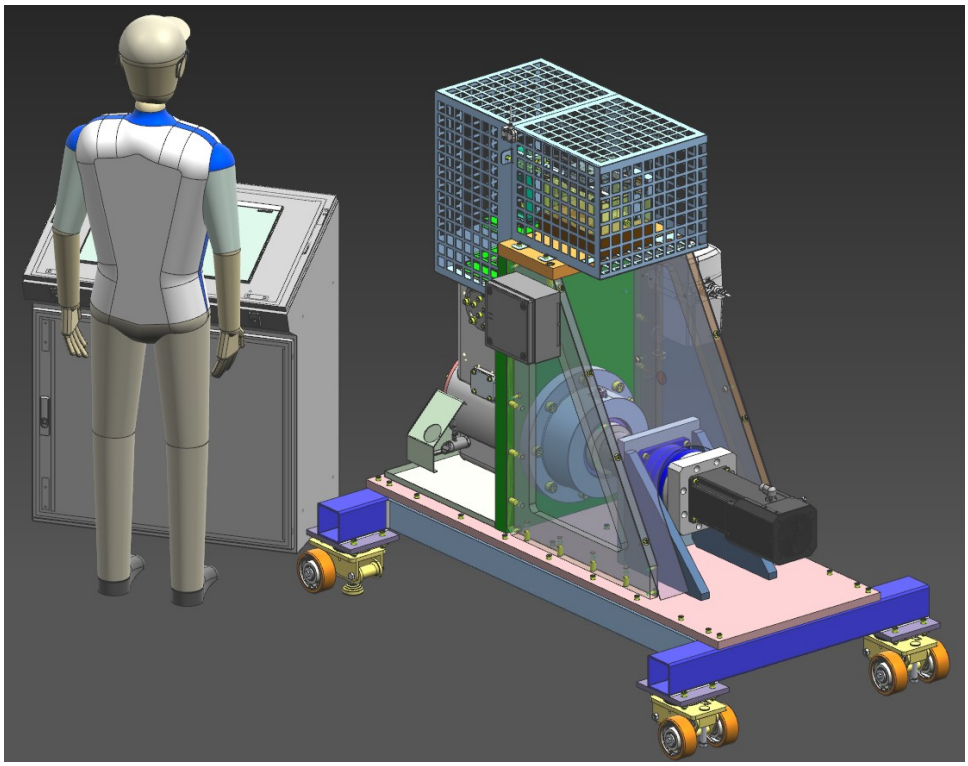
TEKO

DIPLOMARBEIT

Getriebeteststand

Entwicklung eines gemeinsamen Prüfstands
für die Vorschubgetriebe 82,5 mm und AE+



Abgeschlossene Konstruktion des Getriebeteststands – eigene CAD-Gesamtansicht vom 21.10.2026. [P6]

David Schlatter · Klasse B-TMA-23-T-a
Techniker HF Maschinenbau · TEKO Bern
Adval Tech (Switzerland) AG · Tool Development
Diplomlehrer Jürg Krebs · Co-Experte Urs H. Meyer
Abgabe 2. November 2026 um 17:00 Uhr
Bearbeitungsstand 27. Oktober 2026 · Überarbeitete Fassung V4.0

Inhaltsverzeichnis

Management Summary....4
Kurzlebenslauf....5
Qualifikationsprofil....6
Abbildungsverzeichnis....7
Tabellenverzeichnis....8
Abkürzungen und Formelzeichen....9
1 Ausgangslage und Projektauftrag....11
1.1 Betriebliche Problemstellung....11
1.2 Ziel und eigener Bearbeitungsumfang....11
1.3 Projektorganisation....12
2 Anforderungen und Systemgrenzen....13
2.1 Prüflinge und gemeinsame Schnittstellen....13
2.2 Verbindliche Anforderungen....14
2.3 Systemgrenze und Messgrössen....15
3 Projektplanung und Vorgehen....16
3.1 Arbeitsplanung....16
3.2 Dokumentation der Arbeitsschritte....16
3.3 Risikobeurteilung des Teststands und Schutzmassnahmen....17
4 Lösungsentwicklung und Entscheidungsweg....20
4.1 Vorgehen bei der Variantenwahl....20
4.2 Morphologischer Kasten....20
4.3 Vom direkten Anschluss zur Lagerglocke....21
4.4 Von der Verstiftung zur Flanschzentrierung....21
4.5 Antriebsauswahl und Übersetzung....21
4.6 Entwicklung der Kupplung und Passfeder....22
4.7 Sensorwahl und starre Befestigung....22
4.8 Mobilität und Schutzkonzept....23
5 Konstruktive Ausarbeitung....24
5.1 Entwicklung des CAD Modells....24
5.1.1 Gewichtsoptimierung....24
5.1.2 Gewichtseinsparung im vergleichbaren Baugruppenumfang....25
5.1.3 Aktuelle Gesamtansicht und Schnitt....27
5.2 Bezugssystem und Ausrichtung....28
5.3 Antrieb und axiale Einbausituation....29
5.4 Prüfstandswelle und Lagerung....30
5.5 Schmierung und Abdichtung....31
5.6 Ölauffangwanne....32
5.7 Prüflingswechsel....32
5.8 Montage und Ausrichtung des Prüflings....33
6 Messkonzept und Bedienung....34
6.1 Messung der Hebelbewegung....34
6.2 Schwingungsmessung....35
6.3 Öltemperatur und Schmierdruck....36
6.4 Bedienung und Datenschnittstellen....36
7 Berechnungen und technische Nachweise....38
7.1 Lastmodell und Herkunft der Eingaben....38

7.2 Trägheiten und Beschleunigungsrampe....39
7.3 Erforderliches Antriebsmoment....40
7.4 Kupplungsauslegung ROTEX 65....42
7.5 Passfedernachweis für ROTEX 65....44
7.6 Festigkeitsnachweis der Prüfstandswelle....47
7.7 Lagerreaktionen und Lebensdauer....50
7.8 Grundplatte und Profilkonstruktion unter Eigengewicht....52
7.8.1 Bisheriger Ansatz mit 40 mm Grundplatte....52
7.8.2 Neue Tragstruktur und statischer Lastansatz....52
7.8.3 Werkstoffe und Berechnungsgrundlage....53
7.8.4 Ersatzmodelle und Schnittgrössen....54
7.8.5 Profilquerschnitte und Ergebnisse....55
7.8.6 Umlaufende Schweissnähte und Nachweisgrenze....57
7.9 Standsicherheit des Teststands....58
7.10 Tragfähigkeit der Heberollen....59
8 Schutzkonzept und Wartung....60
8.1 Mechanische Schutzmassnahmen....60
8.2 Verifikation der Schutzmassnahmen....61
8.3 Wartung und Reinigung....62
9 Prüfanweisung und Abnahmeplanung....63
9.1 Voraussetzungen und Ablauf....63
9.2 Prüfprotokoll und Grenzwertverwaltung....64
9.3 Abnahmematrix....65
10 Stückliste und Kosten....66
10.1 Stückliste....66
10.2 Kostenübersicht....66
10.3 Wirtschaftliche Beurteilung....67
11 Erreichter Stand und Abschlussarbeiten....68
11.1 Nachweisstand der Anforderungen....68
11.2 Vergleich von Planung und Aufwand....68
11.3 Übergabe an den Sondermaschinenbau....68
12 Reflexion und Fazit....69
12.1 Erkenntnisse aus dem Entwicklungsweg....69
12.2 Fazit zum bisherigen Ergebnis....69
12.3 Danksagung....69
Quellenverzeichnis....70
Anlagen und Dokumentenstand....73
Eigenständigkeitserklärung....74

Management Summary

Die vorliegende Diplomarbeit behandelt die Entwicklung eines Getriebeteststands für Adval Tech. Das Unternehmen baut Maschinen zur Herstellung von Aerosoldeckeln, in denen Vorschubgetriebe die Werkzeugbewegung steuern. Der Teststand soll die Funktion und Dichtheit revidierter Getriebe vor der Auslieferung prüfen, unabhängig von einer verfügbaren Produktionsmaschine. [P1, P2]

Ziel ist ein gemeinsamer mechanischer Prüfstand für die Vorschubgetriebe 82,5 mm und AE+. Vorgesehen ist ein achtstündiger Dauerlauf je Getriebetyp bei bis zu 280 Hüben pro Minute. Der Bearbeitungsumfang umfasst die Konstruktion, technische Berechnungen, Fertigungszeichnungen, Stückliste und eine vorbereitete Prüfanweisung. [P2]

Die ausgearbeitete Lösung verbindet eine gemeinsame Getriebeaufnahme mit einem Servoantrieb und den vorgesehenen Messstellen für Hebelbewegung, Schwingungen, Öltemperatur und Schmierdruck. Eine Auffangwanne ermöglicht die visuelle Beurteilung von Leckagen. Die Konstruktion berücksichtigt den Prüflingswechsel, die Ausrichtung und den Schutz vor bewegten Teilen. [P4, P10]

Als Ergebnis liegt eine im Abschluss-Design-Review freigegebene Baugruppe mit den Unterlagen für die anschliessende Umsetzung vor. Die konstruktive Überarbeitung umfasst unter anderem die Anpassung der Antriebsverbindung und die Reduktion der Masse. Die technischen Nachweise und ihre Geltungsgrenzen sind in Kapitel 7 dokumentiert. [P10]

Fertigung, Montage, elektrische Ausrüstung, Steuerung und Inbetriebnahme übernimmt der Sondermaschinenbau nach der Diplomabgabe. Der praktische Nachweis folgt mit der Abnahme nach Kapitel 9: Dabei wird geprüft, ob der aufgebaute Teststand die geforderten Funktionen und den Dauerlauf zuverlässig erfüllt. [P2]

Kurzlebenslauf

Seit April 2024 arbeite ich als Tool-Designer bei Adval Tech Switzerland AG. Zuvor war ich als Werkzeugmacher, Mechaniker und in der Qualitätssicherung tätig. Meine praktische Erfahrung bildet den fachlichen Hintergrund für die konstruktive Bearbeitung dieser Diplomarbeit.

Tabelle 1 Beruflicher Werdegang

Zeitraum	Tätigkeit	Unternehmen
Seit 04.2024	Tool-Designer	Adval Tech Switzerland AG
11.2020–04.2024	Werkzeugmacher	Adval Tech Switzerland AG
06.2020–11.2020	Werkzeugmacher	alupak AG
09.2017–04.2020	Werkzeugmacher	Feintool
07.2016–05.2017	Qualitätssicherung	GEA Aseptomag AG
10.2013–02.2016	Mechaniker	Vogt Stanztechnik AG
09.2013–10.2013	Temporärangestellter	Neue Personaldienst Biel AG
08.2009–08.2013	Berufslehre als Messerschmied	F. Zulauf AG

Im September 2024 bin ich in das dritte Semester der Weiterbildung zum Techniker HF Maschinenbau an der TEKO Bern eingestiegen. Den Unterricht habe ich im September 2026 abgeschlossen. [P13]

Qualifikationsprofil

Berufliche Grundlage. Meine Erfahrung im Werkzeugunterhalt und seit April 2024 als Tool-Designer verbindet Fertigungs- und Unterhaltspraxis mit der Konstruktion. Die Weiterbildung an der TEKO Bern hat diese Grundlage um Berechnung, Entwicklungsmethodik und Projektabwicklung ergänzt.

Entwickeln und konstruieren. In der Diplomarbeit habe ich Anforderungen und Varianten systematisch beurteilt und eine gemeinsame mechanische Lösung für zwei Getriebetypen ausgearbeitet. CAD, Zeichnungen, Stückliste und Berechnungen führen die Entscheidungen zu einer dokumentierten Baugruppe zusammen. Dabei berücksichtige ich Fertigung, Ausrichtung, Prüflingswechsel und Wartungszugänglichkeit.

Planen und zusammenarbeiten. Mit Pflichtenheft, Terminplanung, Design Reviews und Kostenübersicht bearbeite ich einen abgegrenzten Entwicklungsauftrag. Ich dokumentiere Schnittstellen und Entscheidungen so, dass Auftraggeber und Sondermaschinenbau die Umsetzung weiterführen können. Die Abstimmung mit der AVOR ergänzt die technische Sicht um Herstellverfahren und Kosten.

Berechnen und digitale Hilfsmittel einsetzen. Siemens NX, SMath, Excel und Word unterstützen Konstruktion, Nachweise und Dokumentation. Ich lege Eingaben und Annahmen offen und unterscheide berechnete, geplante und praktisch geprüfte Ergebnisse. Die frühzeitige Abstimmung kritischer Lastfälle und Schnittstellen bleibt ein Entwicklungsschwerpunkt.

Verantwortung und Weiterentwicklung. Wartung, Wiederverwendung vorhandener Teile, Ölauffangung und Schutzmassnahmen fliessen in die Konstruktion ein. Montage, elektrische Ausrüstung, Steuerungsumsetzung und Inbetriebnahme des Teststands liegen beim Sondermaschinenbau. Meine Leistung besteht in der konstruktiven Vorbereitung, den beschriebenen Nachweisen und der Prüfanweisung.

Der Bezug zum Rahmenlehrplan liegt insbesondere in Entwicklung und Konstruktion (B4, B6, B7), Projektabwicklung (B5), Kommunikation und Reflexion (A1–A3), Fertigungsplanung und Montagevorbereitung (B8, B9), digitalen Hilfsmitteln (B10) und nachhaltigem Handeln (B11).

Zusammenfassung meines persönlichen Kompetenzprofils, Stand 22.10.2026. [P13]

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Bisheriger Prüfprozess bei Neumaschinen und Revisionen....11
Abbildung 2 Projektorganisation....12
Abbildung 3 Vorschubgetriebe 82,5 mm links und AE+ rechts....14
Abbildung 4 Funktionen und Systemgrenze des Teststands....15
Abbildung 5 Qualitative Risikomatrix für Personen, Anlage und Umgebung....17
Abbildung 6 Morphologischer Kasten mit dem Auswahlstand ROTEX 65....20
Abbildung 7 Tragstruktur des gewichtsoptimierten Stands mit Grundplatte und Profilrahmen....25
Abbildung 8 Befestigung der Grundplatte am Profilgestell mit Blindnietmuttern....25
Abbildung 9 Gesamtaufbau mit beschrifteten Hauptkomponenten....27
Abbildung 10 Schnitt durch den aktuellen Getriebeteststand....27
Abbildung 11 Lagerglocke mit Zentrierung, Lagersitzen und Dichtungsaufnahme....29
Abbildung 12 Antriebsbaugruppe mit Planetengetriebe, Motorenkonsole und ROTEX 65....30
Abbildung 13 Stirnansicht der Kreuzscheibe mit Mitnehmeraussparungen....31
Abbildung 14 Lösbare Verbindungen zwischen Prüfling und Schlittenarm....32
Abbildung 15 Sensorhalter mit Sensoraufnahme und Befestigungsbohrungen....35
Abbildung 16 Statischer Lastweg und gewählte Referenzlast....52
Abbildung 17 Ersatzbalken und Schnittgrössen des mittig belasteten Längsprofils....54
Abbildung 18 Ersatzmodelle für die Grundplatte und den Überstand der Rollenplatte....55
Abbildung 19 Profilquerschnitte mit Radien und konservativem Bohrungsabzug....56
Abbildung 20 Ausnutzungen der globalen statischen Ersatzmodelle....57
Abbildung 21 Umlaufende Naht am Profilende und Bedeutung der Kehlnahtdicke....58
Abbildung 22 Zweiteilige Schutzhaube mit Deckeln und Sicherheitsschalter....60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beruflicher Werdegang....5
Tabelle 2 Abkürzungen im Dokument....9
Tabelle 3 Verantwortlichkeiten und Leistungsabgrenzung....12
Tabelle 4 Vergleich der Prüflingsgeometrie....13
Tabelle 5 Funktionale Anforderungen mit Bezug zur späteren Abnahme....14
Tabelle 6 Geplante Arbeitspakete....16
Tabelle 7 Risikoszenarien, Ersteinstufung und Massnahmen am Teststand....18
Tabelle 8 Dokumentierter Motorvergleich....21
Tabelle 9 Übersetzungsvergleich innerhalb der Getriebeauswahl....22
Tabelle 10 Massenvergleich der überarbeiteten Baugruppen....26
Tabelle 11 Aktuelle Zentrierschnittstellen....28
Tabelle 12 Geometrische Folgen des Kupplungswechsels....29
Tabelle 13 Daten des Abstandsensors....34
Tabelle 14 Messstellenliste als Grundlage der weiteren Abstimmung....37
Tabelle 15 Ergebnisse der Antriebsvorprüfung für den 7,5-kg-Auslegungsfall....41
Tabelle 16 Drehmomentbedingungen und Vergleich der Kupplungsgrössen....44
Tabelle 17 Pressung und Reserve der Passfeder 16 × 10 × 63 mm....46
Tabelle 18 Ergebnis und Geltungsbereich des Wellennachweises....49
Tabelle 19 Ergebnisse der Lagerrechnung....51
Tabelle 20 Ergebnisse der statischen Ersatzmodelle bei 1300 kg....57
Tabelle 21 Offene Nachweise für Schutzmassnahmen und Betriebsfreigabe....61
Tabelle 22 Vorgesehene Kontrollen und Wartungstätigkeiten....62
Tabelle 23 Geplanter Prüfablauf....63
Tabelle 24 Inhalt des vorgesehenen Mess- und Prüfprotokolls....64
Tabelle 25 Geplante Abnahme des Gesamtprüfstands....65
Tabelle 26 Zusammenstellung der erfassten Teilekosten....66
Tabelle 27 Soll-Ist-Vergleich des Arbeitsaufwands....68
Tabelle 28 Anlagenübersicht....73

Abkürzungen und Formelzeichen

Tabelle 2 Abkürzungen im Dokument

Kürzel	Bedeutung
A-01–A-10	Kennungen der geplanten Abnahmepunkte
a-Peak	Spitzenwert der Schwingbeschleunigung
a-RMS	Effektivwert der Schwingbeschleunigung
ABG	Abgabe (Fixtermin im Zeitplan)
AC	Alternating Current; Wechselstrom bzw. Wechselspannung
AE+	Bezeichnung des zweiten Vorschubgetriebetyps
AG	Aktiengesellschaft
Änd.-stand	Änderungsstand
bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer-Aided Design; rechnergestützte Konstruktion
CX	Baureihenbezeichnung des Rittal-Standpults
DAP	Kennung des Fixtermins am 19.10.2026 im Zeitplan
DC	Direct Current; Gleichstrom bzw. Gleichspannung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DR	Design Review; Prüfung des Konstruktionsstands
EG	Europäische Gemeinschaft; Kürzel in der Richtlinienbezeichnung
EN	Europäische Norm
F-01–F-12	Kennungen der funktionalen Anforderungen
GEA	Unternehmensname im beruflichen Werdegang
GJL	Gusseisen mit Lamellengraphit
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GWJ	Herstellername der Berechnungssoftware eAssistant
H/min	Hebelzyklen pro Minute; projektinterne Bezeichnung
HF	Höhere Fachschule
HMI	Human Machine Interface; Bedienoberfläche
ID	Identifikationskennung
IO-Link	Digitale Kommunikationsschnittstelle für Sensoren und Aktoren
ISO	International Organization for Standardization
ISO VG	ISO Viscosity Grade; Viskositätsklasse des Öls
Kap.	Kapitel
KTR	Herstellername der verwendeten ROTEX-Kupplung
M01–M14	Kennungen der Risikoszenarien in Kapitel 3.3
MC / MF	Herstellerkennzeichen für Dauer- beziehungsweise Zyklusbetrieb
Mr	Messbereich; Bezugsgrösse der Linearitätsangabe des Abstandsensors
MS	Modifizierte Sinuskurve; Kurvengesetz
Nr.	Nummer
NX	Verwendetes CAD-System

Kürzel	Bedeutung
OSSD	Output Signal Switching Device; sicherer Halbleiterausgang
P / A / U	In der Risikobeurteilung: Person, Anlage/Prüfling und Umgebung/Öl
P / R / H / L / Z / S	Quellenkategorien: Projektunterlagen, Berechnungen, Herstellerunterlagen, Fachliteratur, Zeichnungen sowie Schul- und Normengrundlagen
PDA	Product Design Assessment; Produktbewertung in Quelle H5
PDF	Portable Document Format; Dokumentenformat
PDI	Positive Displacement Injector; dosierende Schmierstoffinjektoren
Pos.	Position
RFID	Radio Frequency Identification; Funktransponder-Erkennung
RMS	Root Mean Square; Effektivwert
S.	Seite bzw. Seiten in Quellenangaben
S1–S3	Geordnete Stufen der möglichen Folgen in der Risikobeurteilung
SKF	Herstellername der verwendeten Kegelrollenlager
SLR	Single Line Resistance; Schmierstoffverteilung über Widerstandselemente
SMath	Name der verwendeten Berechnungssoftware SMath Studio
SMB	Sondermaschinenbau
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data; CAD-Austauschformat
SUCO	Herstellername des bisherigen Membrandruckschalters
SW	Schlüsselweite; im Titel des Druckschalter-Datenblatts
T-PUR	KTR-Werkstoffbezeichnung für den Polyurethan-Zahnkranz
TB	Tabelle im Roloff/Matek-Tabellenbuch
TEKO	Name der besuchten Schule
V AC	Volt Wechselspannung
V DC	Volt Gleichspannung
v-RMS	Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit
W1–W3	Geordnete Stufen des Auftretens der Gefährdungssituation

Formelzeichen, Indizes und Einheiten sind vor jedem Rechenblock erläutert. «–» bezeichnet dimensionslose Grössen. H/min steht für vollständige Hebelzyklen bzw. Umdrehungen der Antriebsnabe pro Minute.

1 Ausgangslage und Projektauftrag

1.1 Betriebliche Problemstellung

Adval Tech baut Maschinen zur Herstellung von Aerosoldeckeln. Darin steuern Vorschubgetriebe den Längsvorschub des Werkzeugs. Nach einer Revision muss geprüft werden, ob ein Getriebe dicht ist und zuverlässig läuft. Dazu werden unter anderem Öltemperatur und Hebelbewegung beurteilt. [P1]

Bei einer Neumaschine ist diese Prüfung während der Inbetriebnahme möglich. Steht die passende Maschine beim Kunden, fehlt für ein revidiertes Getriebe eine Prüfmöglichkeit im Werk. Eine erst nach der Auslieferung erkannte Undichtigkeit oder Überhitzung verursacht zusätzliche Fehlersuche und Montagearbeit. Der eigenständige Teststand soll die Prüfung deshalb vor die Auslieferung verlagern. [P1, P6]

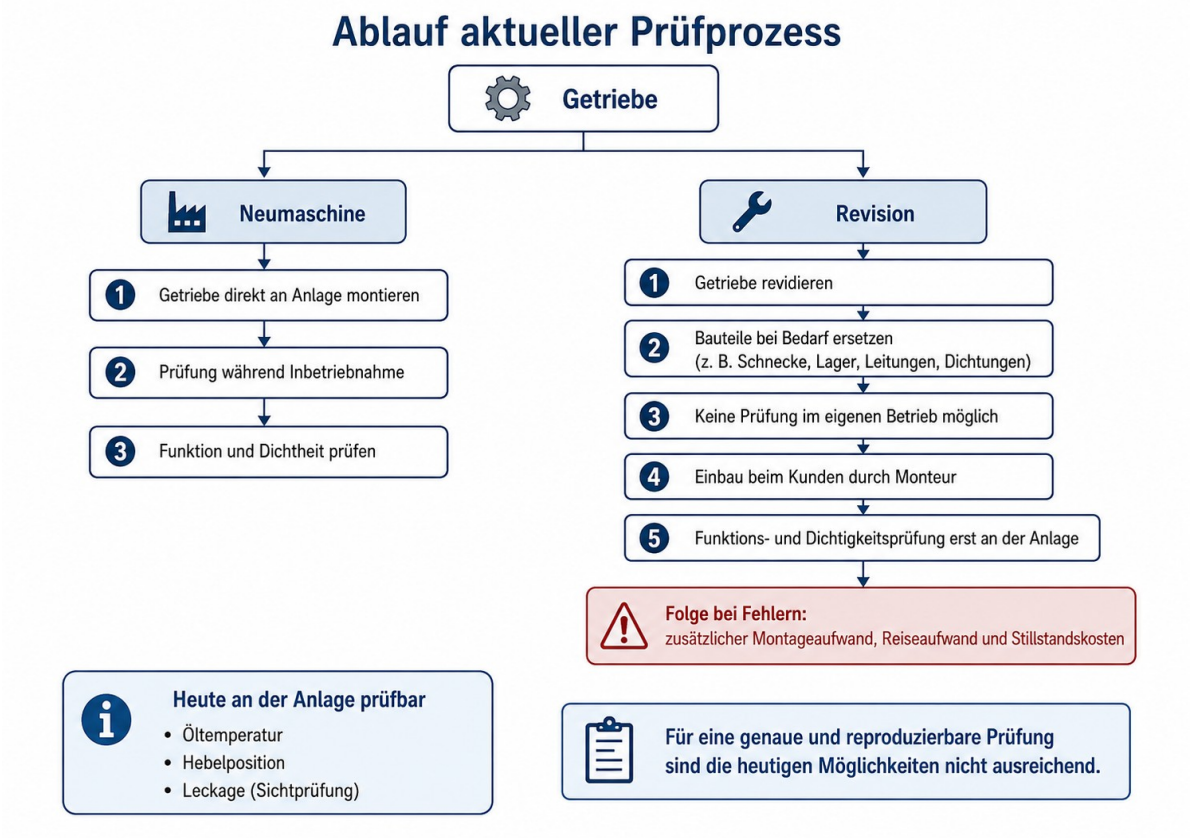


Abbildung 1 Bisheriger Prüfprozess bei Neumaschinen und Revisionen

Eigene Projektgrafik aus dem Ordner Bilder [P6].

1.2 Ziel und eigener Bearbeitungsumfang

Die Diplomarbeit umfasst die Ausarbeitung der mechanischen Vorrichtung und die Abstimmung ihrer Schnittstellen mit dem Sondermaschinenbau. Dazu gehören Fertigungszeichnungen, Stückliste und Prüfanweisung. Ergänzend ist die Kostenübersicht in Kapitel 10.2 zusammengestellt. [P2]

Fertigung, Montage und Inbetriebnahme erfolgen nach der Diplomabgabe. Der Sondermaschinenbau übernimmt Elektrik, Steuerung und Datenverarbeitung. Die Konstruktion berücksichtigt dafür Sensorhalterungen, Leitungszugänge, Schutzhauben und den benötigten Einbauraum. Die Aufgabenverteilung zeigt Tabelle 3. [P2]

Tabelle 3 Verantwortlichkeiten und Leistungsabgrenzung

Bereich	Verantwortlich	Ergebnis beziehungsweise Schnittstelle
Mechanische Konstruktion	David Schlatter	Gesamtaufbau, Aufnahme, Antriebsanbindung, Schmierung, Wanne und Schutz
Dokumentation	David Schlatter	Zeichnungen, Stückliste, Nachweise und Projektdokumentation
Prüfanweisung	David Schlatter	Ablauf, Prüfmittel, Kriterien und Protokollierungsvorgaben
Montage und Aufbau	Yves Ledermann / SMB	Umsetzung, Einbau, Ausrichtung und Rückmeldungen
Elektro und Steuerung	Yves Ledermann / SMB	Verdrahtung, SPS/HMI, Parametrierung und Fehlerreaktionen
Gemeinsame Schnittstellen	David Schlatter und Yves Ledermann	Abstimmung von Änderungen und Freigabe zum Probebetrieb

Quelle: Pflichtenheft V1.2, Kapitel 9. [P2]

1.3 Projektorganisation

Das Organigramm zeigt Auftraggeber, Projektleitung und Betreuung sowie die schulischen Ansprechpersonen. [P6]

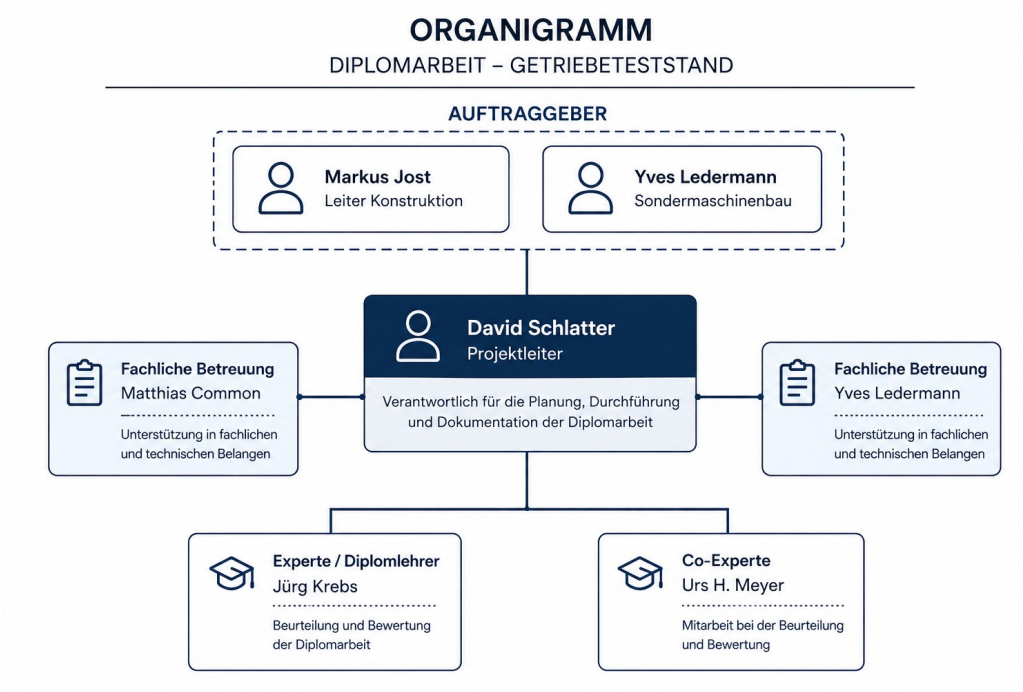


Abbildung 2 Projektorganisation

Bereitgestelltes Organigramm [P6]. Schreibweise der Namen gemäss Grafik.

2 Anforderungen und Systemgrenzen

2.1 Prüflinge und gemeinsame Schnittstellen

Der Prüfstand ist für das Vorschubgetriebe 82,5 mm und das Vorschubgetriebe AE+ vorgesehen. Beide wandeln die Eingangsdrehung in die periodische Bewegung des Vorschubhebels um. Das freigegebene Pflichtenheft nennt gemeinsame Befestigungsflächen, Flansche und Antriebsnabengeometrien. Die unterschiedlichen Teilenummern der Antriebsnabe werden dort als Folge einer aktualisierten Bauteilbezeichnung erläutert. Prüflingsspezifische Adapter und Umbauten sind zulässig. [P2, Z1, Z2]

Tabelle 4 Vergleich der Prüflingsgeometrie

Merkmal	Vorschubgetriebe 82,5 mm	Vorschubgetriebe AE+
Zeichnung	10158336 Index D	10142123 Index E
Gesamter Vorschubweg	82,5 mm	110 mm
Stellweg ab Mitte	±41,25 mm	±55 mm
Winkel ab Mitte gemäss Pflichtenheft	±5,498°	±7,333°
Hebellänge gemäss Zeichnung	430,50 mm	430,89 mm
Ölversorgung	Prüflingseigener Tank und Komponenten	Prüflingseigener Tank und Komponenten

Quellen: Pflichtenheft und Zusammenstellungszeichnungen. Die Winkel und Hebellängen sind den jeweiligen Unterlagen entnommen. [P2, Z1, Z2]

Der gesamte Vorschubweg bezeichnet den Abstand zwischen den beiden Endlagen in Vorschubrichtung. Der Stellweg ab Mitte ist jeweils die Hälfte davon: beim Getriebe 82,5 mm ±41,25 mm, beim AE+ ±55 mm. Der Winkel beschreibt die Auslenkung des Vorschubhebels aus seiner Mittelstellung; die Hebellänge ist der Abstand von der Schwenkachse zum Anschluss der Vorschubbewegung. Der rotierende Eingang und der schwenkende Ausgang sind in Abbildung 3 gekennzeichnet. [P2, Z1, Z2]

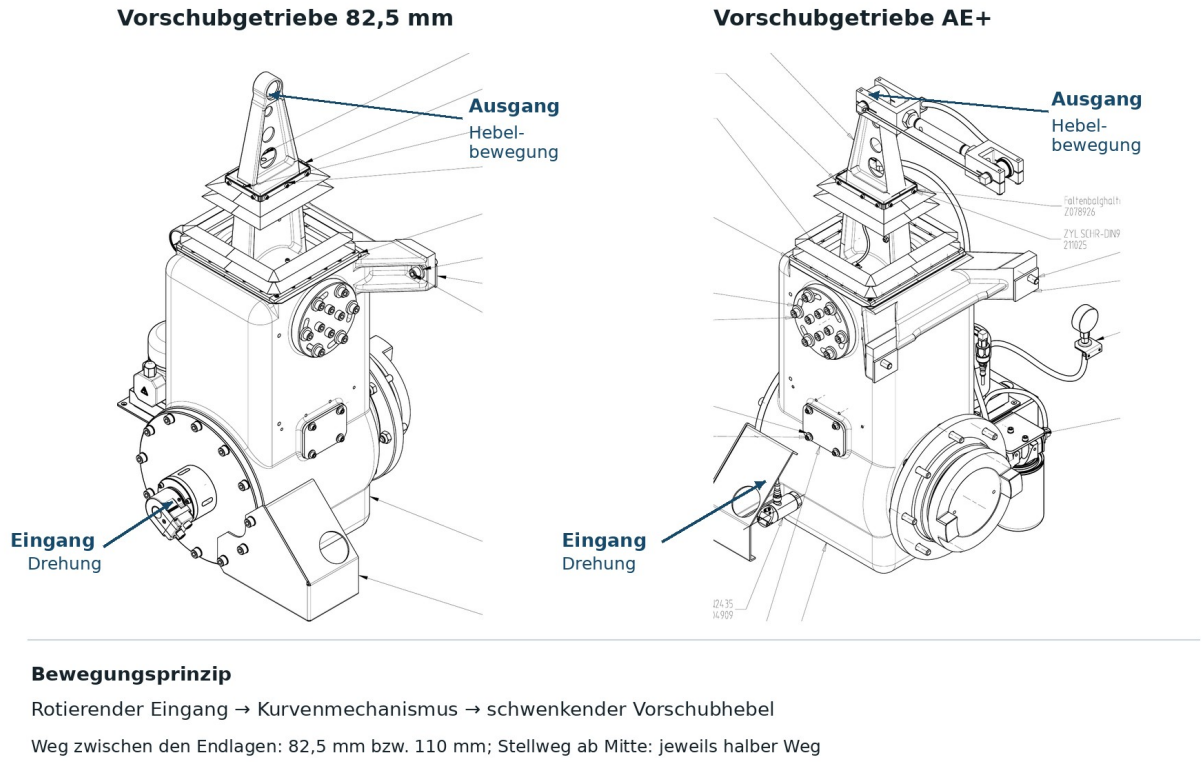


Abbildung 3 Vorschubgetriebe 82,5 mm links und AE+ rechts

Ausschnitte der Zusammenstellungszeichnungen 10158336 D und 10142123 E. [Z1, Z2]

Seit dem zweiten Design Review wird im CAD nur das AE+-Getriebe dargestellt. Der doppelt gelagerte Schlitten soll die etwa 0,4 mm grosse geometrische Hebelabweichung aufnehmen. Für die spätere Abnahme bleiben beide Getriebetypen zu prüfen. [P4]

2.2 Verbindliche Anforderungen

Das freigegebene Pflichtenheft verlangt die berührungslose Überwachung beider Endlagen. Ergänzend ist eine kontinuierliche Wegmessung vorgesehen, um auch den Bewegungsverlauf beurteilen zu können. Die Umsetzung beschreibt Kapitel 6.1. [P2]

Tabelle 5 Funktionale Anforderungen mit Bezug zur späteren Abnahme

ID	Anforderung	Priorität	Abnahmepunkt
F-01	Mindestens acht Stunden automatisierter Dauerlauf je Getriebetyp	Muss	A-01
F-02	Öltemperatur messen, anzeigen und speichern	Muss	A-02
F-03	Schmierdruck über IO-Link erfassen, anzeigen und speichern	Muss	A-03
F-04	Beide Hebelendlagen berührungslos überwachen	Muss	A-04
F-05	Leckageöl auffangen und visuell beurteilen	Muss	A-05
F-06	Reproduzierbare Vibrationsmessung ermöglichen	Kann	A-06

ID	Anforderung	Priorität	Abnahmepunkt
F-07	Beckhoff-Antrieb bis 280 H/min, eine Drehrichtung, ohne äussere Last	Muss	A-07
F-08	Montagefreundliche, ausrichtbare Adapterkupplung	Muss	A-07 / A-10
F-09	Zusatzschmierung der Antriebsnaben-Lagerstellen	Muss	A-08
F-10	Transport beziehungsweise Lagerung auf Palette	Kann	A-09
F-11	Beide Prüflinge sicher und wiederholgenau wechseln	Muss	A-10
F-12	Vorhandene Ölversorgung des Prüflings verwenden	Muss	A-02 / A-03 / A-07

Quelle: Pflichtenheft V1.2, Kapitel 4 und 10. Die Verknüpfung der Anforderungen mit mehreren Prüfpunkten ist eine Zuordnung für diese Dokumentation. [P2]

2.3 Systemgrenze und Messgrössen

Der Teststand soll revidierte Vorschubgetriebe unter definierten Bedingungen antreiben und ihre Funktion sowie Dichtheit beurteilen. Eingangsgrössen sind der Prüfling, elektrische Energie, Schmierstoff und Prüfparameter. Als Ergebnis entstehen Messverläufe, Statusmeldungen und ein dokumentierter Leckagebefund. Wärme, Geräusch und austretendes Öl sind Begleitwirkungen des Prüflaufs. [P2]

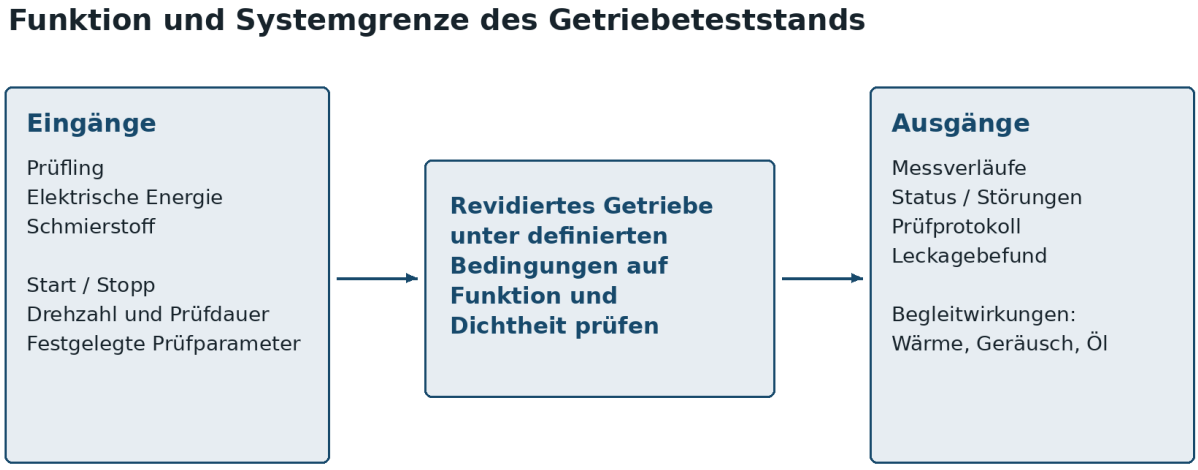


Abbildung 4 Funktionen und Systemgrenze des Teststands

Eigene Funktionsdarstellung auf Grundlage des Pflichtenhefts und der bestehenden Projektgrafik. [P2, P6]

Der SMB legt sämtliche Sensorgrenzwerte fest und beurteilt Dichtheit und Laufgeräusche anhand seiner Erfahrung beim Kunden. Die Geräuschbeurteilung erfolgt nach Gehör. Messgrössen und Schnittstellen sind in Kapitel 6, die Steuerung in Kapitel 6.4 und die Prüf- und Bewertungskriterien in Kapitel 9 beschrieben. [P15]

3 Projektplanung und Vorgehen

3.1 Arbeitsplanung

Die Arbeitsplanung umfasst vier Arbeitspakete mit insgesamt 240 Sollstunden. Der Projektstart ist der 4. September 2026, die Abgabe am 2. November 2026 um 17:00 Uhr. Tabelle 6 zeigt die geplante Verteilung. Der abgeschlossene Soll-Ist-Zeitplan ist in Anlage A enthalten; die Auswertung des Aufwands folgt in Kapitel 11.2. [P5]

Tabelle 6 Geplante Arbeitspakete

Paket	Inhalt	Sollstunden	Geplanter Abschluss
M1	Grundlagen und Anforderungen	42 h	14.09.2026
M2	Konzept freigegeben	54 h	25.09.2026
M3	Konstruktion abgeschlossen	90 h	16.10.2026
M4	Dokumentation und Abgabe	54 h	30.10.2026 (Abgabeentwurf)
Gesamt	42 + 54 + 90 + 54	240 h	02.11.2026 um 17:00 Uhr

Quelle: Diplomarbeit_Zeitplan.xlsx, Blatt «Zeitplan Soll-Ist». [P5]

Konzept, Berechnung und Konstruktion wurden teilweise gleichzeitig bearbeitet. Das erste Design Review fand am 7. September, das zweite am 15. September statt. Im Abschluss-Design-Review wurde die Baugruppe freigegeben. Die beschlossenen Anpassungen sind im dokumentierten Konstruktionsstand berücksichtigt und in den zugehörigen Fachkapiteln beschrieben; Fertigung und Montage folgen nach der Diplomabgabe. Der Zeitplan dokumentiert die Soll- und Ist-Stunden je Arbeitspaket und Kalendertag. [P5, P10]

3.2 Dokumentation der Arbeitsschritte

Die Anforderungen stammen aus dem Pflichtenheft. Entscheide sind in den Design Reviews und in der Dokumentation festgehalten. Das Abschlussprotokoll dokumentiert die Baugruppenfreigabe sowie die Änderungen an Grundplattenbefestigung, Schutzverkleidung, Sicherheitssensorik und Klemmenkasten. SMath-Dateien enthalten die Berechnungen; CAD-Ansichten zeigen die Entwicklung des Aufbaus. Die Fertigungszeichnungen legen fest, wie die Bauteile hergestellt werden. [P2, P3, P4, P10]

3.3 Risikobeurteilung des Teststands und Schutzmassnahmen

Die Risikobeurteilung umfasst Transport, Aufstellen, Prüflingswechsel, Einrichten, Dauerlauf, Störungen und Wartung. Sie unterscheidet Folgen für Personen (P), Anlage und Prüfling (A) sowie die Umgebung durch austretendes Öl (U). Die Betriebsbedingungen stehen in Kapitel 2. Tabelle 7 ordnet jedem erfassten Szenario eine erste Bewertung und Massnahmen zu.

Die Beurteilung der Personengefährdungen orientiert sich an ISO 12100. Sach- und Umweltschäden werden ergänzend als betriebliche Risiken betrachtet. Die folgende Matrix dient der Priorisierung vor Umsetzung der Schutzmassnahmen. Ihre Einstufungen sind qualitative Annahmen zum geplanten Ablauf, gemessene Häufigkeiten liegen noch nicht vor. [S4]



Abbildung 5 Qualitative Risikomatrix für Personen, Anlage und Umgebung

Eigene Darstellung. Die Kennungen M01–M14 sind in Tabelle 7 erläutert. Farben zeigen den Handlungsbedarf vor Umsetzung der Massnahmen; sie bestätigen keine Betriebsfreigabe.

S1 bezeichnet geringe Folgen (etwa leichte reversible Verletzung oder kleine Störung), S2 erhebliche Folgen (behandlungsbedürftige reversible Verletzung, relevanter Ausfall oder begrenzter Ölaustritt), S3 kritische Folgen (bleibende Verletzung oder Tod, schwerer Anlagen-/Prüflingsschaden oder Brand). Die betroffenen Bereiche P, A und U werden getrennt gekennzeichnet. Eine gleichfarbige Zelle setzt einen Sachschaden nicht mit einer Verletzung gleich.

W1 steht für eine seltene Ausnahmesituation, W2 für eine plausible Einzelstörung oder gelegentliche Tätigkeit und W3 für eine regelmässige Gefährdungssituation. Ohne Abdeckung sind laufende Teile im normalen Betrieb zugänglich (M01, M02). Haubenhandhabung und Lärmexposition gehören zu wiederkehrenden Tätigkeiten (M11, M14). Die übrigen Einstufungen beruhen auf Wechsel-, Einricht- und Wartungsvorgängen oder angenommenen Einzelfehlern. S und W sind geordnete Stufen, keine gemessenen Grössen; aus ihnen wird keine Risikozahl berechnet.

Tabelle 7 Risikoszenarien, Ersteinstufung und Massnahmen am Teststand

ID und Phase	Gefährdung und mögliche Folge	Vorgesehene Schutzmassnahmen	Zuständigkeit und Prüfung
M01 Betrieb und Einrichten	Hebel und Schlitten: Quetschen oder Scheren beim Hineingreifen; schwere Handverletzungen. [P; S3/W3; sehr hoch]	Hauben und Zugriffsabstände gemäss Kapitel 8.1.	Konstruktion / SMB; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M02 Betrieb und Einrichten	Welle und Kupplung: Erfassen von Kleidung oder Haaren und Einziehen. [P; S3/W3; sehr hoch]	Rotierende Teile abdecken; Freiraum nach dem Kupplungswechsel prüfen.	Konstruktion / SMB; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M03 Hauben abnehmen	Zugriff auf nachlaufende Teile nach Auslösen des Stopps. [P; S3/W2; sehr hoch]	RFID-codierte Haubenüberwachung mit Pilz 541003; Codierstufe gering. Montage und Auswertung gegen Manipulation auslegen; erforderliche Zuhaltung gemäss Kapitel 8.1 prüfen. [P10, H21]	SMB; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M04 Einrichten ohne Hauben	Quetschen trotz langsamer Bewegung; falsche Betriebsart oder unbeabsichtigter Bewegungsbefehl. [P; S3/W2; sehr hoch]	Gesicherter Einrichtbetrieb für befugtes Personal gemäss Kapitel 8.1.	SMB; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M05 Störung und Wartung	Unerwarteter Anlauf, Wiederanlauf nach Spannungsrückkehr oder Restbewegung beim Eingriff. [P; S3/W1; hoch]	Energiequellen trennen und gegen Wiedereinschalten sichern; gespeicherte Energie beherrschen. Bewusster Neustart nach Freigabe.	SMB / Betrieb; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M06 Prüflings-wechsel	Herabfallender oder pendelnder Prüfling; Quetschen beim Positionieren. [P; S3/W2; sehr hoch]	Vorhandene Anschlaggewinde im Gehäuse verwenden; passende zugelassene Anschlagmittel, freie Lastbahn und definierte Montagefolge. Nicht unter schwebender Last arbeiten.	Konstruktion / Betrieb; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M07 Transport und Aufstellen	Kippen, Wegrollen oder Quetschen von Füssen beim Verfahren. [P; S3/W2; sehr hoch]	Definierter Transportzustand, geeigneter Fahrweg und gesicherte Anbauteile. Im Prüfbetrieb alle Füsse absenken und Räder entlasten.	Konstruktion / Betrieb; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M08 Betrieb	Bauteilbruch oder gelöste Verbindung; herausgeschleuderte Teile und Folgeschäden. [P/A; S3/W1; hoch]	Auslegung und Befestigungen auf Endstand abstimmen, Montagekontrolle und geeignete Abdeckung vorsehen; Drehzahl begrenzen.	Konstruktion / SMB; Prüfungen in Kapitel 8.2.

ID und Phase	Gefährdung und mögliche Folge	Vorgesehene Schutzmassnahmen	Zuständigkeit und Prüfung
M09 Leckage und Reinigung	Öl am Boden: Ausrutschen; zusätzlich Verunreinigung und Ölverlust. [P/U; S2/W2; hoch]	Auffangwanne, sichere Ableitung und ausreichend grosser Altölbehälter; Füllstandskontrolle und unmittelbare Reinigung von Verschüttungen.	Konstruktion / Betrieb; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M10 Dauerlauf und Ablassen	Berühren heisser Bauteile oder Kontakt mit heissem Öl; Verbrennungen. [P; S2/W2; hoch]	Temperatur überwachen, vor Eingriff abkühlen lassen und Öl kontrolliert ablassen. Schutz vor Berührung nach Temperaturermittlung festlegen.	SMB / Betrieb; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M11 Hauben und Wartung	Scharfe Kanten sowie Einklemmen beim Abnehmen und Aufsetzen der Hauben. [P; S2/W3; hoch]	Kanten entgraten, geeignete Griffe und sichere Ablage vorsehen; Hauben gegen Herabfallen sichern.	Konstruktion / Betrieb; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M12 Elektro und Dauerlauf	Elektrischer Schlag; möglicher Brand bei elektrischem Fehler oder Überhitzung. [P/A; S3/W1; hoch]	Geeignete elektrische Ausrüstung, Schutzleiter und Abschalteinrichtungen; Leitungen vor Öl und Beschädigung schützen. Unbeaufsichtigten Lauf gesondert freigeben.	SMB; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M13 Schmierung und Über-wachung	Schmierungsausfall, Übertemperatur oder unerkannter Messfehler: Getriebe- und Lagerschäden. [A; S3/W2; sehr hoch]	Automatische Abschaltung ist vorgesehen. Ölversorgung kontrollieren; Signale plausibilisieren und Ausfallreaktionen festlegen.	SMB; Prüfungen in Kapitel 8.2.
M14 Betrieb	Lärmbelastung am Arbeitsplatz; mögliche gesundheitliche Folge. [P; S2/W3; hoch]	Geräuschquellen bei der Inbetriebnahme beurteilen; bei Bedarf konstruktive Minderung und betriebliche Schutzmassnahmen festlegen.	SMB / Betrieb; Prüfungen in Kapitel 8.2.

Zuerst werden Gefährdungen durch die Konstruktion vermindert, danach durch technische Schutzmassnahmen und ergänzende Bedienregeln. Die Prüfschritte zur Wirksamkeit und zur späteren Freigabe sind in Kapitel 8.2 festgelegt. [S4; S5, Anhang I, 1.1.2]

4 Lösungsentwicklung und Entscheidungsweg

4.1 Vorgehen bei der Variantenwahl

Die Entwicklung des Getriebeteststands erfolgt anhand seiner Teilfunktionen. Einige Randbedingungen, etwa der Antriebshersteller, waren bereits vorgegeben. Für die übrigen Funktionen wurden die Auswirkungen der Varianten auf Fertigung, Montage und Betrieb verglichen. Die folgenden Abschnitte erläutern die Auswahlentscheidungen. [P2, P3, P4]

Der morphologische Kasten fasst die Lösungsprinzipien rückblickend zusammen. Er dient der Übersicht; die nachfolgenden Abschnitte zeigen, welche Varianten tatsächlich untersucht wurden. Eine nachträgliche Punktebewertung wird nicht vorgenommen.

4.2 Morphologischer Kasten

Teilfunktion	Variante 1	Variante 2	Gewählte Lösung
Prüfling aufnehmen	Direkt an der Halteplatte	Wechselbare Adapterplatte	**Gemeinsame Aufnahme; Grundplatte als Bezug**
Antrieb	Servo ohne Getriebe	Servo mit MF-Planetengetriebe	**AM8063 + AG2300 MC; Übersetzung i = 5**
Drehmoment übertragen	Starre Kupplung	Metallbalgkupplung	**ROTEX 65; Welle Ø55; Passfeder 16 × 10 × 63**
Welle lagern / zentrieren	Fliegende Lagerung	Separater Lagerbock	**Lagerglocke, 2 × SKF 30219; Flanschzentrierung**
Hebelabweichung ausgleichen	Starre Führung	Einfach gelagerter Schlitten	**Doppelt gelagerter Schlitten**
Hebelposition erfassen	Zwei Endlagensensoren	Magnetisches Wegmesssystem	**Optischer Abstandsensor; Analogsignal; starre Halterung**
Lagerstellen schmieren	Fettschmierung	Geflutete Lagerglocke	**Zentralschmierung ISO VG 46; dosierte Zufuhr, Altölkanister**
Schmierdruck überwachen	Keine Drucküberwachung	Membrandruckschalter älterer Kundenanlagen	**PV8003 mit IO-Link im Test; Überwachungswert 6,5 bar**
Öltemperatur erfassen	Keine zusätzliche Temperaturerfassung	Zusätzlicher Temperaturfühler	**Vorhandener TN2435; Anbindung noch festzulegen**
Leckage beurteilen	Keine getrennte Auffangwanne	Mengenmessung des Leckageöls	**Getrennte Auffangwanne; Sichtprüfung nach Dauerlauf**
Personen schützen	Lokale Abdeckung	Einteilige Schutzhaube	**Polycarbonatabdeckung; zweiteilige überwachte Haube**
Vibration erfassen	Keine Messung	Sensor am bewegten Schlitten	**2 × VVB001: Lagerglocke und Prüfling; starre Montage**
Teststand bewegen	Rollen mit Radbremse	Blickle HRSP-GSPO 90G	**4 × HRLSD-GTH 127K; absenkbare Füsse**

Abbildung 6 Morphologischer Kasten mit dem Auswahlstand ROTEX 65

Rückblickende Übersicht der Lösungsprinzipien. Nicht alle dargestellten Alternativen wurden gleich weit untersucht.

Blau kennzeichnet die gewählte Lösung.

4.3 Vom direkten Anschluss zur Lagerglocke

Zu Beginn sollte der Prüfling direkt an die Befestigungsplatte geschraubt werden. Im ersten Design Review wurde diese Lösung verworfen, weil die Ausrichtung dadurch stärker von einzelnen Schraub- und Anlageflächen abhing. Stattdessen wurde eine separat gelagerte Prüfstandswelle mit Lagerglocke gewählt. [P3]

Die Lagerglocke nimmt die Wellenlager auf und verbindet sie mit der Befestigungsplatte. Die gemeinsame Grundplatte erleichtert die Ausrichtung von Prüfling und Antrieb. Das ausgearbeitete Bezugssystem steht in Kapitel 5.2. [P3]

Die Lager entsprechen den bereits im Prüfling verwendeten Typen. Das vereinfacht Beschaffung und Ersatzteilhaltung. Ihre Belastung am Teststand wird in Kapitel 7.7 nachgerechnet. [P3, R6]

4.4 Von der Verstiftung zur Flanschzentrierung

Zunächst sollten Stifte auch die Lagerglocke ausrichten. Im zweiten Review wurde dafür eine Flanschzentrierung gewählt, weil sie die Fertigung vereinfacht. Die übrigen Stiftverbindungen bleiben bestehen. [P3, P4]

Da die Befestigungsplatte ohnehin bearbeitet wird, kann die Zentrierbohrung in derselben Fertigung vorgesehen werden. Zusätzliche Stiftbohrungen an der Lagerglocke entfallen. Die Passungen und Bezüge sind in Kapitel 5.2 festgelegt.

4.5 Antriebsauswahl und Übersetzung

Der Antriebshersteller war im Pflichtenheft vorgegeben. Verglichen wurden drei Motorbaugrössen. Die kleinste schied aus, weil Yves Ledermann in seiner Motion-Tool-Auswertung eine zu hohe Erwärmung festgestellt hatte. [P2]

Gewählt wurde der Servomotor Beckhoff AM8063-0LHB. Die nächstgrössere Variante bietet mehr Drehmoment, benötigt aber 40 mm mehr Baulänge. Tabelle 8 zeigt die Kennwerte der verglichenen Ausführungen. [H2, H15, H16]

Tabelle 8 Dokumentierter Motorvergleich

Variante	Nennmoment	Spitzenmoment	Nenndrehzahl	Länge mit Bremse
AM8062-0KHB	26,4 Nm	74,1 Nm	1400 min^{-1}	351 mm
AM8063-0LHB	33,9 Nm	111 Nm	1400 min^{-1}	398 mm
AM8064-0NHB	43,0 Nm	148 Nm	1500 min^{-1}	438 mm

Quelle: Beckhoff-Produktdaten der Wicklungen AM8062-wKyz, AM8063-wLyz und AM8064-wNyz. Gegenüber AM8064 beträgt die Längendifferenz $438 - 398 = 40\ mm$. [H2, H15, H16]

Für den Dauerlauf wurde das Planetengetriebe Beckhoff AG2300-SP180S-MC1-5 gewählt. Die MC-Ausführung ist für eine Einschaltdauer über 60 % vorgesehen. Mit der Übersetzung 5 erreicht der Motor bei der geforderten Prüfdrehzahl seinen Nennpunkt von 1400 min^{-1}. Die verglichenen Übersetzungen stehen in Tabelle 9. [H2, H3]

Formelzeichen für den Übersetzungsvergleich

Zeichen	Bedeutung	Einheit
n_1	Motordrehzahl am Getriebeeingang	min^{-1}
n_2	Prüfdrehzahl am Getriebeabtrieb; hier 280 min^{-1}	min^{-1}
i	Getriebeübersetzung	–

Tabelle 9 Übersetzungsvergleich innerhalb der Getriebeauswahl

Ausführung	Übersetzung	Motordrehzahl bei 280 min^{-1}	Nennabtriebsmoment
SP180S-MF1-5	5	1400 min^{-1}	919 Nm
SP180S-MC1-4	4	1120 min^{-1}	492 Nm
SP180S-MC1-5	5	1400 min^{-1}	379 Nm
SP180S-MC1-7	7	1960 min^{-1}	469 Nm

Quelle: Beckhoff-Produktübersicht. Die Drehzahlen folgen jeweils aus $n_1 = i \cdot n_2 = i \cdot 280\ min^{-1}$. Bei $i = 7$ liegt die Drehzahl oberhalb des Nennpunkts der ausgewählten Wicklung; daraus folgt allein noch keine grundsätzliche Unzulässigkeit dieser Alternative. [H3, H2]

4.6 Entwicklung der Kupplung und Passfeder

Eine elastische Kupplung überträgt das Drehmoment und gleicht begrenzte Verlagerungen zwischen Antrieb und Prüfstandswelle aus. Zunächst war eine KTR ROTEX 42 mit zwei Ø55-mm-Anschlüssen und Passfedern vorgesehen. [P4, R2]

Bei der erneuten Auslegung reichte diese Baugrösse für den angesetzten periodischen Lastfall nicht aus. Deshalb wurde eine ROTEX 65 gewählt. Die Lastfälle, Herstellergrenzen und Reserven werden in Kapitel 7.4 hergeleitet. [R2, R3]

Die grössere Kupplung erforderte eine Anpassung der Einbaulage und erlaubte eine längere Passfeder. Die Konstruktionsänderungen stehen in Kapitel 5.3, der zugehörige Pressungsnachweis in Kapitel 7.5.

4.7 Sensorwahl und starre Befestigung

Für die Wegmessung wurde zunächst das magnetische System Balluff BML0903 betrachtet. Daneben wurden ein optischer Baumer OM60-LR0450 für den gesamten Hub und zwei OM60-L0060 für die Endlagen besprochen.

Im zweiten Design Review fiel die Wahl auf den optischen Abstandsensor Baumer OM30-L0350.HV.YIN. Entscheidend waren der Preis und die Erfahrung des Sondermaschinenbaus mit dieser Sensorart. Der Kostenvergleich berücksichtigte jeweils das Gesamtsystem aus Sensor und erforderlichem Zubehör, beim magnetischen System einschliesslich Magnetmasskörper. [P4]

Für die Aufzeichnung sind Analogausgang und IO-Link vorgesehen. Messfrequenz, Zykluszeit und Abgleich der Messkette sind in Kapitel 6.1 beschrieben. [H7]

Eine steife Aufnahme ersetzt die ursprünglich vorgesehene Blechhalterung. Sie soll verhindern, dass Bewegungen der Halterung das Messsignal verfälschen. [P4]

Für die Schwingungsmessung wurde auf Empfehlung des Sondermaschinenbaus der Vibrationssensor ifm VVB001 gewählt. Die beiden vorgesehenen Messstellen sind in Kapitel 6.2 beschrieben. [P4]

4.8 Mobilität und Schutzkonzept

Die Palettenlösung wurde im zweiten Review wegen der 1600 mm langen Konstruktion für die vorgesehene Logistik verworfen. Zur Wahl standen anschliessend eine feste Aufstellung auf Gummiunterlagen oder eine fahrbare Lösung. [P4]

Gewählt wurden vier Heberollen Blickle HRLSD-GTH 127K. Ihre absenkbaren Füsse entlasten die Räder während des Prüflaufs. Gegenüber der verglichenen HRSP-GSPO 90G bieten sie 40 statt 9 mm Verstellweg; die Serie ist zudem für schwingungserzeugende Anwendungen vorgesehen. Die Tragfähigkeit wird in Kapitel 7.10 geprüft. [H9]

Für den Zugang zum Prüfling wurde eine zweiteilige, abnehmbare Haube gewählt. Die Anforderungen an Abdeckung und Überwachung stehen in Kapitel 8.1. [P4]

Die im Abschluss-Design-Review beschlossenen Anpassungen sind bei der Grundplattenbefestigung (Kapitel 5.1.1), der Aggregatbefestigung (Kapitel 5.5), dem Schutzkonzept (Kapitel 8.1) und dem Klemmenkasten (Kapitel 6.4) erläutert. [P10]

5 Konstruktive Ausarbeitung

5.1 Entwicklung des CAD Modells

Die Konstruktion wurde von der Anordnung der Hauptkomponenten über die Ergänzung von Unterbau und Schutzhauben bis zur Anpassung von Kupplung und Masse weiterentwickelt. Die historischen CAD-Ansichten vom 7., 14. und 23. September 2026 sind in Anlage I zusammengestellt. Die folgenden Abschnitte erläutern die Gewichtsoptimierung und den dokumentierten Konstruktionsstand; die freigegebene Gesamtansicht vom 21. Oktober 2026 steht auf dem Titelblatt. [P6, P8, P10]

5.1.1 Gewichtsoptimierung

Die Gewichtsoptimierung verfolgt vor allem das Ziel, das Handling des Teststands beim Manövrieren auf den Rollen zu verbessern. Dazu wurden die 40 mm dicke Grundplatte und die massiven Bauteile im oberen Bereich überarbeitet. Die Grundplatte bleibt die bearbeitbare Montagefläche; die ergänzte Profilkonstruktion übernimmt einen Teil der Tragaufgabe. Der bisherige Festigkeitsansatz ist in Kapitel 7.8.1 beschrieben. [P15]

Bei der Vorschubwagenkupplung wurde Aluminium EN AW-7075 gemäss Zeichnung 10235163 A eingesetzt. Weitere Massnahmen sind reduzierte Plattendicken und Ausfräsungen in den Seitenstützen. Der Nachweisumfang ist in Kapitel 7.8.6 abgegrenzt. [Z3]

Die Dicke der Grundplatte wurde von 40 auf 25 mm reduziert. Eine darunter angeordnete, angeschraubte und geschweisste Profilkonstruktion übernimmt einen zusätzlichen Teil der Tragaufgabe. Die Grundplatte bleibt die bearbeitbare Montagefläche. Geometrie, Rechenansatz und Nachweisgrenzen stehen in Kapitel 7.8. [P8, R9]

Gemäss Abschluss-Design-Review wird die Grundplatte über Schrauben und Blindnietmuttern mit dem Profilgestell verbunden. Die Blindnietmuttern bilden die Gewindeaufnahmen im Profil. Die Anordnung zeigt Abbildung 8. [P6, P10]

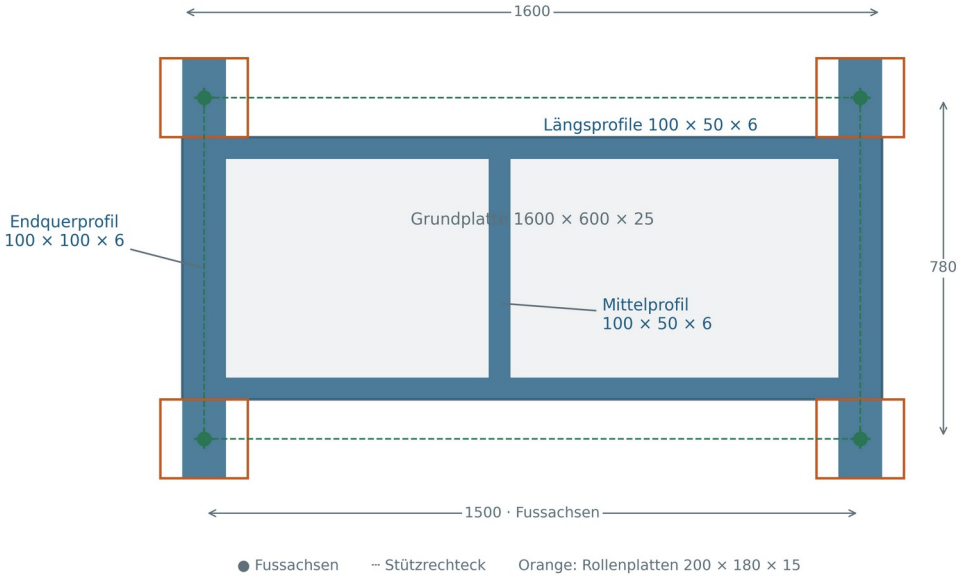


Abbildung 7 Tragstruktur des gewichtsoptimierten Stands mit Grundplatte und Profilrahmen

Eigene Darstellung aus der STEP-Geometrie vom 19.10.2026 [P8]. Die Fussachsen bilden ein Rechteck von 1500 × 780 mm; die Rollenplatten sind orange umrandet.

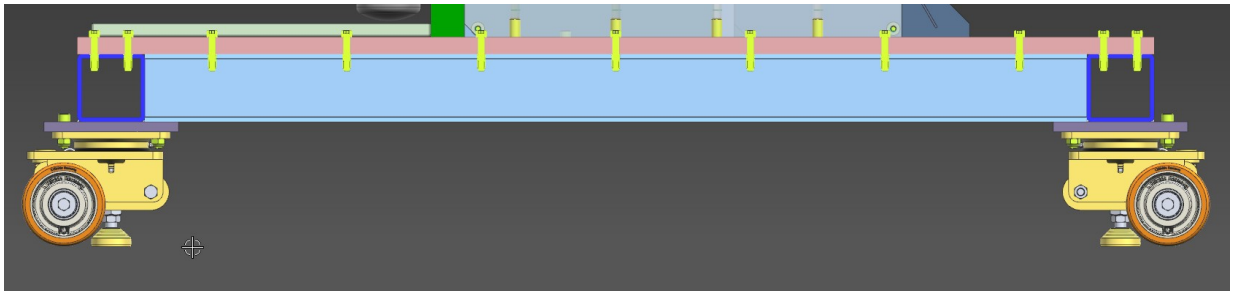


Abbildung 8 Befestigung der Grundplatte am Profilgestell mit Blindnietmuttern

Eigene CAD-Schnittansicht, bereitgestellt am 21.10.2026. [P6]

5.1.2 Gewichtseinsparung im vergleichbaren Baugruppenumfang

Formelzeichen für den Massenvergleich

Zeichen	Bedeutung	Einheit
m_{alt}, m_{neu}	Masse des bisherigen bzw. neuen Vergleichsumfangs	kg
Δm	Masseinsparung im gleichen Baugruppenumfang	kg

Der Vergleich verwendet die Massen des bisherigen Rechenstands und der neuen Auswertung für denselben Umfang aus Aufbau, Grundplatte, Profilen und Rollenplatten. Die Summe sinkt von 1373 kg auf 1105 kg. Damit beträgt die rechnerische Gewichtseinsparung in diesem abgegrenzten Umfang 267,7 kg beziehungsweise 19,5 %. Das zusätzliche Profilgewicht ist bereits berücksichtigt. [R7, R9, P8]

Tabelle 10 Massenvergleich der überarbeiteten Baugruppen

Baugruppe	Bisher [kg]	Neu [kg]	Einsparung [kg]
Aufbau oberhalb der Grundplatte	1026,609	827,215	199,394
Grundplatte	296,769	186,072	110,697
Tragprofile insgesamt	32,810	75,117	−42,307
Vier Rollenplatten	16,706	16,812	−0,106
Summe des Vergleichsumfangs	1372,894	1105,216	267,678

Bisherige Profile: 2 × 16,405126 kg; bisherige Rollenplatten: 4 × 4,176483 kg aus [R7]. Neue Werte aus [R9]. Positive Differenzen bezeichnen Einsparungen, negative das Mehrgewicht. Gerechnet wurde mit ungerundeten Werten.

$$\Delta m = m_{alt} - m_{neu} = 1372,9 - 1105,2 = 267,7\ kg$$

Die Einzelanteile des Materialwechsels am Schlitten, der übrigen Plattendicken und der Ausfräsungen lassen sich aus den vorliegenden Summenmassen nicht getrennt beziffern. Die Einsparung beim Aufbau wird deshalb diesen Massnahmen gemeinsam zugeordnet.

Rolleneinheiten und sonstige Kleinteile sind auf beiden Seiten dieses Vergleichs ausgeschlossen. Die 267,7 kg sind deshalb keine durch Wägung bestätigte Einsparung der vollständigen Anlage. Die frühere Gesamtmodellmasse von 1435,5 kg schloss diese Komponenten ein. Der davon zu unterscheidende statische Lastansatz wird in Kapitel 7.8.2 erklärt. [R7, R9]

5.1.3 Aktuelle Gesamtansicht und Schnitt

Die folgenden Ansichten zeigen den dokumentierten Aufbau ohne Bedienpult und Menschmodell sowie den Schnitt durch den Teststand. Die Beschriftungen ordnen

Grundplatte, Befestigungsplatte, Lagerglocke und Motorenkonsole dem Bezugssystem in

Kapitel 5.2 zu. Die Gesamtansicht der freigegebenen Konstruktion mit Bedienpult ist auf dem Titelblatt dargestellt. [P6]

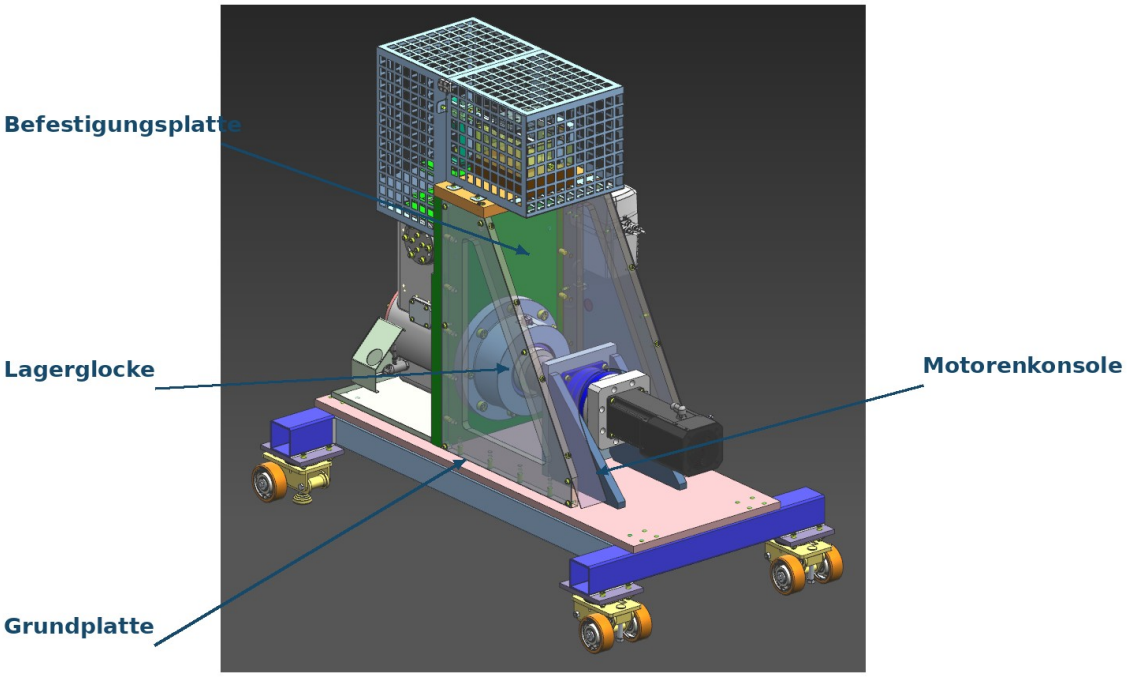


Abbildung 9 Gesamtaufbau mit beschrifteten Hauptkomponenten

Eigene CAD-Ansicht, bereitgestellt am 20.10.2026. [P6]

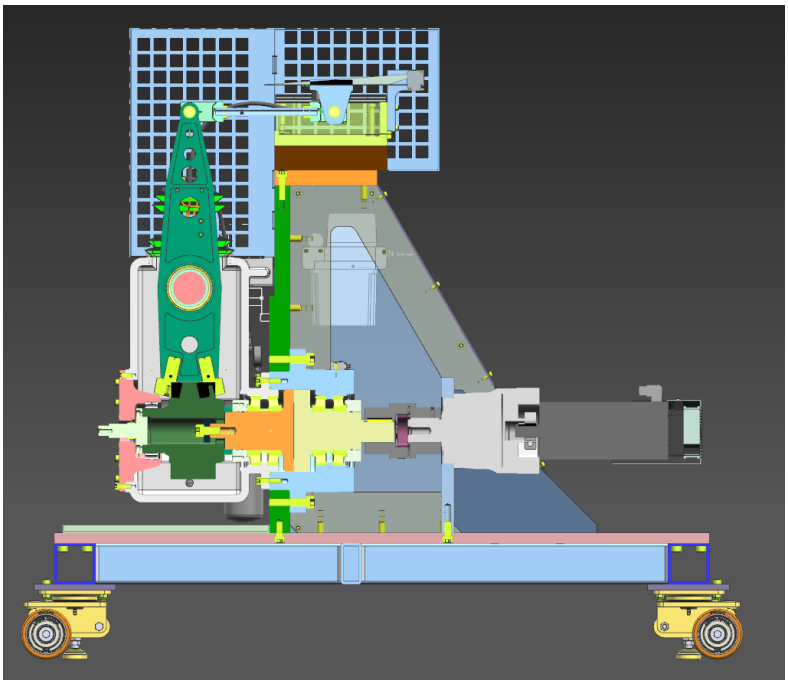


Abbildung 10 Schnitt durch den aktuellen Getriebeteststand

Eigene CAD-Ansicht, bereitgestellt am 20.10.2026. [P6]

5.2 Bezugssystem und Ausrichtung

Befestigungsplatte und Motorenkonsole werden auf der gemeinsamen Grundplatte ausgerichtet. Die Lagerglocke sitzt zentriert in der Befestigungsplatte, das Planetengetriebe in der Motorenkonsole. Tabelle 11 ordnet die Schnittstellen den fertigen Zeichnungen zu. [Z3]

Für die Verbindung zwischen Prüfstandswelle mit Kreuzscheibe und Eingangswelle des Prüflings gilt ein konstruktives Ausrichtungsziel von weniger als 0,05 mm radialem Achsversatz. Anlass ist das Gesamtspiel von 0,05 mm zwischen Mitnehmer und Aussparung. Angestrebt wird die Drehmomentübertragung über beide Kontaktflächen. Die beidseitige Anlage ist bei der Montage zu kontrollieren; die Rechnungen in Kapitel 7.6 und Kapitel 7.7 berücksichtigen ergänzend den ungünstigen Fall, dass nur eine Aussparung trägt. [P15]

Tabelle 11 Aktuelle Zentrierschnittstellen

Schnittstelle	Ausführung im Zeichnungssatz	Zeichnung und Abgrenzung
Grundplatte zu Befestigungsplatte	Stiftbohrungen Ø16 E7 bzw. Ø16 K6	10235111 A / 10235109 A
Befestigungsplatte zu Lagerglocke	Ø290 H7/g6	10235109 A / 10235325 A; Zentrierung über den Flansch
Grundplatte zu Motorenkonsole	Stiftbohrungen Ø16 E7 bzw. Ø16 K6	10235111 A / 10235407 A
Motorenkonsole zu Planetengetriebe	Konsolenbohrung Ø160 H7	10235407 A; Gegenpassung des bestellten Getriebes anhand der Herstellerzeichnung abgleichen

Die fertigen Zeichnungen enthalten die Passungen sowie Form- und Lagetoleranzen der Anschlussflächen. Der Schnitt der Lagerglocke zeigt die Flanschzentrierung Ø290 g6, die beiden Lagersitze Ø170 M7 und die Aufnahme Ø180 H8 für den Wellendichtring. [Z3]

Formelzeichen für das radiale Passungsspiel

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$S_{d,max}$	Grösstes diametrales Spiel des Ansatzes Ø160 H7/g7	mm
$s_{r,max}$	Daraus abgeleiteter grösster radialer Spielanteil	mm

Für die Zentrierung Ø160 H7/g7 ist vorläufig ein diametrales Spiel von 0,014 bis 0,094 mm angesetzt. Daraus folgt als grösster radialer Spielanteil 0,047 mm. Dieser Teilwert gehört zur Zentrierstelle; die gesamte Achsabweichung ergibt sich zusätzlich aus den übrigen Fertigungs- und Montageabweichungen. Die auftragsbezogenen Herstellerunterlagen müssen die Gegenpassung und die Toleranzwerte bestätigen. Für die Lagerglocke gilt separat Ø290 H7/g6. [P7, Z3]

Die folgende Spielrechnung bezieht sich auf die separate Zentrierstelle zwischen Planetengetriebe und Motorenkonsole. Sie erläutert einen möglichen Beitrag zum Achsversatz an der ROTEX-Kupplung. Das Ausrichtungsziel an der Kreuzscheibe ist anhand der dortigen Bezugskette zwischen Prüfstandswelle und Prüfling zu beurteilen. Die montierten Achsen und die Kontaktflächen sind bei der Inbetriebnahme zu kontrollieren. [P15, Z3]

$$s_{r,max} = \frac{S_{d,max}}{2} = \frac{0{,}094\ mm}{2} = 0{,}047\ mm$$

Im Gesamtmodell wurden für Befestigungsplatte und Lagerglocke zusammengehörige Zylinderflächen mit Ø290,023 und Ø289,971 mm ausgelesen. Die Differenz von 0,052 mm beschreibt diesen exportierten CAD-Stand. Für die Fertigung gelten die Grenzmasse der Zeichnungen 10235109 A und 10235325 A. [P7, Z3]

Als Bezug A dient die Auflagefläche. Der erste und zweite Stift zwischen Grundplatte und Befestigungsplatte bilden B und C. Die Stiftbohrungsachsen der Motorenkonsole sollen dazu eine Positionstoleranz von Ø0,02 mm erhalten. Für die gesamte Achsfluchtung sind zusätzlich Zentriersitze, Lagerachsen und Anlageflächen zu berücksichtigen.

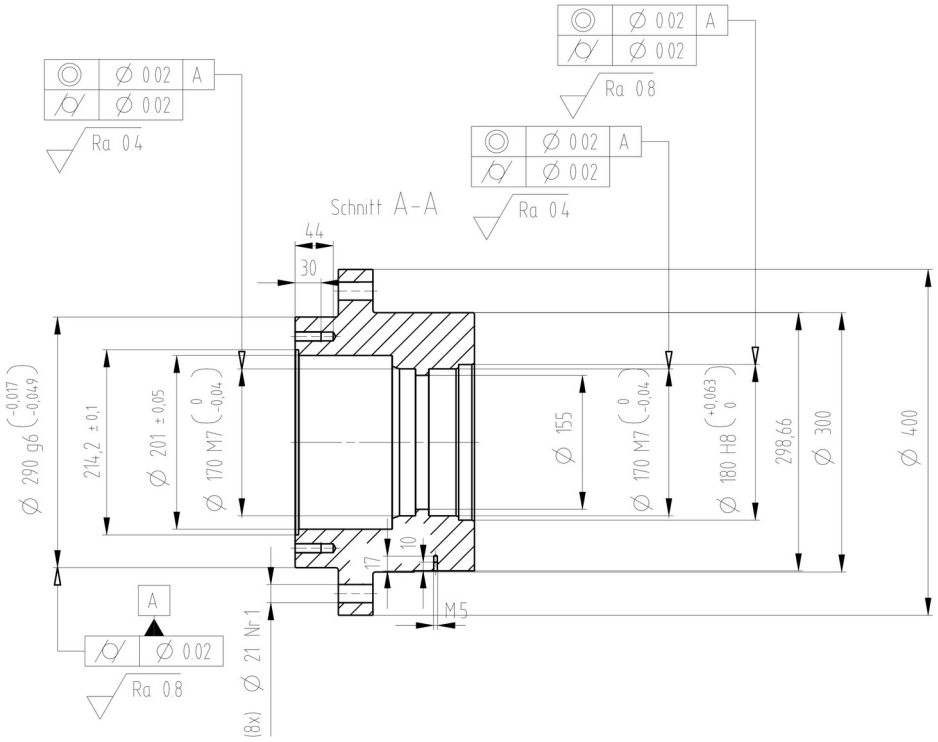


Abbildung 11 Lagerglocke mit Zentrierung, Lagersitzen und Dichtungsaufnahme

Quelle: Zeichnung 10235325 A, Schnitt A–A, Blatt 1/1, Freigabe 21.10.2026. Ausschnitt, nicht massstäblich. [Z3]

5.3 Antrieb und axiale Einbausituation

Der gewählte Motor ist fremdbelüftet und besitzt eine Haltebremse. Seine zylindrische Welle ohne Passfedernut wird mit dem Planetengetriebe verbunden. Dessen Abtrieb und die Prüfstandswelle bilden die beiden Ø55-mm-Anschlüsse der ROTEX-Kupplung. [H2, H3]

Die Abtriebswelle des ausgewählten Planetengetriebes ist mit Ø55 mm und Passfedernut verbindlich festgelegt. Die Bestätigung durch die Herstellerunterlagen liegt vor. Das Hersteller-CAD dient zur Prüfung von Einbauraum und Anschlussgeometrie. [P7, H3, P15]

Tabelle 12 Geometrische Folgen des Kupplungswechsels

Merkmal	Bisher ROTEX 42	Im CAD eingebaut: ROTEX 65
Nabenbohrungen	Ø55 H7 / Ø55 H7	Ø55 H7 / Ø55 H7
Gesamtlänge	126 mm	185 mm
Nabenlänge je Seite	50 mm	75 mm
Aussendurchmesser	95 mm	135 mm

Merkmal	Bisher ROTEX 42	Im CAD eingebaut: ROTEX 65
Einbaumass E	26 mm	35 mm
Passfeder Prüfstandswelle	16 × 10 × 50 mm	16 × 10 × 63 mm
Nut Prüfstandswelle	Bisheriger CAD-Stand	Um 5 mm verlängert
Motorenkonsole	Bisherige Position	Um 10 mm nach hinten versetzt

Die Katalogabmessungen stammen aus Tabelle 4 der KTR-Montageanleitung. Der CAD-Stand vom 25.09.2026 dokumentiert die konstruktiven Änderungen einschliesslich des um 10 mm versetzten Konsolenstandorts. [H4, P7]

Der um 10 mm geänderte Konsolenstandort ist eine konstruktive Anpassung des Einbauraums. Die Kupplungsverlagerung beschreibt dagegen die Abweichung der montierten Wellenachsen. Für ROTEX 65 mit 98-Shore-A-Zahnkranz nennt KTR als Einzelgrenzen −1,0/+2,6 mm axial sowie bei 1500 min⁻¹ 0,42 mm radial und 1,2° winklig. Bei gleichzeitigem Radial- und Winkelversatz sind die Grenzwerte anteilig einzuhalten. Diese Katalogwerte dienen hier der Einordnung; die zulässigen Werte der gewählten Ausführung und die tatsächlichen Montageabweichungen sind vor dem Betrieb abzugleichen. [H4]

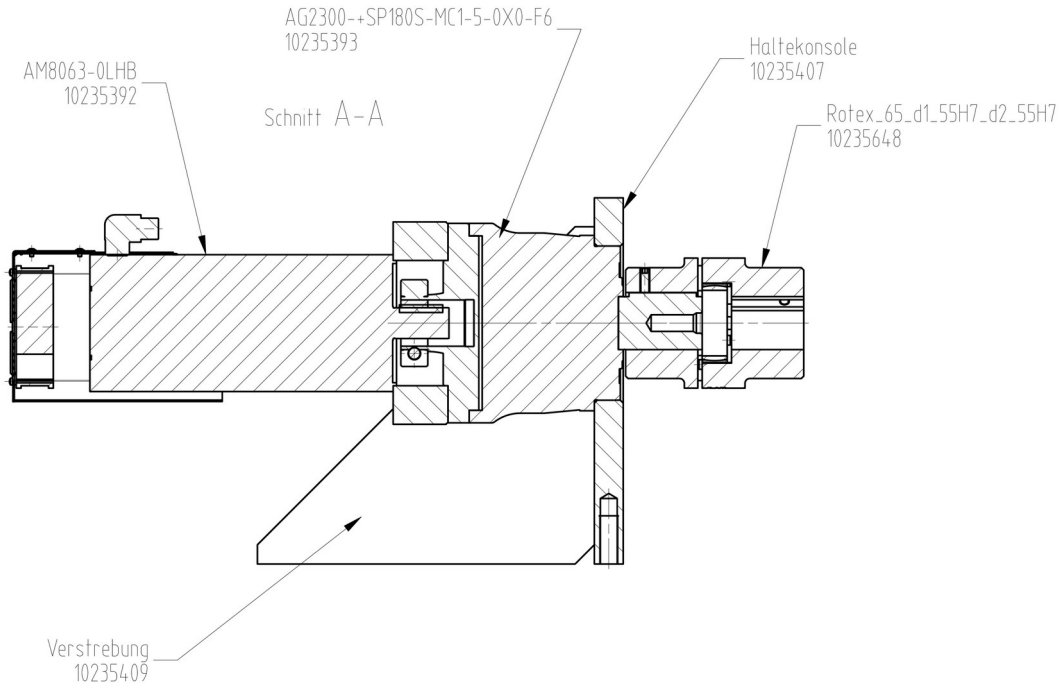


Abbildung 12 Antriebsbaugruppe mit Planetengetriebe, Motorenkonsole und ROTEX 65

Quelle: Zeichnung 10235195 A, Schnitt A–A, Blatt 1/1, Freigabe 21.10.2026. Ausschnitt, nicht massstäblich. [Z3]

5.4 Prüfstandswelle und Lagerung

Die fertige Zeichnung der Welle mit Kreuzscheibe nennt den Werkstoff 1.2312 und schreibt Plasmanitrieren vor. Die Gesamtlänge beträgt 245 mm, der grösste Scheibendurchmesser 200 mm und der Anschlussdurchmesser zur Kupplung 55 mm. Die Stirnansicht zeigt die beiden gegenüberliegenden Aussparungen und die Passfedernut. [Z3]

Nach der Berechnung wurde der Werkstoff der Welle mit Kreuzscheibe von C45E (1.1191, bisher CK45E genannt) auf 1.2312 geändert. Auf eine erneute Berechnung wurde verzichtet, da 1.2312 im vergüteten Lieferzustand eine höhere Zugfestigkeit aufweist als der bisherige

Werkstoffansatz. Die Berechnung bleibt mit den bisherigen Kennwerten bestehen; die Begründung und Einordnung stehen in Kapitel 7.6. Das in der Zeichnung vorgeschriebene Plasmanitrieren dient der Verbesserung des Oberflächenverschleisswiderstands. [P14, R5, H23, Z3]

Die Kreuzscheibe überträgt das Drehmoment über zwei gegenüberliegende Aussparungen. Die Rechnungen in Kapitel 7.6 und Kapitel 7.7 berücksichtigen zusätzlich den ungünstigen Fall, dass nur eine Aussparung trägt.

Zwei Kegelrollenlager SKF 30219 stützen die Welle in X-Anordnung. Sie besitzen eine Bohrung von 95 mm, einen Aussendurchmesser von 170 mm und eine Breite von 34,5 mm. Der für die Kräfteberechnung wirksame Abstand ist in Kapitel 7.7 erklärt. [H6]

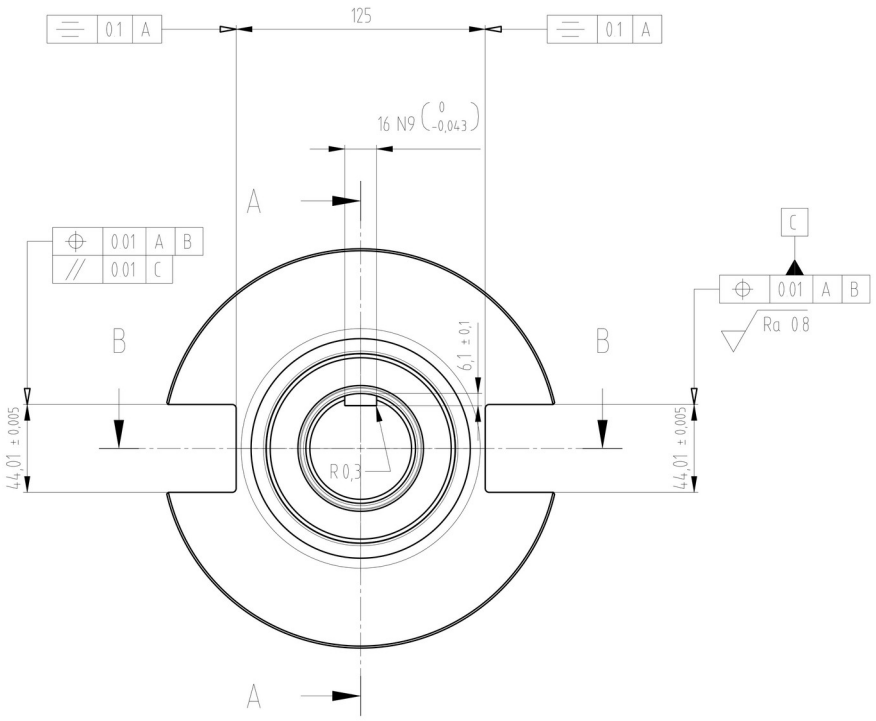


Abbildung 13 Stirnansicht der Kreuzscheibe mit Mitnehmeraussparungen

Quelle: Zeichnung 10235272 A, Blatt 1/1, Freigabe 21.10.2026. Ausschnitt, nicht massstäblich. [Z3]

5.5 Schmierung und Abdichtung

Die Schmierung des Prüflings und die Zusatzschmierung des Teststands sind getrennt zu betrachten. Die Schnecke des Prüflings ist vollständig in das Ölbad eingetaucht. Lagerglocke und Schlittenführungen erhalten ISO VG 46 aus einer zusätzlichen Zentralschmierung. Diese ersetzt das frühere Konzept einer gefluteten Lagerglocke. [P2, P4, P15]

Das gewählte Schmieraggregat Bijur Delimon SureFire II besitzt einen 2-l-Behälter und arbeitet mit 24 V DC. Zwei M12-Anschlüsse dienen der Versorgung und den Signalen. Im vorgesehenen offenen System gelangt dosiert Frischöl zu den Schmierstellen und anschliessend über Leitungen in den Altölkanister. Die Dosierung wird bei der Inbetriebnahme durch den Sondermaschinenbau eingestellt. [H11]

Das Schmieraggregat wird unmittelbar an die Verstrebung geschraubt. Die Polycarbonatscheibe liegt auf der Innenseite der Verstrebung und erhält eine eigene Befestigung. Die Klemmkräfte der Aggregatschrauben werden damit von der metallischen Verbindung aufgenommen. Diese Anordnung entlastet die Scheibe an der

Aggregatbefestigung und berücksichtigt das im Abschluss-Design-Review angesprochene Risiko einer Rissbildung. [P10]

Der Altölkanister fasst 10 l und wird durch Sichtkontrolle überwacht. Der Sondermaschinenbau stellt die benötigte Ölmenge ein und legt darauf abgestimmt die Kontroll-, Nachfüll- und Entleerungsintervalle für den Frischölbehälter und den Altölkanister fest. Vor dem Prüflauf sind ausreichender Frischölvorrat und freies Auffangvolumen sicherzustellen; siehe Kapitel 8.3. [P15]

5.6 Ölauffangwanne

Die gebogene und geschweisste Wanne aus nichtrostendem Stahl 1.4301 fängt Leckageöl auf. Die Abnahme erfolgt durch eine dokumentierte Sichtprüfung nach dem Dauerlauf. [P2]

Die beiden Seiten der Befestigungsplatte haben unterschiedliche Aufgaben: Antriebsseitig wird das reguläre Altöl aus der Schmierung abgeführt. Die Wanne auf der Prüflingsseite sammelt dagegen mögliches Leckageöl. Die Ölwege müssen getrennt bleiben, damit Schmieröl keinen falschen Leckagebefund verursacht.

Die Sichtprüfung und ihre Dokumentation sind im Prüfablauf in Kapitel 9.1 beschrieben.

5.7 Prüflingswechsel

Beim Getriebewechsel bleibt der Verbindungsarm am Schlitten. Durch Herausziehen der markierten Achse wird er vom Prüfling getrennt. Ein Hallen- oder Werkstattkran hält das Getriebe beim Ein- und Ausbau; die Montagefolge steht in Kapitel 5.8.

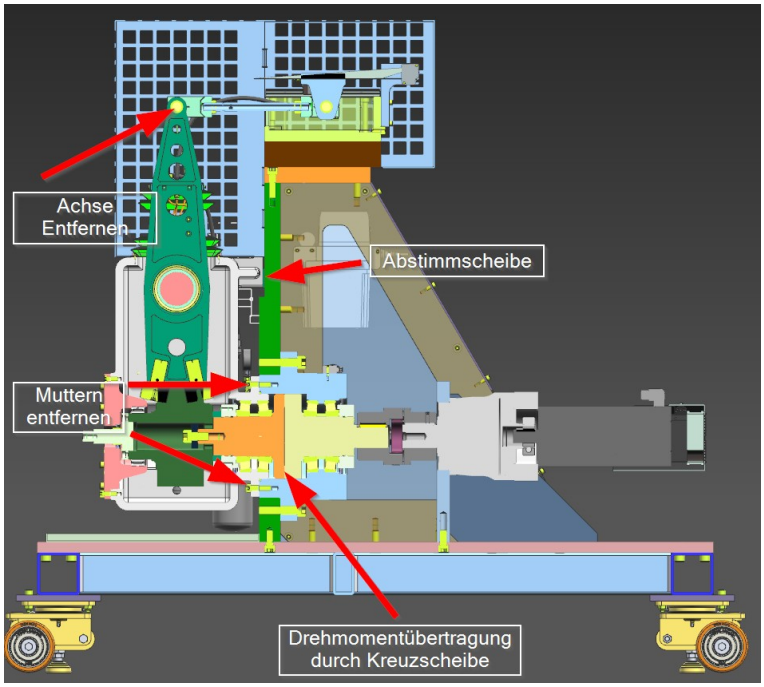


Abbildung 14 Lösbare Verbindungen zwischen Prüfling und Schlittenarm

Eigener, markierter CAD-Schnitt. Die Pfeile zeigen die lösbaren Verbindungen an.

5.8 Montage und Ausrichtung des Prüflings

Die bearbeiteten Auflageflächen bilden die Anschlussflächen der Produktionsmaschine nach. Die dem Getriebe zugeordneten Abstimmscheiben werden übernommen. Zwei obere Ausrichtstellen helfen beim Positionieren und stützen den Prüfling zusätzlich ab. Die Befestigung erfolgt mit Muttern auf Gewindestiften, die in die Befestigungsplatte eingeschraubt und eingeklebt werden. [P15]

Die vorgesehene Montagefolge führt die Ausrichtung und Verbindung der Bauteile zusammen:

1. Das Getriebe mit dem Hallenkran oder Werkstattkran halten und vorsichtig auf die Kreuzscheibe aufschieben.

2. Vier Muttern auf die vorbereiteten Gewindestifte aufschrauben und zunächst handfest anziehen, damit der Prüfling vor dem endgültigen Festziehen ausgerichtet werden kann.

3. Die Lage von Prüflingswelle und Kreuzscheibe ausrichten und die beiden oberen Ausrichtstellen vorbereiten.

4. Die oberen Ausrichtschrauben mit den zugeordneten Abstimmscheiben montieren. Bei Bedarf die Ausrichtung mit der Messuhr kontrollieren.

5. Nach dem Ausrichten die vier zunächst handfest angezogenen Muttern endgültig festziehen.

6. Den am Schlitten verbleibenden Arm mit dem Prüfling verbinden, indem die herausgenommene Verbindungsachse wieder eingesetzt und gesichert wird.

Der Ausbau erfolgt bei stillgesetztem Teststand in umgekehrter Reihenfolge; das Getriebe bleibt dabei am Kran. Der Umgang mit dem Vibrationssensor am Prüfling ist in Kapitel 6.2 beschrieben.

Am Getriebegehäuse sind Anschlaggewinde vorhanden. Anschlagmittel und zulässige Belastungen werden vor dem Wechsel geprüft; siehe Risikopunkt M06 in Kapitel 3.3.

6 Messkonzept und Bedienung

6.1 Messung der Hebelbewegung

Der in Kapitel 4.7 gewählte Abstandsensor erfasst Endlagen und Bewegungsverlauf. Seine Messdistanz reicht von 50 bis 350 mm. Bei einem Hub von 110 mm liegt die geometrisch mögliche nähere Endlage zwischen 50 mm und 240 mm, da 350 mm − 110 mm = 240 mm. Bei der Festlegung der Einbaulage ist Reserve für Montageabweichungen und die Bewegung vorzusehen. Die zulässige Abweichung der erfassten Endlagen legt der SMB mit den übrigen Sensorgrenzwerten fest. [H7, P15]

Tabelle 13 Daten des Abstandsensors

Eigenschaft	Herstellerangabe	Bedeutung für das Projekt
Messdistanz	50–350 mm	Zulässige Distanz zum Messobjekt; Einbaureserve und Endlagentoleranz getrennt festlegen
Wiederholpräzision	2–30 µm	Streuung wiederholter Messungen unter den angegebenen Messbedingungen
Linearitätsabweichung	±0,1 % Mr bei 50–200 mm; ±0,15 % Mr bei 50–350 mm	Mit Mr = 300 mm ergeben sich ±0,30 beziehungsweise ±0,45 mm
Messfrequenz	5000 Hz	Sensorinterne Messung
Analogausgang	4–20 mA / 2–10 mA	Stromsignal für die vorgesehene analoge Erfassung
IO-Link-Zykluszeit	≥1 ms	Zeitabstand der IO-Link-Datenübertragung zwischen Sensor und Master
Datenblattbedingungen	Weisses Referenzobjekt; Median 9, Average 128	Übertragbarkeit auf die reale Messfläche prüfen

Formelzeichen für die Linearitätsumrechnung

Zeichen	Bedeutung	Einheit
M_r	Bezugs-Messbereich des Abstandsensors; hier 300 mm	mm
ε_{rel}	Relativer Linearitätswert; 0,001 bzw. 0,0015	–
Δx	Betrag der umgerechneten Linearitätsabweichung	mm

Quelle: Baumer-Datenblatt vom 12.09.2025, Seiten 1–2. Umrechnung der relativen Linearitätswerte mit dem Bezugs-Messbereich von 300 mm. [H7]

$$\Delta x = M_r \cdot \varepsilon_{rel} = 300 \cdot 0{,}001 = 0{,}30 \ mm$$

$$\Delta x = 300 \cdot 0{,}0015 = 0{,}45 \ mm$$

Die Wiederholpräzision beschreibt die Streuung wiederholter Messungen bei gleichen Bedingungen. Die Linearitätsabweichung beschreibt die Abweichung der Kennlinie. Für die gesamte Messkette sind zusätzlich Einbaulage, Messoberfläche, Filterung und

Signalerfassung zu berücksichtigen. Der Abgleich erfolgt an der tatsächlichen Messfläche; Referenz, Einstellungen und verbleibende Abweichungen werden dokumentiert. [H7]

Die Messfrequenz von 5000 Hz betrifft die interne Erfassung im Sensor; die IO-Link-Zykluszeit von mindestens 1 ms beschreibt die Datenübertragung zum Master. Welche zeitliche Auflösung im Prüfprotokoll erreicht wird, hängt zusätzlich von Master, Steuerung und Filtereinstellungen ab. Diese Einstellungen sind vor dem Prüflauf festzulegen und im Protokoll zu dokumentieren. [H7]

Die starre Sensorhalterung soll Eigenbewegungen des Sensors gegenüber der Messfläche begrenzen. Damit wird die in Kapitel 4.7 begründete Forderung nach einer steifen Aufnahme konstruktiv umgesetzt. Abbildung 15 zeigt die Befestigung; die Fertigungsmasse sind der Originalzeichnung zu entnehmen. [Z3]

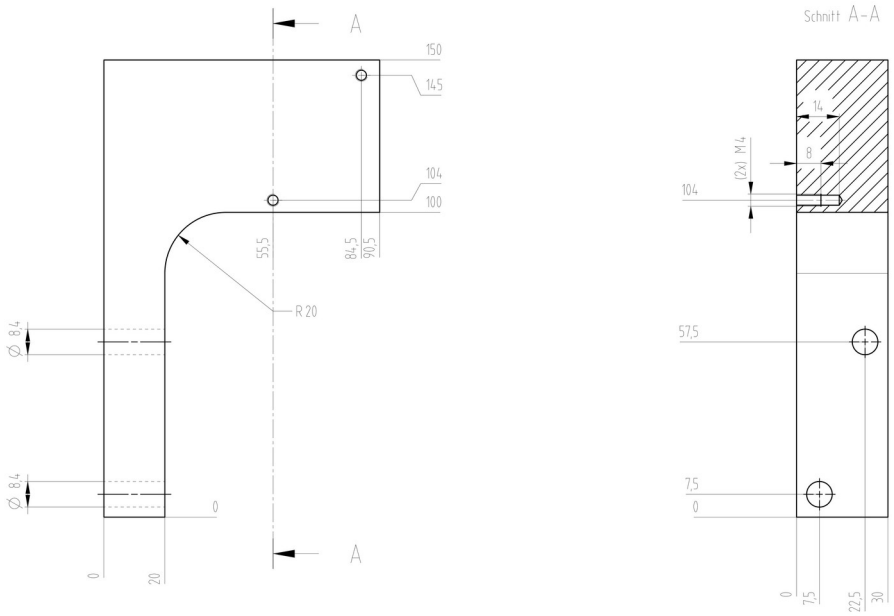


Abbildung 15 Sensorhalter mit Sensoraufnahme und Befestigungsbohrungen

Quelle: Zeichnung 10235515 A, Blatt 1/1, Freigabe 21.10.2026. Ansicht und Schnitt A–A, nicht massstäblich. [Z3]

6.2 Schwingungsmessung

Die Vibrationssensoren messen entlang einer Achse. Für die Auswertung stehen die Schwinggeschwindigkeit als Effektivwert (v-RMS) sowie Beschleunigung als Spitzen- und Effektivwert (a-Peak und a-RMS) zur Verfügung. Die Messbereiche betragen 0–45 mm/s beziehungsweise 0–50 g; der Frequenzbereich reicht von 2 bis 10 000 Hz. [H8]

Ein VVB001 wird auf einer gefrästen Fläche der Lagerglocke befestigt; der zweite sitzt in einem vorhandenen Gewinde am Prüfling und wird beim Getriebewechsel übernommen. Die Messrichtung wird radial zur jeweiligen Wellenachse ausgerichtet, um Hinweise auf ruckartige Vorgänge im Getriebe und an den Lagern zu erfassen. Auffällige Messwerte werden zusammen mit Bewegungsverlauf, Temperatur, Schmierdruck und Sichtbefund beurteilt. [H8, P15]

Aus mehreren Messungen wird eine Vibrationsmatrix aufgebaut, aus der ein Referenzdatensatz für spätere Vergleiche entsteht. Damit die Werte vergleichbar sind, werden Messstelle, radiale Orientierung und Prüfbedingungen dokumentiert. Die Bewertung und die Festlegung der Sensorgrenzwerte liegen beim SMB. Das Vorgehen ergänzt die Messstellenliste in Kapitel 6.4 und die Protokollierung in Kapitel 9.2. [P15]

6.3 Öltemperatur und Schmierdruck

Bei beiden vorgesehenen Getriebetypen, dem Vorschubgetriebe 82,5 mm und dem AE+, wird der vorhandene Temperatursensor ifm TN2435 weiterverwendet. Sein Messbereich reicht von −50 bis +150 °C; möglich sind IO-Link sowie Schalt- und Analogsignale. Die verwendete Anbindung legt der Sondermaschinenbau fest. [H14]

Bei älteren Getrieben auf Anlagen mit älterer Steuerung ist ein SUCO-Membrandruckschalter mit einem Einstellbereich von 1–10 bar verbaut. Für den Test nach einer Revision wird dieser immer durch den Drucksensor ifm PV8003 ersetzt. Die IO-Link-Anbindung ermöglicht die Aufzeichnung des Druckverlaufs und zusätzlicher Zustandsdaten. [H18, H19]

Der Drucksensor misst Relativdruck von −1 bis 25 bar. Über IO-Link liefert er zyklisch Druck, Temperatur, Gerätestatus und Schaltinformationen. Zusätzlich sind unter anderem Betriebsstunden-, Schaltzyklen- und Druckspitzenzähler auslesbar. Die Druckauflösung über IO-Link beträgt 0,01 bar. Als bisheriger Projektansatz sind 6,5 bar vorgesehen; den verbindlichen Überwachungswert legt der SMB fest. [H19]

Je nach Kundenanlage wird nach dem Test wieder der Membrandruckschalter eingebaut, wenn die vorhandene Steuerung keine IO-Link-Daten verarbeiten kann. Die Sensorausführung für die Rücklieferung wird kundenspezifisch festgelegt.

Die Drucküberwachung gilt ausschliesslich für die Schmierleitung der bewegten Teile. Das in Kapitel 5.5 beschriebene Ölbad wird nicht drucküberwacht.

6.4 Bedienung und Datenschnittstellen

Das 800 mm breite Rittal-Standpult CX mit dem Beckhoff-Bedienpanel CP2921-0000 bildet den Bedienplatz. Hier sollen die Prüfparameter eingegeben, der Dauerlauf bedient und Messwerte sowie Störungen angezeigt werden. Die Zuständigkeiten für mechanische Integration, Elektrik und Steuerung sind in Kapitel 1.2 festgelegt. [P4, H10]

Ergänzt wird ein Klemmenkasten Rittal KX 1502.000, Artikel 1502000. Das Stahlblechgehäuse misst 200 × 200 × 120 mm (B × H × T) und wird mit Deckel, jedoch ohne Montage- und Flanschplatte geliefert. Innenausbau, Kabeleinführungen und Verdrahtung werden durch den Sondermaschinenbau ausgeführt. [P10, H22]

Welche IO-Link-Diagnosedaten aus Kapitel 6.3 zusätzlich aufgezeichnet werden, legt der Sondermaschinenbau fest. Für die Protokollierung gilt Kapitel 9.2. [H19]

Tabelle 14 Messstellenliste als Grundlage der weiteren Abstimmung

Grösse	Messmittel beziehungsweise Quelle	Noch festzulegen
Drehzahl und Zyklusbezug	Antrieb und vorhandener Drehgeber des Prüflings	Signalzuordnung und Plausibilitätsvergleich
Hebelverlauf und Endlagen	1 × Abstandsensor (Kapitel 6.1)	Einbauabstand, Referenzierung, Analogklemme, Abtastrate und Filter
Schwingung an der Lagerglocke	1 × Vibrationssensor	Radiale Orientierung und Messstelle dokumentieren; Grenzwerte durch SMB
Schläge im Prüfling	1 × Vibrationssensor am Prüfling	Radiale Orientierung am Prüfling dokumentieren; Grenzwerte durch SMB
Öltemperatur	vorhandener Temperatursensor	Signalanbindung, Grenzwerte und Speicherung durch SMB
Schmierdruck	Drucksensor über IO-Link; Druck, Temperatur, Gerätestatus und Schaltinformationen	Projektansatz 6,5 bar; verbindlichen Grenzwert, Hysterese, Masteranbindung und Speicherung durch SMB festlegen
Leckage	Sichtprüfung der Auffangwanne	Ausgangszustand und Befundbeschreibung
Schutzhaube	Pilz PSEN cs3.1n / PSEN cs3.1, Set 541003	Sensoranzahl und Haubenzuordnung abgleichen; zwei OSSD-Ausgänge, keine Serienschaltung. Auswertung durch SMB. [H21]

7 Berechnungen und technische Nachweise

7.1 Lastmodell und Herkunft der Eingaben

Der vorgesehene Prüflauf erfolgt ohne äussere Last. Die eigene bewegte Masse des Prüfstands wird projektseitig als vernachlässigbar beurteilt. Die angesetzten 7,5 kg stammen von der Produktionsmaschine und bilden einen zusätzlichen Auslegungsfall für eine mögliche spätere Belastung des Teststands. Dieser Erweiterungsfall wird bei 280 min⁻¹ betrachtet. Grundlage ist die Inmara-Referenzrechnung GC348.88 vom 24. Juni 2025 mit 250 min⁻¹, 4,485 kg·m² Lastträgheit und 345 Nm Spitzenmoment an der Kurvenwelle. Dem Referenzfall werden im Projekt 22 kg bewegte Masse zugeordnet. [H1, R1, P15]

Der Motor treibt über das Planetengetriebe, die ROTEX-Kupplung und die Prüfstandswelle die Kurvenwelle des Prüflings an. Diese erzeugt über den Kurvenmechanismus die Bewegung am Vorschubhebel. Das in der Referenz genannte Abtriebsmoment von 2124 Nm gehört zur nachgeschalteten Bewegung; für die Prüfstandskupplung wird das eingangsseitige Kurvenwellenmoment verwendet. Der Rechenweg überträgt die Referenz zunächst auf den 7,5-kg-Erweiterungsfall. Danach folgen Trägheiten und Hochlauf in Kapitel 7.2 sowie das erforderliche Antriebsmoment in Kapitel 7.3. [H1, R1, P15]

Die im Rechenmodell enthaltenen Trägheiten der rotierenden Antriebsbaugruppe bleiben in Kapitel 7.2 berücksichtigt. Eine spätere Belastung des Teststands erfordert die Abstimmung der konkreten Belastungseinrichtung und ihrer Schnittstellen. Der beschriebene reguläre Prüflauf bleibt der Betrieb ohne äussere Last. [R1, P15]

Formelzeichen für die bewegungsseitige Trägheit

Zeichen	Bedeutung	Einheit
m_B	Bewegte Masse des zusätzlichen Auslegungsfalls mit 7,5 kg	kg
l_H	Hebelarm	m
J_H	Angesetzte Eigenträgheit des Hebels	kg·m²
$J_{e,B}$, $J_{e,Ref}$	Bewegungsseitige Trägheit im zusätzlichen 7,5-kg-Auslegungsfall bzw. Referenzfall	kg·m²

Das bewegungsseitige Trägheitsmoment wird aus der bewegten Masse m_B, dem Hebelarm $l_H = 0{,}43089\ m$ und der angesetzten Hebeleigenträgheit $J_H = 0{,}4\ kg{\cdot}m^2$ gebildet. Für den Referenzfall gilt derselbe Modellansatz. [R1]

$$J_{e,B} = m_B \cdot l_H^{\,2} + J_H = 1{,}79250\ kg{\cdot}m^2$$

$$J_{e,Ref} = 22 \cdot 0{,}43089^2 + 0{,}4 = 4{,}48466\ kg{\cdot}m^2$$

Formelzeichen für die Hochrechnung des Kurvenmoments

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$M_{c,B}$, $M_{c,Ref}$	Kurvenwellen-Spitzenmoment im zusätzlichen 7,5-kg-Auslegungsfall bzw. Referenzfall	Nm
$M_{f,Cam}$	Reduziertes Zusatzmoment des Kurvenmodells	Nm
$J_{e,B}$, $J_{e,Ref}$	Bewegungsseitige Trägheit im zusätzlichen 7,5-kg-Auslegungsfall bzw. Referenzfall	kg·m²
n_2, n_{Ref}	Abtriebsdrehzahl bzw. Drehzahl des Referenzfalls	min⁻¹
C_t	Torsionsfaktor der Referenzrechnung	–

Das Kurvenwellen-Spitzenmoment wird unter Beibehaltung des reduzierten Zusatzmoments $M_{f,Cam} = 1\ Nm$ mit dem Verhältnis der Trägheiten und dem Quadrat der Drehzahl skaliert. [R1]

$$M_{c,B} = M_{f,Cam} + \left(M_{c,Ref} - M_{f,Cam}\right) \cdot \frac{J_{e,B}}{J_{e,Ref}} \cdot \frac{n_2^{\,2}}{n_{Ref}} = 173{,}474\ Nm$$

Der Wert 173,474 Nm beschreibt das hochgerechnete Spitzenmoment des 7,5-kg-Erweiterungsfalls. Die Inmara-Referenz enthält bereits einen Torsionsfaktor $C_t = 1{,}513$. Im vorliegenden Rechenweg wird der Referenzwert nicht nochmals pauschal mit diesem Faktor multipliziert. Die Übertragbarkeit der Referenzdynamik auf den geänderten Aufbau bleibt eine Modellannahme. [H1, R1]

Die Inmara-Unterlage nennt für ihren damaligen Anwendungsfall ausserdem eine empfohlene Kurvenwellenträgheit von 1,17 kg·m². Dieser Wert wird nicht ungeprüft als Forderung an den neuen Teststand übertragen. [H1]

7.2 Trägheiten und Beschleunigungsrampe

Formelzeichen für die Beschleunigungsrampe

Zeichen	Bedeutung	Einheit
n_2	Zieldrehzahl am Getriebeabtrieb	min⁻¹
t_{Ramp}	Dauer des Hochlaufs aus dem Stillstand	s
α_2	Winkelbeschleunigung am Getriebeabtrieb	rad/s²

Für den vorgesehenen Hochlauf von 0 auf 280 min⁻¹ in 10 s ergibt sich die folgende Winkelbeschleunigung. Derselbe Zeitansatz wird im Rechenblatt für kontrolliertes Bremsen verwendet. [R1]

$$\alpha_2 = \frac{2\pi \cdot n_2}{60 \cdot t_{Ramp}} = \frac{2\pi \cdot 280}{60 \cdot 10} = 2{,}9\ rad/s^2$$

Formelzeichen für die äquivalente Gesamtträgheit

Zeichen	Bedeutung	Einheit
J_{STEP}	Trägheit der rotierenden CAD-Baugruppe ohne Kupplung	kg·m²
J_K	Trägheit der Kupplung ROTEX 65	kg·m²

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$J_{e,B}$	Bewegungsseitige Trägheit aus Kapitel 7.1	kg·m²
$\varphi_{Schritt}$	Schrittwinkel aus der Schrittzahl 24,545	rad
β	Indexwinkel; 101° in Bogenmass	rad
C_v	Geschwindigkeitskennwert des Kurvengesetzes	–
$J_{eq,max}$	Maximale äquivalente Folgerträgheit	kg·m²
J_M, J_G	Trägheit von Motorrotor bzw. Getriebeeingang	kg·m²
i_G	Getriebeübersetzung	–
$J_{ges,2}$	Gesamtträgheit, bezogen auf den Getriebeabtrieb	kg·m²

Der bisherige CAD-basierte Ansatz $J_{STEP} = 0{,}47\ \ kg{\cdot}m^2$ enthält die rotierende Baugruppe einschliesslich Welle und Kreuzscheibe, jedoch ohne Kupplung. Die Kupplung darf daher einmal hinzugefügt werden; die Welle darf nicht erneut addiert werden. Für ROTEX 65 wird $J_K = 0{,}025\ \ kg{\cdot}m^2$ angesetzt. [R1, R3]

Die maximale äquivalente Folgerträgheit wird mit der Schrittzahl 24,545, dem Indexwinkel 101° und dem Geschwindigkeitskennwert $C_v = 1{,}76$ des verwendeten modifizierten Sinusgesetzes berechnet. Cv ist ein Eingabewert des Projekt-Rechenblatts. [R1]

$$\varphi_{Schritt} = \frac{2\pi}{24{,}545} = 0{,}255986\ \ rad$$

$$\beta = \frac{101\pi}{180} = 1{,}762783\ \ rad$$

$$J_{eq,max} = J_{e,B} \cdot \left(\frac{\varphi_{Schritt}}{\beta} \cdot C_v\right)^2 = 0{,}117\ \ kg{\cdot}m^2$$

Motorrotor und Getriebeeingang besitzen im Rechenblatt $J_M = 0{,}00349\ \ kg{\cdot}m^2$ und $J_G = 0{,}00356\ \ kg{\cdot}m^2$. Bei Bezug auf die Abtriebsseite werden diese Eingangsträgheiten mit $i_G{}^2$ multipliziert. Daraus ergibt sich die maximale Gesamtträgheit für den zusätzlichen 7,5-kg-Auslegungsfall mit ROTEX 65. [R1, R3]

$$J_{ges,2} = J_{STEP} + J_K + J_{eq,max} + \left(J_M + J_G\right) \cdot i_G{}^2 = 0{,}78\ \ kg{\cdot}m^2$$

7.3 Erforderliches Antriebsmoment

Formelzeichen für das erforderliche Antriebsmoment

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$M_{c,B}$	Hochgerechnetes Kurvenwellen-Spitzenmoment	Nm
J_{STEP}, J_K, $J_{eq,max}$	Trägheiten von Baugruppe, Kupplung und Folger	kg·m²
J_M, J_G	Trägheit von Motorrotor bzw. Getriebeeingang	kg·m²
α_2	Winkelbeschleunigung am Abtrieb	rad/s²
i_G, η_G	Übersetzung bzw. Wirkungsgrad des Planetengetriebes	–

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$M_{Last,2}$	Lastseitiges Moment aus Kurvenlast und Rampe	Nm
$M_{erf,Mot}$	Erforderliches Moment an der Motorwelle	Nm
$M_{erf,2}$	Äquivalentes erforderliches Abtriebsmoment	Nm

Für den zusätzlichen 7,5-kg-Auslegungsfall wird zuerst das lastseitige Moment aus Kurvenlast und Rampenbeschleunigung bestimmt. Die volle Kupplungsträgheit wird in dieser Vorprüfung konservativ auf der Lastseite angesetzt. Anschliessend wird die Last mit $i_G = 5$ und $\eta_G = 0{,}985$ auf die Motorseite umgerechnet; die Eigenbeschleunigung von Motor und Getriebeeingang wird getrennt addiert. [R1, R3]

$$M_{Last,2} = M_{c,B} + \left(J_{STEP} + J_K + J_{eq,max}\right) \cdot \alpha_2 = 175{,}258 \ Nm$$

$$M_{erf,Mot} = \frac{M_{Last,2}}{i_G \cdot \eta_G} + \left(J_M + J_G\right) \cdot i_G \cdot \alpha_2 = 35{,}689 \ Nm$$

$$M_{erf,2} = M_{erf,Mot} \cdot i_G \cdot \eta_G = 175{,}767 \ Nm$$

Tabelle 15 Ergebnisse der Antriebsvorprüfung für den 7,5-kg-Auslegungsfall

Prüfgrösse	Ergebnis	Vergleichswert	Einordnung
Motordrehzahl	1400 min⁻¹	1400 min⁻¹ Nenn	Nennpunkt der gewählten Wicklung
Erforderliches Motor-Spitzenmoment	35,689 Nm	111 Nm Spitze	Verhältnis 3,11
Erforderliches Motor-Spitzenmoment	35,689 Nm	33,9 Nm Nenn	Effektivmoment nicht geprüft
Äquivalentes Abtriebsmoment	175,767 Nm	379 Nm Nenn	Verhältnis 2,16
Äquivalentes Abtriebsmoment	175,767 Nm	880 Nm Beschleunigung	Verhältnis 5,01

Quellen: Rechenblätter [R1, R3] und Herstellerdaten [H2, H3]. Zusätzlicher Auslegungsfall für mögliche spätere Belastung. Verhältnis = Grenzwert / berechneter Wert.

Im verwendeten Modell sind die Spitzenmoment- und Drehzahlbedingungen erfüllt. Ein thermischer Achtstunden-Nachweis wird hier nicht geführt; die Grundlage der Motorwahl steht in Kapitel 4.5. [R1]

Formelzeichen für die kinetische Energie und mittlere Energieabfuhr

Zeichen	Bedeutung	Einheit
n_2	Abtriebsdrehzahl	min⁻¹
ω_2	Winkelgeschwindigkeit am Abtrieb	rad/s
$J_{ges,2}$	Auf den Abtrieb bezogene Gesamtträgheit	kg·m²
E_{kin}	Kinetische Energie beim maximalen Trägheitsansatz	J
z_{Stop}	Angesetzte Anzahl Stopps je Stunde	h⁻¹
P_m	Rechnerisch über eine Stunde gemittelte Energieabfuhr	W

Die kinetische Energie des maximalen Trägheitsansatzes bei 280 min⁻¹ beträgt rund 337 J. Dieser Wert dient zur Einordnung der Bremsaufgabe. Die Berechnung setzt maximal sechs Stopps pro Stunde an. Daraus folgt eine mittlere rechnerische Energieabfuhr von 0,562 W; der Faktor 3600 rechnet die Stundenbasis in Sekunden um. [R1, R3; eigene Nachrechnung]

$$\omega_2 = \frac{2\pi \cdot 280}{60} = 29{,}32 \ rad/s$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot J_{ges,2} \cdot \omega_2^{\,2} = 337{,}26 \ J$$

$$P_m = \frac{E_{kin} \cdot z_{Stop}}{3600} = \frac{337{,}26 \cdot 6}{3600} = 0{,}562 \ W$$

Die sehr kurzen idealisierten Stoppzeiten aus dem Rechenmodell sind keine Sollwerte für den Prüfstand. Die tatsächliche Verzögerung hängt von Regelung, Servoverstärker und Bremsenergieaufnahme ab. Die Motorhaltebremse ist nicht als laufende Betriebsbremse vorgesehen. [R1, H2]

7.4 Kupplungsauslegung ROTEX 65

Formelzeichen für den Nennmomentvergleich der Kupplung

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$M_{N,Mot}$	Motor-Nennmoment	Nm
i_G, η_G	Übersetzung bzw. Getriebewirkungsgrad	–
K_A	Anwendungsfaktor; Projektzuschlag	–
S_t	Temperaturfaktor	–
S_z	Schalthäufigkeitsfaktor des Rechenblatts	–
S_f	Übernommener Faktor des periodischen Lastfalls	–
$T_{N,2}$	Motor-Nennmoment, auf den Abtrieb umgerechnet	Nm
$T_{K,erf,N}$	Erforderliches Kupplungs-Nennmoment	Nm

Für die Drehmomentprüfung werden der Projektzuschlag $K_A = 1{,}5$, der Temperaturfaktor $S_t = 1{,}2$ sowie $S_z = 1$ und $S_f = 1$ verwendet. Die Faktoren bleiben für den Vergleich mit

ROTEX 42 gleich. $S_t = 1{,}2$ ist ein bewusst beibehaltener strengerer Projektansatz: Die KTR-Tabelle nennt für T-PUR bis 40 °C den Wert 1,0 und bis 50 °C den Wert 1,2. [R2, R3, H5]

Das auf die Abtriebsseite umgerechnete Motornennmoment wird zunächst mit Anwendungs- und Temperaturfaktor bewertet. [R3]

$$T_{N,2} = M_{N,Mot} \cdot i_G \cdot \eta_G = 33{,}9 \cdot 5 \cdot 0{,}985 = 166{,}96 \ Nm$$

$$T_{K,erf,N} = T_{N,2} \cdot K_A \cdot S_t = 166{,}96 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}2 = 300{,}52 \ Nm$$

Formelzeichen für die Lastspitzen der Kupplung

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$M_{c,B}$	Kurvenwellen-Spitzenmoment des Projektlastmodells	Nm
J_{STEP}, $J_{eq,max}$, $J_{K,65}$	Trägheiten von Baugruppe, Folger und ROTEX 65	kg·m²
α_2	Winkelbeschleunigung am Abtrieb	rad/s²
$T_{K,akt}$	Kupplungsmoment aus Kurvenlast und Rampe	Nm
S_t	Temperaturfaktor	–
$T_{K,akt,erf}$	Temperaturbewertetes Lastspitzenmoment	Nm
$M_{max,Mot}$	Maximales Motormoment	Nm
i_G, η_G	Übersetzung bzw. Getriebewirkungsgrad	–
$T_{K,erf,max}$	Erforderliches Kupplungsmoment bei voller Motorspitze	Nm

Die aktuelle Lastspitze enthält das hochgerechnete Kurvenmoment und den Rampenanteil. Der dritte Lastfall setzt dagegen das volle vom Antrieb erzeugbare Spitzenmoment an. Dieses beträgt vor Temperaturbewertung $111 \cdot 5 \cdot 0{,}985 = 546{,}675 \ Nm$ und ist nicht das normale Moment der Zehnsekundenrampe. [R3]

$$T_{K,akt} = M_{c,B} + \left(J_{STEP} + J_{eq,max} + J_{K,65}\right) \cdot \alpha_2 \approx 175{,}258 \ Nm$$

$$T_{K,akt,erf} = T_{K,akt} \cdot S_t = 175{,}258 \cdot 1{,}2 = 210{,}31 \ Nm$$

$$T_{K,erf,max} = M_{max,Mot} \cdot i_G \cdot \eta_G \cdot S_t = 656{,}01 \ Nm$$

Formelzeichen für den periodischen Kupplungsvergleich

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$T_{W,prov}$	Als Ersatzamplitude angesetztes Kurvenmoment	Nm
S_t, S_f	Temperaturfaktor bzw. Faktor des periodischen Lastfalls	–
$T_{KW,erf}$	Erforderliches zulässiges Wechseldrehmoment	Nm
T_{KW}	Zulässiges Wechseldrehmoment aus dem Katalog	Nm
S_W	Reserve im Wechselmomentvergleich	–
$T_{W,zul}$	Zulässige tatsächliche Wechseldrehmomentamplitude	Nm
n_2	Drehzahl des Prüfzyklus	min⁻¹

Zeichen	Bedeutung	Einheit
f	Grundfrequenz des Prüfzyklus	Hz

Für die periodische Beanspruchung wird der volle hochgerechnete Kurvenmoment-Spitzenwert als Ersatzamplitude angesetzt. $T_{W,prov} = 173{,}474\ Nm$ stammt somit aus dem Projektlastmodell. [R3]

$$T_{KW,erf} = T_{W,prov} \cdot S_t \cdot S_f = 208{,}17\ Nm$$

$$S_W = \frac{T_{KW}}{T_{KW,erf}} = \frac{244}{208{,}1688} = 1{,}172 \geq 1$$

$$T_{W,zul} = \frac{T_{KW}}{S_t \cdot S_f} = \frac{244}{1{,}2 \cdot 1} = 203{,}333\ Nm$$

Tabelle 16 Drehmomentbedingungen und Vergleich der Kupplungsgrössen

Lastfall	Erforderlicher Wert	ROTEX 42 Grenzwert / Verhältnis	ROTEX 65 Grenzwert / Verhältnis
Nennmoment	300,52 Nm	450 Nm / 1,50	940 Nm / 3,13
Lastspitze mit Rampe	210,31 Nm für ROTEX 65	900 Nm / 4,28 bei altem Rampenansatz	1880 Nm / 8,94
Volle Motorspitze	656,01 Nm	900 Nm / 1,37	1880 Nm / 2,87
Periodischer Ersatzlastfall	208,17 Nm	117 Nm / 0,56	244 Nm / 1,17

Quellen: Rechenblätter [R2, R3] und metrische Kennwerte [H5]. Für ROTEX 42 gilt der ursprüngliche Lastspitzenwert von 210,22 Nm. Verhältnis = Grenzwert / erforderlicher Wert; Werte ab 1 erfüllen die jeweilige Rechenbedingung.

Die grössere Kupplung erfüllt die vier betrachteten Drehmomentbedingungen. Resonanzen und reale Dämpfungsverluste sind damit nicht untersucht. Die Grundfrequenz des Prüfzyklus beträgt 4,67 Hz, beschreibt aber nicht das gesamte Anregungsspektrum. [R3]

$$f = \frac{n_2}{60} = \frac{280}{60} = 4{,}67\ Hz$$

7.5 Passfedernachweis für ROTEX 65

Der Nachweis prüft die Flächenpressung zwischen Passfeder, Prüfstandswelle und Kupplungsnabe nach dem verwendeten Rechenansatz der Methode B. Eingesetzt wird eine rundstirnige Passfeder Form A mit 16 × 10 × 63 mm aus C45K. Die Welle wird als C45E angesetzt. Für die GJL-Nabe verwendet die Rechnung eine Zugfestigkeit von 250 N/mm² und eine zulässige Pressung von 125 N/mm². Dieser Grenzwert ist ein Projektansatz; die Halbierung der Zugfestigkeit ist keine allgemeine Vorgabe der DIN 6892. Die genaue GJL-Güte muss mit der bestellten Nabe abgeglichen werden. [R8, H4]

Formelzeichen für tragende Länge und Naben-Grenzwert

Zeichen	Bedeutung	Einheit
l_{PF}	Gesamtlänge der Passfeder Form A	mm
b	Passfederbreite	mm
l_{tr}	Tragende Länge der Passfeder	mm
$R_{m,Nabe}$	Angesetzte Zugfestigkeit des Nabenwerkstoffs	N/mm²
S_B	Konservativer Divisor des Projektansatzes; hier 2	–
$p_{zul,Nabe}$	Zulässige Pressung der Nabe im Projektansatz	N/mm²

Bei Form A tragen die gerundeten Enden nicht über die gesamte Breite. Deshalb wird die tragende Länge aus Gesamtlänge minus Breite bestimmt: $63 - 16 = 47\ mm$. Voraussetzung ist, dass die Nabe diesen Bereich vollständig überdeckt. Die bisherige 50-mm-Passfeder hatte eine tragende Länge von 34 mm. Durch die Verlängerung wächst die tragende Fläche bei gleicher Höhe um 38,2 %. [R8, H17]

$$l_{tr} = l_{PF} - b = 63 - 16 = 47\ mm$$

$$p_{zul,Nabe} = \frac{R_{m,Nabe}}{S_B} = \frac{250}{2} = 125\ N/mm^2$$

Formelzeichen für die tragende Flankenfläche

Zeichen	Bedeutung	Einheit
d	Wellendurchmesser	mm
b, h	Breite bzw. Höhe der Passfeder	mm
t_1	Wellennuttiefe	mm
r	Kantenabzug der Passfeder; im Rechenblatt rPF	mm
s_1, s_2	Nutkantenabzug an Welle bzw. Nabe	mm
q	Geometrischer Höhenanteil aus der Wellenrundung	mm
$h_{tr,W}$, $h_{tr,N}$	Tragende Flankenhöhe an Welle bzw. Nabe	mm
h_{tr}	Kleinere der beiden tragenden Höhen	mm
l_{tr}	Tragende Länge	mm
A_{tr}	Konservativ angesetzte Tragfläche	mm²

Die tragende Flankenhöhe wird aus der Nutgeometrie berechnet. Mit einer Wellennuttiefe von 6 mm und Kantenabzügen von jeweils 0,4 mm ergeben sich 3,88568 mm auf der Wellen- und 4,51432 mm auf der Nabenseite. Für den Pressungsvergleich wird die kleinere Höhe verwendet. Kantenabzüge und Nabenüberdeckung sind vor der Fertigung mit der Zeichnung abzugleichen. [R8, H17]

$$q = \frac{1}{2} \cdot \left[d - \sqrt{d^2 - \left(b + 2s_1\right)^2} \right] = 1{,}31\ mm$$

$$h_{tr,W} = t_1 - r - s_1 - q = 3{,}89\ mm$$

$$h_{tr,N} = h - t_1 - r - s_2 + q = 4{,}51 \; mm$$

$$A_{tr} = min\left(h_{tr,W};\; h_{tr,N}\right) \cdot l_{tr} = 3{,}88568 \cdot 47 = 182{,}63 \; mm^2$$

Formelzeichen für den Pressungsvergleich

Zeichen	Bedeutung	Einheit
T_{eq}, T_{max}	Betriebs-/Ersatzwechselmoment bzw. volles Motorgrenzmoment	Nm
d, h_{tr}, l_{tr}	Wellendurchmesser, tragende Höhe und tragende Länge	mm
K_λ	Lastverteilungsfaktor	–
K_R	Reibschlussfaktor; hier keine Entlastung	–
n_{PF}, φ_{PF}	Passfederanzahl bzw. Traganteilfaktor	–
p_{eq}, p_{max}	Pressung im Betrieb bzw. bei voller Motorspitze	N/mm²
p_{zul}	Massgebende zulässige Pressung des Projektansatzes	N/mm²
f_W, f_L	Richtungswechselfaktor bzw. Faktor für seltene Lastspitzen	–
S_{Grenz}	Reserve bei seltener voller Motorspitze	–

Die Pressung wird mit dem Betriebs- und Ersatzwechselmoment von 175,767 Nm aus Kapitel 7.3 berechnet. Dieser Ansatz liegt geringfügig über der Kupplungslast von 175,258 Nm aus Kapitel 7.4. Da die Geometrie in Millimetern eingesetzt wird, ist das Drehmoment in Nmm umzurechnen. [R8]

$$p_{eq} = \frac{2 \cdot T_{eq} \cdot 1000 \cdot K_\lambda \cdot K_R}{d \cdot h_{tr} \cdot l_{tr} \cdot n_{PF} \cdot \varphi_{PF}} = \frac{2 \cdot 175{,}767 \cdot 1000}{55 \cdot 3{,}88568 \cdot 47} = 35{,}00 \; N/mm^2$$

Die Rechnung setzt die Faktoren für Passfederanzahl, Traganteil, Reibschluss und Lastverteilung jeweils auf 1. Die Lastverteilung muss noch anhand der endgültigen Naben- und Lasteinleitungsgeometrie überprüft werden. Zusätzlich werden ein konservativer Richtungswechsel mit $f_W = 0{,}5$ und eine seltene volle Motorspitze mit $f_L = 1{,}3$ betrachtet. Das dafür verwendete Motorgrenzmoment stammt aus Kapitel 7.4. [R8]

$$p_{max} = \frac{2 \cdot T_{max} \cdot 1000}{d \cdot h_{tr} \cdot l_{tr}} = \frac{2 \cdot 546{,}675 \cdot 1000}{55 \cdot 3{,}88568 \cdot 47} = 108{,}85 \; N/mm^2$$

$$S_{Grenz} = \frac{f_L \cdot p_{zul}}{p_{max}} = \frac{162{,}50}{108{,}85} = 1{,}49$$

Tabelle 17 Pressung und Reserve der Passfeder 16 × 10 × 63 mm

Lastfall	Pressung	Zulässiger Wert	Verhältnis
Betrieb statisch	35,00 N/mm²	125,00 N/mm²	3,57
Konservativer Richtungs-wechsel	35,00 N/mm²	62,50 N/mm²	1,79
Seltene volle Motorspitze	108,85 N/mm²	162,50 N/mm²	1,49

Lastfall	Pressung	Zulässiger Wert	Verhältnis
Volle Motorspitze ohne fL-Zuschlag	108,85 N/mm²	125,00 N/mm²	1,15

Quelle: aktualisiertes SMath-Rechenblatt [R8]. Verhältnis = zulässige Pressung / berechnete Pressung. Werte gelten für die angegebenen Geometrie-, Werkstoff- und Lastfaktoransätze; die Rechnung ist auf die Prüfstandswelle begrenzt.

Formelzeichen für den Vergleich der Passfederlängen

Zeichen	Bedeutung	Einheit
p_{63}, p_{50}	Pressung bei 63 bzw. 50 mm Passfederlänge und sonst gleichen Eingaben	N/mm²

Tabelle 17 zeigt, dass die Pressung in allen vier Lastfällen unter dem angesetzten Grenzwert liegt. Bei voller Motorspitze sinkt sie gegenüber dem früheren Nachweis von 149,92 auf 108,85 N/mm² und liegt auch ohne fL-Zuschlag unter 125 N/mm². Dazu tragen die längere Passfeder und aktualisierte Eingaben bei; allein die Verlängerung reduziert die Pressung um 27,7 %. [R4, R8]

$$\frac{p_{63}}{p_{50}} = \frac{50 - 16}{63 - 16} = \frac{34}{47} = 0{,}7234\,; \qquad Abnahme = 27{,}7\ \%$$

Der Nachweis gilt für die Prüfstandswelle unter den genannten Annahmen. Dauernd wechselnde volle Motorspitzen und die getriebeseitige Passfeder sind nicht nachgewiesen. [R8]

7.6 Festigkeitsnachweis der Prüfstandswelle

Der ursprüngliche Wellennachweis wurde für C45E (1.1191) erstellt. Anschliessend wurde der Werkstoff in der Konstruktion auf 1.2312 geändert; die Berechnung wurde mit dem bisherigen Werkstoffansatz beibehalten. Ausschlaggebend war die höhere Zugfestigkeit von vergütetem 1.2312: Das HASCO-Werkstoffblatt nennt rund 950–1100 N/mm²; im vorhandenen Rechenblatt sind 570 N/mm² angesetzt. Die bisherigen Werkstoffwerte und die daraus ermittelten Sicherheiten bleiben unverändert. Eine zusätzliche Festigkeitsreserve durch den Materialwechsel oder das Plasmanitrieren wird rechnerisch nicht angerechnet. Die ausgewiesenen Sicherheiten gehören weiterhin zum ursprünglichen Rechenmodell; ein eigener Ermüdungsnachweis für den nitrierten Werkstoff 1.2312 wurde nicht durchgeführt. [P14, R5, H23, Z3]

Formelzeichen für Kräfte und Biegemoment der Welle

Zeichen	Bedeutung	Einheit
T_{max}	Volles Antriebsgrenzmoment	Nm
r_{eff}	Wirksamer Radius der einseitigen Kraftübertragung	mm
m_{STEP}	Masse von Welle und Kreuzscheibe	kg
g	Erdbeschleunigung	m/s²
$F_{q,max,ges}$	Gesamte Querkraft im Grenzlastfall	N
a_{LA}	Abstand zwischen Kraftangriff und Lagerdruckpunkt A	mm
$M_{b,max}$	Maximales Biegemoment	Nm

Der vorhandene Nachweis untersucht den Ø55-Querschnitt mit Passfedernut unter kombinierter Biegung und Torsion. Für den ungünstigen einseitigen Kontakt werden der wirksame Radius $r_{eff} = 64{,}5\ mm$ und das volle Antriebsgrenzmoment von 546,675 Nm angesetzt. Das Eigengewicht der Welle mit Kreuzscheibe wird zur Querkraft addiert. Der Abstand zwischen Kraftangriff und Lagerdruckpunkt A beträgt 57,5 mm. [R5]

$$F_{q,max,ges} = \frac{T_{max} \cdot 1000}{r_{eff}} + m_{STEP} \cdot g = 8643{,}90\ N$$

$$M_{b,max} = \frac{F_{q,max,ges} \cdot a_{LA}}{1000} = 497{,}02\ Nm$$

Formelzeichen für den statischen Spannungsvergleich der Welle

Zeichen	Bedeutung	Einheit
d	Durchmesser des kritischen Wellenquerschnitts	mm
$M_{b,max}$, T_{max}	Maximales Biegemoment bzw. Torsionsmoment	Nm
α_B, α_T	Spannungskonzentrationsfaktoren für Biegung bzw. Torsion	–
R_e, R_m	Streckgrenze bzw. Zugfestigkeit des Werkstoffansatzes	N/mm²
$\sigma_{b,max}$, $\tau_{t,max}$	Lokale maximale Biege- bzw. Torsionsspannung	N/mm²
$\sigma_{b,F}$, $\tau_{t,F}$	Angesetzte Fliessgrenzen für Biegung bzw. Torsion	N/mm²
S_F	Sicherheit gegen Fliessen	–

Die lokalen Spannungen werden mit den im Rechenblatt angesetzten Spannungskonzentrationsfaktoren $\alpha_B = \alpha_T = 1{,}8$ ermittelt. Der verwendete Werkstoffansatz lautet $R_e = 305\ N/mm^2$ und $R_m = 570\ N/mm^2$; zusätzlich werden die dort definierten Grössen- und dynamischen Minderungsfaktoren berücksichtigt. Diese Faktoren sind Eingaben des vereinfachten Projektmodells. [R5]

$$\sigma_{b,max} = \frac{\alpha_B \cdot 32 \cdot M_{b,max} \cdot 1000}{\pi \cdot d^3} = 54{,}77\ N/mm^2$$

$$\tau_{t,max} = \frac{\alpha_T \cdot 16 \cdot T_{max} \cdot 1000}{\pi \cdot d^3} = 30{,}12\ N/mm^2$$

$$\sigma_{b,F} = 1{,}2 \cdot 305 \cdot 0{,}85 = 311{,}10\ N/mm^2$$

$$\tau_{t,F} = \frac{311{,}10}{\sqrt{3}} = 179{,}61\ N/mm^2$$

$$S_F = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{b,max}}{\sigma_{b,F}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{t,max}}{\tau_{t,F}}\right)^2}} = 4{,}11$$

Formelzeichen für den dynamischen Vergleich der Welle

Zeichen	Bedeutung	Einheit
K_{Db}, K_{Dt}	Minderungsfaktoren für Biegung bzw. Torsion	–
$\sigma_{b,GW}$, $\tau_{t,GW}$	Gestaltwechselfestigkeit bei Biegung bzw. Torsion	N/mm²
$M_{b,a}$	Biegemomentamplitude	Nm
$\sigma_{b,a}$, $\tau_{t,a}$	Biege- bzw. Torsionsspannungsamplitude	N/mm²
S_D	Sicherheit im vereinfachten Amplitudenmodell	–

Für den dynamischen Vergleich verwendet das Rechenblatt den Betriebslastfall als volle Amplitude. Die Gestaltwechselfestigkeiten ergeben sich aus den angesetzten Werkstoffwerten, dem Grössenfaktor 0,85 sowie $K_{Db} = 2{,}5$ und $K_{Dt} = 2{,}3$. [R5]

$$\sigma_{b,GW} = \frac{0{,}45 \cdot 570 \cdot 0{,}85}{2{,}5} = 87{,}21 \ N/mm^2$$

$$\tau_{t,GW} = \frac{0{,}58 \cdot 570 \cdot 0{,}85}{2{,}3} = 122{,}18 \ N/mm^2$$

$$M_{b,a} = \frac{2\ 884{,}343 \cdot 57{,}5}{1\ 000} = 165{,}85 \ Nm$$

$$\sigma_{b,a} = \frac{32 \cdot 165{,}85 \cdot 1000}{\pi \cdot 55^3} = 10{,}15 \ N/mm^2$$

$$\tau_{t,a} = 5{,}36 \ N/mm^2$$

$$S_D = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{b,a}}{\sigma_{b,GW}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{t,a}}{\tau_{t,GW}}\right)^2}} = 8{,}04$$

Tabelle 18 Ergebnis und Geltungsbereich des Wellennachweises

Nachweis	Ergebnis	Vergleich	Geltungsbereich
Statische Sicherheit SF	4,11	≥1,50	Bisheriger Ø55-Querschnitt und angesetzter Grenzlastfall
Dynamische Sicherheit SD	8,04	≥1,50	Vereinfachtes Amplitudenmodell des Rechenblatts

Quelle: Festigkeitsnachweis Welle/Kreuzscheibe mit den unveränderten Kennwerten für C45E (1.1191). Die Ergebnisse gelten für die Geometrie, Lasten und Annahmen dieses Rechenmodells. Der anschliessende Wechsel auf 1.2312 wurde nicht neu gerechnet; eine zusätzliche Werkstoffreserve ist in den ausgewiesenen Sicherheiten nicht enthalten. [R5, P14]

7.7 Lagerreaktionen und Lebensdauer

Formelzeichen für die radialen Lagerreaktionen

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$F_{q,Betr}$	Querkraft im Betriebslastfall einschliesslich Eigengewicht	N
x_A, x_B	Axiale Lage der Lagerdruckpunkte A und B	mm
$F_{r,A}$, $F_{r,B}$	Betrag der radialen Reaktion an Lager A bzw. B	N

Die Lagerrechnung übernimmt die einseitige Kraftübertragung aus Kapitel 7.6. Im vorhandenen Rechenblatt gelten 175,183687 Nm Betriebsmoment und 17,157692 kg Eigenmasse von Welle und Kreuzscheibe. [R6]

$$F_{q,Betr} = \frac{175{,}18 \cdot 1\ 000}{64{,}5} + 17{,}16 \cdot 9{,}81 = 2\ 884{,}34\ N$$

Bei den Druckpunktlagen $x_A = 78\ mm$ und $x_B = 96\ mm$ beträgt der wirksame Lagerabstand 18 mm. Der überhängende Angriff mit 57,5 mm Abstand zum Lager A ergibt folgende Beträge der radialen Reaktionen. [R6]

$$F_{r,A} = F_{q,Betr} \cdot \left(1 + \frac{57{,}5}{18}\right) = 12\ 098{,}22\ N$$

$$F_{r,B} = F_{q,Betr} \cdot \frac{57{,}5}{18} = 9\ 213{,}87\ N$$

Formelzeichen für die axialen Lagerkräfte und dynamischen Ersatzlasten

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$F_{r,A}$, $F_{r,B}$	Radiale Lagerkräfte	N
$F_{a,A}$, $F_{a,B}$	Innere axiale Lagerkräfte	N
Y	Berechnungsfaktor für den axialen Lastanteil	–
e	Grenzwert für die Auswahl des Ersatzlastansatzes	–
P_A, P_B	Dynamische äquivalente Lagerbelastung	N

Obwohl keine äussere Axialkraft vorgegeben ist, entstehen in der angestellten Kegelrollenlagerung innere Axialkräfte. Der im Rechenblatt verwendete Lagerfall setzt $Y = 1{,}4$ und $e = 0{,}43$ an. Für Lager A bleibt die dynamische Ersatzlast gleich der Radiallast; bei Lager B wird der kombinierte Ansatz verwendet. [R6, H6]

$$F_{a,A} = F_{a,B} = \frac{0{,}5 \cdot F_{r,A}}{Y} = 4320{,}79\ N$$

$$\frac{F_{a,A}}{F_{r,A}} = 0{,}357 \leq 0{,}43$$

$$\frac{F_{a,B}}{F_{r,B}} = 0{,}469 > 0{,}43$$

$$P_A = F_{r,A} = 12\ 098{,}22\ N$$

$$P_B = 0{,}4 \cdot F_{r,B} + Y \cdot F_{a,B} = 9734{,}66\ N$$

Formelzeichen für statische Lagersicherheit und nominelle Lebensdauer

Zeichen	Bedeutung	Einheit
C, C_0	Dynamische bzw. statische Tragzahl	N
F_r, F_a	Radiale bzw. axiale Lagerkraft	N
Y_0	Axialfaktor für die statische Ersatzlast	–
P, P_0	Dynamische bzw. statische äquivalente Lagerbelastung	N
S_0	Statische Lagersicherheit	–
n	Drehzahl des Lagers	min⁻¹
L_{10h}	Nominelle Lebensdauer in Betriebsstunden	h
$L_{10h,A,Betr}$	Nominelle Lebensdauer von Lager A im Betriebslastfall	h

SKF nennt $C = 266\ kN$ und $C_0 = 275\ kN$. Für die statische Bewertung wird jeweils der grössere Wert aus Fr und $0{,}5\ F_r + Y_0\ F_a$ angesetzt. Für die nominelle Lebensdauer gilt der Rollenlagerexponent 10/3. [R6, H6]

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

$$L_{10h} = \frac{\left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^6}{60 \cdot n}$$

$$L_{10h,A,Betr} = \frac{\left(\frac{266\ 000}{12\ 098{,}22}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot 10^6}{60 \cdot 280} = 1\ 772\ 386\ h$$

Tabelle 19 Ergebnisse der Lagerrechnung

Grösse	Lager A	Lager B
Statische Sicherheit beim Motorgrenzmoment	7,58	9,96
Geforderte statische Sicherheit im Rechenblatt	3,00	3,00
L10h bei konstantem Betriebslastspitzenwert	1 772 386 h	3 657 861 h
L10h bei dauerhaftem Motorgrenzmoment	45 675 h	94 265 h

Quelle: Lagerrechnung [R6]. Die Einordnung der nominellen Lebensdauer folgt unter der Tabelle.

Lager A ist rechnerisch massgebend; die statische Bedingung ist erfüllt. Die Lebensdauerrechnung wurde zur fachlichen Vertiefung ergänzt; eine Mindestlebensdauer war im Projekt nicht vorgegeben. Ihre Stundenwerte beschreiben die nominelle Ermüdung, nicht

die tatsächliche Gebrauchsdauer. Diese hängt auch von Schmierung, Verschmutzung, Lagereinstellung und Verschleiss ab. [R6]

Für die Lagereinstellung wird die bestehende Lösung der Maschine übernommen.

7.8 Grundplatte und Profilkonstruktion unter Eigengewicht

7.8.1 Bisheriger Ansatz mit 40 mm Grundplatte

Der bisherige Ansatz behandelte die 1600 × 600 × 40 mm grosse Grundplatte aus 1.0037 als einfach gelagerten Ersatzbalken. Er verwendete 1026,609 kg Aufbau und 296,769 kg Platte, zusammen 1323,378 kg. Bei 1500 mm Stützweite und 400 mm Referenzbreite ergaben sich eine Vergleichsspannung von 45,65 N/mm², eine nominelle Sicherheit von 4,93 und eine Referenzdurchbiegung von 2,04 mm. Die Sicherheit lag über 1,5. Dieser historische Stand erklärt den Ausgangspunkt der Überarbeitung. Seine vollständigen Rechenschritte bleiben im Rechenauszug archiviert. [R7]

7.8.2 Neue Tragstruktur und statischer Lastansatz

Der neue Stand besteht aus einer 1600 × 600 × 25 mm grossen Grundplatte, zwei Längsprofilen 100 × 50 × 6 mm, einem mittleren Querprofil desselben Querschnitts sowie zwei Endquerprofilen 100 × 100 × 6 mm. Die Längsprofile sind 1400 mm, das Mittelprofil 500 mm und die Endquerprofile 960 mm lang. Die vier Rollenplatten messen jeweils 200 × 180 × 15 mm. Profile und Rollenplatten bestehen aus 1.4301; die Grundplatte bleibt aus 1.0037. [P8, R9]

Die Grundplatte wird mit Schrauben und Blindnietmuttern am Profilrahmen befestigt. In der Rechnung wird weiterhin kein axialer Verbund zwischen Platte und Profilen angerechnet. Die umlaufenden Schweissnähte werden in Kapitel 7.8.6 beschrieben und beurteilt. [P10, R9]

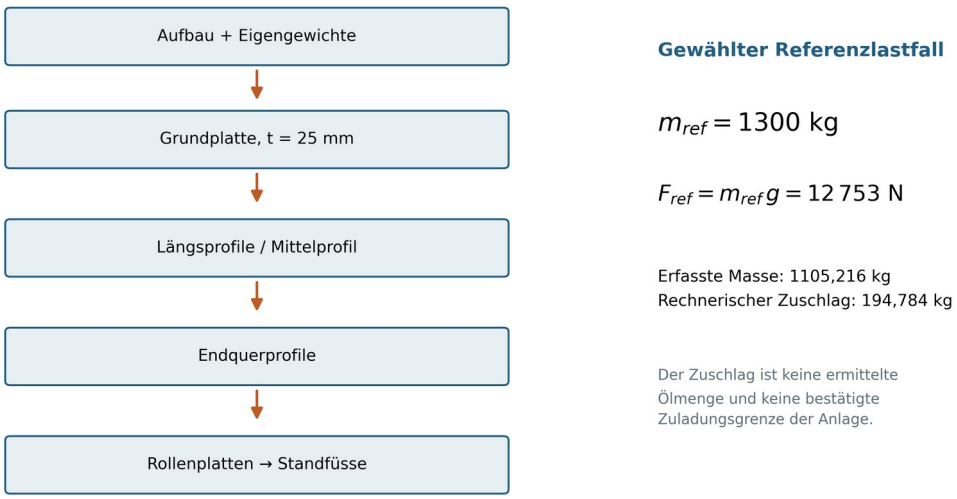


Abbildung 16 Statischer Lastweg und gewählte Referenzlast

Eigene Darstellung zur Massenbilanz und den Ersatzmodellen [P8, R9]. Die Pfeile beschreiben den Lastweg, keine berechneten Einzelanschlusskräfte.

Formelzeichen für die statische Referenzlast

Zeichen	Bedeutung	Einheit
m_{Ref}	Statische Referenzmasse einschliesslich Zuschlag	kg
g	Erdbeschleunigung	m/s²
F	Statische Referenzgewichtskraft	N

Aus der erfassten Masse wird für den statischen Vergleich eine Referenzmasse von 1300 kg gewählt. Sie enthält gegenüber dem Vergleichsumfang einen Zuschlag von 194,784 kg für nicht erfasste Öl- und Kleinteilmassen. Daraus wird die statische Referenzgewichtskraft berechnet. Der Zuschlag ist keine dynamische Lastvergrösserung und keine ermittelte Ölfüllung. Untersucht wird ausschliesslich das Gewicht bei Stillstand auf abgesenkten Füssen. [R9]

$$F = m_{Ref} \cdot g = 1300 \cdot 9{,}81 = 12\ 753\ N$$

7.8.3 Werkstoffe und Berechnungsgrundlage

Formelzeichen für die zulässigen Vergleichsspannungen

Zeichen	Bedeutung	Einheit
R_{eH}	Angesetzte Streckgrenze der Grundplatte	N/mm²
$R_{p\,0,2}$	Angesetzte 0,2-%-Dehngrenze der Profile und Rollenplatten	N/mm²
S_{min}	Mindestsicherheit gegen Fliessen; hier 1,5	–
$\sigma_{v,zul}$	Zulässige elastische Vergleichsspannung	N/mm²

Die Spannungs- und Sicherheitsgleichungen folgen Roloff/Matek. Für die Grundplatte wird $R_{eH} = 225\ N/mm^2$ verwendet: Das Werkstoffblatt von MARKS nennt diesen Richtwert für 1.0037 / S235JR / St 37-2 bei Nenndicken über 16 mm und deckt damit die 25-mm-Platte ab. Für die Profile wird $R_{p\,0,2} = 190\ N/mm^2$ aus TB 1-1 i des vorgelegten Tabellenbuchs angesetzt. Die Übertragung dieses Werts auf die Rollenplatten ist als Rechenannahme dokumentiert. Die allgemeine Mindestsicherheit gegen Fliessen beträgt 1,5 nach TB 3-14 a. [H20, L1, L2, R9]

Daraus folgen zulässige elastische Vergleichsspannungen von 150,0 N/mm² für die Grundplatte und 126,7 N/mm² für Profile und Rollenplatten. Plastische Tragreserven werden nicht angerechnet. Formel- und Tabellennummern beziehen sich auf die in [L1] und [L2] genannten Ausgaben; daraus folgt keine Bestätigung der Übereinstimmung mit heutigen Normausgaben.

$$\sigma_{v,zul} = \frac{R_{eH}}{S_{min}} = \frac{225}{1{,}5} = 150{,}0\ N/mm^2$$

$$\sigma_{v,zul} = \frac{R_{p\,0,2}}{S_{min}} = \frac{190}{1{,}5} \approx 126{,}7\ N/mm^2$$

7.8.4 Ersatzmodelle und Schnittgrössen

Formelzeichen für die Schnittgrössen der Ersatzbalken

Zeichen	Bedeutung	Einheit
F	Volle statische Referenzkraft je Ersatzmodell	N
L	Stützweite des jeweiligen Ersatzbalkens	mm
M_{max}	Maximales Biegemoment bei mittiger Einzellast	Nmm
V_{max}	Querkrafthülle verschiedener Lastpositionen	N
V	Querkraft im mittigen Lastfall	N

Für den globalen Vergleich werden Grundplatte und Profile getrennt als einfache Balken gerechnet. Jeder betrachtete Tragabschnitt erhält separat die volle Referenzkraft; eine pauschale Entlastung durch vier Füsse wird nicht angesetzt. Das maximale Biegemoment wird für eine mittige Einzellast berechnet. Als getrennte Querkrafthülle verschiedener Lastpositionen wird die volle Referenzkraft verwendet. Abbildung 17 zeigt dagegen den mittigen Lastfall mit der halben Referenzkraft als Querkraft. [L2, TB 11-6; R9]

$$M_{max} = \frac{F \cdot L}{4}$$

$$V_{max} = F \qquad (Querkrafthülle)$$

$$V = \frac{F}{2} \qquad (mittiger\ \ Lastfall)$$

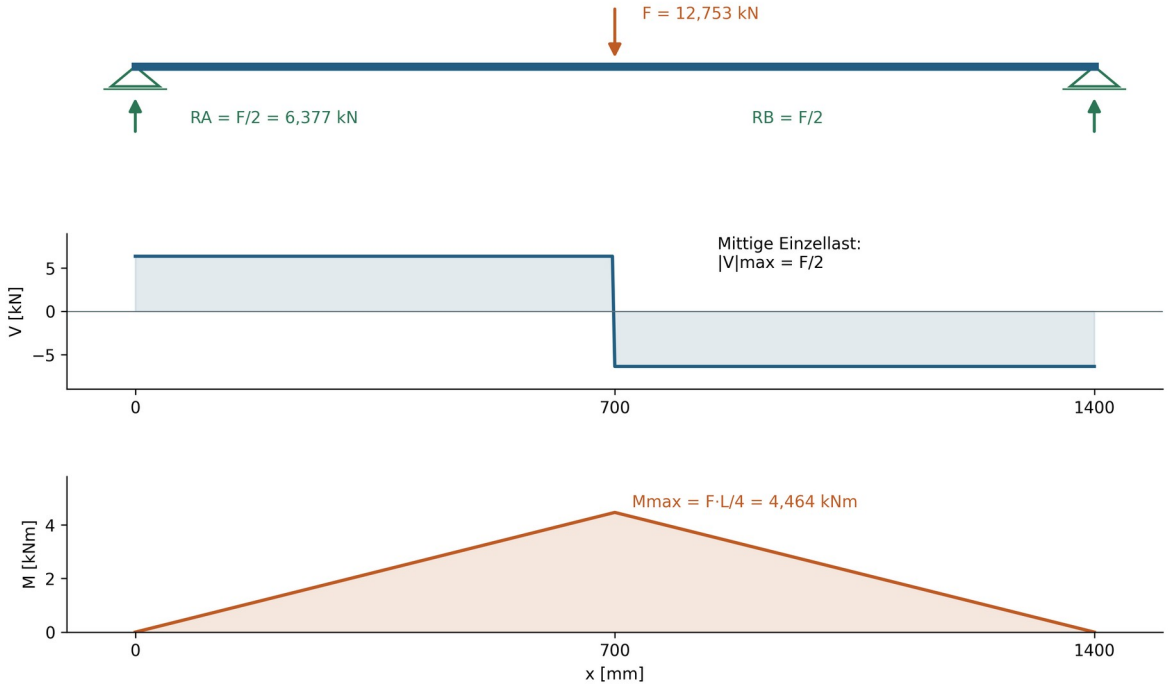


Abbildung 17 Ersatzbalken und Schnittgrössen des mittig belasteten Längsprofils

Eigene Berechnung nach Roloff/Matek TB 11-6, Lastfall 1 [L2, R9]. Geltungsbereich siehe Kapitel 7.8.6.

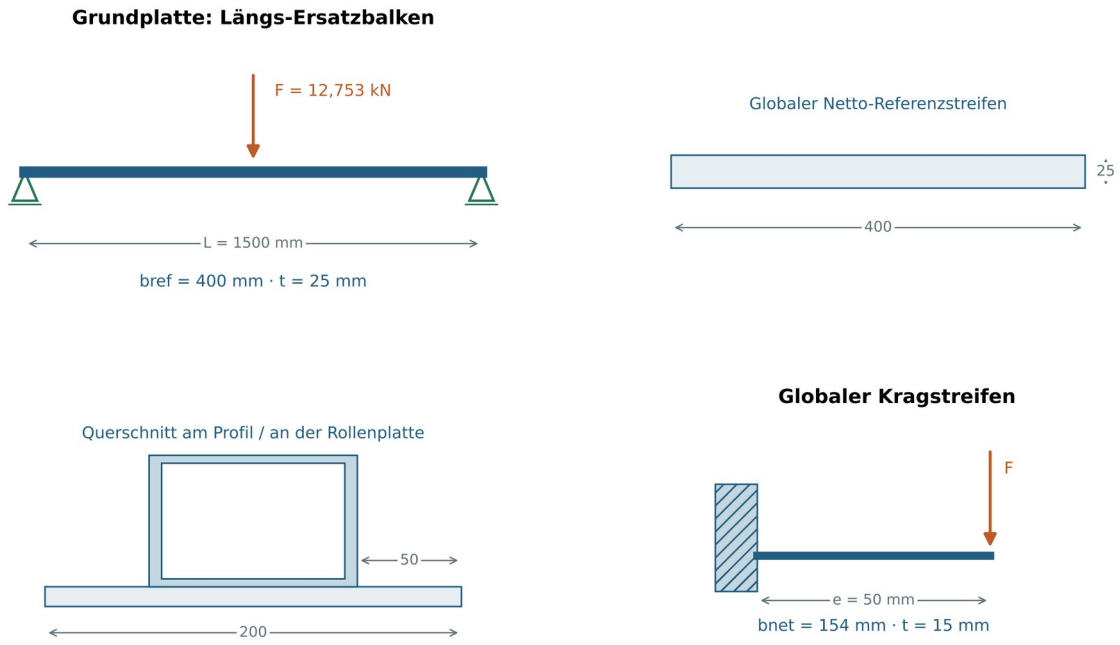


Abbildung 18 Ersatzmodelle für die Grundplatte und den Überstand der Rollenplatte

Eigene Modellbildung aus den CAD-Abmessungen [P8, R9].

Abbildung 18 zeigt die beiden Plattenmodelle: Die Grundplatte erhält eine Referenzbreite von 400 mm bei 25 mm Dicke; die Längsprofile werden nicht entlastend angerechnet. Die Rollenplatte wird als 50 mm langer Kragstreifen mit 154 mm Netto-Referenzbreite betrachtet. Die Nennspannungen erfassen keine örtlichen Kontakt- oder Schraubenspannungen. [R9]

7.8.5 Profilquerschnitte und Ergebnisse

Die Querschnittswerte berücksichtigen die im CAD modellierten Aussenradien von 7 mm und Innenradien von 1 mm. Beim Endquerprofil werden zusätzlich zwei Bohrungs-/Senkungsbreiten von je 26 mm in beiden Flanschen über die volle Wanddicke abgezogen. Dieser vereinfachte Nettoquerschnitt berücksichtigt die Schwächung stärker als eine nur teilweise tiefe Senkung. Die beiden Stege bleiben im betrachteten Schnitt erhalten. [P8, R9; L2, TB 1-14]

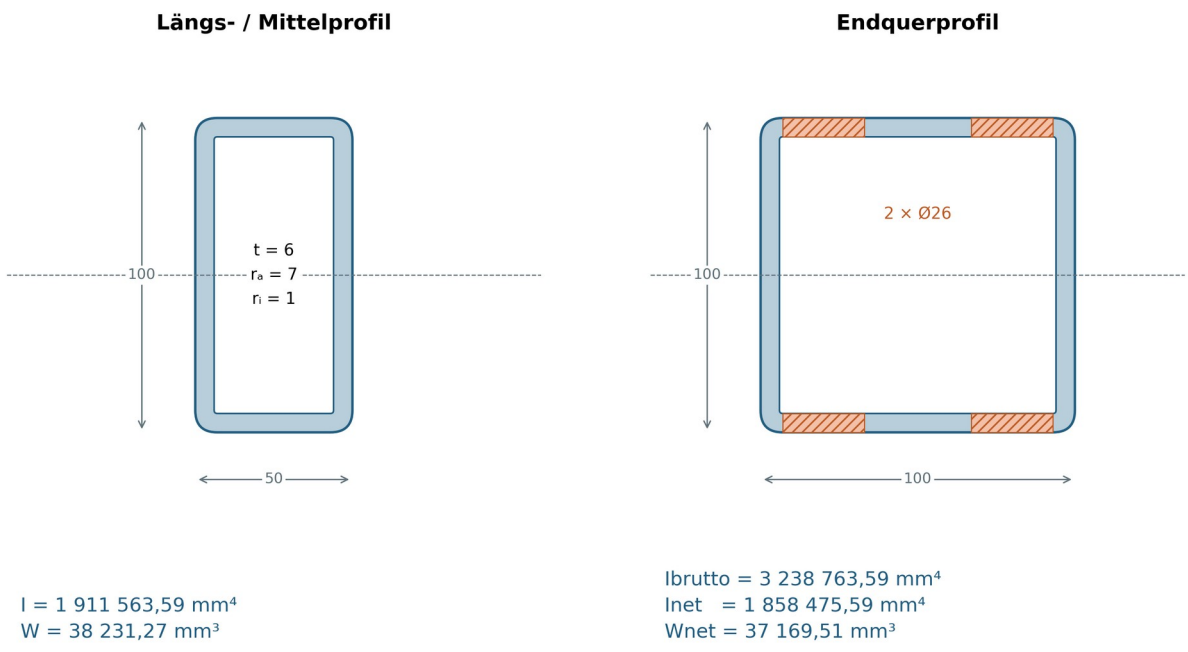


Abbildung 19 Profilquerschnitte mit Radien und konservativem Bohrungsabzug

Eigene geometrische Auswertung [P8, R9]. Orange markiert den rechnerischen Flanschabzug und nicht die tatsächliche Senkungstiefe.

Formelzeichen für Spannungen und Ausnutzung der Tragstruktur

Zeichen	Bedeutung	Einheit
M	Biegemoment im betrachteten Querschnitt	Nmm
W	Elastisches Biegewiderstandsmoment	mm³
σ_b, τ	Biegenennspannung bzw. Schubspannung	N/mm²
σ_v	Vergleichsspannung aus Biegung und Schub	N/mm²
R_p	Angesetzte Streck- bzw. Dehngrenze nach Kapitel 7.8.3	N/mm²
S_F	Sicherheit gegen Fliessen	–
S_{min}	Geforderte Mindestsicherheit; hier 1,5	–
η	Ausnutzung: Mindestsicherheit geteilt durch vorhandene Sicherheit	–

$$\sigma_b = \frac{M}{W} \qquad \sigma_v = \sqrt{\sigma_b^{\,2} + 3\tau^2}$$

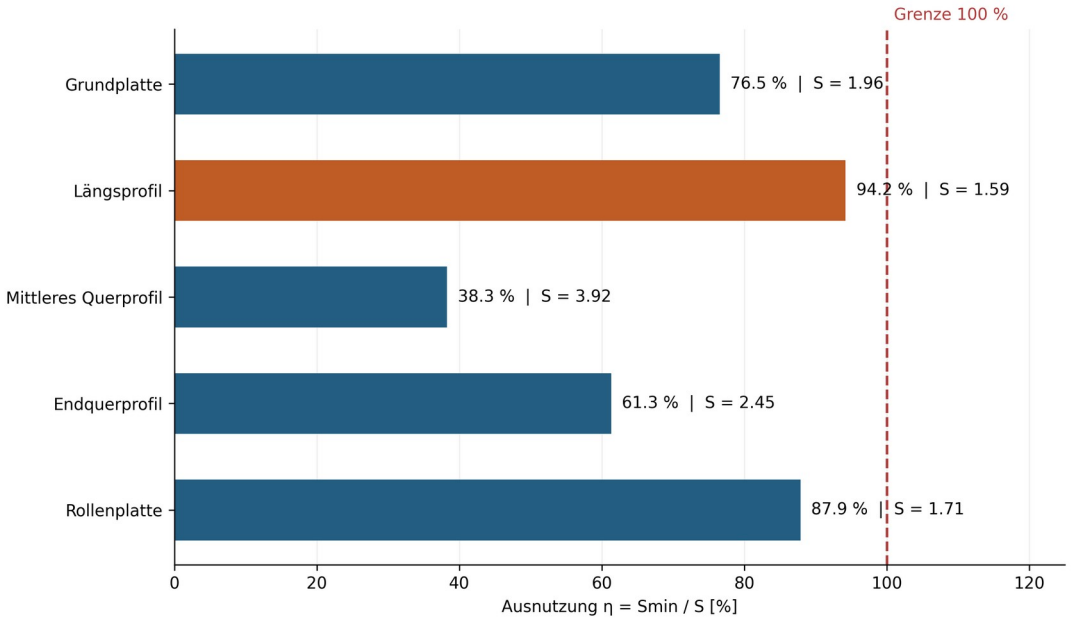
$$S_F = \frac{R_p}{\sigma_v} \qquad \eta = \frac{S_{min}}{S_F} = \frac{1{,}5}{S_F}$$

Biege- und Schubmaxima werden zu einer Vergleichsspannungshülle kombiniert, obwohl sie nicht am selben Ort auftreten müssen. Die Ausnutzung η darf im jeweiligen Ersatzmodell höchstens 1 betragen. [L1, Kap. 3, Nr. 1–3 und 56; R9]

Tabelle 20 Ergebnisse der statischen Ersatzmodelle bei 1300 kg

Bauteil	σv [N/mm²]	Sicherheit SF	Ausnutzung
Grundplatte	114,82	1,96	76,5 %
Längsprofil	119,35	1,59	94,2 %
Mittleres Querprofil	48,50	3,92	38,3 %
Endquerprofil	77,66	2,45	61,3 %
Rollenplatte	111,34	1,71	87,9 %

Quelle: aktualisierte SMath-Rechnung [R9]; Nachweisumfang siehe Kapitel 7.8.6.



Alle dargestellten globalen Einzelvergleiche liegen unter 100 %.
Nicht dargestellt: Nahttragfähigkeit, örtliche Krafteinleitung und gemeinsames Rahmenmodell.
Aus dem Diagramm folgt noch kein abgeschlossener Gesamtnachweis.

Abbildung 20 Ausnutzungen der globalen statischen Ersatzmodelle

Eigene Auswertung der SMath-Ergebnisse [R9]; Nachweisumfang siehe Kapitel 7.8.6.

7.8.6 Umlaufende Schweissnähte und Nachweisgrenze

Formelzeichen für die Kehlnahtgeometrie

Zeichen	Bedeutung	Einheit
t	Profilwanddicke	mm
a	Wirksame Kehlnahtdicke	mm
z	Schenkellänge der idealisierten gleichschenkligen 90°-Kehlnaht	mm

Die festgelegte wirksame Kehlnahtdicke wird aus der Profilwanddicke mit dem Richtwert aus Roloff/Matek berechnet. Die Schenkellänge folgt für eine idealisierte gleichschenklige 90°-Kehlnaht aus der geometrischen Beziehung. Der Richtwert allein bestätigt die Tragfähigkeit nicht. [L1, Kap. 6, Nr. 23; R9]

$$a = 0{,}7 \cdot t = 0{,}7 \cdot 6 = 4{,}2 \ mm$$

$$z = a \cdot \sqrt{2} = 4{,}2 \cdot \sqrt{2} \approx 5{,}94 \ mm$$

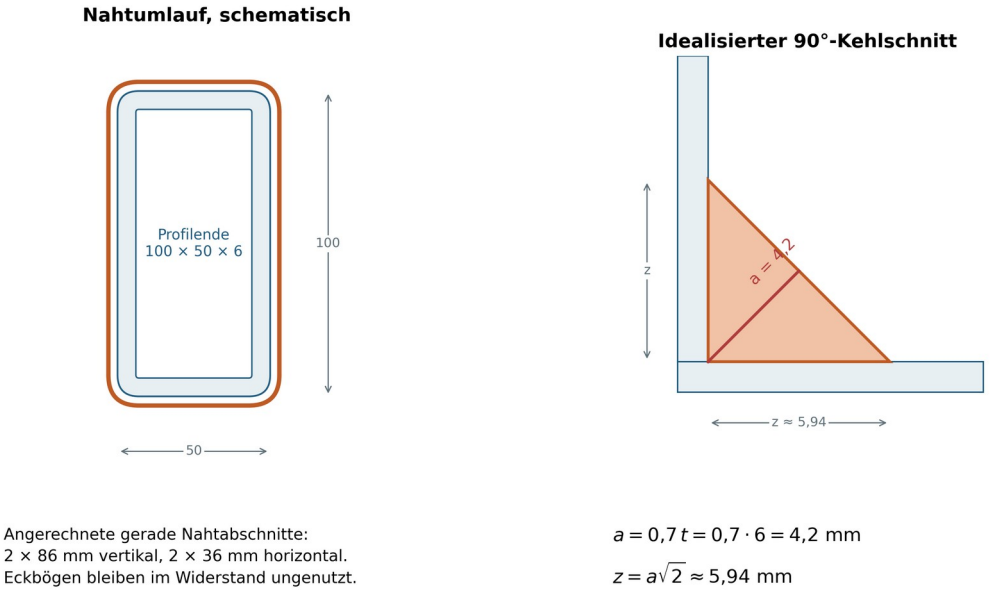


Abbildung 21 Umlaufende Naht am Profilende und Bedeutung der Kehlnahtdicke

Eigene Darstellung der bestätigten Ausführung a4,2 umlaufend [R9]. Geometrische Beziehung für eine gleichschenklige 90°-Kehlnaht; keine Schweissanweisung.

Für das Profilende 100 × 50 mm werden zwei gerade vertikale Nahtabschnitte von je 86 mm und zwei horizontale Abschnitte von je 36 mm angerechnet. Die Eckbögen bleiben im Widerstand ungenutzt. Der separate Schweissnahtvergleich in Anlage C8 ergänzt die Beanspruchung aus dem globalen Rechenblatt um den Tragfähigkeitsvergleich. Für die angesetzte statische Anschlusslastvariante beträgt die Vergleichsbeanspruchung des Längsprofils 186,63 N/mm² bei einem Grenzwert von 230,94 N/mm². Die Ausnutzung liegt bei 80,8 %; für Mittelprofil und Rollenplattenanschluss ergeben sich 29,7 % beziehungsweise 7,3 %. Damit sind diese drei Vergleiche bei der Referenzlast erfüllt. [R9, R11]

Die globalen statischen Ersatzmodelle und die beschriebenen Schweissnahtvergleiche sind innerhalb ihrer Annahmen erfüllt. Der Nachweisumfang für Grundplatte und Profilrahmen beschränkt sich auf die statische Gewichtslast. Die Anschlussmomente in Anlage C8 stammen aus einer vorgegebenen Ersatzlastvariante, nicht aus einer gemeinsamen Berechnung von Platte und Rahmen. Eine obere Schranke aller tatsächlichen Anschlussbeanspruchungen und die örtlichen Krafteinleitungen sind damit nicht vollständig nachgewiesen. Ein abgeschlossener statischer Gesamtnachweis wird deshalb nicht behauptet. Die zusätzliche Lastskalierung in Anlage C8 ist eine Sensitivitätsbetrachtung und kein weiterer geforderter Betriebsfall. [R9, R11]

7.9 Standsicherheit des Teststands

Der Teststand steht auf vier abgesenkten Füssen auf ebenem, waagrechtem Boden; das Fussachsenrechteck misst 1500 × 780 mm. Die frühere Rechnung setzte 1435,512 kg und ein Kippmoment von 546,675 Nm an. Sie ergab eine Reserve von 9,89 und eine Zusatzkraftgrenze von 3,75 kN bei Reserve 2. Diese historischen Eckpunkte gelten nicht für die leichtere neue Konstruktion. [R7]

Im aktuellen Gewichtslastfall liegt der Schwerpunkt der ausgewerteten Teilmasse innerhalb des Fussachsenrechtecks. Ohne horizontale Kräfte oder kippende Momente wird kein

endlicher Quotient aus Stand- und Kippmoment angegeben. Für die endgültige Aufstellung sind vollständige Masse, Schwerpunkt und tatsächlich tragende Füsse abzugleichen. [P8, R9] Der ergänzende Rechenstand zur Grundplatte und Standsicherheit ist in Anlage C7 des Berechnungsanhangs enthalten. [R10]

7.10 Tragfähigkeit der Heberollen

Formelzeichen für die historische Rollenvorbemessung

Zeichen	Bedeutung	Einheit
m_4, m_3	Erforderliche Tragfähigkeit je Rolle bei vier bzw. drei gleich belasteten Rollen, einschliesslich Projektfaktor 2	kg
$S_{R,3}$	Reserve von drei Rollen gegenüber der unbewerteten Modellmasse	–

Die historische Rollenauswahl verwendet aufgerundet 1436 kg und den Projektfaktor 2 bei vier beziehungsweise drei gleich belasteten Rollen. Diese Modellmasse ist kein aktueller Gewichtswert. Die Dreipunktbetrachtung dient der Vorbemessung beim Verfahren; reale Einzelradlasten hängen von Schwerpunkt und Boden ab. [R7]

$$m_4 = \frac{2 \cdot 1\ 436\ kg}{4} = 718\ kg$$

$$m_3 = \frac{2 \cdot 1\ 436\ kg}{3} = 957{,}3\ kg$$

Die gewählten Heberollen tragen laut Hersteller je 1300 kg bei 4 km/h. Für drei gleich belastete Rollen ergibt sich gegenüber der unbewerteten Modellmasse folgende Reserve. [H9]

$$S_{R,3} = \frac{3 \cdot 1\ 300\ kg}{1\ 436\ kg} = 2{,}72$$

Der Serienhöchstwert für den abgesenkten Fuss beträgt 3000 kg; die konkrete Ausführung bleibt zu bestätigen. Vor Freigabe sind die Einzelradlasten mit der vollständigen neuen Anlagenmasse abzugleichen. Die Referenzmasse aus Kapitel 7.8 ersetzt diesen Abgleich nicht. [H9]

8 Schutzkonzept und Wartung

8.1 Mechanische Schutzmassnahmen

Zwei abnehmbare Blechhauben schützen den Hebel- und Schlittenbereich. Eine bis nach unten geführte Polycarbonatabdeckung ergänzt den Schutz. Die Befestigung der Scheiben auf der Innenseite der Verstrebungen ist in Kapitel 5.5 beschrieben. [P10]

Für die Haubenüberwachung ersetzt der RFID-codierte Sicherheitsschalter Pilz PSEN cs3.1n mit Betätiger PSEN cs3.1 die bisher vorgesehenen Magnetschalter. Ziel des Wechsels ist es, Manipulationen an der Haubenüberwachung zu erschweren. [P10, H21]

Die Explosionsdarstellung zeigt die beiden Haubenteile, die angeschweissten Deckel und Abdeckungen sowie die Anordnung des Sicherheitsschalters. Die Prüfung der Schutzabstände und der Abschaltfunktion ist in Kapitel 8.2 beschrieben. [Z3]

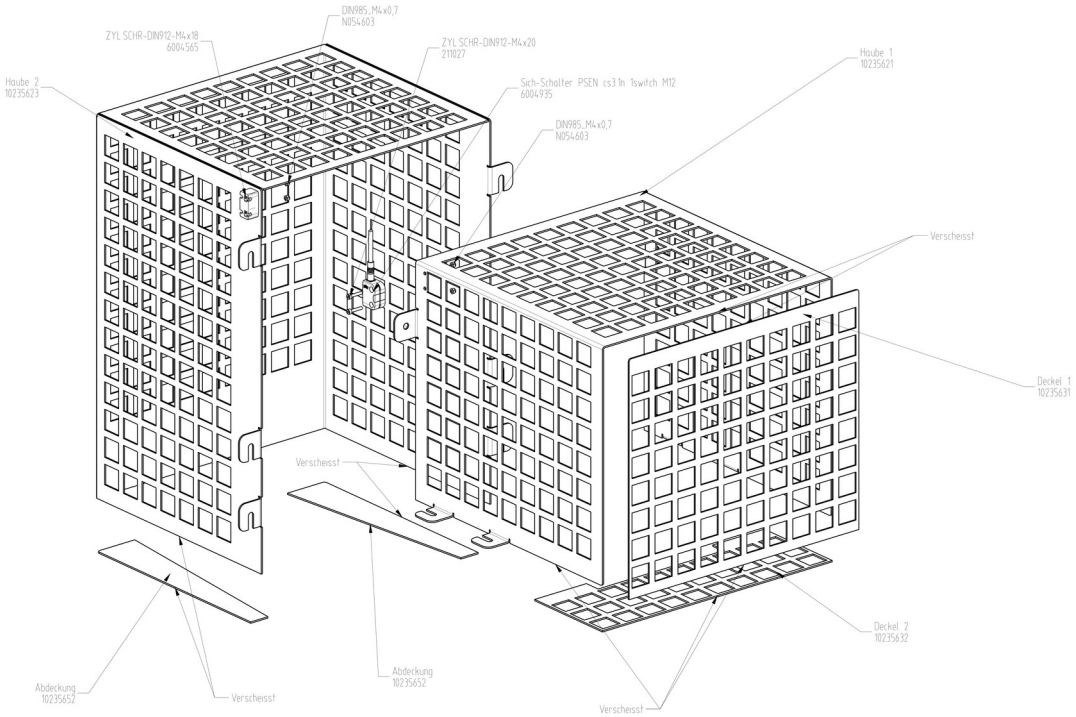


Abbildung 22 Zweiteilige Schutzhaube mit Deckeln und Sicherheitsschalter

Quelle: Zeichnung 10235622 A «Personenschutz», Explosionsdarstellung, Blatt 1/1, Freigabe 21.10.2026. Ausschnitt, nicht massstäblich. [Z3]

Der Schalter besitzt zwei OSSD-Ausgänge und einen fünfpoligen M12-Anschluss. Der Automatikbetrieb darf nur bei montierten Hauben starten. Beim Abnehmen muss die gefährliche Bewegung stoppen; das Wiederaufsetzen darf keinen selbsttätigen Start auslösen. [P9, H21]

Bei abgenommenen Hauben ist ein langsamer Einrichtbetrieb mit dauerhaft betätigtem Bedienelement vorgesehen. Die Freigabe beschränkt sich auf geschultes, befugtes Personal. Als Auslegungsanforderung nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, Anhang I, 1.2.5, werden andere Betriebsarten gesperrt, gefährliche Funktionen nur bei gehaltener Betätigung zugelassen, Risiken reduziert und gefährliche Befehlsverkettungen sowie sensorbedingte Bewegungsstarts verhindert. Die Betriebsartenwahl ist gegen unbefugte Nutzung zu sichern. [S5, § 204]

Geschwindigkeit, zulässige Bewegung, Kräfte und Nachlauf sind am konkreten Teststand durch den SMB festzulegen und sicherheitstechnisch abzusichern. Eine allgemeingültige zulässige Geschwindigkeit ergibt sich aus Abschnitt 1.2.5 nicht. Schulung und eine niedrige Geschwindigkeit allein belegen deshalb keinen sicheren Einrichtbetrieb. Schutz an nicht benötigten Gefahrstellen bleibt wirksam. [S5, § 204]

Eine Überwachung der Haubenstellung ist von einer Zuhaltung zu unterscheiden. Können Personen die Gefahrstelle vor dem Ende der gefährlichen Bewegung erreichen, ist zusätzlich eine Zuhaltung erforderlich. Diese Entscheidung bleibt bis zur Prüfung von Nachlauf und Zugangszeit offen. [S5, Anhang I, 1.4.2.2]

Für die nominal 30 × 30 mm grossen quadratischen Öffnungen wird der vorliegende Auszug aus EN ISO 13857, Tabelle 4, als Arbeitsgrundlage verwendet. Für quadratische Öffnungen nennt er bei $20 < e \leq 30\ mm$ einen Sicherheitsabstand von mindestens 120 mm und bei $30 < e \leq 40\ mm$ mindestens 200 mm. Der Auszug enthält kein Ausgabejahr. Vor der abschliessenden Auslegung sind die verwendete Normausgabe und ihre Anwendungsbedingungen anhand des Originals zu prüfen. [S3]

Entscheidend ist die grösste fertige Öffnung einschliesslich Toleranz. Bereits eine Überschreitung von 30 mm führt im verwendeten Auszug zur nächsten Grössenklasse. Die Abstände zu den Gefahrstellen und der Freiraum um die grössere Kupplung sind am endgültigen CAD zu kontrollieren. [S3]

8.2 Verifikation der Schutzmassnahmen

Die folgende Tabelle ordnet den Risiken aus Kapitel 3.3 die erforderlichen Prüfungen zu. Für die automatische Abschaltung fehlen noch Grenzwerte und Verzögerungszeiten. Prozesssensoren werden ohne entsprechenden Nachweis nicht für den Personenschutz angerechnet. Nach Umsetzung und Prüfung sind die Restrisiken erneut zu beurteilen.

Tabelle 21 Offene Nachweise für Schutzmassnahmen und Betriebsfreigabe

Risiko-ID	Prüfgegenstand	Erforderlicher Nachweis	Zuständigkeit und Stand
M01–M03, M08	Abdeckungen und Hauben	Innenliegende Scheiben und separate Aggregatbefestigung kontrollieren. Jede Haube einzeln prüfen: Start gesperrt, Bewegung stoppt. RFID-Schalter, Montage und OSSD-Auswertung abgleichen; Nachlauf und Zugangszeit messen.	Konstruktion / SMB; offen
M04	Einrichtbetrieb	Betriebsartenwechsel, gehaltene Betätigung, Loslassen, Geschwindigkeitsbegrenzung und Fehlerfälle testen; keine automatische Befehlsfolge.	SMB; Auslegung und Prüfung offen
M03–M05	Stillsetzung und Wiederanlauf	Sichere Stopps, Not-Halt, Spannungsrückkehr und erneute Startfreigabe prüfen. Energiequellen und Restenergien in Wartungsanweisung aufnehmen.	SMB; offen
M06–M07, M11	Wechsel und Transport	Anschlagmittel und Gewinde anhand der Last prüfen; Montagefolge, Haubenhandhabung und Aufstellung mit beiden Prüflingen erproben.	Konstruktion / Betrieb; offen
M09–M10, M13	Ölversorgung und Abschaltung	Behälterkapazität, Leckagewege und Temperaturen prüfen; Grenzwerte, Signalfehler und Abschaltreaktionen unter kontrollierten Bedingungen testen.	SMB; Grenzen und Test offen

Risiko-ID	Prüfgegenstand	Erforderlicher Nachweis	Zuständigkeit und Stand
M12, M14	Elektrik, Brand und Lärm	Elektrische Schutzprüfung, Wärme-/Brandbeurteilung und Geräuschbeurteilung durch den SMB durchführen; Massnahmen für unbeaufsichtigten Lauf festlegen.	SMB / Betrieb; offen
Alle Risiken	Verbleibendes Risiko	Bewertungen nach Prüfungen aktualisieren; verbleibende Gefahren, Bedienvorgaben und Freigabeverantwortung dokumentieren.	Konstruktion / SMB / Betrieb; offen

8.3 Wartung und Reinigung

Tabelle 22 beschreibt die vorgesehenen Kontrollen. Der SMB legt die Kontroll-, Nachfüll- und Entleerungsintervalle der Zentralschmierung auf Grundlage der eingestellten Ölmenge fest. Weitere Wartungsintervalle werden mit den Herstellerunterlagen abgeglichen. [P15, H4]

Tabelle 22 Vorgesehene Kontrollen und Wartungstätigkeiten

Zeitpunkt beziehungsweise Anlass	Tätigkeit	Zu dokumentieren
Vor jedem Prüflauf	Füsse, Abdeckungen, Ölfüllung, Kanisterfüllstand, Messstellen und saubere Leckagewanne kontrollieren	Freigabe der Vorbereitung
Nach jedem Prüflauf	Leckagebefund, Kanisterfüllstand und auffällige Geräusche beziehungsweise Schwingungen prüfen	Befund und notwendige Massnahme
Nach Prüflingswechsel	Ausrichtung, Anschluss und Endlagenreferenz prüfen	Prüfling, Referenzen und Montagekontrolle
Nach Kupplungsarbeiten	Einbaumass, Nabenbefestigung und Ausrichtung prüfen	Messwerte und verwendeter Zeichnungsstand
Bei Schmierungswartung	Zentralschmierung, Dosierung, Leitungen und Altölbehälter kontrollieren	Ölsorte, Einstellungen, Datum und Befund
Bei Sensorwechsel	Befestigung und Messreferenz neu prüfen	Gerät, Parametersatz und Referenzvergleich

9 Prüfanweisung und Abnahmeplanung

9.1 Voraussetzungen und Ablauf

Vor dem ersten unbeaufsichtigten Dauerlauf müssen die Prüfungen nach Kapitel 8.2 abgeschlossen, die Betriebsgrenzen festgelegt und die Messmittel abgeglichen sein. Der nachfolgende Ablauf beschreibt die Prüfung eines Getriebes nach dieser Freigabe.

Tabelle 23 Geplanter Prüfablauf

Schritt	Durchführung	Nachweis beziehungsweise Freigabepunkt
1 Vorbereitung	Prüflingstyp, Identifikation, Revisionszustand und Dokumentstand erfassen	Eindeutige Zuordnung des Prüflaufs
2 Aufstellung	Teststand positionieren, alle Füsse absenken und sicheren Stand herstellen	Räder entlastet; Aufstellung kontrolliert
3 Montage	Prüfgetriebe mit Kran und geeigneten Anschlagmitteln an den vorhandenen Gehäusegewinden wechseln; Montagefolge gemäss Kapitel 5.8.	Aufnahme und lösbare Schnittstellen kontrolliert
4 Schmierung	Prüflingseigene Versorgung, Zentralschmierung, Leitungen und Altölbehälter prüfen	Freigegebene Ölsorte, Dosierung und ausreichende Behälterkapazität
5 Messmittel	Sensoren anschliessen, Signale plausibilisieren und Endlagen referenzieren	Messstellenliste und Parametersatz
6 Schutzprüfung	Haubenüberwachung, sichere Stillsetzung, Wiederanlaufsperre, Einrichtbetrieb und automatische Fehlerabschaltung prüfen.	Dokumentierte Prüfungen gemäss Kapitel 8.2; Grenzwerte festgelegt und Betriebsfreigabe erteilt.
7 Funktionslauf	Unter Aufsicht mit freigegebenen Einstellungen anlaufen	Drehrichtung, Bewegung, Öltemperatur und Schmierdruck plausibel; vom SMB festgelegte Sensorgrenzwerte eingestellt
8 Dauerlauf	Vorgesehene Drehzahl und achtstündige Laufzeit je Getriebetyp fahren	Zeitbezogene Mess- und Ereignisaufzeichnung
9 Abschluss	Kontrolliert stillsetzen und Wanne sowie Prüfling beurteilen	Leckagebefund und Messauswertung
10 Beurteilung	Mit freigegebenen Kriterien vergleichen und Abweichungen behandeln	Freigabe, Nacharbeit oder erneute Prüfung

Ein abgebrochener Lauf wird mit Zeitpunkt und Ursache protokolliert. Nach der Fehlerbehebung ist anhand der betrieblichen Prüfvorgabe zu entscheiden, ob die vollständige Laufzeit neu beginnt.

9.2 Prüfprotokoll und Grenzwertverwaltung

Jeder Datensatz wird dem Prüfling und dem verwendeten Aufbau zugeordnet. Der SMB definiert sämtliche Sensorgrenzwerte und die daraus folgenden Reaktionen vor dem Prüflauf. Dichtheit und Laufgeräusche beurteilt er anhand seiner Erfahrung beim Kunden. Die Grenzwerte, Bewertungsgrundlagen und verwendeten Referenzdaten werden mit dem Prüfprotokoll dokumentiert. Tabelle 24 führt die erforderlichen Angaben zusammen. [P15]

Tabelle 24 Inhalt des vorgesehenen Mess- und Prüfprotokolls

Feld	Eintrag beziehungsweise Nachweis
Prüfling	Getriebetyp, Identifikation und Revisionszustand
Teststand	Zeichnungsrevision und Konfiguration
Betriebsdaten	Drehrichtung, Drehzahl, Hochlauf-/Bremsrampe und Laufzeit
Öltemperatur und Schmierdruck	Temperatur- und Druckverlauf, durch SMB festgelegte Überwachungswerte, Schaltzustände und Störungen
Hebelverlauf und Endlagen	Referenzierung, Abtastrate, Filter, gespeicherter Verlauf und durch SMB festgelegte Beurteilungskriterien
Vibration	Messstelle, radiale Richtung, Kennwerte, Prüfbedingungen und Zuordnung zur Vibrationsmatrix bzw. zum Referenzdatensatz
Leckage	Saubere Ausgangswanne; Sichtbefund und Austrittsstelle; Beurteilung durch SMB
Abweichung	Zeitpunkt, Befund, Ursache soweit geklärt und Massnahme
Abschluss	Prüfentscheidung, verantwortliche Person und Datum

9.3 Abnahmematrix

Tabelle 25 führt die Abnahmepunkte aus dem Pflichtenheft zusammen. Der Stand «nicht geprüft» bezieht sich auf die spätere praktische Abnahme. Die Abgrenzung zur Diplomarbeit steht in Kapitel 1.2. [P2]

Tabelle 25 Geplante Abnahme des Gesamtprüfstands

ID	Kriterium	Erforderlicher Beleg	Stand 12.10.2026
A-01	Acht Stunden je Getriebetyp	Vollständiges Laufprotokoll	Nicht geprüft
A-02	Öltemperatur plausibel und gespeichert	Signal- und Speicherprüfung	Nicht geprüft
A-03	Schmierdruck erfasst und gespeichert; Überwachung mit dem vom SMB festgelegten Grenzwert geprüft	Messwert-, Schalt-, Störungs- und Speicherprüfung	IO-Link-Drucksensor gewählt; Prüfung offen
A-04	Beide Endlagen reproduzierbar	Referenzvergleich für beide Getriebe	Nicht geprüft
A-05	Leckage sicher aufgefangen	Sicht- und Funktionskontrolle	Nicht geprüft
A-06	Vibrationsmessung an beiden Messstellen	Reproduzierbare radiale Messung; Referenzvergleich und dokumentierte Bewertung durch SMB	Zwei Sensoren vorgesehen; nicht geprüft
A-07	Antrieb und Kupplung funktionsfähig	Funktionslauf und Nachweisstand	Nachweise vorhanden
A-08	Zusatzschmierung funktionsfähig	Kontrolle Dosierung, Dichtheit und Ölabführung	Konzept festgelegt; nicht geprüft
A-09	Palettenlösung optional	Vereinbarter Logistiknachweis	Nicht weiterverfolgt
A-10	Wechsel beider Prüflinge	Montage- und Funktionsprüfung	Montagefolge beschrieben; nicht praktisch nachgewiesen

10 Stückliste und Kosten

10.1 Stückliste

Die Stückliste ordnet die Bauteile der Gesamtbaugruppe 10235107/A-Getriebeteststand und ihren Unterbaugruppen zu. Sie umfasst unter anderem Gestell, Prüfgetriebe mit Vorschubwagen, Antrieb, Zentralschmierung, Ölwanne und Personenschutz. Element-ID und Änderungsstand verbinden die Einträge mit den zugehörigen Konstruktionsunterlagen. Mengenangaben und die Einrückung zeigen die Zuordnung innerhalb der Baugruppenstruktur. [P9]

Die vollständige Stückliste ist in Anlage B wiedergegeben. Sie bildet die Grundlage für die Zusammenstellung der benötigten Teile und die Montage. Für die Herstellung der Fertigungsteile gelten die zugehörigen Zeichnungen mit ihren Mass-, Werkstoff- und Bearbeitungsangaben. [P9, Z3]

10.2 Kostenübersicht

Die Kostenübersicht setzt sich aus den erfassten Norm- und Kaufteilen sowie einer Schätzung für die Fertigungsteile zusammen. Grundlage der Kaufteilkosten ist die überarbeitete Preisliste. Bereits vorhandene und daraus entfernte Komponenten werden nicht erneut als Beschaffungskosten angesetzt. [P11]

Die Preisliste enthält CHF 7’024.99 und EUR 6’467.90. Mit dem darin hinterlegten Kurs vom 20.10.2026 von 0,9237 CHF je EUR ergibt sich: CHF 7’024.99 + EUR 6’467.90 × 0,9237 CHF/EUR = CHF 12’999.39. Der Beckhoff-Rabatt von 12 % ist in den betreffenden Positionen bereits berücksichtigt. [P11]

Für die Herstellung der Fertigungsteile wurde mit der Arbeitsvorbereitung eine Grössenordnung von CHF 15’000 bis CHF 17’000 abgeschätzt. Der überwiegende Teil kann intern hergestellt werden. Grundplatte und Befestigungsplatte sowie die Schweisskonstruktionen sind zur externen Fertigung vorgesehen. Für interne Bearbeitungen werden CHF 70/h, für externe Arbeiten CHF 150/h angesetzt. Blechteile und Verstrebungen werden wasserstrahlgeschnitten. Die Kostenspanne beruht auf der fachlichen Gesamtschätzung der AVOR und ist keine verbindliche Offerte. [P12]

Tabelle 26 Zusammenstellung der erfassten Teilekosten

Kostenanteil	Betrag in CHF
Kaufteile mit Preisen in CHF	7’024.99
Kaufteile in EUR, umgerechnet (6’467.90 × 0,9237)	5’974.40
Erfasste Norm- und Kaufteile insgesamt	12’999.39
Fertigungsteile gemäss AVOR-Schätzung	15’000.00–17’000.00
Vorläufige Summe der erfassten Teilekosten	27’999.39–29’999.39

Quellen: Preisliste, Blatt «Preisliste», Zellen I3 und I5–I7; Fertigungsschätzung gemäss Rücksprache mit der AVOR. EUR-Umrechnung auf Rappen gerundet; Gesamtsumme = Kaufteile + Fertigungsspanne. [P11, P12]

Für die erfassten Kauf- und Fertigungsteile ergibt sich damit eine vorläufige Grössenordnung von rund CHF 28’000 bis CHF 30’000. Versand, Einfuhrkosten und zusätzliche Steuern sind in

der Preisliste nicht eingerechnet; die Steuerbasis ist nicht bei allen Positionen einheitlich geklärt. Für Montage, elektrische Ausrüstung, Steuerung und Inbetriebnahme sind hier keine separaten Kosten angesetzt. Der Betrag ist deshalb als Planungswert für den aufgeführten Umfang zu verstehen. [P11, P12]

10.3 Wirtschaftliche Beurteilung

Der betriebliche Nutzen ist in Kapitel 1.1 beschrieben. Für eine Amortisationsrechnung fehlen die jährliche Prüfmenge, Fehlerquote, Nacharbeits- und Einsatzkosten sowie die laufenden Prüfkosten. [P1]

Sobald diese Daten vorliegen, können die vermiedenen Fehlerkosten den Investitions- und Betriebskosten gegenübergestellt werden.

11 Erreichter Stand und Abschlussarbeiten

Der folgende Abschnitt fasst den Übergabestand zusammen. Die fachlichen Geltungsgrenzen sind bei den Nachweisen in Kapitel 7, die ausstehenden praktischen Prüfungen in Kapitel 8.2 und Kapitel 9.3 dokumentiert.

11.1 Nachweisstand der Anforderungen

Die Baugruppe ist nach dem Abschluss-Design-Review freigegeben. Die beschlossenen Anpassungen sind im dokumentierten Konstruktionsstand berücksichtigt und in den in Kapitel 4.8 genannten Fachkapiteln beschrieben. Quellenverzeichnis und Anlagenübersicht kennzeichnen die verwendeten Unterlagen und frühere Rechenstände. Der Werkstoffwechsel der Welle ohne erneute Berechnung ist in Kapitel 7.6 begründet; den statischen Nachweisumfang grenzt Kapitel 7.8.6 ab. Die spätere praktische Abnahme ist in Kapitel 9.3 geplant. [P10, P14]

11.2 Vergleich von Planung und Aufwand

Der abgeschlossene Zeitplan weist insgesamt 240 Sollstunden und 259 Iststunden aus. Der tatsächliche Aufwand liegt damit 19 Stunden beziehungsweise 7,9 % über dem Soll. Tabelle 27 zeigt die Verteilung auf die vier Arbeitspakete. [P5]

Tabelle 27 Soll-Ist-Vergleich des Arbeitsaufwands

Arbeitspaket	Soll [h]	Ist [h]	Abweichung [h]
M1 – Grundlagen und Anforderungen	42	73,5	+31,5
M2 – Konzept freigegeben	54	45,5	−8,5
M3 – Konstruktion abgeschlossen	90	84,5	−5,5
M4 – Dokumentation und Abgabe	54	55,5	+1,5
Gesamt	**240**	**259**	**+19**

Der Mehraufwand entstand vor allem bei den Grundlagen und Anforderungen. Die Einsparungen bei Konzept und Konstruktion konnten ihn nur teilweise ausgleichen. [P5]

Der vollständige Zeitplan mit Tagesbelegung, Meilensteinen und Fixterminen ist in Anlage A enthalten. [P5]

11.3 Übergabe an den Sondermaschinenbau

Zur Übergabe gehören Zeichnungssatz, Stückliste, Preisliste, Berechnungen und abgestimmte Prüfanweisung. Alle Unterlagen müssen denselben Konstruktionsstand beschreiben. Die anschliessenden Aufgaben des Sondermaschinenbaus sind in Kapitel 1.2 abgegrenzt. [P2, P10, P11]

12 Reflexion und Fazit

12.1 Erkenntnisse aus dem Entwicklungsweg

Die Entwicklung der Lagerglocke zeigt, dass eine Konzeptfreigabe die anschliessende Detaillierung vorbereitet. Die spätere Änderung der Zentrierung vereinfachte die Fertigung bei gleichbleibendem Grundkonzept. Den Entscheidungsweg beschreibt Kapitel 4.4.

Aus der Kupplungsauslegung ergibt sich für künftige Projekte, die erforderlichen Lastfälle frühzeitig vor der Detailkonstruktion festzulegen. So lassen sich Auswirkungen auf den Einbauraum rechtzeitig berücksichtigen. Die Berechnung steht in Kapitel 7.4.

Änderungen müssen gleichzeitig in CAD, Berechnung und Stückliste nachgeführt werden. Bei der Gewichtsoptimierung betrifft dies besonders die Massenverteilung. Welche Rechnungen deshalb noch abzugleichen sind, ist in Kapitel 7 gekennzeichnet.

Die Sensorwahl verdeutlicht den Unterschied zwischen Datenblattwerten und dem Verhalten im eingebauten Zustand. Der praktische Abgleich ist deshalb als eigener Schritt vorgesehen; siehe Kapitel 6.1.

12.2 Fazit zum bisherigen Ergebnis

Mit dieser Diplomarbeit liegt die mechanische Konstruktion eines gemeinsamen Teststands für die Vorschubgetriebe 82,5 mm und AE+ vor. Die Baugruppe ist nach dem Abschluss-Design-Review freigegeben. Damit liegt eine konkrete Lösung für die anschliessende Umsetzung durch den Sondermaschinenbau vor (Kapitel 11.1).

Der Teststand soll die Prüfung revidierter Getriebe vor der Auslieferung ermöglichen und die Abhängigkeit von einer verfügbaren Produktionsmaschine aufheben. Die vorgesehenen Messstellen und die vorbereitete Prüfanweisung schaffen die Grundlage, um Funktion und Dichtheit nach einem festgelegten Ablauf zu beurteilen. Durch die Zuordnung der Messwerte zum jeweiligen Prüfling sollen die Ergebnisse nachvollziehbar dokumentiert werden (Kapitel 1.1 und 9.2).

Die Berechnungen dokumentieren den erreichten Nachweisstand mit den in Kapitel 7 beschriebenen Geltungsgrenzen. Für die Übergabe müssen Zeichnungen, Stückliste und Berechnungen denselben Konstruktionsstand wiedergeben. Die dafür vorgesehenen Unterlagen sind in Kapitel 11.3 zusammengefasst.

Fertigung, Montage, elektrische Ausrüstung, Steuerung und Inbetriebnahme folgen nach der Diplomabgabe und sind gemäss Kapitel 1.2 vom eigenen Bearbeitungsumfang abgegrenzt. Erst die praktische Abnahme nach Kapitel 9.3 wird zeigen, ob der Teststand die geforderten Prüfungen im Betrieb zuverlässig ermöglicht. Das Ergebnis dieser Arbeit ist die konstruktive und dokumentarische Grundlage für diesen nächsten Schritt.

12.3 Danksagung

Ich danke Adval Tech (Switzerland) AG für die Möglichkeit, diese praxisbezogene Diplomarbeit zu bearbeiten. Yves Ledermann, Markus Jost und Matthias Common danke ich für die fachliche Abstimmung und die Rückmeldungen zur Konstruktion und zur späteren Umsetzung. Mein Dank gilt auch Judith Oehler für die moralische Unterstützung während des Schreibens der Arbeit sowie Jürg Krebs für die Begleitung der Diplomarbeit.

Quellenverzeichnis

Die Quellen sind nach Projektunterlagen (P), Berechnungen (R), Herstellerunterlagen (H), Fachliteratur (L), Zeichnungen (Z) und Schul- bzw. Normengrundlagen (S) geordnet. Verweise im Text führen zu den Quellenangaben. Die zugehörigen Anhänge sind in der separaten Gesamt-PDF V4.0 enthalten.

[P1] Schlatter, David. Themeneingabe Diplomarbeit, 01.04.2026. Themaeingabe/2_Themeneingabe Diplomarbeit David Schlatter.docx sowie TE_2026_David_Schlatter.pdf. Das angehängte Pflichtenheft V1.1 dient nur zur Historie.

[P2] Schlatter, David. Pflichtenheft Getriebeteststand V1.2, Stand 04.09.2026, Dokumentstatus Freigegeben. Pflichtenheft/Pflichtenheft_Getriebeteststand_V1.2.docx, insbesondere Kapitel 4, 9, 10 und 12.

[P3] Schlatter, David. Design Review 1 vom 07.09.2026. DR-Protokolle/DR_Protokoll_Antrieb_und_Lagerung_Getriebeteststand.docx. Beschlüsse zu Antrieb, Lagerglocke und Bezugskette.

[P4] Schlatter, David. Design Review vom 15.09.2026, Freigabe im Protokoll 17.09.2026. DR-Protokolle/DR-Protokoll_15-09-2026_Getriebeteststand.xlsx und .pdf; ergänzend Notizen DR 15.09.2026.pdf.

[P5] Schlatter, David. Diplomarbeit_Zeitplan(2).xlsx, Blatt «Zeitplan Soll-Ist». Abgeschlossener Zeitplan mit Soll- und Ist-Stunden, Tagesbelegung, Meilensteinen und Fixterminen. Vollständig wiedergegeben in Anlage A.

[P6] Schlatter, David. Ordner Bilder: Organigramm.png, Blackbox.png, aktueller Prüfprozess.png und CAD-Ansichten vom 07., 14. und 23.09.2026. Abbildungen belegen Zwischenstände, keine physische Abnahme. Ergänzend markierter CAD-Schnitt e228a00e-4822-4aa8-8d16-d253d1bef8dc.png. Ergänzend aktuelle Gesamtansichten und Schnitt, bereitgestellt am 20.10.2026: grafik(5).png (bisheriges Titelbild mit Bedienpult und Menschmodell), grafik(6).png (Gesamtaufbau ohne Bedienpult und Menschmodell) und grafik(7).png (Schnitt). Ergänzend bereitgestellt am 21.10.2026: grafik(8).png (Titelbild der abgeschlossenen Konstruktion) und grafik(9).png (Befestigung der Grundplatte am Profilgestell mit Blindnietmuttern).

[P7] Beckhoff und Projekt-CAD. Ordner Stepdateien, insbesondere Wichtig-Important_AG2300_F6.txt. STEP-Dateien 10235107_A-Getriebeteststand_1.stp, _2.stp und _4.stp, 10235272_A-Kreuzscheibe.stp sowie Herstellergeometrien. Übernommene Massenauswertungen stehen in den Rechenblättern.

[P8] Schlatter, David. STEP 10235107_A-Getriebeteststand.stp und NX-Auswertung Schwerpunkt aufbau.png, Stand 19.10.2026. Aktuelle Abmessungen, Volumina und Aufbaumasse. Konstruktive Überarbeitung: Aluminium im Schlittenbereich, reduzierte Plattendicken, ausgefräste Seitenstützen und angeschraubter geschweisster Profilrahmen.

[P9] Schlatter, David. Stückliste.xlsx, Blatt «Tabelle1». Hierarchischer CAD-Auszug der Baugruppe 10235107/A-Getriebeteststand, Kopfstand 21.10.2026 SCDV; bereitgestellt am 22.10.2026. Vollständig wiedergegeben in Anlage B.

[P10] Schlatter, David. DR-Protokoll_Abschluss_Getriebeteststand.xlsx, erstellt am 21.10.2026. Dokumentiert die Baugruppenfreigabe und die beschlossenen konstruktiven Anpassungen. Teilnehmer gemäss Protokoll: M. Jost, Y. Ledermann und D. Schlatter. Freigabe am 21.10.2026, Kürzel SCDV. Ablage: 02_Design_Reviews.

[P11] Schlatter, David. Preisliste_Normteile_Getriebeteststand(3).xlsx, bereitgestellt am 22.10.2026; Blatt «Preisliste», Preisstand 21.10.2026. Berechnungsgrundlagen: EUR/CHF-Kurs 0,9237 (Kursdatum 20.10.2026, Zelle I3), Beckhoff-Rabatt 12 % (D4), Teilbeträge I5/I6 und CHF-Gesamtbetrag I7. Preisquellen, Steuerbasis und Umfangshinweise stehen in der Datei.

[P12] Schlatter, David. Projektmitteilung vom 22.10.2026 zur Rücksprache mit dem AVOR-Spezialisten: Fertigungskosten geschätzt auf CHF 15’000–17’000; interne Bearbeitung CHF 70/h, externe Arbeiten CHF 150/h. Grundplatte, Befestigungsplatte und Schweisskonstruktionen extern; Blechteile und Verstrebungen wasserstrahlgeschnitten. Persönliche Mitteilung, keine verbindliche Lieferantenofferte.

[P13] Schlatter, David. TEKO_Kompetenzprofil_David_Schlatter.xlsx, Stand 22.10.2026, insbesondere Semester 6. Grundlage der zusammenfassenden Darstellung im Qualifikationsprofil. Nicht im Anhang beigefügt; der Link führt zur Zusammenfassung im Hauptteil (Qualifikationsprofil).

[P14] Schlatter, David. Projektmitteilung vom 22.10.2026: Werkstoffwechsel der Welle mit Kreuzscheibe von C45E (1.1191) auf 1.2312; keine erneute Berechnung aufgrund der höheren Festigkeit des gewählten Werkstoffs. Persönliche Mitteilung zur konstruktiven Entscheidung.

[P15] Schlatter, David. Projektklärungen zu den handschriftlichen Dozentenhinweisen, 27.10.2026. Sensorgrenzwerte, Dichtheits- und Geräuschbeurteilung sowie Schmierintervalle durch SMB; Gewichtsoptimierung für das Manövrieren; Ausrichtungsziel <0,05 mm und Gesamtspiel 0,05 mm an der Kreuzscheibe; bestätigte Getriebeabtriebswelle Ø55 mm mit Passfedernut; vollständig eingetauchte Schnecke; radiale VVB001-Messung und geplanter Referenzdatensatz; 7,5 kg als Auslegungsfall für mögliche spätere Belastung; Muttern auf eingeschraubten und eingeklebten Gewindestiften. Persönliche Projektangaben des Verfassers.

[R1] Schlatter, David. Berechnungen/Auslegung_Motor_Planetengetriebe_AM8063_AG2300_i5.sm und .pdf, Abschnitte 1–6. Bisherige Kupplungsträgheit 0,00476 kg·m²; Aktualisierung mit R3 im Haupttext nachgerechnet. PDF-Rechenblatt im separaten Berechnungsanhang, Anlage C1, S. C-2 bis C-4.

[R2] Schlatter, David. Berechnungen/Auslegung_Kupplung_ROTEX42.sm und .pdf, Lastfälle 1–4. Historische Auswahl und Wechselmoment-Vorprüfung. PDF-Rechenblatt im Berechnungsanhang, Anlage C9, S. C-37 bis C-38.

[R3] Schlatter, David. Berechnungen/Auslegung_Kupplung_ROTEX65.sm und .pdf, Stand 24.09.2026. Ergänzend Datenblätter/Kupplungsberechnung_ROTEX65_Vergleich_ROTEX42_V1.0.pdf sowie archivierte V1.1.sm. Eigenständige ROTEX-65-Rechnung ist der aktuelle Kupplungsnachweis. PDF-Rechenblatt im separaten Berechnungsanhang, Anlage C2, S. C-5 bis C-7.
[R4] Schlatter, David. Passfedernachweis_DIN6892_MethodeB_ROTEX42_D55_16x10x50_Aktuell.sm, Stand 15.09.2026. Historischer Rechenstand für den Vergleich; durch R8 für die geänderte Prüfstandswelle fortgeschrieben. PDF-Rechenblatt im Berechnungsanhang, Anlage C10, S. C-39 bis C-40.
[R5] Schlatter, David. Festigkeitsnachweis_Welle_Kreuzscheibe_1.1191_Aktuell.sm und .pdf, Abschnitte Geometrie, Werkstoff, statischer und dynamischer Nachweis. Ursprünglicher Werkstoffansatz C45E (1.1191); trotz anschliessendem Wechsel auf 1.2312 unverändert beibehalten, siehe Kapitel 7.6 und [P14]. PDF-Rechenblatt im Berechnungsanhang, Anlage C4, S. C-12 bis C-15.
[R6] Schlatter, David. Berechnungen/Lebensdauerberechnung_Kegelrollenlager_SKF30219_Aktuell.sm und .pdf, Abschnitte 1–8. PDF-Rechenblatt im separaten Berechnungsanhang, Anlage C5, S. C-16 bis C-19.
[R7] Schlatter, David. Grundplatte_und_Standsicherheit.png. Rechenauszug mit Massenansätzen, Auflagerreaktionen, Referenzbiegung und seitlicher Kippbetrachtung. Zentrale Ergebnisse arithmetisch nachvollzogen; Abgleich mit editierbarer SMath-Datei und ursprünglichen NX-Massenauszügen noch ausstehend.
[R8] Schlatter, David. Passfedernachweis_DIN6892_MethodeB_ROTEX65_D55_16x10x63.sm, Stand 25.09.2026. Fortschreibung mit 47 mm tragender Länge, geometrisch berechneter tragender Höhe und aktualisiertem Betriebsansatz 175,767 Nm. Form A sowie Werkstoff- und Lastfaktoren wie im Blatt ausgewiesen. Korrigierter PDF-Export bereitgestellt am 20.10.2026. PDF-Rechenblatt im separaten Berechnungsanhang, Anlage C3, S. C-8 bis C-11.
[R9] Schlatter, David. Statische_Festigkeit_Grundplatte_Profilrahmen.sm und gleichnamige PDF-Leseversion, Stand 19.10.2026, aktualisiert mit a4,2 umlaufend und MARKS-Werkstoffblatt. Globale statische Ersatzmodelle; kein abgeschlossener Gesamtnachweis. Ergänzend Skizzen_Diagramme_Statische_Festigkeit.pdf und Einzelabbildungen. PDF-Rechenblatt im separaten Berechnungsanhang, Anlage C6, S. C-20 bis C-26.
[R10] Schlatter, David. Grundplatte_und_Standsicherheit_Aktuell_Layout.pdf, Rechenstand 19.10.2026; bereitgestellt am 20.10.2026. Ergänzender Stand mit 25-mm-Grundplatte. Berechnungsanhang, Anlage C7, S. C-27 bis C-31. Vom historischen Rechenauszug [R7] zu unterscheiden.PDF-Leseversion am 22.10.2026 neu gesetzt; Rechenansätze und Formeln der SMath-Quelldatei unverändert.
[R11] Schlatter, David. Schweissnahtnachweis_Profilrahmen_statisch.sm, Rechenstand 20.10.2026. Statischer Anschluss- und Schweissnahtvergleich mit den im Rechenblatt genannten Annahmen und Nachweisgrenzen. PDF-Leseversion am 22.10.2026 neu gesetzt, mit unveränderten Rechenansätzen und vollständig umbrochenen Formeln. Berechnungsanhang, Anlage C8, S. C-32 bis C-36.
[H1] Inmara. Lebensdauerberechnung GC348.88, Druckdatum 24.06.2025. Datenblätter/Lebensdauer GC348.88.pdf. Referenzfall mit 250 min^{-1}, Kurvengesetz MS und Kurvenwellenmoment 345 Nm.
[H2] Beckhoff Automation. AM8063-wLyz, Produktdaten und Bestellschlüssel; online geprüft 24.09.2026. Ergänzend bereitgestellte Betriebsanleitung am8000_am8500_ba_de.pdf. Herstellerquelle öffnen
[H3] Beckhoff Automation. AG2300-+SP180S-MC1-5, Produktdaten und Variantenübersicht; online geprüft 24.09.2026. Ergänzend bereitgestellte ag2300_ba_de.pdf und STEP-Hinweise. Herstellerquelle öffnen
[H4] KTR Systems. ROTEX Betriebs-/Montageanleitung KTR-N 40210 DE, Ausgabe 27, geprüft 17.07.2025, insbesondere Tabellen 4 und 11 sowie Montagehinweise. Verlagerungsgrenzen in Abschnitt 4.7, S. 17–18, Tabelle 11, erneut online geprüft 27.10.2026. Herstellerquelle öffnen
[H5] KTR / American Bureau of Shipping. Product Design Assessment 22-2280946-PDA, 23.08.2022, PDF-Seite 4: metrische Drehmomentkennwerte für 98 Shore A und Temperaturfaktoren. Online geprüft 24.09.2026; Verwendung als Kennwertquelle, keine Zertifizierung des Teststands. Herstellerquelle öffnen
[H6] SKF. 30219 Kegelrollenlager, bereitgestellte Produktdaten in Datenblätter/30219 - Kegelrollenlager _ SKF.pdf. Abmessungen, Tragzahlen und Berechnungsfaktoren.
[H7] Baumer Electric. OM30-L0350.HV.YIN, Artikel 11231079, Datenblatt vom 12.09.2025, Seiten 1–2. Datenblätter/Baumer_OM30-L0350.HV.YIN_DE_20250912_DS.pdf. Messdistanz, Wiederholpräzision, Linearitätsabweichung, Messfrequenz und IO-Link-Zykluszeit erneut am 27.10.2026 mit der Hersteller-Produktseite https://www.baumer.com/ch/de/om30-l0350-hv-yin/p/42847 abgeglichen.
[H8] ifm electronic. VVB001-01 DE-DE, Datenblatt vom 13.04.2023, Seiten 1–3; Anzahl Messachsen erneut im Herstellerdatenblatt, Seite 2, online geprüft am 27.10.2026. Messachse, Messbereiche und IO-Link. Herstellerquelle öffnen
[H9] Blickle. Katalogkapitel 12, Kompakt- und Heberollen, insbesondere gedruckte Seiten 495 und 507 sowie HRSP-GSPO-Tabelle. Datenblätter/Katalogkapitel_12 Blickle.pdf. Tragfähigkeit, Verstellweg und Einsatzbeschreibung.
[H10] Rittal / Beckhoff. Datenblätter/6748000-Standpult CX.pdf und CP2921-0000_Landscape.pdf. Die gelieferte CP2921-STEP-Datei trägt dagegen Portrait im Namen; die endgültige Orientierung ist bei der Integration abzugleichen.
[H11] Bijur Delimon International. SureFire II, Herstellerbeschreibung und Datenblatt «SureFire II Kompaktaggregat», Bestellhinweise: 2 l Behälter; 24 V DC; Option C mit zwei M12-Steckern für Versorgung und Signale. Abgerufen 25.09.2026. https://www.bijurdelimon.com/amfile/file/download/file/598/ . PDI/SLR und vollständige Bestellnummer für das Projekt noch nicht bezeichnet. Herstellerquelle öffnen

[H14] ifm electronic. TN2435 Temperatursensor mit Display. Bereitgestelltes Datenblatt TN2435-00_DE-DE.pdf, Ausgabe 13.04.2023, Seiten 1–4. Messbereich und Schnittstellen Seite 1–3, Anschlussbelegung Seite 4. Keine Öldruckmessung. Herstellerquelle öffnen
[H15] Beckhoff Automation. AM8062-wKyz, Herstellerproduktdaten für 400 V AC und Masszeichnung mit Bremse. Nennmoment 26,4 Nm, Spitzenmoment 74,1 Nm, Nenndrehzahl 1400 min^{-1} und Länge 351 mm; abgerufen 24.09.2026. Herstellerquelle öffnen
[H16] Beckhoff Automation. AM8064-wNyz, Herstellerproduktdaten für 400 V AC und Masszeichnung mit Bremse. Nennmoment 43,0 Nm, Spitzenmoment 148 Nm, Nenndrehzahl 1500 min^{-1} und Länge 438 mm; abgerufen 24.09.2026. Herstellerquelle öffnen
[H17] GWJ technology. eAssistant-Handbuch, Kapitel 16 Passfeder nach DIN 6892, insbesondere 16.3–16.5, 16.11 und 16.13. Tragende Längen, Höhen und Hinweise zum Nachweisumfang. Abgerufen 25.09.2026. https://www.eassistant.eu/fileadmin/dokumente/eassistant/etc/HTMLHandbuch/de/eAssistantHandbch16.html
[H18] SUCO. Druckschalter SW 24 mit integriertem Stecker. Bereitgestelltes Datenblatt Datenblatt-DS_SW24_IntStecker-DE.pdf, PDF-Seiten 2–4 (Katalogseiten 23–25). Membranausführung, Einstellbereich 1–10 bar; Öffner- und Schliesservarianten. Bestandskomponente älterer Anlagen; kundenspezifischer Rückbau nach dem Test.
[H19] ifm electronic. PV8003, Druckschalter mit IO-Link, PV-025-SEG14-UFRVG/US/ /. Bereitgestelltes Datenblatt PV8003-00_DE-DE.pdf, Ausgabe 13.04.2023, Seiten 1–4. Messbereich Seite 1, Schaltparameter Seite 2, IO-Link-Prozessdaten und Diagnosefunktionen Seite 3, Anschlüsse Seite 4.
[H20] MARKS GmbH. Werkstoffblatt 1.0037, Kurzname S235JR / St 37-2, 10037-datenblatt.pdf, S. 1, bereitgestellt am 19.10.2026; kein sichtbarer Ausgabestand. Richtwert ReH ≥ 225 MPa für Nenndicke >16 mm im Anlieferungszustand.
[H21] Pilz. PSEN cs3.1n / PSEN cs3.1 1 Unit, Artikel 541003. Produktdaten, abgerufen 21.10.2026. RFID-Transponder, Codierstufe gering, Set mit Betätiger, zwei OSSD-Ausgänge, fünfpoliger M12-Anschluss; nicht für Serienschaltung geeignet. Herstellerquelle öffnen
[H22] Rittal. Klemmenkasten KX 1502000 / KX 1502.000. Produktdaten, abgerufen 21.10.2026. Stahlblech, 200 × 200 × 120 mm; Gehäuse mit Deckel, ohne Montage- und Flanschplatte. Herstellerquelle öffnen
[H23] HASCO. Werkstoffdatenblatt 1.2312, Ausgabe D 11/17, Seite 1. Vergüteter Lieferzustand 280–325 HB, entsprechend etwa 950–1100 N/mm^2 Zugfestigkeit; Nitrieren zur Steigerung des Verschleisswiderstands möglich. Abgerufen am 22.10.2026. HASCO-Werkstoffdatenblatt öffnen
[L1] Spura, Christian; Wittel, Herbert; Jannasch, Dieter. Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung. 17. Auflage, Springer Vieweg, 2023. Kap. 3 S. 7/11, Nr. 1–3/56; Kap. 6 S. 37–41, Nr. 23–39. Gedruckte Quelle.
[L2] Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellenbuch, Ausgabe 2011. TB 1-1 a/i S. 1/4, TB 1-14 S. 27–28, TB 3-14 a S. 59 und TB 11-6 S. 124–125. Gedruckte Quelle. Ältere Lehrbuchausgabe; Formel- und Tabellennummern nicht zwischen Ausgaben gleichgesetzt.
[Z1] Adval Tech. Zusammenstellungszeichnung Vorschubgetriebe 82,5 mm, 10158336 Index D. Zeichnungen/10158336D_Z01.pdf.
[Z2] Adval Tech. Zusammenstellungszeichnung Vorschubgetriebe AE+, 10142123 Index E. Zeichnungen/10142123E_Z01_01.pdf.
[Z3] Adval Tech (Switzerland) AG / Schlatter, David. Fertiger Zeichnungssatz Getriebeteststand, bereitgestellt am 21.10.2026: Zeichnungen Getriebeteststand.zip, 37 einseitige PDF-Zeichnungen. Im Text verwendete Ausschnitte: 10235325 A (Lagerglocke), 10235195 A (Antrieb), 10235272 A (Kreuzscheibe), 10235515 A (Sensorhalter) und 10235622 A (Personenschutz), jeweils Blatt 1/1 und Freigabe 21.10.2026. Ergänzende Schnittstellenangaben aus 10235109 A, 10235111 A und 10235407 A. Die verkleinerten Ausschnitte erläutern die Konstruktion; massgebend für die Fertigung bleiben die vollständigen Originalzeichnungen.
[S1] TEKO. Richtlinien Diplomarbeit Herbst 2026, Seiten 1–2. Ergänzend: Diplomarbeiten-Info von Jürg Krebs und Bewertungsraster Diplomarbeit (beide nicht beigefügt). A4, Gliederung, Abgabetermine und Bewertungsanforderungen.
[S2] TEKO. Vorlagen/3_Eigenständigkeitserklärung.docx. Wortlaut der Erklärung am Schluss des Hauptteils.
[S3] EN ISO 13857. Tabelle 4, Normengrundlage zu Sicherheitsabständen beim Hindurchreichen durch regelmässige Öffnungen. Gedruckte Quelle; Ausgabejahr in den Quellenangaben nicht angegeben. Originalfassung und Anwendungsbedingungen vor Abschluss der Schutzkonstruktion ergänzen und prüfen.
[S4] ISO. ISO 12100:2010, Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction. Öffentliche Normbeschreibung, Abschnitte Abstract und Status; abgerufen 25.09.2026. Methodischer Bezug, keine Wiedergabe einer vollständigen Normprüfung. https://www.iso.org/standard/51528.html
[S5] Europäische Kommission. Leitfaden für die Anwendung der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, Auflage 2.2, Oktober 2019. Enthält Richtlinientext Anhang I, 1.1.2, 1.2.5 und 1.4.2.2; Erläuterungen insbesondere § 204, Druckseiten 225–227 und 245–246. Deutsche Fassung, bereitgestellt auf maschinenrichtlinie.de; abgerufen 25.09.2026. https://www.maschinenrichtlinie.de/fileadmin/dokumente/2019_10_24_leitfaden-fuer-anwendung-maschinenrichtlinie-2006-42-eg.pdf
Hilfsmittel beim Dokumentenneuaufbau: ChatGPT/Codex für Strukturierung, sprachliche Überarbeitung, Quellenabgleich und Word-Aufbau. Die fachliche Prüfung, persönliche Reflexion und Schlussfreigabe liegen beim Verfasser.

Anlagen und Dokumentenstand

Die Anlagen enthalten die Projektunterlagen und technischen Grundlagen. Zeitplan und Stückliste bilden Anlage A und Anlage B der separaten Gesamt-PDF V4.0. Tabelle 28 ordnet die Unterlagen.

Tabelle 28 Anlagenübersicht

Ordner	Inhalt	Einordnung
01_Projekt	Themeneingabe, Pflichtenheft und abgeschlossener Soll-Ist-Zeitplan (Anlage A)	Auftrag, Anforderungen und Planung
02_Design_Reviews	DR 1, DR 2, Abschluss-DR und handschriftliche Notizen	Entscheidungsnachweise
03_Berechnungen	Separate Anlage C: Antrieb, Kupplung, Passfeder, Welle, Lager, Grundplatte, Profilrahmen, Standsicherheit und Schweissnähte; frühere ROTEX-42-Vergleiche am Schluss	Zehn PDF-Rechenblätter; Quellenzuordnung auf dem Deckblatt. Nachweisstand gemäss Kapitel 7.
04_Datenblaetter	SKF, Baumer, Blickle, Inmara, Bedienkomponenten und Herstelleranleitungen	Technische Grundlagen
05_Zeichnungen_Bilder	Zeichnungssatz des Teststands, CAD-Ansichten, Stückliste (Anlage B) und Preisliste; Prüflingszeichnungen nicht beigefügt	Bild-, Schnittstellen- und Beschaffungsunterlagen
06_Schulvorgaben	Richtlinie und Eigenständigkeitserklärung	Formale Grundlagen

Die bereitgestellten Projektmodelle liegen unter 07_CAD/01_Projektmodelle_Zwischenstaende. Ihre STEP-Exportdaten stammen aus August und September 2026; sie sind als Zwischenstände gekennzeichnet. Die abschliessende Konstruktion ist durch die CAD-Ansichten, die Stückliste und den freigegebenen Zeichnungssatz dokumentiert. Ein CAD-Export des Oktober-Endstands ist im bereitgestellten Abgabepaket nicht enthalten. [P6, P7, P9, Z3]

Der fertige Zeichnungssatz liegt im Abgabepaket unter 05_Zeichnungen_Bilder/01_Zeichnungssatz_Getriebeteststand. Ausgewählte Ansichten sind in Kapitel 5, 6 und 8 eingefügt. Für die Fertigung gelten die vollständigen Originalzeichnungen. [Z3]

Anlage C enthält zehn Rechenblätter mit eigener Seitenzählung C-1 bis C-40. Die früheren ROTEX-42-Vergleiche stehen am Schluss. Das Deckblatt ordnet die Rechenblätter Kapitel 7 und dem Quellenverzeichnis zu. Grundlage sind die am 27.10.2026 bereitgestellten PDF-Exporte.

Diese Word-Fassung enthält den Hauptteil einschliesslich Quellenverzeichnis und Eigenständigkeitserklärung. Die Anlagen A bis K sind in der separaten Gesamt-PDF V4.0 enthalten.

Eigenständigkeitserklärung

Arbeiten, die nachweisbar in vollen Umfang oder in den wesentlichen Teilen unverändert oder ohne korrekte Quellenangabe übernommen werden, gelten als vorfabriziert und werden nicht bewertet.

Ich bestätige, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst und alle benutzten Quellen gekennzeichnet habe. Diese Arbeit wurde weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits einer Prüfungskommission vorgelegt.

Name / Vorname: David Schlatter

Ort / Datum: Solothurn 1.11.2026

Unterschrift: 

Wortlaut der bereitgestellten TEKO-Vorlage [S2]. Verwendete Quellen und Hilfsmittel sind im Quellenverzeichnis deklariert.

Anlagenverzeichnis

Die Seitenzahlen bezeichnen die Seitenfolge dieser PDF. Alle Einträge und Quellenkürzel im Quellenverzeichnis sind anklickbar. Die Originalseiten behalten zusätzlich ihre Dokument- oder Anlagenzählung.

Anlage A Zeitplan Soll-Ist 78

Anlage B Endgültige Stückliste 79

Anlage C Berechnungen 83

Anlage D Auftrag und Anforderungen 123

Anlage E Design Reviews 132

Anlage F Zeichnungssatz des Teststands 140

Anlage G Kostenkalkulation 180

Anlage H Herstellerbelege 190

Anlage I Historische CAD-Entwicklungsstände 234

Anlage J Ergänzende Projektbelege 236

Anlage K Schulvorgaben und Quellenstatus 246

Die Anlagen stehen in alphabetischer Reihenfolge. Die Eigenständigkeitserklärung steht am Schluss des Hauptteils vor diesem Anlagenverzeichnis.

Originale, unveränderte Auszüge und ausdrücklich bezeichnete Lesefassungen werden unterschieden. Die Quellen [L1], [L2] und [S3] liegen ausschliesslich in Buchform vor; Anlage K2 enthält die bibliografischen Nachweise.

Die Prüflingszeichnungen [Z1] und [Z2] sind auf Vorgabe des Verfassers nicht beigefügt. Anlage F enthält den Zeichnungssatz des Teststands.

Anlagenverzeichnis

Berechnungen, Projektunterlagen, Zeichnungen und Kosten. Der Zeichnungssatz besitzt in Anlage F ein eigenes Einzelverzeichnis.

C1 Auslegung Motor und Planetengetriebe 84
C2 Kupplungsauslegung ROTEX 65 87
C3 Passfedernachweis ROTEX 65 90
C4 Festigkeitsnachweis Welle und Kreuzscheibe 94
C5 Lebensdauerberechnung Kegelrollenlager SKF 30219 98
C6 Statische Festigkeit Grundplatte und Profilrahmen 102
C7 Grundplatte und Standsicherheit 109
C8 Schweissnahtnachweis Profilrahmen 114
C9 Kupplungsauslegung ROTEX 42 119
C10 Passfedernachweis ROTEX 42 121
D1 Themeneingabe 124
D2 Pflichtenheft V1.2 125
E1 Design Review 07.09.2026 133
E2 Design Review 15.09.2026 136
E3 Review-Notizen 15.09.2026 138
E4 Abschluss-Design-Review 139
F Anlage F Zeichnungssatz des Teststands 140
G1 Norm- und Kaufteile 181
G2 Preisbelege und Lieferumfang 182
G3 Fertigungskosten 185
G4 Fertigungsumfang und Annahmen 187

Anlagenverzeichnis

Herstellerbelege und ergänzende Quellen. H15 und H16 sind bei H2 in den technischen Daten der Motorbaureihe enthalten.

H1 Inmara | Lebensdauer GC348.88 192
H2 Beckhoff | AM8000, mit Fremdlüfter; H15/H16 eingeschlossen 193
H3 Beckhoff | AG2300, SP180, einstufig 197
H4 KTR | ROTEX Montage- und Betriebsdaten 198
H5 KTR / ABS | ROTEX Drehmomentkennwerte 199
H6 SKF | Kegelrollenlager 30219 200
H7 Baumer | OM30-L0350.HV.YIN 207
H8 ifm | Schwingungssensor VVB001 209
H9 Blickle | Kompakt- und Heberollen 210
H10 Rittal | Standpult CX 213
H10b Beckhoff | CP2921-0000 Landscape 216
H11 Bijur Delimon | SureFire II 217
H14 ifm | Temperatursensor TN2435 218
H17 GWJ | Passfeder, tragende Länge 222
H18 SUCO | Druckschalter SW 24 223
H19 ifm | Druckschalter PV8003 226
H20 MARKS | Werkstoff 1.0037 230
H21 Pilz | PSEN cs3.1n / PSEN cs3.1 231
H22 Rittal | Klemmenkasten KX 1502.000 232
H23 HASCO | Werkstoff 1.2312 233
Anlage I Historische CAD-Entwicklungsstände 234
Anlage J Ergänzende Projektbelege 236
Anlage K Schulvorgaben und Quellenstatus 246

Anlage A Zeitplan Soll-Ist

Abgeschlossener Zeitplan der Diplomarbeit mit Tagesbelegung, Stunden, Meilensteinen und Fixterminen. [P5]

Arbeitspakete	Soll / Ist	Stunden	04.09.26	05.09.26	06.09.26	07.09.26	08.09.26	09.09.26	10.09.26	11.09.26	12.09.26	13.09.26	14.09.26	15.09.26	16.09.26	17.09.26	18.09.26	19.09.26	20.09.26	21.09.26	22.09.26	23.09.26	24.09.26	25.09.26	26.09.26	27.09.26	28.09.26	29.09.26	30.09.26	01.10.26	02.10.26	03.10.26	04.10.26	05.10.26	06.10.26	07.10.26	08.10.26	09.10.26	10.10.26	11.10.26	12.10.26	13.10.26	14.10.26	15.10.26	16.10.26	17.10.26	18.10.26	19.10.26	20.10.26	21.10.26	22.10.26	23.10.26	24.10.26	25.10.26	26.10.26	27.10.26	28.10.26	29.10.26	30.10.26	31.10.26	01.11.26	02.11.26	03.11.26
		Fixtermine																																													DAP																	ABG	
M1 – Grundlagen und Anforderungen	Soll	42.0 h	6.0			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			6.0	1																																																				
	Ist	73.5 h	8.0	4.0	5.0	8.5	8.5	7.0	5.0	8.0	6.0	5.0	8.5																																																		
M2 – Konzept freigegeben	Soll	54.0 h												6.0	6.0	6.0	6.0			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			2																																											
	Ist	45.5 h												0.0	6.0	7.0	2.0			8.0	4.0	8.5	10.0																																															
M3 – Konstruktion abgeschlossen	Soll	90.0 h																								6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			3																				
	Ist	84.5 h																								3.0	5.0	2.5	4.0	8.0			8.0	8.0	4.0	7.0	5.5		4.0	7.0	4.5	6.0	0.0	8.0																						
M4 – Dokumentation und Abgabe	Soll	54.0 h																																																6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			4.0	4.0	4.0	4.0	3.0			5.0	4
	Ist	55.5 h																																															8.5	10.0	6.0	3.0	5.0			4.0	8.0	3.0	2.0	3.0			3.0	
Total	Soll	240.0 h	6.0			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			4.0	4.0	4.0	4.0	3.0			5.0	
	Ist	259.0 h	8.0			8.5	8.5	7.0	5.0	8.0			8.5		6.0	7.0	2.0			8.0	4.0	8.5	10.0				3.0	5.0	2.5	4.0	8.0			8.0	8.0	4.0	7.0	5.5		7.0	4.5	6.0		8.0			8.5	10.0	6.0	3.0	5.0			4.0	8.0	3.0	2.0	3.0			3.0	
Zeit																																																																

Legende	Arbeitspakete	Untergruppen	Meilensteine	Endtermine	Kontrolle
Arbeitspakete Soll-Stunden	M1 – Grundlagen und Anforderungen	Projektstart; Ausgangslage; Ist-Analyse; Anforderungen; Abgrenzung; Blackbox	1 Grundlagen und Anforderungen	14.09.2026 – Grundlagen bestätigt	
Arbeitspakete Ist-Stunden	M2 – Konzept freigegeben	Funktionsstruktur; Recherche; Varianten; Bewertung; Konzeptentscheid	2 Konzept freigegeben	25.09.2026 – Konzept freigegeben	
Meilensteine	M3 – Konstruktion abgeschlossen	Gesamtlayout; Berechnungen; Komponentenwahl; CAD; Design Review	3 Konstruktion abgeschlossen	16.10.2026 – Design Freeze	
Fixtermine	M4 – Dokumentation und Abgabe	Zeichnungen; Kosten; Sicherheit; Prüfanweisung; Dokumentation; Abgabe	4 Dokumentation und Abgabe	30.10.2026 – Abgabeentwurf	
Wochenende				02.11.2026 – Abgabe bis 17:00 Uhr	

BEDIENUNG: Nur die hellgrünen Ist-Felder in den Zeilen 5, 7, 9 und 11 ausfüllen. Die Summe pro Meilenstein steht in Spalte C; die gesamte geleistete Zeit steht in C13.

Abbildung 23 Abgeschlossener Zeitplan Soll-Ist

Anlage B Endgültige Stückliste

Baugruppe 10235107/A-Getriebeteststand, Stand 21.10.2026 SCDV. Die folgende Tabelle gibt die Einträge der beigefügten Stückliste in ihrer ursprünglichen Reihenfolge wieder. Die Einrückung kennzeichnet die Baugruppenstruktur; Mengen werden nur dort ausgeschrieben, wo sie im Original stehen. Die Zeilennummern verweisen auf das Excel-Blatt «Tabelle1». [P9]

Tabelle 29 Stückliste des Getriebeteststands gemäss CAD-Auszug vom 21.10.2026

Excel-Zeile	Stücklisteneintrag
2	10224820/A-Kleingehäuse KX 1502.000
3	10235108/A-Gestell
4	10235109/A-Befestigunsplatte
5	10235111/A-Grundplatte
6	10235112/A-Verstrebung
7	10235158/A-Verbindungsplatte
8	10235164/A-Halteplatte
9	10235411/A-Abdeckblech
10	10235491/A-Auflage x 2
11	N125227/A-M10 UT/FES 4.5 x 4
12	10235613/A-Verstrebung rechts
13	10235618/A-HRLSD-GTH 127K x 4
14	10235619/A-Rollenaufnahme x 4
15	10235971/A-Längsträger x 2
16	N125227/A-M10 UT/FES 4.5 x 7
17	10235977/A-Abdeckung Links
18	10235979/A-Querträger
19	N125227/A-M10 UT/FES 4.5 x 3
20	10235981/A-Abdeckung Rechts
21	211054/C-ZYL.SCHR-DIN912-M8x16 x 22
22	211074/C-ZYL.SCHR-DIN912-M10x50/32 x 25
23	211088/C-ZYL.SCHR-DIN912-M12x80/36 x 2
24	211099/C-ZYL.SCHR-DIN912-M16x50 x 2

Excel-Zeile	Stücklisteneintrag
25	211100/C-ZYL.SCHR-DIN912-M16x60 x 12
26	211279/A-Scheibe BN737 - 8,4 x 22
27	211386/B-Zylinderstift DIN6325-16x80 x 4
28	6002236/C-Z.Stift m.Gew. 12x80 / M6 x 2
29	N054784/C-ZYL.SCHR-DIN912-M16x55 x 5
30	N098234/C-ZYL.SCHR-DIN912-M16x35 x 16
31	V120415/C-Z.Stift m.Gew. 12x120 / M6 x 2
32	10235134/A-Getriebe komplett
33	10235132/A-Vorschubgetriebe AE+ Teststand
34	10235135/A-Vorschubwagen AECompact vormontiert Teststand
35	10141232/A-Abdichtschraube x 4
36	10223650/A-Verbindungsstange
37	10223710/A-TDSK20_270_45_45_G3 x 2
38	10223731/A-KWSE20_HL_100_900_100_V1_G3 x 2
39	10235161/A-Führungsplatte
40	10235163/A-Vorschubwagenkupplung
41	10235500/A- OM30-L0350.HV.YIN
42	10235515/A-Sensorhalter
43	104677/A-Sechskantschraube M6x40 m.Schaft x 4
44	211028/C-ZYL.SCHR-DIN912-M4x25 x 2
45	211036/C-ZYL.SCHR-DIN912-M5x30/20 x 16
46	211058/C-ZYL.SCHR-DIN912-M8x35 x 2
47	6003343/A-O-Ring d 32 x 1,5 x 4
48	A004670/A-Anschlussschraube_5_16_24 x 2
49	A004696/A-Rohranschlus_winklig x 2
50	A051201/A-Dichtungshuelse_ø4/6x4 x 2
51	N001576/A-TG 3100220 x 4
52	N001577/A-Nadellager_RNA6903 x 2

Excel-Zeile	Stücklisteneintrag
53	N084776/C-Z.Stift m.Gew. 6x24 / M4 x 4
54	N090947/C-ZYL.SCHR-DIN912-M12x110/36 x 4
55	N098910/A-Mutter BN 3712 - M20 x 1,5 L
56	T094747/A-Schnell_Kupplung M6x1 x 2
57	V003524/A-Mutter BN 137 - M20 x 1,5
58	Z001899/A-Gleitscheibe x 2
59	Z043014/F-Achse x 2
60	Z076992/E-Lasche rechts
61	Z076994/A-Lasche links
62	10235191/A-Zentralschmierung Getriebeteststand
63	6004832/A-Schmieraggregat 2 lt
64	6004962/A-M12-5pol-f0°-freies Ltg-E_Lxxxx x 2
65	10235195/A-Antrieb
66	10235392/A-AM8063-0LHB
67	10235393/A-AG2300-+SP180S-MC1-5-0X0-F6
68	10235407/A-Haltekonsole
69	10235409/A-Verstrebung x 2
70	10235648/A-Rotex_65_d1_55H7_d2_55H7
71	211071/C-ZYL.SCHR-DIN912-M10x30 x 4
72	211099/C-ZYL.SCHR-DIN912-M16x50 x 4
73	N084565/C-ZYL.SCHR-DIN912-M12x45 x 4
74	10235272/A-Kreuzscheibe
75	10235325/A-Lagerglocke
76	10235326/A-Spannmutter
77	10235327/A-Distanzring
78	10235432/A-VVB301
79	10235492/A-Ölwanne Getriebe
80	10235493/A-Boden

Excel-Zeile	Stücklisteneintrag
81	10235494/A-Seitenwand x 2
82	10235622/A-Personenschutz
83	10235621/A-Haube 1
84	10235623/A-Haube 2
85	10235631/A-Deckel 1
86	10235632/A-Deckel 2
87	10235652/A-Abdeckung x 2
88	211027/C-ZYL.SCHR-DIN912-M4x20 x 2
89	6004565/C-ZYL.SCHR-DIN912-M4x18 x 2
90	6004935/A-Sich-Schalter PSEN cs3.1n 1switch M12
91	6004936/A-Sich-Schalter PSEN cs3.1 1 actuator
92	N054603/A-DIN985_M4x0,7 x 4
93	10235649/A-Passfeder 16x10x63
94	207132/A-DIN985_M8x1,25 x 2
95	211042/C-ZYL.SCHR-DIN912-M6x20 x 3
96	211054/C-ZYL.SCHR-DIN912-M8x16 x 10
97	211083/C-ZYL.SCHR-DIN912-M12x40 x 16
98	211192/B-Senkschraube - M 5 x 25
99	211269/A-DIN985_M12x1,75 x 16
100	A004682/A-Verschraubung 6mm-G1/8 x 2
101	N078907/A-Kegelrollenlager_x_95/170x32 x 2
102	P078915/A-Simmerring BABSL 150x180x8,5
103	V006102/C-ZYL.SCHR-DIN912-M20x90/52 x 8

Anhang C - Berechnungen

Zusammenstellung der zehn aktualisierten Rechenblätter vom 27.10.2026. Die früheren ROTEX-42-Nachweise stehen als Vergleich am Schluss.

Anlage	Rechenblatt	Quelle	Seiten
C1	Auslegung Motor und Planetengetriebe	R1	C-2 - C-4
C2	Kupplungsauslegung ROTEX 65	R3	C-5 - C-7
C3	Passfedernachweis ROTEX 65	R8	C-8 - C-11
C4	Festigkeitsnachweis Welle und Kreuzscheibe	R5	C-12 - C-15
C5	Lebensdauerberechnung Kegelrollenlager SKF 30219	R6	C-16 - C-19
C6	Statische Festigkeit Grundplatte und Profilrahmen	R9	C-20 - C-26
C7	Grundplatte und Standsicherheit	R10	C-27 - C-31
C8	Schweissnahtnachweis Profilrahmen	R11	C-32 - C-36
C9	Kupplungsauslegung ROTEX 42	R2	C-37 - C-38
C10	Passfedernachweis ROTEX 42	R4	C-39 - C-40

Motor- und Planetengetriebeauslegung - Getriebeteststand

Auslegung Motor und Planetengetriebe - aktueller Stand

Freigegebene Einheit: Beckhoff AM8063-0LHB mit Planetengetriebe AG2300-SP180S-MC1-5. Es wird nur der aktuelle Lastfall mit 7,5 kg und 280 min^-1 bewertet.

Das STEP-Modell der rotierenden Teile enthält 96,5 kg, aber keine Kupplung. Sein um die Ø55-Achse berechnetes Trägheitsmoment beträgt 0,465993 kg m². Die Kreuzscheibe/Welle ist bereits Bestandteil dieses Gesamtmodells und wird nicht doppelt addiert.

1. Aktuelle Betriebs- und Herstellerdaten

pi0 := 3.14159265359 = 3.14159 Kreiszahl [-]

n2 := 280 = 280 Abtriebsdrehzahl [min^-1]

tRamp := 10 = 10 Hochlauf-/Bremszeit [s]

zStop := 6 = 6 maximale Stopps pro Stunde [h^-1]

iG := 5 = 5 Getriebeübersetzung [-]

etaG := 0.985 = 0.985 Getriebewirkungsgrad [-]

MNMot := 33.9 = 33.9 Motor-Nenndrehmoment [Nm]

M0Mot := 41.4 = 41.4 Motor-Stillstandsdrehmoment [Nm]

MmaxMot := 111 = 111 Motor-Spitzendrehmoment [Nm]

nNMot := 1400 = 1400 Motor-Nenndrehzahl [min^-1]

PNMot := 4.97 = 4.97 Motor-Nennleistung [kW]

MNG := 379 = 379 Getriebe-Nennabtriebsdrehmoment [Nm]

MBG := 880 = 880 Getriebe-Beschleunigungsmoment [Nm]

nNG := 4500 = 4500 Getriebe-Nenneingangsdrehzahl [min^-1]

nmaxG := 6000 = 6000 Getriebe-Maximaleingangsdrehzahl [min^-1]

2. Aktueller Kurvenlastfall

Das Kurvenwellen-Spitzenmoment wird aus der vorhandenen Inmara-Referenz 22 kg / 250 min^-1 auf den aktuellen Fall 7,5 kg / 280 min^-1 mit J*n² skaliert. Der Wert bleibt eine nachvollziehbare Hochrechnung, bis eine neue Drehmoment-Zeit-Kurve vorliegt.

mB := 7.5 = 7.5 bewegte Masse [kg]

lH := 0.43089 = 0.43089 Hebelarm [m]

JH := 0.4 = 0.4 Hebeleigenträgheit [kg m²]

Sindex := 24.545 = 24.545 Schrittzahl [-]

betaGrad := 101 = 101 Indexwinkel [Grad]

Cv := 1.76 = 1.76 Geschwindigkeitskennwert modifizierte Sinusoide [-]

mRef := 22 = 22 Referenzmasse [kg]

nRef := 250 = 250 Referenzdrehzahl [min^-1]

Motor- und Planetengetriebeauslegung - Getriebeteststand

$McRef := 345 = 345$ Inmara-Spitzenmoment an der Kurvenwelle [Nm]

$MfCam := 1 = 1$ reduziertes Zusatz-/Reibmoment [Nm]

$JeB := mB \cdot lH^2 + JH = 1.7925$ bewegungsseitiges Trägheitsmoment [kg m²]

$JeRef := mRef \cdot lH^2 + JH = 4.48466$ Referenz-Trägheitsmoment [kg m²]

$scaleB := \frac{JeB}{JeRef} \cdot \frac{n2}{nRef}^2 = 0.50138$ Skalierungsfaktor J*n² [-]

$McB := MfCam + McRef - MfCam \cdot scaleB = 173.474$ aktuelles Kurvenwellen-Spitzenmoment [Nm]

3. Massenträgheiten und Bewegung

$JSTEP := 0.46599284869 = 0.46599$ STEP-Trägheitsmoment der 96,5-kg-Baugruppe [kg m²]

$JK := 0.00476 = 0.00476$ Kupplungsträgheit, Katalognäherung [kg m²]

$JM := 0.00349 = 0.00349$ Motorrotor mit Haltebremse [kg m²]

$JG := 0.00356 = 0.00356$ Getriebeeingang [kg m²]

$phiStep := \frac{2 \cdot pi0}{Sindex} = 0.25599$ Abtriebswinkel je Schritt [rad]

$beta := \frac{betaGrad \cdot pi0}{180} = 1.76278$ Indexwinkel [rad]

$JeqMax := JeB \cdot \frac{phiStep}{beta} \cdot Cv^2 = 0.11709$ max. äquivalente Folgerträgheit an der Kurvenwelle [kg m²]

$JAntrieb2 := JM + JG \cdot iG^2 = 0.17625$ Motor und Getriebe auf Abtrieb bezogen [kg m²]

$Jges2 := JSTEP + JK + JeqMax + JAntrieb2 = 0.76409$ maximale Gesamtträgheit auf Abtrieb [kg m²]

$omega2 := \frac{2 \cdot pi0 \cdot n2}{60} = 29.32153$ Abtriebswinkelgeschwindigkeit [rad/s]

$alpha2 := \frac{omega2}{tRamp} = 2.93215$ Winkelbeschleunigung der 10-s-Rampe [rad/s²]

4. Erforderliche Drehmomente

Die abtriebsseitige Last wird mit dem Getriebewirkungsgrad auf die Motorseite umgerechnet. Das Beschleunigungsmoment von Motorrotor und Getriebeeingang wird getrennt addiert, damit es nicht fälschlich zweimal durch den Getriebewirkungsgrad läuft.

$Mlast2 := McB + JSTEP + JK + JeqMax \cdot alpha2 = 175.19764$ Kupplungs-/Lastmoment einschliesslich Rampe [Nm]

$Mrot1 := JM + JG \cdot iG \cdot alpha2 = 0.10336$ Beschleunigungsmoment von Rotor und Getriebe [Nm]

$MerfMot := \frac{Mlast2}{iG \cdot etaG} + Mrot1 = 35.67648$ erforderliches Motor-Spitzendrehmoment [Nm]

$Merf2 := MerfMot \cdot iG \cdot etaG = 175.70668$ äquivalentes erforderliches Abtriebsmoment [Nm]

$SMotMax := \frac{MmaxMot}{MerfMot} = 3.11129$ Reserve Motor-Spitzendrehmoment [-]

$SGN := \frac{MNG}{Merf2} = 2.157$ Reserve Getriebe-Nennmoment [-]

$SGB := \frac{MBG}{Merf2} = 5.00835$ Reserve Getriebe-Beschleunigungsmoment [-]

$n1 := n2 \cdot iG = 1400$ Motordrehzahl [min^-1]

5. Bremsung und Bremsenergie

$Ekin := 0.5 \cdot Jges2 \cdot omega2^2 = 328.46526$ maximale kinetische Energie je Stopp [J]

Motor- und Planetengetriebeauslegung - Getriebeteststand

$PStopM := \frac{Ekin \cdot zStop}{3600} = 0.54744$ mittlere Stoppleistung bei 6 Stopps/h [W]

$Mbrems2Max := MmaxMot \cdot iG \cdot etaG = 546.675$ maximales mechanisches Bremsmoment am Abtrieb [Nm]

$tStopIdeal := \frac{Jges2 \cdot omega2}{Mbrems2Max} = 0.04098$ theoretische Untergrenze ohne entgegenwirkende Kurvenlast [s]

$tStopKons := \frac{Jges2 \cdot omega2}{Mbrems2Max - McB} = 0.06003$ theoretische Untergrenze mit Kurvenlast gegen die Bremsung [s]

Die theoretischen Stoppzeiten sind keine Sollwerte. Für den Betrieb bleibt die kontrollierte 10-s-Rampe massgebend. Die Haltebremse des AM8063 ist keine Betriebsbremse.

6. Ergebnis und offene Freigaben

Aktueller Lastfall: erforderliches Motor-Spitzendrehmoment 35.68 Nm < 111 Nm; Getriebeabtrieb 175.71 Nm < 379 Nm; Motordrehzahl 1400 min^-1 = Nenndrehzahl. Der mechanische Spitzen- und Drehzahlnachweis ist erfüllt.

Quellen

1) Beckhoff AM8063-wLyz und Betriebsanleitung AM8000/AM8500. 2) Beckhoff AG2300-SP180S-MC1-5 Herstellerdaten. 3) Inmara GC348.88, modifizierte Sinusoide, Referenz 22 kg / 250 min^-1. 4) STEP 10235107_A-Getriebeteststand_1(1).stp, 96,5 kg, Drehachse Ø55. 5) KTR ROTEX-Katalog für Kupplungsträgheit.

Kupplungsauslegung ROTEX 65 - Getriebeteststand

Auslegung Kupplung - KTR ROTEX 65 / T-PUR 98 ShA

Ausführung: ROTEX 65, Zahnkranz T-PUR 98 ShA, zwei GJL-Standardnaben (Bauteil 1),beidseitig Ø55 H7 mit Passfedernut. CAD-Modell und Passfeder werden separat angepasst.

1. Eingaben und Betriebsfaktoren

$MNMot := 33.9 = 33.9$ Motor-Nenndrehmoment [Nm]

$MmaxMot := 111 = 111$ Motor-Spitzendrehmoment [Nm]

$iG := 5 = 5$ Getriebeübersetzung [-]

$etaG := 0.985 = 0.985$ Getriebewirkungsgrad [-]

$n2 := 280 = 280$ Drehzahl [min^-1]

$zStop := 6 = 6$ Stopps pro Stunde [h^-1]

$zSchalt := 12 = 12$ Start- und Bremsvorgänge pro Stunde [h^-1]

$thetaU := 35 = 35$ maximale Umgebungstemperatur [Grad C]

$KA := 1.5 = 1.5$ Anwendungsfaktor, bisheriger Projektzuschlag [-]

$St := 1.2 = 1.2$ konservativ beibehaltener Temperaturfaktor [-]

$Sz := 1 = 1$ Schalthäufigkeitsfaktor bei 12/h [-]

$Sf := 1 = 1$ übernommener Faktor im periodischen Lastfall [-]

$TKN := 940 = 940$ Kupplungs-Nenndrehmoment [Nm]

$TKmax := 1880 = 1880$ Kupplungs-Maximaldrehmoment [Nm]

$TKW := 244 = 244$ zulässiges Wechseldrehmoment, Katalogwert [Nm]

$PKW := 18 = 18$ zulässige Dämpfungsleistung bei 30 Grad C [W]

2. Lastfall 1 - Nenndrehmoment

Das Motor-Nenndrehmoment am Getriebeabtrieb wird mit den bisherigen Projektfaktoren $KA = 1.5$ und St = 1.2 gegenüber dem Herstellergrenzwert TKN geprüft.

$TN2 := MNMot \cdot iG \cdot etaG = 166.9575$ Motor-Nenndrehmoment am Abtrieb [Nm]

$TKerfN := TN2 \cdot KA \cdot St = 300.5235$ erforderliches Kupplungs-Nenndrehmoment [Nm]

$SNenn := \frac{TKN}{TKerfN} = 3.12788$ Reserve im Nenndrehmomentnachweis [-]

Lastfall 1 erfüllt: 300.52 Nm < 940 Nm; Reserve 3.13.

Kupplungsauslegung ROTEX 65 - Getriebeteststand

3. Lastfall 2 - aktuell berechnetes Lastspitzenmoment

Kurvenlast und Rampenbeschleunigung wie bisher; zusätzlich wird die volle Kupplungs-trägheit näherungsweise mit 2*0.01240+0.00042 = 0.02522 kg m² angesetzt [4]. Katalog-Ersatzwert Dieser ist nach der CAD-Anpassung zu prüfen.

$McB := 173.473998702 = 173.474$ aktuelles Kurvenwellen-Spitzenmoment [Nm]

$JSTEP := 0.46599284869 = 0.46599$ nachgeschaltete STEP-Trägheit [kg m²]

$JeqMax := 0.1170900034 = 0.11709$ max. äquivalente Folgerträgheit [kg m²]

$alpha2 := 2.93215314335 = 2.93215$ Winkelbeschleunigung 10-s-Rampe [rad/s²]

$TKakt := McB + JSTEP + JeqMax + 0.02522 \cdot alpha2 = 175.25764$ Kupplungs-Spitzenmoment [Nm]

$TKaktErf := TKakt \cdot St = 210.30916$ temperaturbewertetes Lastspitzenmoment [Nm]

$SaktMax := \frac{TKmax}{TKaktErf} = 8.93922$ Reserve gegenüber TKmax [-]

Lastfall 2 erfüllt: 210.31 Nm < 1880 Nm; Reserve 8.94.

4. Lastfall 3 - maximales vom Antrieb erzeugbares Moment

Dieser Fehler-/Grenzlastfall setzt das volle Motor-Spitzendrehmoment an. Er ist nicht das normale 10-s-Bremsmoment.

$T2MotMax := MmaxMot \cdot iG \cdot etaG = 546.675$ maximal erzeugbares Abtriebsmoment [Nm]

$TKerfMax := T2MotMax \cdot St \cdot Sz = 656.01$ erforderliches Kupplungs-Maximalmoment [Nm]

$SMax := \frac{TKmax}{TKerfMax} = 2.86581$ Reserve im Maximalmomentnachweis [-]

Lastfall 3 erfüllt: 656.01 Nm < 1880 Nm; Reserve 2.87.

5. Periodisches Wechseldrehmoment - konservative Vorprüfung

TWprov = McB ist der festgelegte Ersatzwert aus der J*n²-Hochrechnung der Inmara-Last kg / (22 250 min^-1 auf 7.5 kg / 280 min^-1) [1]. Die Verwendung des vollen Spitzenwerts Amplitude als ist eine Projektannahme, kein Roloff/Matek-Tabellenwert.

$TWprov := McB = 173.474$ provisorische Wechseldrehmomentamplitude [Nm]

$TKWerf := TWprov \cdot St \cdot Sf = 208.1688$ erforderliches zulässiges Wechseldrehmoment [Nm]

$SW := \frac{TKW}{TKWerf} = 1.17213$ provisorische Wechselmomentreserve [-]

$TWzul := \frac{TKW}{St \cdot Sf} = 203.33333$ max. zulässige tatsächliche Wechseldrehmomentamplitude [Nm]

Der periodische Ersatzlastfall ist erfüllt: 208.17 Nm < 244 Nm; Reserve 1.17. Unter den angesetzten Faktoren gilt TWzul = 244/(1.2*1) = 203.33 Nm. Dies ist kein Nachweis tatsächlicher Resonanzüberhöhungen oder Dämpfungsverluste.

Kupplungsauslegung ROTEX 65 - Getriebeteststand

6. Ergebnis

ROTEX 65 erfüllt Nennmoment, aktuelle Lastspitze, Antriebsgrenzmoment und das festgelegte Ersatz-Wechselmoment. Massgebend ist SW = 1.17. Die tatsächliche Dämpfungsleistung ist nicht berechnet. CAD-Einbau, Ausrichtung und Passfederverbindungen separat zu prüfen. Ø55 bleibt an beiden Wellenenden erhalten.

Quellen

[1] Projekt: Auslegung_Motor_Planetengetriebe_AM8063_AG2300_i5(4).sm, 08.09.2026. KTR: [2]
ABS-PDA 22-2280946, 23.08.2022, PDF-S. 2/4 (98 ShA; 940/1880/244 Nm). KTR: [3]
ROTEX-Montageanleitung 40210 DE, Ausgabe 27, 17.07.2025, Tabelle 4. KTR: [4]
01_flexible_jaw_bin_bush_ROTEX.pdf, S. 59 (undatierte Trägheitsnäherung).

Passfedernachweis ROTEX 65 – DIN 6892 Methode B

Fortschreibung des bisherigen Rechenansatzes. Prüfstandswelle Ø55 mm, Form A 16 × 10 × 63 mm. Eingaben in mm und N/mm², Drehmomente in Nm; Umrechnung in Nmm mit Faktor 1000. Stand 25.09.2026.

1. Geometrie und tragende Fläche

Die rundstirnigen Enden der bisherigen Form A werden für die tragende Länge abgezogen. Der Rechenfall setzt die Überdeckung des gesamten geraden Flankenbereichs voraus.

$d := 55 = 55$ Wellendurchmesser [mm]

$b := 16 = 16$ Passfederbreite [mm]

$h := 10 = 10$ Passfederhöhe [mm]

$t1 := 6 = 6$ Wellennuttiefe aus bisherigem Ansatz [mm]

$lPF := 63 = 63$ Neue Passfederlänge, Form A [mm]

$rPF := 0.4 = 0.4$ Passfeder-Kantenabzug, bisheriger Ansatz [mm]

$s1 := 0.4 = 0.4$ Wellen-Nutkantenabzug, bisheriger Ansatz [mm]

$s2 := 0.4 = 0.4$ Naben-Nutkantenabzug, bisheriger Ansatz [mm]

$ltr := lPF - b = 47$ Tragende Länge [mm]

$ltrd := \frac{ltr}{d} = 0.85455$ Längenverhältnis [-]

Die Kantenabzüge werden aus der bisherigen Rechnung übernommen; sie sind keine aus dem Bild gemessenen Werte.

2. Tragende Höhen und Lastfaktoren

Die tragenden Höhen werden aus der Geometrie berechnet. Für die gemeinsame Pressungsprüfung wird die kleinere Höhe verwendet. Damit entfällt die bisherige Rundung auf 3,9 mm. [1, Abschnitt 16.4]

$q := \frac{d - \sqrt{d^2 - b + 2 \cdot s1^2}}{2} = 1.31432$ Geometrischer Höhenanteil [mm]

$htrW := t1 - rPF - s1 - q = 3.88568$ Tragende Höhe an der Welle [mm]

$htrN := h - t1 - rPF - s2 + q = 4.51432$ Tragende Höhe an der Nabe [mm]

$htr := \min(\text{stack}(htrW; htrN)) = 3.88568$ Kleinere Höhe als gemeinsamer Ansatz [mm]

$Atr := htr \cdot ltr = 182.62711$ Konservativ angesetzte Tragfläche [mm²]

Lastfaktoren werden zur Vergleichbarkeit beibehalten. Kλ = 1 bleibt ein Projektansatz; die neue Naben- und Lasteinleitungsgeometrie ist dafür noch im Detail abzugleichen.

$nPF := 1 = 1$ Anzahl Passfedern [-]

$phiPF := 1 = 1$ Traganteilfaktor [-]

$Klambda := 1 = 1$ Lastverteilungsfaktor, übernommener Ansatz [-]

$KR := 1 = 1$ Keine Entlastung durch Reibschluss [-]

$fW := 0.5 = 0.5$ Konservativer Lastrichtungswechselfaktor [-]

$fL := 1.3 = 1.3$ Faktor nur für seltene Lastspitzen [-]

3. Werkstoffansätze und zulässige Pressung

Unverändert: Welle C45E, Passfeder C45K, Nabe mit bisherigem GJL-250-Ansatz. KTR nennt GJL für die Standardbaugrösse 65. Die konkrete Werkstoffgüte und Bestellausführung bleiben abzugleichen. [2]

$ReW := 305 = 305$ Streckgrenze Welle, bisheriger Ansatz [N/mm²]

$RePF := 305 = 305$ Streckgrenze Passfeder, bisheriger Ansatz [N/mm²]

$RmNabe := 250 = 250$ Naben-Zugfestigkeit, bisheriger Ansatz [N/mm²]

$SB := 2 = 2$ Bisheriger konservativer Divisor [-]

Die Grenzwerte bleiben unveränderte Projektansätze: Welle 1,2 × ReW, Passfeder RePF, Nabe RmNabe / SB. Die Faktoren und der Divisor SB = 2 sind keine vollständige Herleitung nach DIN 6892. Der kleinere Grenzwert wird für den gemeinsamen konservativen Pressungsvergleich verwendet. [1, Abschnitt 16.5 und 16.12]

$pzulW := 1.2 \cdot ReW = 366$ Übernommener Wellengrenzwert [N/mm²]

$pzulPF := RePF = 305$ Übernommener Passfedergrenzwert [N/mm²]

$pzulNabe := \frac{RmNabe}{SB} = 125$ Bisheriger Naben-Grenzwert [N/mm²]

$pzul := \min(\text{stack}(\text{stack}(pzulW; pzulPF); pzulNabe)) = 125$ Massgebender Projektgrenzwert [N/mm²]

4. Betrieb und konservativer Richtungswechsel

Das neue Lastmodell in Kapitel 7.3 ergibt 175,767 Nm als äquivalentes Abtriebsmoment. Dieser Wert wird konservativ verwendet; er liegt über der dortigen Kupplungslast von 175,258 Nm.

Ein gemessener Lastverlauf liegt nicht vor.

$Teq := 175.767 = 175.767$ Aktualisierter Lastansatz ROTEX 65 [Nm]

$peq := \frac{2 \cdot Teq \cdot 1000 \cdot Klambda \cdot KR}{d \cdot htr \cdot ltr \cdot nPF \cdot phiPF} = 34.99769$ Pressung im Betrieb [N/mm²]

$pzulDyn := fW \cdot pzul = 62.5$ Grenzwert bei Richtungswechsel [N/mm²]

$SDyn := \frac{pzulDyn}{peq} = 1.78583$ Verhältnis bei Richtungswechsel [-]

$SStatReg := \frac{pzul}{peq} = 3.57166$ Verhältnis im statischen Betriebsfall [-]

Die beiden Verhältnisse liegen über 1. Die Rechenbedingungen sind unter den angegebenen Geometrie-, Werkstoff- und Lastannahmen erfüllt. Das ist keine Gesamtfreigabe der Maschine.

5. Volles Motorspitzenmoment

$MmotMax := 111 = 111$ Motor-Spitzenmoment [Nm]

$iG := 5 = 5$ Getriebeübersetzung [-]

$etaG := 0.985 = 0.985$ Übernommener Wirkungsgrad [-]

$TmaxFehler := MmotMax \cdot iG \cdot etaG = 546.675$ Motor-Grenzmoment am Abtrieb [Nm]

Hier wird die volle Motorspitze geprüft. Der Faktor fL = 1,3 gilt nur für die im bisherigen Modell als selten eingestuften Lastspitzen.

$pmaxFehler := \frac{2 \cdot TmaxFehler \cdot 1000 \cdot Klambda \cdot KR}{d \cdot htr \cdot ltr \cdot nPF \cdot phiPF} = 108.85071$ Pressung im Motor-Grenzlastfall [N/mm²]

$pzulFehler := fL \cdot pzul = 162.5$ Zulässig bei seltener Lastspitze [N/mm²]

$SFehler := \frac{pzulFehler}{pmaxFehler} = 1.49287$ Verhältnis bei seltener voller Motorspitze [-]

$SGrund := \frac{pzul}{pmaxFehler} = 1.14836$ Vergleich ohne Seltenheitsfaktor [-]

Die Pressung liegt nun auch unter 125 N/mm². Der statische Vergleich ohne Seltenheitszuschlag ist damit erfüllt; daraus folgt kein Dauerfestigkeitsnachweis bei ständig wechselnder voller Motorspitze.

6. Vergleich der Passfederlängen

Für den reinen Längeneffekt werden beide Längen mit gleicher Höhe, gleichem Drehmoment und gleichen Faktoren verglichen. Die historischen Werte sind in Kapitel 7.5 separat ausgewiesen.

$lAlt := 50 = 50$ Bisherige Passfederlänge [mm]

$ltrAlt := lAlt - b = 34$ Bisherige tragende Länge [mm]

$AtrAlt := htr \cdot ltrAlt = 132.11323$ Vergleichsfläche mit gleicher Höhe [mm²]

$FlPlus := \frac{Atr}{AtrAlt} - 1 \cdot 100 = 38.23529$ Zunahme der Tragfläche [%]

$pMinus := 1 - \frac{ltrAlt}{ltr} \cdot 100 = 27.65957$ Pressungsabnahme bei gleicher Last [%]

$SPlus := \frac{ltr}{ltrAlt} - 1 \cdot 100 = 38.23529$ Zunahme des Reserveverhältnisses bei gleicher Last [%]

Die neue Passfeder vergrössert den geraden tragenden Flankenbereich. Die um 10 mm zurückgesetzte Konsole schafft axialen Einbauraum für die grössere Kupplung; sie geht nicht als Tragflächenzuschlag in den Passfedernachweis ein.

Wellenfestigkeitsnachweis - Getriebeteststand

Festigkeitsnachweis Welle/Kreuzscheibe

Abgleich mit STEP 10235107_A-Getriebeteststand_2.stp: Die Welle/Kreuzscheibe ist geometrisch identisch enthalten. Die SKF-30219-Druckpunkte der X-Anordnung werden ausschliesslich zur Bestimmung der Lagerreaktionen und des Wellenbiegemoments verwendet. Die Lagerlebensdauer wird in einer eigenen SMath-Datei nachgewiesen.

Die zwei Aussparungen übertragen das Drehmoment über tangentiale Kontaktkräfte. Bei gleicher, entgegengesetzter Belastung bilden sie ein reines Kräftepaar und erzeugen keine resultierende Lager-Radialkraft. Für den Festigkeitsnachweis wird zusätzlich konservativ vollständige Lastübertragung über nur eine Aussparung gerechnet.

1. STEP-Geometrie und Lagerpositionen

$pi0 := 3.14159265359 = 3.14159$ Kreiszahl [-]

$Lges := 245 = 245$ Gesamtlänge des STEP-Körpers [mm]

$DScheibe := 200 = 200$ maximaler Scheibendurchmesser [mm]

$dGross := 95 = 95$ Lagersitzdurchmesser [mm]

$d := 55 = 55$ kritischer Nenndurchmesser [mm]

$Ld55 := 74 = 74$ zylindrische Ø55-Länge [mm]

$LNut := 70 = 70$ Länge der im STEP erkannten Passfedernut [mm]

$t1 := 6 = 6$ Wellennuttiefe [mm]

$mSTEP := 17.1576921672 = 17.15769$ Masse Welle/Kreuzscheibe bei 7850 kg/m³ [kg]

$xF := 20.5 = 20.5$ Kraftangriffsebene ab Scheibenstirn [mm]

$xRueckenA := 45 = 45$ breite Stirnseite Lager A ab Scheibenstirn [mm]

$xRueckenB := 129 = 129$ breite Stirnseite Lager B ab Scheibenstirn [mm]

$aSKF := 33 = 33$ SKF-Abstand Stirnseite bis Druckpunkt [mm]

$rFlaeche := 80.603 = 80.603$ Flächenschwerpunkt der Kontaktwand [mm]

$rEff := 64.5 = 64.5$ konservativer kleinster wirksamer Hebelarm [mm]

$xLA := xRueckenA + aSKF = 78$ Druckpunkt Lager A ab Scheibenstirn [mm]

$xLB := xRueckenB - aSKF = 96$ Druckpunkt Lager B ab Scheibenstirn [mm]

$dNetz := d - 2 \cdot t1 = 43$ konservativer Restdurchmesser unter der Nut [mm]

$aLA := xLA - xF = 57.5$ Überhang bis Lager A [mm]

$LLager := xLB - xLA = 18$ wirksamer Abstand der Lagerdruckpunkte [mm]

Der SKF-Wert a = 33 mm verschiebt die Druckpunkte bei der im STEP erkannten X-Anordnung nach innen: xLA = 78 mm und xLB = 96 mm. Der wirksame Stützabstand beträgt damit 18 mm statt 52 mm zwischen den geometrischen Innenringmitten. Mit den Druckpunkten steigen Lagerreaktionen und Biegemoment; diese Lage ist für den Nachweis massgebend.

2. Werkstoff- und Nachweisfaktoren

$Re := 305 = 305$ Streckgrenze 1.1191/C45E +N, konservativ [N/mm²]

Wellenfestigkeitsnachweis - Getriebeteststand

$Rm := 570 = 570$ Mindestzugfestigkeit 1.1191/C45E +N [N/mm²]

$KtRe := 0.85 = 0.85$ technologischer Grössenfaktor Streckgrenze [-]

$KtRm := 0.85 = 0.85$ technologischer Grössenfaktor Zugfestigkeit [-]

$fWs := 0.45 = 0.45$ Biegewechselfestigkeitsfaktor für Stahl [-]

$fWt := 0.58 = 0.58$ Torsionswechselfestigkeitsfaktor für Stahl [-]

$KDb := 2.5 = 2.5$ Gesamteinfluss Kerbe/Oberfläche/Grösse bei Biegung [-]

$KDt := 2.3 = 2.3$ Gesamteinfluss Kerbe/Oberfläche/Grösse bei Torsion [-]

$alphaB := 1.8 = 1.8$ statischer Spannungskonzentrationsfaktor Biegung [-]

$alphaT := 1.8 = 1.8$ statischer Spannungskonzentrationsfaktor Torsion [-]

$SFmin := 1.5 = 1.5$ geforderte statische Sicherheit [-]

$SDerf := 1.5 = 1.5$ geforderte dynamische Sicherheit [-]

3. Kontaktkräfte, Lagerreaktionen und Biegemomente

$TBetr := 175.18368692 = 175.18369$ aktuelles Kupplungs-Spitzenmoment [Nm]

$Tmax := 546.675 = 546.675$ maximales Torsionsmoment, Motor-Grenzlastfall [Nm]

$Ta := 175.18368692 = 175.18369$ konservative Torsionsamplitude [Nm]

$Fax := 0 = 0$ Axialkraft gemäss Vorgabe [N]

$FjeBetr := \frac{TBetr \cdot 1000}{2 \cdot rEff} = 1358.01308$ Kraft je Aussparung bei ideal gleichem Kräftepaar [N]

$FjeMax := \frac{Tmax \cdot 1000}{2 \cdot rEff} = 4237.7907$ Kraft je Aussparung beim Motor-Grenzlastfall [N]

Bei zwei gleich grossen, entgegengesetzten Kontaktkräften ist Fres = 0 N. Die Lager nehmen aus diesem reinen Drehmoment keine resultierende Radialkraft auf; die Welle wird zwischen Kreuzscheibe und Kupplung auf Torsion beansprucht.

$FqBetr := \frac{TBetr \cdot 1000}{rEff} = 2716.02615$ konservative Querkraft: nur eine Aussparung trägt [N]

$FqMax := \frac{Tmax \cdot 1000}{rEff} = 8475.5814$ konservative Querkraft im Motor-Grenzlastfall [N]

$g := 9.81 = 9.81$ Erdbeschleunigung [m/s²]

$Grot := mSTEP \cdot g = 168.31696$ Eigengewicht Welle/Kreuzscheibe [N]

$FqBetrGes := FqBetr + Grot = 2884.34311$ Betriebsquerkraft inkl. konservativ angesetztem Eigengewicht [N]

$FqMaxGes := FqMax + Grot = 8643.89836$ Maximalquerkraft inkl. konservativ angesetztem Eigengewicht [N]

$FrABetr := FqBetrGes \cdot 1 + \frac{aLA}{LLager} = 12098.21695$ radiale Lagerreaktion A, konservativer Betrieb [N]

$FrBBetr := \frac{FqBetrGes \cdot aLA}{LLager} = 9213.87384$ Betrag der radialen Lagerreaktion B, Gegenrichtung [N]

$FrAMax := FqMaxGes \cdot 1 + \frac{aLA}{LLager} = 36256.35144$ radiale Lagerreaktion A im Motor-Grenzlastfall [N]

$FrBMax := \frac{FqMaxGes \cdot aLA}{LLager} = 27612.45308$ Betrag der radialen Lagerreaktion B, Gegenrichtung [N]

$Mbmax := \frac{FqMaxGes \cdot aLA}{1000} = 497.02416$ maximales Biegemoment am Lager A [Nm]

Wellenfestigkeitsnachweis - Getriebeteststand

$Mba := \frac{FqBetrGes \cdot aLA}{1000} = 165.84973$ konservative Biegemomentamplitude [Nm]

4. Statischer Nachweis am Ø55-Nutquerschnitt

$sigbF := 1.2 \cdot Re \cdot KtRe = 311.1$ Biegefliessgrenze [N/mm²]

$tautF := \frac{sigbF}{\sqrt{3}} = 179.61367$ Torsionsfliessgrenze [N/mm²]

$sigbmax := \frac{alphaB \cdot 32 \cdot Mbmax \cdot 1000}{pi0 \cdot d^3} = 54.77243$ maximale lokale Biegespannung [N/mm²]

$tautmax := \frac{alphaT \cdot 16 \cdot Tmax \cdot 1000}{pi0 \cdot d^3} = 30.122$ maximale lokale Torsionsspannung [N/mm²]

$SF := \left(\frac{sigbmax}{sigbF}^2 + \frac{tautmax}{tautF}^2\right)^{-0.5} = 4.11268$ vorhandene statische Sicherheit [-]

$tauNetz := \frac{16 \cdot Tmax \cdot 1000}{pi0 \cdot dNetz^3} = 35.01821$ zusätzliche konservative Restdurchmesser-Kontrolle [N/mm²]

Kombinierter konservativer Grenzlastfall erfüllt: SF = 4.11 > 1.50. Enthalten sind volles Motor-Spitzendrehmoment, einseitige Kraftübertragung und Eigengewicht.

5. Vereinfachter dynamischer Nachweis

$sigbWN := fWs \cdot Rm = 256.5$ Biegewechselfestigkeit glatte Probe [N/mm²]

$tautWN := fWt \cdot Rm = 330.6$ Torsionswechselfestigkeit glatte Probe [N/mm²]

$sigbGW := \frac{sigbWN \cdot KtRm}{KDb} = 87.21$ Gestaltwechselfestigkeit Biegung [N/mm²]

$tautGW := \frac{tautWN \cdot KtRm}{KDt} = 122.17826$ Gestaltwechselfestigkeit Torsion [N/mm²]

$sigba := \frac{32 \cdot Mba \cdot 1000}{pi0 \cdot d^3} = 10.15376$ Biegespannungsamplitude [N/mm²]

$tauta := \frac{16 \cdot Ta \cdot 1000}{pi0 \cdot d^3} = 5.3626$ Torsionsspannungsamplitude [N/mm²]

$SD := \left(\frac{sigba}{sigbGW}^2 + \frac{tauta}{tautGW}^2\right)^{-0.5} = 8.03682$ vorhandene dynamische Sicherheit [-]

Vereinfachter dynamischer Nachweis erfüllt: SD = 8.04 > 1.50. Die Betriebsquerkraft und das Eigengewicht werden konservativ als volle Biegemomentamplitude angesetzt.

6. Grenzwerte der kombinierten Wellenbeanspruchung

Die folgenden Grenzmomente zeigen, welche resultierende Biegung am Ø55-Nutquerschnitt höchstens zulässig wäre, damit die geforderten Sicherheiten bei den bereits angesetzten Torsionsmomenten gerade eingehalten werden.

$MbmaxZul := 1821.49902937 = 1821.49903$ max. zulässiges statisches Biegemoment bei SFmin [Nm]

$MbaZul := 947.588332021 = 947.58833$ max. zulässige Biegemomentamplitude bei SDerf [Nm]

7. Ergebnis

Der kritische Ø55-Passfedernutquerschnitt ist auch im konservativen einseitigen Lastfall für kombinierte Biegung und Torsion ausreichend. Im realistischen symmetrischen Kräftepaar ist die Biegebeanspruchung aus dem übertragenen Drehmoment praktisch null; die Reserven sind dann grösser.

Abgrenzung: Dieses Blatt weist ausschliesslich die Festigkeit der Welle/Kreuzscheibe nach.

Die statische Tragfähigkeit und die Lebensdauer der beiden SKF 30219 werden in der eigenständigen Datei Lebensdauerberechnung_Kegelrollenlager_SKF30219_Aktuell.sm behandelt.

Quellen

1) Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung 2023, Kapitel 11, Nr. 20 und 21: vereinfachter Wellenfestigkeitsnachweis in Anlehnung an DIN 743. 2) Roloff/Matek Tabellenbuch TB 3-2: fWs = 0,45 und fWt = 0,58 für Stahl. 3) SKF-Produktblatt 30219: Druckpunktabstand a = 33 mm. 4) STEP 10235272_A-Kreuzscheibe.stp. 5) STEP 10235107_A-Getriebeteststand_2.stp mit X-Lageranordnung. 6) Aktuelle Antriebs- und Passfederberechnung dieses Projekts.

Lagerlebensdauer - Getriebeteststand

Lebensdauerberechnung der Kegelrollenlager SKF 30219

Abgrenzung: Dieses Blatt behandelt ausschliesslich die beiden Kegelrollenlager. Der Festigkeitsnachweis der Welle/Kreuzscheibe befindet sich in der eigenständigen Datei Festigkeitsnachweis_Welle_Kreuzscheibe_1.1191_Aktuell.sm.

Berechnungsumfang: statische Tragsicherheit S0 und nominelle Lebensdauer L10h bei 90 % Erlebenswahrscheinlichkeit. Eine erweiterte Lebensdauer Lnmh mit aISO ist mangels Schmierungs-, Temperatur-, Verschmutzungs- und Vorspannungsdaten noch nicht berechenbar.

1. Aktuelle Betriebs- und Lastdaten

$nBetr := 280 = 280$ Betriebsdrehzahl [min^-1]

$TBetr := 175.18368692 = 175.18369$ aktuelles Kupplungs-Spitzenmoment [Nm]

$Tmax := 546.675 = 546.675$ maximal erzeugbares Abtriebsmoment [Nm]

$rEff := 64.5 = 64.5$ konservativer kleinster wirksamer Hebelarm [mm]

$mWK := 17.1576921672 = 17.15769$ Masse Welle/Kreuzscheibe aus STEP [kg]

$g := 9.81 = 9.81$ Erdbeschleunigung [m/s²]

$FaxExtern := 0 = 0$ äussere Axialkraft gemäss Vorgabe [N]

Die gesamte rotierende Masse von 96,5 kg wird nicht pauschal als Gewichtskraft auf dieses Lagerpaar angesetzt, weil dafür Schwerpunktlage und Abstützung aller Einzelteile erforderlich wären. Nachgewiesen ist hier das Eigengewicht der Welle/Kreuzscheibe mit 17,15769 kg. Zusätzliche bekannte Radiallasten müssen separat ergänzt werden.

2. Lagerdruckpunkte der X-Anordnung

$xF := 20.5 = 20.5$ Kraftangriffsebene ab Scheibenstirn [mm]

$xRueckenA := 45 = 45$ breite Stirnseite Lager A [mm]

$xRueckenB := 129 = 129$ breite Stirnseite Lager B [mm]

$aSKF := 33 = 33$ Abstand Stirnseite bis Druckpunkt nach SKF [mm]

$xLA := xRueckenA + aSKF = 78$ Druckpunkt Lager A [mm]

$xLB := xRueckenB - aSKF = 96$ Druckpunkt Lager B [mm]

$aLA := xLA - xF = 57.5$ Überhang Kraftangriff bis Druckpunkt A [mm]

$LLager := xLB - xLA = 18$ wirksamer Abstand der Lagerdruckpunkte [mm]

Aus aSKF = 33 mm und der im STEP erkannten X-Anordnung folgen xLA = 78 mm, xLB = 96 mm und ein wirksamer Druckpunktabstand von 18 mm.

3. Radiale Lagerreaktionen

$$FjeBetr := \frac{TBetr \cdot 1000}{2 \cdot rEff} = 1358.01308$$ Kraft je Aussparung beim idealen Kräftepaar [N]

$$FjeMax := \frac{Tmax \cdot 1000}{2 \cdot rEff} = 4237.7907$$ Kraft je Aussparung im Motor-Grenzlastfall [N]

Beim ideal gleichmässigen Kräftepaar ist die resultierende Radialkraft aus dem Drehmoment null. Für den Lagernachweis wird konservativ angenommen, dass nur eine Aussparung das vollständige Drehmoment überträgt.

Lagerlebensdauer - Getriebeteststand

$FqBetr := \frac{TBetr \cdot 1000}{rEff} = 2716.02615$ einseitige Querkraft im Betrieb [N]

$FqMax := \frac{Tmax \cdot 1000}{rEff} = 8475.5814$ einseitige Querkraft im Motor-Grenzlastfall [N]

$GWK := mWK \cdot g = 168.31696$ Gewichtskraft Welle/Kreuzscheibe [N]

$FqBetrGes := FqBetr + GWK = 2884.34311$ konservative Betriebsquerkraft [N]

$FqMaxGes := FqMax + GWK = 8643.89836$ konservative Maximalquerkraft [N]

$FrABetr := FqBetrGes \cdot 1 + \frac{aLA}{LLager} = 12098.21695$ Radiallast Lager A im Betrieb [N]

$FrBBetr := \frac{FqBetrGes \cdot aLA}{LLager} = 9213.87384$ Radiallastbetrag Lager B im Betrieb [N]

$FrAMax := FqMaxGes \cdot 1 + \frac{aLA}{LLager} = 36256.35144$ Radiallast Lager A im Motor-Grenzlastfall [N]

$FrBMax := \frac{FqMaxGes \cdot aLA}{LLager} = 27612.45308$ Radiallastbetrag Lager B im Motor-Grenzlastfall [N]

4. Herstellerdaten SKF 30219

$dL := 95 = 95$ Bohrungsdurchmesser [mm]

$DL := 170 = 170$ Aussendurchmesser [mm]

$TL := 34.5 = 34.5$ Gesamtbreite [mm]

$BL := 32 = 32$ Innenringbreite [mm]

$CL := 27 = 27$ Aussenringbreite [mm]

$alphaL := 15.6 = 15.6$ Druckwinkel [Grad]

$Cdyn := 266000 = 266000$ dynamische Tragzahl C [N]

$C0 := 275000 = 275000$ statische Tragzahl C0 [N]

$Pu := 31500 = 31500$ Ermüdungsgrenzbelastung [N]

$eL := 0.43 = 0.43$ Grenzwert e [-]

$YL := 1.4 = 1.4$ dynamischer Axialfaktor Y [-]

$Y0L := 0.8 = 0.8$ statischer Axialfaktor Y0 [-]

$nRef := 3200 = 3200$ Referenzdrehzahl [min^-1]

$nGrenz := 3800 = 3800$ Grenzdrehzahl [min^-1]

$mLager := 2.99 = 2.99$ Masse je Lager [kg]

$pL := 3.33333333333 = 3.33333$ Lebensdauerexponent für Rollenlager [-]

$S0erf := 3 = 3$ geforderte statische Sicherheit [-]

S0erf = 3,0 wird konservativ aus Roloff/Matek für stark stossbelastete, umlaufende Rollenlager bei normalen Anforderungen an die Laufruhe gewählt.

5. Äquivalente Lagerbelastungen

Da FrA/Y > FrB/Y und FaxExtern = 0 gilt bei der angestellten X-Lagerung Fall 3 nach Roloff/Matek: FaA = FaB = 0,5·FrA/Y.

Lagerlebensdauer - Getriebeteststand

$FaABetr := \frac{0.5 \cdot FrABetr}{YL} = 4320.79177$ induzierte Axiallast A im Betrieb [N]

$FaBBetr := FaABetr = 4320.79177$ induzierte Axiallast B im Betrieb [N]

$qABetr := \frac{FaABetr}{FrABetr} = 0.35714$ Fa/Fr Lager A im Betrieb [-]

$qBBetr := \frac{FaBBetr}{FrBBetr} = 0.46894$ Fa/Fr Lager B im Betrieb [-]

$PABetr := FrABetr = 12098.21695$ dynamisch äquivalente Last A, qA kleiner e [N]

$PBBetr := 0.4 \cdot FrBBetr + YL \cdot FaBBetr = 9734.65801$ dynamisch äquivalente Last B, qB grösser e [N]

$FaAMax := \frac{0.5 \cdot FrAMax}{YL} = 12948.69694$ induzierte Axiallast A im Grenzlastfall [N]

$FaBMax := FaAMax = 12948.69694$ induzierte Axiallast B im Grenzlastfall [N]

$qAMax := \frac{FaAMax}{FrAMax} = 0.35714$ Fa/Fr Lager A im Grenzlastfall [-]

$qBMax := \frac{FaBMax}{FrBMax} = 0.46894$ Fa/Fr Lager B im Grenzlastfall [-]

$PAMax := FrAMax = 36256.35144$ dynamisch äquivalente Last A im Grenzlastfall [N]

$PBMax := 0.4 \cdot FrBMax + YL \cdot FaBMax = 29173.15695$ dynamisch äquivalente Last B im Grenzlastfall [N]

6. Statische Tragsicherheit

$P0Acalc := 0.5 \cdot FrAMax + Y0L \cdot FaAMax = 28487.13327$ statische Vergleichslast 0,5·Fr+Y0·Fa für A [N]

$P0Bcalc := 0.5 \cdot FrBMax + Y0L \cdot FaBMax = 24165.18409$ statische Vergleichslast 0,5·Fr+Y0·Fa für B [N]

$P0AMax := FrAMax = 36256.35144$ statisch äquivalente Last A; Fr ist grösser [N]

$P0BMax := FrBMax = 27612.45308$ statisch äquivalente Last B; Fr ist grösser [N]

$S0A := \frac{C0}{P0AMax} = 7.58488$ statische Sicherheit Lager A [-]

$S0B := \frac{C0}{P0BMax} = 9.95927$ statische Sicherheit Lager B [-]

Der statische Nachweis ist erfüllt. Massgebend ist Lager A mit S0 = 7.58 > S0erf = 3.00.

7. Nominelle Lebensdauer L10h

$L10hABetr := \frac{\left(\frac{Cdyn}{PABetr}\right)^{pL} \cdot 1000000}{60 \cdot nBetr} = 1.77239 \cdot 10^{6}$ L10h Lager A bei konstantem Betriebslastspitzenwert [h]

$L10hBBetr := \frac{\left(\frac{Cdyn}{PBBetr}\right)^{pL} \cdot 1000000}{60 \cdot nBetr} = 3.65786 \cdot 10^{6}$ L10h Lager B bei konstantem Betriebslastspitzenwert [h]

$L10hAMax := \frac{\left(\frac{Cdyn}{PAMax}\right)^{pL} \cdot 1000000}{60 \cdot nBetr} = 45675.41629$ L10h Lager A bei konstantem Motor-Grenzlastfall [h]

$L10hBMax := \frac{\left(\frac{Cdyn}{PBMax}\right)^{pL} \cdot 1000000}{60 \cdot nBetr} = 94265.20407$ L10h Lager B bei konstantem Motor-Grenzlastfall [h]

$SnRef := \frac{nRef}{nBetr} = 11.42857$ Reserve zur Referenzdrehzahl [-]

nGrenz

Lagerlebensdauer - Getriebeteststand

$SnGrenz := \frac{}{nBetr} = 13.57143$ Reserve zur Grenzdrehzahl [-]

Lager A ist massgebend: L10h = 1.772.386 h beim dauerhaft angesetzten Betriebslastspitzenwert und L10h = 45.675 h beim hypothetisch dauerhaft wirkenden Motor-Grenzlastfall.

8. Ergebnis und offene Angaben

Die statische Tragsicherheit der beiden SKF 30219 ist nachgewiesen. Die nominelle Lebensdauer L10h ist berechnet.

Quellen

1) SKF-Produktblatt 30219: Abmessungen, Druckpunkt a = 33 mm, C = 266 kN, C0 = 275 kN, Pu = 31,5 kN, e = 0,43, Y = 1,4, Y0 = 0,8 sowie Referenz- und Grenzdrehzahl. 2) Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung 2023, Kapitel 14, Nr. 4 bis 7 und 13: statische Sicherheit, äquivalente Lagerbelastung und nominelle Lebensdauer. 3) STEP 10235107_A-Getriebeteststand_2.stp: Lageranordnung und Einbaupositionen. 4) Aktuelle Antriebsberechnung und Wellengeometrie dieses Projekts.

Statische Festigkeit - Grundplatte und Profilrahmen

1. Aufgabe, Aufbau und Nachweisgrenzen

Rechenblatt nach dem Layout der vorgelegten SMath-Vorlage. Stand: 19.10.2026. Grundplatte 1.0037 verschraubt; darunter fünf verschweisste Profile aus 1.4301; Rollenplatten ebenfalls 1.4301. Ausschliesslich Gewicht im Stillstand auf abgesenkten Füssen.

Status: Die folgenden globalen Ersatzmodell-Nachweise sind rechnerisch erfüllt. Der Gesamtabschluss bleibt offen, solange örtliche Krafteinleitung, Rahmenmodell und Nahttragfähigkeit nicht abschliessend geprüft sind. Dieses Blatt bescheinigt deshalb noch keine vollständige Tragfähigkeit der Baugruppe.

2. Geometrie und Massenbilanz

$g := 9.81 = 9.81$ Festgelegte Erdbeschleunigung [m/s²]

$mAufbau := 827.215 = 827.215$ Aufbau ohne Untergestell [N] [kg]

$rhoP := 7_{85e-06} = 7.85 \cdot 10^{-6}$ Dichte Baustahl, bisheriger Ansatz [kg/mm³]

$rhoR := 7_{9e-06} = 7.9 \cdot 10^{-6}$ Dichte 1.4301, bisheriger Ansatz [kg/mm³]

$mPlatte := 23703393.3090897 \cdot rhoP = 186.0716$ CAD-Netto-Volumen × Dichte [G] [kg]

$mLang := 2260715.02632124 \cdot rhoR = 17.8596$ Ein Längsprofil [G] [kg]

$mEnd := 2089824.94654885 \cdot rhoR = 16.5096$ Ein Endquerprofil [G] [kg]

$mMitte := 807398.223686155 \cdot rhoR = 6.3784$ Mittleres Querprofil [G] [kg]

$mRoll := 532036.06262315 \cdot rhoR = 4.2031$ Eine Rollenplatte [G] [kg]

$mErfasst := mAufbau + mPlatte + 2 \cdot mLang + 2 \cdot mEnd + mMitte + 4 \cdot mRoll = 1105.216$

Summe erfasster Massen [kg]

$mRef := 1300 = 1300$ Gewählter Referenzlastfall [kg]

$mReserve := mRef - mErfasst = 194.784$ Rechnerisch enthaltener Zuschlag [kg]

$F := mRef \cdot g = 12753$ Referenzgewichtskraft [N]

Die 1300 kg sind eine ausdrückliche Rechenannahme, kein CAD-Gesamtgewicht. Der Zuschlag enthält unbekannte Öl-/Kleinteilmassen bis zur ausgewiesenen Summe. Er ist keine bestätigte Zuladungsgrenze der Anlage. Rolleneigengewicht unterhalb der Rollenplatten wird nicht als Belastung der darüberliegenden Profile angesetzt. Die Dichten sind Eingaben, keine Festigkeitskennwerte aus Roloff/Matek.

Statische Festigkeit | Grundplatte und Profilrahmen | Roloff/Matek

3. Werkstoffe und Beurteilung nach Roloff/Matek

[R1] Kap. 3, S. 7, Nr. 1-3 und S. 11, Nr. 52/56. [R2] TB 1-1 a/i und TB 3-14 a, S. 59. Für duktile Werkstoffe wird der elastische Nennspannungsvergleich gegen Fliessen geführt. Mit sigma_bF = Rp und tau_F = Rp/sqrt(3) wird Nr. 56 ohne plastische Reserve zu S = Rp/sqrt(sigma_b²+3 tau²).

$RpR := 190 = 190$ 1.4301, TB 1-1 i, S. 4 [N/mm²]

$RmR := 500 = 500$ 1.4301, TB 1-1 i, S. 4 [N/mm²]

$ER := 200000 = 200000$ 1.4301, TB 1-1 i, S. 4 [N/mm²]

$RePN := 235 = 235$ S235JR, TB 1-1 a, Normwert [N/mm²]

$RpP := 225 = 225$ MARKS 1.0037, Dicke >16 mm [M] [N/mm²]

$EP := 210000 = 210000$ Baustahl, TB 1-1 [N/mm²]

$Smin := 1.5 = 1.5$ Allgemeiner Mindestwert TB 3-14 a [1]

$$zulP := \frac{RpP}{Smin} = 150$$ Zulässige Platten- Vergleichsspannung [N/mm²]

$$zulR := \frac{RpR}{Smin} = 126.6667$$ Zulässige Profil-Vergleichsspannung [N/mm²]

Werkstoffquelle [M]: MARKS GmbH, Werkstoffblatt 1.0037, Kurzname S235JR / St 37-2, bereitgestellt am 19.10.2026, S. 1. Für Nenndicke >16 mm nennt es ReH >=225 MPa. Bei tP =25 mm wird daher RpP =225 N/mm² verwendet. Das Blatt bezeichnet die Eigenschaften als Richtwerte des Anlieferungszustands; es ist kein chargenbezogenes Materialzeugnis. Die zuvor offene Quellenzuordnung des Rechenwerts ist damit geklärt.

RpR = 190 N/mm² gilt in der genannten Tabelle für lösungsgeglühte Halbzeuge, Stäbe und Profile. Derselbe Wert wird für die Rollenplatten als Rechenannahme verwendet. Lieferzustand und Schweissausführung sind durch die Rechnung nicht geprüft. Die Formelgrundlage ist Roloff/Matek; Geometrie und Werkstoffeingaben sind gesondert ausgewiesen.

4. Statik: Herleitung der Schnittgrössenhülle

[R2] TB 11-6, S. 124, Lastfälle 1 und 2. Einfeldträger mit Stützweite L und vertikaler Punktlast F im Abstand a vom linken Auflager: RA = F(L-a)/L; RB = Fa/L; M unter der Last = Fa(L-a)/L. Das Maximum über 0 <= a <= L liegt bei a = L/2: Mmax = FL/4. Für nichtnegative Lastanteile innerhalb der Stützen gilt durch Superposition dieselbe globale Biegemomenthülle für die Gesamtlast F.

Querkraft: Jede Auflagerreaktion liegt im einfachen Balkenmodell zwischen 0 und F. Deshalb wird Vmax = F statt F/2 angesetzt. Biegemaximum und Querkraftmaximum gehören meist zu verschiedenen Lastpositionen; die Kombination zu sigmaV ist eine konservative Hülle des einfachen Balkens.

$LP := 1500 = 1500$ Abstand der Endauflagerachsen [G] [mm]

$LL := 1400 = 1400$ Freie Längsprofil-Länge [G] [mm]

$LM := 500 = 500$ Länge mittleres Querprofil [G] [mm]

$LQ := 780 = 780$ Abstand der Fussachsen quer [G] [mm]

$V := F = 12753$ Querkrafthülle für Einzelvergleiche [N]

$MP := \frac{F \cdot LP}{4} = 4.7824 \cdot 10^{6}$ Grundplatte: Biegemomenthülle [Nmm]

$ML := \frac{F \cdot LL}{4} = 4.4636 \cdot 10^{6}$ Längsprofil: Biegemomenthülle [Nmm]

$MM := \frac{F \cdot LM}{4} = 1.5941 \cdot 10^{6}$ Mittelprofil: Biegemomenthülle [Nmm]

$MQ := \frac{F \cdot LQ}{4} = 2.4868 \cdot 10^{6}$ Endquerprofil: Biegemomenthülle [Nmm]

Gültigkeitsgrenze: Die Herleitung gilt für die genannten gelenkig gelagerten Ersatzbalken und Lasten innerhalb der Auflager. Der reale Rahmen ist verschweisst. Dessen Anschlussmomente, Torsion, lokale Wandbeanspruchung und Lastanteile sind hier nicht mit einem gemeinsamen Steifigkeitsmodell bestimmt. Die gesamte Last auf jedem Einzelprofil allein beweist keine obere Schranke für alle räumlichen Rahmenspannungen.

5. Grundplatte - globaler Nennspannungsnachweis

[R2] TB 1-14 (Rechteck/zusammengesetzte Querschnitte), TB 11-6, Lastfall 1. [R1] Kap. 3, Nr. 1-3 und 56. Die Platte wird ohne tragenden Verbund und ohne entlastenden Beitrag der Längsprofile gerechnet. Die Netto-Referenzbreite ist ein globaler Streifenansatz, kein

$tP := 25 = 25$ Plattendicke [G] [mm]

$bNet := 600 - 5 \cdot 26 - 2 \cdot 16.041 = 437.918$ Projizierte Restbreite am Lochschnitt [mm]

$bP := 400 = 400$ Zusätzlich abgerundete Referenzbreite [mm]

$AP := bP \cdot tP = 10000$ Referenzquerschnitt [mm²]

$IP := \frac{bP \cdot tP^{3}}{12} = 520833.3333$ Flächenträgheitsmoment [mm⁴]

$WP := \frac{IP}{\frac{tP}{2}} = 41666.6667$ Elastisches Widerstandsmoment [mm³]

$sigP := \frac{MP}{WP} = 114.777$ Biegenennspannung [N/mm²]

$tauP := \frac{1.5 \cdot V}{AP} = 1.913$ Maximalschub im Rechteck [N/mm²]

$svP := \sqrt{sigP^2 + 3 \cdot tauP^2} = 114.8248$ GEH-Spannungshülle [N/mm²]

$SP := \frac{RpP}{svP} = 1.9595$ Sicherheit im Ersatzmodell [1]

$etaP := \frac{Smin}{SP} = 0.7655$ Ausnutzung; <= 1 erforderlich [1]

$RpPmin := Smin \cdot svP = 172.2372$ Mindestens erforderliche Dehngrenze [N/mm²]

Ergebnis im Platten-Ersatzmodell: S >= 1,5 und eta <= 1. Die Beurteilung gilt unter dem Werkstoffansatz RpP = 225 N/mm². Punktuelle Lasteinleitung, Lochrandspannungen und Querbiegung sind mit der Netto-Referenzbreite nicht nachgewiesen.

6. Profilquerschnitte - Herleitung einschliesslich Radien

[R2] TB 1-14, S. 27-28: Hohlrechteck und Steiner-Satz. Aussenradien rA = 7 mm und Innenradien rI = 1 mm aus [G]. Die abgerundeten Querschnitte werden als scharfkantige Hohlrechtecke minus äussere Eckreste plus innere Eckreste berechnet. Keine Tabellenwerte

$H := 100 = 100$ Profilhöhe beider Profiltypen [G] [mm]

$t := 6 = 6$ Profilwanddicke [G] [mm]

$B := 50 = 50$ Breite Längs-/Mittelprofil [G] [mm]

$BQ := 100 = 100$ Breite Endquerprofil [G] [mm]

$rA := 7 = 7$ Aussenradius [G] [mm]

$rI := 1 = 1$ Innenradius [G] [mm]

$h := H - 2 \cdot t = 88$ Innere Höhe [mm]

$b := B - 2 \cdot t = 38$ Innere Breite Rechteckprofil [mm]

$dA := \frac{H}{2} - rA = 43$ Radiusmittelpunkt zur Neutralachse [mm]

$dI := \frac{h}{2} - rI = 43$ Innerer Radiusmittelpunkt [mm]

Herleitung eines Eckrests (Quadrat minus Viertelkreis, Radius r): Arest = r²(1-pi/4); erstes Moment um Radiusmittelpunkt = r³/6; zweites Moment = r⁴(1/3-pi/16). Mit Steiner: DeltaI = 4[Arest*d² + 2*d*r³/6 + r⁴(1/3-pi/16)]. Die Integrale sind eigene geometrische Herleitung, der Aufbau folgt TB 1-14.

7. Profilquerschnitte - Rechenwerte und Bohrungsabzug

$$DA := 4 \cdot rA^2 \cdot 1 - \frac{3.14159265358979}{4} \cdot dA^2 + \frac{2 \cdot dA \cdot rA^3}{6} + rA^4 \cdot \frac{1}{3} - \frac{3.14159265358979}{16} = 98753.4897$$

Äusserer Eckabzug [mm⁴]

$$DI := 4 \cdot rI^2 \cdot 1 - \frac{3.14159265358979}{4} \cdot dI^2 + \frac{2 \cdot dI \cdot rI^3}{6} + rI^4 \cdot \frac{1}{3} - \frac{3.14159265358979}{16} = 1645.0765$$

Innerer Eckzuschlag [mm⁴]

$$IL := \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{12} - DA + DI = 1.9116 \cdot 10^6$$ I für 100 × 50 × 6 [mm⁴]

$$WL := \frac{IL}{\frac{H}{2}} = 38231.2717$$ W für Längs-/Mittelprofil [mm³]

$$IQbr := \frac{BQ \cdot H^3 - BQ - 2 \cdot t \cdot h^3}{12} - DA + DI = 3.2388 \cdot 10^6$$ Brutto-I für 100 × 100 × 6 [mm⁴]

$dBohr := 26 = 26$ Max. Senkungsdurchmesser [G] [mm]

$$DIloch := 2 \cdot 2 \cdot dBohr \cdot \frac{t^3}{12} + t \cdot \left(\frac{H}{2} - \frac{t}{2}\right)^2 = 1.3803 \cdot 10^6$$ Zwei Löcher in beiden Flanschen [mm⁴]

$$IQ := IQbr - DIloch = 1.8585 \cdot 10^6$$ Konservativer Nettoquerschnitt [mm⁴]

$$WQ := \frac{IQ}{\frac{H}{2}} = 37169.5117$$ Netto-Widerstandsmoment [mm³]

$$QL := \frac{B \cdot H^2 - b \cdot h^2}{8} = 25716$$ Oberes statisches Moment RHS [mm³]

$$QQ := \frac{BQ \cdot H^2 - BQ - 2 \cdot t \cdot h^2}{8} = 39816$$ Oberes statisches Moment SHS [mm³]

Die Bohrungs-/Senkungsbreite wird über die ganze 6-mm-Flanschdicke entfernt. Tatsächliche Teil-Tiefen entlasten diesen Ansatz. Beide Stege bleiben im betrachteten Schnitt erhalten. Q wird mit dem scharfkantigen Bruttoquerschnitt angesetzt, I mit dem kleineren Nettoquerschnitt: obere Abschätzung der Balkenschubspannung tau = VQ/(I*2t). Diese Schubformel folgt aus dem Gleichgewicht der Biegelängsspannungen an einem Balkenelement; sie ist hier eigene technische Herleitung, keine erfundene Roloff/Matek-Formelnummer.

8. Längs- und Mittelprofile - statischer Vergleich

[R1] Kap. 3, Nr. 1–3 und 56. [R2] TB 11-6 für M; TB 3-14 a für Smin. Beide Profiltypen haben denselben Querschnitt, aber verschiedene Stützweiten. Die gesamte Referenzlast F wird jeweils separat angesetzt.

$sigL := \frac{ML}{WL} = 116.7513$ Biegung Längsprofil [N/mm²]

$tauL := \frac{V \cdot QL}{IL \cdot 2 \cdot t} = 14.297$ Schub Längsprofil [N/mm²]

$svL := \sqrt{sigL^2 + 3 \cdot tauL^2} = 119.3486$ GEH Längsprofil [N/mm²]

$SL := \frac{RpR}{svL} = 1.592$ Sicherheit Längsprofil [1]

$etaL := \frac{Smin}{SL} = 0.9422$ Ausnutzung Längsprofil [1]

$sigM := \frac{MM}{WL} = 41.6969$ Biegung mittleres Querprofil [N/mm²]

$tauM := \frac{V \cdot QL}{IL \cdot 2 \cdot t} = 14.297$ Schub mittleres Querprofil [N/mm²]

$svM := \sqrt{sigM^2 + 3 \cdot tauM^2} = 48.4958$ GEH mittleres Querprofil [N/mm²]

$SM := \frac{RpR}{svM} = 3.9179$ Sicherheit mittleres Querprofil [1]

$etaM := \frac{Smin}{SM} = 0.3829$ Ausnutzung mittleres Querprofil [1]

Beide globalen Einzelbalkenvergleiche sind erfüllt. Die Resultate sind keine Schnittgrössenauswertung des gemeinsam verformten, verschweissten Rahmens. Insbesondere darf daraus kein bereits bestandener Anschluss- oder örtlicher Profilwandnachweis abgeleitet werden.

9. Endquerprofile und Rollenplatten

Endquerprofile: Stützweite zwischen Fussachsen 780 mm; konservativer Nettoquerschnitt aus Abschnitt 7. Rollenplatte: 200 × 180 × 15 mm, vier Bohrungen Ø13 mm. Globaler Streifen mit 50 mm Überstand neben dem 100-mm-Profil. [G; R1 Kap. 3; R2 TB 1-14 und TB 11-6]

$sigQ := \frac{MQ}{WQ} = 66.9052$ Biegung im Nettoquerschnitt [N/mm²]

$tauQ := \frac{V \cdot QQ}{IQ \cdot 2 \cdot t} = 22.7684$ Obere Schubabschätzung [N/mm²]

$svQ := \sqrt{sigQ^2 + 3 \cdot tauQ^2} = 77.6628$ GEH Endquerprofil [N/mm²]

$SQ := \frac{RpR}{svQ} = 2.4465$ Sicherheit Endquerprofil [1]

$etaQ := \frac{Smin}{SQ} = 0.6131$ Ausnutzung Endquerprofil [1]

Statische Festigkeit | Grundplatte und Profilrahmen | Roloff/Matek

$bRP := 180 - 2 \cdot 13 = 154$ Netto-Referenzbreite Rollenplatte [mm]

$tRP := 15 = 15$ Dicke Rollenplatte [mm]

$eRP := 50 = 50$ Kragarm-Referenzlänge [mm]

$WRP := \frac{bRP \cdot tRP^2}{6} = 5775$ Widerstandsmoment Plattenstreifen [mm³]

$sigRP := \frac{F \cdot eRP}{WRP} = 110.4156$ Biegung Kragstreifen [N/mm²]

$tauRP := \frac{1.5 \cdot F}{bRP \cdot tRP} = 8.2812$ Schub Kragstreifen [N/mm²]

$svRP := \sqrt{sigRP^2 + 3 \cdot tauRP^2} = 111.3433$ GEH Kragstreifen [N/mm²]

$SRP := \frac{RpR}{svRP} = 1.7064$ Sicherheit Kragstreifen [1]

$etaRP := \frac{Smin}{SRP} = 0.879$ Ausnutzung Kragstreifen [1]

Beide globalen Vergleiche erfüllt. Die Rollenplattenrechnung setzt die Verteilung über bRP voraus; örtliche Biegung an Schrauben/ Kontaktflächen und Lochleibung sind damit nicht bestätigt.

11. Ergebnisübersicht

Bewertung der globalen Ersatzmodelle: Erfüllt bedeutet eta <= 1, bezogen auf genau den beschriebenen Last- und Materialansatz. Die folgenden Werte sind mit den Eingaben verknüpft und werden bei Änderungen neu berechnet.

$AusnPlatte := etaP = 0.7655$ Grundplatte; Grenze 1 [1]

$AusnLang := etaL = 0.9422$ Längsprofil; Grenze 1 [1]

$AusnMitte := etaM = 0.3829$ Mittleres Querprofil; Grenze 1 [1]

$AusnEnd := etaQ = 0.6131$ Endquerprofil; Grenze 1 [1]

$AusnRoll := etaRP = 0.879$ Rollenplatte; Grenze 1 [1]

Ergebnis: Alle fünf globalen Teilvergleiche erfüllen bei 1300 kg die Mindestsicherheit 1,5. Keine Gesamtfreigabe: Schweissanschlüsse und gemeinsame Lastübertragung sind noch offen. Die Aussagen sind auf die dokumentierten Modelle beschränkt.

Grundplatte und Standsicherheit

1 Eingaben und Geometrie

Rechenstand 19.10.2026. Statische Teilnachweise; keine vollständige Betriebs- oder Ermüdungsfreigabe. Zahlenrechnung in den jeweils angegebenen Einheiten.

$g := 9.81 = 9.81$ Erdbeschleunigung, Rechenkonvention [m/s²]

$mAufbau := 827.215000000000032 = 827.215$ NX-Bild: Aufbau ohne tragendes Gestell [kg]

$xAufbau := 1095.973999999999933 = 1095.974$ Schwerpunkt Aufbau X, NX [mm]

$yAufbau := 10.25 = 10.25$ Schwerpunkt Aufbau Y, NX [mm]

$zAufbau := 778.062000000000012 = 778.062$ Schwerpunkt Aufbau Z, NX [mm]

$xA := 490 = 490$ Auflager- und Fussachse links, STEP [mm]

$xB := 1990 = 1990$ Auflager- und Fussachse rechts, STEP [mm]

$bStand := 390 = 390$ Halbe Standbreite, Fussachsen Y = +/-390 [mm]

$L := xB - xA = 1500$ Abstand der Endauflager [mm]

$hPlatte := 25 = 25$ Plattendicke, STEP [mm]

$bNetto := 600 - 5 \cdot 26 - 2 \cdot 16.041 = 437.918$ Projizierte Restbreite am Lochschnitt X=990 [mm]

$bPlatte := 400 = 400$ Abgerundete Ersatzbalkenbreite [mm]

$EP := 210000 = 210000$ E-Modul Baustahl, bisheriger Ansatz [N/mm²]

$ER := 200000 = 200000$ E-Modul 1.4301, Outokumpu Tabelle 7 [N/mm²]

$ReP := 225 = 225$ Streckgrenzenansatz S235JR bei t=25 mm [N/mm²]

$SFlSoll := 1.5 = 1.5$ Übernommener Projektvergleich, kein Normnachweis [-]

Grundplatte 1.0037, verschraubt; Träger 1.4301, untereinander verschweisst (Nutzerangaben). Plattenumriss X=440...2040, Y=-300...300; Oberseite Z=415 mm. Die Materialwerte ersetzen kein Zeugnis.

2 Massen und Schwerpunkt

Platte: Volumen aus STEP mit 7850 kg/m³. Fünf Profile: STEP-Volumen mit 7900 kg/m³. Rollenplatten, Rollen, Schrauben und weitere Zusatzteile werden im stabilisierenden Gewicht nicht angerechnet.

$rhoP := 0.00000785 = 7.85 \cdot 10^{-6}$ Dichte Baustahl, Rechenansatz [kg/mm³]

$rhoR := 0.0000079 = 7.9 \cdot 10^{-6}$ Dichte 1.4301, Outokumpu [kg/mm³]

$VPlatte := 23703393.309089746326208 = 2.37034 \cdot 10^{7}$ Netto-Plattenvolumen aus STEP [mm³]

$mPlatte := VPlatte \cdot rhoP = 186.07164$ Masse der Grundplatte [kg]

$mLang := 2260715.026321234647185 \cdot rhoR = 17.85965$ Masse je Längsträger [kg]

$mQuer := 2089824.946548852371052 \cdot rhoR = 16.50962$ Masse je Endquerträger [kg]

$mMitte := 807398.223686154931784 \cdot rhoR = 6.37845$ Masse mittlerer Querträger [kg]

$mRahmen := 2 \cdot mLang + 2 \cdot mQuer + mMitte = 75.11698$ Summe fünf Profile [kg]

$mMin := mAufbau + mPlatte + mRahmen = 1088.40362$ Angerechnete Teilmasse für Kippsicherheit [kg]

$xPlatte := 1239.530792386501162 = 1239.53079$ Plattenschwerpunkt X, STEP [mm]

$QAufbau := mAufbau \cdot xAufbau = 906606.13241$ Erstes Massenmoment Aufbau um X=0 [kgmm]

$QPlatte := mPlatte \cdot xPlatte = 230641.52424$ Erstes Massenmoment Platte um X=0 [kgmm]

$QRahmen := 2 \cdot mLang \cdot 1240 + mQuer \cdot xA + xB + mMitte \cdot 1165 = 92666.6687$

Erstes Massenmoment fünf Profile um X=0 [kgmm]

$xGes := \frac{QAufbau + QPlatte + QRahmen}{mMin} = 1130.01676$ Schwerpunkt X der angerechneten Teilmasse [mm]

$yGes := \frac{mAufbau \cdot yAufbau}{mMin} = 7.79027$ Schwerpunkt Y der angerechneten Teilmasse [mm]

$FGes := mMin \cdot g = 10677.23946$ Angerechnete Gewichtskraft [N]

$FAufbau := mAufbau \cdot g = 8114.97915$ Gewichtskraft Aufbau [N]

$FPlatte := mPlatte \cdot g = 1825.36276$ Gewichtskraft Platte [N]

mMin ist kein Gesamtgewicht der Anlage. Die weggelassenen unteren Bauteile werden nur insoweit vernachlässigt, als ihr Schwerpunkt innerhalb des Fussachsenrechtecks liegt. Eine tatsächliche Vier- Fuss-Lastverteilung wird nicht behauptet.

3 Grundplatte: globaler Referenzbalken

Gleiche Nachweisart wie bisher, mit neuer Geometrie und Masse: einfach gelagerter Ersatzbalken. Längs- und Mittelträger werden hier nicht als Entlastung angerechnet.

Gesamte Plattenlast als mittige Punktlast; keine örtlichen Kontakt- oder Kerbspannungen.

$F := FAufbau + FPlatte = 9940.34191$ Last für die Plattenrechnung [N]

$MAufbau := FAufbau \cdot xAufbau - xA = 4.91747 \cdot 10^{6}$ Gewichtsmoment Aufbau um Endauflager A [Nmm]

$MPlatte := FPlatte \cdot xPlatte - xA = 1.36817 \cdot 10^{6}$ Gewichtsmoment Platte um Endauflager A [Nmm]

$RB := \frac{MAufbau + MPlatte}{L} = 4190.42132$ Endreaktion B aus tatsächlichen Schwerpunkten [N]

$RA := F - RB = 5749.9206$ Endreaktion A aus tatsächlichen Schwerpunkten [N]

$APlatte := bPlatte \cdot hPlatte = 10000$ Referenzquerschnittsfläche [mm²]

$IP := \frac{bPlatte \cdot hPlatte^{3}}{12} = 520833.33333$ Referenz-Flächenträgheitsmoment [mm⁴]

$WP := \frac{bPlatte \cdot hPlatte^{2}}{6} = 41666.66667$ Referenz-Widerstandsmoment [mm³]

$Mmax := \frac{F \cdot L}{4} = 3.72763 \cdot 10^{6}$ Mittige Referenzlast: maximales Biegemoment [Nmm]

$sigmaB := \frac{Mmax}{WP} = 89.46308$ Maximale Biegenennspannung [N/mm²]

$tauMax := \frac{1.5 \cdot \frac{F}{2}}{APlatte} = 0.74553$ Maximale Rechteck-Schubspannung [N/mm²]

$sigmaV := \left(sigmaB^{2} + 3 \cdot tauMax^{2}\right)^{0.5} = 89.4724$ Konservative Hüllkombination beider Maxima [N/mm²]

$SFl := \frac{ReP}{sigmaV} = 2.51474$ Nennspannungsreserve gegen Fliessen [-]

$wP := \frac{F \cdot L^{3}}{48 \cdot EP \cdot IP} = 6.39022$ Durchbiegung des ungestützten Referenzbalkens [mm]

$RestKraft := RA + RB - F = -2.85572 \cdot 10^{-11}$ Kontrolle Kraftgleichgewicht [N]

$RestMoment := RB \cdot L - MAufbau - MPlatte = -3.14281 \cdot 10^{-9}$ Kontrolle Momentengleichgewicht [Nmm]

RA/RB gehören zum Schwerpunktmodell, F/2 zum separaten mittigen Referenzlastfall. Die Maxima von Biegung und Schub treten nicht am selben Ort auf; sigmaV ist eine Hüllgrösse. SFl > 1,5 erfüllt nur diesen statischen Nennspannungsvergleich. wP ist nicht die prognostizierte Durchbiegung der montierten Konstruktion.

4 Neue Längsträger: Steifigkeitsabschätzung

Orientierungsmodell mit gemeinsamer Längskrümmung von Platte und zwei Profilen. Kein axialer Verbund und kein Steiner-Anteil zwischen Platte und Profilen. Beide Längsprofile werden rechnerisch bis zu den Endauflagerachsen verlängert; Querträger- und Fussnachgiebigkeit fehlen.

$IR := 1911563.586783499922603 = 1.91156 \cdot 10^{6}$ I eines Längsträgers aus STEP-Endquerschnitt [mm⁴]

$WR := \frac{IR}{50} = 38231.27174$ W eines Längsträgers, Höhe 100 mm [mm³]

$EIges := EP \cdot IP + 2 \cdot ER \cdot IR = 8.74 \cdot 10^{11}$ Summe der separaten Biegesteifigkeiten [Nmm²]

$Mref := \frac{FGes \cdot L}{4} = 4.00396 \cdot 10^{6}$ Mittige Ersatzlast inkl. fünf Profile [Nmm]

$kappa := \frac{Mref}{EIges} = 4.58119 \cdot 10^{-6}$ Gemeinsame Referenzkrümmung [1/mm]

$sigmaPref := \frac{EP \cdot kappa \cdot hPlatte}{2} = 12.02563$ Platten-Biegespannung im Orientierungsmodell [N/mm²]

$sigmaRref := ER \cdot kappa \cdot 50 = 45.81193$ Profil-Biegespannung im Orientierungsmodell [N/mm²]

$wRef := \frac{FGes \cdot L^{3}}{48 \cdot EIges} = 0.85897$ Referenzdurchbiegung mit Längsträgern [mm]

$Fplus := \frac{FGes}{2} + \frac{FAufbau \cdot yAufbau}{2 \cdot bStand} = 5445.25888$ Gesamte Reaktion Fussreihe Y=+390, nur Gewicht [N]

$Fminus := FGes - Fplus = 5231.98058$ Gesamte Reaktion Fussreihe Y=-390, nur Gewicht [N]

Keine verifizierte Verformung des montierten Teststands: Querbiegung der Platte, exzentrische Krafteinleitung, Anschlussrotationen und Nachgiebigkeit der Füsse fehlen. Aus sigmaRref wird kein vollständiger Rahmennachweis abgeleitet. Ein zulässiger Verformungswert ist noch nicht festgelegt.

5 Standsicherheit: alle vier Kippkanten

Vier abgesenkte Füsse auf ebenem, waagrechtem Boden, ohne Verankerung. Konservativ wird das Rechteck der Fussachsen statt der grösseren äusseren Kontaktfläche benutzt. Ausschliesslich Eigengewicht und ein äusseres reines Moment als Ersatzlastfall.

$MKipp := 546675 = 546675$ Übernommener Momenten-Ersatzlastfall aus alter SMath [Nmm]

$SKSoll := 2 = 2$ Übernommene geforderte Kippreserve [-]

$MXL := FGes \cdot xGes - xA = 6.83361 \cdot 10^{6}$ Rückstellmoment um Kante X=490 [Nmm]

$MXR := FGes \cdot xB - xGes = 9.18225 \cdot 10^{6}$ Rückstellmoment um Kante X=1990 [Nmm]

$MYN := FGes \cdot bStand + yGes = 4.2473 \cdot 10^{6}$ Rückstellmoment um Kante Y=-390 [Nmm]

$MYP := FGes \cdot bStand - yGes = 4.08094 \cdot 10^{6}$ Rückstellmoment um Kante Y=+390 [Nmm]

$SKXL := \frac{MXL}{MKipp} = 12.50032$ Reserve bei Moment Richtung Kante X=490 [-]

$SKXR := \frac{MXR}{MKipp} = 16.79654$ Reserve bei Moment Richtung Kante X=1990 [-]

$SKYN := \frac{MYN}{MKipp} = 7.76934$ Reserve bei Moment Richtung Kante Y=-390 [-]

$SKYP := \frac{MYP}{MKipp} = 7.46503$ Massgebende Reserve Richtung Y=+390 [-]

$MRest := MYP - MKipp = 3.53427 \cdot 10^{6}$ Verbleibendes rückstellendes Moment [Nmm]

$Rleicht := \frac{MYP - MKipp}{2 \cdot bStand} = 4531.1152$ Leichtere Fussreihe bei Moment nach Y=+390 [N]

Das Moment wird je Richtung separat angesetzt, nicht gleichzeitig um beide Achsen. Es ist keine Ermittlung der realen äusseren Trägheitsresultierenden. Das Antriebsmoment ist im Gesamtfreischnitt nicht automatisch ein äusseres Kippmoment; innere Kräfte dürfen nicht doppelt addiert werden.

6 Zusatzkraftgrenze und Gültigkeit

Zusatzkraft als Parameter, nicht als ermittelte Betriebskraft. Beispielhafte Angriffshöhe auf Höhe des Aufbauschwerpunkts. Die modellierte Bodenebene liegt bei Z=105 mm; die tatsächliche Höheneinstellung der Füsse kann davon abweichen.

$zBoden := 105 = 105$ Unterseite der modellierten Füsse, STEP [mm]

$hKraft := zAufbau - zBoden = 673.062$ Beispielhöhe über modelliertem Boden [mm]

$HGrenze := \frac{MYP - MKipp}{hKraft} = 5251.03164$ Zusätzliche horizontale Kraft bei SK=1 [N]

$HGrenzeS2 := \frac{\frac{MYP}{SKSoll} - MKipp}{hKraft} = 2219.40538$ Zusätzliche horizontale Kraft bei SK=2 [N]

$SKKontrolle := \frac{MYP}{MKipp + HGrenzeS2 \cdot hKraft} = 2$ Rückrechnung am Grenzwert: Soll 2 [-]

Ergebnis: globaler statischer Plattenvergleich erfüllt; reiner Momenten-Kippvergleich erfüllt. Kein vollständiger Betriebsfestigkeitsnachweis.

Schweissnahtnachweis Profilrahmen - Getriebeteststand

Schweissnahtnachweis - Profilrahmen

Ausführung: 1.4301, umlaufende Kehlnähte a = 4,2 mm. Statischer Vergleich der angesetzten Anschlusslastvariante; kein abgeschlossener Gesamtnachweis. Stand 20.10.2026.

1. Eingaben und Tragfähigkeitswerte

Zahlenwerte in kg, m/s², N, mm, Nmm und N/mm²; keine automatische Einheitenprüfung. Eingaben und berechnete Ergebnisse sind wie in der ROTEX-Vorlage direkt verknüpft.

$m := 1300 = 1300$ Referenzmasse; kein bestätigtes CAD-Gesamtgewicht [kg]

$g := 9.81 = 9.81$ Erdbeschleunigung [m/s²]

$F := m \cdot g = 12753$ Referenzkraft [N]

$a := 4.2 = 4.2$ Wirksame Kehlnahtdicke [mm]

$fu := 500 = 500$ Angenommene Zugfestigkeit; Produktzustand offen [Q4] [N/mm²]

$beta := 1 = 1$ Korrelationsbeiwert für nichtrostenden Stahl [Q3] [-]

$gamma := 1.25 = 1.25$ Teilsicherheitsbeiwert gamma M2 [Q2] [-]

$$fwd := \frac{fu}{\left((3)^{0.5} \cdot beta \cdot gamma\right)} = 230.94011$$

Grenzwert vereinfachter Vergleich [Q2, Q3] [N/mm²]

Die Material- und Ausführungsannahmen sind vor dem abschliessenden Nachweis zu bestätigen. Die Bezugskraft beträgt 12 753 N.

2. Wirksamer Nahtquerschnitt am Profilende

Profil 100 × 50 × 6 mm, Aussenradius 7 mm. Angerechnet werden zwei vertikale und zwei horizontale gerade Nahtabschnitte. Die Eckbögen bleiben im Widerstand ungenutzt; die tatsächliche Naht ist auch an den Ecken durchgehend.

$h := 100 = 100$ Profilhöhe [mm]

$b := 50 = 50$ Profilbreite [mm]

$r := 7 = 7$ Aussenradius [mm]

$l_{vert} := 86$ Länge je vertikaler Naht [mm]

Schweissnahtnachweis Profilrahmen - Getriebeteststand

$lv := h - 2 \cdot r = 86$ Länge je vertikaler Naht [mm]

$lh := b - 2 \cdot r = 36$ Länge je horizontaler Naht [mm]

$I := a \cdot \left(\frac{2 \cdot lv^3}{12} + 2 \cdot lh \cdot \left(\frac{h}{2} \right)^2 \right) = 1201239.2$ Flächenträgheitsmoment der Nahtgruppe [mm⁴]

$W := \frac{I}{\left(\frac{h}{2} \right)} = 24024.784$ Widerstandsmoment der Nahtgruppe [mm³]

$As := 2 \cdot a \cdot lv = 722.4$ Nahtfläche für die Querkraft [mm²]

Die Querkraft wird den beiden vertikalen Nahtabschnitten zugeordnet. Die Biegung wird mit dem Randabstand h/2 beurteilt. Für die durchgehend umlaufende Naht wird kein zusätzlicher Anfangs- oder Endabzug vorgenommen.

3. Längsprofil und Mittelprofil - Lastmodell

Für die bisherige Anschlusslastvariante werden V = F und M = F·L/4 übernommen. Das Moment ist kein aus einer gemeinsamen Rahmenrechnung bestimmtes Anschlussmoment. Eine obere Schranke der realen Beanspruchung ist nicht bestätigt. Weitere Biegung, Torsion und Normalkraft sind in dieser Variante null.

3. Längsprofil und Mittelprofil - Berechnung

$LL := 1400 = 1400$ Länge Längsprofil [mm]

$ML := \frac{F \cdot LL}{4} = 4463550$ Angesetztes Biegemoment Längsprofil [Nmm]

$V := F = 12753$ Angesetzte Anschlussquerkraft [N]

$sL := \frac{ML}{W} = 185.78939$ Maximale Biegenormalspannung Längsprofil [N/mm²]

$t := \frac{V}{As} = 17.65365$ Schubspannung aus Querkraft [N/mm²]

$pL := \left(sL^2 + t^2 \right)^{0.5} = 186.62623$ Vergleichswert Längsprofil [N/mm²]

$etaSL := \frac{pL}{fwd} = 0.80812$ Ausnutzung Längsprofil, vereinfacht [-]

$LM := 500 = 500$ Länge Mittelprofil [mm]

$MM := \frac{F \cdot LM}{4} = 1594125$ Angesetztes Biegemoment Mittelprofil [Nmm]

Schweissnahtnachweis Profilrahmen - Getriebeteststand

$sM := \frac{MM}{W} = 66.35335$ Maximale Biegenormalspannung Mittelprofil [N/mm²]

$pM := \left(sM^2 + t^2\right)^{0.5} = 68.66163$ Vergleichswert Mittelprofil [N/mm²]

$etaSM := \frac{pM}{fwd} = 0.29731$ Ausnutzung Mittelprofil, vereinfacht [-]

Referenzfall: Längsprofil 80,8 %, Mittelprofil 29,7 %. Beide vereinfachten Vergleiche sind unter den angesetzten Voraussetzungen erfüllt. Biege- und Schubmaxima werden konservativ kombiniert.

4. Anschluss der Rollenplatte

Rollenplatte 200 × 180 × 15 mm, 1.4301. Ersatzmodell: zwei Nähte von je 180 mm im Abstand 100 mm. Weitere Nahtanteile bleiben ungenutzt. N = F wirkt senkrecht zur Anschlussfläche; e = 50 mm wirkt quer zum Nahtabstand.

$lr := 180 = 180$ Länge je angerechneter Naht [mm]

$d := 100 = 100$ Abstand der beiden Nähte [mm]

$e := 50 = 50$ Angesetzte Exzentrizität [mm]

$N := F = 12753$ Normalkraft auf den Anschluss [N]

$MR := N \cdot e = 637650$ Moment aus der Exzentrizität [Nmm]

$AR := 2 \cdot a \cdot lr = 1512$ Wirksame Nahtfläche [mm²]

$IR := 2 \cdot a \cdot lr \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 3780000$ Flächenträgheitsmoment der Nahtlinien [mm⁴]

$WR := \frac{IR}{\left(\frac{d}{2}\right)} = 75600$ Widerstandsmoment des Rollenanschlusses [mm³]

$pR := \frac{N}{AR} + \frac{MR}{WR} = 16.86905$ Maximaler Vergleichswert [N/mm²]

$etaSR := \frac{pR}{fwd} = 0.07305$ Ausnutzung Rollenplatte, vereinfacht [-]

Referenzfall: 16,87 N/mm² < 230,94 N/mm²; Ausnutzung 7,3 %. Der Vergleich der beschriebenen Rollenplattenvariante ist erfüllt.

5. Richtungsbezogener Vergleich

Schweissnahtnachweis Profilrahmen - Getriebeteststand

Für die idealisierte 45°-Kehlnaht wird s in sigma_perp = tau_perp = s/sqrt(2) zerlegt. Bei den Profilanschlüssen wird tau_parallel = t gesetzt. Für die Rollenplatte ist tau_parallel = 0. Die folgenden Formeln gelten für diese Beanspruchungsrichtungen [Q2, Q3].

$fdir := \frac{fu}{(beta \cdot gamma)} = 400$ Grenzwert des richtungsbezogenen Vergleichs [N/mm²]

$fn := \frac{0.9 \cdot fu}{gamma} = 360$ Grenzwert für sigma_perp [N/mm²]

$qL := \left(2 \cdot sL^2 + 3 \cdot t^2\right)^{0.5} = 264.51909$ Richtungsbezogener Vergleichswert Längsprofil [N/mm²]

$etaDL := \frac{qL}{fdir} = 0.6613$ Längsprofil, richtungsbezogene Ausnutzung [-]

$etaNL := \frac{sL}{(2)^{0.5}} = 0.36492$ Längsprofil, zusätzliche Normalspannungsbedingung [-]

$qM := \left(2 \cdot sM^2 + 3 \cdot t^2\right)^{0.5} = 98.69392$ Richtungsbezogener Vergleichswert Mittelprofil [N/mm²]

$etaDM := \frac{qM}{fdir} = 0.24673$ Mittelprofil, richtungsbezogene Ausnutzung [-]

$etaNM := \frac{sM}{(2)^{0.5}} = 0.13033$ Mittelprofil, zusätzliche Normalspannungsbedingung [-]

$qR := (2)^{0.5} \cdot pR = 23.85644$ Richtungsbezogener Vergleichswert Rollenplatte [N/mm²]

$etaDR := \frac{qR}{fdir} = 0.05964$ Rollenplatte, richtungsbezogene Ausnutzung [-]

$etaNR := \frac{pR}{(2)^{0.5}} = 0.03313$ Rollenplatte, zusätzliche Normalspannungsbedingung [-]

Kriterium: alle anzuwendenden Ausnutzungen müssen höchstens 1 sein. Die Kombination der maximalen Profilspannungen erfolgt konservativ.

6. Zusätzliche Lastskalierung

Der Zusatzfaktor lambda = 1,5 ist frei gewählt. Er ist kein normativer Lastbeiwert und nicht mit Smin = 1,5 des Grundwerkstoffvergleichs gleichzusetzen. Alle angesetzten Anschlusskräfte und Momente werden gemeinsam skaliert.

$lam := 1.5 = 1.5$ Zusätzlicher Lastfaktor [-]

$etaSL15 := lam \cdot etaSL = 1.21217$ Längsprofil, vereinfacht bei Lastskalierung [-]

$etaDL15 := lam \cdot etaDL = 0.99195$ Längsprofil, richtungsbezogen bei

Schweissnahtnachweis Profilrahmen - Getriebeteststand

Lastskalierung [-]

$etaNL15 := lam \cdot etaNL = 0.54739$ Längsprofil, Normalspannungsbedingung [-]

$etaDM15 := lam \cdot etaDM = 0.3701$ Mittelprofil, richtungsbezogen bei Lastskalierung [-]

$etaDR15 := lam \cdot etaDR = 0.08946$ Rollenplatte, richtungsbezogen bei Lastskalierung [-]

$lamlim := \frac{1}{etaDL} = 1.51218$ Grenzfaktor des richtungsbezogenen Längsprofilvergleichs [-]

Bei lambda = 1,5 ist der vereinfachte Längsprofilvergleich mit 121,2 % nicht erfüllt. Der richtungsbezogene Vergleich ist mit 99,2 % nur knapp erfüllt; die zusätzliche Normalspannungsbedingung liegt bei 54,7 %.

7. Ergebnis und Nachweisgrenze

Bei der Referenzlast sind alle drei vereinfachten Vergleiche erfüllt. Massgebend ist der angesetzte Längsprofilanschluss mit 80,8 %.

Kupplungsauslegung ROTEX 42 - Getriebeteststand

Auslegung Kupplung - KTR ROTEX 42 / T-PUR 98 ShA

Ausführung: ROTEX 42, Zahnkranz T-PUR 98 ShA, zwei Naben 1a aus EN-GJL-250, Bohrung Ø55 H7 mit Passfedernut. Die Kupplung ist im STEP-Modell nicht enthalten.

1. Eingaben und Betriebsfaktoren

$MNMot := 33.9 = 33.9$ Motor-Nenndrehmoment [Nm]

$MmaxMot := 111 = 111$ Motor-Spitzendrehmoment [Nm]

$iG := 5 = 5$ Getriebeübersetzung [-]

$etaG := 0.985 = 0.985$ Getriebewirkungsgrad [-]

$n2 := 280 = 280$ Drehzahl [min^-1]

$zStop := 6 = 6$ Stopps pro Stunde [h^-1]

$zSchalt := 12 = 12$ Start- und Bremsvorgänge pro Stunde [h^-1]

$thetaU := 35 = 35$ maximale Umgebungstemperatur [Grad C]

$KA := 1.5 = 1.5$ Anwendungsfaktor, konservativ mittlere Stösse [-]

$St := 1.2 = 1.2$ Temperaturfaktor bei 35 Grad C [-]

$Sz := 1 = 1$ Schalthäufigkeitsfaktor bei 12/h [-]

$Sf := 1 = 1$ Drehzahlfaktor bei 280 min^-1 [-]

$TKN := 450 = 450$ Kupplungs-Nenndrehmoment [Nm]

$TKmax := 900 = 900$ Kupplungs-Maximaldrehmoment [Nm]

$TKW := 116.37 = 116.37$ zulässiges Wechseldrehmoment, Katalogwert [Nm]

$PKW := 12 = 12$ zulässige Dämpfungsleistung, Katalogwert [W]

2. Lastfall 1 - Nenndrehmoment

Nach Roloff/Matek/KTR wird das Motor-Nenndrehmoment am Getriebeabtrieb mit Anwendungs- und Temperaturfaktor gegenüber TKN geprüft.

$TN2 := MNMot \cdot iG \cdot etaG = 166.9575$ Motor-Nenndrehmoment am Abtrieb [Nm]

$TKerfN := TN2 \cdot KA \cdot St = 300.5235$ erforderliches Kupplungs-Nenndrehmoment [Nm]

$SNenn := \frac{TKN}{TKerfN} = 1.49739$ Reserve im Nenndrehmomentnachweis [-]

Lastfall 1 erfüllt: 300.52 Nm < 450 Nm; Reserve 1.50.

3. Lastfall 2 - aktuell berechnetes Lastspitzenmoment

Die Kupplung überträgt die Kurvenlast und die Rampenbeschleunigung der nachgeschalteten STEP-Baugruppe sowie der äquivalenten Folgerträgheit. Motor- und Getriebeeigeninertien liegen vor der Kupplung und werden hier nicht addiert.

$McB := 173.473998702 = 173.474$ aktuelles Kurvenwellen-Spitzenmoment [Nm]

$JSTEP := 0.46599284869 = 0.46599$ nachgeschaltete STEP-Trägheit [kg m²]

Kupplungsauslegung ROTEX 42 - Getriebeteststand

$JeqMax := 0.1170900034 = 0.11709$ max. äquivalente Folgerträgheit [kg m²]

$alpha2 := 2.93215314335 = 2.93215$ Winkelbeschleunigung 10-s-Rampe [rad/s²]

$TKakt := McB + JSTEP + JeqMax \cdot alpha2 = 175.18369$ aktuelles Kupplungs-Spitzenmoment [Nm]

$TKaktErf := TKakt \cdot St = 210.22042$ temperaturbewertetes Lastspitzenmoment [Nm]

$SaktMax := \frac{TKmax}{TKaktErf} = 4.28122$ Reserve gegenüber TKmax [-]

Lastfall 2 erfüllt: 210.22 Nm < 900 Nm; Reserve 4.28.

4. Lastfall 3 - maximales vom Antrieb erzeugbares Moment

Dieser Fehler-/Grenzlastfall setzt das volle Motor-Spitzendrehmoment an. Er ist nicht das normale 10-s-Bremsmoment.

$T2MotMax := MmaxMot \cdot iG \cdot etaG = 546.675$ maximal erzeugbares Abtriebsmoment [Nm]

$TKerfMax := T2MotMax \cdot St \cdot Sz = 656.01$ erforderliches Kupplungs-Maximalmoment [Nm]

$SMax := \frac{TKmax}{TKerfMax} = 1.37193$ Reserve im Maximalmomentnachweis [-]

Lastfall 3 erfüllt: 656.01 Nm < 900 Nm; Reserve 1.37.

5. Periodisches Wechseldrehmoment - konservative Vorprüfung

Ohne vollständige positive und negative Drehmomentkurve ist TW nicht exakt bekannt. Für eine konservative Vorprüfung wird das gesamte aktuelle Kurven-Spitzenmoment als Wechseldrehmomentamplitude angesetzt.

$TWprov := 173.473998702 = 173.474$ provisorische Wechseldrehmomentamplitude [Nm]

$TKWerf := TWprov \cdot St \cdot Sf = 208.1688$ erforderliches zulässiges Wechseldrehmoment [Nm]

$SW := \frac{TKW}{TKWerf} = 0.55902$ provisorische Wechselmomentreserve [-]

$TWzul := \frac{TKW}{St \cdot Sf} = 96.975$ max. zulässige tatsächliche Wechseldrehmomentamplitude [Nm]

Die konservative Wechselmoment-Vorprüfung ist mit Reserve 0.56 nicht erfüllt. Für die endgültige Entscheidung muss aus der realen Drehmoment-Zeit-Kurve gelten: TW <= 96.98 Nm. TKW und PKW sind vor Bestellung mit dem aktuellen KTR-Datenblatt zu bestätigen.

6. Ergebnis

Nenndrehmoment, aktuelles Lastspitzenmoment und maximal erzeugbares Antriebsmoment sind für ROTEX 42 erfüllt.

Passfedernachweis Methode B - 16x10x50 - Getriebeteststand

Passfedernachweis nach DIN 6892 - Methode B

NEUER ENTSCHEID 15.09.2026: Die bisherige Passfeder DIN 6885-1 Form A 16 x 10 x 45 mm wurde auf 16 x 10 x 50 mm verlängert. Grund: Der konservative Nachweis mit dem vollen Motorspitzenmoment von 111 Nm war mit 45 mm (S = 0,92) nicht erfüllt. Die neue Länge erhöht die tragende Länge von 29 auf 34 mm und erfüllt auch diesen Grenzlastfall.

1. Geometrie und Lastfaktoren

$d := 55 = 55$ Wellendurchmesser [mm]

$b := 16 = 16$ Passfederbreite [mm]

$h := 10 = 10$ Passfederhöhe [mm]

$t1 := 6 = 6$ Wellennuttiefe, Kontrolle [mm]

$lPF := 50 = 50$ Passfederlänge Form A [mm]

$rNut := 0.4 = 0.4$ Nutgrundradius, konservativer Maximalwert [mm]

$sKante := 0.4 = 0.4$ Fase/Rundung der Nutkante, konservativ [mm]

$nPF := 1 = 1$ Anzahl Passfedern [-]

$phiPF := 1 = 1$ Tragfaktor bei einer Passfeder [-]

$Klambda := 1 = 1$ Lastverteilungsfaktor [-]

$KR := 1 = 1$ Reibschlussfaktor; keine Reibschlussentlastung [-]

$fW := 0.5 = 0.5$ Lastrichtungswechselfaktor, konservativ hochzyklisch [-]

$fL := 1.3 = 1.3$ Lastspitzenhäufigkeitsfaktor, seltener Fehlerfall [-]

$htr := 3.9 = 3.9$ tragende Höhe nach Methode B [mm]

$ltr := 34 = 34$ tragende Länge Form A: lPF - b [mm]

$ltrd := 0.618181818182 = 0.61818$ Längenverhältnis ltr/d [-]

Mit ltr/d = 0.618 wird Kλ = 1,0 beibehalten. KR = 1,0 setzt konservativ keinen tragenden Reibschluss der Passung an.

2. Werkstoffe und zulässige Flächenpressungen

$ReW := 305 = 305$ Streckgrenze Welle 1.1191/C45E +N [N/mm²]

$RePF := 305 = 305$ konservative Streckgrenze Passfeder C45K [N/mm²]

$RmNabe := 250 = 250$ Mindestzugfestigkeit EN-GJL-250 [N/mm²]

$SB := 2 = 2$ Bruchsicherheit der Gussnabe [-]

$pzulW := 366 = 366$ zulässige Flächenpressung Welle [N/mm²]

$pzulPF := 305 = 305$ zulässige Flächenpressung Passfeder [N/mm²]

$pzulNabe := 125 = 125$ zulässige Flächenpressung GJL-Nabe [N/mm²]

$pzul := 125 = 125$ maßgebende zulässige Flächenpressung; GJL-Nabe [N/mm²]

Passfedernachweis Methode B - 16x10x50 - Getriebeteststand

pzul := 125 = 125 massgebende zulässige Flächenpressung: GJL-Nabe [N/mm²]

3. Dynamischer Nachweis bei wechselseitiger Belastung

Wie im bisherigen Nachweis wird mangels vollständiger Drehmoment-Zeit-Kurve das aktuelle Kupplungs-Spitzenmoment konservativ als äquivalentes hochzyklisches Drehmoment angesetzt.

Teq := 175.18368692 = 175.18369 konservatives äquivalentes Drehmoment [Nm]

peq := 48.0415979487 = 48.0416 äquivalente Flächenpressung [N/mm²]

pzulDyn := 62.5 = 62.5 zulässig bei Lastrichtungswechsel [N/mm²]

SDyn := 1.30095589382 = 1.30096 dynamische Sicherheit der GJL-Nabe [-]

TzulDyn := 227.90625 = 227.90625 zulässiges hochzyklisches Drehmoment [Nm]

Dynamischer Nachweis erfüllt: peq = 48.04 N/mm² < 62.50 N/mm²; Sicherheit S = 1.30.

4. Statischer Nachweis - aktueller Betrieb

TmaxReg := 175.18368692 = 175.18369 maximales aktuelles Kupplungsmoment [Nm]

pmaxReg := 48.0415979487 = 48.0416 maximale Flächenpressung im Betrieb [N/mm²]

SStatReg := 2.60191178764 = 2.60191 statische Sicherheit aktueller Betrieb [-]

Aktueller Betrieb erfüllt: pmax = 48.04 N/mm² < 125.00 N/mm²; Sicherheit S = 2.60.

5. Grenzlastfall - volles Motor-Spitzendrehmoment

TmaxFehler := 546.675 = 546.675 maximal vom Motor am Abtrieb erzeugbares Moment [Nm]

pmaxFehler := 149.917729329 = 149.91773 Flächenpressung im Motor-Grenzlastfall [N/mm²]

pzulFehler := 162.5 = 162.5 zulässig für seltene Lastspitze [N/mm²]

SFehler := 1.08392783647 = 1.08393 Sicherheit im Motor-Grenzlastfall [-]

TzulFehler := 592.55625 = 592.55625 zulässiges seltenes Lastspitzenmoment [Nm]

iG := 5 = 5 Getriebeübersetzung [-]

etaG := 0.985 = 0.985 Getriebewirkungsgrad [-]

MmotLimit := 120.315989848 = 120.31599 max. Motor-Drehmoment für konservativen GJL-Nachweis [Nm]

Der volle Motorgrenzlastfall ist mit der neuen Passfeder erfüllt: p = 149.92 N/mm² < 162.50 N/mm²; Sicherheit S = 1.08. Das rechnerisch zulässige Motormoment beträgt rund 120.3 Nm und liegt damit über dem Motorspitzenmoment von 111 Nm.

6. Vergleich und Entscheid

Bisheriger Stand 16 x 10 x 45 mm: ltr = 29 mm, Grenzlast-Sicherheit S = 0,92 -> nicht erfüllt. Neuer Stand 16 x 10 x 50 mm: ltr = 34 mm, Grenzlast-Sicherheit S = 1,08 -> erfüllt. Die Passfeder wird deshalb konstruktiv auf DIN 6885-1 Form A 16 x 10 x 50 mm aus C45K festgelegt.

Anlage D | Auftrag und Anforderungen

Die Themeneingabe ist als Original-PDF enthalten. Das aktuelle Pflichtenheft V1.2 folgt als vollständige PDF-Lesefassung mit unverändertem Wortlaut und Tabelleninhalt. Das überholte Pflichtenheft V1.1 wird nicht zusätzlich abgedruckt.

Teil	Inhalt / Herkunft
D1	Themeneingabe vom 01.04.2026
D2	Pflichtenheft Getriebeteststand V1.2, Stand 04.09.2026

Schweizerische
Fachschule
TEKO

Themeneingabe - Diplomarbeit

Name	Schlatter
Vorname	David
Adresse, Ort	Bielstrasse 21 4500 Solothurn
Tel: P, G	079 227 35 02 / 031 980 84 41
e-mail	David.schlatter@edu.teko.ch; david.schlatter@advaltech.com
Klasse	B-TMA-23-T-a
Abteilung	Tool Development
Thema	Getriebeteststand
Fachgebiet	Maschinenbau
Firma	Adval Tech (Switzerland) AG

Vorschlag Diplomarbeit

Thema

Beschreibung des Themas. Weshalb mache ich diese Problemstellung zum Thema?

Die Firma Adval Tech entwickelt und baut Maschinen zur Produktion von Deckel für Aerosolbehälter (Spraydosen). In diesen Maschinen werden Getriebe verbaut, die zur Steuerung des längs Vorschub für das Werkzeug benötigt werden. Das Problem ist nun, das wir stand 1.4.2026 keine Möglichkeit haben die Getriebe zu testen, wenn wir keine Maschine im Haus haben. Meine Aufgabe ist es nun einen Teststand zu konstruieren, an dem wir die Getriebe testen können. Dies ist notwendig, da die Getriebe in regelmässigen Abstand gewartet werden müssen.

Ziel

Welches Ziel will ich erreichen (Richtziel)?

Es müssen folgende Ziele mit dem Teststand erreicht werden:

- Messung Öltemperatur
- Messung Öldruck
- Überprüfung Hebel Position
- Überprüfung Leckage

Der Teststand sollte möglichst autonom (Geisterschicht) über 8h lang betrieben werden können.

⇒ **Kunde**

Für wen arbeite ich? Wer ist eigentlich der Abnehmer?

- Abteilung Sondermaschinenbau Adval Tech (Switzerland) AG

⇒ **Sinn und Zweck**

Wozu mache ich das? Für was soll dieser Auftrag dienen?

Es kam vor, dass nicht konforme Getriebe an Kunden geliefert wurden (Leckage, zu hohe Öltemperatur) um dies zu verhindern benötigen wir einen Teststand, an dem die Getriebe gründlich getestet werden können, da es enorme Kosten und Mühe verursacht ein nicht konformes Getriebe zu ersetzten.

⇒ **Endergebnis**

Wie soll das Ergebnis der Arbeit konkret aussehen? Was liegt bei Auftragende vor?

Eine auf das mechanische fokussierte, ausführungsbereite, mit dem Sondermaschinenbau abgestimmte Testvorrichtung zu konstruieren, welche für den internen Gebrauch bestimmt ist. Steuerung und Datenverarbeitung ist nicht Teil meines Auftrags. Dies übernimmt der Sondermaschinenbau.

⇒ **Erfolgskriterien**

Woran messen wir am Ende, ob ich erfolgreich gearbeitet habe?

Können alle wichtigen Parameter getestet werden?

Ist die Maschine bedienungsfreundlich?

D2 | Pflichtenheft V1.2

PDF-Lesefassung des Originaldokuments. Wortlaut und Tabelleninhalte sind übernommen; der Seitenumbruch ist für die Anlage neu gesetzt.

Quelle: Pflichtenheft_Getriebeteststand_V1.2.docx

Pflichtenheft
Getriebeteststand für Aerosolanlagen

Dokumenttyp: Technisches Pflichtenheft
Version: 1.2
Stand: 04.09.2026
Projektstatus: Freigegeben

Ziel des Dokuments
Dieses Pflichtenheft beschreibt die Anforderungen an einen gemeinsamen Getriebeteststand zur Funktions-, Dauerlauf- und Zustandsprüfung der Vorschubgetriebe 82,5 mm und AE+. Das Dokument dient als Grundlage für Konstruktion, Beschaffung, Aufbau, Inbetriebnahme und Abnahme des Teststands.

Auftrag / System	Getriebeteststand für Aerosolanlagen
Anwendungszweck	Prüfung der Vorschubgetriebe 82,5 mm und AE+ sowie der zugehörigen Funktionskomponenten im Werkstatt- bzw. Produktionsumfeld
Antrieb	Beckhoff Servomotor mit vorgeschaltetem oder integriertem Getriebe
Betriebsart	Manuell betreuter Prüfmodus sowie automatisierter Dauerlauf in der Geisterschicht für beide Getriebetypen
Prüflinge	Vorschubgetriebe 82,5 mm (Zeichnung 10158336, Index D) und Vorschubgetriebe AE+ (Zeichnung 10142123, Index E)
Option	Verstaubarkeit bzw. Transportierbarkeit auf Palette

1. Zweck und Geltungsbereich

Der Teststand dient zur reproduzierbaren Prüfung der Vorschubgetriebe 82,5 mm und AE+ für Aerosolanlagen. Beide Getriebetypen müssen auf demselben Teststand geprüft werden können. Prüflingsspezifische Umbauten und Adapter sind zulässig. Der Teststand muss sowohl für Einzelfunktionsprüfungen als auch für überwachte Dauerläufe geeignet sein und ist für den innerbetrieblichen Einsatz in einer Werkstatt- oder Produktionsumgebung auszulegen.

2. Systembeschreibung

Der Getriebeteststand besteht aus einer mechanischen Aufnahme für beide Prüflingsvarianten, einem elektrischen Antrieb mit Adapterkupplung, einer Mess- und Überwachungstechnik, einer Schmier- und Leckageüberwachung sowie einer geeigneten Steuerungs- und Sicherheitsarchitektur. Die vorhandenen Temperatur-, Druck- und Drehzahlsensoren der Prüflinge werden konstruktiv berücksichtigt. Ziel ist die belastbare Beurteilung von Funktion, Leckageverhalten, Temperatur, Druck, Hebelendstellungen und Schwingungsverhalten während des Prüfbetriebs.

2.1 Prüflingsvarianten und Schnittstellen

Vorschubgetriebe 82,5 mm gemäss Zeichnung 10158336, Index D.

Vorschubgetriebe AE+ gemäss Zeichnung 10142123, Index E.

Beide Getriebe besitzen dieselben Befestigungsflächen, Flansche und dieselbe Antriebsnabe. Die abweichenden Teilenummern der Antriebsnabe beruhen auf einer Aktualisierung der Bauteilbezeichnung.

Die Prüfung erfolgt auf demselben Teststand. Prüflingsspezifische Umbauten, Adapterplatten und eine Adapterkupplung sind zulässig.

Die Einbauposition soll, soweit konstruktiv möglich, der Einbaulage in der Maschine entsprechen.

Beide Prüflinge verfügen in der vorgesehenen Einbauposition über die erforderliche vorhandene Sensorik; an beiden Getrieben ist ein Drehgeber vorhanden.

3. Betriebs- und Einsatzkonzept

3.1 Betriebsarten

Einrichtbetrieb für Aufbau, Ausrichtung, Sensorprüfung und Parametrierung.

Manueller Prüfmodus für kurze Funktions- und Einstelltests unter Aufsicht.

Automatisierter Dauerlaufbetrieb für mindestens 8 Stunden je Getriebetyp in der Geisterschicht mit kontinuierlicher Überwachung der relevanten Prozessgrössen.

Störungsfallbetrieb mit definierter Abschaltlogik, Störmeldung und sicherem Stillsetzen.

3.2 Umgebungs- und Randbedingungen

Der Teststand ist für den industriellen Innenbereich auszulegen.

Eine saubere, zugängliche und wartungsfreundliche Bauweise ist sicherzustellen.

Leckagen dürfen weder den Boden noch angrenzende Baugruppen verunreinigen; austretendes Öl ist kontrolliert aufzufangen.

Alle Mess- und Funktionselemente sowie die prüflingsspezifischen Adapter müssen für Bedienung, Umrüstung, Wartung und Kalibrierung gut erreichbar sein.

4. Funktionale Anforderungen

ID	Anforderung	Beschreibung / Ausprägung	Priorität
F-01	Dauerlauf	Der Teststand muss mit jedem der beiden Getriebetypen einen automatisierten Dauerlauf von mindestens 8 Stunden ohne Bedienereingriff ermöglichen. Der Betrieb in der Geisterschicht muss mit Überwachung, Protokollierung und sicherer Abschaltung bei Fehlerzuständen realisierbar sein.	Muss
F-02	Öltemperaturmessung	Die Öltemperatur muss über den am jeweiligen Prüfling vorhandenen Temperatursensor während des Prüfablaufs gemessen, angezeigt und protokolliert werden können. Die zulässigen Grenzwerte sind je Getriebetyp separat festzulegen.	Muss
F-03	Öldruckmessung	Der Öldruck muss über die am jeweiligen Prüfling vorhandene Druckmesstechnik erfasst, angezeigt und protokolliert werden können. Die zulässigen Grenzwerte sind je Getriebetyp separat festzulegen.	Muss
F-04	Hebelendlagen	Die beiden Hebelendlagen müssen berührungslos mit Hilfe eines Distanzsensors überwacht werden können. Beim Getriebe 82,5 mm beträgt der Stellweg ab Mittelstellung ±41,25 mm bzw. ±5,498°. Beim Getriebe AE+ beträgt er ±55 mm bzw. ±7,333°. Eine kontinuierliche Wegmessung zwischen den Endlagen ist nicht erforderlich.	Muss
F-05	Leckagekontrolle	Unterhalb des Prüfraums ist eine ölbeständige Ölauffangwanne vorzusehen. Diese muss Leckagen sicher aufnehmen und eine visuelle Kontrolle auf Tropfverluste bzw. Undichtigkeiten ermöglichen. Eine quantitative Leckagemessung ist nicht erforderlich.	Muss
F-06	Vibrationsmessung	Am Prüfling oder an einer definierten Messstelle muss eine Vibrationsmessung durchgeführt werden können. Die Messung muss zur Beurteilung von Laufverhalten, Unwucht, Lagerzustand oder Getriebegeräuschen geeignet sein.	Kann
F-07	Antriebssystem	Der Teststand wird mit einem Beckhoff Servomotor mit Getriebe angetrieben. Beide Prüflinge müssen ohne äussere Belastung kontinuierlich in einer Drehrichtung bis maximal 280 H/min betrieben werden können. Für die Auslegung gilt: 1 H/min entspricht 1 U/min an der Antriebsnabe und einem vollständigen Bewegungszyklus des Hebels.	Muss
F-08	Adapterkupplung	Zwischen Motor und Prüfling ist eine montagefreundliche und ausrichtbare Adapterkupplung vorzusehen. Sie muss die gemeinsame Antriebsnabenschnittstelle beider Getriebetypen aufnehmen, zulässige Fluchtungsfehler ausgleichen und einen sicheren Drehmomentfluss gewährleisten.	Muss
F-09	Zusatzschmierung Lagerstellen	Für die Lagerstellen der Antriebsnabe ist zusätzlich zur prüflingseigenen Ölversorgung eine funktionssichere Schmierlösung vorzusehen. Die Ausführung kann manuell, zentral oder intervallgesteuert erfolgen, muss aber klar definiert, zugänglich und wartungsgerecht sein.	Muss
F-10	Palettenfähigkeit	Der Teststand soll optional so aufgebaut werden, dass er auf einer Palette verstaubar bzw. transportfähig ist. Hierzu sind geeignete Anschlag-, Befestigungs- und Schutzkonzepte vorzusehen.	Kann
F-11	Prüflingswechsel	Beide Getriebetypen müssen auf demselben Grundaufbau sicher und wiederholgenau montiert werden können. Erforderliche Umbauten und der Wechsel von Adapter- oder Kupplungsteilen sind zulässig. Eine maximale Rüstzeit ist nicht vorgegeben.	Muss
F-12	Prüflingseigene Ölversorgung	Für die interne Schmierung des Getriebes wird der am Prüfling vorhandene Öltank mit den vorhandenen Leitungen und Komponenten verwendet. Eine externe Ölversorgung des Getriebes durch den Teststand ist nicht vorgesehen.	Muss

5. Mess-, Überwachungs- und Protokollierfunktionen

Alle relevanten Messgrößen müssen mindestens lokal visualisierbar und für die Versuchsdokumentation speicherbar sein.

Für den unbeaufsichtigten Dauerlauf sind Grenzwerte, Warnmeldungen und Abschaltbedingungen vorzusehen.

Mindestens Öltemperatur, Öldruck, Hebelendlagen, Drehzahl und Störzustände sind zeitbezogen zu protokollieren.

Die Vibrationsmessung muss für wiederkehrende Vergleichsmessungen reproduzierbar an derselben Messstelle ansetzbar sein.

Die Messmittel sind so zu montieren und anzubinden, dass die vorhandenen Sensoren beider Prüflinge verwendet und bei Bedarf ohne grösseren Umbau gewechselt oder kalibriert werden können.

6. Mechanische Anforderungen

Der Grundaufbau muss steif, schwingungsarm und für den vorgesehenen Prüfbetrieb ausreichend dimensioniert sein.

Beide Prüflingsvarianten müssen sicher, wiederholgenau und mit vertretbarem Rüstaufwand auf demselben Grundaufbau montierbar sein. Prüflingsspezifische Umbauten sind zulässig.

Adapterkupplung, Adapterplatten und Aufnahmeelemente sind auf Basis der vollständigen CAD-Datensätze beider Getriebe auszulegen. Montagefehler und Beschädigungen am Prüfling sind konstruktiv zu vermeiden.

Bewegende Teile sind gegen unbeabsichtigtes Berühren zu schützen.

Die Ölauffangwanne ist ölbeständig, reinigungsfreundlich und leicht entnehmbar oder gut zugänglich auszuführen.

Für die Zusatzschmierung der Antriebsnaben-Lagerstellen ist eine konstruktiv saubere Zuführung bzw. Wartungsmöglichkeit vorzusehen.

7. Elektrische, steuerungs- und sicherheitstechnische Anforderungen

Der Antrieb ist mit einem Beckhoff Servomotor mit Getriebe zu realisieren. Die Einbindung muss einen kontinuierlichen Betrieb in einer Drehrichtung bis maximal 280 H/min ermöglichen. Dabei entspricht 1 H/min einer Umdrehung pro Minute an der Antriebsnabe. Die Parametrierung muss servicefreundlich erfolgen.

Der Teststand muss über eine Start-/Stop-Logik, Not-Halt-Funktion und definierte Fehlerreaktionen verfügen.

Fehler wie Übertemperatur, Druckabfall bzw. unzulässiger Druck, fehlende Hebelendlage, Sensorfehler oder Antriebsstörung müssen erkannt und in einen sicheren Zustand überführt werden. Temperatur- und Druckgrenzen sind je Getriebetyp separat zu parametrieren.

Die Sicherheitsfunktionen sind gemäß betrieblicher Sicherheitsanforderungen auszulegen; Schutzabdeckungen und gegebenenfalls Verriegelungen sind vorzusehen.

Elektrische Komponenten, Verkabelung und Sensoranschlüsse sind übersichtlich, beschriftet und wartungsgerecht anzuordnen.

8. Bedienung und Wartung

Der Teststand muss einfach einrichtbar und für das Bedienpersonal verständlich aufgebaut sein.

Verschleißteile, Messstellen, Schmierstellen und Reinigungsbereiche müssen gut zugänglich sein.

Die Ölauffangwanne muss im Rahmen der Wartung leicht kontrollierbar und entleerbar sein.

Für den Prüfablauf sind eindeutige Bedien- und Prüfanweisungen vorzusehen.

Die Konstruktion soll eine sichere und nachvollziehbare Umrüstung zwischen den beiden Getriebetypen sowie einen schnellen Austausch von Adapterkupplung, Sensorhalterungen und Prüflingsadaptern ermöglichen.

9. Verantwortlichkeiten und Abgrenzungen

Zur klaren Projektabwicklung werden die Zuständigkeiten im Projekt eindeutig festgelegt. Die Hauptverantwortung je Themengebiet ist verbindlich zugeordnet; Schnittstellenthemen sind frühzeitig zwischen den beteiligten Bereichen abzustimmen.

Bereich	Verantwortlich	Umfang / Abgrenzung
Montage / mechanischer Aufbau	Sondermaschinenbau (Yves Ledermann)	Umsetzung des freigegebenen Konzepts, Aufbau und Montage des Teststands, Einbau der Komponenten, Ausrichtung sowie Unterstützung bei der Inbetriebnahme.
Elektroengineering	Sondermaschinenbau (Yves Ledermann)	Elektrische Ausrüstung, Verdrahtung, Sensor- und Aktoranbindung, Anschlusskonzept sowie übersichtliche und wartungsgerechte Beschriftung der elektrischen Komponenten.
Steuerung / SPS	Sondermaschinenbau (Yves Ledermann)	SPS-/HMI-Programmierung, Parametrierung des Beckhoff-Antriebs, I/O-Zuordnung, Meldungen, Grenzwerte sowie Überwachungs- und Abschaltlogik.
Konstruktion	Konstruktion (David Schlatter)	Mechanische Konstruktion des Teststands inklusive Gesamtaufbau, Prüflingsaufnahme, Kupplungskonzept, Ölauffangwanne, konstruktive Schutzmaßnahmen und Schmierkonzept.
Dokumentation	Konstruktion (David Schlatter)	Erstellung und Pflege der Konstruktionsunterlagen, Stücklisten, Projektdokumentation sowie der freizugebenden Unterlagen für Aufbau, Betrieb und Abnahme. Die Dokumentation entspricht der Diplomarbeit von David Schlatter.
Prüfanweisung	Konstruktion (David Schlatter)	Erstellung und Pflege der Prüfanweisung, Definition der Prüfabläufe, Prüfmittel, Sollwerte, Abnahmekriterien und Nachweise.

Schnittstellen und Freigaben

Die Konstruktion übergibt die freigegebenen Zeichnungen, Stücklisten, Prüfanweisungen und sonstigen projektrelevanten Unterlagen als verbindliche Grundlage für die Umsetzung.

Der Sondermaschinenbau setzt Montage, Elektro und Steuerungsengineering auf Basis dieser freigegebenen Unterlagen um und meldet Rückfragen oder Umsetzungsabweichungen frühzeitig an die Konstruktion.

Änderungen an der mechanischen Ausführung, Dokumentation oder Prüfanweisung liegen in der fachlichen Verantwortung der Konstruktion.

Änderungen an Montage, Elektro oder Steuerungsumsetzung liegen in der fachlichen Verantwortung des Sondermaschinenbaus.

Änderungen mit Auswirkungen auf beide Bereiche dürfen nur nach gemeinsamer Abstimmung zwischen Yves Ledermann und David Schlatter umgesetzt werden.

Die fachliche Teilabnahme der Bereiche erfolgt durch die jeweils verantwortliche Stelle; die Gesamtfreigabe des Teststands für den Probebetrieb erfolgt gemeinsam.

10. Abnahmekriterien

ID	Prüfpunkt	Nachweis / Abnahmebedingung	Ergebnis
A-01	8h-Dauerlauf	Mit jedem Getriebetyp wird ein dokumentierter Probelauf über mindestens 8 Stunden ohne unzulässige Störung absolviert. Messdaten und Ereignisse werden aufgezeichnet.	Offen
A-02	Öltemperatur	Die Öltemperatur wird mit dem am jeweiligen Getriebe vorhandenen Temperatursensor plausibel erfasst, angezeigt und im Prüfprotokoll gespeichert.	Offen
A-03	Öldruck	Der Öldruck wird mit der am jeweiligen Getriebe vorhandenen Druckmesstechnik plausibel erfasst, angezeigt und im Prüfprotokoll gespeichert.	Offen
A-04	Hebelendlagen	Die beiden Hebelendlagen werden für beide Getriebetypen mit dem Distanzsensor reproduzierbar erkannt. Die zulässige Positionsabweichung wird vor der Abnahme festgelegt.	Offen
A-05	Leckageprüfung	Austretendes Öl wird in der Ölauffangwanne sicher aufgefangen und kann visuell kontrolliert werden.	Offen
A-06	Vibrationsmessung	Eine Vibrationsmessung kann an der definierten Messstelle durchgeführt und dokumentiert werden.	Optional
A-07	Kupplung / Antrieb	Beide Getriebetypen können über die Adapterkupplung ohne äussere Belastung kontinuierlich in der vorgegebenen Drehrichtung bis maximal 280 H/min betrieben werden. Dabei entspricht 1 H/min einer Umdrehung pro Minute an der Antriebsnabe. Der Antrieb arbeitet störungsfrei.	Offen
A-08	Zusatzschmierung Lagerstellen	Die Zusatzschmierung der Antriebsnaben-Lagerstellen ist umgesetzt, beschrieben und funktionsfähig.	Offen
A-09	Palettenlösung optional	Sofern beauftragt, ist die Verstaubarkeit bzw. Transportierbarkeit auf Palette praktisch nachgewiesen.	Optional
A-10	Prüflingswechsel	Beide Getriebetypen können auf demselben Grundaufbau mit den vorgesehenen Adapter- und Kupplungsteilen sicher, wiederholgenau und ohne Beschädigung montiert werden.	Offen

11. Liefer- und Dokumentationsumfang

Konstruktionsunterlagen des Teststands inklusive Zeichnungen, Stückliste, Prüflingsaufnahmen, Adapterkupplung und Schmierkonzept für die Zusatzschmierung der Antriebsnaben-Lagerstellen.

Elektrodokumentation inklusive Klemmenplan, I/O-Übersicht und Sensorliste.

Bedienungsanleitung, Wartungsanweisung und Prüfanweisung.

Messstellenübersicht mit Zuordnung der vorhandenen Sensoren, Signale und getriebetypabhängigen Grenzwerte.

Abnahmeprotokoll mit Prüfergebnissen des Probebetriebs.

12. Annahmen und offene Spezifikationspunkte

Folgende Punkte sind im weiteren Projektverlauf noch verbindlich festzulegen, sofern sie nicht bereits in separaten Unterlagen definiert sind: Verwendung und elektrische Einbindung der an beiden Getrieben vorhandenen Drehgeber, zulässige Abweichung bei der Erkennung der Hebelendlagen, zulässige Temperatur- und Druckgrenzen je Getriebetyp, freigegebene Ölsorte, geforderte Messgenauigkeiten, Umfang der Datenspeicherung, gewünschte Auswertesoftware sowie genaue Anforderungen an die Palettenlogistik. Das erforderliche Antriebsmoment und die Auswahl des Motors werden im Rahmen der Konstruktion ermittelt und sind nicht als Zahlenwert Bestandteil dieses Pflichtenhefts.

13. Zusammenfassung

Der Getriebeteststand muss einen gemeinsamen, robusten und sicheren Prüfaufbau für die Vorschubgetriebe 82,5 mm und AE+ bereitstellen. Beide Prüflinge werden auf demselben Grundaufbau mit zulässigen Adapter- und Kupplungsumbauten geprüft. Vorgesehen sind ein 8-stündiger automatisierter Dauerlauf je Getriebetyp, ein kontinuierlicher Betrieb in einer Drehrichtung bis maximal 280 H/min ohne äussere Belastung, wobei 1 H/min einer Umdrehung pro Minute an der Antriebsnabe entspricht, die Nutzung der vorhandenen Temperatur-, Druck- und Drehzahlsensorik, die Überwachung der getriebespezifischen Hebelendlagen, eine visuelle Leckagekontrolle, die Möglichkeit zur Vibrationsmessung sowie eine definierte Zusatzschmierung der Antriebsnaben-Lagerstellen. Optional ist eine transport- und lagerfreundliche Ausführung auf Palette vorzusehen.

Anlage E | Design Reviews

Die Protokolle dokumentieren den jeweiligen Entscheidungsstand. Frühere Aussagen und damals offene Punkte bleiben als historische Projektunterlagen erhalten. E1 ist eine vollständige PDF-Lesefassung der bereitgestellten Worddatei; E2 bis E4 sind Original-PDFs.

Teil	Inhalt / Herkunft
E1	Design Review 1 vom 07.09.2026 – Antrieb und Lagerung
E2	Design Review vom 15.09.2026
E3	Handschriftliche Notizen zum Review vom 15.09.2026
E4	Abschluss-Design-Review vom 21.10.2026

E1 | Design Review vom 07.09.2026

PDF-Lesefassung des Originaldokuments. Wortlaut und Tabelleninhalte sind übernommen; der Seitenumbruch ist für die Anlage neu gesetzt.

Quelle: DR_Protokoll_Antrieb_und_Lagerung_Getriebeteststand.docx

Design Review Protokoll

Antrieb Lagerung und Schnittstellen des Getriebeteststands

Projekt	Diplomarbeit Getriebeteststand	DR Nummer	1
Datum	07.09.2026	Ort	Sitzungszimmer Engineering
Projektleitung	David Schlatter	Protokollführung	SCDV
Teilnehmende	Yves Ledermann, Markus Jost, David Schlatter	Status	Beschlüsse festgehalten

Ziel und Ergebnis des Reviews

Im Design Review wurde das überarbeitete Antriebs- und Lagerungskonzept für den Getriebeteststand beurteilt. Der Motor und das Planetengetriebe wurden festgelegt und für die weitere Konstruktion freigegeben. Die Antriebswelle wird über eine Lagerglocke aufgenommen und mit denselben Lagern gelagert, die auch für die Welle im Prüfling verwendet werden. Die Bauteile werden über definierte Verstiftungen zueinander ausgerichtet.

Das bisherige Konzept, bei dem jeder Prüfling direkt mit der Halteplatte verschraubt wird, wurde verworfen. Das neue Konzept bildet eine eindeutigere und reproduzierbare Bezugskette. Damit soll eine saubere lineare Ausrichtung zwischen Prüflingswelle und Antriebswelle erreicht werden.

Geprüfte Baugruppen

Motor und Planetengetriebe als festgelegte Antriebseinheit

Kupplung zwischen Motor- beziehungsweise Getriebeseite und Antriebswelle

Antriebswelle mit Lagerung innerhalb einer Lagerglocke

Halteplatte und Grundplatte als mechanische Bezugselemente

Aufnahme und Ausrichtung des Prüflings

oberer Gleitschlitten für die Prüfung des neuen Konzepts

Beschlüsse

Nr	Thema	Beschluss	Status
B 01	Motor und Planetengetriebe	Die ausgewählte Kombination wurde festgelegt und freigegeben.	freigegeben
B 02	Kupplung und Antriebswelle	Motor, Planetengetriebe, Kupplung und Antriebswelle werden als zusammenhängendes Antriebssystem konstruktiv umgesetzt.	beschlossen
B 03	Lagerglocke	Die Antriebswelle wird mithilfe einer Lagerglocke befestigt und gelagert.	beschlossen
B 04	Lagerauswahl	Für die Antriebswelle werden dieselben Lager verwendet wie für die Welle im Prüfling. Dies vereinfacht Auslegung, Beschaffung und Ersatzteilhaltung.	beschlossen
B 05	Oberer Gleitschlitten	Der obere Gleitschlitten wird auf Basis des neuen Konzepts neu konstruiert, damit diese Ausführung am Teststand geprüft werden kann.	umzusetzen
B 06	Ausrichtung	Die Lage der Antriebseinheit und des Prüflings wird durch eine durchgängige Verstiftungs- und Bezugskette definiert.	beschlossen

Toleranz und Bezugskette

Die konstruktive Ausrichtung wird über folgende festgelegte Schnittstellen aufgebaut:

Schritt	Schnittstelle	Ausrichtung
1	Grundplatte zu Halteplatte	verstiftet
2	Halteplatte zu Lagerglocke	verstiftet
3	Lagerglocke zu Prüfling	verstiftet
4	Grundplatte zu Haltekonsole des Motors	verstiftet

Durch diese Bezugskette werden die Positionen von Prüfling und Antrieb von derselben Grundplatte abgeleitet. Ziel ist, die Achsen von Prüflingswelle und Antriebswelle reproduzierbar linear zueinander auszurichten und die Kupplung montagegerecht zu verbinden.

Verworfenes Konzept

Verworfen wurde die Variante, bei der der jeweilige Prüfling direkt mit der Halteplatte verschraubt wird. Bei dieser Ausführung ist die Ausrichtung stärker von den einzelnen Verschraubungs- und Anlageflächen abhängig. Das neue Konzept mit Lagerglocke und definierter Verstiftung schafft eine klarere Bezugskette und wurde deshalb für die Weiterbearbeitung ausgewählt.

Aufträge und offene Nachweise

Nr	Auftrag	Verantwortlich	Termin
A 01	Oberen Gleitschlitten nach dem freigegebenen Konzept konstruieren.	offen	offen
A 02	Lagerglocke und Lagersitze für die im Prüfling verwendeten Lager ausarbeiten.	offen	offen
A 03	Passungen, Stiftverbindungen und Fertigungstoleranzen der vollständigen Bezugskette festlegen und rechnerisch prüfen.	offen	offen
A 04	Montagefolge und Zugänglichkeit von Kupplung, Lagerglocke und Prüfling im CAD prüfen.	offen	offen
A 05	Fluchtungsabweichung zwischen Prüflingswelle und Antriebswelle nach der Montage messtechnisch kontrollieren.	offen	offen

Freigabe

Die im Protokoll festgehaltenen Beschlüsse bilden die Grundlage für die weitere Detailkonstruktion. Die Freigabe bezieht sich auf das beschriebene Konzept. Die noch offenen Passungs-, Toleranz- und Montageprüfungen sind im Rahmen der Detailkonstruktion nachzuführen.

Projektleitung	Reviewverantwortung	Datum
David Schlatter	M.Jost	07.09.2026

advaltech	DR-Protokoll:		
Kunde:	Intern	**Erstellt am:**	15.09.2026
Teilename:	Getriebeteststand	**Erstellt von:**	SCDV
Teilnehmer:	M.Jost, Y.Ledermann, D.Schlatter		
Thema:	Konstruktionsstand, Sensorik, Schmierung, Personenschutz, Mobilität und Steuerung		
Ziel:	Beschlüsse zum aktuellen Konstruktionsstand festhalten und offene Abklärungen für die weitere Ausarbeitung definieren		

Protokoll

Nr:	M:Massnahme/ E:Entscheid/ I:Info	Wer	Termin
1	E – Modell und Hebelabweichung: Im Modell wird ausschliesslich das Getriebe der AE+ dargestellt. Die Hebelabweichung beträgt ca. 0,4 mm und wird durch den doppelt gelagerten Schlitten ausgeglichen. Dadurch werden Konstruktion und Darstellung vereinfacht.	-	-
2	E – Kupplung: Die elastische Kupplung wird definitiv mit der passenden Passfeder ausgeführt.	-	-
3	M – Vibrationssensor: Der bisher ausgewählte Vibrationssensor ist grundsätzlich geeignet. Zusätzlich wird der IFM VVB001 geprüft. Die endgültige Auswahl ist noch abzuklären.	David Schlatter	offen
4	E – Distanzsensor: Eingesetzt wird der Baumer OM30-L0350.HV.YIN. Die zuvor diskutierten Lösungen für die Abstandsmessung werden verworfen. Der Sensor wird an einem starr verbauten Bauteil befestigt. Eine Blechhalterung ist wegen der geringeren Steifigkeit nicht vorgesehen.	David Schlatter	offen
5	E – Schmierung und Abdichtung: Verwendet wird Öl der Viskositätsklasse ISO VG 46. Die Lagerglocke wird geflutet und mit einem Radial-Wellendichtring (Simmerring) abgedichtet. Das Öl wird über einen definierten Ölablass abgelassen.	-	-
6	E – Zentrierung der Lagerglocke: Die Lagerglocke wird nicht über Stifte orientiert. Die Zentrierung erfolgt über einen Motorflansch. Dadurch wird die Fertigung vereinfacht.	-	-

7	E – Personenschutz: Das Polycarbonat (Makrolon) wird bis nach unten weitergeführt. Über dem Prüfling wird eine zweiteilige Blechhaube mit Pilz-Sicherheitssensoren montiert. In die Haube werden quadratische Öffnungen gelasert, um Gewicht zu reduzieren und den Einblick in die Bewegung zu ermöglichen.	David Schlatter	offen
8	M – Schlitten: Der Schlitten ist zur Halteplatte auszurichten. Die Achse wird verlängert.	David Schlatter	offen
9	M/E – Mobilität: Wegen der Länge des Teststands von 1'600 mm ist eine Palettierung nicht möglich. Es werden Varianten mit Rollen geprüft. Falls keine geeignete Rollenlösung möglich ist, wird der Teststand auf Vierkantrohren mit Gummiunterlagen montiert.	David Schlatter	offen
10	E – Steuerung: Die Steuerung wird in einem Rittal Standpult CX mit 800 mm Breite untergebracht. Als Bedienpanel wird ein Beckhoff CP2921-0000 eingesetzt.	-	-
Freigabe:		**Erteilt am:**	17.09.2026
		Erteilt von:	SCDV

Themen DR ~~Kupplung mit~~

- [x] kuppl mit Passfeder
- [x] Sensorik (Vibration und Abstand)
- [x] Beölg (was für Öl wie auffang Verbrennung
- [x] Personenschutz
- [x] Transport mit Rollen oder Stau (Palette rollt)
- [x] Hebel unterschied max 0,4mm ~~775,38~~
  775,38 TTGA AE+ 775,77
- [x] Warnleuchte offenen Klappe

Nur AE+ als Getriebe im Markt

Kupplung mit Passfeder

Vibrationssensor ändern (Schwingungssensor) UVB001

IO und Analog

Sensor halb 15 mm Platte Schraube anziehen

ISO VG 46 Öl Blaue glide 46

Lagerglocke flanken und Stirnseite mit Kupferpaste auftragen

Lagerglocke mit Moderatorsensor montieren

Öffnung schließen durch Plexiglas

Bleche halte mit Pilz sensor mit Loctite sichern (Über Schiffe fix über Getriebe Ingenieur)

Schliff an Hebelplatte ausrichten (~~Hebel~~ Achse Verlauf)

Variante Prüfen mit Rollen oder Vierkant rohr

Pitol Stahlpalette Standpalette CX Dummy

800 mm

Bedarf CP 2921 0000

advaltech	DR-Protokoll Abschluss		
Kunde:	Intern	**Erstellt am:**	21.10.2026
Teilename:	Getriebeteststand	**Erstellt von:**	SCDV
Teilnehmer:	M.Jost, Y.Ledermann, D.Schlatter		
Thema:	Abschluss-DR Getriebeteststand – Freigabe der Baugruppe und konstruktive Änderungen		
Ziel:	Freigabe dokumentieren und die beschlossenen Anpassungen an Befestigung, Schutzverkleidung, Sicherheitssensorik und Klemmenkasten festhalten.		

Protokoll

Nr:	M:Massnahme/ E:Entscheid/ I:Info	Wer	Termin
1	E – Freigabe: Die Baugruppe Getriebeteststand ist freigegeben. Die nachfolgend aufgeführten konstruktiven Änderungen sind noch umzusetzen.	–	–
2	M – Grundplatte: Die Grundplatte wird mit Schrauben und Blindnietmuttern am Profilgestell befestigt.	David Schlatter	offen
3	M – Schutzverkleidung und Schmierung: Makrolonscheiben an den Innenseiten der Verstrebungen verschrauben. Zentralschmierung direkt an der Verstrebung befestigen. Die Scheibe liegt damit nicht im Kraftfluss der Aggregatbefestigung; das im Review erkannte Rissrisiko soll vermieden werden.	David Schlatter	offen
4	E – Sicherheitssensorik: Bisherige Pilz-Magnetschalter samt Betätigern durch PSEN cs3.1n / PSEN cs3.1, Set 541003, ersetzen. Grund des Wechsels ist die RFID-codierte Erkennung zur Erschwerung von Manipulation.	–	–
6	E – Klemmenkasten: Ein Rittal KX 1502.000 (1502000), 200 × 200 × 120 mm, wird ergänzt. Gehäuse aus Stahlblech, ohne Montage- und Flanschplatte. Innenausbau und Verdrahtung durch SMB.	–	–

Freigabe:	Baugruppe freigegeben; Änderungen gemäss Protokoll noch umzusetzen.	**Erteilt am:**	10.21.2026
		Erteilt von:	SCDV

Anlage F Zeichnungsverzeichnis

Endgültige Zusammenstellung und 37 Zeichnungen des Teststands. Die Originalblätter sind vollständig eingepasst; der Schriftfeldmassstab gilt für das ursprüngliche Blattformat.

F1 10235107A_Z01 142

F2 10141232A_Z01-01_A4 143

F3 10223650A_Z01 144

F4 10235108A_Z01 145

F5 10235109A_Z01 146

F6 10235111A_Z01 147

F7 10235112A_Z01 148

F8 10235134A_Z01 149

F9 10235135A_Z01_01 150

F10 10235158A_Z01 151

F11 10235161A_Z01 152

F12 10235163A_Z01 153

F13 10235164A_Z01 154

F14 10235195A_Z01 155

F15 10235272A_Z01 156

F16 10235325A_Z01 157

F17 10235326A_Z01_01 158

F18 10235327A_Z01 159

F19 10235407A_Z01 160

Die Prüflingszeichnungen [Z1] 10158336 Index D und [Z2] 10142123 Index E sind gemäss Vorgabe des Verfassers ausdrücklich nicht beigefügt.

Anlage F Zeichnungsverzeichnis

Fortsetzung des vollständigen Zeichnungssatzes des Teststands.

F20 10235409A_Z01 161

F21 10235411A_Z01 162

F22 10235491A_Z01_01 163

F23 10235492A_Z01 164

F24 10235493A_Z01 165

F25 10235494A_Z01 166

F26 10235515A_Z01 167

F27 10235613A_Z01 168

F28 10235619A_Z01 169

F29 10235621A_Z01 170

F30 10235622A_Z01 171

F31 10235623A_Z01 172

F32 10235631A_Z01 173

F33 10235632A_Z01 174

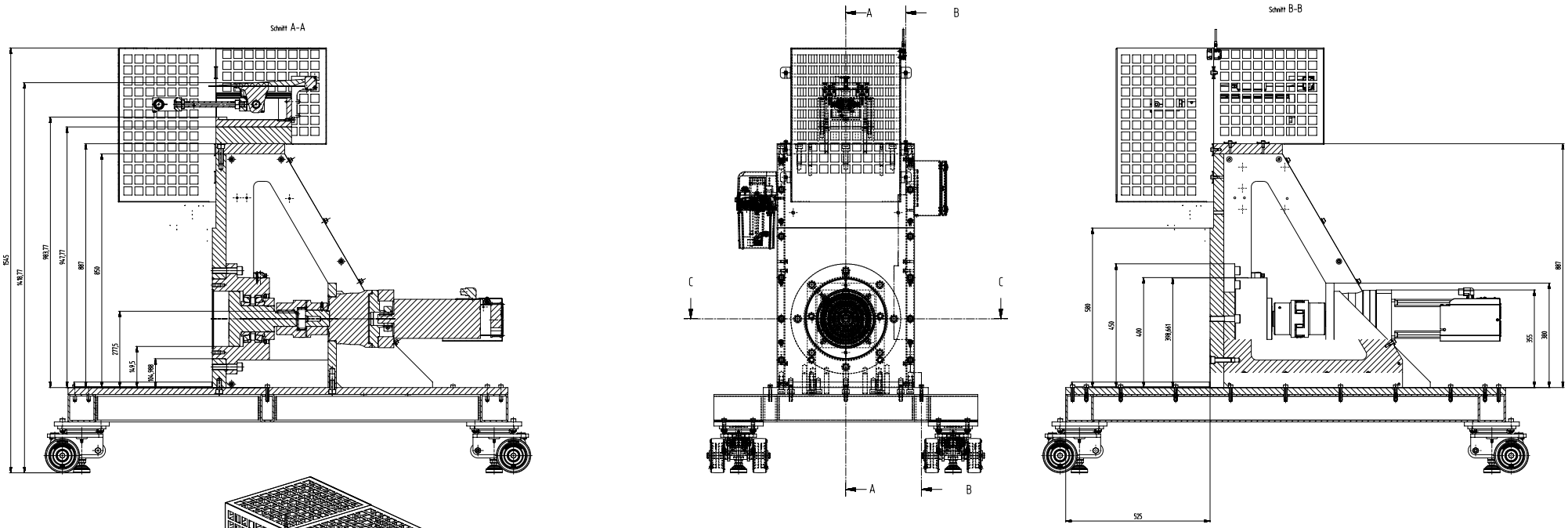
F34 10235652A_Z01 175

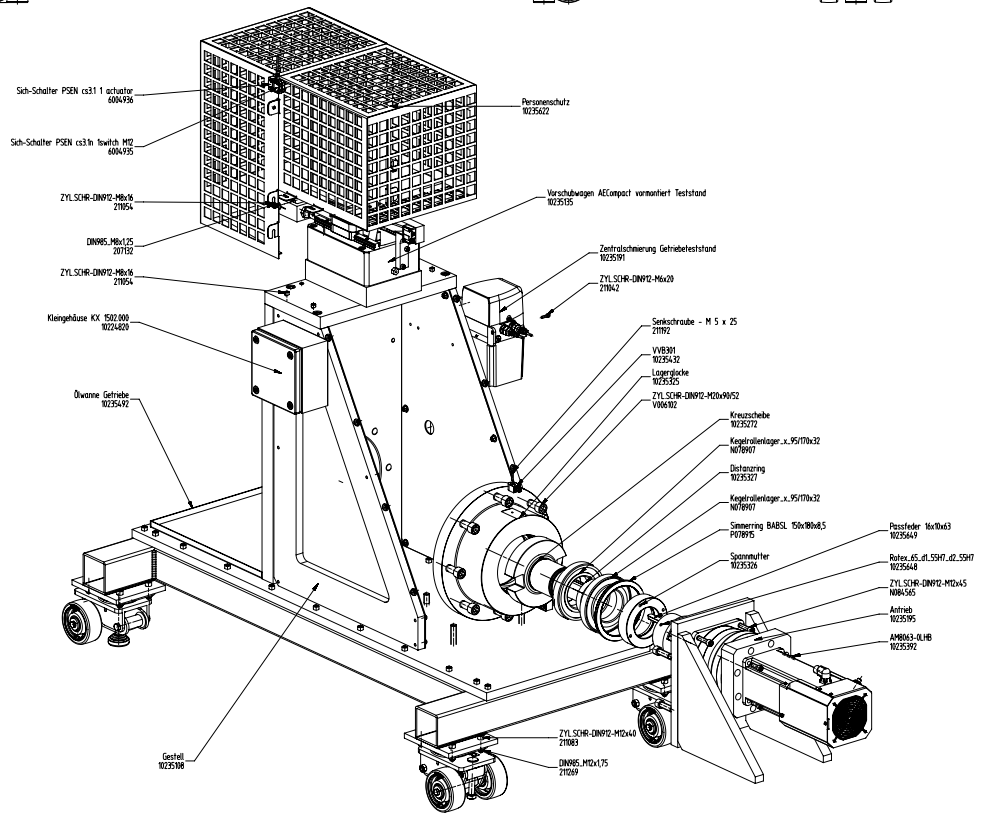
F35 10235971A_Z01 176

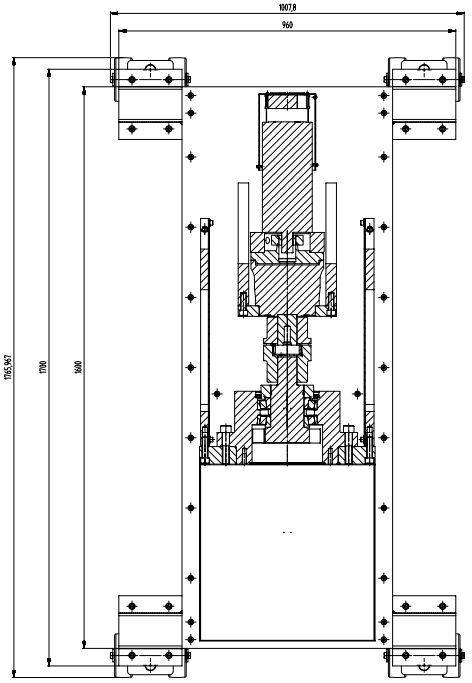
F36 10235977A_Z01 177

F37 10235979A_Z01 178

F38 10235981A_Z01 179



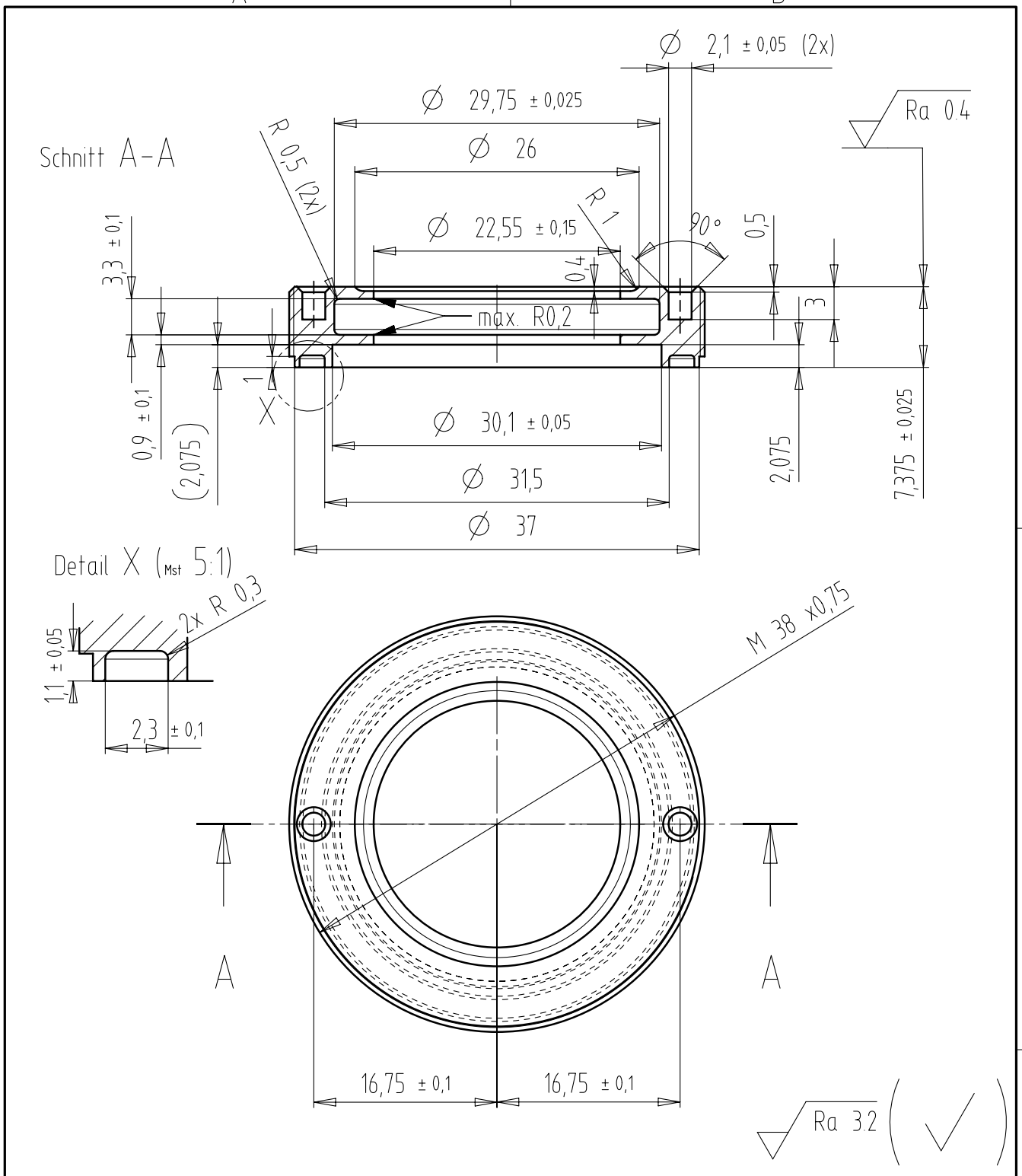




Schnitt C-C

Werkstoff	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Urmd. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	
		Massstab	Datum / Visum
Getriebeteststand		1:5	Gezeichn. 18.08.2026 scda
			Gepr-Dft 22.10.2026 scda
			Freigeg. 22.10.2026 scda
Ident-Nr	advaltech	Format A0	Zeichnungsnr 10235107
Ursprung			Blatt 1 / 1 Index A

Diese Zeichnung ist urheberrechtlich geschützt. Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Zeichnung, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz.



Werkstoff 1.0727 (45S20 ETG100)	Abmasse	FREIGEGEBEN
Oberflaechen Behandlung		Untol. Masse: ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten: 0.5x45°

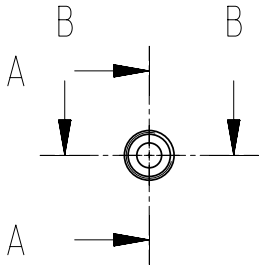
Massstab		Datum	Visum
2:1	gezeichn.	12.07.2019	coma
	geprueft	19.08.2019	coma
	freigeg.	19.08.2019	coma

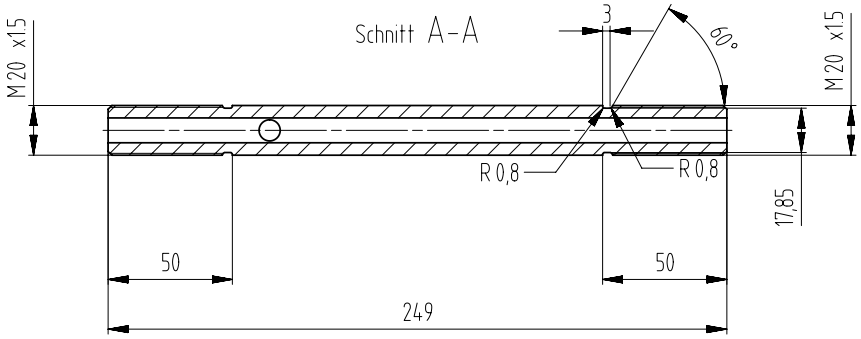
Konventionell
Abdichtschraube

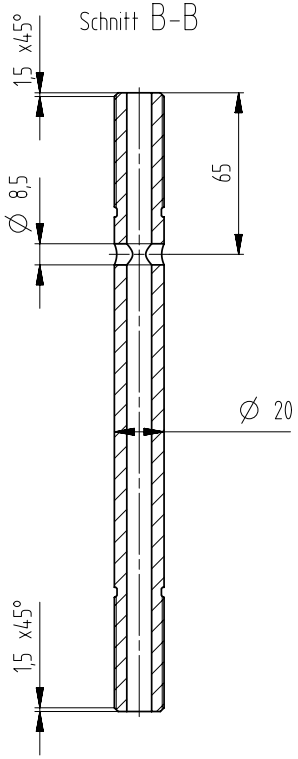
Ident-Nr.	advaltech	Format: A4	Zeichnungsnr.: 10141232
Ursprung			Blatt 01/01 Index A

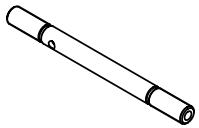
Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfaeltigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

19.08.2019 12:50:06





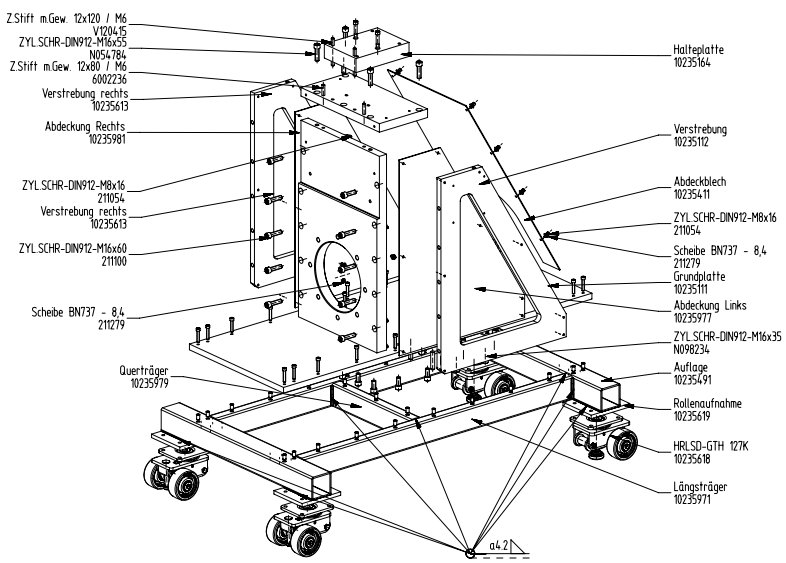




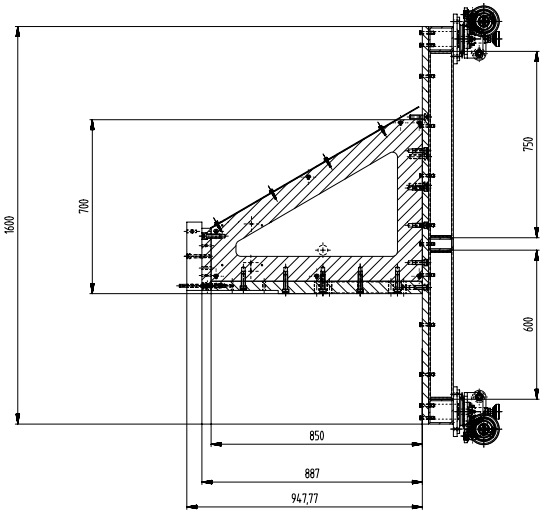
Ra 3.2

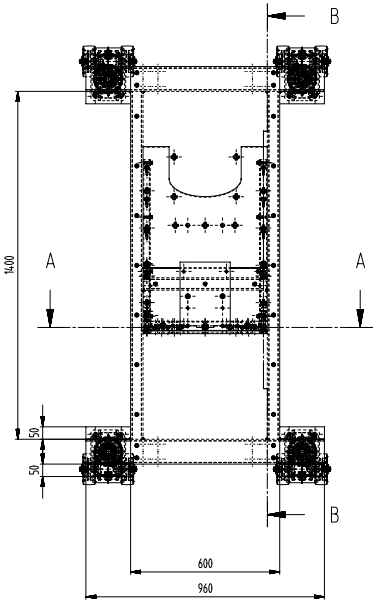
Werkstoff: 1.0037	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung: brüniert		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten	0.5x45°		
		Massstab		Datum	Visum
Verbindungsstange		1:2	Gezeichn.	03.07.2025	coma
			Geprüft	21.10.2026	scda
			Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr	advaltech	Format	Zeichnungsnr		Blatt
Ursprung: Z005819		A3	10223650		1 / 1
					Index: A

Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!

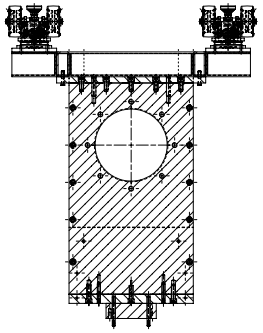


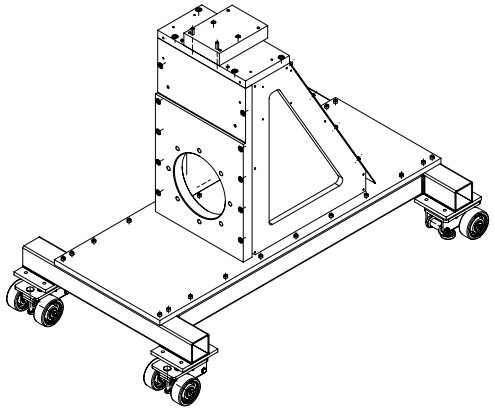
Schnitt B-B





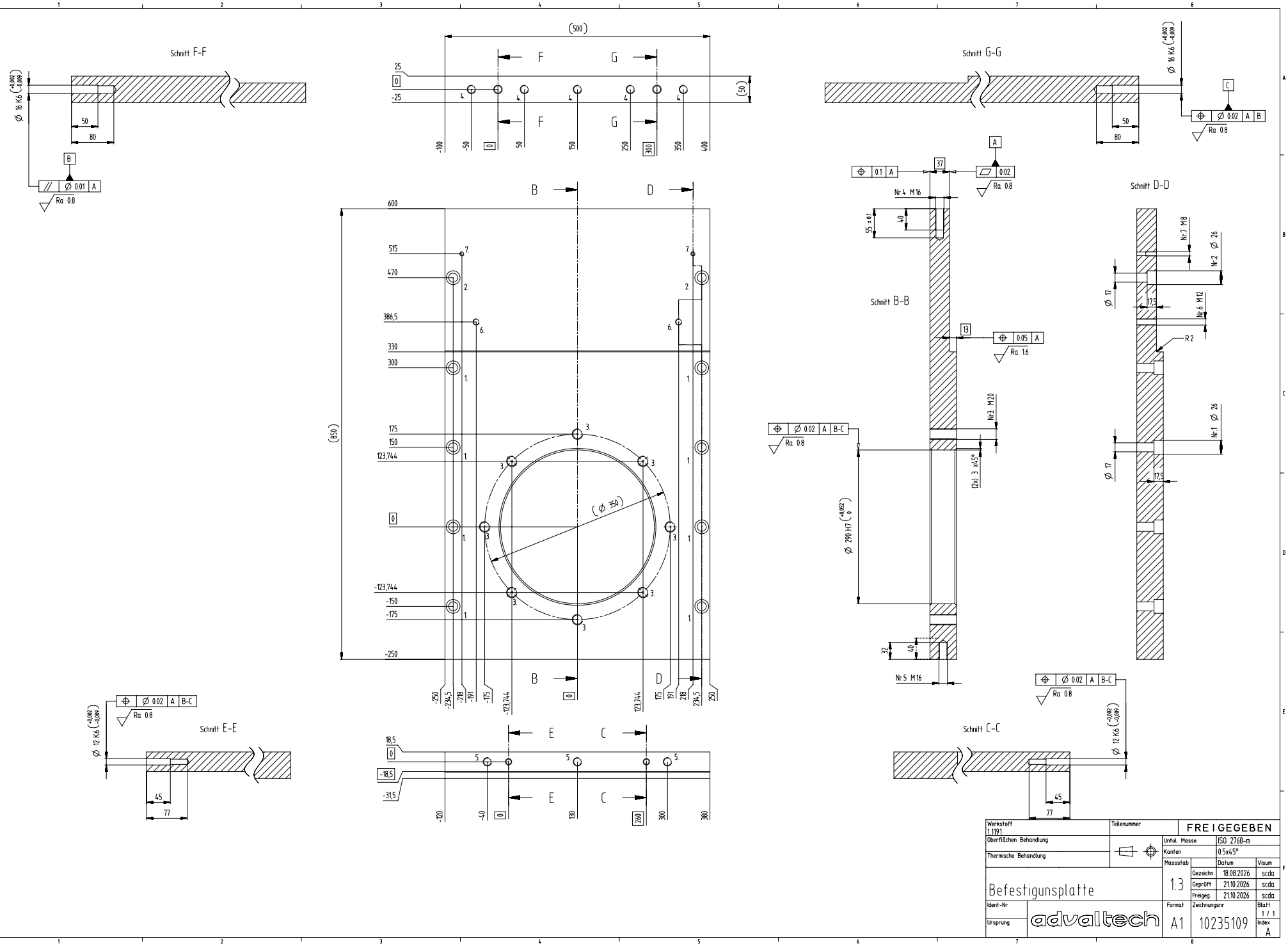
Schnitt A-A

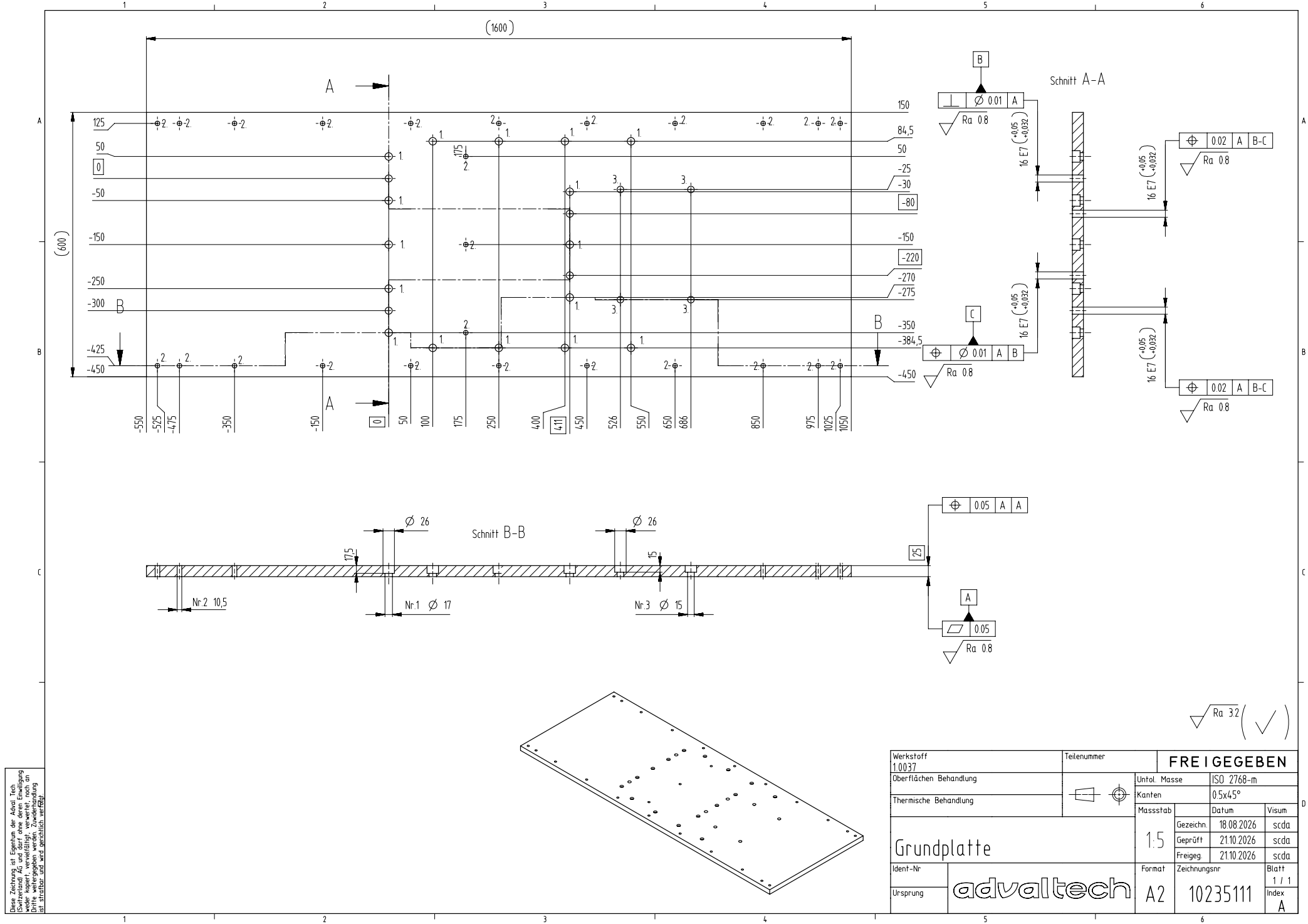




Werkstoff 1.4301	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	
		Massstab	Datum / Visum
Gestell		1:10	Gezeichn. 18.08.2026 scda
			Geprüft 21.10.2026 scda
			Freigeg. 21.10.2026 scda
Ident-Nr		Format	Zeichnungsnr / Blatt
Ursprung	advaltech	A1	10235108 / 1 / 1
			Index A

Diese Zeichnung ist Eigentum der Advel Tech. Weitergabe, Vervielfältigung oder sonstige Nutzung ohne unsere ausdrückliche, schriftliche Genehmigung ist untersagt. Zuwiderhandlung verpflichtet zu Schadenersatz.


Schnitt F-F
Ø 16 K6 (+0.002 -0.009)
50
80
B
Ø 0.01 A
Ra 0.8
(500)
F
G
25
0
-25
4
(50)
-100
-50
50
150
250
300
350
400
B
D
600
515
470
386,5
330
300
175
150
123,744
(850)
(Ø 350)
-123,744
-150
-175
-250
-250
-234,5
-218
-191
-175
-123,744
123,744
175
191
218
234,5
250
E
C
18,5
-18,5
-31,5
-120
-40
130
260
300
380
Schnitt G-G
Ø 16 K6 (+0.002 -0.009)
C
Ø 0.02 A B
Ra 0.8
50
80
Schnitt B-B
A
0.1 A
37
0.02
Ra 0.8
Nr.4 M16
55 ± 0.1
40
13
0.05 A
Ra 1.6
Nr.3 M20
Ø 0.02 A B-C
Ra 0.8
(2x) 3 x 45°
Ø 290 H7 (+0.052 0)
32
40
Nr.5 M16
Schnitt D-D
Nr.7 M18
Ø 26
Nr.2
Ø 17
17,5
Nr.6 M12
R 2
Nr.1
Schnitt E-E
Ø 0.02 A B-C
Ra 0.8
Ø 12 K6 (+0.002 -0.009)
45
77
Schnitt C-C
Ø 0.02 A B-C
Ra 0.8
Ø 12 K6 (+0.002 -0.009)
45
77
Diese Zeichnung ist Eigentum der Advaltech und darf ohne unsere schriftliche Genehmigung weder vervielfältigt noch Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung verpflichtet zu Schadenersatz.
Werkstoff 1.1191
Teilenummer
FREIGEGEBEN
Oberflächen Behandlung
Untol. Masse
ISO 2768-m
Thermische Behandlung
Kanten
0.5x45°
Massstab
Datum
Visum
Gezeichn. 18.08.2026 scda
Geprüft 21.10.2026 scda
Freigeg. 21.10.2026 scda
Befestigunsplatte
1:3
Ident-Nr
Format
Zeichnungsnr
Blatt
Ursprung
advaltech
A1
10235109
1 / 1
Index
A



Diese Zeichnung ist Eigentum der Advaltech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

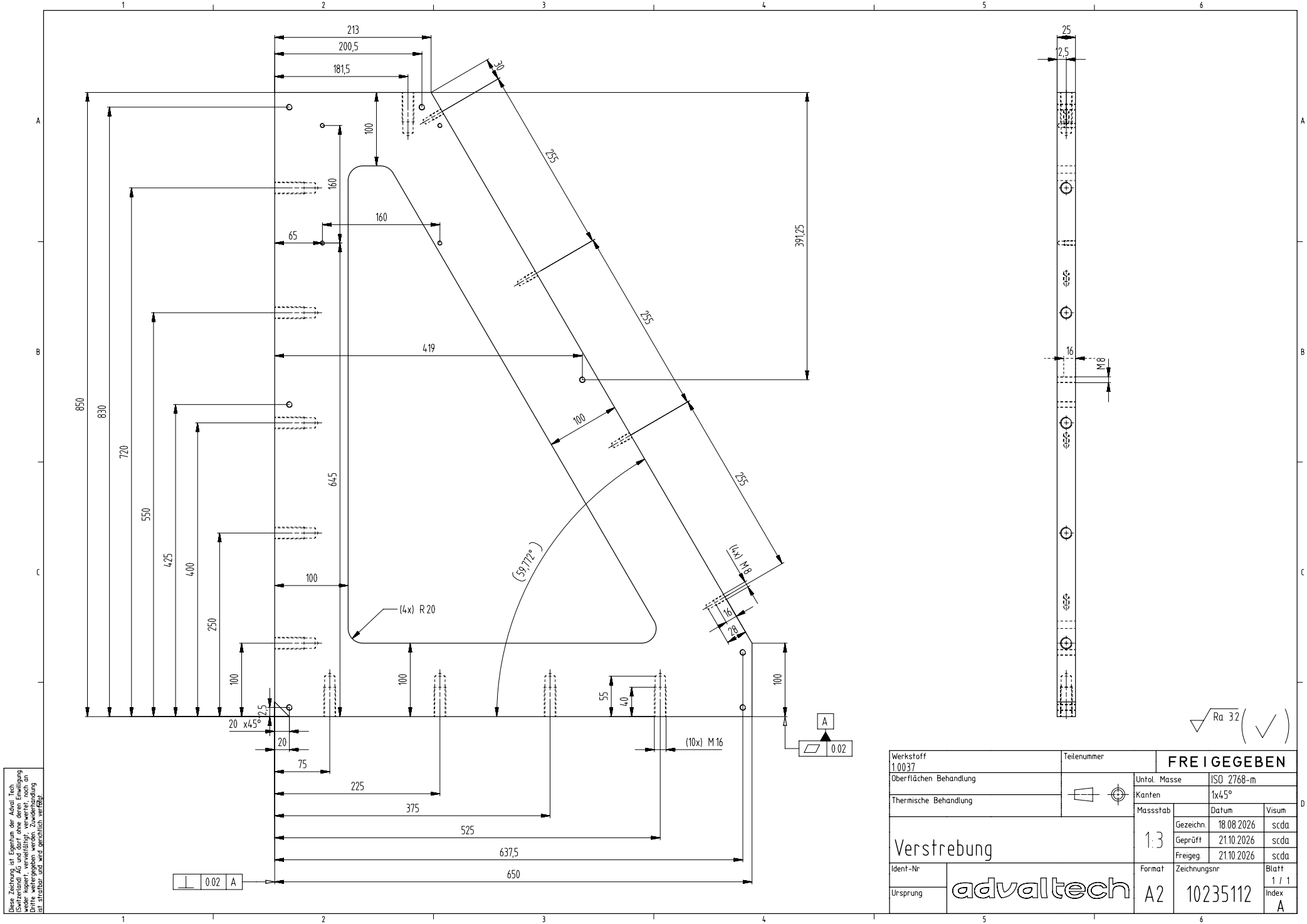
Werkstoff 1.0037	Teilenummer	FREIGEGEBEN
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse: ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten: 0.5x45°

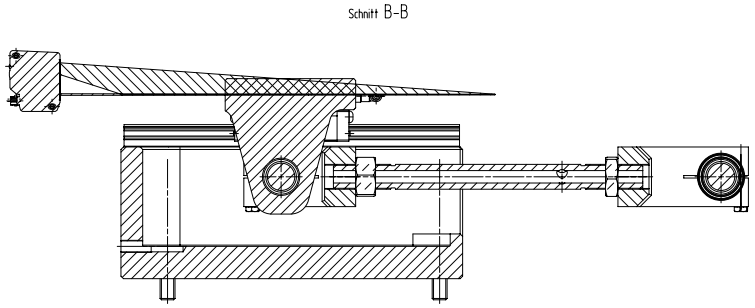
Grundplatte

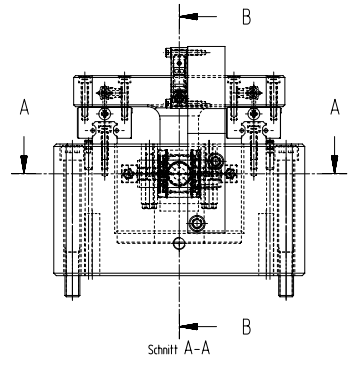
	Datum	Visum
Gezeichn.	18.08.2026	scda
Geprüft	21.10.2026	scda
Freigeg.	21.10.2026	scda

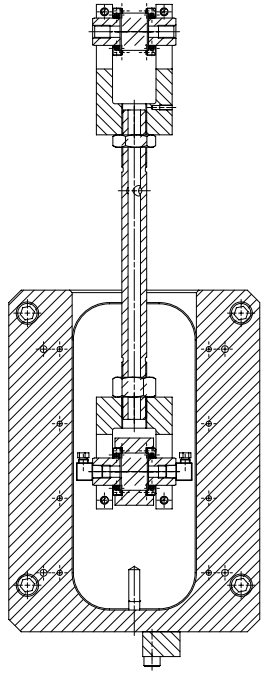
Massstab 1:5 | Format A2 | Zeichnungsnr 10235111 | Blatt 1 / 1 | Index A

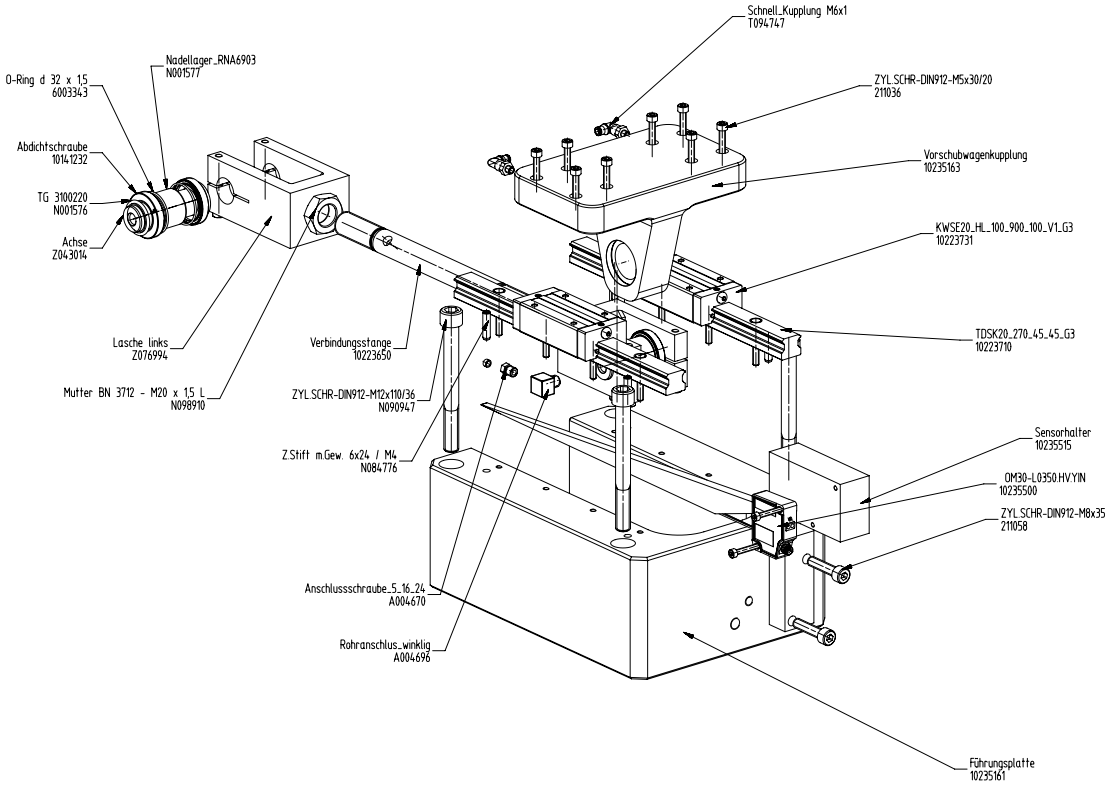
Ident-Nr | Ursprung | advaltech


213
200,5
181,5
30
255
255
255
100
160
160
65
391,25
419
850
830
720
550
425
400
250
645
100
100
100
100
100
100
(4x) R 20
(59,772°)
(4x) M8
16
28
25
12,5
16
M8
Ra 3,2
2,5
20 x45°
20
75
225
375
525
637,5
650
55
4,0
(10x) M16
A
0,02
0,02
A
Diese Zeichnung ist Eigentum der Advaltech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.
Werkstoff
1.0037
Teilenummer
FREIGEGEBEN
Oberflächen Behandlung
Thermische Behandlung
Untol. Masse
ISO 2768-m
Kanten
1x45°
Massstab
1:3
Gezeichn.
18.08.2026
scda
Geprüft
21.10.2026
scda
Freigeg.
21.10.2026
scda
Verstrebung
Ident-Nr
Ursprung
advaltech
Format
A2
Zeichnungsnr
10235112
Blatt
1 / 1
Index
A



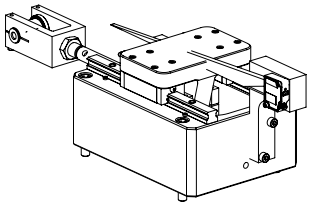


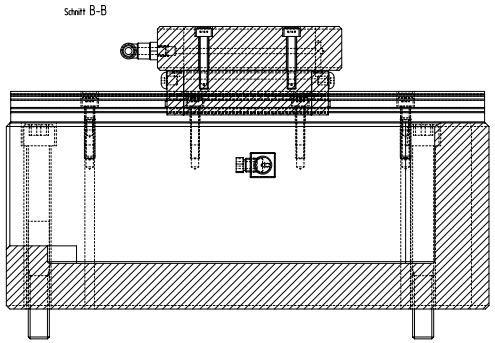


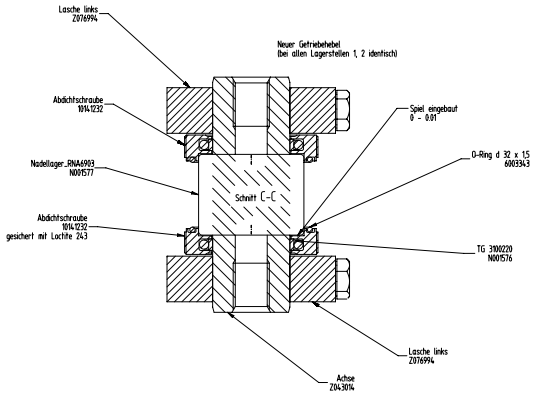


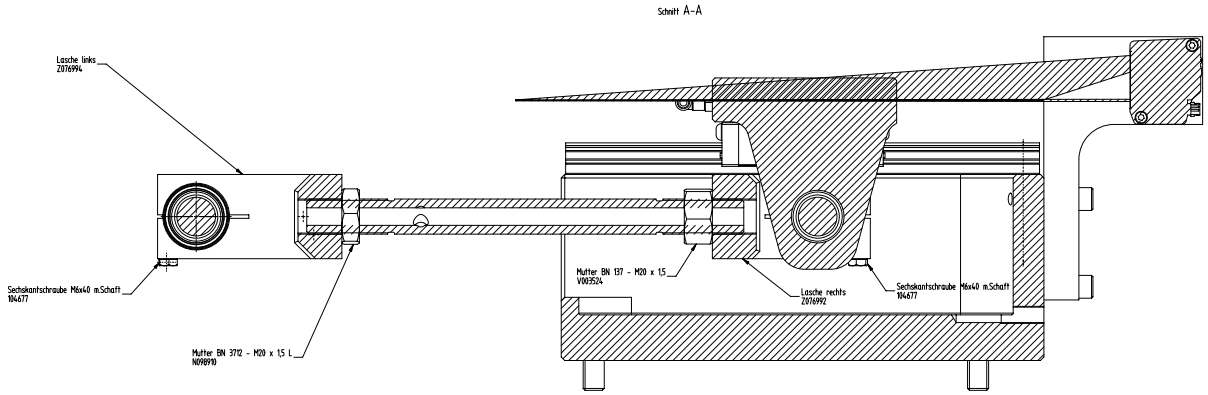
Diese Zeichnung ist Eigentum der Advel Tech
Gesellschaft m.b.H. und darf ohne unsere schriftliche
Zustimmung weder vervielfältigt noch Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung
ist strafbar und verpflichtet zu Schadenersatz.

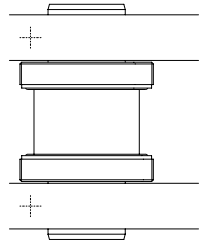
Werkstoff	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten			
		Massstab		Datum	Visum
Getriebe komplett		1:2	Gezeichn.	21.08.2026	scda
			Geprüft	21.10.2026	scda
			Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr	advaltech	Format	Zeichnungsnr		Blatt
Ursprung		A1	10235134		1 / 1
					Index A



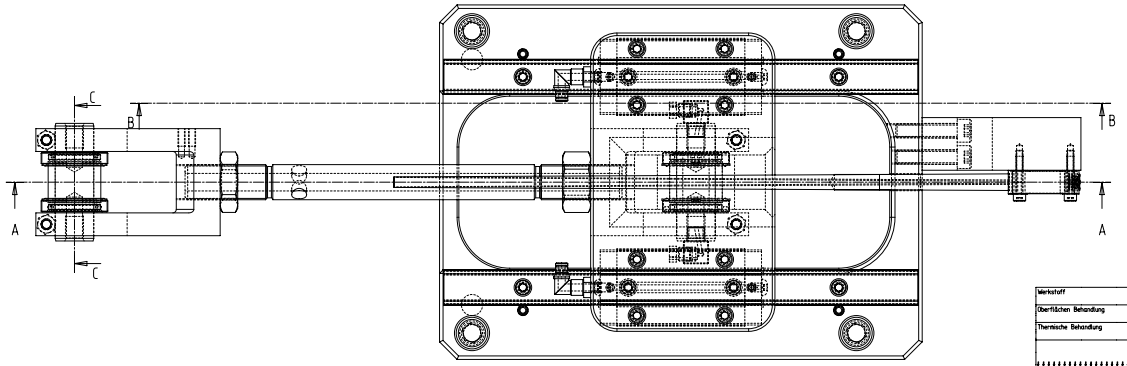








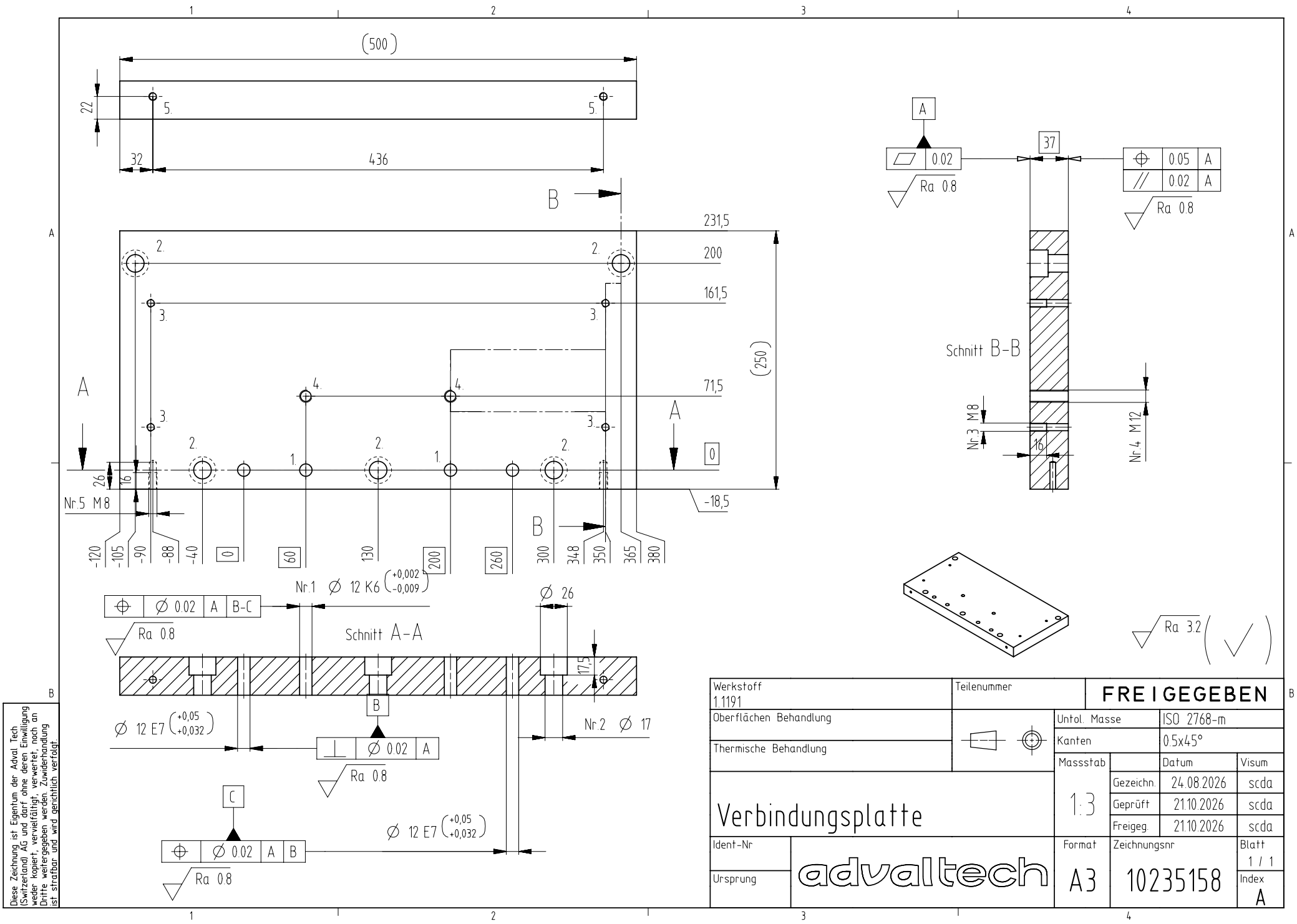
Lagerstelle am alten Getriebehebel
Lagerstelle 1 mit Abdichtscheibe 4003026
Lagerstelle 2 identisch mit Schnitt C-C

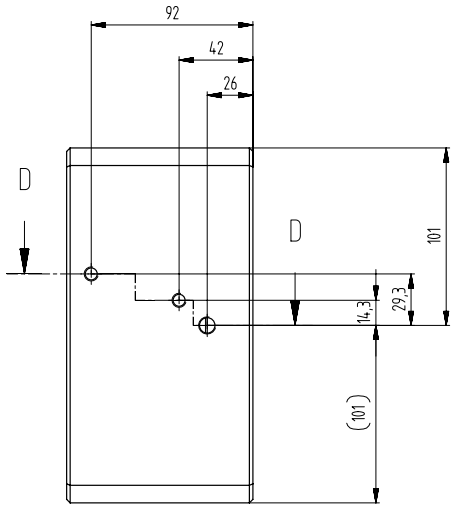


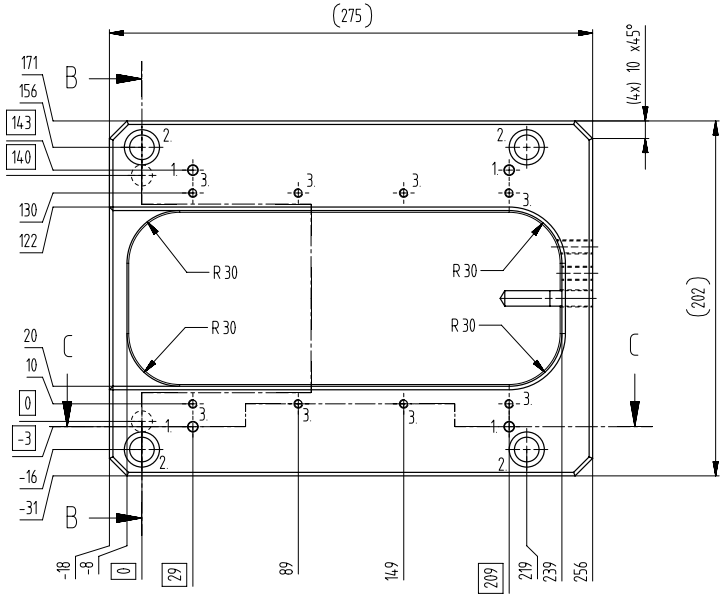
Ersatzteile für Längsvorschub 10062260

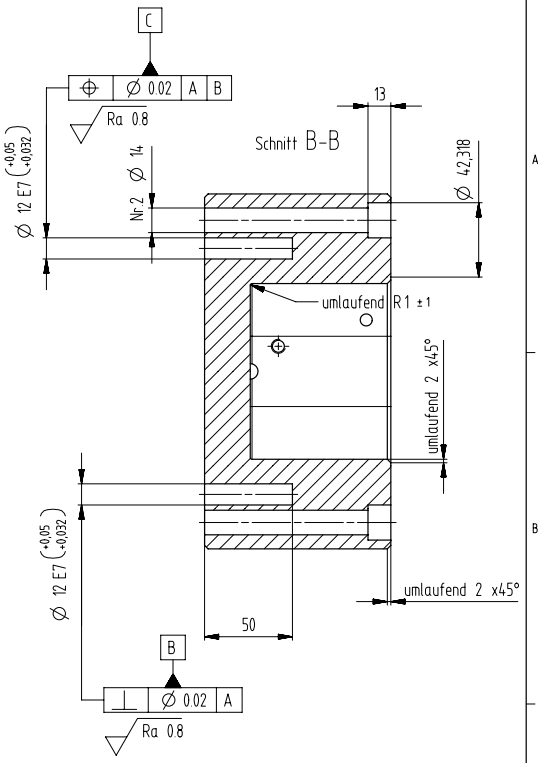
Werkstoff	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Urhd. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	
		Massstab	Datum / Visum
	1:1	Gezeichn.	21.08.2026 scda
		Gepr-Ort	21.10.2026 scda
		Freigeg.	21.10.2026 scda
Ident-Nr	Format	Zeichnungsnr	Blatt 1 / 1
Ursprung advaltech	A0	10235135	Index A

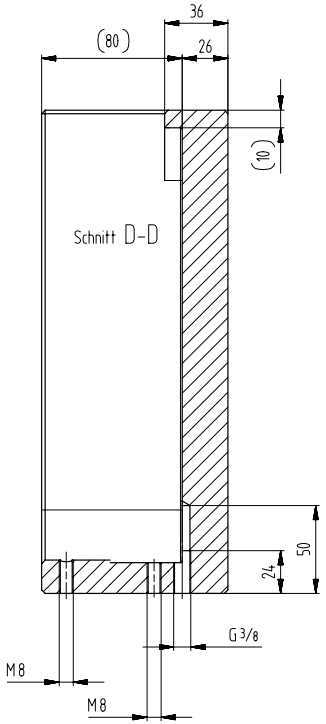
Diese Zeichnung ist urheberrechtlich geschützt. Sie darf weder vervielfältigt, noch an Dritte weitergegeben oder einer sonstigen unbefugten Verwendung zugeführt werden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz.

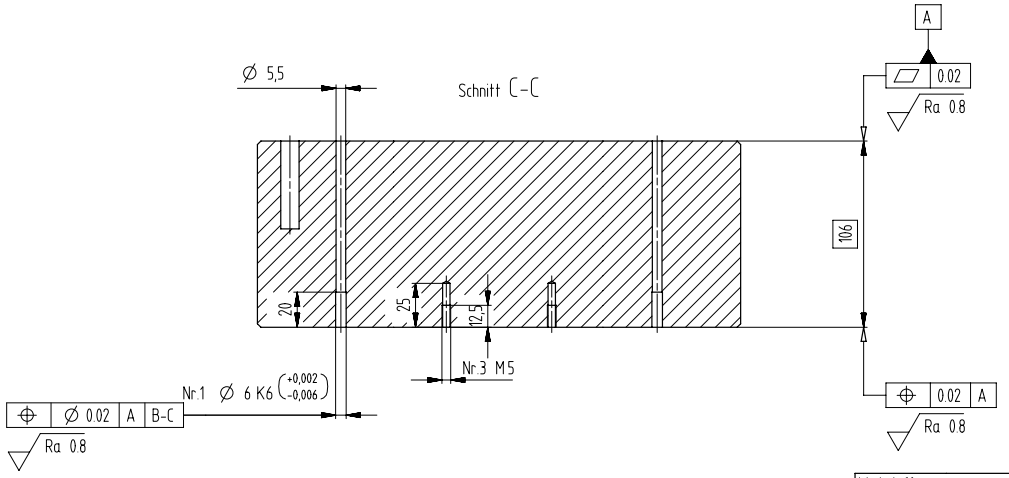

(500)
22
32
436
231,5
200
161,5
71,5
(250)
-18,5
Nr.5 M8
Schnitt B-B
Nr.3 M8
Nr.4 M12
Schnitt A-A
Nr.1 Ø 12 K6 (+0,002 -0,009)
Ø 26
Nr.2 Ø 17
Ø 12 E7 (+0,05 +0,032)
Ø 0.02 A B-C
Ø 0.02 A
Ø 0.02 A B
Ra 0.8
Ra 3.2
0.02
0.05 A
0.02 A
Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!
Werkstoff 1.1191
Teilenummer
FREIGEGEBEN
Oberflächen Behandlung
Thermische Behandlung
Untol. Masse
ISO 2768-m
Kanten
0.5x45°
Massstab
1:3
Datum
Visum
Gezeichn. 24.08.2026 scda
Geprüft 21.10.2026 scda
Freigeg. 21.10.2026 scda
Verbindungsplatte
Ident-Nr
Ursprung
advaltech
Format
A3
Zeichnungsnr
10235158
Blatt
1 / 1
Index
A

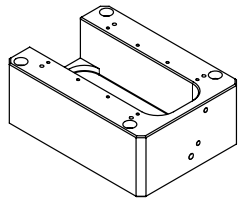








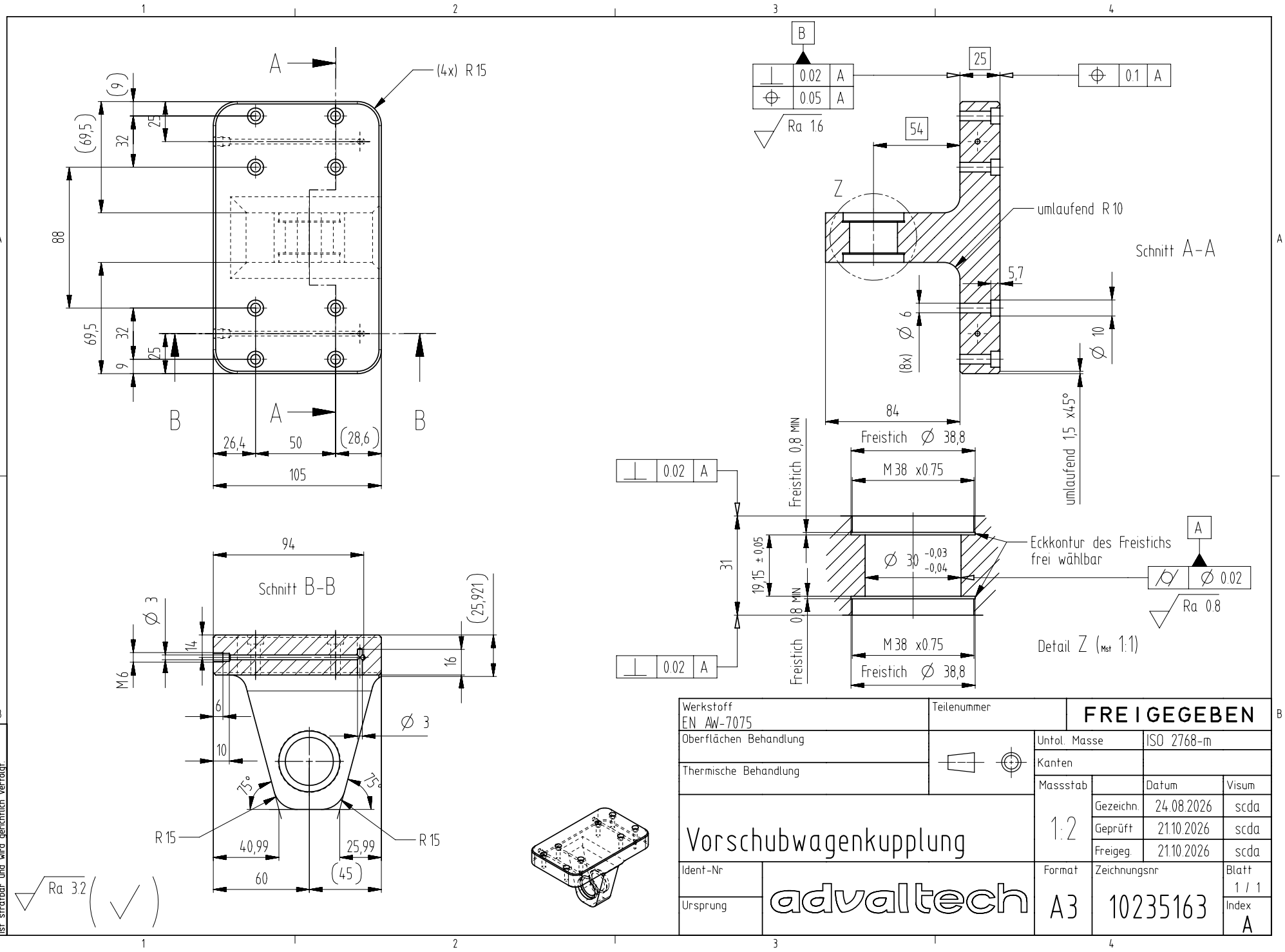




Ra 3.2

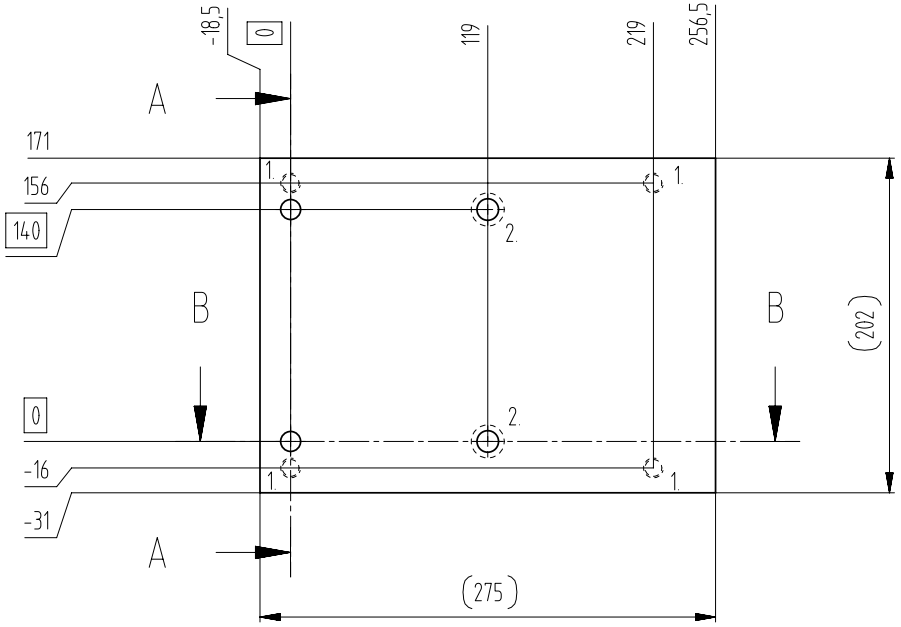
Werkstoff 1.1191	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	0.2x45°
Führungsplatte		Massstab 1:2	Gezeichn. 24.08.2026 scda
			Geprüft 21.10.2026 scda
			Freigeg. 21.10.2026 scda
Ident-Nr	advaltech	Format A2	Zeichnungsnr 10235161
Ursprung			Blatt 1 / 1
			Index A

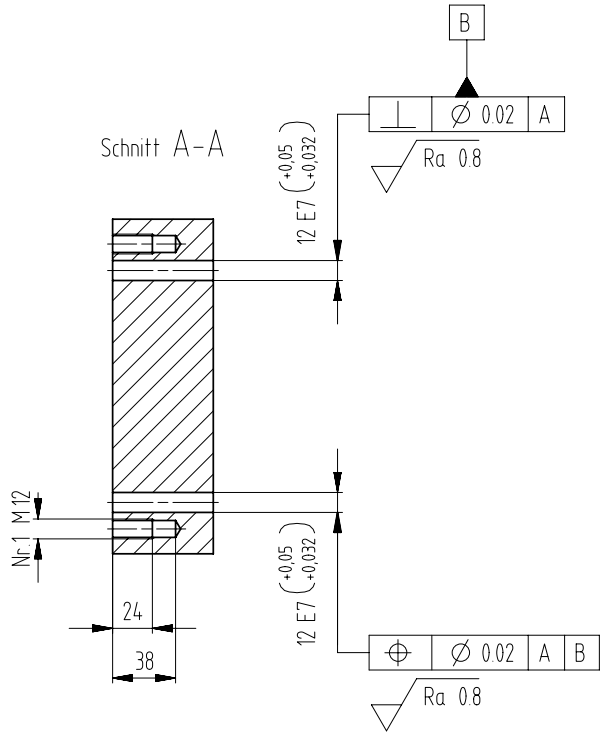
Diese Zeichnung ist Eigentum der Advaltech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

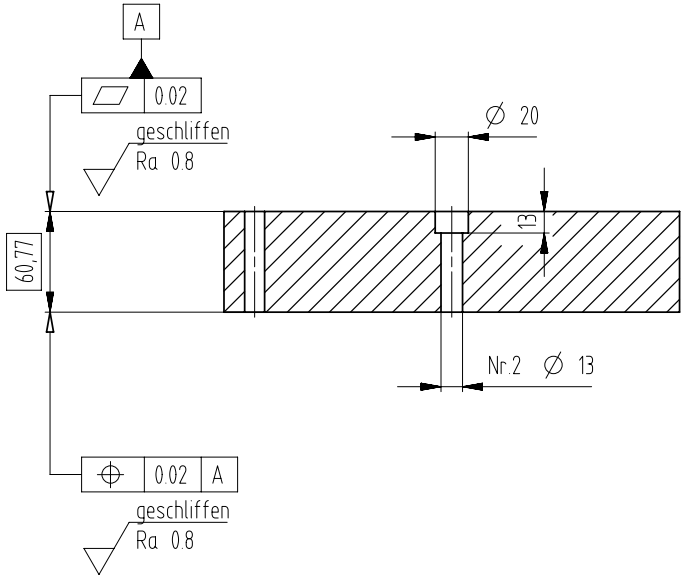


Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!

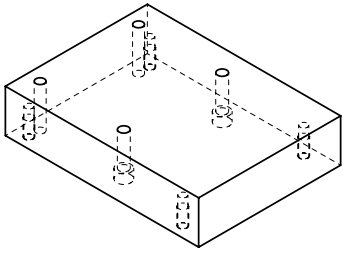
Werkstoff: EN AW-7075	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	
	Massstab: 1:2	Datum / Visum	
		Gezeichn. 24.08.2026 scda	
		Geprüft 21.10.2026 scda	
		Freigeg. 21.10.2026 scda	
Vorschubwagenkupplung			
Ident-Nr	Format: A3	Zeichnungsnr: 10235163	Blatt: 1 / 1
Ursprung: advaltech			Index: A







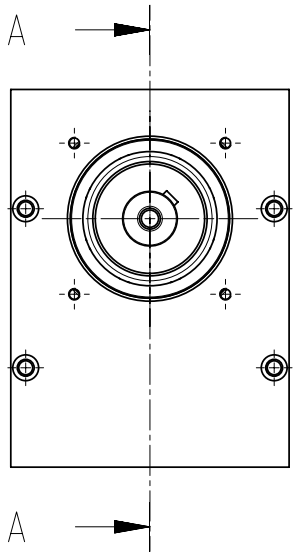
Schnitt B-B

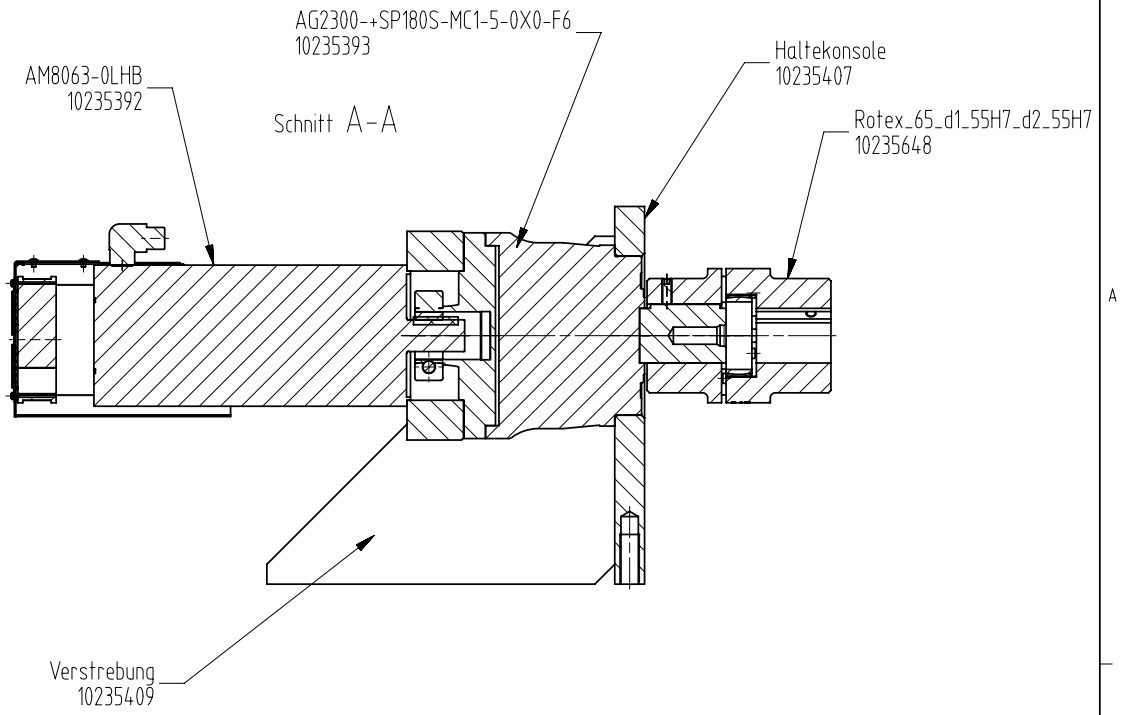


Ra 3.2 ( )

Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

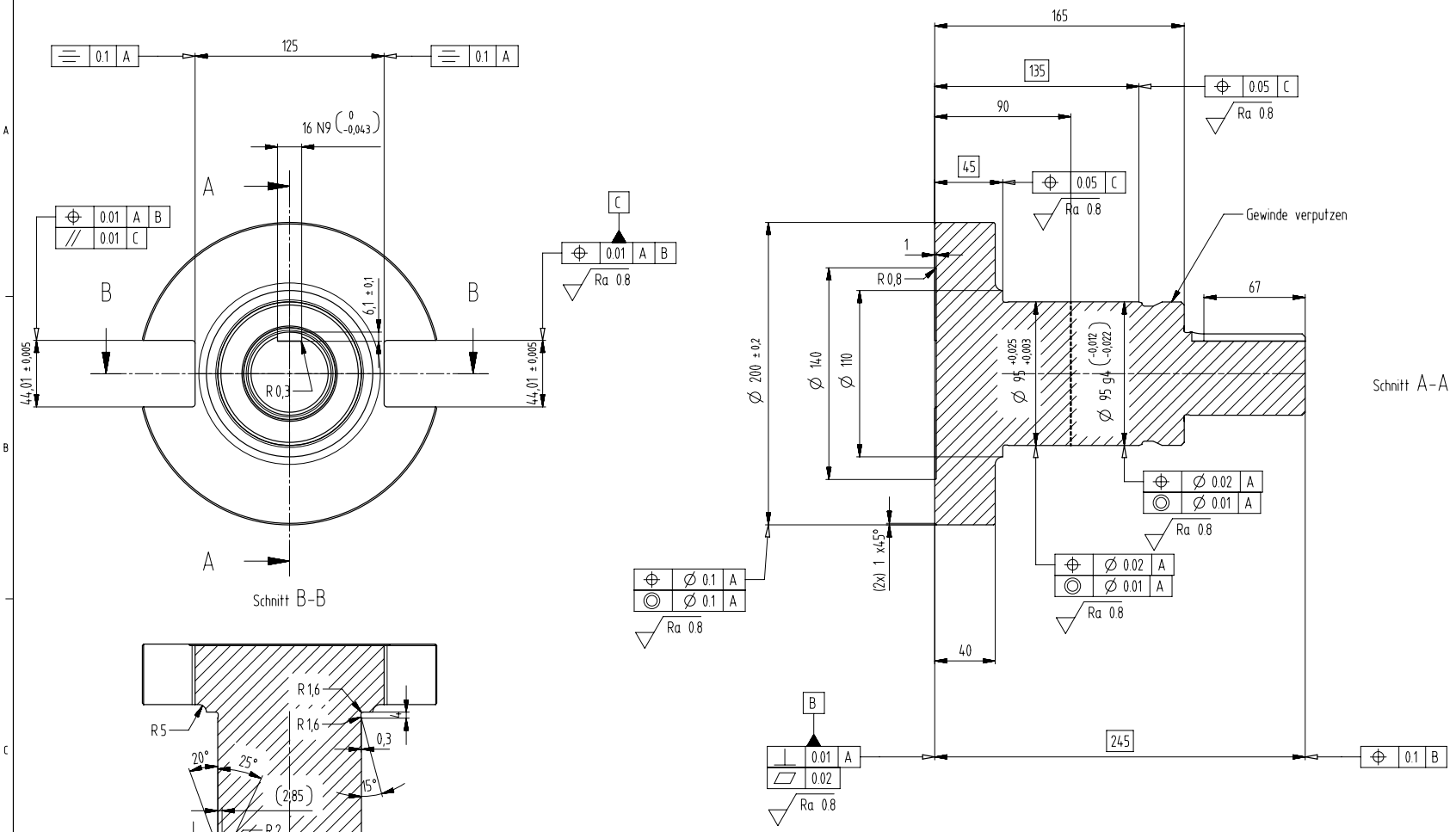
Werkstoff 1.1191	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten	0.5x45°		
Halteplatte		Massstab 1:3		Datum	Visum
			Gezeichn.	24.08.2026	scda
			Geprüft	21.10.2026	scda
			Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr	adval tech	Format A3	Zeichnungsnr 10235164		Blatt 1 / 1
Ursprung					Index A





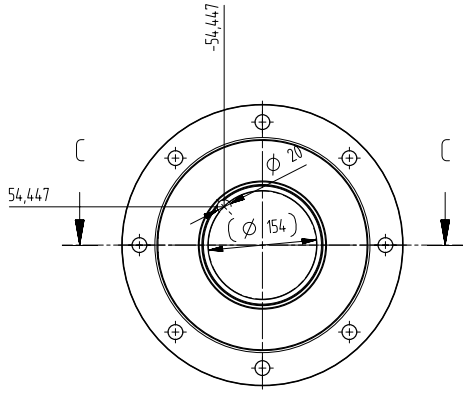
Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!

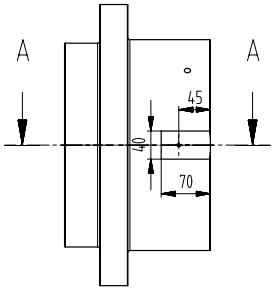
Werkstoff	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten			
		Massstab		Datum	Visum
Antrieb		1:5	Gezeichn.	25.08.2026	scda
			Geprüft	21.10.2026	scda
			Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr	adval tech	Format	Zeichnungsnr		Blatt
Ursprung		A3	10235195		1 / 1
					Index A

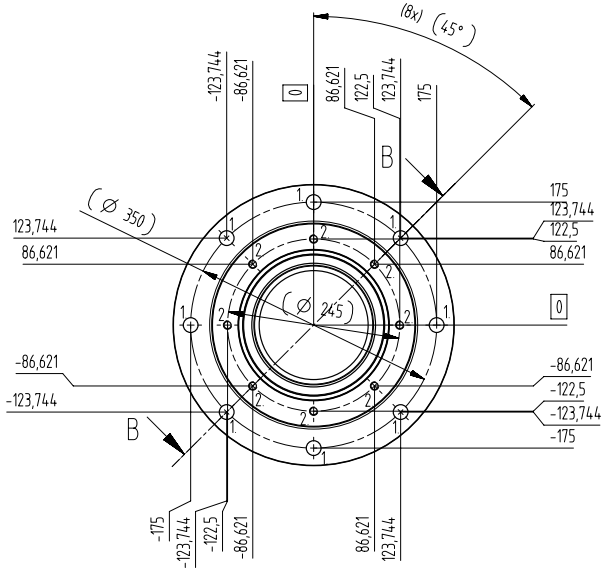


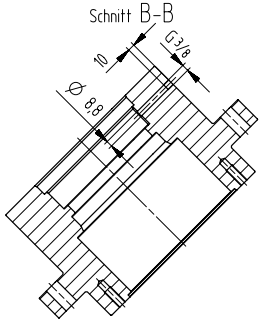
Diese Zeichnung ist Eigentum der Advaltech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

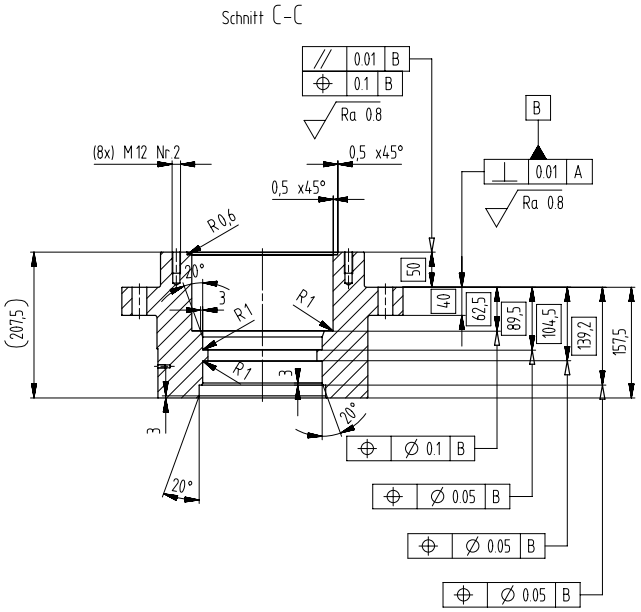
Werkstoff 1.2312	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung plasmanitriert >950HV10 Nht=0.3+0.1		Kanten	0.5x45°
		Massstab 1:2	Datum / Visum
Kreuzscheibe		Gezeichn. 31.08.2026 scda	
		Geprüft 21.10.2026 scda	
		Freigeg. 21.10.2026 scda	
Ident-Nr	advaltech	Format A2	Zeichnungsnr 10235272
Ursprung 10037383			Blatt 1 / 1 Index A

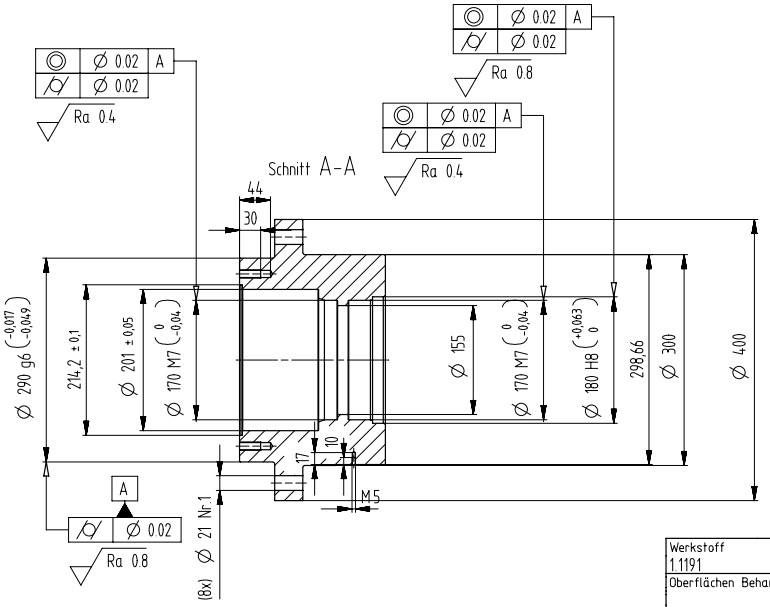


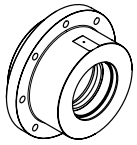








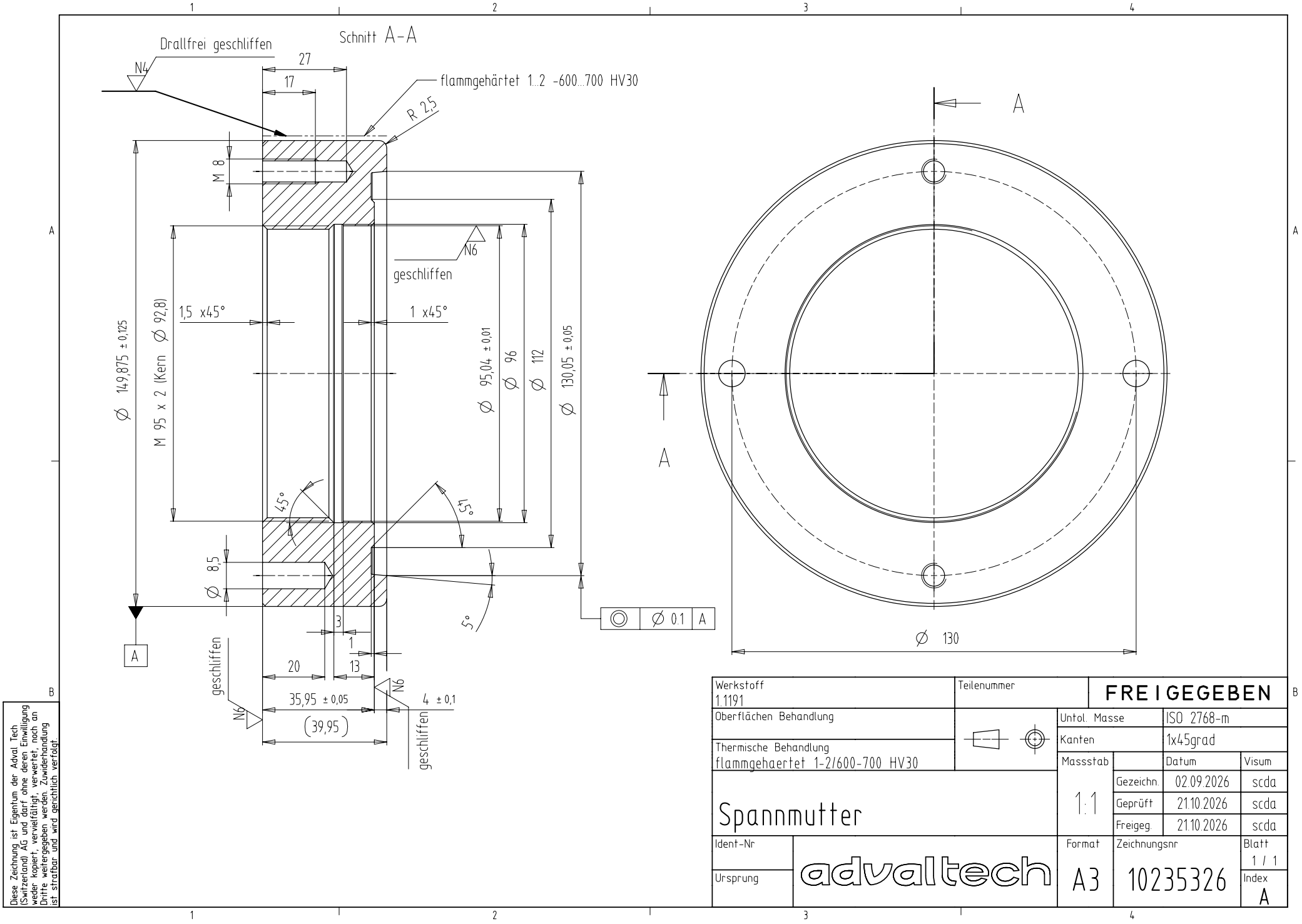




Ra 3.2

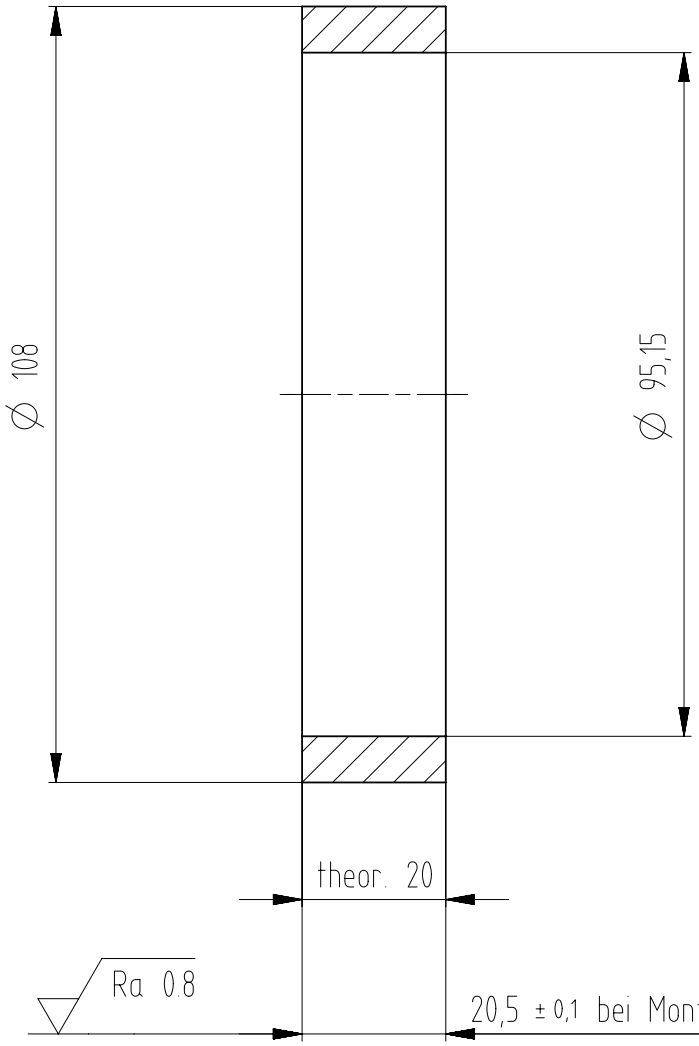
Diese Zeichnung ist Eigentum der Advaltech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

Werkstoff 1.1191	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	
		Massstab	Datum / Visum
Lagerglocke		1:5	Gezeichn. 02.09.2026 scda
			Geprüft 21.10.2026 scda
			Freigeg. 21.10.2026 scda
Ident-Nr	advaltech	Format A2	Zeichnungsnr 10235325
Ursprung			Blatt 1 / 1
			Index A



Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

Werkstoff 1.1191	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung flammgehaertet 1-2/600-700 HV30		Kanten	1x45grad
Spannmutter	Massstab 1:1	Gezeichn. 02.09.2026	scda
		Geprüft 21.10.2026	scda
		Freigeg. 21.10.2026	scda
Ident-Nr	adval tech	Format A3	Zeichnungsnr 10235326
Ursprung			Blatt 1 / 1
			Index A



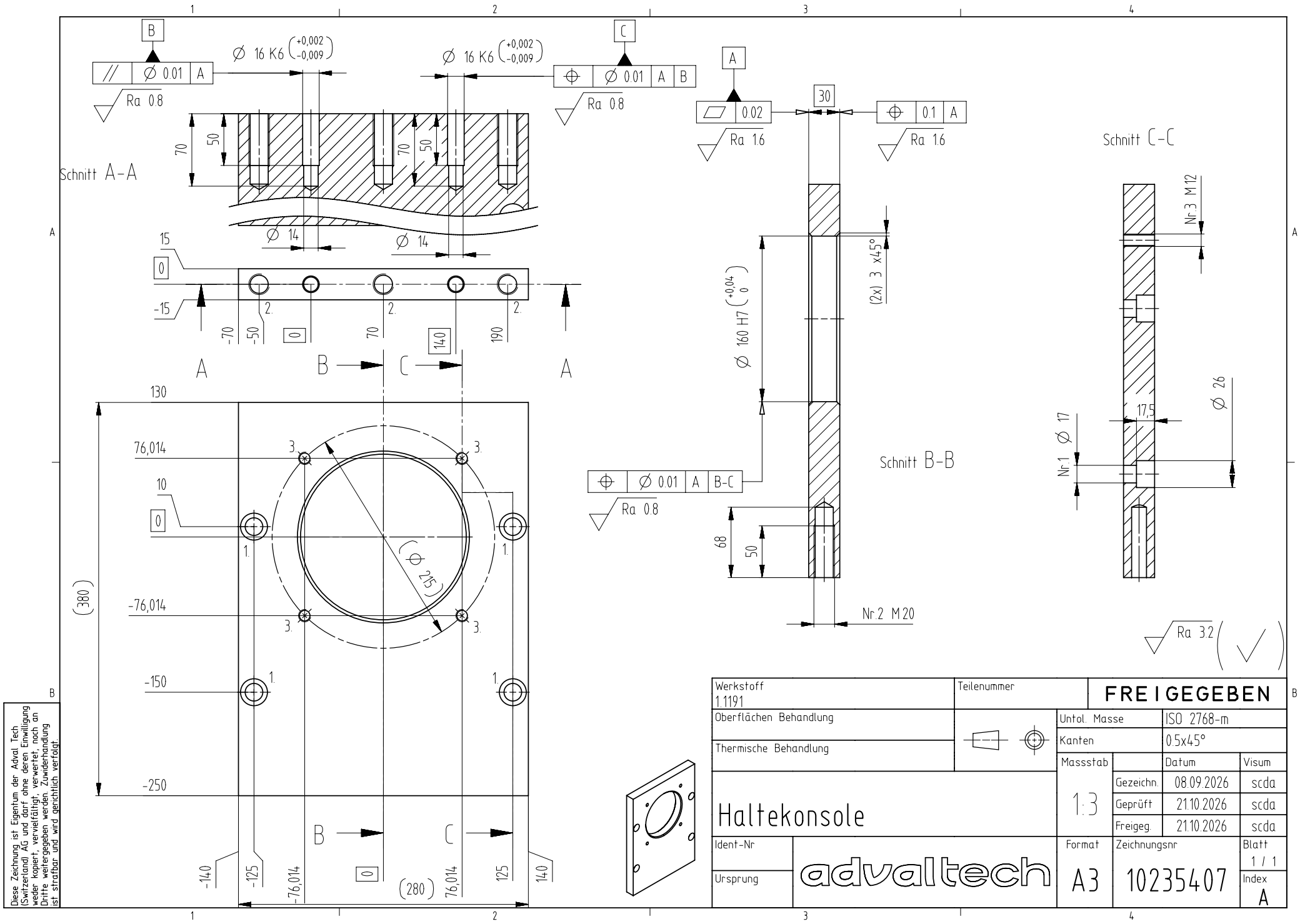
Werkstoff 1.0308	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	0.5x45grad

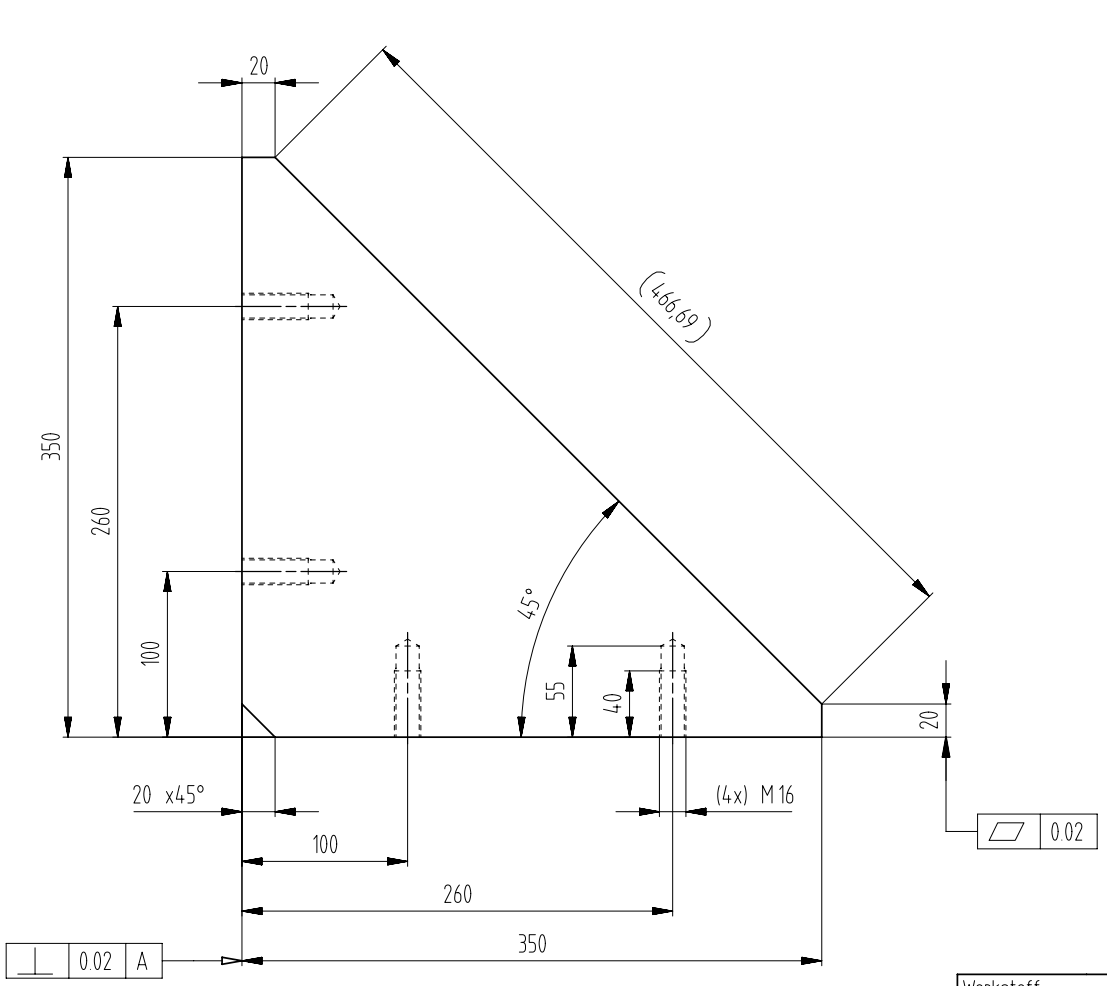
Massstab		Datum	Visum
1:1	Gezeichn.	02.09.2026	scda
	Geprüft	21.10.2026	scda
	Freigeg.	21.10.2026	scda

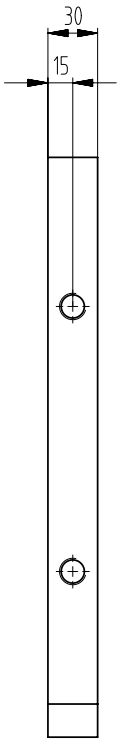
Distanzring

Ident-Nr	advaltech	Format	Zeichnungsnr	Blatt
Ursprung		A4	10235327	1 / 1
				Index A

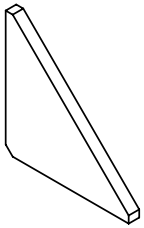
Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.


Schnitt A-A
Schnitt B-B
Schnitt C-C
Ø 16 K6 (+0,002 -0,009)
Ø 0.01 A
Ra 0.8
0.02
Ra 1.6
0.1 A
Ø 0.01 A B
Ø 0.01 A B-C
Ø 160 H7 (+0,04 0)
(2x) 3 x45°
Nr.2 M20
Nr.3 M12
Nr.1 Ø 17
Ø 26
17,5
Ra 3.2
130
76,014
-76,014
-150
-250
(380)
(280)
(Ø 215)
-140
-125
140
190
-70
-50
70
50
68
15
10
Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.
Werkstoff 1.1191
Teilenummer
FREIGEGEBEN
Oberflächen Behandlung
Thermische Behandlung
Untol. Masse
ISO 2768-m
Kanten
0.5x45°
Massstab
1:3
Datum
Visum
Gezeichn. 08.09.2026 scda
Geprüft 21.10.2026 scda
Freigeg. 21.10.2026 scda
Haltekonsole
Ident-Nr
Ursprung
advaltech
Format
A3
Zeichnungsnr
10235407
Blatt
1 / 1
Index
A



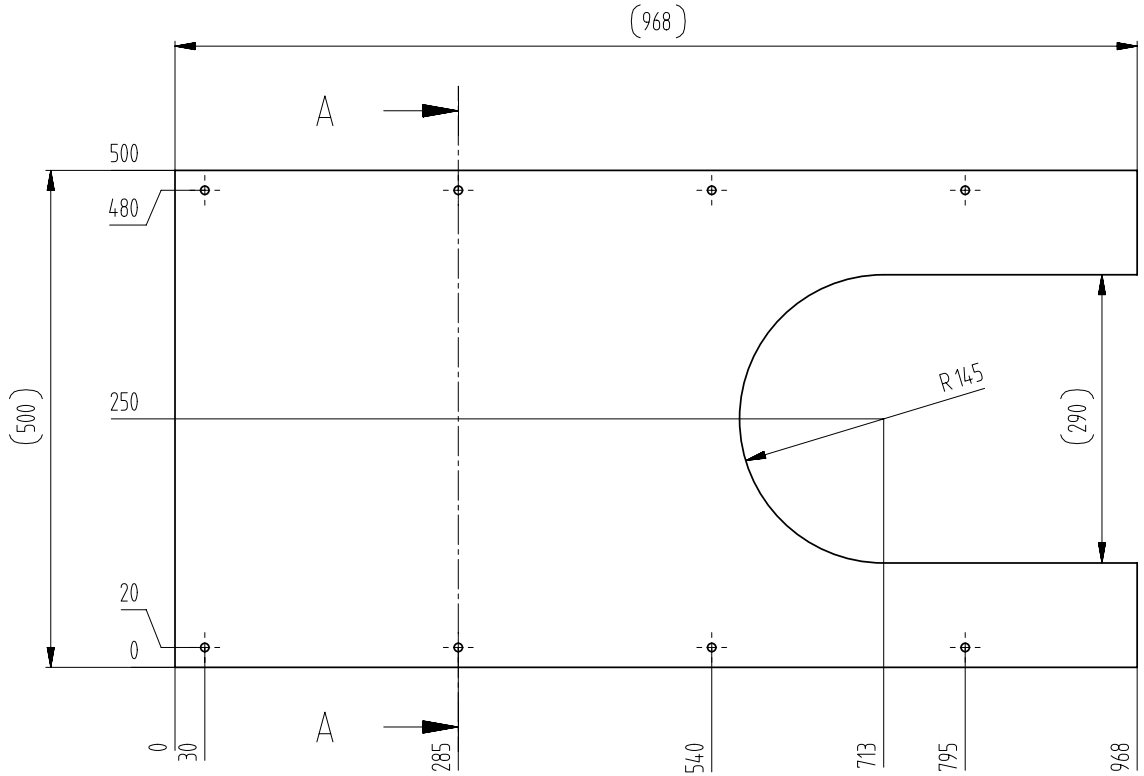


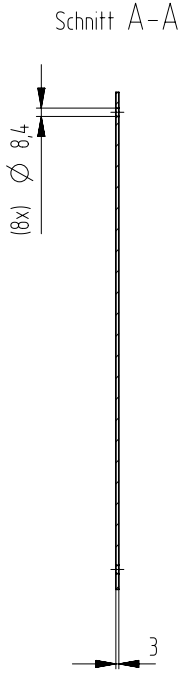
Ra 3.2

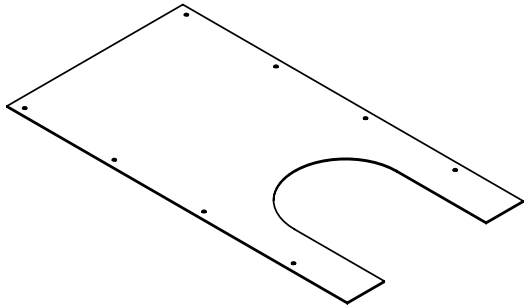


Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!

Werkstoff 1.0037	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	0.5x45°
Verstrebung	Massstab 1:3	Datum	Visum
		Gezeichn. 08.09.2026	scda
		Geprüft 21.10.2026	scda
		Freigeg. 21.10.2026	scda
Ident-Nr	adval tech	Format A3	Zeichnungsnr 10235409
Ursprung			Blatt 1 / 1
			Index A

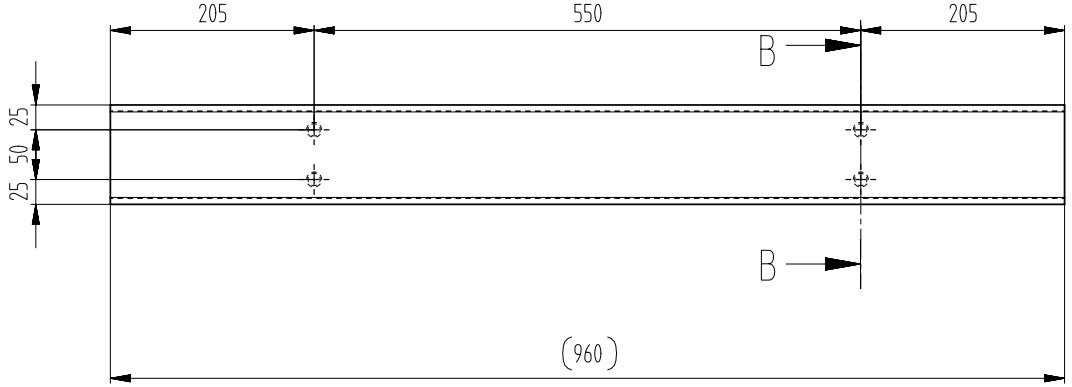


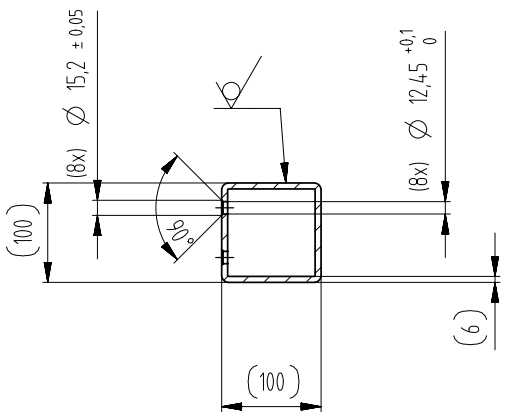




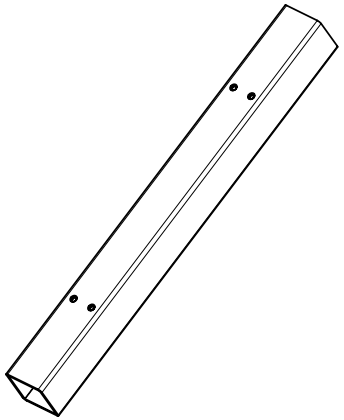
Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!

Werkstoff: Polycarbonat transparent	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten			
		Massstab		Datum	Visum
Abdeckblech		1:5	Gezeichn.	08.09.2026	scda
			Geprüft	21.10.2026	scda
			Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr	adval tech	Format	Zeichnungsnr		Blatt
Ursprung		A3	10235411		1 / 1
					Index A





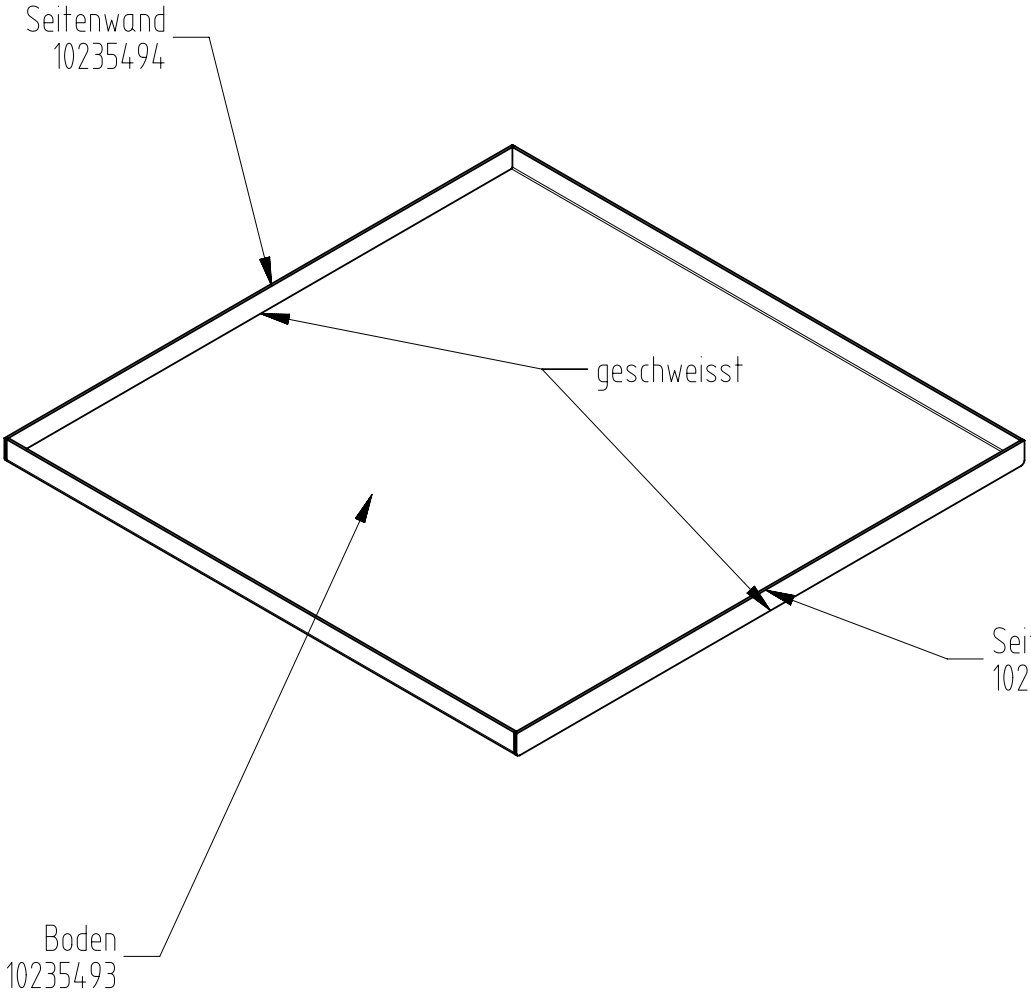
Schnitt B-B



Ra 3.2

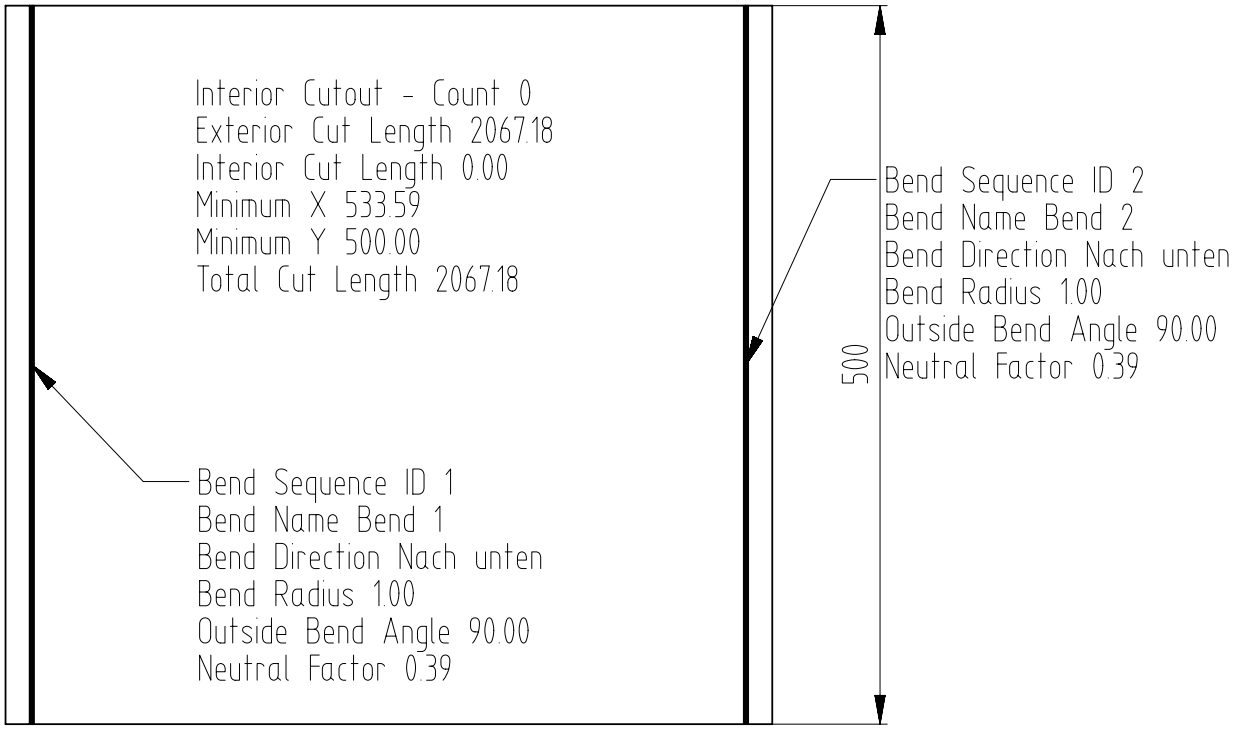
Werkstoff 1.4301	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten	0.5x45°		
		Massstab		Datum	Visum
Auflage		1:5	Gezeichn.	14.09.2026	scda
			Geprüft	21.10.2026	scda
			Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr	advaltech	Format	Zeichnungsnr		Blatt
Ursprung		A3	10235491		1 / 1
					Index A

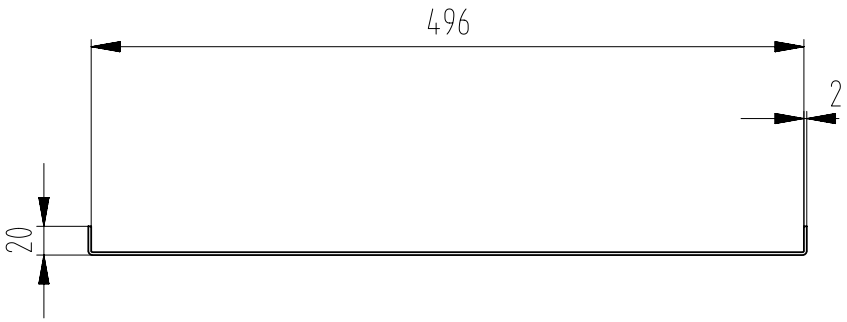
Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!



Werkstoff	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten			
		Massstab		Datum	Visum
Ölwanne Getriebe		1:5	Gezeichn.	14.09.2026	scda
			Geprüft	21.10.2026	scda
			Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr	advaltech	Format	Zeichnungsnr		Blatt
Ursprung		A4	10235492		1 / 1
					Index A

Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.





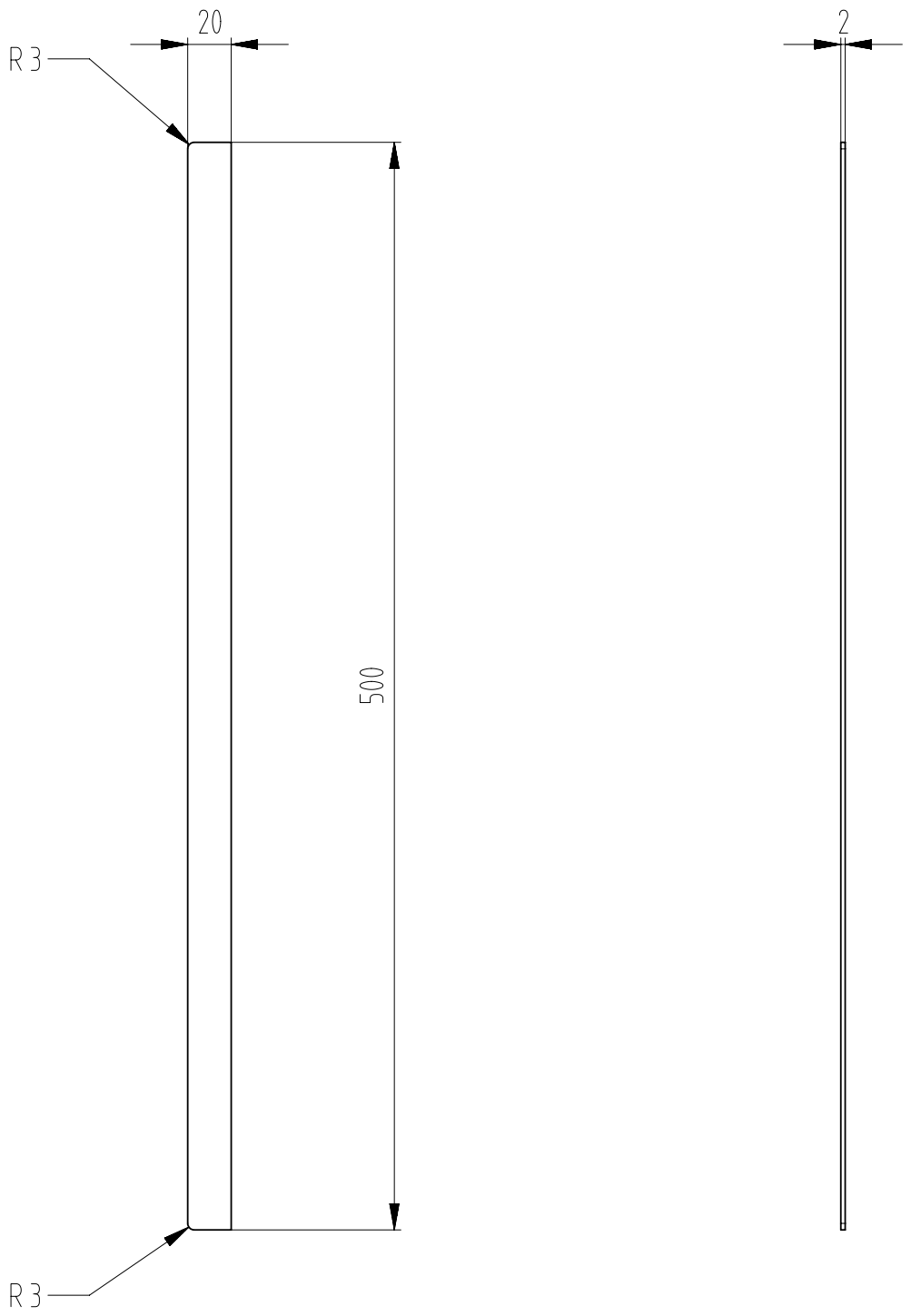
Werkstoff 1.4301	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	0.2x45°

		Datum	Visum
Massstab 1:5	Gezeichn.	14.09.2026	scda
	Geprüft	21.10.2026	scda
	Freigeg.	21.10.2026	scda

Boden

Ident-Nr	advaltech	Format A4	Zeichnungsnr 10235493
Ursprung			Blatt 1 / 1
			Index A

Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.



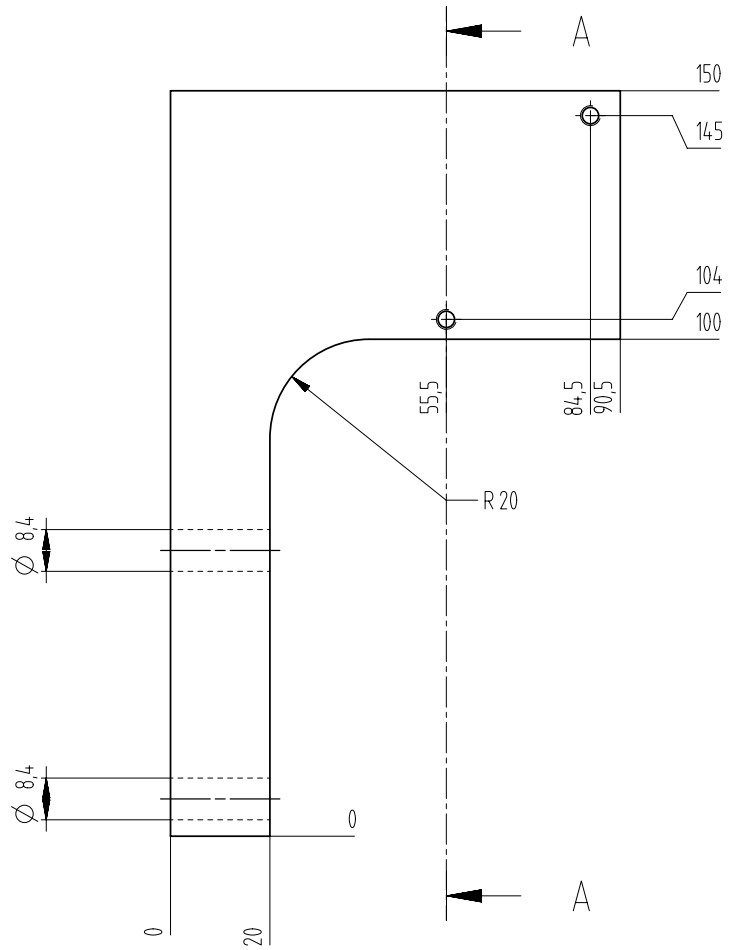
Werkstoff 1.4301	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	0.2x45°

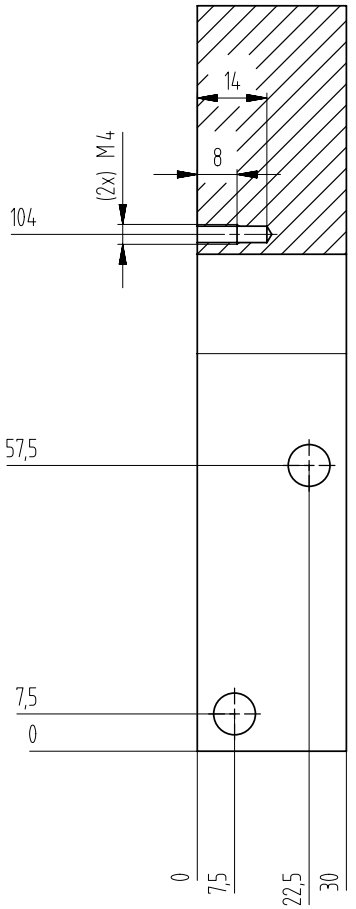
Massstab		Datum	Visum
1:3	Gezeichn.	14.09.2026	scda
	Geprüft	21.10.2026	scda
	Freigeg.	21.10.2026	scda

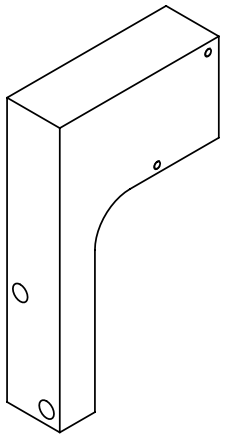
Seitenwand

Ident-Nr	Format	Zeichnungsnr	Blatt
Ursprung	A4	10235494	1 / 1
advaltech			Index A

Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.



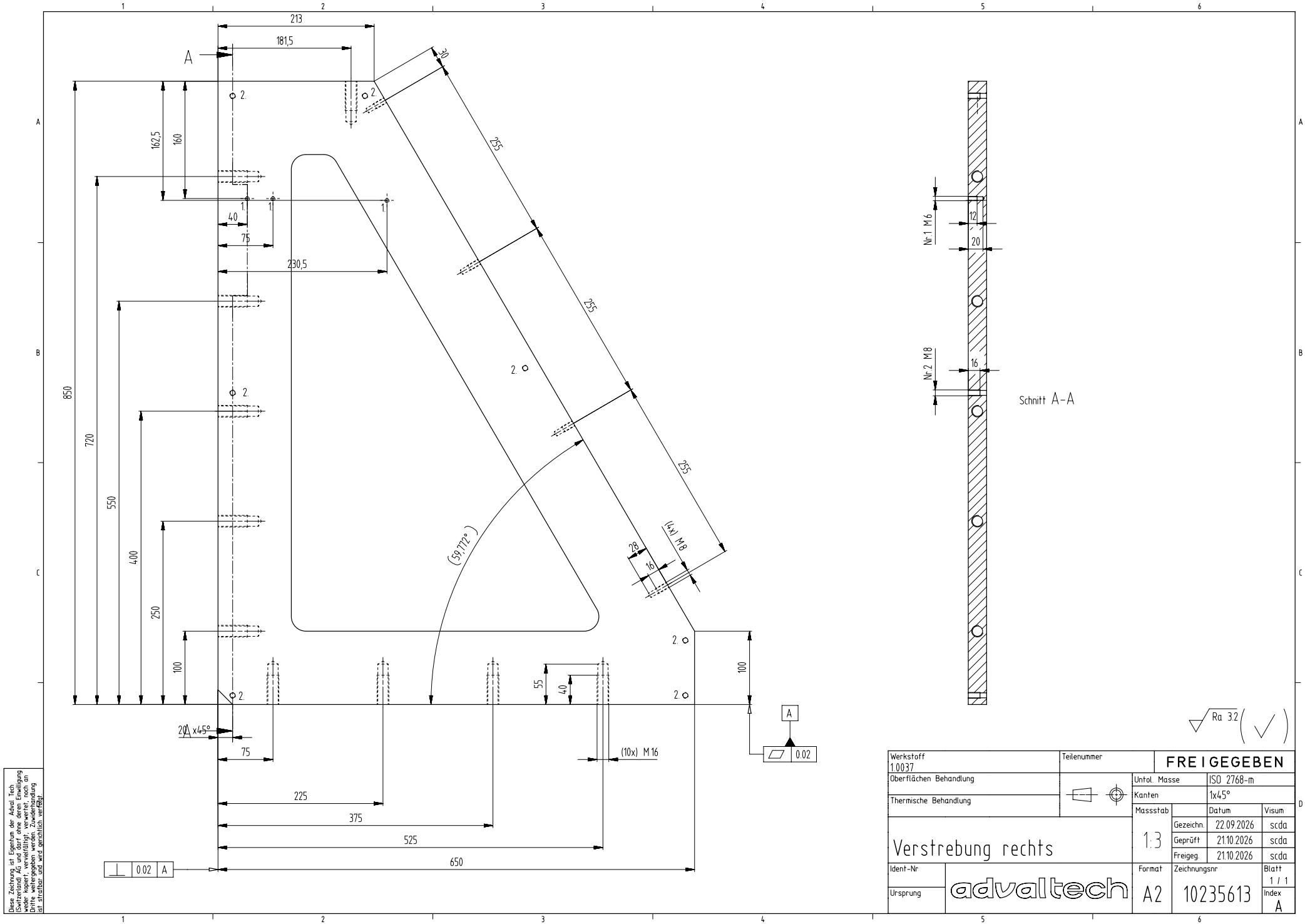


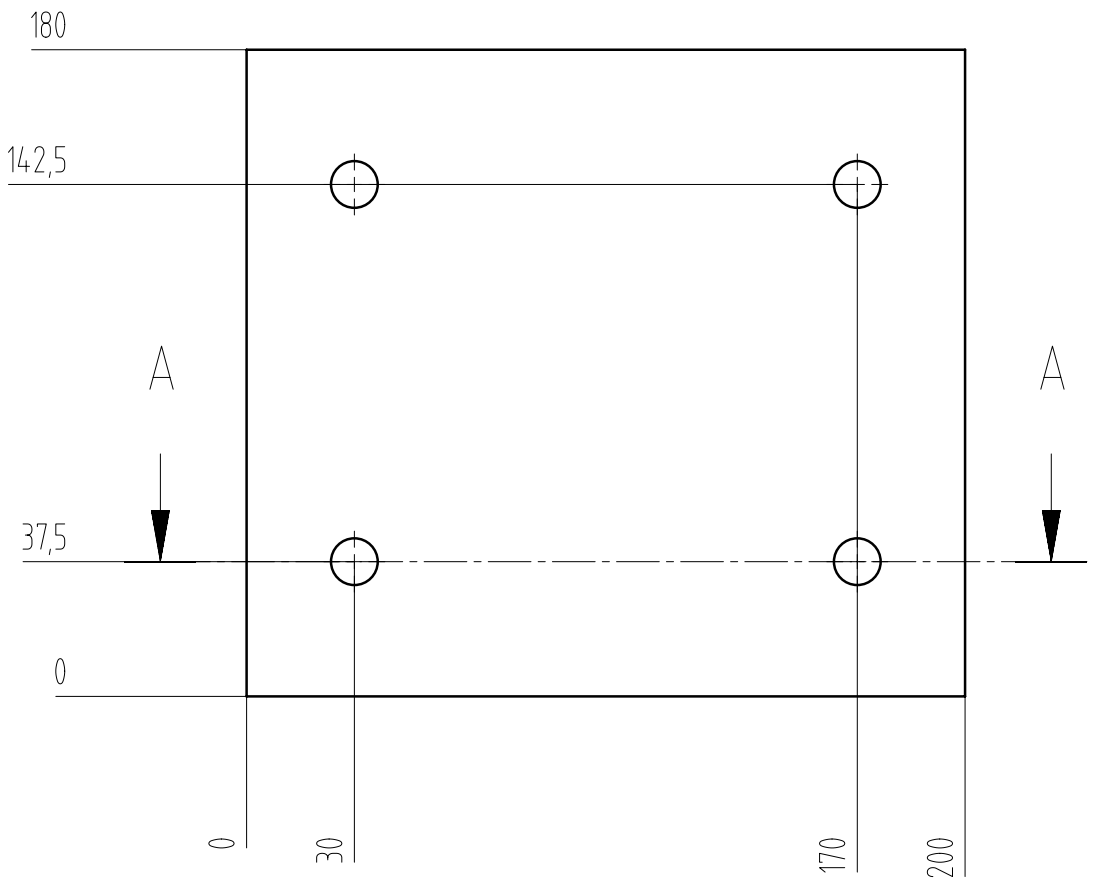


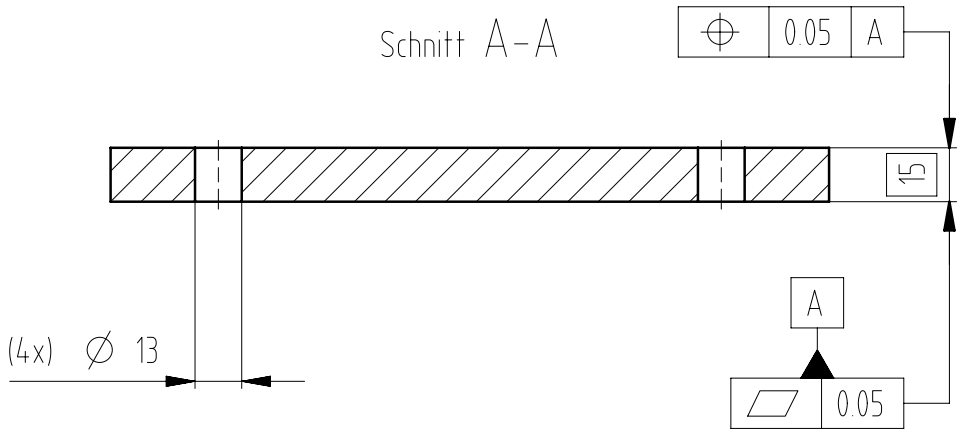
Ra 3.2

Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!

Werkstoff: EN AW-7075	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten	1x45°		
	Massstab		Datum	Visum	
Sensorhalter	1:1	Gezeichn.	15.09.2026	scda	
		Geprüft	21.10.2026	scda	
		Freigeg.	21.10.2026	scda	
Ident-Nr	Format	Zeichnungsnr		Blatt	
Ursprung: adval tech	A3	10235515		1 / 1	
				Index: A	


213
181,5
A
30
255
255
255
162,5
160
850
720
550
400
250
100
40
75
230,5
(59,772°)
(14x) M18
28
16
55
40
100
(10x) M16
A
0.02
20 x45°
75
225
375
525
650
0.02 A
Nr.1 M6
12
20
Nr.2 M8
16
Schnitt A-A
Ra 3.2
Diese Zeichnung ist Eigentum der Advaltech AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.
Werkstoff
1.0037
Teilenummer
FREIGEGEBEN
Oberflächen Behandlung
Thermische Behandlung
Untol. Masse
ISO 2768-m
Kanten
1x45°
Massstab
1:3
Gezeichn.
22.09.2026
scda
Geprüft
21.10.2026
scda
Freigeg.
21.10.2026
scda
Verstrebung rechts
Ident-Nr
Ursprung
advaltech
Format
A2
Zeichnungsnr
10235613
Blatt
1 / 1
Index
A





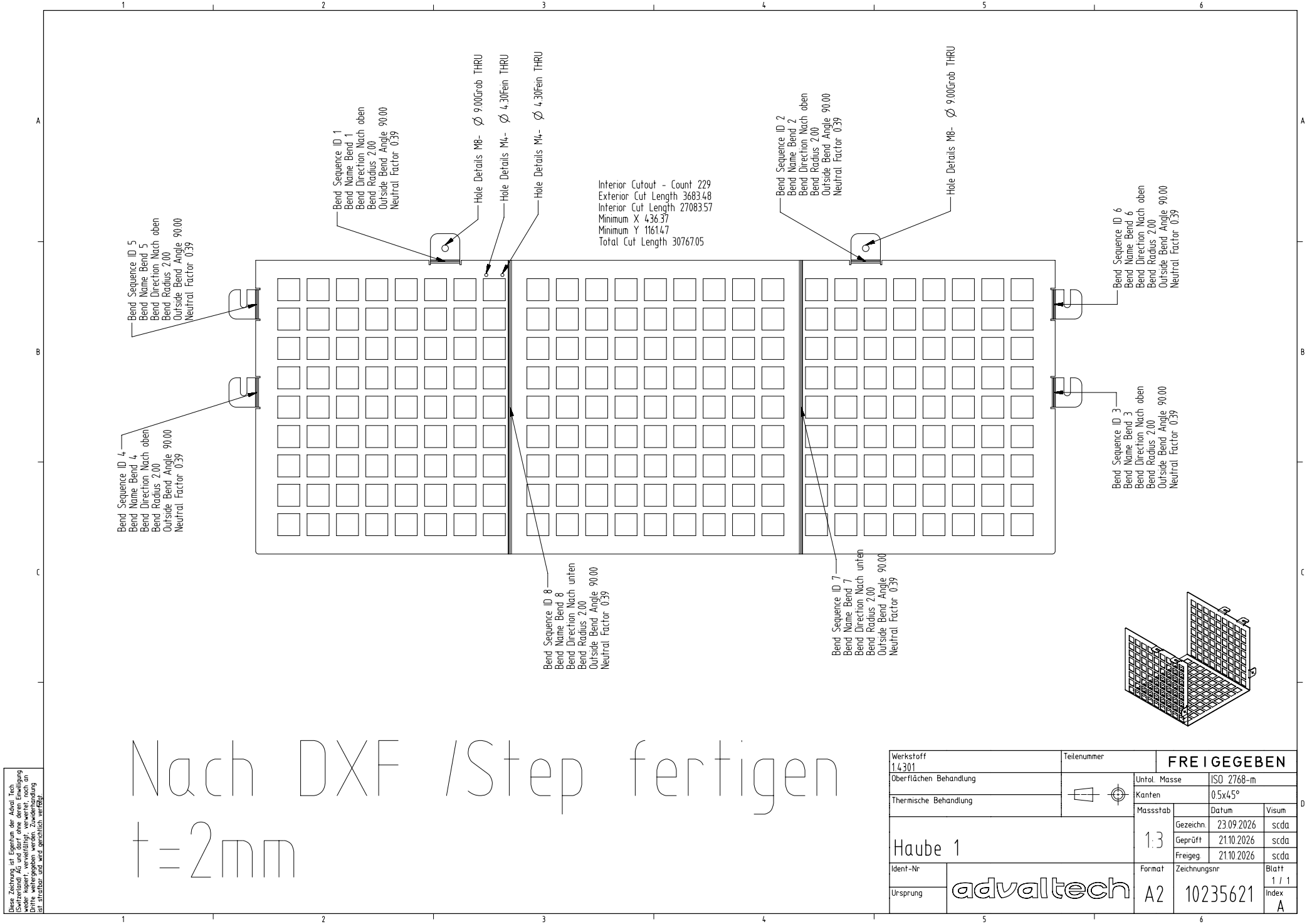
Werkstoff 1.4301	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	0.5x45°

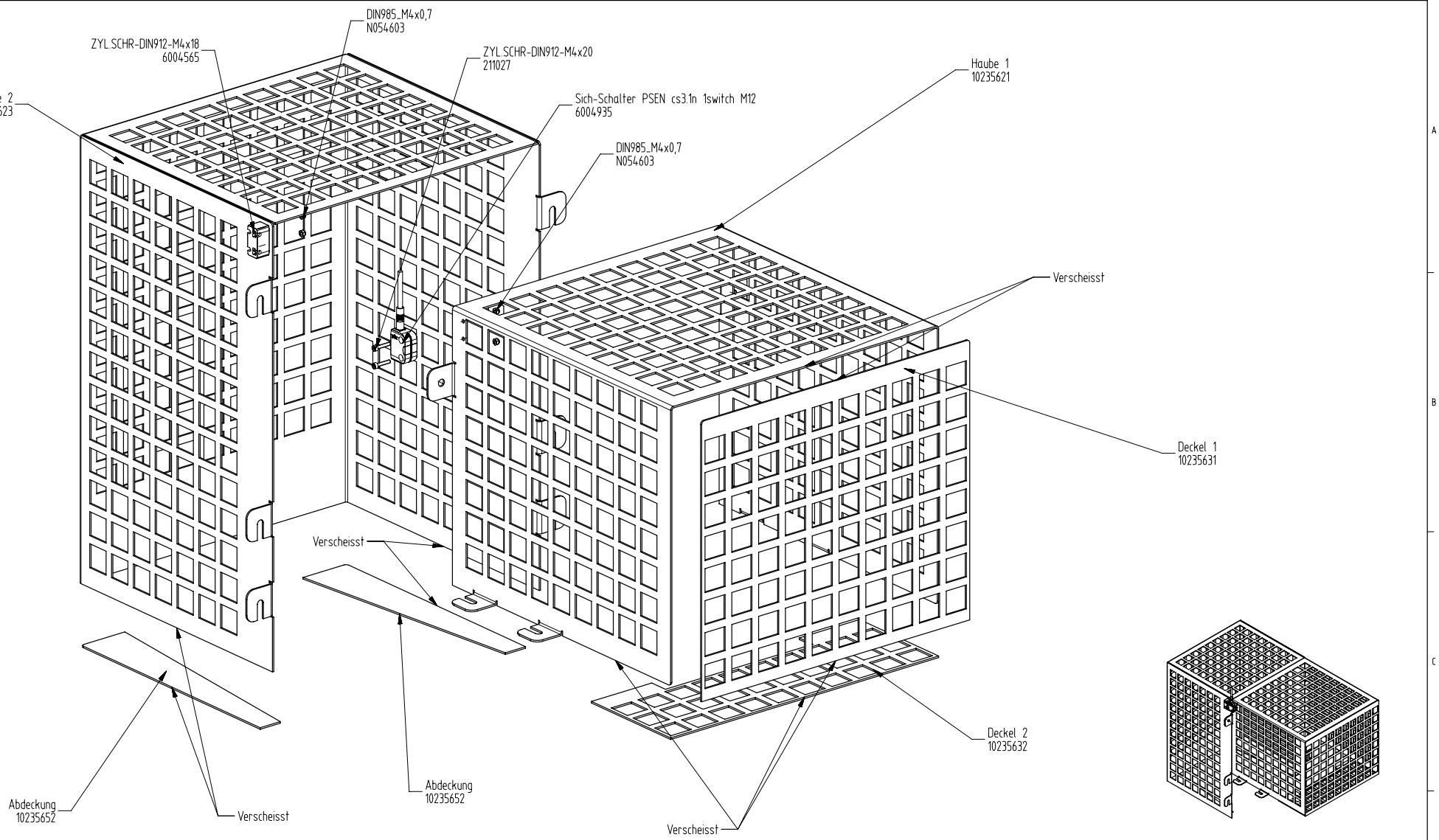
Massstab		Datum	Visum
1:2	Gezeichn.	23.09.2026	scda
	Geprüft	21.10.2026	scda
	Freigeg.	21.10.2026	scda

Rollenaufnahme

Ident-Nr		Format	Zeichnungsnr	Blatt
Ursprung	advaltech	A4	10235619	1 / 1
				Index A

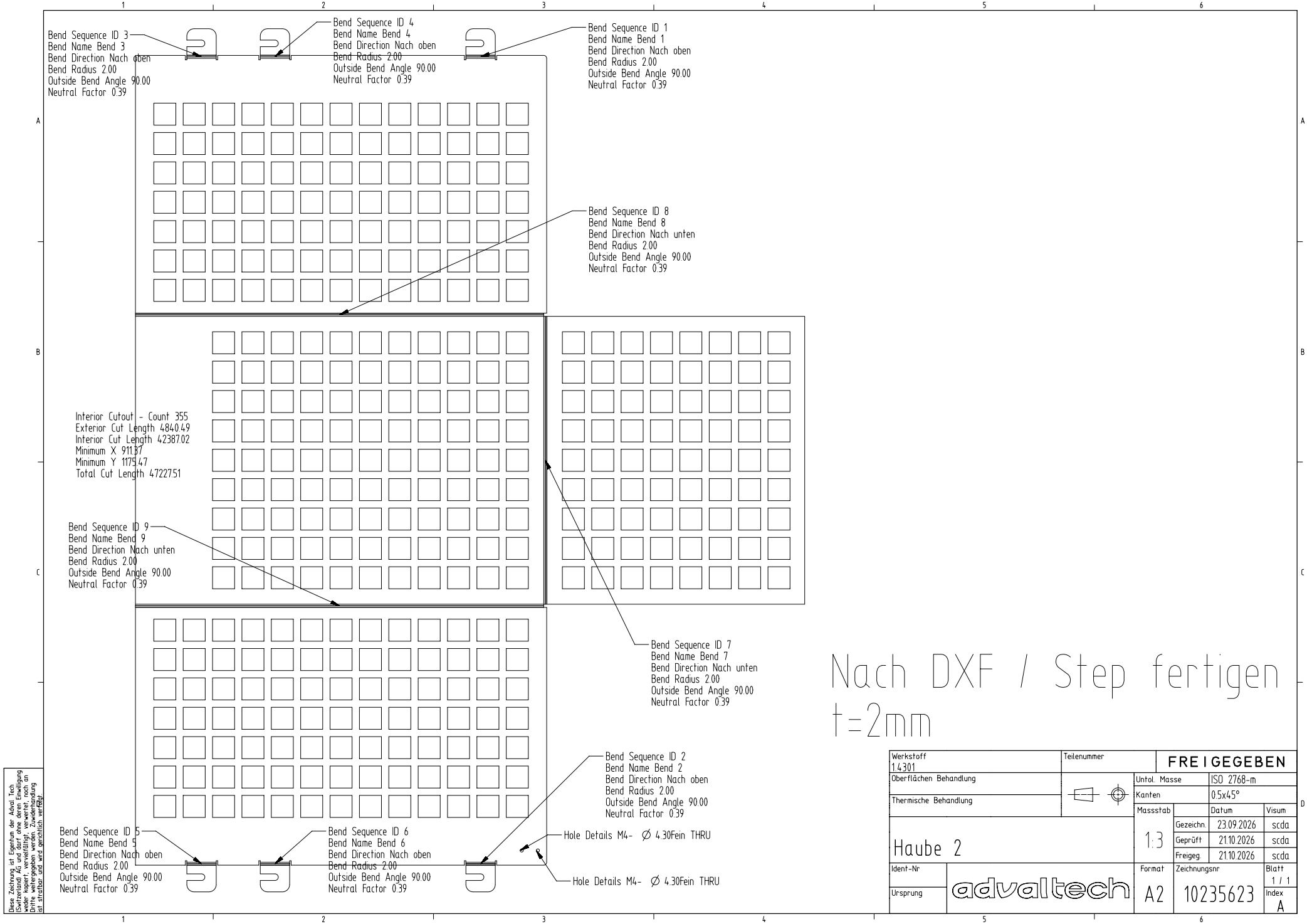
Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.


Bend Sequence ID 1
Bend Name Bend 1
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Hole Details M8- Ø 9.00Grob THRU
Hole Details M4- Ø 4.30Fein THRU
Hole Details M4- Ø 4.30Fein THRU
Interior Cutout - Count 229
Exterior Cut Length 3683.48
Interior Cut Length 27083.57
Minimum X 436.37
Minimum Y 1161.47
Total Cut Length 30767.05
Bend Sequence ID 2
Bend Name Bend 2
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Hole Details M8- Ø 9.00Grob THRU
Bend Sequence ID 5
Bend Name Bend 5
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 6
Bend Name Bend 6
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 4
Bend Name Bend 4
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 3
Bend Name Bend 3
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 8
Bend Name Bend 8
Bend Direction Nach unten
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 7
Bend Name Bend 7
Bend Direction Nach unten
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Nach DXF /Step fertigen
t=2mm
Diese Zeichnung ist Eigentum der Advaltech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt
Werkstoff
1.4301
Teilenummer
FREIGEGEBEN
Oberflächen Behandlung
Thermische Behandlung
Untol. Masse
ISO 2768-m
Kanten
0.5x45°
Massstab
1:3
Datum
Visum
Gezeichn.
23.09.2026
scda
Geprüft
21.10.2026
scda
Freigeg.
21.10.2026
scda
Haube 1
Ident-Nr
Ursprung
advaltech
Format
A2
Zeichnungsnr
10235621
Blatt
1 / 1
Index
A

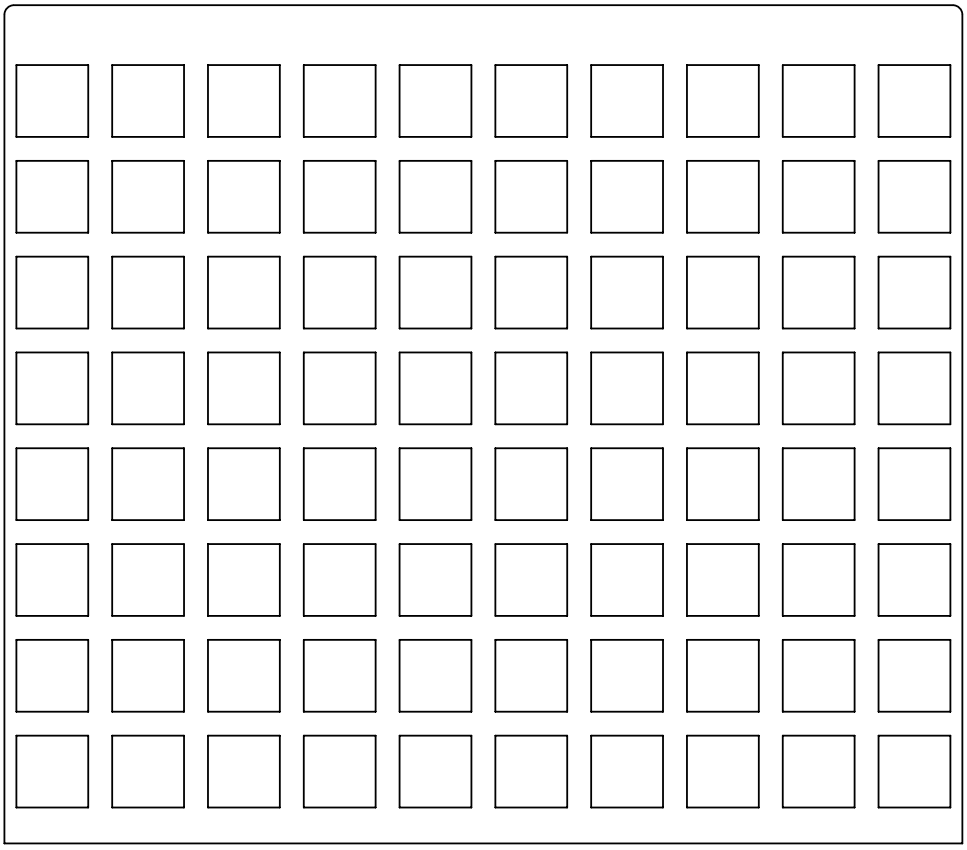


Diese Zeichnung ist Eigentum der Advaltech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

Werkstoff	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	
		Massstab	Datum / Visum
Personenschutz		1:3	Gezeichn. 23.09.2026 scda
			Geprüft 21.10.2026 scda
			Freigeg. 21.10.2026 scda
Ident-Nr	advaltech	Format A2	Zeichnungsnr 10235622
Ursprung			Blatt 1 / 1
			Index A


Bend Sequence ID 3
Bend Name Bend 3
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 4
Bend Name Bend 4
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 1
Bend Name Bend 1
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 8
Bend Name Bend 8
Bend Direction Nach unten
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Interior Cutout - Count 355
Exterior Cut Length 4840.49
Interior Cut Length 42387.02
Minimum X 911.37
Minimum Y 1175.47
Total Cut Length 47227.51
Bend Sequence ID 9
Bend Name Bend 9
Bend Direction Nach unten
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 7
Bend Name Bend 7
Bend Direction Nach unten
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 2
Bend Name Bend 2
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 5
Bend Name Bend 5
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Bend Sequence ID 6
Bend Name Bend 6
Bend Direction Nach oben
Bend Radius 2.00
Outside Bend Angle 90.00
Neutral Factor 0.39
Hole Details M4- Ø 4.30Fein THRU
Hole Details M4- Ø 4.30Fein THRU
Nach DXF / Step fertigen
t=2mm
Werkstoff
1.4301
Teilenummer
FREIGEGEBEN
Oberflächen Behandlung
Thermische Behandlung
Untol. Masse
ISO 2768-m
Kanten
0.5x45°
Massstab
1:3
Datum
Visum
Gezeichn.
23.09.2026
scda
Geprüft
21.10.2026
scda
Freigeg.
21.10.2026
scda
Haube 2
Ident-Nr
Ursprung
advaltech
Format
A2
Zeichnungsnr
10235623
Blatt
1 / 1
Index
A
Diese Zeichnung ist Eigentum der Advaltech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

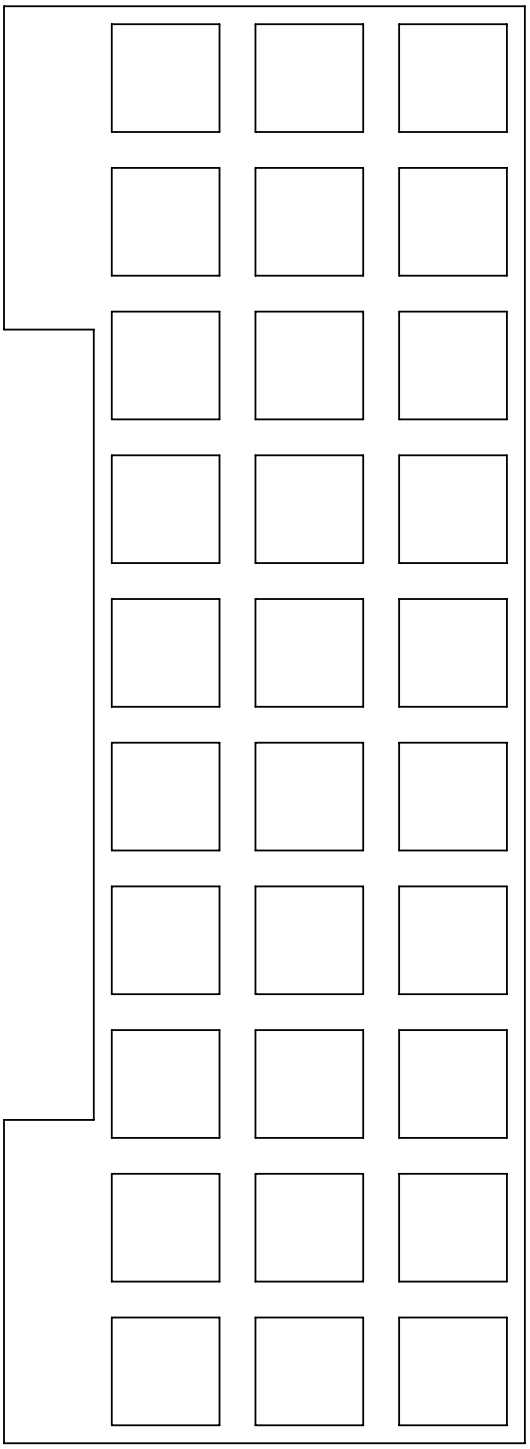
Interior Cutout - Count 80
Exterior Cut Length 1496.57
Interior Cut Length 9600.00
Minimum X 400.00
Minimum Y 350.00
Total Cut Length 11096.57



Nach DXF / Step fertigen
t=2mm

Werkstoff 1.4301	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	0.5x45°
Deckel 1	Massstab 1:3	Datum	Visum
	Gezeichn.	23.09.2026	scda
	Geprüft	21.10.2026	scda
	Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr	Format A4	Zeichnungsnr 10235631	Blatt 1 / 1
Ursprung	advaltech		Index A

Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

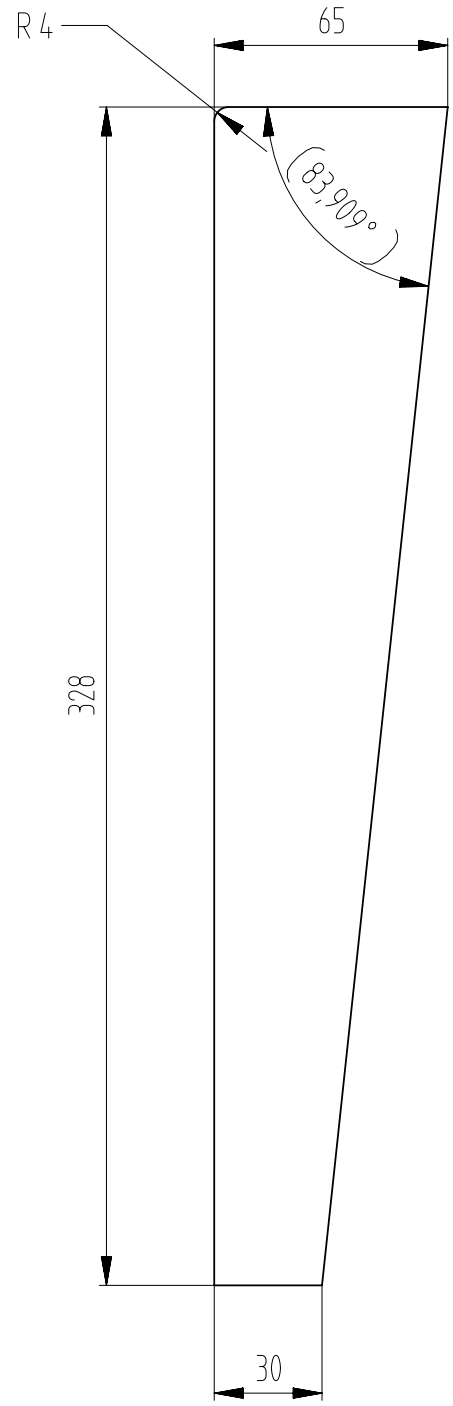


Interior Cutout - Count 30
Exterior Cut Length 1140.00
Interior Cut Length 3600.00
Minimum X 145.00
Minimum Y 400.00
Total Cut Length 4740.00

Nach DXF / Step fertigen
t=2mm

Werkstoff 1.4301	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	0.5x45°
Deckel 2	Massstab 1:2	Datum	Visum
	Gezeichn.	23.09.2026	scda
	Geprüft	21.10.2026	scda
	Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr / Ursprung	advaltech	Format A4	Zeichnungsnr 10235632 / Blatt 1 / 1 / Index A

Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

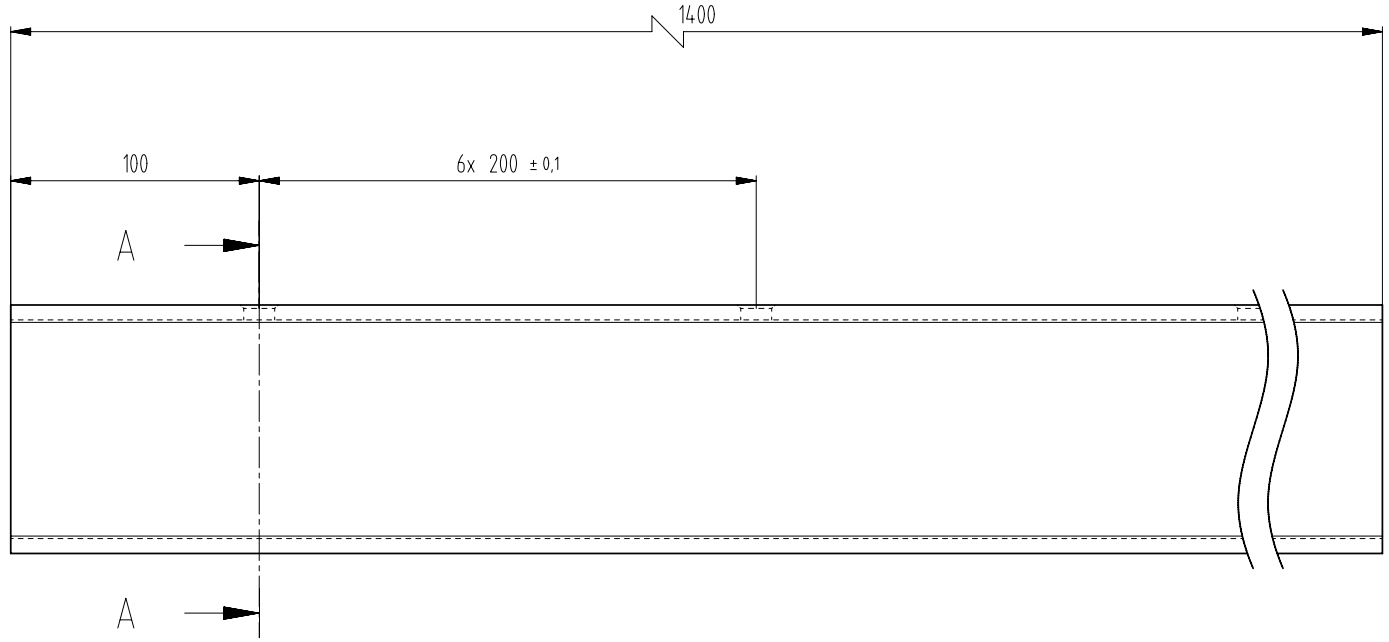


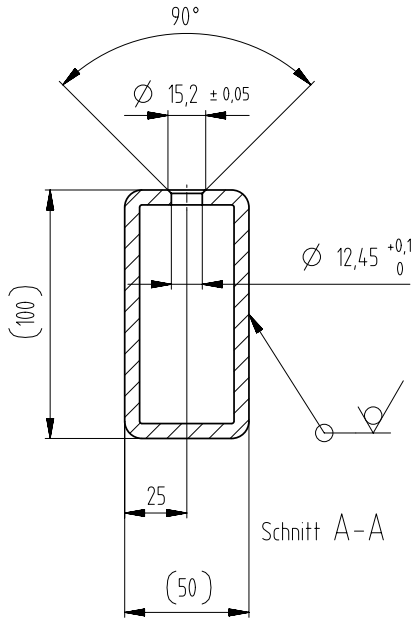
Interior Cutout - Count 0
Exterior Cut Length 751.15
Interior Cut Length 0.00
Minimum X 65.00
Minimum Y 328.00
Total Cut Length 751.15

Nach DXF / Step fertigen
t=2mm

Werkstoff: 1.4301	Teilenummer	FREIGEGEBEN	
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m
Thermische Behandlung		Kanten	0.5x45°
Abdeckung	Massstab: 1:2	Gezeichn. 25.09.2026 scda	
		Geprüft 21.10.2026 scda	
		Freigeg. 21.10.2026 scda	
Ident-Nr	advaltech	Format: A4	Zeichnungsnr: 10235652
Ursprung			Blatt: 1 / 1
			Index: A

Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt.

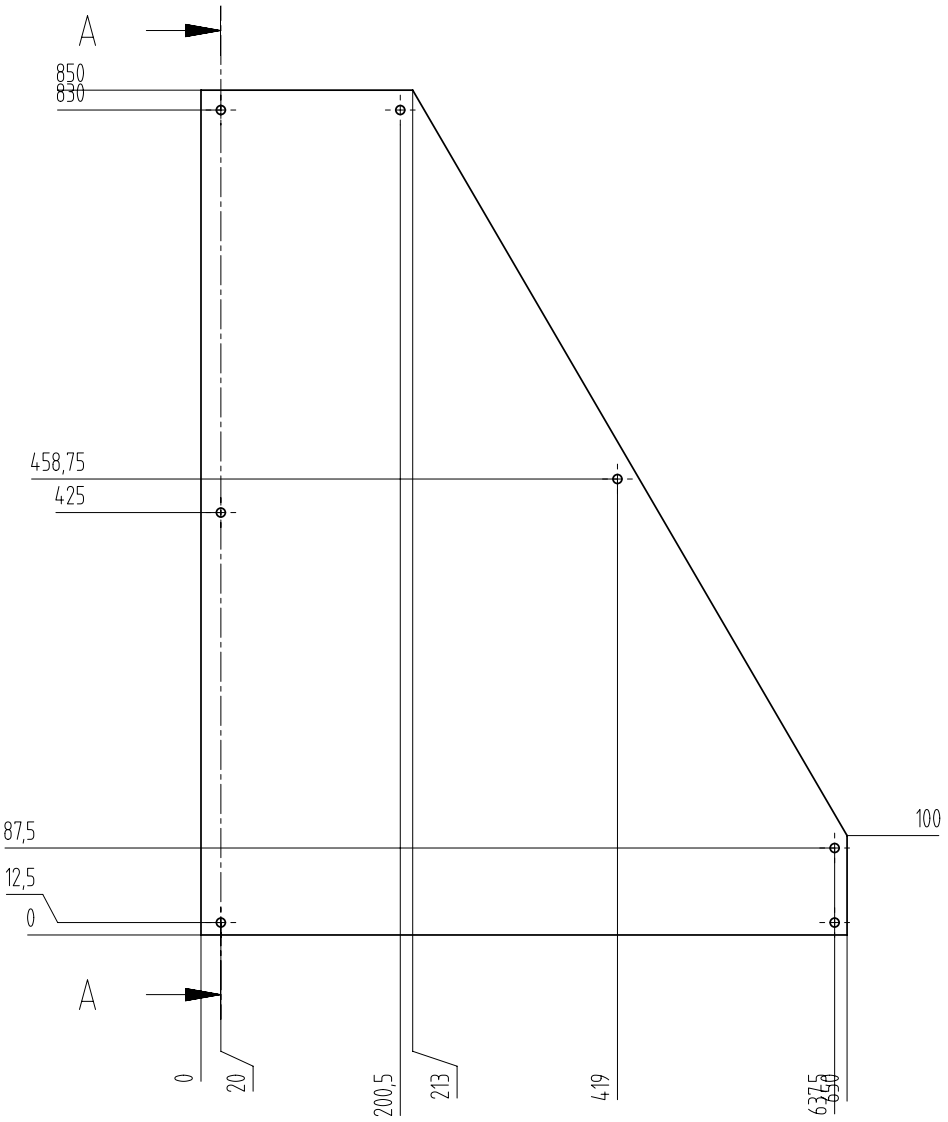


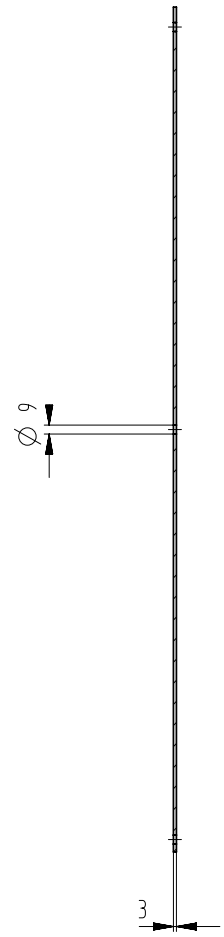


Ra 3.2 ( )

Werkstoff 1.4301	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten	0.5x45°		
Längsträger		Massstab 1:2		Datum	Visum
			Gezeichn.	19.10.2026	scda
			Geprüft	21.10.2026	scda
			Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr	advaltech	Format A3	Zeichnungsnr 10235971		Blatt 1 / 1
Ursprung					Index A

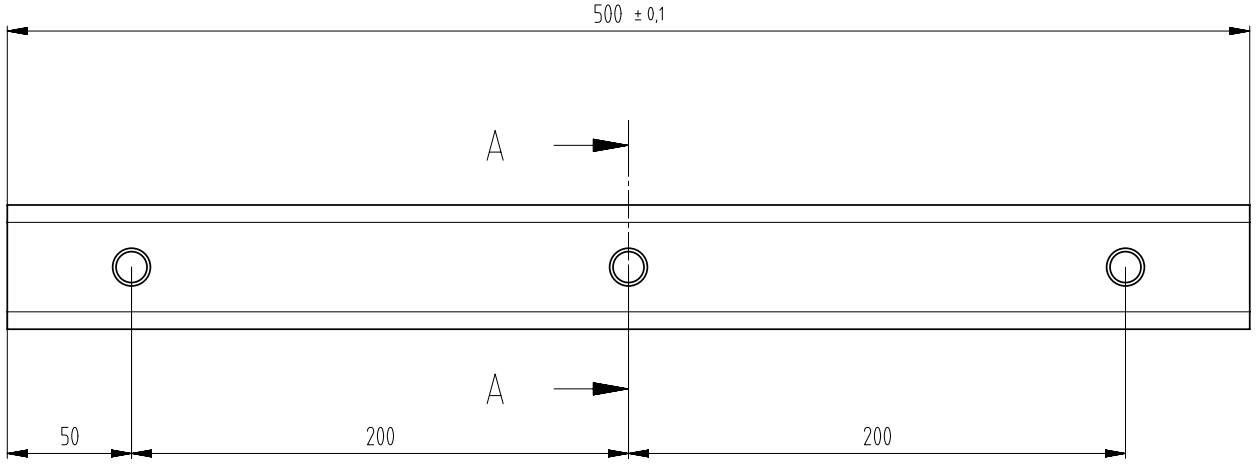
Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!

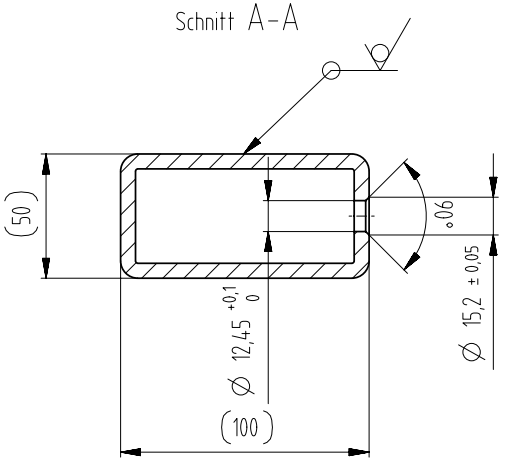




Werkstoff: Polycarbonat transparent	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten	0.2x45°		
	Massstab		Datum	Visum	
Abdeckung Links	1:5	Gezeichn.	19.10.2026	scda	
		Geprüft	21.10.2026	scda	
		Freigeg.	21.10.2026	scda	
Ident-Nr	Format	Zeichnungsnr		Blatt	
Ursprung: advaltech	A3	10235977		1 / 1	
				Index: A	

Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!

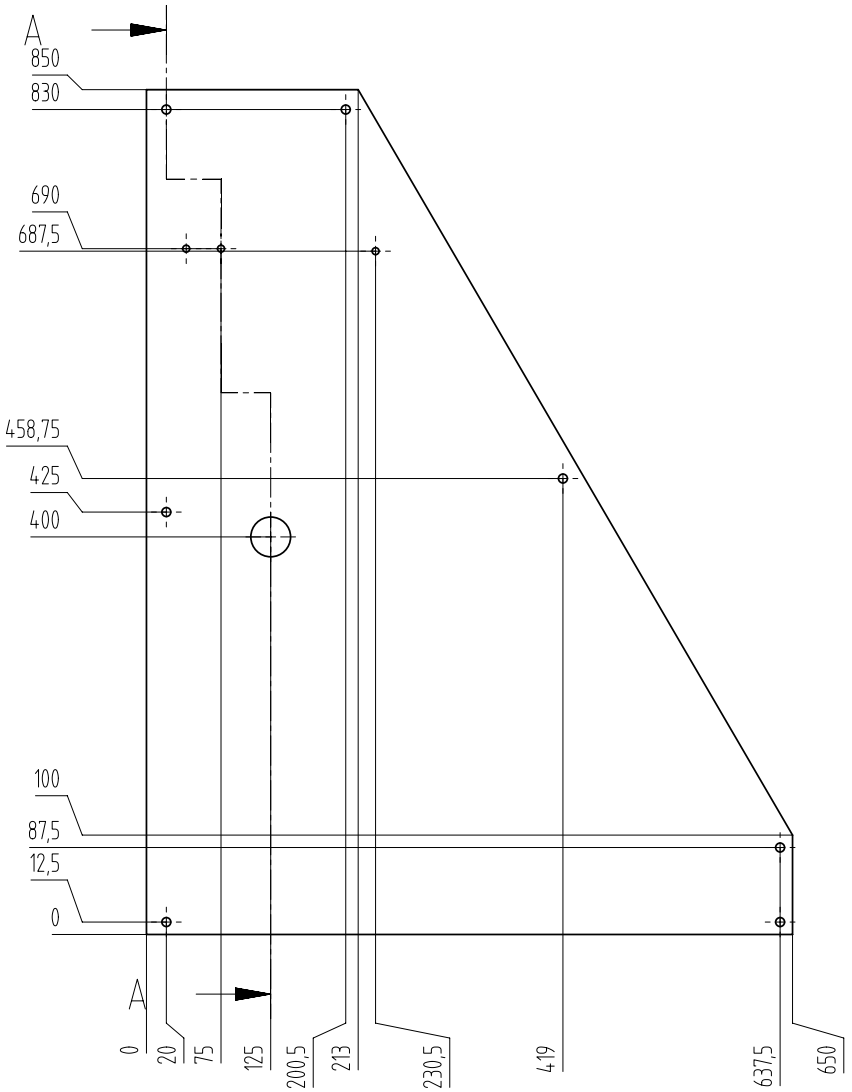


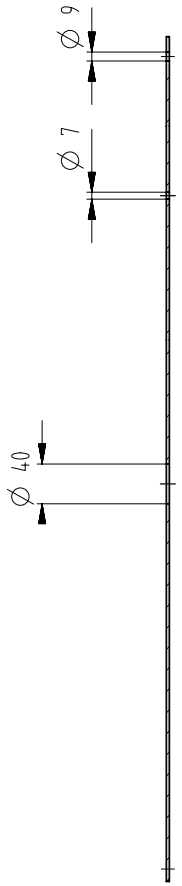


Ra 3.2 ( )

Werkstoff 1.4301	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten	0.5x45°		
		Massstab		Datum	Visum
Querträger		1:2	Gezeichn.	19.10.2026	scda
			Geprüft	21.10.2026	scda
			Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr	advaltech	Format	Zeichnungsnr		Blatt
Ursprung		A3	10235979		1 / 1
					Index A

Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!





Diese Zeichnung ist Eigentum der Adval Tech (Switzerland) AG und darf ohne deren Einwilligung weder kopiert, vervielfältigt, verwertet, noch an Dritte weitergegeben werden. Zuwiderhandlung ist strafbar und wird gerichtlich verfolgt!

Werkstoff: Polycarbonat transparent	Teilenummer	FREIGEGEBEN			
Oberflächen Behandlung		Untol. Masse	ISO 2768-m		
Thermische Behandlung		Kanten			
		Massstab		Datum	Visum
Abdeckung Rechts		1:5	Gezeichn.	19.10.2026	scda
			Geprüft	21.10.2026	scda
			Freigeg.	21.10.2026	scda
Ident-Nr	adval tech	Format	Zeichnungsnr		Blatt
Ursprung		A3	10235981		1 / 1
					Index A

Anlage G | Kostenkalkulation

Die Zusammenstellung verwendet die überarbeitete Normteilpreisliste [P11] und die aufgeteilte Fertigungsschätzung [P12]. Die Fertigungskosten sind eine Budgetaufteilung innerhalb des AVOR-Rahmens, keine verbindlichen Einzelofferten.

Kostenbestandteil	CHF
Norm- und Kaufteile, aktuelle Preisliste	12’999.39
Fertigungsteile, Budgetaufteilung	16’812.50
Vorläufige erfasste Teilekosten	29’811.89

Berechnung und Abgrenzung

7’024.99 CHF + 6’467.90 EUR × 0.9237 CHF/EUR = 12’999.39 CHF. Hinzu kommen 16’812.50 CHF für die Fertigung. Die Summe beträgt 29’811.89 CHF.

Die aktuelle Preisliste ist für die Kaufteile massgebend. Die ältere Kaufteilsumme im Blatt «Gesamtkosten» der kombinierten Arbeitsmappe wird in dieser Zusammenstellung nicht verwendet.

Ansätze: intern CHF 70/h, extern CHF 150/h; AVOR-Rahmen CHF 15’000 bis CHF 17’000. Alle Fertigungsstunden und Materialansätze gelten für das jeweilige Positionslos.

Nicht enthalten sind unter anderem Endmontage, Elektrik, Inbetriebnahme, Versand, Einfuhrkosten und zusätzliche Steuern. Steuerbasis und offene Lieferumfänge sind in den Einzelpositionen dokumentiert.

Quelle: Preisliste_Normteile_Getriebeteststand.xlsx, Blatt Preisliste, I3 und I5:I7; Gesamtkosten_Getriebeteststand.xlsx, Blätter Kostenübersicht und Werkstücke.

G1 | Norm- und Kaufteile

Die Steuerbasis ist nicht für alle Positionen einheitlich ausgewiesen; siehe G2.

Zeile	Bauteil / Typ	Menge	Währ.	EP vor Rabatt	Rabatt	EP nach Rabatt	Position	Lieferant / Status
15	Beckhoff AM8063-0LHB	1	EUR	2’064.20	12 %	1’816.50	1’816.50	Beckhoff / Belegt
16	Beckhoff AG2300-+SP180S-MC1-5-0X0-F6	1	EUR	2’319.90	12 %	2’041.51	2’041.51	Beckhoff / Belegt
17	KTR ROTEX 65 • d1/d2 = 55 H7	1	EUR	890.00	0 %	890.00	890.00	KTR / Belegt
18	Passfeder 16 × 10 × 63	1	EUR	1.97	0 %	1.97	1.97	Agrolager / Belegt
19	Blickle HRLSD-GTH 127K	4	CHF	1’279.19	0 %	1’279.19	5’116.76	RS Schweiz / Belegt
20	TDSK20_270_45_45_G3 (laut Stückliste)	2	EUR	66.00	0 %	66.00	132.00	Schaeffler / INA / Belegt
21	KWSE20_HL_100_900_100_V1_G3	2	EUR	142.77	0 %	142.77	285.54	Tuli / Belegt
22	Nadellager RNA6903	2	EUR	16.63	0 %	16.63	33.26	Tuli / INA / Belegt
23	SKF 30219 • Kegelrollenlager	2	EUR	118.06	0 %	118.06	236.12	Agrolager / Belegt
24	ifm VVB301 • Vibrationssensor	1	CHF	402.85	0 %	402.85	402.85	RS Schweiz / Belegt
25	Baumer OM30-L0350.HV.YIN	1	CHF	979.22	0 %	979.22	979.22	RS Schweiz / Belegt
26	Pilz PSEN cs3.1n / PSEN cs3.1 – Set 541003	1	CHF	123.31	0 %	123.31	123.31	RS Schweiz / Belegt
27	Bijur Delimon SureFire II, 2 l, 24 V DC	1	EUR	1’031.00	0 %	1’031.00	1’031.00	Sinntec / Belegt
28	ifm VVB301 • möglicher zweiter Sensor	1	CHF	402.85	0 %	402.85	402.85	RS Schweiz / Belegt

Erfasste Summe: CHF 12’999.39. Kurs: 1 EUR = 0.9237 CHF (20.10.2026).

Quelle: Preisliste_Normteile_Getriebeteststand.xlsx, Blatt Preisliste; sämtliche Positionen der Zeilen 15–28.

G2 | Preisbelege und Lieferumfang

Excel-Zeile 15: Beckhoff AM8063-0LHB

Preisbeleg: S. 687/689 (PDF 344/345): 1’875,00 + 189,20 EUR

Lieferumfang / offene Punkte: Listenpreis inkl. OCT-Encoder H (24 Bit Multiturn). Steuerbasis im bereitgestellten Preisbeleg nicht ausgewiesen.

Steuerbasis: Liste

Preisprüfung: 21.10.2026

Quelle: Beckhoff_Preisliste_012026.pdf

Excel-Zeile 16: Beckhoff AG2300-+SP180S-MC1-5-0X0-F6

Preisbeleg: S. 698 (PDF 350): 2’109,00 × 1,10 EUR

Lieferumfang / offene Punkte: Reduziertes Verdrehspiel mit 10 % Optionsaufschlag berücksichtigt.

Steuerbasis: Liste

Preisprüfung: 21.10.2026

Quelle: Beckhoff_Preisliste_012026.pdf

Excel-Zeile 17: KTR ROTEX 65 • d1/d2 = 55 H7

Preisbeleg: Preis je Stück; keine weiteren Rabatte zugesichert.

Lieferumfang / offene Punkte: Nabenausführung, Werkstoff und komplette Bestellnummer bestätigen; Zahnkranz 98 Shore A laut Diplomarbeit. Offerte für zwei Naben + Zahnkranz.

Preisprüfung: 21.10.2026

Excel-Zeile 18: Passfeder 16 × 10 × 63

Preisbeleg: Preis je Stück; keine weiteren Rabatte zugesichert.

Lieferumfang / offene Punkte: Vergleich: DIN 6885 Form A, C45C. Form/Werkstoff der Stückliste nicht angegeben.

Steuerbasis: Netto

Preisprüfung: 21.10.2026

https://www.agrolager.de/index.php?cPath=271_375&mobile=0&page=3

Excel-Zeile 19: Blickle HRLSD-GTH 127K

Preisbeleg: Preis je Stück; keine weiteren Rabatte zugesichert.

Lieferumfang / offene Punkte: Preis je Heberolle. Günstigeres Conrad-Angebot mit ungeklärter Steuerdarstellung im Blatt Varianten.

Steuerbasis: Netto

Preisprüfung: 21.10.2026

https://ch.rs-online.com/web/p/lenkrollen/0935926

Excel-Zeile 20: TDSK20_270_45_45_G3 (laut Stückliste)

Preisbeleg: Preis je Stück; keine weiteren Rabatte zugesichert.

Lieferumfang / offene Punkte: Bestellcode prüfen: mögliche Schreibweise TKSD20. Länge 270 mm und Endabstände 45/45 mm bestätigen; Zuschnitt-/Bohrkosten anfragen.

Preisprüfung: 21.10.2026

Excel-Zeile 21: KWSE20_HL_100_900_100_V1_G3

Preisbeleg: Preis je Stück; keine weiteren Rabatte zugesichert.

Lieferumfang / offene Punkte: Vergleich nur für einzelnen INA KWSE20-HL-V1-G3-Wagen. Bedeutung 100_900_100 und Anzahl Wagen je Baugruppe prüfen; Schiene nicht enthalten.

Steuerbasis: Netto

Preisprüfung: 21.10.2026

https://www.tuli-shop.com/ina-linear-block-kwse20-hl-v1-g3

Excel-Zeile 22: Nadellager RNA6903

Preisbeleg: Preis je Stück; keine weiteren Rabatte zugesichert.

Lieferumfang / offene Punkte: Vergleich: INA RNA6903 ohne Innenring, offen, 22 × 30 × 23 mm. Fabrikat in Stückliste nicht festgelegt.

Steuerbasis: Netto

Preisprüfung: 21.10.2026

https://www.tuli-shop.com/ina-bearing-rna6903-22x30x23mm

Excel-Zeile 23: SKF 30219 • Kegelrollenlager

Preisbeleg: Preis je Stück; keine weiteren Rabatte zugesichert.

Lieferumfang / offene Punkte: Zuordnung SKF 30219 aus Diplomarbeit S. 30. Stückliste nennt 95/170 × 32; Gesamtbreite T = 34,5 mm.

Steuerbasis: Netto

Preisprüfung: 21.10.2026

https://www.agrolager.de/product_info.php?products_id=11020082

Excel-Zeile 24: ifm VVB301 • Vibrationssensor

Preisbeleg: Preis je Stück; keine weiteren Rabatte zugesichert.

Lieferumfang / offene Punkte: Stückliste: 1 Stück. Messkonzept S. 34: zwei Sensoren; Zusatzbedarf separat als Ergänzung erfasst.

Steuerbasis: Netto

Preisprüfung: 21.10.2026

https://ch.rs-online.com/web/p/vibrationssensoren/0858895

Excel-Zeile 25: Baumer OM30-L0350.HV.YIN

Preisbeleg: Preis je Stück; keine weiteren Rabatte zugesichert.

Lieferumfang / offene Punkte: Baumer Artikel 11231079. Preis je Sensor.

Steuerbasis: Netto

Preisprüfung: 21.10.2026

https://ch.rs-online.com/web/p/optische-naherungsschalter/0361637

Excel-Zeile 26: Pilz PSEN cs3.1n / PSEN cs3.1 – Set 541003

Preisbeleg: Angezeigter Richtpreis je Set am 21.10.2026.

Lieferumfang / offene Punkte: Sensor und Betätiger im Set. Menge 1 aus bisheriger Stückliste übernommen; Bedarf für beide Hauben abgleichen. Codierstufe gering; keine Eignung für Serienschaltung.

Steuerbasis: Ungeklärt

Preisprüfung: 21.10.2026

https://ch.rs-online.com/web/p/beruhrungslose-sicherheitsschalter/0340310

Excel-Zeile 27: Bijur Delimon SureFire II, 2 l, 24 V DC

Preisbeleg: Preis je Stück; keine weiteren Rabatte zugesichert.

Lieferumfang / offene Punkte: Aggregat direkt auf der Verstrebung verschraubt; Polycarbonatscheibe liegt auf der Innenseite und ist nicht Teil der Aggregatbefestigung. Bestellcode SFX2PBSNNNCCB und Dosierung weiterhin abgleichen.

Steuerbasis: Netto

Preisprüfung: 21.10.2026

https://sinntec.de/Delimon-Einleitungspumpe-Surefire-II-fuer-Oel-mit-Steuerung-24VDC-max-31-bar-2-l-Behaelter-2-x-M-12-Stecker-fuer-Spannungsversorgung

Excel-Zeile 28: ifm VVB301 • möglicher zweiter Sensor

Preisbeleg: Diplomarbeit_Getriebeteststand_V3.11.docx, S. 34

Lieferumfang / offene Punkte: Zusatz 1 Stück als Differenz zwischen Messkonzept (2) und Stückliste (1); Bedarf bestätigen. Nicht im belegten Teilbetrag.

Steuerbasis: Netto

Preisprüfung: 21.10.2026

https://ch.rs-online.com/web/p/vibrationssensoren/0858895

G3 | Fertigungskosten je Positionslos

Vorläufige Budgetaufteilung, CHF exkl. MWST. Intern: CHF 70/h; extern: CHF 150/h. Material, Stunden und Behandlung gelten jeweils für die gesamte angegebene Menge.

Zeichnung	Werkstück / Leistung	Menge	Material CHF	Intern h	Extern h	Behandlung CHF	Gesamt CHF	CHF/Stück
10141232	Abdichtschraube	4	20.00	2.50	0.00	0.00	195.00	48.75
10223650	Verbindungsstange	1	15.00	1.50	0.00	25.00	145.00	145.00
10235109	Befestigungsplatte	1	500.00	0.00	9.50	0.00	1’925.00	1’925.00
10235111	Grundplatte	1	450.00	0.00	9.50	0.00	1’875.00	1’875.00
10235112	Verstrebung links	1	150.00	3.50	0.00	0.00	395.00	395.00
10235158	Verbindungsplatte	1	100.00	4.00	0.00	0.00	380.00	380.00
10235161	Führungsplatte	1	140.00	7.00	0.00	0.00	630.00	630.00
10235163	Vorschubwagenkupplung	1	60.00	5.00	0.00	0.00	410.00	410.00
10235164	Halteplatte	1	90.00	3.00	0.00	0.00	300.00	300.00
10235272	Kreuzscheibe	1	320.00	14.00	0.00	350.00	1’650.00	1’650.00
10235325	Lagerglocke	1	650.00	0.00	16.00	0.00	3’050.00	3’050.00
10235326	Spannmutter	1	35.00	4.00	0.00	150.00	465.00	465.00
10235327	Distanzring	1	15.00	1.00	0.00	0.00	85.00	85.00
10235407	Haltekonsole Motor	1	120.00	5.00	0.00	0.00	470.00	470.00
10235409	Verstrebung Motor	2	100.00	2.50	0.00	0.00	275.00	137.50
10235411	Polycarbonatabdeckung oben	1	35.00	1.00	0.00	0.00	105.00	105.00
10235491	Auflage Profilgestell	2	240.00	0.00	2.00	0.00	540.00	270.00
10235493	Wannenboden	1	25.00	0.00	0.50	0.00	100.00	100.00
10235494	Wannenseitenwand	2	10.00	0.00	0.25	0.00	47.50	23.75
10235515	Sensorhalter	1	15.00	2.00	0.00	0.00	155.00	155.00
10235613	Verstrebung rechts	1	150.00	3.50	0.00	0.00	395.00	395.00

Zeichnung	Werkstück / Leistung	Menge	Material CHF	Intern h	Extern h	Behandlung CHF	Gesamt CHF	CHF/Stück
10235619	Rollenaufnahme	4	140.00	0.00	1.50	0.00	365.00	91.25
10235621	Haube 1	1	65.00	0.00	1.50	0.00	290.00	290.00
10235623	Haube 2	1	130.00	0.00	2.00	0.00	430.00	430.00
10235631	Deckel 1	1	20.00	0.00	0.50	0.00	95.00	95.00
10235632	Deckel 2	1	10.00	0.00	0.25	0.00	47.50	47.50
10235652	Abdeckung Schutzhaube	2	10.00	0.00	0.25	0.00	47.50	23.75
10235971	Längsträger	2	200.00	0.00	2.00	0.00	500.00	250.00
10235977	Polycarbonatabdeckung links	1	25.00	1.00	0.00	0.00	95.00	95.00
10235979	Querträger	1	45.00	0.00	0.50	0.00	120.00	120.00
10235981	Polycarbonatabdeckung rechts	1	50.00	1.00	0.00	0.00	120.00	120.00
10235108	Profilgestell: Schweissen / Richten	1	0.00	0.00	4.00	30.00	630.00	630.00
10235492	Ölwanne: Schweissen / Dichtkontrolle	1	0.00	0.00	1.00	10.00	160.00	160.00
10235622	Schutzhauben: Schweissen / Finish	1	0.00	0.00	2.00	20.00	320.00	320.00
	Gesamt		3’935.00	61.50	53.25	585.00	16’812.50	

Quelle: Gesamtkosten_Getriebeteststand.xlsx, Blatt Werkstücke, Zeilen 7–41.

G4 | Fertigungsumfang und Annahmen

10141232 | Abdichtschraube

Drehen, Feingewinde und Bohrungen. 4 Stück gemeinsam fertigen.

10223650 | Verbindungsstange

Drehen, Bohren, Rechts-/Linksgewinde. Brünieren als Pauschale. Menge 1 angenommen.

10235109 | Befestigungsplatte

Grosse senkrechte Platte. Externe Fertigung von David am 22.10.2026 bestätigt.

10235111 | Grundplatte

Grosse Grundplatte. Planbearbeitung, Bohrbild und Passungen extern.

10235112 | Verstrebung links

Wasserstrahlkontur intern angesetzt. Bezugsflächen und Gewinde intern nachbearbeiten.

10235158 | Verbindungsplatte

Fräsen, Bohrbild, Passungen und Feinbearbeitung intern.

10235161 | Führungsplatte

Fräsen, Tasche, Schmierkanäle und Passungen intern.

10235163 | Vorschubwagenkupplung

Aluminium-Frästeil, Lageraufnahme und Feingewinde intern.

10235164 | Halteplatte

Kleine Halteplatte. Fräsen und Schleifen intern angesetzt.

10235272 | Kreuzscheibe

Drehen, Fräsen, Nut und Feinbearbeitung intern. Plasmanitrieren CHF 350 pauschal extern.

10235325 | Lagerglocke

Rohling, Drehen, Lager-/Dichtsitze und Bohrungen intern.

10235326 | Spannmutter

Drehen, Gewinde, Bohrungen und Schleifen intern. Härten CHF 150 pauschal extern.

10235327 | Distanzring

Drehen und Stirnflächen bearbeiten. Abstimmen bei Endmontage nicht enthalten.

10235407 | Haltekonsole Motor

Motoraufnahme mit Zentrierung und Bohrbild intern.

10235409 | Verstrebung Motor

2 Wasserstrahlkonturen intern angesetzt. Bezugsflächen und Gewinde intern nachbearbeiten.

10235411 | Polycarbonatabdeckung oben

Polycarbonat schneiden, bohren und entgraten intern.

10235491 | Auflage Profilgestell

2 Profile zuschneiden, bohren und senken extern. Schweissen unter 10235108.

10235493 | Wannenboden

Wasserstrahlzuschnitt und Abkanten extern. Schweissen unter 10235492. Menge 1 angenommen.

10235494 | Wannenseitenwand

2 Blechstreifen wasserstrahlschneiden und entgraten extern. Schweissen unter 10235492.

10235515 | Sensorhalter

Aluminium fräsen, bohren und Gewinde herstellen intern.

10235613 | Verstrebung rechts

Wasserstrahlkontur intern angesetzt. Bezugsflächen und Gewinde intern nachbearbeiten.

10235619 | Rollenaufnahme

4 Edelstahlplatten wasserstrahlschneiden und benötigte Flächen / Bohrungen extern nachbearbeiten.

10235621 | Haube 1

Wasserstrahlschneiden, Entgraten und Abkanten extern. Schweissen unter 10235622.

10235623 | Haube 2

Wasserstrahlschneiden, Entgraten und Abkanten extern. Schweissen unter 10235622.

10235631 | Deckel 1

Wasserstrahlschneiden und Entgraten extern. Fügeleistung unter 10235622.

10235632 | Deckel 2

Wasserstrahlschneiden und Entgraten extern. Fügeleistung unter 10235622.

10235652 | Abdeckung Schutzhaube

2 Abdeckungen wasserstrahlschneiden und entgraten extern. Fügen unter 10235622.

10235971 | Längsträger

2 Profile zuschneiden, bohren und senken extern. Schweissen unter 10235108.

10235977 | Polycarbonatabdeckung links

Polycarbonatkontur und Bohrungen intern.

10235979 | Querträger

Profil zuschneiden, bohren und senken extern. Schweissen unter 10235108.

10235981 | Polycarbonatabdeckung rechts

Polycarbonatkontur, Aussparungen und Bohrungen intern.

10235108 | Profilgestell: Schweissen / Richten

Nur Fügen, Schweissen, Richten und Kontrolle. Einzelteile oben bereits enthalten.

10235492 | Ölwanne: Schweissen / Dichtkontrolle

Nur Schweissen, Finish und Dichtkontrolle. Boden und Seiten oben bereits enthalten.

10235622 | Schutzhauben: Schweissen / Finish

Nur Fügen, Schweissen und Finish. Hauben, Deckel und Abdeckungen oben enthalten.

Übergreifende Kalkulationsgrundlagen

Die Einzelwerte sind eine vorläufige Budgetaufteilung, keine vom AVOR bestätigten Einzelpreise.

Blechkonturen und Verstrebungen werden wasserstrahlgeschnitten. Funktionsflächen werden nachbearbeitet.

Alle Stunden und Kosten gelten pro Positionslos. Die Stückzahl dient zur Berechnung der Stückkosten.

Materialansätze berücksichtigen Materialverbrauch auch bei Lagerentnahme. Kein reines Ausgabenbudget.

Fremdbehandlungen pauschal: Brünieren CHF 25, Nitrieren CHF 350, Härten CHF 150. Noch keine Offerten.

Nicht enthalten: Kauf-/Normteile, Endmontage, Elektrik, Inbetriebnahme, Transport und MWST.

Blau / hellgelb: änderbare Ansätze. Bei anderen Stückzahlen auch Material und Loszeiten neu planen.

Anlage H Herstellerbelege

Originalseiten und ausdrücklich bezeichnete technische Auszüge. Die Datenstände und Geltungsgrenzen stehen auf den jeweiligen Belegseiten.

H1 Inmara | Lebensdauer GC348.88 192

H2 Beckhoff | AM8000, mit Fremdlüfter; H15/H16 eingeschlossen 194

H3 Beckhoff | AG2300, SP180, einstufig 197

H4 KTR | ROTEX Montage- und Betriebsdaten 198

H5 KTR / ABS | ROTEX Drehmomentkennwerte 199

H6 SKF | Kegelrollenlager 30219 200

H7 Baumer | OM30-L0350.HV.YIN 207

H8 ifm | Schwingungssensor VVB001 209

H9 Blickle | Kompakt- und Heberollen 212

H10 Rittal | Standpult CX 213

H10b Beckhoff | CP2921-0000 Landscape 216

Anlage H Herstellerbelege

Originalseiten und ausdrücklich bezeichnete technische Auszüge. Die Datenstände und Geltungsgrenzen stehen auf den jeweiligen Belegseiten.

H11 Bijur Delimon | SureFire II 217

H14 ifm | Temperatursensor TN2435 218

H15 Beckhoff AM8062 Technische Daten 193

H16 Beckhoff AM8064 Technische Daten 194

H17 GWJ | Passfeder, tragende Länge 222

H18 SUCO | Druckschalter SW 24 223

H19 ifm | Druckschalter PV8003 226

H20 MARKS | Werkstoff 1.0037 230

H21 Pilz | PSEN cs3.1n / PSEN cs3.1 231

H22 Rittal | Klemmenkasten KX 1502.000 232

H23 HASCO | Werkstoff 1.2312 233

Druckdatum: 24.06.2025

Lebensdauerberechnung GC348.88 24.545 Stopp mit Indexwinkel 101°

Eingabedaten:		
Externes Massenträgheitsmoment am Abtrieb (Je) [kgm^2]		4.4850
zusätzliches Arbeits- und Reibverlustdrehmoment am Antrieb (Mfan) [Nm]		0
zusätzliches Arbeits- und Reibverlustdrehmoment am Abtrieb (Mfab) [Nm]		6.45
Anzahl Stops (S)		24.545
Indexzeit (t) [s]		0.067333333
Stillstandszeit (ts) [s]		0.172666667
Indexwinkel (α) [°]		101
Steifigkeit am Abtrieb (R) [Nm/rad]		1'400'000
Geforderte Lebensdauer (Lg) [h]		30'000
Inmara Indexermechanismus		
Type:		GC
Getriebegrösse:		348.88
Achsabstand [mm]		348.88
B10 dyn. Kapazität [Nm]		5000
ML Drehmoment Limit [Nm]		8581
Kurvengesetz:	4	MS
Internes Massenträgheitsmoment vom Indexer (Ji) [kgm^2]		0
Internes Verlustdrehmoment am Antrieb (Mb) [Nm]		0
Kurventyp (1 oder 2):		1
Ergebnisse der Berechnung:		
Torsionsfaktor (Ct)		1.513
Eigenschwingfrequenz (f)	Hz	88.83
Periodenverhältnis (n)		5.98
Totales Arbeits- und Verlustmoment am Abtrieb (Mfe)	Nm	6.45
Totales zusätzliches Arbeits- und Reibverlustdrehmoment am Antrieb (Mf_red_an)	Nm	1
Totales zusätzliches Arbeits- und Reibverlustdrehmoment am Abtrieb (Mf_red_ab)	Nm	6
Spitzendrehmoment Abtriebswelle der Trägheitslast (Mi)	Nm	1'400
Spitzendrehmoment Abtriebswelle (Mt)	Nm	2'124
Erforderliche Getriebekapazität B10 bei geforderter Lebensdauer	Nm	5'118
Spitzendrehmoment an der Kurvenwelle (Mc)	Nm	345
Taktfrequenz (N)	min^{-1}	250.00
Drehzahl der Kurvenwelle (Nc)	min-1	250.00
Spitzenleistung an der Kurvenwelle (Pmax)	kW	9.02
Durchschnittsleistung an der Kurvenwelle (Pav)	kW	4.51
Empfohlenes Massenträgheitsmoment an der Kurvenwelle (Jcmin)	kgm^2	1.17
Lebensdauer (L)	h	27'735
Mechanismencode		14.666GC384.88-X64-105

AM806x & AM856x mit Lüfterhaube [+]

Elektrische Daten	AM80xx und AM85xx					
	61H	61L	61N	62K	62N	62R
Stillstandsdrehmoment M_0 [Nm]	17,10	17,10	15,50	29,90	29,90	28,10
Stillstandsstrom I_{orms} [A]	5,20	10,10	15,80	8,70	17,40	28,70
Maximale mechanische Drehzahl N_{max} [min^{-1}]	6000					
Maximale Netz-Nennspannung U_N [V_{AC}]	480					
Spitzenstrom I_{0max} [A]	13,90	27	45,20	27	54	88,40
Spitzendrehmoment M_{0max} [Nm]	37,10	37,08	37,07	74,16	74,16	74,17
Drehmomentkonstante K_{Trms} [Nm/A]	3,20	1,64	0,97	3,40	1,70	1,03
Spannungskonstante K_{Erms} [mVmin]	223	115	69	234	117	71
Wicklungswiderstand Ph-Ph R_{20} [Ω]	7	1,85	0,66	2,95	0,75	0,28
Wicklungsinduktivität Ph-Ph gemessen bei 1 kHz L [mH]	53,70	14,20	5,10	27	6,80	2,50
Spannungsversorgung U_N= 115 V						
Nenndrehzahl Nn [min-1]	300	750	1300	300	800	1400
Nenndrehmoment M_n [Nm]	17	16,80	14,40	29	28	24
Nennleistung P_n [kW]	0,50	1	2	0,90	2,30	3,50
Spannungsversorgung U_N= 230 V						
Nenndrehzahl Nn [min-1]	700	1600	2800	750	1700	2800
Nenndrehmoment M_n [Nm]	16,80	16	12,70	28,20	25,80	19,90
Nennleistung P_n [kW]	1,40	2,70	3,70	2,40	4,60	5,80
Spannungsversorgung U_N= 400 V						
Nenndrehzahl Nn [min-1]	1400	3000	5000	1400	3000	5000
Nenndrehmoment M_n [Nm]	16,10	14,70	10,70	26,40	22,20	13,40
Nennleistung P_n [kW]	2,36	4,60	5,60	3,87	7	7
Nennstrom I_n [A]	4,90	9	11,20	7,70	13,40	13,60
Spannungsversorgung U_N= 480 V						
Nenndrehzahl Nn [min-1]	1500	3400	5500	1600	3400	5500
Nenndrehmoment M_n [Nm]	16,00	14,30	10,70	25,80	21,10	11,80
Nennleistung P_n [kW]	2,50	5,10	6,20	4,30	7,50	6,80
Anschlusstechnik	M23-speedtec					M40-speed-tec
Bemessungsflansch Aluminium 380 mm x 170 mm x 10 mm						

Elektrische Daten	AM80xx und AM85xx					
	63L	63Q	63T	64N	64R	64T
Stillstandsdrehmoment M_0 [Nm]	41,40	41,40	40,10	49,70	49,60	47
Stillstandsstrom I_{orms} [A]	11,60	24	39,80	15,20	30,80	47
Maximale mechanische Drehzahl N_{max} [min^{-1}]	6000					
Maximale Netz-Nennspannung U_N [V_{AC}]	480					
Spitzenstrom I_{0max} [A]	38,90	80,90	130	52,50	108	177
Spitzendrehmoment M_{0max} [Nm]	110,90	110,90	110,80	148	148	148
Drehmomentkonstante K_{Trms} [Nm/A]	3,33	1,68	0,98	3,27	1,61	1
Spannungskonstante K_{Erms} [mVmin]	240	116	72	230	112	69
Wicklungswiderstand Ph-Ph R_{20} [Ω]	1,95	0,45	0,18	1,47	0,35	0,135
Wicklungsinduktivität Ph-Ph gemessen bei 1 kHz L [mH]	18	4,20	1,60	14,40	3,40	1,26
Spannungsversorgung U_N= 115 V						
Nenndrehzahl Nn [min-1]	300	800	1400	400	800	1000
Nenndrehmoment M_n [Nm]	40,40	38,20	32,50	48	46,80	41,50
Nennleistung P_n [kW]	1,30	3,20	4,80	2,01	3,93	4,35
Spannungsversorgung U_N= 230 V						
Nenndrehzahl Nn [min-1]	750	1700	2900	800	1700	2000
Nenndrehmoment M_n [Nm]	38,50	32,30	23,70	46,80	42,50	36
Nennleistung P_n [kW]	3	5,80	7,20	3,92	7,57	7,54
Spannungsversorgung U_N= 400 V						
Nenndrehzahl Nn [min-1]	1400	3000	4000	1500	3000	4000
Nenndrehmoment M_n [Nm]	33,90	25,50	15,10	43	36,50	25
Nennleistung P_n [kW]	4,97	8	6,30	6,75	11,50	10,50
Nennstrom I_n [A]	9,50	15,60	16,20	13,10	24,40	27,50
Spannungsversorgung U_N= 480 V						
Nenndrehzahl Nn [min-1]	1600	3400	5000	1700	3200	4000
Nenndrehmoment M_n [Nm]	33	23,20	6,80	42,50	35	25
Nennleistung P_n [kW]	5,50	8,30	3,60	7,57	11,70	10,50
Anschlusstechnik	M23-speed-tec	M40-speedtec		M23-speed-tec	M40-speed-tec	Klemmkas-ten
Bemessungsflansch Aluminium 380 mm x 170 mm x 10 mm						

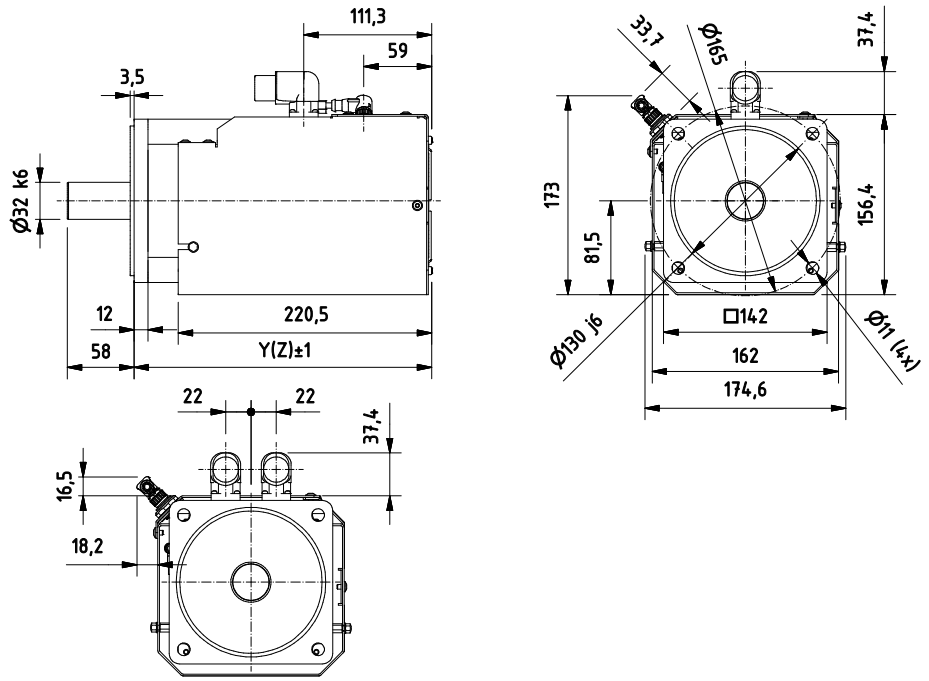
Technische Daten

Mechanische Daten	AM8061	AM8561	AM8062	AM8562	AM8063	AM8563	AM8064
Rotorträgheitsmoment J [kgcm^2]	11,10	48,20	20	57,10	29	66,10	38,60
Rotorträgheitsmoment mit Bremse J [kgcm^2]	13,40	50,60	22,30	59,60	34,90	72	46,80
Polzahl	10						
Statisches Reibmoment M_R [Nm]	0,04	0,04	0,10	0,10	0,15	0,15	0,20
Thermische Zeitkonstante t_{TH} [min]	35	35	38	38	41	41	44
Gewicht ohne Bremse [kg]	11,90	15,40	15,80	19,20	19,60	23,10	23,40
Gewicht mit Bremse [kg]	13,50	17,00	17,60	20,90	22,30	25,8	26,6
Flansch							
Passung	j6						
Toleranzklasse	N						
Gehäuse Standardausführung	Standard: IP20 Optional: IP65						
Wellendurchführung Standardausführung	IP54						
Wellendurchführung mit Wellendichtring	IP65						
Eigenschaften	Acryl-pulverbeschichtet						
Farbton	Dunkelgrau; RAL 7016						

Optionale Haltebremse [+]	AM8061	AM8561	AM8062	AM8562	AM8063
Haltemoment bei 120 °C M_{BR} [Nm]	20	20	20	20	36
Anschlussspannung U_{BR} [V_{DC}]	24; +6 % bis -10 %				
Elektrische Leistung P_{BR} [W]	24	24	24	24	26
Strom I_{on} [A]	0,72	0,72	0,72	0,72	0,79
Luftverzögerungszeit t_{BRH} [ms]	60	60	60	60	120
Einfallverzögerungszeit t_{BRL} [ms]	40	40	40	40	45

Maßzeichnung

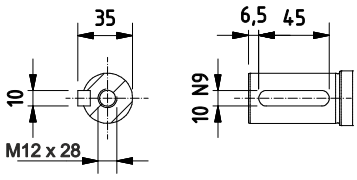
- Darstellung mit Lüfterhaube [+] und K-N-L Wicklung
- Alle Angaben in Millimetern



Motor	Y/Z
AM8062-xKxA-xxx0 und AM8062-xKxC-xxx0	299
AM8062-xKxB-xxx0 und AM8062-xKxD-xxx0	351
AM8062-xNxA-xxx0 und AM8062-xNxC-xxx0	299
AM8062-xNxB-xxx0 und AM8062-xNxD-xxx0	351
AM8063-xLxA-xxx0 und AM8063-xLxC-xxx0	339
AM8063-xLxB-xxx0 und AM8063-xLxD-xxx0	398
AM8064-xNxA-xxx0 und AM8064-xNxC-xxx0	398
AM8562-xKxA-xxx0 und AM8562-xKxC-xxx0	351
AM8562-xNxA-xxx0 und AM8562-xNxC-xxx0	351
AM8562-xKxB-xxx0 und AM8562-xKxD-xxx0	398
AM8562-xNxB-xxx0 und AM8562-xNxD-xxx0	398
AM8563-xLxA-xxx0 und AM8563-xLxC-xxx0	398

Passfeder [+]

- Zentrierbohrung gemäß DIN 332-D



SP180 MC

Mechanische Daten	1-stufig					
Übersetzung	3	4	5	7	8	10
Wirkungsgrad bei Volllast η [%]	98,5					
Laufgeräusch L_{PA} [dB] *Bei n1 = 3000 rpm ohne Last*	≤ 62					
Lebensdauer L_h [h]	> 30000					
Gewicht [kg] *Abhängig vom Klemmnabendurchmesser und gewählter Adapterplatte*	34					
Massenträgheitsmoment J_1 [kgcm²] *Bezogen auf den Antrieb* *Buchstaben = Angabe des Klemmnabendurchmessers*						
M = 48 mm	58,50	41,60	35,60	30		26,90
Drehmomente und Drehzahlen						
Nenndrehmoment am Abtrieb T_{2N} [Nm] *Bei n_{1N}*	289	492	379	469	465	488
Maximales Beschleunigungsmoment T_{2B} [Nm] *Maximal 1000 Zyklen pro Stunde*	700	880			700	
NOT-AUS-Moment T_{2Not} [Nm] *1000-mal während der Getriebelebensdauer möglich*	2640	2750			2640	
Zulässige mittlere Antriebsdrehzahl n_{1N} [min^{-1}]	3000	3500	4500			
Maximale Antriebsdrehzahl n_{1Max} [min^{-1}]	4500	6000				
Leerlaufdrehmoment T_{012} [Nm] *Bezogen auf den Antrieb*	8,80	7,40	6	4,40		3,20
Torsion und Kräfte						
Maximales Verdrehspiel j_t [arcmin]	Standard ≤ 4/Reduziert ≤ 2					
Maximale Verdrehsteifigkeit C_{t21} [arcmin]	175					
Maximale Axialkraft F_{2AMax} [N] *Bezogen auf Wellenmitte am Abtrieb*	14150					
Maximale Querkraft F_{2QMax} [N] *Bezogen auf Wellenmitte am Abtrieb*	15400					
Maximales Kippmoment M_{2Max} [Nm]	1600					
Temperatur [°C]						
Maximale Gehäusetemperatur	+ 90					
Umgebungstemperatur	-15 bis +40					
Gehäuse						
Eigenschaften	Wärmebehandelter Stahl					
Farbton	Dunkelgrau; RAL 7016					
Dichtung	Abgedichtete Lagerscheiben					

H4 | KTR ROTEX | Montage- und Betriebsdaten

Technischer Auszug aus der Herstellerquelle

Zusammenfassende Lesefassung der für das Projekt verwendeten Angaben. Kein vollständiges Herstellerdokument.

Kennwert	ROTEX 65, Standardbauart GJL/GJS, 98 Shore A
Nenndrehmoment / maximales Drehmoment	940 Nm / 1’880 Nm
L / L1 = L2 / E / DH	185 / 75 / 35 / 135 mm
Axialverlagerung	−1,0 bis +2,6 mm
Radialverlagerung bei 1’500 min□¹	0,42 mm
Winkelverlagerung bei 1’500 min□¹	1,2°

Die Grenzwerte für Radial- und Winkelverlagerung dürfen nicht gleichzeitig voll ausgeschöpft werden. Bei kombinierter Verlagerung ist die Summe der jeweiligen prozentualen Anteile auf 100 % begrenzt. Die Abmessungen gelten für die bezeichnete Standardbauart; andere Nabenformen können abweichen.

Projektbezug

Bezug: Kapitel 5.3. Die in der Konstruktion verwendete Nabenform und deren Einbaulänge sind anhand der Projektzeichnung abzugleichen.

Quelle: KTR-N 40210 DE, Ausgabe 27, geprüft 17.07.2025; Tabellen 4 und 11, Montagehinweise.

Online geprüft am 22.10.2026.

https://www.ktr.com/fileadmin/ktr/media/Manuals/40210de000000.pdf

H5 | ROTEX | Drehmomentkennwerte

Technischer Auszug aus der Herstellerquelle

Zusammenfassende Lesefassung der für das Projekt verwendeten Angaben. Kein vollständiges Herstellerdokument.

Baugrösse, 98 Shore A	TKN [Nm]	TKmax [Nm]	TKW [Nm]
ROTEX 42	450	900	117
ROTEX 65	940	1’880	244

Die Tabelle fasst die metrischen Kennwerte für das Elastomer 98 Shore A zusammen. TKN bezeichnet das Nenndrehmoment, TKmax das maximale Drehmoment und TKW das Wechseldrehmoment.

Projektbezug

Bezug: Kupplungsauswahl und Berechnungen C2 sowie historischer Vergleich C9. Die Quelle dient als Kennwertnachweis; daraus folgt keine Zertifizierung des gesamten Teststands.

Quelle: KTR / American Bureau of Shipping, Product Design Assessment 22-2280946-PDA, 23.08.2022, PDF-Seite 4.

Online geprüft am 22.10.2026.

https://www.ktr.com/dam/jcr:3e9ff9c1-a666-40b9-b8f3-294439415c93/ZERTIFIKAT_ABS_ROTEX_20230222_173356457.PDF



Image may differ from product. See technical specification for details.

30219

Einreihiges Kegelrollenlager

Single row tapered roller bearings are designed to accommodate combined radial and axial loads and provide low friction during operation. The inner ring, with rollers and cage, can be mounted separately from the outer ring. These separable and interchangeable components facilitate mounting, dismounting and maintenance. By mounting one single row tapered roller bearing against another and applying a preload, a rigid bearing application can be achieved. Also available on request with special sized bore and/or outside diameters, suitable for reworked shafts and housings.

- Hohe radiale und axiale Tragfähigkeit
- Aufnahme einseitig wirkender Axiallasten
- Reibungsarm und lange Gebrauchsdauer
- Nicht selbsthaltende austauschbare Komponenten

Übersicht

Abmessungen

Bohrungsdurchmesser	95 mm
Außendurchmesser	170 mm
Breite, gesamt	34.5 mm
Breite, Innenring	32 mm
Breite, Außenring	27 mm
Berührungswinkel	15.6 °

Leistung

Dynamische Tragzahl	266 kN
Statische Tragzahl	275 kN
Referenzdrehzahl	3 200 r/min
Grenzdrehzahl	3 800 r/min
SKF Leistungsklasse	SKF Explorer

Eigenschaften

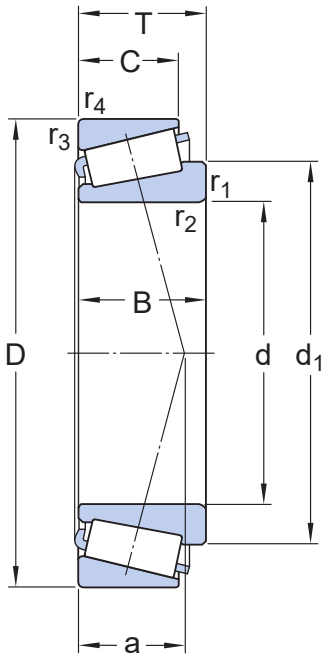
Lagerteil	Komplettlager
Anzahl der Reihen	1
Befestigungsfunktion, Lageraußenring	Ohne
Bohrungstyp	Zylindrisch
Käfig	Blech
Anordnung des Berührungswinkels (zweireihiges Lager)	nicht zutreffend
Passungsanordnung	Kein(e)
Beschichtung	Ohne
Dichtung	Ohne
Schmierstoff	Kein(e/r)
Nachschmierfunktion	Ohne
Einheitensystem	Metrisch
Indikativer CO2-Fußabdruck für Neuprodukt	11.1 kg CO_2e

Logistik

Nettogewicht Produkt	2.99 kg
eClass-Code	23-05-09-10
UNSPSC-Code	31171516

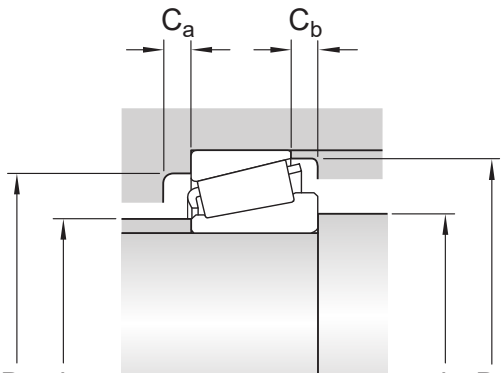
Technische Spezifikationen

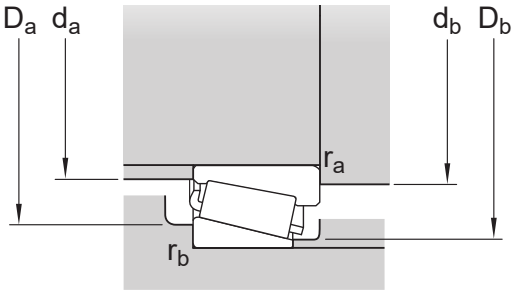
Maßreihe	3FB



Abmessungen

d	95 mm	Bohrungsdurchmesser
D	170 mm	Außendurchmesser
T	34.5 mm	Lagerbreite, gesamt
d_1	≈ 126.98 mm	Schulterdurchmesser des Innenrings
B	32 mm	Breite des Innenrings
C	27 mm	Breite des Außenrings
$r_{1,2}$	min. 3 mm	Kantenabstand am Innenring
$r_{3,4}$	min. 2.5 mm	Kantenabstand am Außenring
a	33 mm	Abstand zwischen Stirnseite und Druckpunkt





Anschlussmaße

d_a	max. 110 mm	Durchmesser der Wellenanlauffläche
d_b	min. 108.5 mm	Durchmesser der Wellenanlauffläche
D_a	min. 149 mm	Durchmesser der Gehäuseanlauffläche
D_a	max. 158.5 mm	Durchmesser der Gehäuseanlauffläche
D_b	min. 159 mm	Durchmesser der Gehäuseanlauffläche
C_a	min. 5 mm	Mindestbreite des erforderlichen Freiraums im Gehäuse an der großen Stirnseite
C_b	min. 7.5 mm	Mindestbreite des erforderlichen Freiraums im Gehäuse an der kleinen Stirnseite
r_a	max. 3 mm	Radius der Wellenrundung
r_b	max. 2.5 mm	Radius der Gehäuserundung

Berechnungsdaten

SKF Leistungsklasse		SKF Explorer
Dynamische Tragzahl	C	266 kN
Statische Tragzahl	C_0	275 kN
Ermüdungsgrenzbelastung	P_u	31.5 kN
Referenzdrehzahl		3 200 r/min
Grenzdrehzahl		3 800 r/min
Grenzwert	e	0.43
Berechnungsfaktor	Y	1.4
Berechnungsfaktor	Y_0	0.8

Toleranzen und Lagerluft

ALLGEMEINE LAGERSPEZIFIKATIONEN

- Toleranzen:
  metrische Lager: Normal und CL7C, CLN
  zöllige Lager: Normal + CL, abweichende Breite

LAGERSCHNITTSTELLEN

- Passungsempfehlungen
- Toleranzen und Passung

Benutzungsbedingungen

Mit dem Zugriff auf diese Website/App, deren Eigentümer und Herausgeber AB SKF (publ.) (556007-3495 · Göteborg) („SKF“) ist, akzeptieren Sie die nachstehenden Bedingungen:

Eingeschränkte Haftung und Haftungsausschluss

Obwohl äußerste Sorgfalt bei der Erstellung dieser Website/App aufgewendet wurde, übernimmt SKF keine Haftung, INSBESONDERE KEINE HAFTUNG FÜR DEREN MARKTGÄNGIGKEIT ODER EIGNUNG FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK. Sie sind sich bewusst, dass Sie diese Website/App auf eigenes Risiko verwenden und die uneingeschränkte Verantwortung für alle im Zusammenhang mit der Nutzung der Website/App anfallenden Kosten übernehmen, und dass SKF nicht für direkte, indirekte, zufällige oder Folgeschäden haftet, die sich im Zusammenhang mit Ihrem Zugriff auf diese Website/App oder die Verwendung dieser Website/App oder die Verwendung der auf dieser Website/App angebotenen Software ergeben.

Für alle von Ihnen erworbenen oder genutzten Produkte oder Dienstleistungen von SKF gelten die auf dieser Website/App für diese Produkte oder Dienstleistungen vereinbarten Nutzungsbedingungen.

SKF gibt in Bezug auf Websites/Apps Dritter, auf die in unserer Website/App hingewiesen wird oder zu denen der Zugang über Hyperlinks möglich ist, keine Garantien betreffend die Korrektheit oder Verlässlichkeit der in diesen Websites/Apps enthaltenen Materialien ab und übernimmt keine Verantwortung für solche Materialien. Darüber hinaus SKF garantiert nicht, dass diese Website/App oder die auf dieser Website/App verlinkten Websites/Apps frei von Viren oder anderen schädlichen Elementen sind.

Dienste von Drittanbietern

Beim Abspielen von YouTube-Inhalten über eine beliebige Website von SKF (z. B. unter Verwendung der YouTube API-Dienste) geben Sie Ihre Einwilligung zu den YouTube Nutzungsbedingungen.

Urheberrecht

Das Urheberrecht an den Inhalten dieser Website/App einschließlich aller hierin angebotenen Informationen und Programme liegt bei SKF oder Lizenzgebern von SKF. Alle Rechte vorbehalten. Für lizenziertes Material wird grundsätzlich der Lizenzgeber angegeben, der SKF das Nutzungsrecht eingeräumt hat. Die vollständige oder teilweise Vervielfältigung, Übertragung, Verbreitung oder Speicherung des Inhalts dieser Website/App in jedweder Form bedarf der ausdrücklichen vorherigen schriftlichen Zustimmung durch SKF. Natürliche Personen sind jedoch zur Vervielfältigung, Speicherung und Übertragung ohne vorherige schriftliche Zustimmung durch SKF berechtigt. Die Informationen und Programme auf dieser Website dürfen Dritten nicht zugänglich gemacht werden.

Diese Website /App enthält bestimmte Bilder unter Lizenz von Shutterstock, Inc.

Marken und Patente

Alle auf dieser Website/App aufgeführten Marken, Markennamen und Unternehmenszeichen sind Eigentum von SKF oder von Lizenzgebern. Sie dürfen nicht ohne vorherige schriftliche Zustimmung von SKF verwendet werden. Für alle auf dieser Website/App aufgeführten lizenzierten Marken wird der Lizenzgeber angegeben, der SKF das Nutzungsrecht an der Marke eingeräumt hat. Der Zugriff auf diese Website/App stellt keine Lizenz- oder Patentgewährung für Lizenzen oder Patente dar, die sich im Eigentum von SKF befinden oder von SKF lizenziert wurden.

Änderungen

SKF behält sich vor, nach freiem Ermessen Änderungen oder Ergänzungen an der Website/App vorzunehmen.

Baumer
Passion for Sensors

Distanz-Sensoren

OM30-L0350.HV.YIN

Performance Sensor

Artikelnummer: 11231079

Auf einen Blick

- Automatische Anpassung der Belichtungszeit für präzise Messungen auf wechselnden Materialien
- Hohe Fremdlichtsicherheit für zuverlässige Messungen unabhängig von den Umgebungsbedingungen
- Linienstrahlform für besonders robuste Messergebnisse auf strukturierten Oberflächen
- Einstellbare Filter für besonders stabile Messergebnisse



Abbildung ähnlich

Technische Daten

Allgemeine Daten	
Funktion	Distanzmessung
Messdistanz Sd	50 … 350 mm
Messbereich Mr	300 mm
Einstellung	Teach-in: Taste / IO-Link
Betriebsanzeige	LED grün
Ausgangsanzeige	LED gelb
Wiederholpräzision	2 … 30 µm
Linearitätsabweichung	± 0,1 % Mr , 50 ... 200 mm ± 0,15 % Mr , 50 ... 350 mm
Strahlform	Linie
Temperaturdrift	0,05 % Sde/K
Lichtquelle	
Lichtquelle	Laserdiode rot, gepulst
Wellenlänge	660 nm
Laserklasse	2
Maximale Pulsleistung	2 mW
Pulsdauer	0,001 ... 1,2 ms
Pulsperiode	0,2 ... 3,4 ms
Elektrische Daten	
Antwortverzögerung	0,4 ms
Messfrequenz	5000 Hz
Betriebsspannungsbereich +Vs	12 … 28 VDC
Stromaufnahme max. (ohne Last)	50 mA
Ausgangsschaltung	Analog und digital
Ausgangssignal	4 ... 20 mA / 2 ... 10 mA
Lastwiderstand	< (+Vs - 9 V) / 0.02 A
Ausgangsstrom	100 mA
Kurzschlussfest	Ja

Elektrische Daten	
Verpolungsfest	Ja, Vs zu GND
Kommunikationsschnittstelle	
Schnittstelle	IO-Link V1.1
IO-Link Porttyp	Class A
Baudrate	230,4 kBaud (COM 3)
Zykluszeit	≥ 1 ms
Prozessdatenlänge	48 Bit
Prozessdatenstruktur	Smart Sensor Profile - DMS PDI48.INT32_INT8 Bit 0 = SSC1 (Distanz) Bit 2 = Qualität Bit 3 = Alarm Bit 8-15 = Skalierungsfaktor Bit 16-47 = 32 Bit Messwert
Mechanische Daten	
Breite / Durchmesser	13,6 mm
Höhe / Länge	49 mm
Tiefe	40,3 mm
Bauform	Quaderförmig, frontale Optik
Gehäusematerial	Zink-Druckguss
Frontscheibe	Glas
Anschlussart	Stecker M8 4-Pol
Gewicht	67 g
Umgebungsbedingungen	
Fremdlichtsicherheit	< 100 kLux
Schutzart	IP 67
Arbeitstemperatur	-10 … +50 °C
Lagertemperatur	-20 … +60 °C

2025-09-12 Angegebene Produkteigenschaften und technische Daten stellen keine Garantieerklärung dar. Technische Änderungen vorbehalten.

OM30-L0350.HV.YIN

Performance Sensor

Artikelnummer: 11231079

Technische Daten

Umgebungsbedingungen

Schwingungsfestigkeit (sinusförmig)	IEC 60068-2-6:2008 1 mm p-p bei f = 10 - 55 Hz, Dauer 5 min je Achse 30 min Standzeit bei f = 55 Hz je Achse

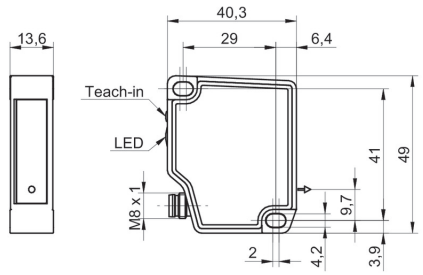
Umgebungsbedingungen

Schockfestigkeit (halbsinus)	IEC 60068-2-27:2009 30 g / 11 ms, 6 Stösse je Achse und Richtung

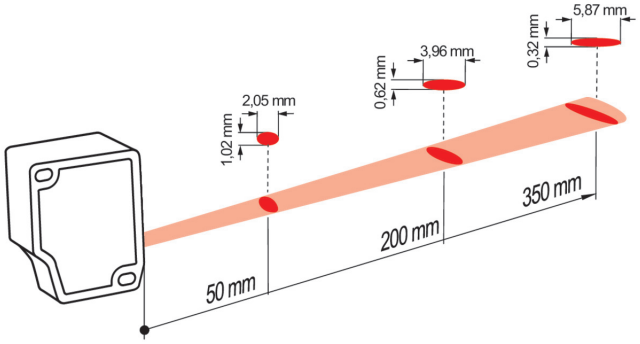
Bemerkungen

- Messungen mit Baumer Standard-Messausrüstung und Objekt (Messung auf 90% Reflektivität (Weiss)). Werte der Auflösung, Linearitätsabweichung und Wiederholgenauigkeit gelten für eine Messung mit Filterung (Median: 9, Average: 128).

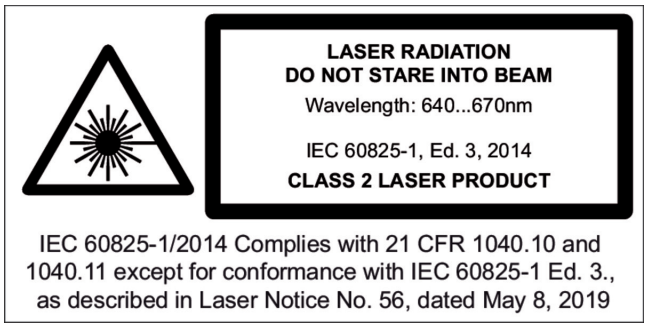
Masszeichnung



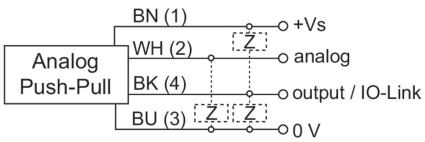
Strahlverlauf (typisch)



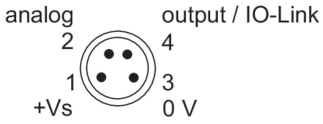
Laserwarnung



Anschlussbild



Steckerbelegungen



Zubehör

Montagezubehör

10161829	10161829
10161695	10161695

Angegebene Produkteigenschaften und technische Daten stellen keine Garantieerklärung dar. Technische Änderungen vorbehalten.
2025-09-12

H8 | ifm VVB001 | Schwingungssensor

Technischer Auszug aus der Herstellerquelle

Zusammenfassende Lesefassung der für das Projekt verwendeten Angaben. Kein vollständiges Herstellerdokument.

Merkmal	Herstellerangabe
Messprinzip / Achsen	Kapazitiver MEMS-Sensor / eine Messachse
Frequenzbereich	2 bis 10’000 Hz
Schwinggeschwindigkeit vRMS	0 bis 45 mm/s
Beschleunigung aPeak / aRMS	0 bis 50 g
Versorgung	18 bis 30 V DC
Schnittstellen	Zwei digitale Ausgänge; IO-Link

Die Messgrössen und Schnittstellen beziehen sich ausdrücklich auf den Typ VVB001.

Projektbezug

Bezug: Kapitel 6.2 und Quellenverzeichnis [H8]. Die Zusammenstellungszeichnung bezeichnet VVB301; dieser Auszug bestätigt keine Gleichwertigkeit der beiden Typen.

Quelle: VVB001-01 DE-DE, Ausgabe 13.04.2023, technische Daten.

Online geprüft am 22.10.2026.

https://media.ifm.com/dam/7f843131-3031-45ac-8210-a061b065a217/Original/VVB001-01_DE-DE.pdf









HRP / HRSP, HRIG	HRLH / HRLHD	HRLSD	HRLK…-HYD
Heberollen			
Gabelschlüssel			Hydraulik-Pumpe
mit zusätzlichem Verstellrad	mit manuell verstellbarem Feststellfuß	mit nivellierbarer Bauhöhe	gleichzeitiges Anheben von vier Heberollen
–	optional	optional	–
45–90 mm	75 mm	125 mm	100 mm
2.000 kg	600 kg	1.300 kg	750 kg
HRP, HRIG: 1.000 kg HRSP: 2.000 kg	1.500 kg	3.000 kg	750 kg
■■■□□	■■■■■	■■■■■	■■■■□
✔	✔	✔	✔
–	–	✔	–
selten	selten	selten	häufig
Seite 505	Seite 506	Seite 507	Seite 508–509

12

Serie HRP-POA, HRSP-POA, HRSP-GSPO, HRIG-POA

Heberollen mit integriertem Feststellfuß, mit Anschraubplatte oder Rückenloch-Innengewinde, mit Polyamid- bzw. Schwerlast-Gusspolyamid-Rad

180–2.000 kg



HRP

HRIG

Gehäuse: Serie HRP/HRSP
- Aluminium-Druckguss, pulverbeschichtet, Farbe elfenbein
- abgedichtete Kugellagerung im Drehkranz
- Stahl-Anschraubplatte
- Feststellfuß aus Hartgummi, Serie HRSP aus Aluminium, schwarz
- Höhenverstellung mittels Gabelschlüssel oder integriertem Verstellrad, Serie HRSP nur mittels Gabelschlüssel
- Stahlteile galvanisch verzinkt, blau passiviert, Cr6-frei

Rad:
Serie POA
- hochwertiges Polyamid 6, bruchfest, Härte 70 Shore D, Farbe schwarz

Serie GSPO
- hochwertiges Gusspolyamid, reaktionsgegossen, bruchfest, Härte 80 Shore D, Farbe natur-beige

Weitere Details:

- Gehäuseserie: Seite 100
- Radserie: Seite 61–70
- Lagerarten: Seite 84–85

Lenkrollen	Rad-Ø (D) [mm]	Rad-breite [mm]	Trag-fähigkeit [kg]	Lagerart	Gesamt-höhe (H) [mm]	Gesamt-höhe max. (h) [mm]	Verstell-weg (T4) [mm]	Platten-größe [mm]	Schraubloch-entfernung [mm]	Schraub-loch-Ø [mm]	Ausladung Lenkrolle [mm]
Serie POA											
HRP-POA 45G	45	18	180	Gleitlager	72	79	7	55 x 55	42 x 42	7	32
HRP-POA 50G	50	24	250	Gleitlager	84	88	4	73 x 73	58 x 58	7	38
HRP-POA 63G	63	30	500	Gleitlager	104	117	13	90 x 90	70 x 70	9	46
HRP-POA 72G	72	32	750	Gleitlager	122	137	15	95 x 95	70 x 70	11	52
HRSP-POA 72G	72	32	1.000	Gleitlager	122	130	8	95 x 95	70 x 70	11	55
Serie GSPO											
HRSP-GSPO 90G	90	55	2.000	Gleitlager	130	139	9	100 x 100	70 x 70	13	70

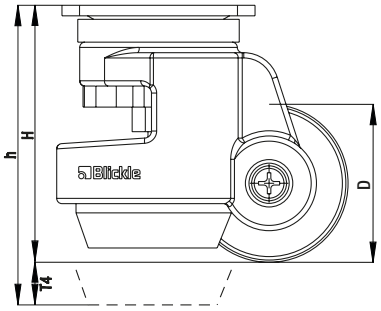
Tragfähigkeit ermittelt bei folgenden Prüfbedingungen:
- Geschwindigkeit: max. 1 km/h
- Temperatur: +15 °C bis +30 °C
- Harte, horizontale Lauffläche ohne Hindernisse
- Fahrstrecke: Nach jeweils max. 50 m ist eine Abkühlpause von 15 Min. erforderlich

Varianten / Zubehör



	Abbildung Serie HRSP-GSPO	in rostfreier Ausführung	mit Rückenloch (Innen-gewinde)
Technische Beschreibung Seite			
Artikel-Nr.-Zusatz			**HRIG-POA ...**
Lieferbar für		auf Anfrage	alle Rad-Ø der Serie HRP*

* Rad-Ø 45 mm: M8x12 mm; Rad-Ø 50–63 mm: M12x15 mm; Rad-Ø 72 mm: M16x16 mm;
die maximale Gesamthöhe der Rollen HRIG-POA 63G und HRIG-POA 72G reduziert sich um je 2 mm

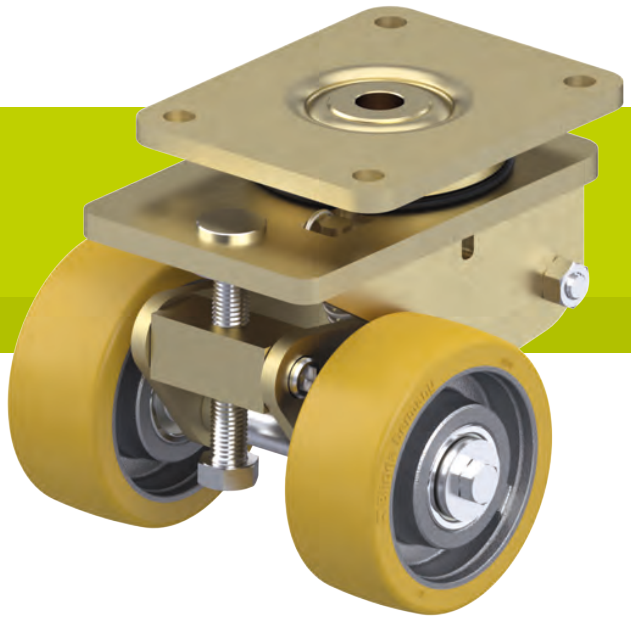


Blickle®

Serie HRLSD

Stahlgeschweißte Schwerlast-Heberollen mit nivellierbarer Bauhöhe, mit Anschraubplatte

1.300 kg



Gehäuse: Serie HRLSD
- besonders robuste Stahlschweißkonstruktion, galvanisch verzinkt, gelb passiviert, Cr6-frei
- Axial-Rillenkugellager ISO 104 und Kegelrollenlager ISO 355 im Drehkranz
- staub- und spritzwassergeschützt
- eingeschweißte Führungshülse für sehr stabilen Feststellfuß
- Nivellierbarkeit der Räder und des Feststellfußes mittels Gabelschlüssel (SW24)
- Schmiernippel

Rad:
Serie SPO
- hochwertiges Polyamid 6, bruchfest, Härte 70 Shore D, sehr robuste, schwere Ausführung, Farbe natur-weiß

Serie GTH
- Laufbelag: hochwertiges Polyurethan-Elastomer Blickle Extrathane®, Härte 92 Shore A, Farbe hellbraun
- Radkörper: robuster Grauguss

Weitere Details:
- Gehäuseserie: Seite 101
- Radserie: Seite 66–69
- Lagerarten: Seite 84–85

Lenkrollen	Rad-Ø (D) [mm]	Rad-breite [mm]	Trag-fähigkeit [kg]	Lagerart	Gesamt-höhe (H) [mm]	Gesamt-höhe max. (h) [mm]	Bodenfreiheit Fuß max. [mm]	Platten-größe [mm]	Schraubloch-entfernung [mm]	Schraub-loch-Ø [mm]	Ausladung Lenkrolle [mm]
Serie SPO											
HRLSD-SPO 125K	125	2 x 40	1.300	Kugellager	170	210	40	175 x 140	140 x 105	14	70
Serie GTH											
HRLSD-GTH 127K	125	2 x 50	1.300	Kugellager	170	210	40	175 x 140	140 x 105	14	70

Bodenfreiheit des Fußes gilt bei eingedrehtem Feststellfuß und eingedrehter Nivellierschraube

12

Varianten / Zubehör

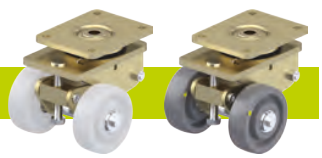
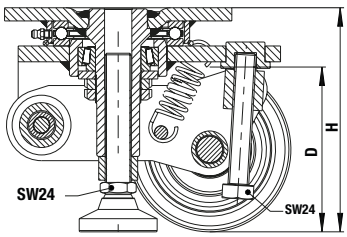
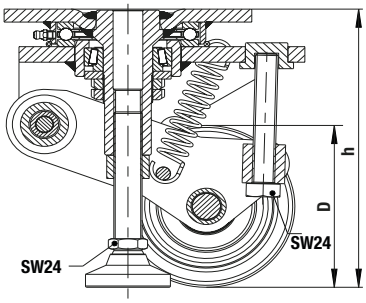


	Abbildung Serie SPO	in elektrisch leitfähiger Ausführung, spurlos grau
Technische Beschreibung Seite	69	50
Artikel-Nr.-Zusatz		**-ELS**
Lieferbar für		Serie SPO auf Anfrage

Gesamthöhe min.



Gesamthöhe max.



Rittal – Das System.

Schneller – besser – überall.



CX 6748.000

Standpult CX

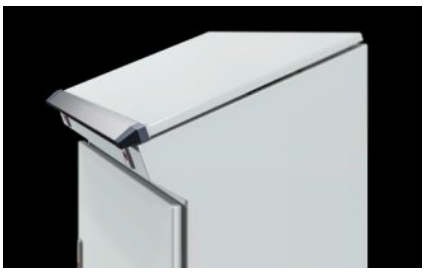
Stand: 17.09.2026 (Quelle: www.rittal.com/ch-de)

SCHALTSCHRÄNKE STROMVERTEILUNG KLIMATISIERUNG IT-INFRASTRUKTUR SOFTWARE & SERVICE

FRIEDHELM LOH GROUP

CX 6748.000 - Standpult CX

Einteiliges Standpult zum Bedienen und Überwachen, mit großer Montageplatte und hoher Schutzart IP 55 in vier verschiedenen Breiten.


Eigenschaften

Artikel-Nr.	CX 6748.000
Ausführung	Standpult
Material	Gehäuse: Stahlblech 1,5 mm Tür und Pultdeckel: Stahlblech 2,0 mm, umlaufend eingeschäumte PU-Dichtung Montageplatte: Stahlblech, 2,5 mm
Oberfläche	Gehäuse, Deckel und Tür: tauchgrundiert, außen pulverbeschichtet, Strukturlack Montageplatte: verzinkt
Farbe	RAL 7035
Lieferumfang	Gehäuse, hinten und seitlich geschlossen Tür bzw. Doppeltür vorne, mit 3-Punkt-Verschluss-System Montageplatte Deckel mit Vorreiber-Verschlüssen, hinten scharniert, 2 Aufsteller mit automatischer Verriegelung. Entriegelung links automatisch, rechts manuell. Bodenblech Verschluss: 3 mm Doppelbart
Abmessung	Breite: 800 mm Höhe: 970 mm Tiefe: 400 mm
Abmessungen Montageplatte (B x H)	720 mm x 900 mm

© Rittal 2026

Eigenschaften

Tiefe oben	495 mm
Tiefe unten	400 mm
Anzahl Türen	1
IK-Code	IK10
Schutzart IP nach IEC 60 529	IP 55
Schutzart NEMA	NEMA 1 NEMA 12
Grundmaterial	Stahlblech
Abmessung	Breite: 800 mm Höhe: 970 mm Tiefe oben: 495 mm Tiefe unten: 400 mm
Verpackungseinheit	1 Stück
Nettogewicht	58 kg
Bruttogewicht	60 kg
Zolltarifnummer	94032080
ETIM 9	EC000784
ETIM 8	EC000784
ECLASS 8.0	27180504
Produktbeschreibung	CX Standpult, BHT: 800x970x400 mm, Stahlblech

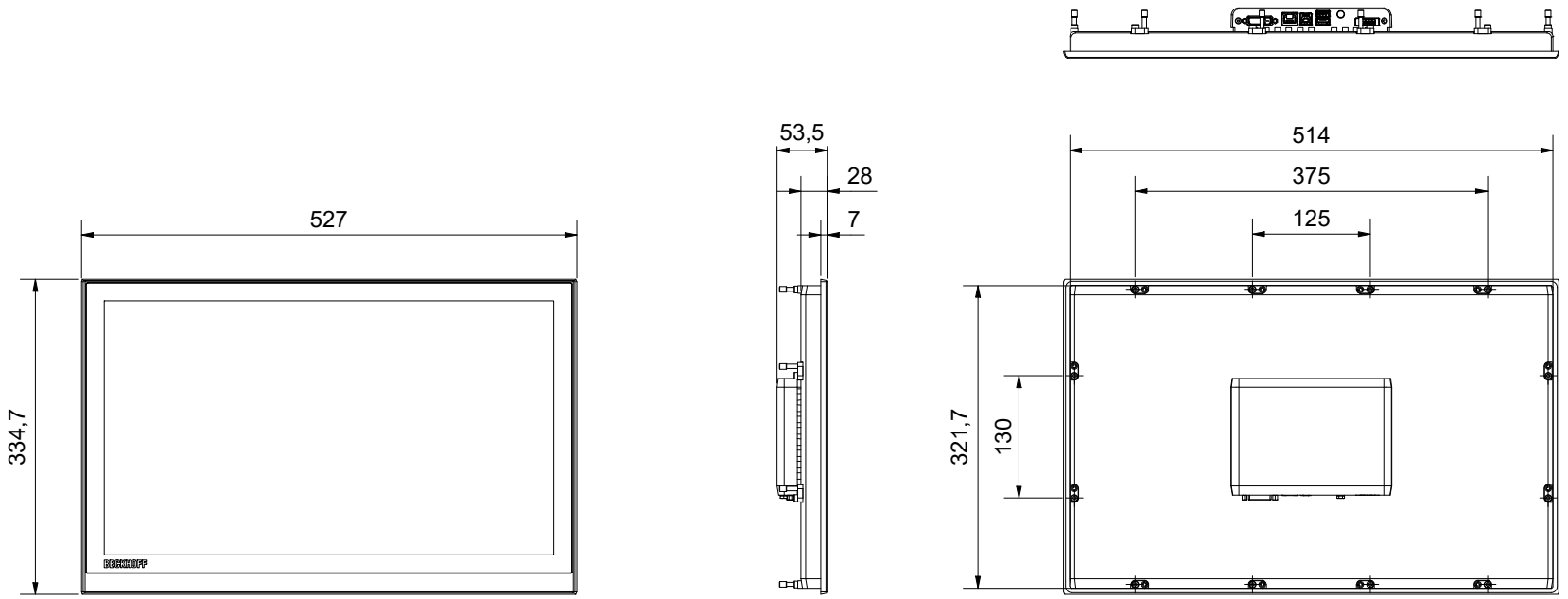
Approbationen

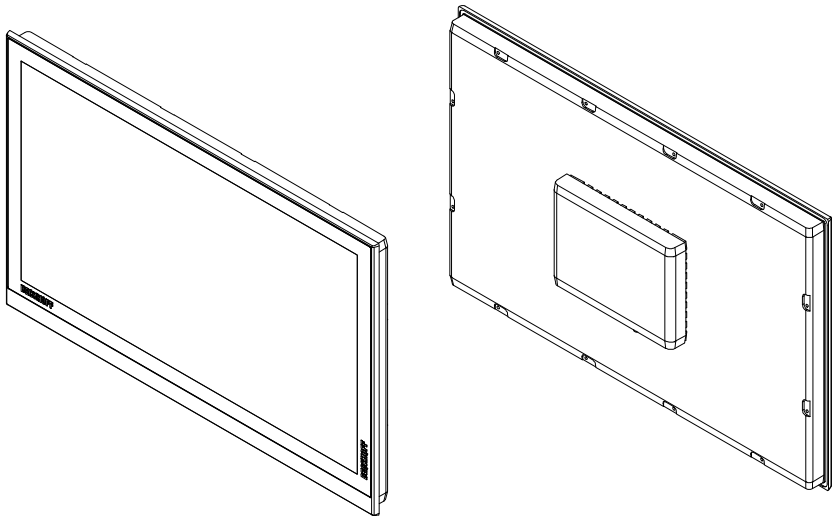
Approbationen	UL + C-UL (listed)
Erklärungen	Konformitätserklärung

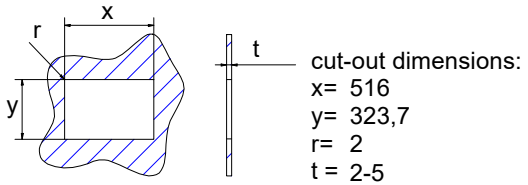
© Rittal 2026

Copyright reserved to ISO 16016
The property and copyright of this drawing remains the company Beckhoff Automation GmbH & Co. KG.
It is entrusted to you as the recipient for personal use only. Without a written permission from Beckhoff Automation GmbH & Co. KG this may not be copied and reproduced, or sent and made accessible to third parties, especially competitors.
Doing so is obliged to pay compensation.

Schutzvermerk nach DIN ISO 16016 beachten
Das Eigentums- und Urheberrecht an dieser Zeichnung verbleibt der Firma Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. Sie sind Ihnen als Empfänger nur zum persönlichen Gebrauch anvertraut. Ohne eine schriftliche Genehmigung der Firma Beckhoff Automation GmbH & Co. KG darf diese nicht kopiert und vervielfältigt und auch nicht dritten Personen, insbesondere Wettbewerbern, mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden. Ein Zuwiderhandeln verpflichtet zum Schadensersatz.







cut-out dimensions:
x= 516
y= 323,7
r= 2
t = 2-5

Bezeichnung / *description* Multitouch-Einbau-Control-Panel *Multi-touch built-in Control Panel* CP2921-0000							**Abteilungskennzeichen** / *depart ID* IPC **Dokumentennummer** / *document number* 0000010775	
BECKHOFF	ISO 128	**Maßeinheit** *dimension* mm	**Maßstab** *scale* 1 : 5	**Blattgröße** *sheet size* A3	**Blatt** *sheet* 1 / 1	**Revision** -	**Projektbezeichnung** *project name* CP2921-0000	**Datum** *date* 07.10.2021

H11 | Bijur Delimon | SureFire II

Technischer Auszug aus der Herstellerquelle

Zusammenfassende Lesefassung der für das Projekt verwendeten Angaben. Kein vollständiges Herstellerdokument.

Merkmal	Herstellerangabe / verfügbare Option
24-V-Ausführung	24 V DC, Stromaufnahme 2,4 A
Umgebungstemperatur / Schutzart	+5 bis +40 °C / IP54
Anschlüsse	Zwei Ausgänge G1/4 BSPP; Rücklauf G1/4
Behälter	Unter anderem 2 Liter
Option C	Zwei M12-Anschlüsse für Versorgung und Signale; nur 24 V DC
Druck je System	SLR: 5 bar; PDI: 31 bar

Die M12-Stecker werden separat bestellt. Die Ausführungen für SLR- und PDI-Systeme unterscheiden sich; ihre Auswahl gehört zur Bestellspezifikation.

Projektbezug

Bezug: Schmierungskonzept. Vorgesehen sind 2 Liter, 24 V DC und Option C. PDI/SLR und vollständige Bestellnummer sind in der Projektdokumentation noch nicht abschliessend bezeichnet.

Quelle: SureFire II Kompaktaggregat, 36410 R2, 01/17_D, PDF-Seiten 3–4.

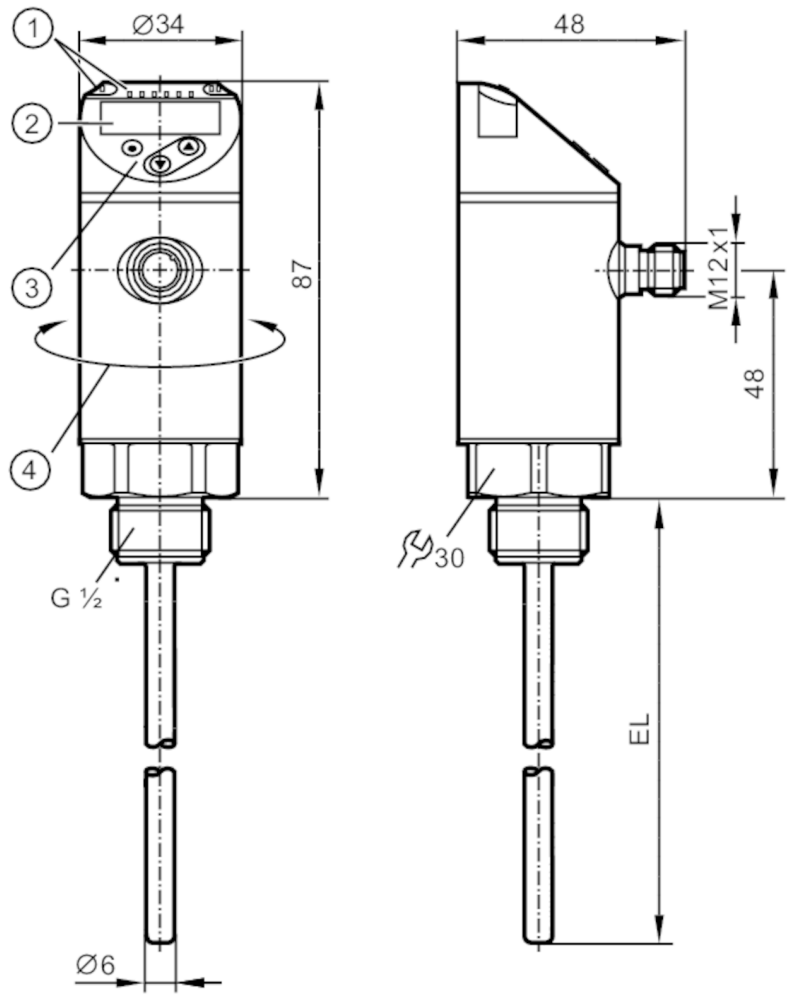
Online geprüft am 22.10.2026.

https://www.bijurdelimon.com/amfile/file/download/file/598/

TN2435

Temperatursensor mit Display

TN-100KLBM12-MFRKG/US/ /V



1 LEDs Anzeigeeinheit / Schaltzustand
2 alphanumerische Anzeige 4-stellig rot / grün
3 Programmiertasten
4 Gehäuseoberteil drehbar 345°

Produktmerkmale			
Anzahl der Ein- und Ausgänge		Anzahl der digitalen Ausgänge: 2; Anzahl der analogen Ausgänge: 1	
Messbereich		-50...150 °C	-58...302 °F
Kommunikationsschnittstelle		IO-Link	
Prozessanschluss		Gewindeanschluss G 1/2 Außengewinde	
Einbaulänge EL	[mm]	100	

Einsatzbereich			
Besondere Eigenschaft		Vergoldete Kontakte	
Messelement		1 x Pt 1000; (nach DIN EN 60751, Klasse A)	
Medien		Flüssige und gasförmige Medien	
Druckfestigkeit		250 bar	25 MPa

TN2435

Temperatursensor mit Display

TN-100KLBM12-MFRKG/US/ /V

Elektrische Daten			
Betriebsspannung	[V]	18...32 DC; ("supply class 2" gemäß cULus)	
Stromaufnahme	[mA]	< 50	
Schutzklasse		III	
Verpolungsschutz		ja	
Bereitschaftsverzögerungszeit	[s]	1	
Watchdog integriert		ja	
Ein-/Ausgänge			
Anzahl der Ein- und Ausgänge		Anzahl der digitalen Ausgänge: 2; Anzahl der analogen Ausgänge: 1	
Ausgänge			
Gesamtzahl Ausgänge		2	
Ausgangssignal		Schaltsignal; Analogsignal; IO-Link; (konfigurierbar)	
Elektrische Ausführung		PNP/NPN	
Anzahl der digitalen Ausgänge		2	
Ausgangsfunktion		Schließer / Öffner; (parametrierbar)	
Max. Spannungsabfall Schaltausgang DC	[V]	2,5	
Dauerhafte Strombelastbarkeit des Schaltausgangs DC	[mA]	250	
Anzahl der analogen Ausgänge		1	
Analogausgang Strom	[mA]	4...20	
Max. Bürde	[Ω]	500	
Analogausgang Spannung	[V]	0...10	
Min. Lastwiderstand	[Ω]	2000	
Kurzschlussschutz		ja	
Ausführung Kurzschlussschutz		getaktet	
Überlastfest		ja	
Mess-/Einstellbereich			
Stablänge L	[mm]	83,2	
Messbereich		-50...150 °C	-58...302 °F
Werkseinstellung		-50...150 °C	
Schaltpunkt SP		-49,8...150 °C	-57,6...302 °F
Rückschaltpunkt rP		-50...149,8 °C	-58...301,6 °F
Analogstartpunkt		-50...145 °C	-58...293 °F
Analogendpunkt		-45...150 °C	-49...302 °F
In Schritten von		0,1 °C	0,1 °F
Auflösung			
Auflösung Schaltausgang	[K]	0,1	
Auflösung Analogausgang	[K]	Stromausgang: MS / 4096; Spannungsausgang: MS / 3561	
Auflösung Anzeige	[K]	0,1	

TN2435

Temperatursensor mit Display

TN-100KLBM12-MFRKG/US/ /V

Genauigkeit / Abweichungen			
Schaltpunktgenauigkeit	[K]	± 0,3 + (± 0,1 % MS)	
Genauigkeit Analogausgang	[K]	± 0,3 + (± 0,1 % MS)	
Anzeigegenauigkeit	[K]	± 0,3 + (± 0,1 % MS)	
Temperaturkoeffizient	[% der Spanne / 10 K]	0,1; (Bei Abweichung von der Referenzbedingung 25 ± 5 °C)	
Reaktionszeiten			
Ansprechdynamik T05 / T09	[s]	1 / 3; (nach DIN EN 60751)	
Software / Programmierung			
Parametriermöglichkeiten		Hysterese / Fenster; Schließer / Öffner; Schaltlogik; Schalt-/ Rückschaltverzögerung; Dämpfung; Anzeigeeinheit; Strom-/Spannungsausgang	
Schnittstellen			
Kommunikationsschnittstelle		IO-Link	
Übertragungstyp		COM2 (38,4 kBaud)	
IO-Link Revision		1.1	
Profile		Smart Sensor - SSP 0	Generic Profiled Sensor
		Function	Device identification
		Function	Process data variable
		Function	Device diagnosis
Min. Prozesszykluszeit	[ms]	2,3	
Unterstützte DeviceIDs		**Betriebsart**	**DeviceID**
		default	706
Umgebungsbedingungen			
Umgebungstemperatur	[°C]	-25...80	
Lagertemperatur	[°C]	-40...100	
Schutzart		IP 67	
Zulassungen / Prüfungen			
EMV		DIN EN 61000-6-2	
		DIN EN 61000-6-3	
Schockfestigkeit		DIN IEC 68-2-27	50 g (11 ms)
Vibrationsfestigkeit		DIN EN 60068-2-6	20 g (10...2000 Hz)
MTTF	[Jahre]	207	
UL-Zulassung		Zulassungsnummer UL	K015
Mechanische Daten			
Gewicht	[g]	306	
Gehäuse		Zylindrisch	
Abmessungen	[mm]	Ø 34 / L = 187	
Werkstoffe		1.4404 (Edelstahl / 316L); PBT+PC-GF30; PBT-GF20; PC	
Werkstoffe in Kontakt mit dem Medium		1.4404 (Edelstahl / 316L); O-Ring: FKM	
Anzugsdrehmoment	[Nm]	45	
Prozessanschluss		Gewindeanschluss G 1/2 Außengewinde	
Stabdurchmesser	[mm]	6	
Einbaulänge EL	[mm]	100	

TN2435

Temperatursensor mit Display

TN-100KLBM12-MFRKG/US/ /V

Anzeigen / Bedienelemente		
Anzeige	Anzeigeeinheit	2 x LED, grün
	Schaltzustand	2 x LED, gelb
	Messwerte	alphanumerische Anzeige, rot / grün 4-stellig

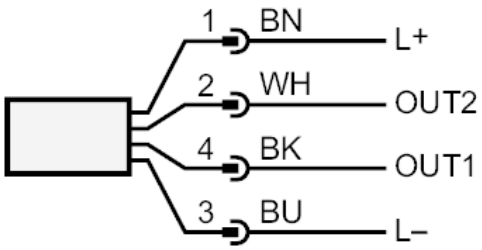
Bemerkungen	
Bemerkungen	MS = eingestellte Messspanne
	Die Werte für Genauigkeit gelten für bewegtes Wasser.
Verpackungseinheit	1 Stück

Elektrischer Anschluss

Steckverbindung: 1 x M12; Codierung: A; Kontakte: 4, vergoldet



Anschluss



OUT1: Schaltausgang / IO-Link
OUT2: Schaltausgang / Analogausgang
Farbkennzeichnung nach DIN EN 60947-5-2
Adernfarben :
BK = schwarz
BN = braun
BU = blau
WH = weiß

H17 | GWJ eAssistant | Tragende Passfederlänge

Technischer Auszug aus der Herstellerquelle

Zusammenfassende Lesefassung der für das Projekt verwendeten Angaben. Kein vollständiges Herstellerdokument.

Passfederform	Tragende Länge ltr
A, E, C: runde Stirnseiten	lPF − b
B, D, F, G, H, J: gerade Stirnseiten	lPF
AB: eine runde Stirnseite	lPF − b/2

Kantenbrüche und tatsächliche Nutgeometrie beeinflussen die wirksamen Kontaktflächen. Der Passfedernachweis ersetzt weder einen gesonderten Wellenfestigkeitsnachweis noch die Prüfung der Nabenabmessungen.

Projektbezug

Bezug: C3. Für Form A mit lPF = 63 mm und b = 16 mm ergibt sich geometrisch ltr = 47 mm.

Quelle: Online-Handbuch, Kapitel 16: Passfeder nach DIN 6892, insbesondere Abschnitte 16.2–16.5.

Online geprüft am 22.10.2026.

https://www.eassistant.eu/fileadmin/dokumente/eassistant/etc/HTMLHandbuch/de/eAssistantHandbch16.html

Der Alleskönner mit der großen Auswahl an Möglichkeiten

Öffner oder Schließer, Spannung max. 42 V



Deutsch DT04-2P



AMP Superseal 1.5®



Packard MetriPack 280®



Deutsch DT04-3P



AMP Junior Timer®



Bajonett DIN 72585



M12x1 DIN EN 61076-2-101-A

mit 10 Stecker-Varianten

M12x1 in 3 Kodierungen

Kodierung: PIN 1+3



Kodierung: PIN 1+4



Kodierung: PIN1+2



Bajonett in 4 Kodierungen

Kodierung A1-2.1



Kodierung A2-2.1



Kodierung A3-2.1



Kodierung A4-2.1



für 7 Einstellbereiche

- 0,1 – 1 bar
- 0,5 – 3 bar
- 1 – 10 bar
- 10 – 20 bar
- 20 – 50 bar
- 50 – 150 bar
- 100 – 200 bar

mit zahlreichen Gewindearten

- G 1/4
- G 1/8
- M 10x1 zyl.
- M 10x1 keg.
- M 12x1.5 zyl.
- NPT 1/8
- NPT 1/4
- 9/16-18 UNF
- 7/16-20 UNF

für verschiedenste Einsatzbereiche

- **NBR** Hydrauliköl, Maschinenöl, Luft, Stickstoff usw.
- **EPDM** Bremsflüssigkeit, Wasserstoff, Sauerstoff, Azetylen, usw.
- **FKM** Hydraulikflüssigkeiten (HFA, HFB, HFD), Benzin usw.
- **FFKM** Heißwasser, Chemische Säuren, verdünnte Laugen, Ketone, Ester, Alkohole
- **HNBR** Hydrauliköl, Maschinenöl, Ester basierende Bioöle
- **Silikon** Wasser, Lebensmittel (FDA-Zulassung)

Druckschalter SW 24 mit integriertem Stecker



0110 / 0111
Deutsch DT04-2P
IP67, IP6K9K



0112 / 0113
AMP Superseal 1.5®
IP67



0114 / 0115
Packard MetriPack 280®
IP67



0116 / 0117
Deutsch DT04-3P
IP67, IP6K9K



0118 / 0119
AMP Junior Timer®
IP65, IPx4K



0120 / 0121
Bajonett DIN 72585
IP67, IP6K9K



0122 / 0123
M12x1 DIN EN 61076-2-101-A
IP67

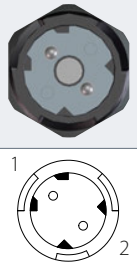
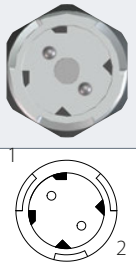
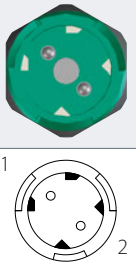
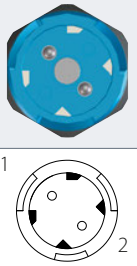


0124 / 0125
M12x1 DIN EN 60947-5-2
IP67

Technische Daten

Bemessungsbetriebsspannung:	10 … 42 VAC/DC	
Bemessungsstrombereich (ohmsche Last, DC12, AC12):	10 mA … 4 A	
Schaltleistung DC12 bzw. AC12:	100 W / 100 VA	
Temperaturbeständigkeit der Dichtungswerkstoffe:	NBR (Membrandruckschalter)	-40 °C … +100 °C
	NBR (Kolbendruckschalter)	-30 °C … +100 °C
	EPDM	-30 °C … +120 °C
	FKM (Membrandruckschalter)	-5 °C … +120 °C
	FKM (Kolbendruckschalter)	-15 °C … +120 °C
	FFKM	-20 °C … +120 °C
	Silikon	-40 °C … +120 °C
	HNBR	-30 °C … +120 °C
Berstdruck (Membrandruckschalter)	400 bar	
Berstdruck (Kolbendruckschalter)	700 bar (für Gewinde M10, G 1/8, R 1/8 und NPT 1/8 bis max. 600 bar)	
Schalthäufigkeit:	200 / min	
Mechanische Lebensdauer:	1.000.000 Schaltspiele (bei Membrandruckschaltern gilt die Lebensdauer nur für Schaltdrücke bis max. 50 bar)	
Druckanstiegsrate:	≤ 1.000 bar/s	
Hysterese:	Mittelwert 5…30 %, typabhängig, nicht einstellbar	
Vibrationsfestigkeit:	10 g; 5…200 Hz Sinus; DIN EN 60068-2-6	
Schockfestigkeit:	294 m/s²; 14 ms Halbsinus; DIN EN 60068-2-27	
Schutzart:	Bis zu IP67 / IP6K9K nach Herstellervorgabe für jeweiliges Stecksystem nur in gestecktem Zustand, sonst IP00	
Gewicht in Gramm:	ca. 90 g	

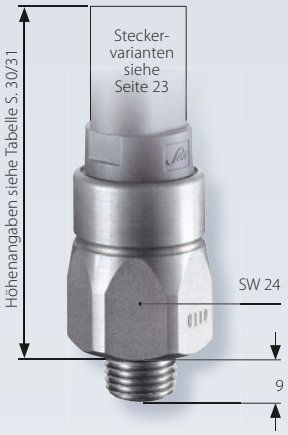
Kontaktbelegung Bajonett-Stecker

Kodierung A1-2.1	Kodierung A2-2.1	Kodierung A3-2.1	Kodierung A4-2.1
			

0110/0112/0114/0116/0118/0122/0124

Membrandruckschalter mit integriertem Stecker

- Einstellbereiche bis 50 bar (höhere Einstellbereiche siehe auch Seite 26)
- Öffner oder Schließer, Spannung max. 42 V
- Aus verzinktem Stahl (CrVI-frei)
- Überdrucksicher bis 300 bar[1)]



Steckervarianten für Membrandruckschalter

Deutsch DT04-2P	0110 - XXX XX - X - XXX	0110 - XXX XX - X - XXX
AMP Superseal 1.5®	0112 - XXX XX - X - XXX	0112 - XXX XX - X - XXX
Packard MetriPack 280®	0114 - XXX XX - X - XXX	0114 - XXX XX - X - XXX
Deutsch DT04-3P	0116 - XXX XX - X - XXX	0116 - XXX XX - X - XXX
AMP Junior Timer®	0118 - XXX XX - X - XXX	0118 - XXX XX - X - XXX
M12x1 DIN EN 61076-2-101-A (PIN 1+3)	0122 - XXX XX - X - XXX	0122 - XXX XX - X - XXX
M12x1 DIN EN 60947-5-2 (PIN 1+2 / PIN 1+4)	0124 - XXX XX - X - XXX	0124 - XXX XX - X - XXX

Membrandruckschalter mit integriertem Stecker

Einstellbereich (Toleranz bei Raumtemperatur)	Außen-gewinde	**Artikelnummer** Schließer (NO) —› |:	**Artikelnummer** Öffner (NC) —› :|
0,1 - 1 (± 0,2) bar	G 1/4	XXXX - 403 03 - X - 011	XXXX - 404 03 - X - 015
	G 1/8	XXXX - 403 28 - X - 603	XXXX - 404 28 - X - 604
	M 10x1 zyl.	XXXX - 403 13 - X - 003	XXXX - 404 13 - X - 004
	M 10x1 keg.	XXXX - 403 01 - X - 009	XXXX - 404 01 - X - 013
	M 12x1.5 zyl.	XXXX - 403 02 - X - 010	XXXX - 404 02 - X - 014
	NPT 1/8	XXXX - 403 04 - X - 012	XXXX - 404 04 - X - 016
0,5 - 3 (± 0,3) bar	G 1/4	XXXX - 423 03 - X - 070	XXXX - 424 03 - X - 070
	G 1/8	XXXX - 423 28 - X - 070	XXXX - 424 28 - X - 070
	M 10x1 zyl.	XXXX - 423 13 - X - 070	XXXX - 424 13 - X - 070
	M 10x1 keg.	XXXX - 423 01 - X - 070	XXXX - 424 01 - X - 070
	M 12x1.5 zyl.	XXXX - 423 02 - X - 070	XXXX - 424 02 - X - 070
	NPT 1/8	XXXX - 423 04 - X - 070	XXXX - 424 04 - X - 070
1 - 10 (± 0,5) bar	G 1/4	XXXX - 407 03 - X - 027	XXXX - 408 03 - X - 031
	G 1/8	XXXX - 407 28 - X - 607	XXXX - 408 28 - X - 608
	M 10x1 zyl.	XXXX - 407 13 - X - 007	XXXX - 408 13 - X - 008
	M 10x1 keg.	XXXX - 407 01 - X - 025	XXXX - 408 01 - X - 029
	M 12x1.5 zyl.	XXXX - 407 02 - X - 026	XXXX - 408 02 - X - 030
	NPT 1/8	XXXX - 407 04 - X - 028	XXXX - 408 04 - X - 032

Dichtungswerkstoffe – Einsatzbereiche

NBR	Hydrauliköl, Maschinenöl, Luft, Stickstoff usw.	1
EPDM	Bremsflüssigkeit, Wasserstoff, Sauerstoff, Azetylen, usw.	2
FKM	Hydraulikflüssigkeiten (HFA, HFB, HFD), Benzin usw.	3
FFKM	Heißwasser, Chemische Säuren, verdünnte Laugen, Ketone, Ester, Alkohole	6
HNBR	Hydrauliköl, Maschinenöl, Ester basierende Bioöle	9

Temperaturbereich und Einsatzgrenzen der Dichtungswerkstoffe siehe Seite 24

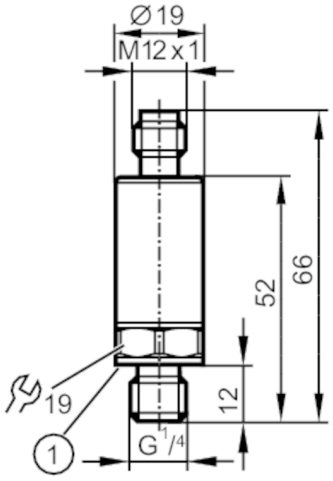
Artikelnummer:	**01XX – XXX XX – X – XXX**

[1)] Statischer Wert. Dynamischer Wert 30 bis 50 % niedriger. Die Werte beziehen sich auf den hydraulischen bzw. pneumatischen Teil des Druckschalters.

PV8003

Druckschalter mit IO-Link

PV-025-SEG14-UFRVG/US/ /



1 Dichtung

Produktmerkmale			
Anzahl der Ein- und Ausgänge	Anzahl der digitalen Ausgänge: 2		
Messbereich	-1...25 bar	-14,6...362,6 psi	-0,1...2,5 MPa
Prozessanschluss	Gewindeanschluss G 1/4 Außengewinde (DIN EN ISO 1179-2); Innengewinde:M5		
Einsatzbereich			
Messelement	metallische Dünnfilmzelle		
Applikation	für den industriellen Einsatz		
Medien	Flüssige und gasförmige Medien		
Mediumtemperatur [°C]	-40...90		
Min. Berstdruck	600 bar	8700 psi	60 MPa
Druckfestigkeit	65 bar	940 psi	6,5 MPa
Hinweis zur Druckfestigkeit	statisch		
Vakuumfestigkeit	-1000 mbar	-0,1 MPa	
Druckart	Relativdruck		
Elektrische Daten			
Betriebsspannung [V]	18...30 DC		
Stromaufnahme [mA]	< 15		
Min. Isolationswiderstand [MΩ]	100; (500 V DC)		
Schutzklasse	III		
Verpolungsschutz	ja		
Bereitschaftsverzögerungszeit [s]	< 0,3		
Ein-/Ausgänge			
Anzahl der Ein- und Ausgänge	Anzahl der digitalen Ausgänge: 2		
Ausgänge			
Gesamtzahl Ausgänge	2		
Ausgangssignal	Schaltsignal; IO-Link; (konfigurierbar)		

PV8003

Druckschalter mit IO-Link

PV-025-SEG14-UFRVG/US/ /

Elektrische Ausführung	PNP/NPN		
Anzahl der digitalen Ausgänge	2		
Ausgangsfunktion	Schließer / Öffner; (parametrierbar)		
Max. Spannungsabfall Schaltausgang DC [V]	2		
Dauerhafte Strombelastbarkeit des Schaltausgangs DC [mA]	100		
Schaltfrequenz DC [Hz]	< 130		
Kurzschlussschutz	ja		
Ausführung Kurzschlussschutz	getaktet		
Überlastfest	ja		
Mess-/Einstellbereich			
Messbereich	-1...25 bar	-14,6...362,6 psi	-0,1...2,5 MPa
Schaltpunkt SP	-0,75...25 bar	-10,8...362,6 psi	-0,075...2,5 MPa
Rückschaltpunkt rP	-0,87...24,88 bar	-12,7...360,8 psi	-0,087...2,488 MPa
In Schritten von	0,01 bar	0,1 psi	0,001 MPa
Werkseinstellung	SP1 = 6,25 bar	rP1 = 5,75 bar	ou1 = Hno;
	SP2 = 18,75 bar	rP2 = 18,25 bar	ou2 = Hno;
	dS1/dS2 = 0 ms	dr1/dr2 = 0 ms	
	coF = 0 %	P-n = PnP	dAP= 60 ms
Temperaturüberwachung			
Messbereich	-40...90 °C	-40...194 °F	
Schaltpunkt SP	-38...90 °C	-36,4...194 °F	
Rückschaltpunkt rP	-40...88 °C	-40...190,4 °F	
In Schritten von	0,1 °C	0,1 °F	
Genauigkeit / Abweichungen			
Schaltpunktgenauigkeit [% der Spanne]	< ± 0,5 (nach DIN EN 61298-2)		
Wiederholgenauigkeit [% der Spanne]	< ± 0,05; (bei Temperaturschwankungen < 10 K)		
Kennlinienabweichung [% der Spanne]	< ± 0,5; (Linearität einschliesslich Hysterese und Wiederholgenauigkeit, Grenzpunkteinstellung nach DIN EN IEC 62828-1)		
Linearitätsabweichung [% der Spanne]	< ± 0,1 (BFSL) / < ± 0,2 (LS)		
Nullpunktstabilisierung [% der Spanne]	IO-Link, Analogausgang	1,0; (Siehe Betriebsanleitung Nullpunktverhalten)	
	Anzeige, Schaltausgang	1,0	
Hystereseabweichung [% der Spanne]	< ± 0,2		
Langzeitstabilität [% der Spanne]	< ± 0,1; (pro 6 Monate)		
Temperaturkoeffizient Nullpunkt [% der Spanne / 10 K]	< 0,1 (-25...90 °C) / < 0,2 (-40...-25 °C)		
Temperaturkoeffizient Spanne	< 0,1 (-25...90 °C) / < 0,2 (-40...-25 °C)		

PV8003

Druckschalter mit IO-Link

PV-025-SEG14-UFRVG/US/ /

[% der Spanne / 10 K]			
Temperaturüberwachung			
Genauigkeit	[K]	± 2 K + (0,1 x (Umgebungstemperatur - Mediumtemperatur))	
Hinweise zur Genauigkeit / Abweichung		Temperaturbereich -10 bis 80 °C	
Reaktionszeiten			
Ansprechzeit	[ms]	< 3	
Temperaturüberwachung			
Ansprechdynamik T05 / T09	[s]	< 80 / < 210 (unter ifm-Referenzbedingungen)	
Software / Programmierung			
Parametriermöglichkeiten		Hysterese / Fenster; Schließer / Öffner; Schaltlogik; Schalt-/Rückschaltverzögerung; Dämpfung	
Schnittstellen			
Kommunikationsschnittstelle		IO-Link	
Übertragungstyp		COM2 (38,4 kBaud)	
IO-Link Revision		1.1	
SDCI-Norm		IEC 61131-9	
Profile		Common - I&D	Identification and Diagnosis
		Function	Measurement data, standard resolution
SIO-Mode		ja	
Benötigte Masterportklasse		A	
Min. Prozesszykluszeit	[ms]	4,5	
IO-Link-Auflösung Druck	[bar]	0,01	
IO-Link-Auflösung Temperatur	[K]	0,2	
IO-Link Prozessdaten (zyklisch)		**Funktion**	**Bitlänge**
		Druck	16
		Temperatur	16
		Gerätestatus	4
		Binäre Schaltinformationen	2
IO-Link Funktionen (azyklisch)		Anwendungsspezifische Markierung; interne Temperatur; Betriebsstundenzähler; Schaltzyklenzähler; Druckspitzenzähler; Temperaturspitzenzähler	
Unterstützte DeviceIDs		**Betriebsart**	**DeviceID**
		default	1211
Umgebungsbedingungen			
Umgebungstemperatur	[°C]	-40...90	
Lagertemperatur	[°C]	-40...100	
Schutzart		IP 67; IP 69K	
Zulassungen / Prüfungen			
EMV		DIN EN 61326-1	
Schockfestigkeit		DIN EN 60068-2-27	500 g (1 ms)
Vibrationsfestigkeit		DIN EN 60068-2-6	20 g (10...2000 Hz)
MTTF	[Jahre]	668	
UL-Zulassung		Zulassungsnummer UL	J037
		File Nummer UL	E174189

PV8003

Druckschalter mit IO-Link

PV-025-SEG14-UFRVG/US/ /

Druckgeräterichtlinie		Gute Ingenieurpraxis; verwendbar für Medien der Fluidgruppe 2; Medien der Fluidgruppe 1 auf Anfrage

Mechanische Daten

Gewicht	[g]	56,3
Gehäuse		Zylindrisch
Abmessungen	[mm]	Ø 19 / L = 66
Werkstoffe		1.4542 (Edelstahl / 17-4 PH / 630); 1.4404 (Edelstahl / 316L); PEI
Werkstoffe in Kontakt mit dem Medium		1.4305 (Edelstahl / 303); 1.4542 (Edelstahl / 17-4 PH / 630)
Min. Druckzyklen		60 Millionen; (bei 1,2-fachem Nenndruck)
Anzugsdrehmoment	[Nm]	25...35; (empfohlenes Drehmoment; Abhängig von Schmierung, Dichtung und Druckbelastung)
Prozessanschluss		Gewindeanschluss G 1/4 Außengewinde (DIN EN ISO 1179-2); Innengewinde:M5
Dichtung Prozessanschluss		FKM (DIN EN ISO 1179-2)
Drosselelement vorhanden		ja

Bemerkungen

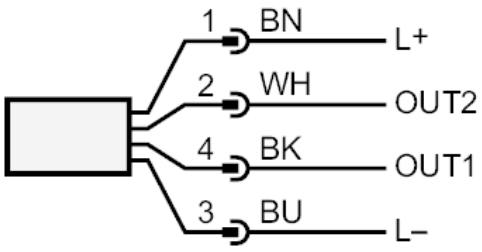
Bemerkungen	BFSL = Best Fit Straight Line (Kleinstwerteinstellung)
	LS = Grenzpunkteinstellung
Verpackungseinheit	1 Stück

Elektrischer Anschluss

Steckverbindung: 1 x M12; Codierung: A; Kontakte: 4



Anschluss



OUT1	Schaltausgang Druck IO-Link
OUT2	Schaltausgang Druck / Temperatur
	Farbkennzeichnung nach DIN EN 60947-5-2
	Adernfarben :
BK =	schwarz
BN =	braun
BU =	blau
WH =	weiß

H20 | MARKS | Werkstoff 1.0037

Technischer Auszug aus der Herstellerquelle

Zusammenfassende Lesefassung der für das Projekt verwendeten Angaben. Kein vollständiges Herstellerdokument.

Eigenschaft im Anlieferungszustand	Wert laut Werkstoffblatt
Streckgrenze ReH, Nenndicke bis 16 mm	Mindestens 235 MPa
Streckgrenze ReH, Nenndicke über 16 mm	Mindestens 225 MPa
Zugfestigkeit Rm	360 bis 510 MPa

Die Werte sind Richtangaben für den im Blatt bezeichneten Werkstoff und Lieferzustand.

Projektbezug

Bezug: Grundplatte mit 25 mm Dicke; in C7 wird der Wert ReH = 225 MPa angesetzt.

Quelle: Werkstoffblatt 1.0037 / S235JR / St 37-2, 10037-datenblatt.pdf, Seite 1; kein sichtbarer Ausgabestand.

Online geprüft am 22.10.2026.

https://www.marks-gmbh.de/afs/downloads/10037-datenblatt.pdf

H21 | Pilz | PSEN cs3.1n / PSEN cs3.1

Technischer Auszug aus der Herstellerquelle

Zusammenfassende Lesefassung der für das Projekt verwendeten Angaben. Kein vollständiges Herstellerdokument.

Merkmal	Produktangabe
Technologie / Codierstufe	RFID-Transponder / gering
Lieferumfang	Einheit mit Schalter und Betätiger
Ausgänge / Anschluss	Zwei OSSD; M12, fünfpolig
Versorgung	24 V DC
Schaltabstand / Sao / Sar	11 mm / 8 mm / 20 mm
Serienschaltung	Für diese Ausführung nicht vorgesehen

Die angegebenen Abstände und elektrischen Schnittstellen sind bei der mechanischen und elektrischen Integration zu berücksichtigen.

Projektbezug

Bezug: Kapitel 8.2. Der Produktauszug ersetzt keine Beurteilung der vollständigen Sicherheitsfunktion des Teststands.

Quelle: Produktdaten, Artikel 541003, PSEN cs3.1n / PSEN cs3.1 1 Unit.

Online geprüft am 22.10.2026.

https://www.pilz.com/eshop/product/541003

H22 | Rittal | Klemmenkasten KX 1502.000

Technischer Auszug aus der Herstellerquelle

Zusammenfassende Lesefassung der für das Projekt verwendeten Angaben. Kein vollständiges Herstellerdokument.

Merkmal	Produktangabe
Material	Stahlblech
Abmessungen B × H × T	200 × 200 × 120 mm
Schutzart	IP66
Farbe	RAL 7035
Lieferumfang	Gehäuse mit Deckel; ohne Montage- und Flanschplatte

Die Produktangaben beziehen sich auf das Gehäuse in der beschriebenen Lieferausführung.

Projektbezug

Bezug: lokaler Anschlusskasten am Teststand. Erforderliche Einbauten und Leitungsdurchführungen gehören zur weiteren Integration.

Quelle: Produktdaten KX 1502000 / KX 1502.000.

Online geprüft am 22.10.2026.

https://www.rittal.com/ch-de/products/PG20231215SCH101/PG20231215SCH201/PRO70335?variantId=1502000

H23 | HASCO | Werkstoff 1.2312

Technischer Auszug aus der Herstellerquelle

Zusammenfassende Lesefassung der für das Projekt verwendeten Angaben. Kein vollständiges Herstellerdokument.

Merkmal	Herstellerangabe
Werkstoff / Kurzname	1.2312 / 40CrMnMoS8-6
Lieferzustand	Vergütet
Härte im Lieferzustand	280 bis 325 HB
Entsprechende Zugfestigkeit	Etwa 950 bis 1’100 N/mm²
Oberflächenbehandlung	Nitrieren zur Erhöhung des Verschleisswiderstands möglich

Die Kennwerte beziehen sich auf den vergüteten Lieferzustand des Werkstoffs.

Projektbezug

Bezug: Die Welle wurde konstruktiv von C45E auf 1.2312 geändert. Die vorhandene Wellenberechnung wurde nicht neu durchgeführt; ihre bisherigen Ergebnisse bleiben der dokumentierte Rechenstand. Der Werkstoffwechsel allein ist kein neuer Festigkeitsnachweis.

Quelle: Werkstoffdatenblatt 1.2312, Ausgabe D 11/17, Seite 1.

Online geprüft am 22.10.2026.

https://media.hasco.com/marketing/Produkt/WDB/DE/1.2312_WDB_DE.pdf

Anlage I Historische CAD-Entwicklungsstände

Die folgenden Ansichten dokumentieren die Entwicklung vor dem Einbau der ROTEX 65. Sie dienen dem Vergleich mit dem in Kapitel 5 beschriebenen Konstruktionsstand. [P6]

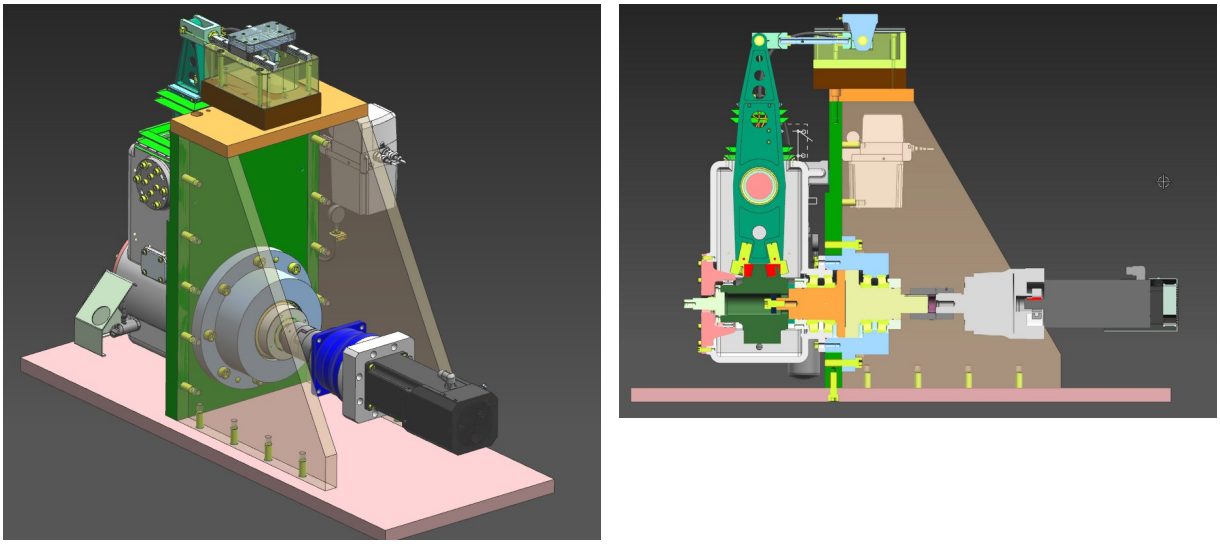


Abbildung 24 Grundaufbau am 7. September 2026

Eigene CAD-Ansichten [P6].

Am 7. September waren Grundplatte, Aufnahme, Lagerglocke und Antrieb angeordnet. Die obere Führung war noch frei zugänglich. Dieser Stand lag den ersten Wellen- und Lagerrechnungen zugrunde. [P6, R5, R6]

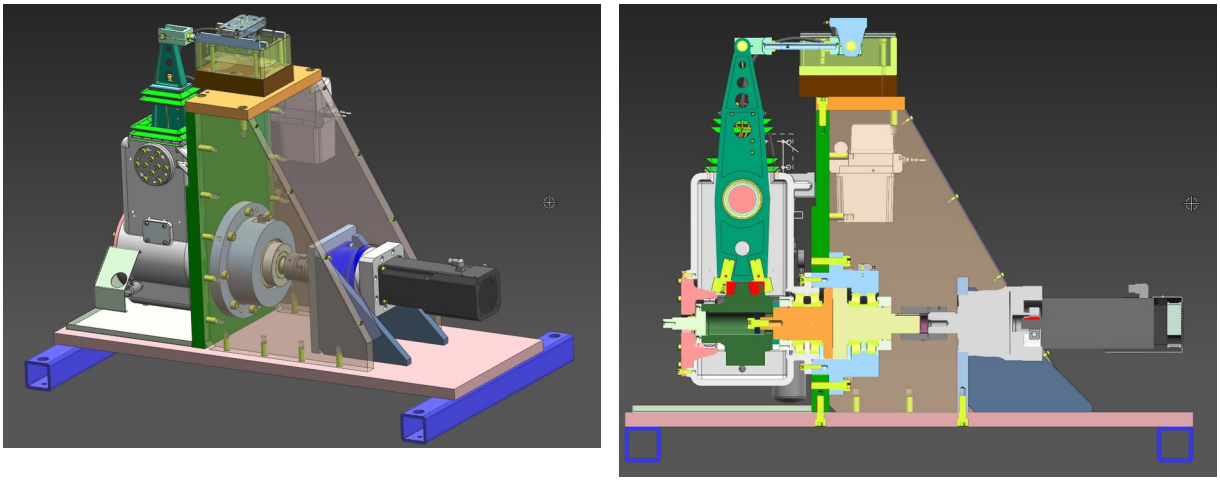


Abbildung 25 Ausarbeitung am 14. September 2026

Eigene CAD-Ansichten [P6].

Am 14. September kamen Querträger, Motorenkonsole und Auffangwanne hinzu. Schutzhaube und Heberollen waren noch nicht eingebaut. [P6]

Ergänzung von Schutzhaube und Heberollen

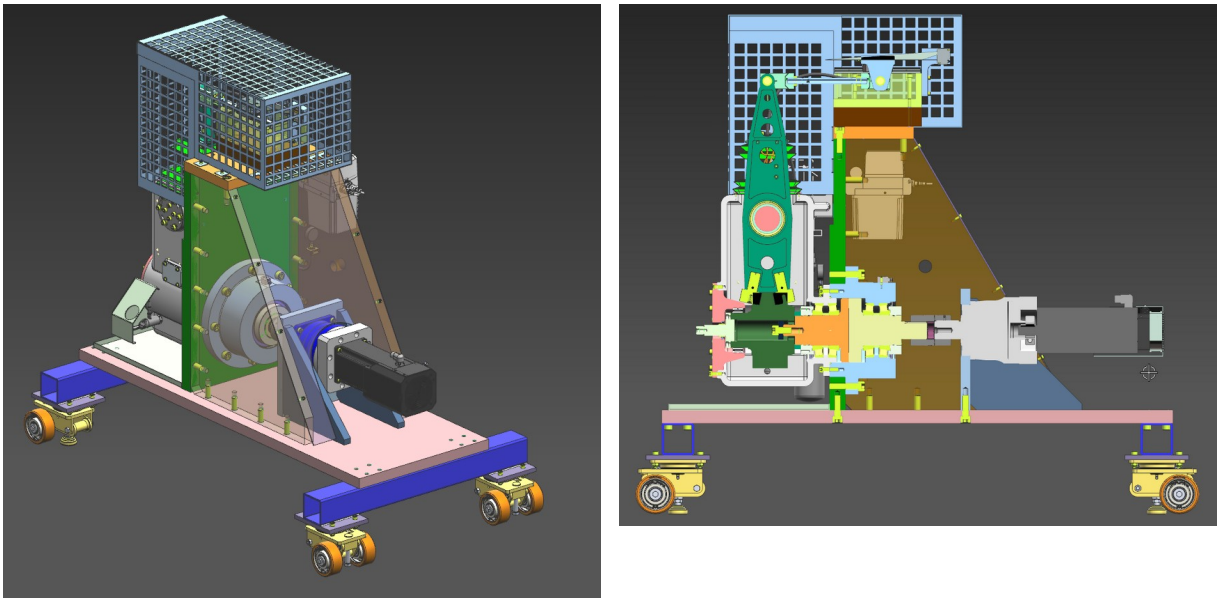


Abbildung 26 Gesamtaufbau und Schnitt am 23. September 2026

Eigene CAD-Ansichten vom 23.09.2026 [P6]. Historischer Zwischenstand mit Schutzhaube und Heberollen, noch vor dem Einbau der ROTEX 65.

Anlage J Ergänzende Projektbelege

Die folgenden Belege ergänzen die Projektunterlagen. Modellhinweise werden als Lesefassung des gelieferten Originaltexts wiedergegeben. Persönliche Angaben sind als solche gekennzeichnet.

J1 CAD-Modellhinweise zum Getriebe [P7] 237

J1 CAD-Modellhinweise zum Motor [P7] 238

J2 NX-Auswertung des Aufbaus [P8] 239

J3 Historischer Rechenauszug [R7] 240

J4 Persönliche Projektangaben [P12, P14, P15] 244

J1 CAD-Modellhinweise zum Getriebe

[P7] Originaltext der mitgelieferten Beckhoff-Modellhinweise. Die STEP-Geometrien selbst werden in dieser PDF nicht als 3D-Dateien wiedergegeben.

BECKHOFF Automation GmbH & Co. KG

Getriebe AG2300
Gearbox AG2300

Informationen zu den technischen Zeichnungen (STEP)
Information to the technical drawings (STEP)

Die Endung F6 steht stellvertretend für alle flanschkompatiblen Motorbaureihen:
Flanschgröße F6: AM806x, AM856x, AM306x, AM356x

The ending F6 representative all flange compatible motor series:
Flange code F6: AM806x, AM856x, AM306x, AM356x

Es wurden nur die Zeichnungen mit der Passfeder generiert. Wenn die Passfeder nicht benötigt wird, kann sie einfach aus der Zeichnung entfernt werden.

Drawings are only with keyway-option. If you don’t need the keyway you can delete it from the drawing.

Beispiel für die verschiedenen AG2300 Varianten, 1-stufig:
Example for the different AG2300 versions, 1 stage:

Getriebe / Gearbox: Zeichnung / Drawing:
AG2300-+SP140S-MF1-i-0I1-F6 ag2300-sp140s-mf1-i-1i1-f6
AG2300-+SP140S-MF1-i-1I1-F6 ag2300-sp140s-mf1-i-1i1-f6
AG2300-+SP140S-MF1-i-0I0-F6 ag2300-sp140s-mf1-i-1i1-f6
AG2300-+SP140S-MF1-i-1I0-F6 ag2300-sp140s-mf1-i-1i1-f6
AG2300-+SP140S-MC1-i-0K1-F6 ag2300-sp140s-mc1-i-1k1-f6
AG2300-+SP140S-MC1-i-1K1-F6 ag2300-sp140s-mc1-i-1k1-f6
AG2300-+SP140S-MC1-i-0K0-F6 ag2300-sp140s-mc1-i-1k1-f6
AG2300-+SP140S-MC1-i-1K0-F6 ag2300-sp140s-mc1-i-1k1-f6

Beispiel für die verschiedenen AG2300 Varianten, 2-stufig:
Example for the different AG2300 versions, 2 stage:

Getriebe / Gearbox: Zeichnung / Drawing:
AG2300-+SP140S-MF2-i-0K1-F6 ag2300-sp140s-mf2-i-1k1-f6
AG2300-+SP140S-MF2-i-1K1-F6 ag2300-sp140s-mf2-i-1k1-f6
AG2300-+SP140S-MF2-i-0K0-F6 ag2300-sp140s-mf2-i-1k1-f6
AG2300-+SP140S-MF2-i-1K0-F6 ag2300-sp140s-mf2-i-1k1-f6
AG2300-+SP140S-MC2-i-0K1-F6 ag2300-sp140s-mc2-i-1k1-f6
AG2300-+SP140S-MC2-i-1K1-F6 ag2300-sp140s-mc2-i-1k1-f6
AG2300-+SP140S-MC2-i-0K0-F6 ag2300-sp140s-mc2-i-1k1-f6
AG2300-+SP140S-MC2-i-1K0-F6 ag2300-sp140s-mc2-i-1k1-f6

Bitte achten Sie bei der Bestellung auf die korrekte Artikelbezeichnung:
0X1 = glatte Welle und Standard-Verdrehspiel
1X1 = Passfeder und Standard-Verdrehspiel
0X0 = glatte Welle und reduziertes Verdrehspiel
1X0 = Passfeder und reduziertes Verdrehspiel
Pay attention to define the type of shaft and backlash in your order code:
0X1 = smooth shaft and standard backlash
1X1 = keyway and standard backlash
0X0 = smooth shaft and reduced backlash
1X0 = keyway and reduced backlash

i= Übersetzungen (Abmessungen innerhalb einer Getriebestufe sind immer identisch)
i= ratios (dimensions within the same gearbox stage does not change)

J1 CAD-Modellhinweise zum Motor

[P7] Originaltext der mitgelieferten Beckhoff-Modellhinweise. Die STEP-Geometrien selbst werden in dieser PDF nicht als 3D-Dateien wiedergegeben.

BECKHOFF Automation GmbH

Motor AM8000 mit Lüfter
Motor AM8000 with fan
AM805x
AM806x
AM807x

Informationen zu den technischen Zeichnungen (STEP)
Information to the technical drawings (STEP)

Die Motoren sind nur in folgenden Punkten unterschiedlich:
1.) MIT oder OHNE Bremse
2.) RESOLVER oder andere Feedbacksysteme
3.) MIT oder OHNE Passfeder

The motors only differ in following points:
1) WITH or WITHOUT brake
2) RESOLVER or other feedback systems
3) WITH or WITHOUT keyway

Beispiel für die verschiedenen Varianten:
Example for the different versions:

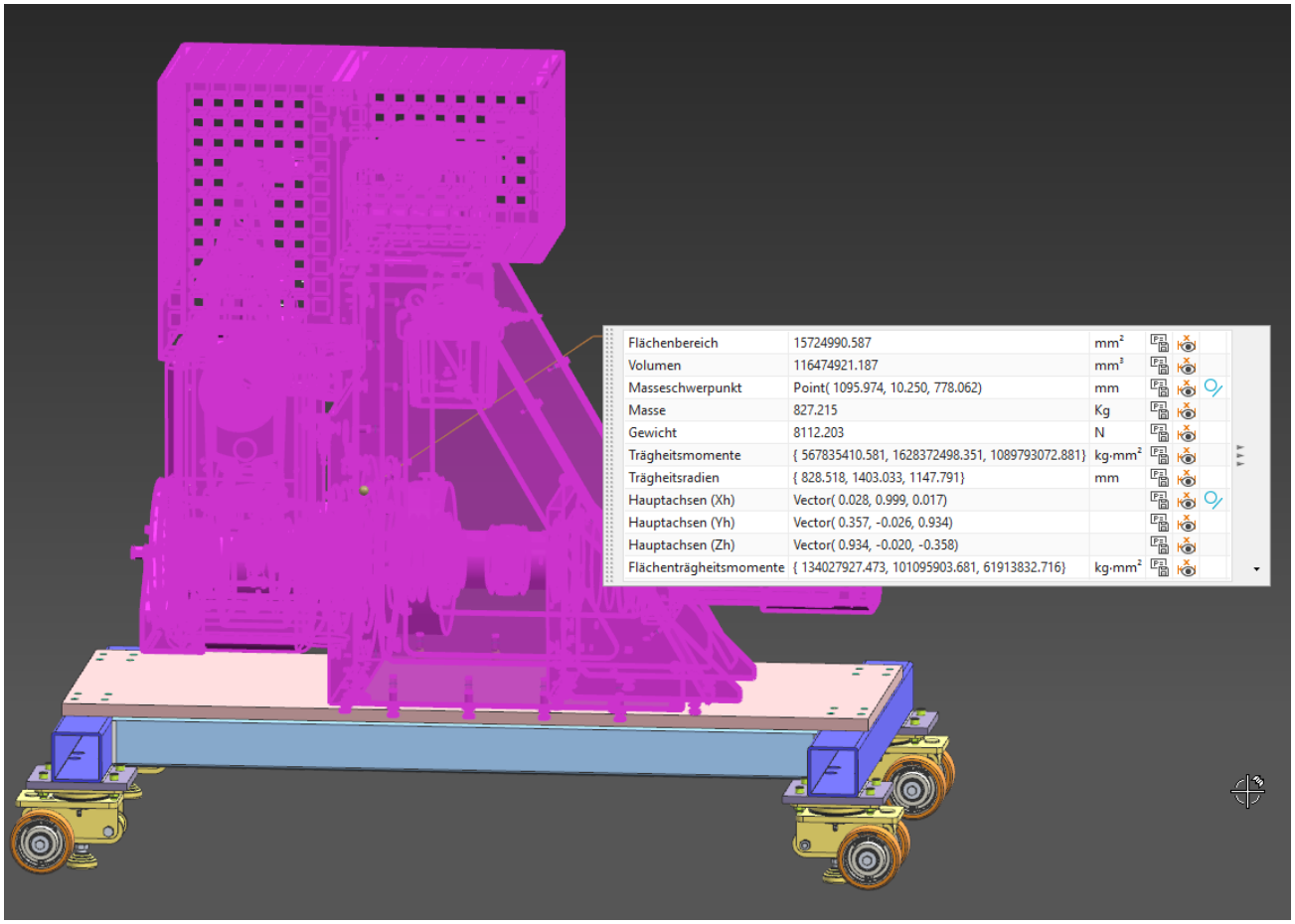
Motor: Zeichnung / Drawing:
AM8051-0x0A AM8051-xx0A
AM8051-1x0A AM8051-xx0A
AM8051-0x0B AM8051-xx0B
AM8051-1x0B AM8051-xx0B
AM8051-0x1A AM8051-xx1A
AM8051-1x1A AM8051-xx1A
AM8051-0x1B AM8051-xx1B
AM8051-1x1B AM8051-xx1B
AM8051-0x2A AM8051-xx1A
AM8051-1x2A AM8051-xx1A
AM8051-0x2B AM8051-xx1B
AM8051-1x2B AM8051-xx1B

Es wurden nur die Zeichnungen mit der Passfeder generiert. Wenn die Passfeder nicht benötigt wird, kann sie einfach aus der Zeichnung entfernt werden.

We only generated drawings with keyway-option. If you don’t need the keyway you can delete it from the drawing.

J2 NX-Auswertung des Aufbaus

[P8] Bereitgestellte Abbildung «Schwerpunkt aufbau.png» vom 19.10.2026. Sie dokumentiert den ausgewählten Baugruppenumfang und den damaligen CAD-Stand.



Originalabbildung mit NX-Massen- und Schwerpunktdaten. Die dargestellte Auswahl ist kein Beleg für die Gesamtmasse eines späteren Konstruktionsstands.

J3 Historischer Rechenauszug

[R7] Grundplatte_und_Standsicherheit.png · Ausschnitt 1/4 des vollständigen Originals. Historischer 40-mm-Ansatz; vom ergänzenden Rechenstand C7 zu unterscheiden.

Grundplatte und Standsicherheit

Zwei Teilnachweise passend zur Dokumentation V1.13. 1: Grundplatte unter Eigengewicht. 2: Seitliches abkippen

1 Festigkeitsnachweis der Grundplatte

1.1 Eingaben und Werkstoff

$g := 9.81 = 9.81$ Erdbeschleunigung [m/s²]

$mAufbau := 1026.609 = 1026.609$ Aufbaumasse ohne Grundplatte [kg], NX

$mPlatte := 296.769 = 296.769$ Masse der Grundplatte [kg], NX

$xAufbau := 1118.384 = 1118.384$ X-Schwerpunkt Aufbau [mm], NX

$xPlatte := 1239.647 = 1239.647$ X-Schwerpunkt Grundplatte [mm], NX

$yAufbau := 8.717 = 8.717$ Y-Schwerpunkt Aufbau [mm], NX

$xA := 490 = 490$ X-Lage Auflager A [mm], STEP

$xB := 1990 = 1990$ X-Lage Auflager B [mm], STEP

$L := xB - xA = 1500$ Abstand der Auflager [mm]

$bPlatte := 400 = 400$ Referenzbreite des geschwächten Plattenquerschnitts [mm]

$hPlatte := 40 = 40$ Plattendicke [mm]

$EModul := 210000 = 210000$ Elastizitätsmodul Stahl [N/mm²], bisheriger RM-Ansatz [Q39]

$RePlatte := 225 = 225$ Streckgrenze für 40 mm Dicke [N/mm²], bisheriger Werkstoffansatz [Q41]

$SFlSoll := 1.5 = 1.5$ Vergleichswert gegen Fliessen [-], RM-Tabellenbuch 2011 [Q40]

Die projizierte Restbreite am untersuchten Lochschnitt beträgt 600 − 5·33 − 2·15,996 = 403,008 mm. Für den

Ersatzbalken auf 400 mm abgerundet. Dies ist keine Erfassung örtlicher Kerbspannungen. Der Wert 1,5

stammt aus dem bereitgestellten historischen RM-Tabellenbuch 2011 und ist als Vergleichswert verwendet.

J3 Historischer Rechenauszug

[R7] Grundplatte_und_Standsicherheit.png · Ausschnitt 2/4 des vollständigen Originals. Historischer 40-mm-Ansatz; vom ergänzenden Rechenstand C7 zu unterscheiden.

1.2 Auflagerkräfte aus den NX-Schwerpunkten

$FAufbau := mAufbau \cdot g = 10071.03429$ Gewichtskraft Aufbau [N]

$FPlatte := mPlatte \cdot g = 2911.30389$ Gewichtskraft Grundplatte [N]

$FPlattenlast := FAufbau + FPlatte = 12982.33818$ Gesamte Gewichtskraft für die Plattenrechnung [N]

$$RB := \frac{FAufbau \cdot xAufbau - xA + FPlatte \cdot xPlatte - xA}{L} = 5673.95136$$

Auflager B aus Summe der Momente um A = 0 [N]

$RA := FPlattenlast - RB = 7308.38682$ Auflager A aus Summe der Vertikalkräfte = 0 [N]

$RestKraft := RA + RB - FPlattenlast = 2.65846 \cdot 10^{-12}$ Kontrolle Kraftgleichgewicht; Sollwert 0 [N]

Kontrolle Momentengleichgewicht um A; Sollwert 0 [Nmm]

$RestMoment := RB \cdot L - FAufbau \cdot xAufbau - xA - FPlatte \cdot xPlatte - xA = 1.09559 \cdot 10^{-8}$

1.3 Referenzbiegung und Festigkeit

$APlatte := bPlatte \cdot hPlatte = 16000$ Referenzquerschnittsfläche [mm²]

$$IPlatte := \frac{bPlatte \cdot hPlatte^3}{12} = 2.13333 \cdot 10^6$$ Flächenträgheitsmoment [mm⁴]

$$WPlatte := \frac{bPlatte \cdot hPlatte^2}{6} = 106666.66667$$ Widerstandsmoment [mm³]

$$Rref := \frac{FPlattenlast}{2} = 6491.16909$$ Auflagerkraft im mittig belasteten Referenzmodell [N]

$$Mmax := \frac{FPlattenlast \cdot L}{4} = 4.86838 \cdot 10^6$$ Maximales Biegemoment in Feldmitte [Nmm]

$$sigmaB := \frac{Mmax}{WPlatte} = 45.64103$$ Maximale Biegenennspannung [N/mm²]

$$tauMax := \frac{1.5 \cdot Rref}{APlatte} = 0.60855$$ Maximale Schubnennspannung [N/mm²]

$sigmaV := sigmaB^2 + 3 \cdot tauMax^2)^{0.5} = 45.6532$ GEH-Vergleichsspannung aus getrennten Maxima [N/mm²]

$$SFl := \frac{RePlatte}{sigmaV} = 4.92846$$ Nominelle Sicherheit gegen Fliessen [-]

$$AusnPlatte := \frac{SFlSoll}{SFl} = 0.30435$$ Ausnutzung zum gewählten Vergleichswert; erfüllt wenn <= 1 [-]

$$wMax := \frac{FPlattenlast \cdot L^3}{48 \cdot EModul \cdot IPlatte} = 2.03755$$ Durchbiegung des mittig belasteten Ersatzbalkens [mm]

J3 Historischer Rechenauszug

[R7] Grundplatte_und_Standsicherheit.png · Ausschnitt 3/4 des vollständigen Originals. Historischer 40-mm-Ansatz; vom ergänzenden Rechenstand C7 zu unterscheiden.

Ergebnis: SFl = 4,93 > 1,5; der Nennspannungsvergleich des Referenzbalkens unter Eigengewicht ist erfüllt.

2 Standsicherheit gegen Kippen

2.1 Gesamtgewicht und Standfläche

$mTraeger := 16.405125830408494 = 16.40513$ Masse je Querträger [kg], aus STEP-Volumen und Stahldichte

$mRollenplatte := 4.176483091591726 = 4.17648$ Masse je Rollenplatte [kg], aus STEP-Volumen und

$mKleinteile := 3.0179451336530945 = 3.01795$ Übrige modellierte Stahlmassen [kg], bisherige STEP-Massenbilanz

$mRolle := 14.9 = 14.9$ Masse je Heberolle [kg], Blickle HRLSD-GTH 127K [Q35]

Gesamtmasse ohne Doppelzählung [kg]

$mGesamt := mAufbau + mPlatte + 2 \cdot mTraeger + 4 \cdot mRollenplatte + mKleinteile + 4 \cdot mRolle = 1435.51213$

$FGesamt := mGesamt \cdot g = 14082.37399$ Gesamtgewichtskraft für Standsicherheit [N]

$StandLaenge := xB - xA = 1500$ Abstand Fussachsen in Längsrichtung [mm]

$StandBreite := 780 = 780$ Abstand Fussachsen in Querrichtung [mm], STEP

$bStand := \frac{StandBreite}{2} = 390$ Halbe Standbreite [mm]

$MGversatz := FAufbau \cdot yAufbau = 87789.20591$ Gewichtsmoment aus Y-Versatz des Aufbaus [Nmm]

$yGesamt := \frac{MGversatz}{FGesamt} = 6.23398$ Gesamtschwerpunkt Y bei symmetrischen übrigen Massen [mm]

$HebelGewicht := bStand - yGesamt = 383.76602$ Gewichtshebel zur betrachteten Kippkante [mm]

$MStand := FGesamt \cdot HebelGewicht = 5.40434 \cdot 10^{6}$ Rückstellendes Gewichtsmoment zur Kippkante [Nmm]

Die Massenbilanz ist ein Rechenwert, kein gewogenes Gesamtgewicht. Die übrigen Massen werden in Y symmetrisch angesetzt. Unter Eigengewicht ist MStand positiv: Im betrachteten seitlichen Freischnitt besteht kein Kippen. Die reine Eigengewichtslage in anderen Richtungen wird hier nicht separat nachgewiesen.

J3 Historischer Rechenauszug

[R7] Grundplatte_und_Standsicherheit.png · Ausschnitt 4/4 des vollständigen Originals. Historischer 40-mm-Ansatz; vom ergänzenden Rechenstand C7 zu unterscheiden.

2.2 Eigengewicht und reines Antriebsgrenzmoment

$MKipp := 546675 = 546675$ Antriebsgrenzmoment als äusseres Kippmoment [Nmm] = 546,675 Nm [Q26/Q28]

$SKSoll := 2 = 2$ Gewählter Projektvergleich für Kippreserve [-]

$SK := \frac{MStand}{MKipp} = 9.88583$ Kippreserve im reinen Momentenlastfall [-]

$AusnKippen := \frac{SKSoll}{SK} = 0.20231$ Ausnutzung zum Projektvergleich; erfüllt wenn <= 1 [-]

$MRest := MStand - MKipp = 4.85766 \cdot 10^{6}$ Verbleibendes rückstellendes Moment [Nmm]

Ergebnis: SK = 9,89 > 2. Unter Eigengewicht und dem angesetzten reinen Antriebsgrenzmoment kippt das Modell nicht seitlich. Diese Aussage gilt ausschliesslich für den beschriebenen Lastfall und die vorausgesetzte Aufstellung.

2.3 Belastungsgrenze für eine zusätzliche Seitenkraft

Für eine zusätzliche Kraft H nach aussen in Höhe h gilt SK = MStand/(MKipp + H·h). Es wird keine tatsächliche Betriebskraft angenommen; berechnet wird nur die Kraftgrenze bei unverändertem Gesamtgewicht. Vertikale Entlastungen sind nicht enthalten.

$hKraft := 665 - 90 = 575$ Beispielhafte Angriffshöhe der Kraft über Boden [mm], Antriebsachse im

$HGrenze := \frac{MStand - MKipp}{hKraft} = 8448.10722$ Zusätzliche Seitenkraft bei Beginn globalen Kippens, SK = 1[N]

$HGrenzeS2 := \frac{\frac{MStand}{SKSoll} - MKipp}{hKraft} = 3748.68404$ Zusätzliche Seitenkraft bei Kippreserve 2 [N]

$SKKontrolle := \frac{MStand}{MKipp + HGrenzeS2 \cdot hKraft} = 2$ Rückrechnung am Kraftgrenzwert; Sollwert 2 [-]

Die Grenze bei SK = 2 beträgt 3,75 kN in 575 mm Höhe. Das ist keine ermittelte Betriebskraft. Für einen abschliessenden Kippnachweis fehlen die tatsächlichen äusseren Trägheitskräfte/-momente und die Prüfung sämtlicher Kippkanten. Eine Kippsicherheit für alle Betriebszustände kann ich nicht bestätigen.

J4 Persönliche Projektangaben

Lesefassung der dokumentierten Angaben des Verfassers. Diese Projektmitteilungen sind keine Herstellerbelege oder unabhängigen Prüfberichte.

[P12] Rücksprache zu den Fertigungskosten, 22.10.2026

Der Verfasser berichtete nach Rücksprache mit dem AVOR-Spezialisten von geschätzten Fertigungskosten von CHF 15’000 bis 17’000. Für interne Arbeiten wurden CHF 70/h, für externe Arbeiten CHF 150/h genannt. Grundplatte, Befestigungsplatte und Schweisskonstruktionen werden extern gefertigt; Blechteile und Verstrebungen werden wasserstrahlgeschnitten. Es handelt sich um eine Kostenschätzung, nicht um eine verbindliche Lieferantenofferte.

[P14] Werkstoffentscheidung, 22.10.2026

Gemäss dokumentierter Projektmitteilung wurde die Welle mit Kreuzscheibe konstruktiv von C45E (1.1191) auf 1.2312 geändert. Der Verfasser begründete den Verzicht auf eine erneute Berechnung mit der höheren Festigkeit des gewählten Werkstoffs. Die vorliegende Wellenberechnung bleibt der dokumentierte Rechenstand; diese Mitteilung ist kein neuer Festigkeitsnachweis.

J4 Projektklärungen vom 27.10.2026

[P15] Zusammenfassung der Antworten auf die handschriftlichen Dozentenhinweise.

Verantwortung des SMB

Die Sensorgrenzwerte werden durch den Sondermaschinenbau definiert. Seine Erfahrung bei der Getriebebeurteilung und beim Kunden vor Ort fliesst in die Bewertung ein. Entscheidend ist der erreichte Endzustand.

Handhabung und Schnittstelle

Die Gewichtsreduktion soll das Manövrieren des Prüfstands auf den Rollen erleichtern. An der Verbindung zwischen Prüfstandswelle mit Kreuzscheibe und Getriebewelle wurde das Gesamtspiel mit 0,05 mm angegeben; für die Ausrichtung wurde ein Ziel unter 0,05 mm genannt.

Ölversorgung

Die Schnecke ist vollständig in das Ölbad eingetaucht. Der SMB legt die Ölmenge und die entsprechenden Einstellungen bzw. Intervalle fest.

Schwingungsmessung

Für den VVB001 wurde die radiale Messrichtung zur Erfassung von Rucklern im Getriebe und in den Lagern hervorgehoben. Wiederholte Messungen sollen einen Referenzdatensatz aufbauen. Die technischen Messachsen richten sich nach dem Herstellerbeleg [H8].

Lastfall und Befestigung

Im vorgesehenen Prüfstandbetrieb wird ohne äussere Last geprüft. Die 7,5 kg betreffen die reale Maschine und werden als möglicher späterer Belastungsfall berücksichtigt. Die Befestigung erfolgt mit Muttern auf Gewindestiften, die in die Befestigungsplatte eingeschraubt und eingeklebt werden.

Anlage K Schulvorgaben und Quellenstatus

Die Richtlinien zur Diplomarbeit sind vollständig wiedergegeben. Nur in Buchform vorliegende Quellen sind bibliografisch nachgewiesen; Onlinequellen sind direkt verlinkt.

K1 Richtlinien Diplomarbeit Herbst 2026 [S1] 247

K2 Gedruckte Quellen [L1, L2, S3] 249

K3 Öffentliche Onlinequellen [S4, S5] 250

Schweizerische
Fachschule
TEKO

Richtlinien Diplomarbeit Herbst 2026

alle Studienrichtungen (ohne Technik HF Bauplanung Architektur)

Ziel und Zweck

Mit der Diplomarbeit zeigst Du, dass Du eine Aufgabenstellung innerhalb einer vorgeschriebenen Zeitspanne selbstständig, umfassend und zweckmässig lösen sowie sauber dokumentieren und präsentieren kannst.

Daten

Orientierung Diplomarbeit	**Januar 2026,** durch Schulleitung
Themenabgabe	Dienstag, 26. Mai 2026, 17.00 Uhr
Rückmeldungen zur Themeneingabe	ab Montag, 29. Juni 2026
Start Diplomarbeit	Freitag, 04. September 2026
Abgabe Diplomarbeit	Montag, 2. November 2026, 17.00 Uhr
Präsentationen	Freitag/Samstag, 13./14. November 2026
Diplomfeier	Samstag, 5. Dezember 2026, 10.00 Uhr

Ablauf

1. Orientierung

Zu Beginn des letzten Semesters orientiert Dich der Abteilungsvorstand oder die Schulleitung über die Diplomarbeit, die einzuhaltenden Termine sowie erste Vorbereitungsarbeiten.

2. Themensuche

Anschliessend an die Orientierung suchst Du ein Thema, welches Du in Deiner Diplomarbeit behandeln willst. Geeignet sind Themen aus Deinem Berufsumfeld mit direktem Bezug zur Studienrichtung. In der Regel ist die Diplomarbeit eine Einzelarbeit, umfangreiche Diplomarbeiten können auch zu zweit erarbeitet werden.

3. Themeneingabe

Du reichst Dein Thema gemäss der Vorlage «Themeneingabe» via Dateiupload im Extranet unter «Praktika» ein.

4. Themenabstimmung

In Absprache mit Abteilungsvorstand und Fachdozierenden wird das Thema beurteilt und wenn notwendig präzisiert bzw. abgegrenzt.

5. Start Diplomarbeit

Wir bestätigen Dir Dein gewähltes Diplomthema und den Namen der Dich betreuenden Person am Startdatum der Diplomarbeit. Datum, Zeit und Ort der Diplomarbeitspräsentation teilen wir Dir während der Erstellung der Diplomarbeit mit.

6. Betreuung

Vereinbare zu Beginn der Diplomarbeit mit der betreuenden Person zwei Vorzeigetermine. Den ersten Termin vereinbarst Du am Anfang, damit die Zielvorgaben abgestimmt und die Aufgabenstellung besprochen werden können. Ein zweiter Vorzeigetermin nach der Hälfte der zur Verfügung stehenden Zeit dient dazu, den Stand der Arbeit zu kontrollieren und eventuelle Korrekturen anzubringen.

Besprechungspunkte:

- Standortbestimmung in Bezug auf die Zielsetzung
- Aufzeigen allfällig aufgetretener Probleme mit Lösungsvorschlägen
- Aufbau und Struktur der Dokumentation
- Fragen zur Vorbereitung der Präsentation und Onlinepublikation

7. Abgabe Diplomarbeit

- Je ein elektronisches Exemplar in einer pdf-Datei an das TEKO-Sekretariat via Upload im Extranet unter «Praktika» und an die betreuende Person via E-Mail.
- Sofern die betreuende Person dies für die Korrektur verlangt: ein Exemplar gebunden im Format A4.

Der Dateiname des pdf-Dokuments muss wie folgt aufgebaut sein: DA_Jahr _Name_Vorname_Klasse.pdf.

8. Onlinepublikation

Zur Diplomarbeit gehört auch eine Onlinepublikation der Diplomarbeit. Diese wird auf einer von der TEKO zur Verfügung gestellten Plattform realisiert und dient dazu, Deine Arbeit einem breiten Publikum nachhaltig zugänglich zu machen. Die Vorstellung der Onlinepublikation ist fester Bestandteil der Diplomarbeitspräsentation. Den Zugang zur Plattform werden wir Dir im Verlauf der Diplomarbeit via Mail bekanntgeben.

Die Publikation umfasst folgende Inhalte: Kurzbeschreibung des Ergebnisses resp. des Produktes, Nutzen / Mehrwert für den Auftraggeber, Veranschaulichung mittels frei wählbarer Elemente (z.B. Fotos, Filme...).

9. Schlussbesprechung und Präsentation

Den Abschluss der Diplomarbeit bildet die Präsentation in Anwesenheit der betreuenden Person und des neutralen Experten. Du hast 15 Minuten Zeit für die Präsentation Deiner Arbeit und 15 Minuten für die Beantwortung von Fragen der Experten. Der Inhalt der Präsentation richtet sich nach den in der Aufgabenstellung definierten Vorgaben bzw. nach den mit der betreuenden Person besprochenen Punkten.

Vertrauliche Daten in der Diplomarbeit

Vertrauliche Diplomarbeiten musst Du durch die Schulleitung schriftlich bewilligen lassen. Auf der Titelseite muss klar der Vermerk «vertraulich» sichtbar sein. Bei vertraulichen Arbeiten erhältst Du die physischen Exemplare Deiner Diplomarbeit nach der Rekursfrist zurück. Für die Onlinepublikation kannst Du selbst bestimmen, welche Inhalte Du zugänglich machen willst, oder ob Deine Publikation offline bleiben soll.

Form, Aufwand

Die Diplomarbeit verfasst Du mit einem Textverarbeitungsprogramm im Format A4, einseitig beschrieben, fortlaufend nummeriert, gebunden oder in einem Ordner (wenn verlangt). Rechne mit ca. 150 – 250 Stunden Arbeitsaufwand. Die Arbeit umfasst eine schriftliche Dokumentation und je nach Aufgabenstellung bzw. Fachrichtung einen zeichnerisch-konstruktiven und/oder experimentellen Teil (z.B. Modell, Prototyp, Labor-Aufbau etc.).

Sofern Arbeitsunterlagen aus Deiner Unternehmung verwendet werden, stelle sicher, dass Du dazu das Einverständnis besitzt. Benützte Quellen sind lückenlos aufzuführen.

Gliederung der Diplomarbeit

Im Rahmen des Studiums hast Du ein breites Grundlagenwissen im Projektmanagement aufgebaut und in Projekt- und Semesterarbeiten angewendet. Die Dokumentation der Diplomarbeit orientiert sich an genau diesen Grundsätzen. Die Arbeit soll beim Leser den Eindruck einer sinnvollen und geschlossenen Arbeit hinterlassen. Es muss ein «roter Faden» ersichtlich sein. Der chronologische Ablauf soll folgende Struktur aufweisen:

- Deckblatt: Titel der Diplomarbeit, Name der Schule, Name des Diplomanden, Ausbildung und Jahr, wenn vertraulich: Vermerk "vertraulich" auf der Titelseite
- Inhaltsverzeichnis
- Management Summary, max. 2 A4-Seiten
- Kurzer beruflicher Lebenslauf
- Aussagekräftiges Qualifikationsprofil (sofern verlangt, max. 2 A4-Seiten). Die Form ist grundsätzlich frei wählbar. Jedoch muss der Bezug zur Studienrichtung basierend auf dem Rahmenlehrplan klar erkennbar sein.
- Aufgabenstellung / Pflichtenheft / Zieldefinition
- Terminplan (soll/ist)
- Lösung der Aufgabe: Berichte / Programme / Ablaufpläne / Lösungswege / Entwürfe / Zeichnungen / Modelle / usw.
- Vollständige Quellenangaben und Literaturverzeichnis
- Reflexion Weg zum Ziel sowie "Lessons learned"
- Persönliches Schlusswort, Verdankungen und Eigenständigkeits-Erklärung

Bewertung der Diplomarbeit

Dein/e Betreuer/in bewertet Deine Diplomarbeit anhand eines vorgegebenen Beurteilungsrasters (Schwierigkeitsgrad, Projektinitialisierung und -planung, Realisierung, Dokumentation, Präsentation, Onlinepublikation) in Abstimmung mit dem/der Experten/in. Bei Diplomarbeiten, welche im Auftrag eines Betriebes gemacht werden, fliesst die Bewertung der betrieblichen Fachperson in angemessener Form in die Gesamtbeurteilung ein. Bei Gruppenarbeiten kann jeder Diplomand einzeln bewertet werden. Die Schlussnote wird auf eine Zehntelsnote gerundet.

Diplomierung

Die Diplomarbeit ist bestanden, wenn Du mindestens die Note 4.0 erreicht hast. Zur Erlangung des Diploms musst Du zudem sämtliche finanziellen Verpflichtungen gegenüber der TEKO erfüllt haben. Bei Nichtbestehen kann die Diplomarbeit einmalig mit neuem Thema wiederholt werden. Du bist selber für die Einhaltung sämtlicher Termine verantwortlich. Massgebend ist das Datum des Uploads oder E-Mail Versands. Zu spät eintreffende Arbeiten gelten als nicht eingereicht.

Fristerstreckung

Eine Fristerstreckung des Abgabetermins der Diplomarbeit kann nur bei nachgewiesener Krankheit mit Arztzeugnis oder Militärdienst mit Marschbefehl geltend gemacht werden.

Verwertungsrecht

Diplomarbeiten, welche im Besitze der TEKO bleiben, sind für folgende Verwendungen vorgesehen: Ausstellungen, Orientierungen, Anerkennungsverfahren und als Rekursbeweise.

Beschwerden und Rekurs

Gegen promotionsrelevante Noten kannst du innert 14 Tagen seit Bekanntgabe mit schriftlicher Begründung Rekurs erheben. Erste Rekursinstanz ist die Schulleitung.

K2 Gedruckte Literatur und Normengrundlage

Die Quellen [L1], [L2] und [S3] liegen gemäss Angabe des Verfassers ausschliesslich in Buchform vor. Die bibliografischen Angaben und Fundstellen werden aus dem Quellenverzeichnis der Arbeit übernommen.

[L1] Spura, Christian; Wittel, Herbert; Jannasch, Dieter. Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung. 17. Auflage, Springer Vieweg, 2023. Kap. 3 S. 7/11, Nr. 1–3/56; Kap. 6 S. 37–41, Nr. 23–39. Gedruckte Quelle.

Gedruckte Quelle; kein digitaler Auszug beigefügt. Die angegebenen Seiten und Tabellen beziehen sich auf das gedruckte Werk. Der Link aus dem Quellenverzeichnis führt zu diesem bibliografischen Nachweis.

[L2] Roloff/Matek Maschinenelemente Tabellenbuch, Ausgabe 2011. TB 1-1 a/i S. 1/4, TB 1-14 S. 27–28, TB 3-14 a S. 59 und TB 11-6 S. 124–125. Gedruckte Quelle. Ältere Lehrbuchausgabe; Formel- und Tabellennummern nicht zwischen Ausgaben gleichgesetzt.

Gedruckte Quelle; kein digitaler Auszug beigefügt. Die angegebenen Seiten und Tabellen beziehen sich auf das gedruckte Werk. Der Link aus dem Quellenverzeichnis führt zu diesem bibliografischen Nachweis.

[S3] EN ISO 13857. Tabelle 4, Normengrundlage zu Sicherheitsabständen beim Hindurchreichen durch regelmässige Öffnungen. Gedruckte Quelle; Ausgabejahr in den Quellenangaben nicht angegeben. Originalfassung und Anwendungsbedingungen vor Abschluss der Schutzkonstruktion ergänzen und prüfen.

Gedruckte Quelle; kein digitaler Auszug beigefügt. Die angegebenen Seiten und Tabellen beziehen sich auf das gedruckte Werk. Der Link aus dem Quellenverzeichnis führt zu diesem bibliografischen Nachweis.

K3 Öffentliche Onlinequellen

Quellenblätter mit direkten Links zur Originalveröffentlichung. Die vollständigen Normen- und Leitfadentexte sind hier nicht reproduziert.

[S4] ISO. ISO 12100:2010, Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction. Öffentliche Normbeschreibung, Abschnitte Abstract und Status; abgerufen 25.09.2026. Methodischer Bezug, keine Wiedergabe einer vollständigen Normprüfung.

Originalquelle S4 öffnen

https://www.iso.org/standard/51528.html

[S5] Europäische Kommission. Leitfaden für die Anwendung der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, Auflage 2.2, Oktober 2019. Enthält Richtlinientext Anhang I, 1.1.2, 1.2.5 und 1.4.2.2; Erläuterungen insbesondere § 204, Druckseiten 225–227 und 245–246. Deutsche Fassung, bereitgestellt auf maschinenrichtlinie.de; abgerufen 25.09.2026.

Originalquelle S5 öffnen

https://www.maschinenrichtlinie.de/fileadmin/dokumente/2019_10_24_leitfaden-fuer-anwendung-maschinenrichtlinie-2006-42-eg.pdf