und somit die Werte verfälscht. Umso grösser die Abzugskraft umso mehr verformt sich die Sicherung. Bei den Testobjekten handelt es sich um UMT-H 3.15 A Sicherungen (3403.0279.23.A) aus folgendem Auftrag 2557370. Der Test wurde von HRI am 13.10.2025 ausgeführt und ausgewertet.

Neu	Alt
105.69	112.6
102.02	135.1
106.37	121.7
118.99	115.4
83.52	163.2
116.66	161
76.9	136.7
120.16	159.5
109.38	111
100.97	135
124.22	118.7
119.36	138
114.53	75.6
64.45	99.8
119.3	126.6
70.7	134.6
112.68	89.4
128.94	140.6
135.3	90.7
92.47	95.9
93.1	144.5
87.44	162.2
104.89	161
68.51	141
103.5	140.2
162.96	128.9
120.53	77.1
132.78	147.5
112.37	131.5
98.16	93
108.3	72.2
144.4	131.3
89.55	138.1
118.28	157.2
111.32	145.8
89.49	162.5
105.97	77.1
119.05	100.2
127.03	94
108.5	93.9
112.82	144.6
101.03	149



81.36	91.8
85	120.4
73.54	114.9
92.98	109.7
115.66	148.7
134.82	130.6
90.71	146
133.86	144.2

