

Krankentragesystem für einen Rettungswagen

Organisatorisches und allgemeine Aufgabenstellung

Organisation

Aufbau der Übung

- In der Übung zur KMT 2 wird über das komplette Semester hinweg ein zusammenhängendes Projekt bearbeitet.
- Es werden 4er Teams gebildet.
- Es gibt 4 Meilensteine mit Anwesenheitspflicht:
 - Kurzpräsentationen, jeweils etwa 5 Minuten (kein PowerPoint)
 - 4 Teammitglieder und 4 Meilensteine = jeder präsentiert einmal
 - jedes Teammitglied macht eine handschriftliche Ausarbeitung
- Restliche Termine: Betreutes Arbeiten. Keine Anwesenheitspflicht aber Empfehlung diese Möglichkeit zu nutzen!

Termine

Datum	Uhrzeit	Veranstaltung	Raum
09.04.2019	-	-	-
16.04.2019	09:45 bis 11:15	Einführung KMT 2-Übung	V 9.01
23.04.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Betreutes Arbeiten	PWR 9.1.268 & 9.3.262
30.04.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Meilenstein 1	PWR 9.1.268 & 9.3.262
07.05.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Betreutes Arbeiten	PWR 9.1.268 & 9.3.262
14.05.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Betreutes Arbeiten	PWR 9.1.268 & 9.3.262
21.05.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Meilenstein 2	PWR 9.1.268 & 9.3.262
28.05.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Betreutes Arbeiten	PWR 9.1.268 & 9.3.262
04.06.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Meilenstein 3	PWR 9.1.268 & 9.3.262
11.06.2019	-	Pfingstferien	-
18.06.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Betreutes Arbeiten	PWR 9.1.268 & 9.3.262
25.06.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Betreutes Arbeiten	PWR 9.1.268 & 9.3.262
02.07.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Betreutes Arbeiten	PWR 9.1.268 & 9.3.262
09.07.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Meilenstein 4	PWR 9.1.268 & 9.3.262
16.07.2019	09:45 bis 11:15 & 11:30 bis 13:00	Nachtestat aus Meilenstein 4	PWR 9.1.268 & 9.3.262

Wichtig: Dieser Plan ist vorläufig. Sollten sich Änderungen ergeben, werden wir uns bei Ihnen melden.

Zeiten und Räume

Raum	9.1.268		9.3.262	
Tutor	Laura Löhnert	Steffi Kunkel	Carla Siegle	Matthias Wolf
09:45 bis 11:15 Uhr	101	102	103	104
11:30 bis 13:00 Uhr	201	202	203	204

Teams bilden

- Innerhalb jeder Gruppe werden selbstständig Teams gebildet
- Jeweils maximal 4 und minimal 3 Personen
- Teamsprecher: Verantwortlich für Kommunikation
- Teamsprecher melden ihr Team bitte zeitnah an kmt@imt.uni-stuttgart.de

Zugang zu Informationen

- ILIAS & C@MPUS
- IMT-Website: <https://www.imt.uni-stuttgart.de/lehre/vorlesungen/kmt/>
- Kontakt: kmt@imt.uni-stuttgart.de oder tutor.kmt@imt.uni-stuttgart.de
- Oder gerne auch kurz bei Max Schäfer anrufen: 0711 685-68392

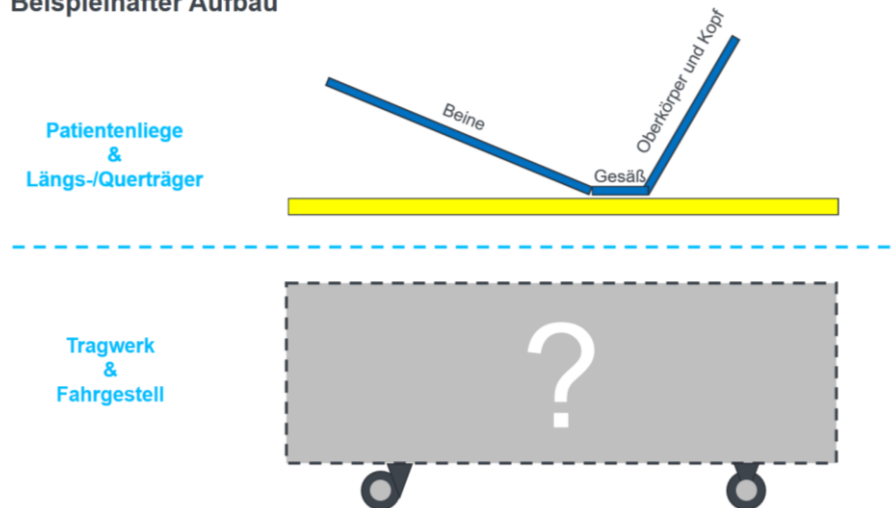
Übersicht Meilensteine

Termin	Meilenstein	Thema	Bearbeitungszeit
16.04		Einführung	
30.04.	M1	Projektplan Recherche Anforderungsliste Sammlung erster Ideen und Konzepte	2 Wochen
21.05.	M2	Konzeptskizzen Statik-Berechnung	3 Wochen
04.06.	M3	überschlägige Berechnung der Welle Auslegung der Lager	2 Wochen
09.07.	M4	Berechnung Schweißnaht Auslegung Rahmen Detailzeichnungen Spindel Auslegung der Welle	5 Wochen inkl. Pfingstferien

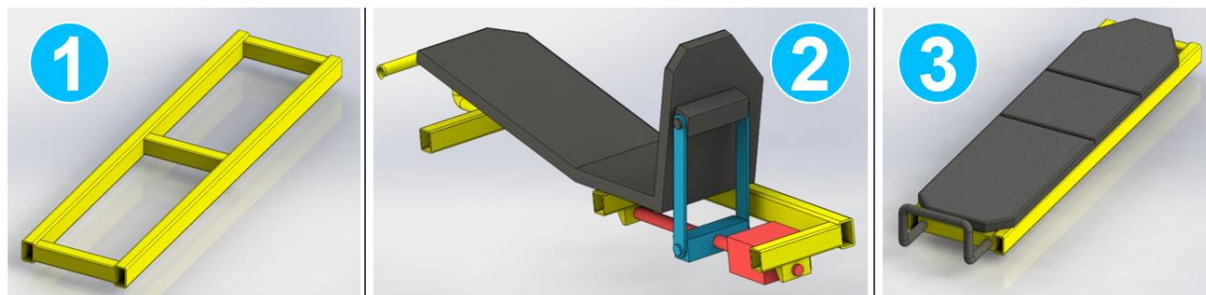
Allgemeine Aufgabenstellung

Konstruieren Sie ein fahrbares Krankentragesystem für den Einsatz in einem Rettungswagen. Als besonderes Merkmal soll die Kopf-/Rückenstütze der Patientenliege ergonomisch stufenlos winkelverstellbar sein. Das Krankentragesystem kann in die Patientenliege und in ein Fahrgestell unterteilt werden. Die beiden Teile können getrennt oder einteilig ausgeführt werden. Zusätzlich wird eine passende Aufnahme für das Krankentragesystem im Fahrzeug benötigt.

Beispielhafter Aufbau



Das Krankentragesystem und die Aufnahme im Rettungswagen sind zu konzipieren. Hiervon sollen Konzeptzeichnungen angefertigt werden. Im Verlauf des Projekts werden die folgenden drei Fokus-Baugruppen genauer betrachtet, rechnerisch überprüft und ausgelegt:



1. **Rahmen der Krankentrage:** Der Rahmen der Krankentrage ist aus Vierkanthohlprofilen aufgebaut. Diese werden miteinander verschweißt. Der Rahmen besteht aus zwei Längsträgern und mehreren Querträgern. Es soll überprüft werden, ob der Längsträger die Belastung sicher ertragen kann.
2. **Winkelverstellung der Kopf-/Rückenstütze:** Die Krankentrage muss mindestens eine dreiteilige Liegefläche aufweisen. Die Kopf-/Rückenstütze soll ergonomisch stufenlos winkelverstellbar sein. Die Winkelverstellung soll mit einer Gewindespindel erfolgen. Die Gewindespindel und die Lagerstellen sind auszulegen und zu gestalten.
3. **Bügelgriff:** An der Krankentrage ist an einem Querträger ein Bügelgriff zum Schieben der Trage vorgesehen. Dieser besteht aus einem gebogenen Rundrohrprofil. Der Bügelgriff ist mit dem Querträger verschweißt. Es soll überprüft werden, ob die Schweißnaht die Belastung sicher ertragen kann.

Es folgen jeweils weitere Informationsblätter zu den einzelnen Meilensteinen.

Meilenstein M1

Projektplan, Recherche, Anforderungsliste, Ideensammlung

Aufgabe

Um den ersten Meilenstein zu erreichen sind folgende Teilaufgaben zu bearbeiten:

- Projektplan
- Recherche
- Anforderungsliste
- Konzept- und Ideensammlung

Projektplan:

Der Projektplan soll eine Übersicht über den zeitlichen Ablauf des Projekts geben. Das Ziel der Arbeit ist anzugeben. Es sollen alle Termine und Zwischenziele enthalten sein. Die Aufgaben und Arbeitspakete sollen grob verteilt werden.

Der Projektplan muss sinnvoll gestaltet werden, es wird aber keine konkrete Form gefordert. Zur Anregung können Sie z.B. online mit Begriffen wie „Projektplan“, „Projektablaufplan“ oder „Zeitplan“ recherchieren.

Der Projektplan dient in erster Linie für Sie zur Orientierung. Er soll Ihnen zu jeder Zeit während des Semesters einen Überblick geben, in welchem Stadium der Entwicklungsaufgabe Sie sich aktuell befinden, welche Teilaufgaben bereits bearbeitet wurden und welche Aufgaben noch ausstehen.

Recherche:

Suchen Sie nach Informationen zum Thema! Recherchieren Sie nach geltenden Normen sowie nach Herstellern und deren Lösungsvarianten. Schauen Sie sich außerdem die verschiedenen Anwendungsfälle des Produktes an (Tipp: YouTube).

Stellen Sie Ihre Rechercheergebnisse sauber geordnet dar. Machen Sie Skizzen, wo Sie es für hilfreich halten. Tipp: Gefundene Lösungsvarianten am besten direkt nach Funktionsprinzip ordnen.

Je sorgfältiger Sie die Recherche durchführen, umso leichter werden Ihnen die beiden folgenden Arbeitspunkte fallen.

Anforderungsliste:

Es sind folgende grundlegenden Funktionen zu erfüllen:

- Krankentrage:
 - Patient aufnehmen
 - benötigte Liegeposition einstellen
- Fahrgestell:
 - Krankentrage aufnehmen
 - Krankentrage fahrbar machen
 - Liegehöhe verstellen
- Aufnahme im Fahrzeug:
 - Krankentragesystem ergonomisch ins Fahrzeug verlasten
 - Krankentrage im Fahrzeug sichern
 - Liegehöhe im Fahrzeug verstellen

Zu diesen grundlegenden Funktionen sind die Anforderungen zu formulieren.

Beispiel: Aus der Funktion „Patient aufnehmen“ ergibt sich unter anderem die Forderung, dass die Trage mindestens über zwei Gurte mit Schnellverschluss verfügen muss.

Es können sich auch weitere Anforderungen aus den entsprechenden Normen ergeben. Diese sind zu berücksichtigen!

Ergänzen Sie selbstständig weitere sinnvolle Anforderungen und Wünsche (z.B. Bedienbarkeit mit Handschuhen, ...).

Zusätzlich sind folgende Anforderungen gegeben:

- Stufenlose Winkelverstellung der Kopf-/Rückenstütze durch eine Gewindespindel
- Stufenlose Verstellung der Liegehöhe im Fahrzeug

Konzept- und Ideensammlung

Sammeln Sie während der Recherche und der Erstellung der Anforderungsliste bereits erste Ideen und Konzepte, wie Sie die gewünschten Funktionen, Fest- und Wunschforderungen am besten umsetzen können. Halten Sie diese Konzeptideen in Skizzen und/oder stichworthaft fest. Eine Bewertung der Umsetzungsmöglichkeiten soll zu diesem Zeitpunkt aber noch nicht stattfinden. Hier dürfen Sie kreativ sein, es gibt kein Falsch und Richtig!

Ablauf des Meilensteins M1

Der Meilenstein 1 wird erreicht, wenn ...

- ein Teammitglied die Lösung kurz und prägnant mündlich präsentiert (kein PowerPoint). Anforderungsliste, Projektplan, Rechercheergebnisse und Konzeptideen sind handschriftlich auf Papier zu erstellen.
- alle Teammitglieder die Teamlösung handschriftlich in Papierform vorliegen haben. Nur so können wir Ihnen ein Testat erteilen.
- alle Teammitglieder die Fragen zu Ihrer Teamlösung beantworten können.
- die Teammitglieder nach der Präsentation der anderen Teams mitdiskutieren/Fragen stellen.

Außerdem werden Informationen zum Meilenstein M2 gegeben.

Achtung wichtig – die kommenden Termine:

- 23.04.2019: Betreutes Arbeiten
- 30.04.2019: Meilenstein M1

Meilenstein M2

Konzeptskizzen und Statik-Berechnung

Aufgabe

Um den zweiten Meilenstein zu erreichen sind folgende Aufgaben zu bearbeiten:

- Konzeptskizzen des Krankentragesystems und der Aufnahme im Fahrzeug (jeweils auf ein DIN A3-Blatt)
- Beschreibung des Konzepts
- Berechnung der Lagerkräfte am Längsträger
- Ermittlung der höchstbelasteten Stelle des Längsträgers

Konzept:

Erarbeiten Sie ein Konzept für Ihr Krankentragesystem. Das Konzept ist in Skizzen und mit einer stichworthaften Beschreibung zu dokumentieren. Beschreiben Sie im schriftlichen Teil auch, wie Sie Ihre Anforderungen erfüllen werden. Konzeptskizzen sind sowohl vom Krankentragesystem selbst (Trage und Fahrgestell) als auch von der Aufnahme des Krankentragesystems im Fahrzeug zu erstellen. Aus den Konzeptskizzen müssen die Funktionsweise Ihres Krankentragesystems und die Funktionsweise der Aufnahme und Sicherung im Fahrzeug hervorgehen. Verwenden Sie dafür DIN-A3-Zeichenblätter mit Schriftfeld. Wählen Sie geeignete Ansichten und tragen Sie die Hauptabmaße ein. Beschriften Sie die Teile Ihres Konzepts direkt in der Zeichnung (keine Stückliste).

Statik:

Das Ziel dieser Statik-Berechnung ist es, die höchstbelastete Stelle am Längsträger des Rahmens zu ermitteln. Die verwendeten Begriffe für die jeweiligen Bestandteile der Trage sind in Abbildung 1 dargestellt.

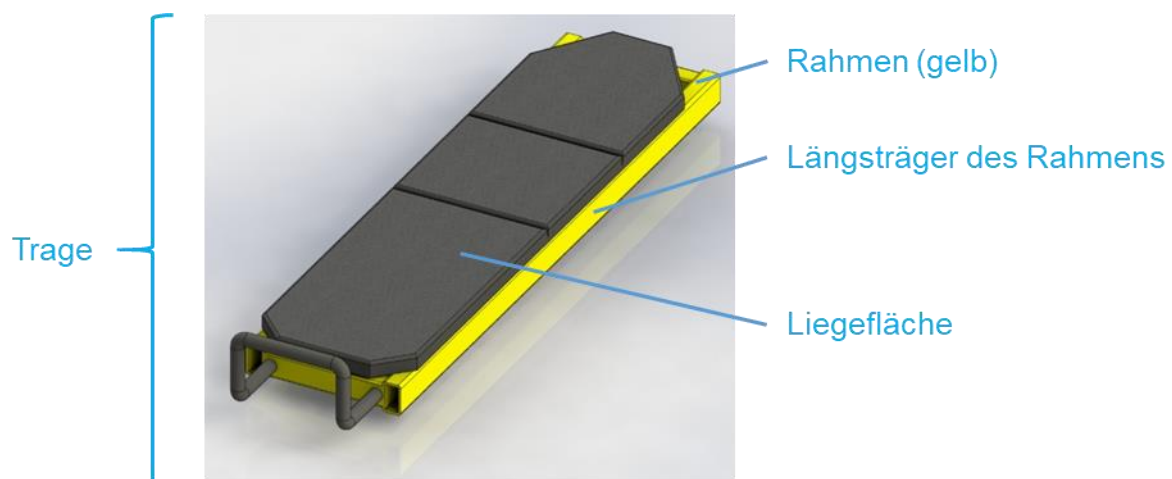


Abbildung 1: Die Trage und ihre Elemente.

Dazu muss ein Lastfall angenommen werden. Der Lastfall wird in Anlehnung an eines der Prüfverfahren aus der DIN EN 1865-1 (Abschnitt 5.1.1.1) gewählt. Um zu prüfen, ob eine Verformung des Rahmens stattfindet, wird eine Last von 250 kg auf der Liegefläche (nicht auf dem Rahmen) der Trage verteilt (siehe Abbildung 2). Dabei wird vom Kopf- und vom Fußende der Liegefläche jeweils ein Abstand von 290 mm gehalten. Der in der Norm beschriebene Lastfall sieht vor, die Trage mit voll ausgezogenen Griffen auf Halterungen zu lagern.

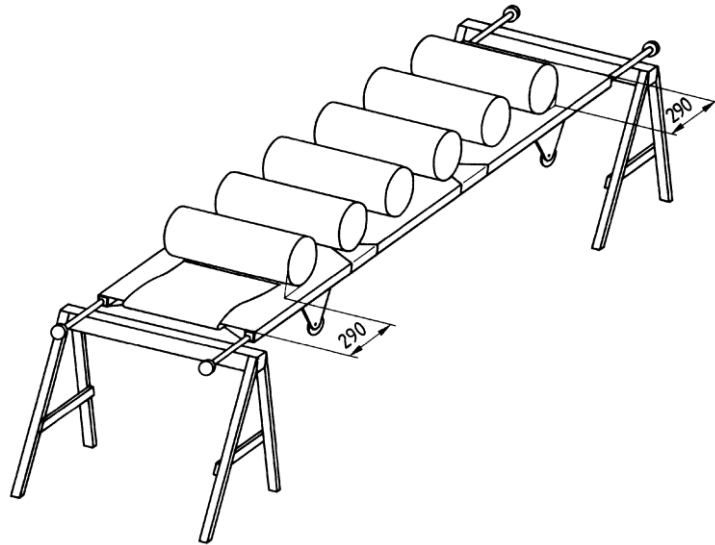


Abbildung 2: Lastfall aus DIN EN 1865-1, Abschnitt 5.1.1.1, zur Prüfung der Trage auf bleibende Verformung.

Um den Längsträger des Rahmens unserer Liege auszulegen wird die in der Norm beschriebene Belastung angewendet. Die Lagerung erfolgt aber nicht wie in der Norm beschrieben am Ende der Trage, sondern an vorgegebenen Lagerstellen (Fest- und Loslager) durch das Fahrgestell (siehe Abbildung 3).

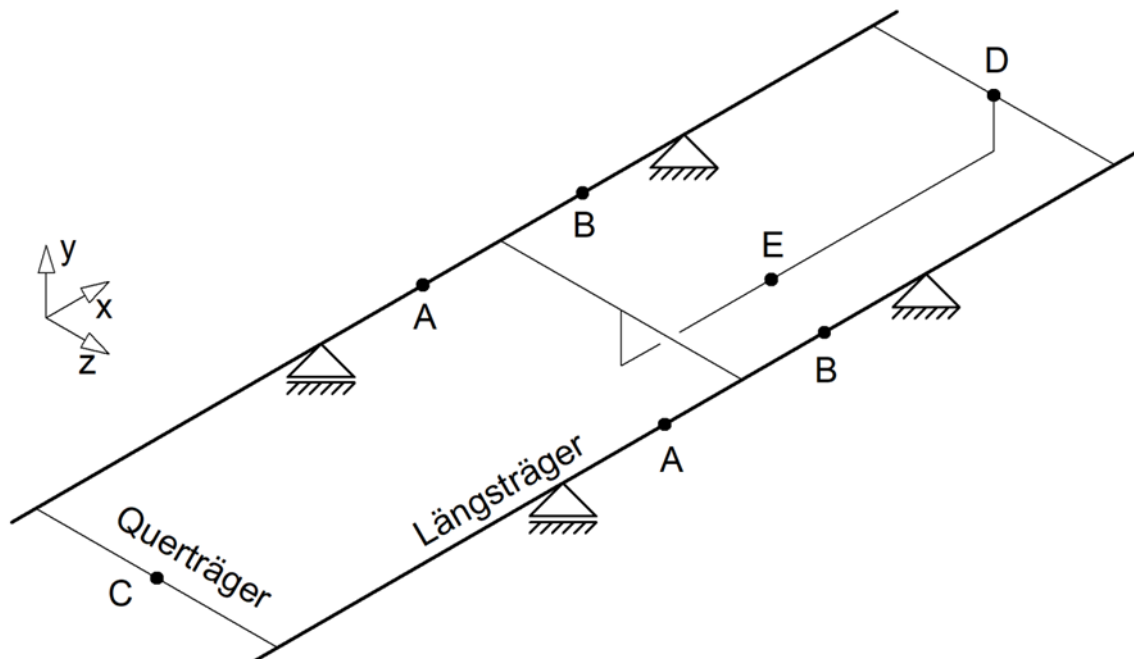


Abbildung 3: Übersicht der Lagerstellen am Rahmen durch das Fahrgestell.

Die Lagerung der Liegefläche auf dem Rahmen erfolgt ebenfalls durch mehrere Fest- und Loslager. Die Liegefläche wird einmal im ebenen Zustand betrachtet und einmal mit angewinkelter Bein- und Oberkörperstütze (siehe Abbildungen 4 und 5).

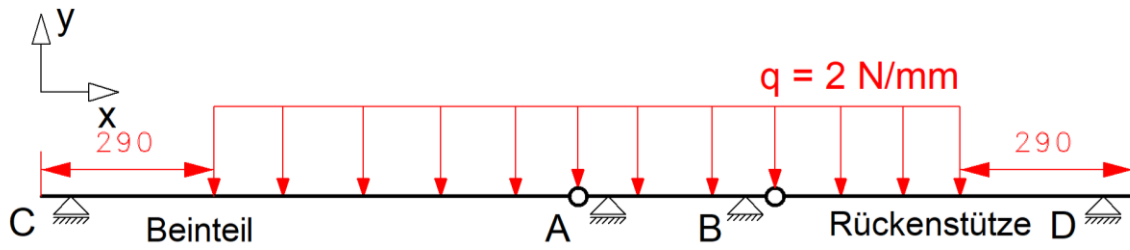


Abbildung 4: Belastung der Liege im ebenen Zustand.

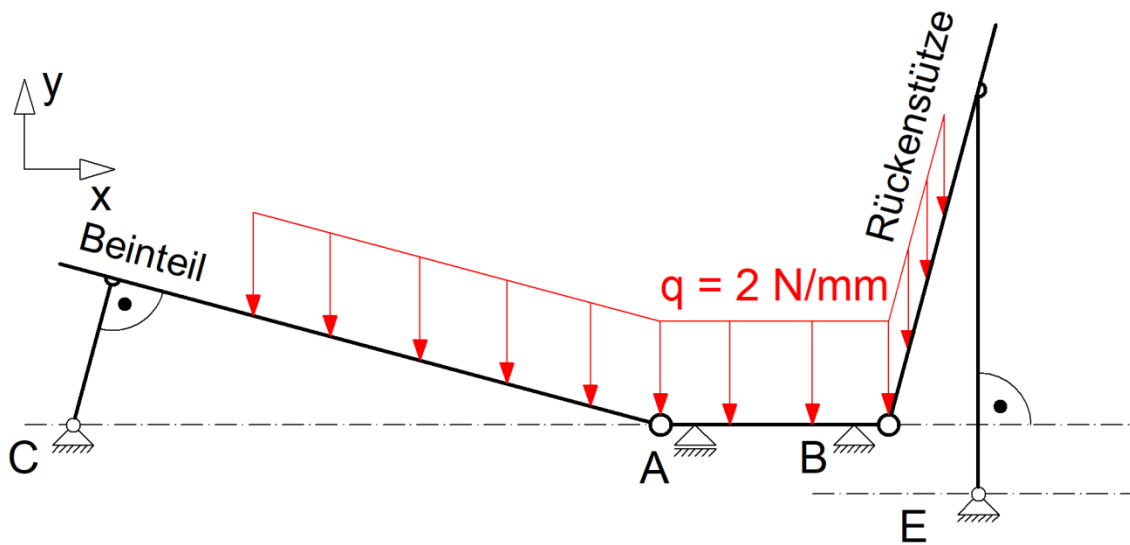


Abbildung 5: Belastung der Liege im angewinkelten Zustand.

Gehen Sie nach den folgenden Schritten vor:

- Ermitteln Sie die Lagerreaktionen an der Liegefläche in beiden Positionen. Diese Lagerreaktionen stellen gleichzeitig die Belastung des Rahmens dar.
- Ermitteln Sie die Lagerreaktionen am Rahmen. Dazu wird angenommen, dass sich die Belastung symmetrisch auf beide Längsträger verteilt (siehe Abbildung 6).
- Ermitteln Sie die Querkraft-, Biegemomenten- und Torsionsmomentenverläufe in beiden Liegepositionen. Stellen Sie die Verläufe dar. Bestimmen Sie daraus die höchstbelasteten Stellen.
- Beurteilen Sie im Anschluss an Ihre Berechnung auch, ob der angenommene Lastfall geeignet ist.

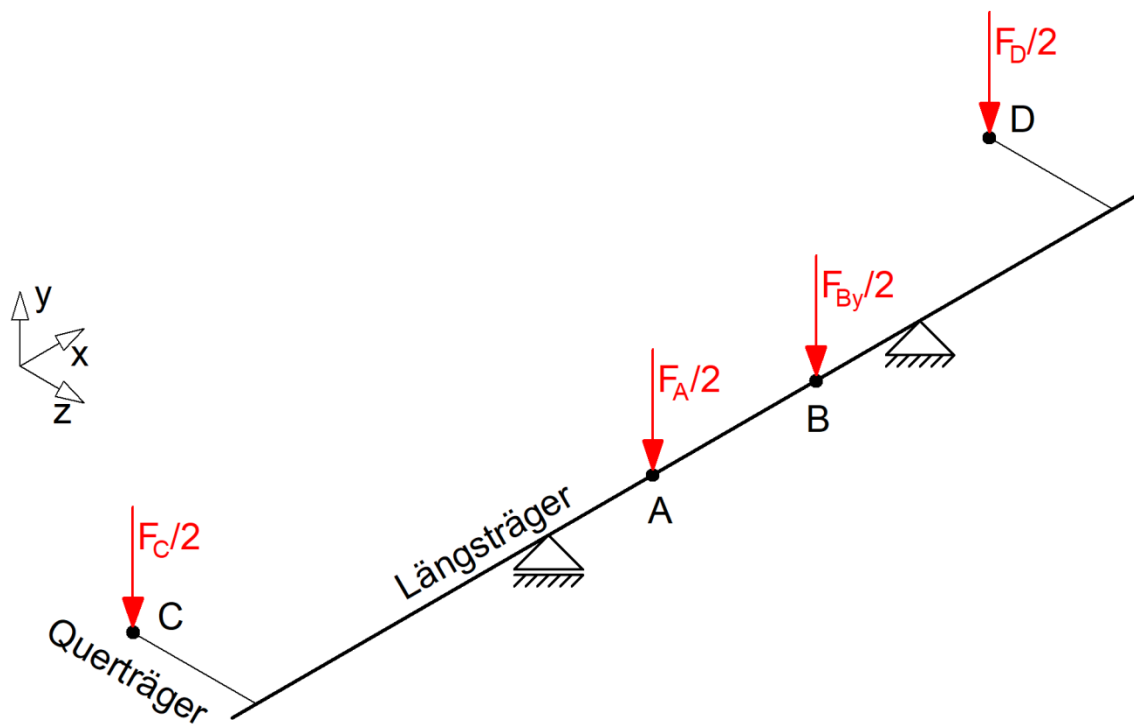


Abbildung 6: Verteilung der Kräfte auf einen der Längsträger (Beispiel)

Weitere Maße der Trage:

Alle weiteren Maße die Sie für die Berechnung benötigen, finden Sie in den Abbildungen 7, 8 und 9.

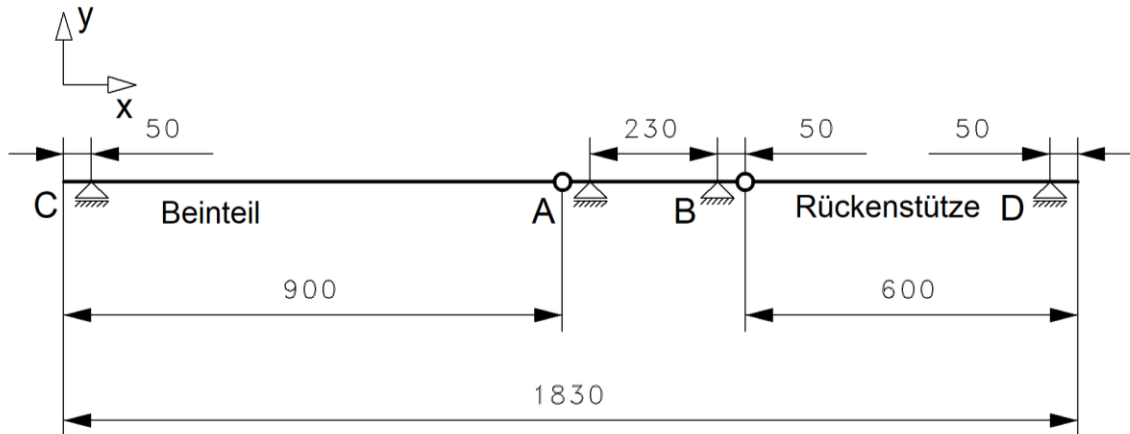


Abbildung 7: Maße der Liegefläche im ebenen Zustand.

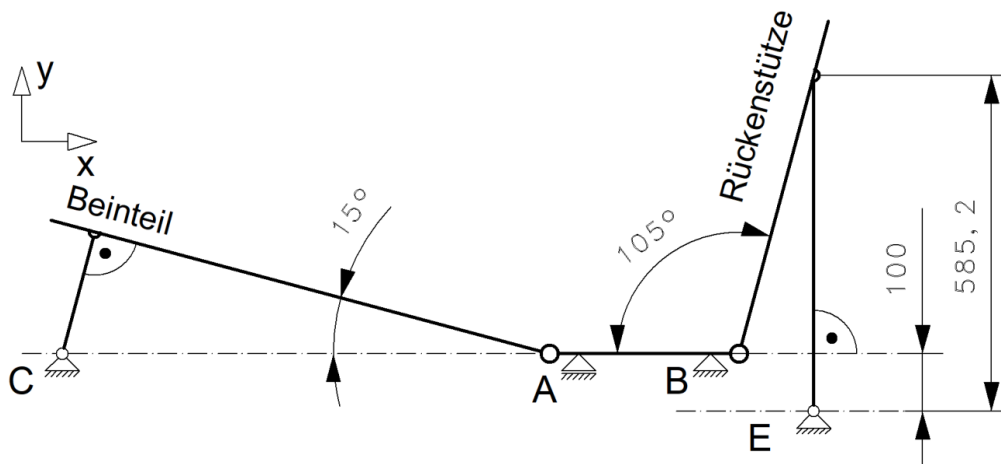


Abbildung 8: Maße der Liegefläche im angewinkelten Zustand.

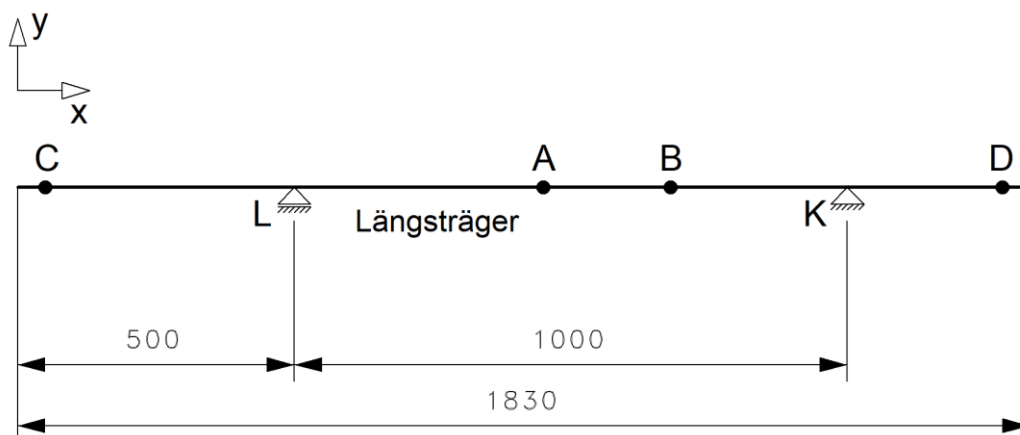


Abbildung 9: Maße der Längsträger des Rahmens.

Die Breite des Rahmens beträgt 550 mm.

Tipps und Hinweise:

- Die Bauteile werden als Balken ohne Ausdehnung angenommen.
- Achten Sie auf eine eindeutige Bezeichnung der Kräfte und Momente.
- Machen Sie sich zu jedem Berechnungsschritt eine Skizze mit dem freigeschnittenen Bauteil.
- Achten Sie auf die korrekte Orientierung der inneren Kräfte und Momente.
- Runden Sie die Ergebnisse sinnvoll.
- Die Maße aus den Skizzen für die Statik-Berechnung sind nicht bindend für Ihr Konzept.
- Bitte verwenden Sie die in Abbildung 10 dargestellte Konvention für die Schnittufer.

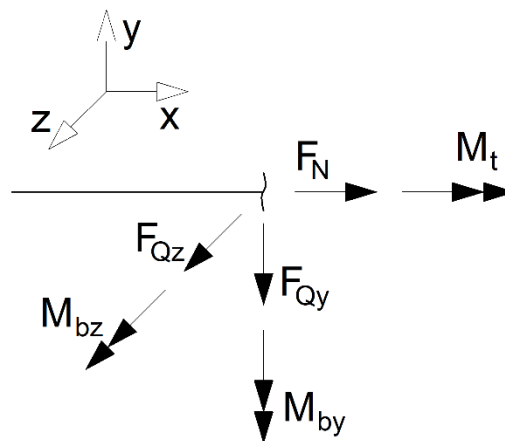


Abbildung 10: Schnittuferkonvention

Ablauf des Meilensteins

Der Meilenstein wird erreicht, wenn ...

- ein Teammitglied die Lösung kurz und prägnant mündlich präsentiert (kein PowerPoint).
- alle Teammitglieder die Teamlösung handschriftlich in Papierform vorliegen haben. Nur so können wir Ihnen ein Testat erteilen.
- alle Teammitglieder die Fragen zu Ihrer Teamlösung beantworten können.
- die Teammitglieder nach der Präsentation der anderen Teams mitdiskutieren/Fragen stellen.

Außerdem werden Informationen zum folgenden Meilenstein gegeben.

Achtung wichtig – die kommenden Termine:

- 07.05.2019: Betreutes Arbeiten
- 14.05.2019: Betreutes Arbeiten
- 21.05.2019: Meilenstein M2

Meilenstein M3

Spindel-Vorauslegung und Skizze der Lagerung

Aufgabe

Um den dritten Meilenstein zu erreichen sind folgende Aufgaben zu bearbeiten:

1. Rechnerische Vorauslegung der Spindel
2. Auswahl der Lager sowie Skizze der Spindel und deren Lagerstellen

Weitere Erläuterungen finden Sie im folgenden Text.

Teil 1: Spindel-Vorauslegung

Um die Rückenlehne der Liege zwischen dem ebenen und dem angewinkelten Zustand verstellen zu können, kann das Lager E mit Hilfe einer Spindelmutter auf einer Spindel verschoben werden. Die Spindel kann für die Auslegung vereinfacht als Welle angenommen werden. Wird diese in eine Drehbewegung versetzt, bewegt sich die Spindelmutter entlang der Wellenachse und die Rückenlehne der Liege wird verstellt.

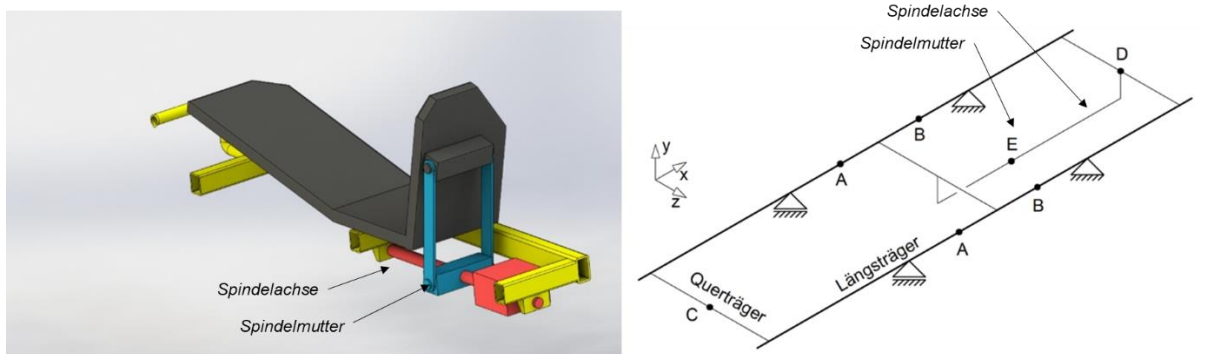


Abbildung 1: Rendering der Höhenverstellung der Rückenstütze (links). Übersicht der Lagerpunkte am Rahmen (rechts).

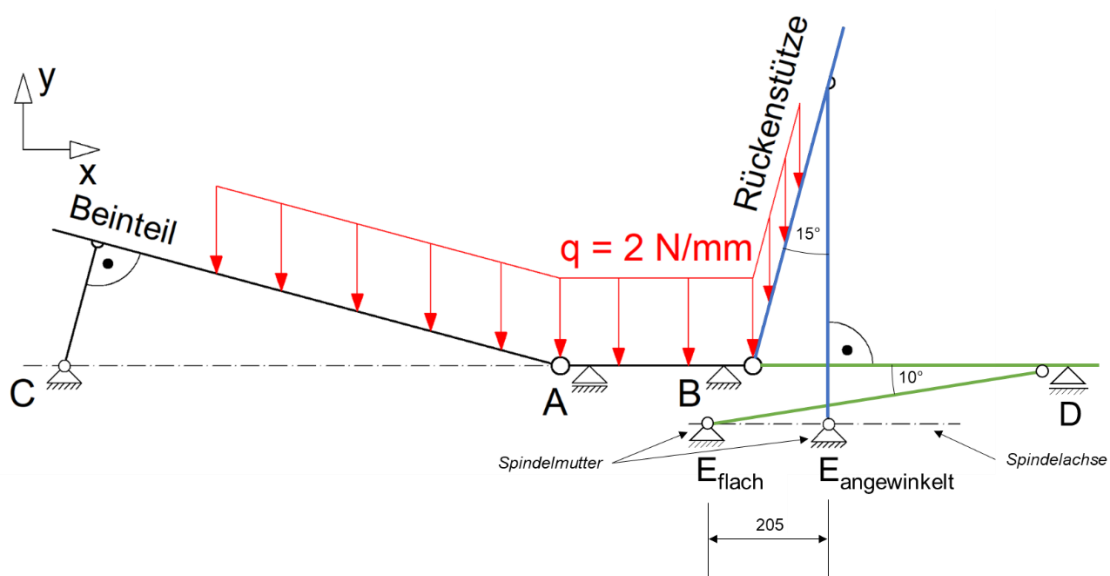


Abbildung 2: Extrempositionen der Liege: flach (grün) und angewinkelt (blau)

Hinweis zu Lager E: Das Lager E (Spindelmutter) kann aktiv auf der Spindel verfahren werden. Steht die Spindel jedoch still, ist das Lager E in seiner Position fixiert. Lager E ist also nach wie vor als Festlager anzusehen.

Die Aufgabe der Spindel ist es, das Drehmoment des Antriebsmotors in eine Axialkraft umzuwandeln. Um eine Vordimensionierung der Spindel vorzunehmen, und um zu prüfen ob die Spindel damit die notwendige Axialkraft aufnehmen kann, muss zuerst die maximal auftretende Axialkraft ermittelt werden.

Es gilt der bereits aus Meilenstein M2 bekannte Lastfall. Abbildung 2 stellt die beiden Extrempositionen der Rückenstütze dar. Nehmen Sie für die folgenden Rechnungen an, dass die maximale axiale Kraft im Lagerpunkt E 1100 N beträgt.

Da die Spindel vereinfacht als Welle angenommen wird, kann die Dimensionierungsformel für Wellen genutzt werden. Für den erforderlichen Durchmesser bei Torsionsbeanspruchung muss gelten:

$$d_{\text{erf}} \geq d_{\ddot{u}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot \tau_{t,\text{zul}}}} = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_t}{\tau_{t,\text{zul}}}}$$

Mit:	d_{erf}	[mm]	erforderlicher Durchmesser
	$d_{\ddot{u}}$	[mm]	überschlägiger Durchmesser
	M_t	[Nmm]	Torsionsmoment
	$\tau_{t,\text{zul}}$	$\left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	zulässige Torsionsspannung

Die zulässige Torsionsspannung $\tau_{t,\text{zul}}$ ist abhängig vom verwendeten Werkstoff, der Belastungsart und dem gewählten Sicherheitsbeiwert. Für die Vordimensionierung wird die Welle auf Dauerfestigkeit geprüft, daher muss die Torsionsschwellfestigkeit genutzt werden. Dabei handelt es sich um einen werkstoffspezifischen dynamischen Festigkeitswert.

$$\tau_{t,\text{zul}} = \frac{\tau_{t,\text{sch}}}{S}$$

Mit:	$\tau_{t,\text{sch}}$	$\left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	Torsionsschwellfestigkeit
	S		Sicherheitsbeiwert

Eine Krankenliege steht in direktem Kontakt zum Menschen. Neben dem statischen Patientengewicht muss sie zusätzlichen Belastungen standhalten, die sehr hoch ausfallen können und schwer abzuschätzen sind (Herz-Lungen-Wiederbelebung, zusätzlicher Sanitäter auf der Liege, dynamische Belastungen durch Fahrt über Unebenheiten, ...). Deshalb wird ein Sicherheitsbeiwert von 12 gewählt.

Das Torsionsmoment ist abhängig von der Axialkraft, die auf das Spindelgewinde wirkt. Vereinfacht kann der Gewindegang der Spindel mit Steigungswinkel φ als schiefe Ebene dargestellt werden und das Muttergewinde als Gleitkörper (siehe Abbildung 3). Am Gleitkörper wirken verschiedene Kräfte: eine Axialkraft F_A , eine Umfangskraft F_U und eine Ersatzkraft F_E . Im Gleichgewicht muss die resultierende Kraft F_{res} aus Axialkraft und Umfangskraft der Ersatzkraft F_E entsprechen, sodass das Kräfteck geschlossen ist.

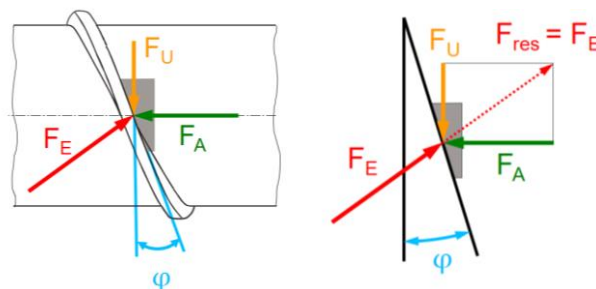


Abbildung 3: Trapezgewinde mit Axialkraft, Umfangskraft und Ersatzkraft

Die Ersatzkraft F_E setzt sich aus der Normalkraft F_N und der Reibungskraft F_R zusammen. Der Winkel zwischen der Normalkraft und der Ersatzkraft wird als Gewindereibungswinkel ϱ bezeichnet. Der Winkel zwischen der Normalkraft und der Axialkraft entspricht dem Steigungswinkel φ (siehe Abbildung 4).

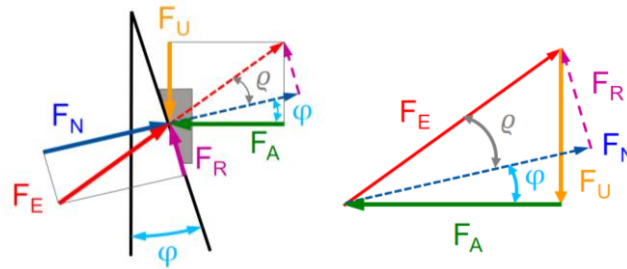


Abbildung 4: Ersatzkraft und Gewindereibungswinkel

Der Zusammenhang zwischen der Axialkraft und der Umfangskraft lässt sich somit beschreiben als:

$$F_U = F_A \cdot \tan(\varphi + \varrho)$$

Mit:	F_U	[N]	Umfangskraft
	F_A	[N]	Axialkraft
	φ	[°]	Steigungswinkel
	ϱ	[°]	Gewindereibungswinkel

Der Steigungswinkel φ ist abhängig vom Flankendurchmesser und der Steigung des Gewindes (vgl. Abbildung 5):

$$\tan \varphi = \frac{P}{d_2 \cdot \pi}$$

Mit:	P	[mm]	Steigung des Gewindes
	d_2	[mm]	Flankendurchmesser

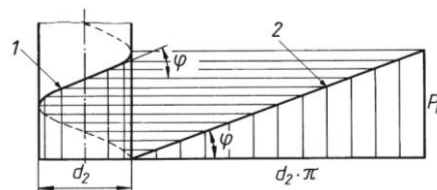


Abbildung 5: Schraubenlinie (1) und abgewinkelte Schraubenlinie (2)

Für den Gewindereibungswinkel gilt für Nicht-Flachgewinde:

$$\varrho = \tan^{-1} \left(\frac{\mu_G}{\cos(\beta/2)} \right)$$

Mit:	μ_G		Gewindereibungszahl
	β	[°]	Flankenwinkel

Für das Torsionsmoment ergibt sich schließlich:

$$M_t = F_U \cdot \frac{d_2}{2} = F_A \cdot \tan(\varphi + \varrho) \cdot \frac{d_2}{2}$$

Vorgaben für die Rechnung

- Maximale Axialkraft $F_A = 1100 \text{ N}$
- Spindel:
 - Gewinde: TR24x5 (für Trapezgewinde beträgt der Flankenwinkel 30°)
 - Werkstoff: C45E
 - Gewindereibungskoeffizient: $\mu_G = 0,1$
- Gewählter Sicherheitsbeiwert: 12

Gehen Sie in dieser Reihenfolge vor:

1. **Bestimmung der Axialkraft:** Erklären Sie, warum und wo die größte Axialkraft im Gewinde auftritt. Hierfür ist keine Berechnung notwendig.
2. **Berechnung des Drehmoments:** Die folgenden Berechnungsschritte sind dafür notwendig:
 - a. Berechnung des Steigungswinkels
 - b. Berechnung des Gewindereibungswinkels
 - c. Berechnung des DrehmomentsFehlende Werte können mit Hilfe des Tabellenbuchs ermittelt werden.
3. **Vordimensionierung:** Prüfen Sie, ob die gegebene Spindel geeignet ist und korrigieren Sie diese gegebenenfalls.

Teil 2: Skizze der Spindel und der Lagerstellen

Erstellen Sie eine Freihandskizze der Spindel mit ihren Funktionsabschnitten und den Lagerstellen.

Die Spindel soll durch zwei Kegelrollenlager in X-Anordnung gelagert werden. Suchen Sie anhand des Spindeldurchmessers im Tabellenbuch oder im Lagerkatalog nach einer geeigneten Lagergröße. Beachten Sie auch die für das gewählte Lager geforderte Mindesthöhe des Lageranschlags. Welches Problem könnte sich hier ergeben? Sammeln Sie Lösungsideen.

Um die Rückenstütze von der waagrechten, liegenden Position in die maximale Position um 75° anzuwinkeln, muss die Spindelmutter um eine Strecke von etwa 205 mm verfahren werden. Da die Spindelmutter selbst eine gewisse Ausdehnung hat, sollte die Spindel eine Mindestlänge von 265 mm haben.

Zeichnen Sie außerdem antriebsseitig eine Möglichkeit zur Einleitung eines Drehmoments. Dies könnte z.B. durch eine Passfedernut, eine Profilwelle, o.ä. realisiert werden. Der Antriebsmotor selbst muss nicht gezeichnet werden.

Gehen Sie wie folgt vor:

- Suchen Sie mit Hilfe des Spindeldurchmessers geeignete Lager heraus.
- Welches Problem könnte sich beim Lageranschlagn ergeben? Nennen Sie eine Lösung.
- Nennen Sie eine Möglichkeit, auf der Antriebsseite ein Drehmoment einzuleiten (Welle-Nabe-Verbindung).
- Skizzieren Sie die Spindel mit Ihren Funktionsabschnitten (Lagersitze, Lageranschlätze, ...) sowie der antriebsseitigen Welle-Nabe-Verbindung.
- Zeichnen Sie die Lager ein. Dazu gehört auch jeweils ein kleiner Ausschnitt des Gehäuses, damit erkennbar ist, wie die Lager im Gehäuse aufgenommen werden.

Ablauf des Meilensteins

Der Meilenstein wird erreicht, wenn ...

- ein Teammitglied die Lösung kurz und prägnant mündlich präsentiert (kein PowerPoint).
- alle Teammitglieder die Teamlösung handschriftlich in Papierform vorliegen haben. Nur so können wir Ihnen ein Testat erteilen.
- alle Teammitglieder die Fragen zu Ihrer Teamlösung beantworten können.
- die Teammitglieder nach der Präsentation der anderen Teams mitdiskutieren bzw. Fragen stellen.

Darüber hinaus gibt es Infos zum nächsten Meilenstein.

Achtung wichtig – die kommenden Termine

- 28.05.2019: Betreutes Arbeiten
- 04.06.2019: Meilenstein M3

Meilenstein M4

Nachrechnung und Dimensionierung

Aufgabe

Um den vierten Meilenstein zu erreichen sind folgende Aufgaben zu bearbeiten:

- Nachrechnung der Spindel
- Nachrechnung der Lager
- Dimensionierung der Längsträger
- Berechnung einer Schweißnaht
- Detailzeichnung der Spindel und ihrer Lagerung

Weitere Erläuterungen finden Sie im folgenden Text.

Teil 1: Nachrechnung der Spindel

Die in M3 vordimensionierte Welle soll nun nachgerechnet werden. Nehmen Sie dazu die in Abbildung 1 und 2 dargestellten Abmessungen an. Als Wellendurchmesser wird der Nenndurchmesser der Spindel angenommen (24 mm). Die Mitte der Spindelmutter befindet sich in einem Abstand von 30 mm zur Scheibe bei Lager A und ist 50 mm breit, wobei angenommen wird, dass die Kräfte und das Moment im Mittelpunkt angreifen. Die Scheiben zwischen Wellenanschlag und den Lagern sind jeweils 5 mm breit, für die Lager wird eine Breite von 11,75 mm angenommen. Da es sich um Kegelrollenlager handelt, muss der tatsächliche Druckpunkt der Lager für die Rechnung verwendet werden. Dieser Druckpunkt befindet sich in einem Abstand von 2,75 mm zum Rand des Lagers (vgl. Herstellerangaben). Der Radius der Kerbe bei den Lagern beträgt 3 mm. Für die Rechnung bitte die Tabelle für „abgesetzte Rundstäbe“ nutzen.

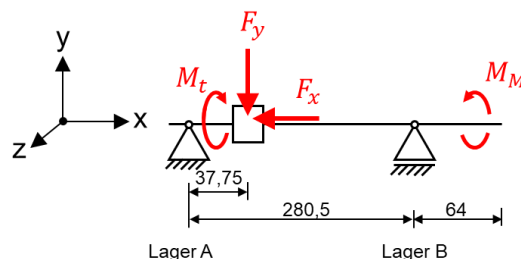


Abbildung 1: Position der Spindelmutter sowie angreifende Kräfte und Momente

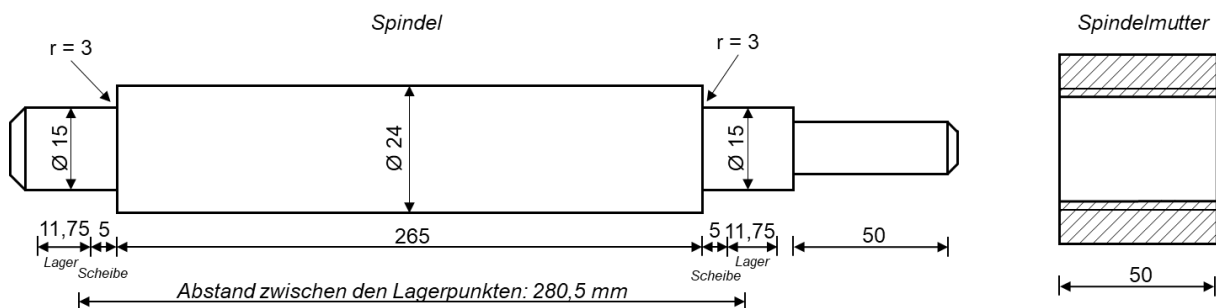


Abbildung 2: Abmessungen der Spindel und der Spindelmutter

Mit den Kräften aus M3 wurde errechnet, dass mindestens ein Torsionsmoment von 2,1 Nm notwendig ist, um die Spindelmutter an ihrer Position zu halten. Um die Spindelmutter zusätzlich entlang der Spindel zu bewegen, wird allerdings ein höheres Drehmoment benötigt. Dafür erzeugt nun der Motor mit einer Leistung von 350 W

und einer Drehzahl von 10 s^{-1} ein Motormoment M_M . Um darüber hinaus eine gewisse Sicherheit zu gewährleisten, werden für die folgende Nachrechnung außerdem höhere Kräfte verwendet (siehe gegebene Werte).

Tipp: Das Mindesttorsionsmoment (schon in M3 berechnet) muss hier nochmal neu berechnet werden, da erhöhte Kräfte angenommen werden.

Tipp: Achtung, da wir nicht mit dem Torsionsmoment von 2,1 Nm, sondern mit einem erhöhten Motormoment rechnen, muss hier erneut ein Freischnitt gemacht werden um die Schnittkräfte zu bestimmen.

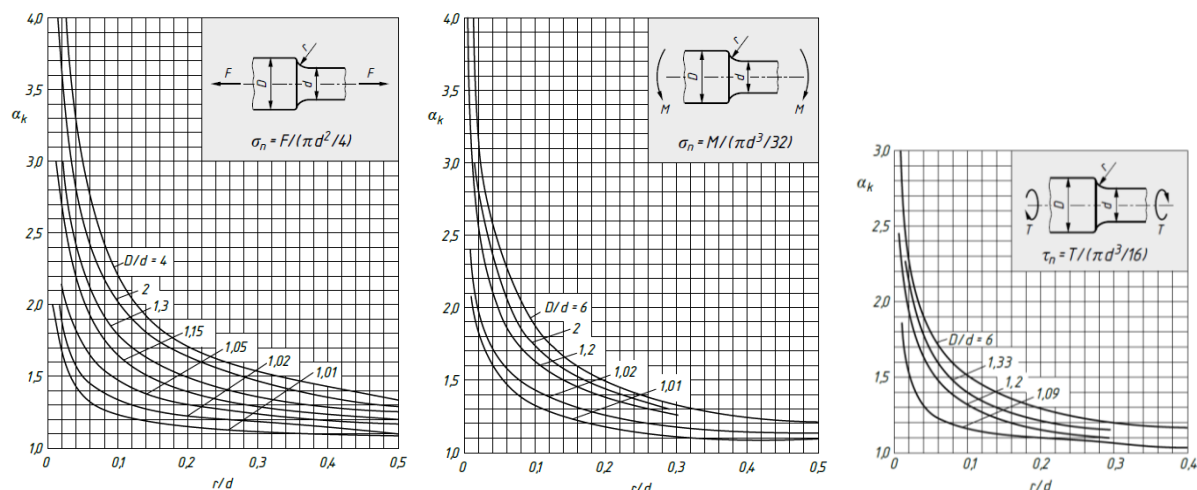
Beachten Sie, dass die Welle zwar nur für eine Torsionsbelastung vordimensioniert wurde, für die Nachrechnung aber alle Belastungsarten betrachtet werden müssen. Durch die wirkende Axialkraft F_x muss zusätzlich ein Versagen durch Knicken ausgeschlossen werden. Das Festlager kann Kräfte in alle drei Koordinatenrichtungen aufnehmen, das Loslager lediglich in y- und z-Richtung. Für die Auswahl des Eulerschen Knickfalls kann vereinfachend angenommen werden, dass die Welle im Kegellager fest eingespannt ist und die Spindelmutter wie eine Führung wirkt.

Die Spannungsberechnung soll an den beiden folgenden Stellen erfolgen:

1. Stelle, an der sich der Mittelpunkt der Spindelmutter befindet
2. Kerbe am Lageranschlag für Lager B

Gegebene Werte:

- Motorkennzahlen:
 - $P = 350 \text{ W}$
 - $n = 10 \text{ s}^{-1}$
- Kräfte:
 - Axialkraft $F_x = 2000 \text{ N}$
 - Querkraft $F_y = 400 \text{ N}$
- Werkstoff: C45E
 - Werkstoffkennwerte können aus dem Tabellenbuch entnommen werden. Es gilt jeweils der kleinste Wert.
 - Wechselfestigkeit: $\sigma_{b,W} = 345 \text{ MPa}$
 - Größenbeiwert $b_0 = 0,925$
 - Oberflächenbeiwert $b_s = 0,95$ (poliert)
- Die Kerbwirkungszahlen können den entsprechenden Tabellen entnommen werden (bitte auf die nächst höhere erste Nachkommastelle runden)



Gehen Sie nach den folgenden Schritten vor:

1. Berechnen Sie, welches Moment M_M der Motor aufbringt. Welches Moment müsste der Motor mindestens aufbringen?
2. Berechnen Sie alle auftretenden Lagerkräfte und -momente.

3. Erklären Sie, weshalb die Spannungsberechnung an den beiden gegebenen Stellen erfolgen soll (Qualitativ und Stichpunktartig).
4. Bestimmen Sie für beide Stellen die auf die Spindel wirkenden Belastungsarten und –fälle.
5. Berechnen Sie für beide Stellen die Vergleichsspannung für Ober-, Mittel- und Ausschlagsspannung. (Tipp: Tabelle aus Vorlesungskapitel 11, Folie 30)
6. Berechnen Sie für beide Stellen die Sicherheitswerte gegen Fließen, Bruch, Dauerbruch und wenn nötig gegen Knicken. Beurteilen Sie die Ergebnisse.
7. Beschreiben Sie, welche konstruktiven Möglichkeiten es gibt, die Last auf der Welle zu verringern (Bitte zwei stichpunktartige Lösungsvorschläge).

Teil 2: Nachrechnung der Lager

Um die in Meilenstein M3 ausgewählten Lager auf ausreichende Lebensdauer zu prüfen, wird eine Lagerberechnung durchgeführt. Bei allen Berechnungen gehen wir von einer statischen Belastung aus.

Vorgehensweise:

1. Berechnung der Lagerkräfte
2. Bestimmung der Drehzahl (Nachrechnen, ob gegebene Drehzahl für geforderte Aufstellzeit passt)
3. Lebensdauerberechnung

1. Berechnung der Lagerkräfte

Für die Berechnung der Lagerkräfte werden erneut lediglich die ebene und die angewinkelte Liegeposition betrachtet. Bei einer Kegelrollenlagerung in X-Anordnung nimmt nur eines der Lager Axialkräfte auf – hier: linkes Lager.

Die Abstände der Krafteinleitung durch die Kraft F_E sind Abbildung 3 zu entnehmen.

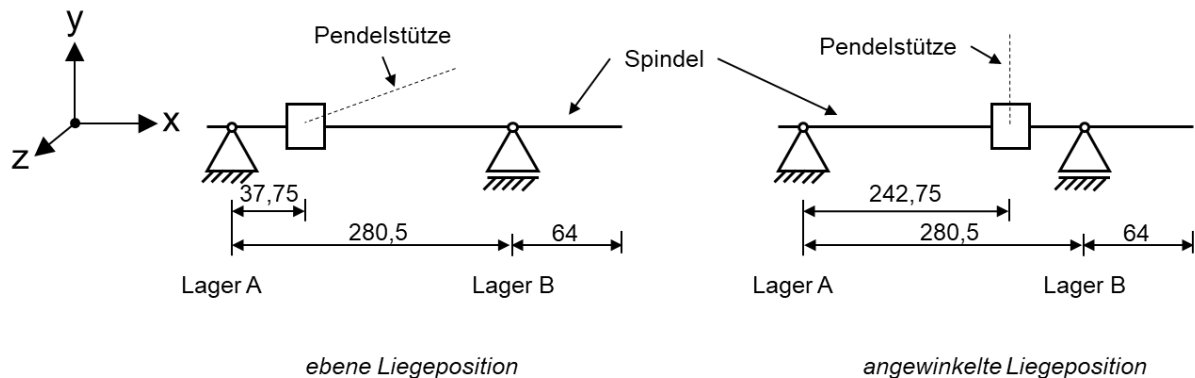


Abbildung 3: Abstände der Krafteinleitung in Abhängigkeit der Liegeposition

Für den angewinkelten Zustand kann die Kraft F_E direkt aus den Ergebnissen von Meilenstein M2 übernommen werden. Damit wirkt F_E rein radial mit $F_E = 190,77 \text{ N}$.

Für den flachen Zustand muss die Kraft F_E allerdings neu berechnet werden. Es wird der Augenblick betrachtet, in dem die Rückenlehne gerade so nicht mehr in Lager D (vgl. Meilenstein M2) aufliegt, und somit die komplette Kraft durch die Pendelstütze und somit durch Lager E aufgenommen wird. Vereinfacht wird die Rückenlehne trotzdem als flach angenommen. **Achtung, die Lagerreaktionen im Gelenk G ändern sich dadurch gegenüber den Ergebnissen aus M2.**

Die Berechnung erfolgt ähnlich wie die Lagerberechnung des Lagers D in Meilenstein M2, allerdings wird Lager D gänzlich vernachlässigt und stattdessen wird die Kraft auf Lager E übertragen (siehe Abbildung 4).

Achtung: Die Position der Lager E und D unterscheiden sich (siehe Abbildung 5).

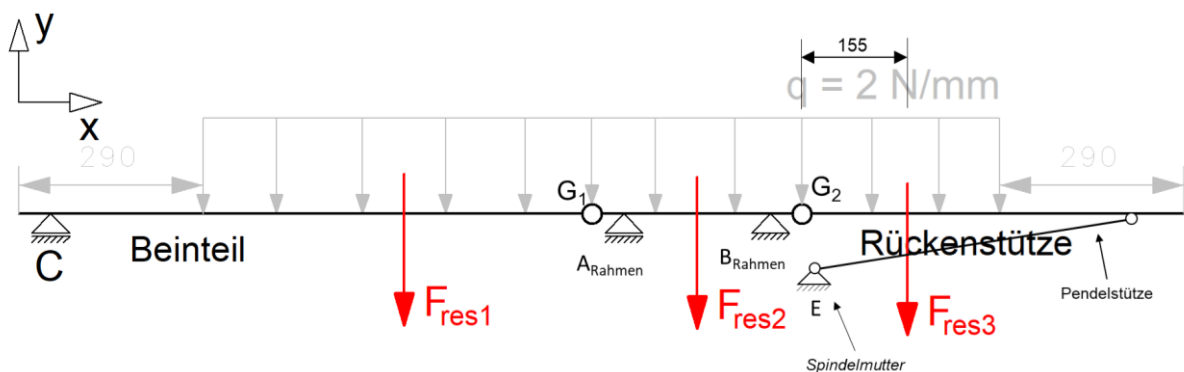


Abbildung 4: Lagerung der Rückenlehne im Lager E

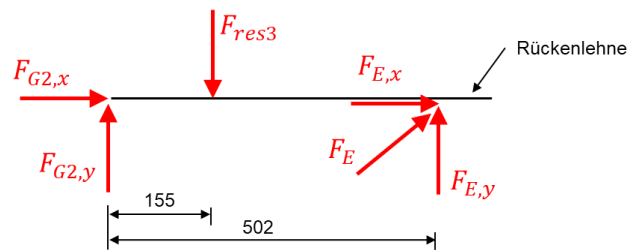


Abbildung 5: Angriffspunkt der Kraft F_E an der Rückenlehne

2. Nachrechnen der gegebenen Drehzahl

Idealerweise kann die Rückenlehne innerhalb von 5 Sekunden vom flachen in den angewinkelten Zustand hochgefahren werden. Überprüfen Sie ob die gegebene Drehzahl von 10 s^{-1} dieser Anforderung entspricht.

Hinweis: Mithilfe der Gewindesteigung kann die Länge berechnet werden, die bei einer Umdrehung zurückgelegt wird. Wie viele Umdrehungen sind nötig um $l = 205 \text{ mm}$ zurückzulegen?

3. Berechnung der statischen Tragsicherheit

Für die Lagerpunkte A und B werden Kegelrollenlager 30202 verwendet. Diese haben einen Innendurchmesser von $d = 15 \text{ mm}$. Berechnen Sie zuerst einmal die statische äquivalente Belastung für Kegelrollenlager in X-Anordnung.

$$P_0 = F_{0r} + 2 \cdot Y_0 \cdot F_{0a}$$

Mit $F_{0r} [\text{N}]$: größte auftretende radiale Belastung
 $F_{0a} [\text{N}]$: größte auftretende axiale Belastung
 $Y_0 [1]$: Axiallastfaktor aus Katalog

Überprüfen Sie nun bitte die statische Tragsicherheit.

Teil 3: Dimensionierung der Längsträger

In M2 wurden bereits die auf den Längsträger wirkenden Kräfte und Momente berechnet. Nun soll bestimmt werden, ob der Längsträger ausreichend dimensioniert wurde.

Der Längsträger ist 40 mm breit und 60 mm hoch ist und hat eine Wandstärke von 1,5 mm (siehe Abbildung 6).

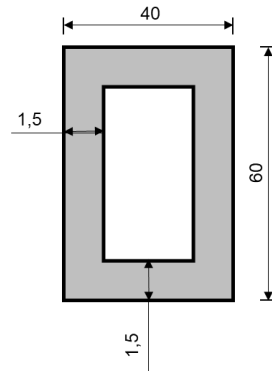


Abbildung 6: Rechteckrohrprofil des Längsträgers

Für die Nachprüfung der Dimensionierung muss die Berechnung an der Stelle mit der höchsten Belastung stattfinden. Diese befindet sich auf dem Längsträger auf Höhe des Lagers A, wenn sich die Liege im angewinkelten Zustand befindet (vgl. Kraft- und Momentenverläufe M2).

Die Vergleichsspannung soll mit Hilfe der Gestaltänderungshypothese (GEH) berechnet werden. Gleichartige Spannungen können dabei addiert werden:

$$\begin{aligned}\sigma &= |\sigma_1| + |\sigma_2| + \dots + |\sigma_n| \\ \tau &= |\tau_1| + |\tau_2| + \dots + |\tau_n| \\ \sigma_v &= \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}\end{aligned}$$

Nehmen Sie für die Berechnung folgende Werte an:

- $F_N = 56,73 \text{ N}$
- $F_{Qy} = 603,22 \text{ N}$
- $F_{Qz} = 15,60 \text{ N}$
- $M_{By} = -8,58 \text{ Nm}$
- $M_{Bz} = 151,82 \text{ Nm}$
- $M_t = 58,22 \text{ Nm}$
- Werkstoff: S 185

Gehen Sie nach den folgenden Schritten vor:

1. Bestimmen Sie die Belastungsarten, die auf den Längsträger wirken.
2. Berechnen Sie alle wirkenden Spannungen.
3. Berechnen Sie die Vergleichsspannung mit Hilfe der GEH.

Bestimmen Sie den Sicherheitsfaktor. Beurteilen Sie, ob dieser ausreichend ist.

Teil 4: Berechnung einer Schweißnaht

Zum Schieben der Krankentrage ist am hinteren Querträger ein Handgriff mit einer Kehlnaht angeschweißt (siehe Abbildung 7). Die genauen Abmessungen des Griffs können Abbildung 8 entnommen werden.

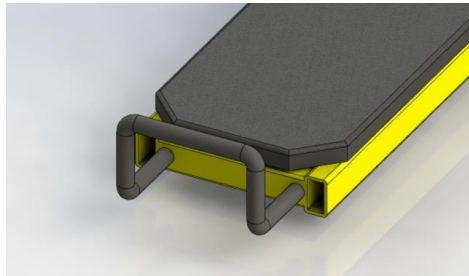


Abbildung 7: Handgriff zum Schieben der Krankentrage.

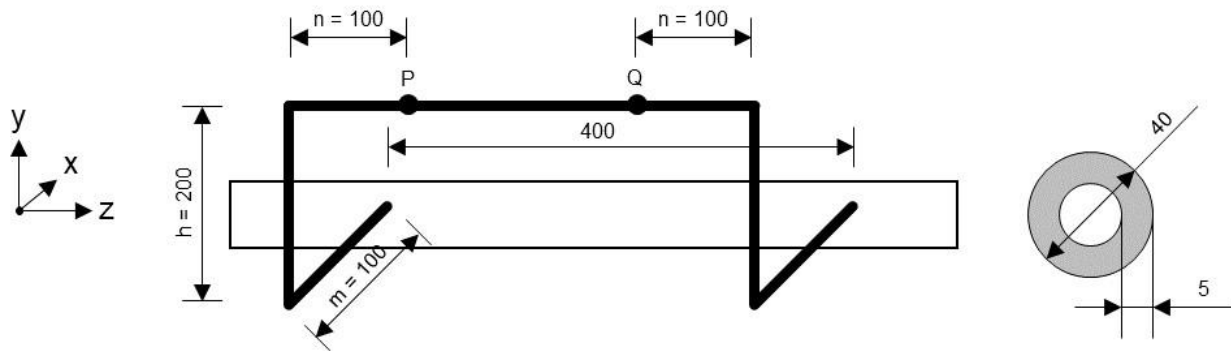


Abbildung 8: Abmessungen des Handgriffs.

Zur Berechnung wird wieder eine Flächenlast von 250 kg angenommen, die sich gleichmäßig auf die Liege verteilt. Das Eigengewicht der Trage kann mit 75 kg angenommen werden.

Die Krankentrage wird auf vier Rollen geschoben. Die Reibung der Reifen auf trockenem Asphalt kann mit dem Faktor $\mu_R = 0,05$ berücksichtigt werden.

Es wird angenommen, dass die Trage mit zwei Händen an den Punkten P und Q bewegt wird und die Kräfte sich gleichmäßig verteilen. Durch die dadurch entstehende Symmetrie reicht es, lediglich eine der Schweißnähte zu berechnen.

Für die Bestimmung der wirkenden Kräfte und Momente sollen beide Griffseiten als nicht-verbunden betrachtet werden (der Handgriff ist sozusagen mittig geteilt).

Für die Berechnung der Schweißnaht sollen zwei Belastungsfälle angenommen werden:

1. Geradeaus schieben (anfahren)
2. Hochheben (z.B. über eine Bordsteinkante)

Für den 2. Belastungsfall wird zusätzlich angenommen, dass eine zweite Person am anderen Ende die Trage mit anhebt. Beide Personen müssen genau gleich viel Last tragen.

Nehmen Sie für die Berechnung folgende Bedingungen an:

- Last:
 - Eigengewicht der Trage: 75 kg
 - Flächenlast: 250 kg
- Reibungskoeffizient: $\mu_R = 0,05$
- Nahtabmessungen:
 - Es soll mit der minimal möglichen Nahtdicke gerechnet werden.

- Die Nahtgüte ist nicht nachgewiesen.
- Werkstoff:
 - S185

Aufgrund der hohen Sicherheitsbestimmungen für Medizinprodukte, soll die Schweißnaht einen mindesten Sicherheitsfaktor von 4 aufweisen. Berechnen Sie mit Hilfe der Vorlage zur „Systematischen Berechnung einer Schweißnahtverbindung“, ob die Schweißnaht diese Voraussetzung erfüllt. Nehmen Sie ggf. Änderungen an der Schweißnaht vor, damit die Sicherheitsbestimmung erfüllt wird.

Teil 5: Detailzeichnung der Spindel und ihrer Lagerung

In Meilenstein M3 wurde eine Skizze der Spindel und ihrer Lagerung angefertigt. Daraus soll nun eine Detailzeichnung entstehen. Beachten Sie die folgenden Punkte:

- Welle mit Lagerstellen und angedeutetem Gehäuse an den Lagerstellen (es muss ersichtlich sein wie das Lager im Gehäuse aufgenommen ist)
 - Lagerung durch Kegelrollenlager 30202 in X-Anordnung
- Scheiben als Lageranschlag mit Innendurchmesser $d = 15 \text{ mm}$ und Außendurchmesser $D_{\min} = 19 \text{ mm}$. Beachten Sie, dass die Scheiben eine ausreichend große Fase haben müssen, damit sie trotz des Kerbradius der Welle gut am Wellenabsatz anliegen.
- Spindelmutter mit Aufnahme der Pendelstütze
- Zeichnung auf DIN A3 Zeichenpapier, normgerecht nach den Vorgaben des Technischen Zeichnens
- geeigneter Maßstab
- Ausgefülltes Schriftfeld, Rahmen, normgerechte Faltung (Vorlage auf ILIAS)

Diskussion:

Bitte machen Sie sich über die folgenden Punkte Gedanken und halten diese in einigen wenigen Stichworten grob fest:

- Ist die Neigungsverstellung der Rückenstütze über eine Gewindespindel sinnvoll? Was sind die Vor- und Nachteile?
- Welche bessere Lösung würde sich für die Neigungsverstellung ggf. anbieten?

Ablauf des Meilensteins

Der Meilenstein wird erreicht, wenn ...

- ein Teammitglied die Lösung kurz und prägnant mündlich präsentiert (kein PowerPoint).
- alle Teammitglieder die Teamlösung handschriftlich in Papierform vorliegen haben. Nur so können wir Ihnen ein Testat erteilen.
- alle Teammitglieder die Fragen zu Ihrer Teamlösung beantworten können.
- die Teammitglieder nach der Präsentation der anderen Teams mitdiskutieren bzw. Fragen stellen.

Achtung wichtig – die kommenden Termine:

- 11.06.2019: Pfingstferien!
- 18.06.2019: Betreutes Arbeiten
- 25.06.2019: Betreutes Arbeiten
- 02.07.2019: Betreutes Arbeiten
- 09.07.2019: Meilenstein 4
- 16.07.2019: Nachtestate aus Meilenstein 4

Systematische Berechnung einer Schweißnahtverbindung

Übersicht

- 1) Nahtverlauf & Nahtabmessungen
 - 2) Belastungsart und Belastungsfall
 - 3) Kenngrößen
 - 4) Kräfte & Momente
 - 5) Prüfen der Belastungsfälle – statisch
 - (5.1) Spannungen
 - (5.2) Werkstoff
 - (5.3) Sicherheitsbeiwert
 - (5.4) Festigkeitsnachweise
 - 6) Prüfen der Belastungsfälle dynamisch
 - (6.1) Spannungen
 - (6.2) Werkstoff
 - (6.3) Sicherheitsbeiwert
 - (6.4) Festigkeitsnachweise
 - 7) Evtl. Korrektur vornehmen
-

1) Nahtverlauf & Nahtabmessungen

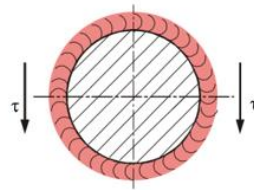
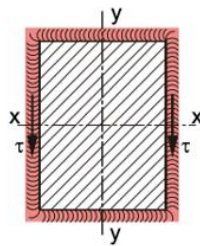
- Bestimmung des Berechnungsfalls:
 1. *Stumpfnah am Flachstab*
 2. *Stumpfnah am Rechteckrohr*
 3. *Stumpfnah am Kreisrohr*
 4. *Kehlnah am Rechteckrohr*
 5. *Kehlnah am Kreisrohr*
 6. *Vollprofile*
 7. *Zusammengesetzte Profile*
 - Bestimmung der Nahtlänge l und der Nahtdicke a
 - Stumpfnah am Flachstab:
 - Nahtdicke: $a = t$
 - Nahtlänge: $l = L - 2a$
 - Kehlnah:
 - Nahtdicke: $a_{\min} \geq (\sqrt{t_{\max}} - 0,5) \geq 3\text{mm}$
 $a_{\max} \leq 0,7 \cdot t_{\min}$
 - Nahtlänge: $l = L - 2a, l_{\min} \geq 6a \geq 30\text{mm}$
 - Handelt es sich um eine umlaufende Naht?
 - Endkraterabzüge bestimmen (wenn erforderlich)
 - Nahtgüte und Bewertungsgruppe (A, B, C, D) bestimmen
-

2) Belastungsart und Belastungsfall

- Belastungsart: Zug, Druck, Biegung, Schub, Torsion
- Belastungsfall: Statisch, dynamisch

3) Kenngrößen

- Berechnung der Kenngrößen je nach Belastungsart:
 - Zug: Nahtquerschnitt A
 - Druck: Nahtquerschnitt A
 - Schub: Nahtquerschnitt A
 - Biegung: Flächenträgheits- und Widerstandsmoment (I, W)
 - Torsion: Flächenträgheits- und Widerstandsmoment (I, W)
- *Berechnungsfälle 1-5:*
 - Siehe Tabellen 1-5
- *Berechnungsfall 6: Vollprofile*
 - Vollprofile sind formstabil, deshalb müssen die Quernähte ebenfalls berücksichtigt werden



$$A_{ws} = A_w = 2a \cdot (h + b)$$

$$A_{ws} = A_w = \pi \cdot a \cdot (d_a + a)$$

- *Berechnungsfall 7: Zusammengesetzte Profile*
 - Gesamtquerschnittsfläche:

$$A = \sum_i A_i = \sum_i a_i \cdot l_i$$

- Lage des Nahtbild Schwerpunktes

$$x_s = \frac{\sum_i x_i \cdot A_i}{\sum_i A_i} \text{ bzw. } y_s = \frac{\sum_i y_i \cdot A_i}{\sum_i A_i}$$

- Hauptflächenmomente (Satz von Steiner):

$$I_{x,s} = \sum_i I_{x,i} + \sum_i (y_i - y_s)^2 \cdot A_i$$

$$I_{y,s} = \sum_i I_{y,i} + \sum_i (x_i - x_s)^2 \cdot A_i$$

4) Kräfte & Momente

- Wirkende Kräfte & Momente berechnen

5) Prüfen der Belastungsfälle – statisch

(5.1) Spannungen

- Berechnung der Einzelspannungskomponenten:

- Zug/Druck: $\sigma_w = \frac{F}{A_w}$
- Schub: $\tau_w = \frac{F}{A_{ws}}$
- Biegung: $\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$
- Torsion: $\tau_t = \frac{M_t}{W_t}$

- Vorherrschenden Spannungszustand bestimmen
- Ggf. Berechnung der Vergleichsspannung:

$$\sigma_{vw} = \sqrt{\left(\sigma_{bw} \cdot \frac{v_{x1}}{v_{b1}} + \sigma_{zw} \cdot \frac{v_{x1}}{v_{z1}}\right)^2 + 1,8 \cdot \left(\tau_{sw} \cdot \frac{v_{x1}}{v_{s1}} + \tau_{tw} \cdot \frac{v_{x1}}{v_{s1}}\right)^2}$$

- v_1 : Beiwert für statischen Belastungsfall (Tabelle 6)
- v_{x1} : Beiwert für vorherrschenden Spannungszustand

(5.2) Werkstoff

- Werkstoff wählen
- Werkstoffkenngröße bestimmen (R_e : Streckgrenze)

(5.3) Sicherheitsbeiwert

- Sicherheitsbeiwert bestimmen

(5.4) Festigkeitsnachweise

- Festigkeitsbedingungen für Einzelspannungskomponenten:

$$\sigma_w \leq \sigma_{w \text{ zul}} = v_1 \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$$

$$\tau_w \leq \tau_{w \text{ zul}} = v_1 \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$$

- v_2 : Beiwert für die Nahtgüte (Tabelle 7)

- Festigkeitsbedingung für die Vergleichsspannung:

$$\sigma_{vw} \leq \sigma_{vw \text{ zul}} = v_{x1} \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$$

6) Prüfen der Belastungsfälle – dynamisch

(6.1) Spannungen

- Berechnung der Amplitudenspannung aus Einzelspannungskomponenten (siehe 5.1):

$$\sigma_a = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{2} \quad \text{bzw.} \quad \tau_a = \frac{\tau_o - \tau_u}{2}$$

- Vorherrschenden Spannungszustand bestimmen
- Ggf. Berechnung der Vergleichsspannung:

$$\sigma_{va} = \sqrt{\left(\sigma_{ba} \cdot \frac{v_{x1}}{v_{b1}} + \sigma_{za} \cdot \frac{v_{x1}}{v_{z1}}\right)^2 + 1,8 \cdot \left(\tau_{sa} \cdot \frac{v_{x1}}{v_{s1}} + \tau_{ta} \cdot \frac{v_{x1}}{v_{s1}}\right)^2}$$

- v_1 : Beiwert für statischen Belastungsfall (Tabelle 8)
- v_{x1} : Beiwert für vorherrschenden Spannungszustand

(6.2) Werkstoff

- Werkstoff wählen
- Werkstoffkenngröße bestimmen (σ_A)

(6.3) Sicherheitsbeiwert

- Sicherheitsbeiwert bestimmen

(6.4) Festigkeitsnachweise

- Festigkeitsnachweis für Einzelspannungskomponenten

$$\sigma_w \leq \sigma_{w \text{ zul}} = v_1 \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$$

$$\tau_w \leq \tau_{w \text{ zul}} = v_1 \cdot v_2 \cdot \frac{R_e}{S}$$

- Festigkeitsbedingung für die Vergleichsspannung

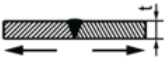
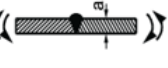
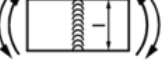
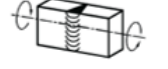
$$\sigma_{va} \leq \sigma_{va \text{ zul}} = v_{x1} \cdot v_2 \cdot \frac{\sigma_A}{S}$$

- v_2 : Beiwert für die Nahtgüte (Tabelle 7)
- v_{x1} : Beiwert für vorherrschenden Spannungszustand

7) Korrektur

- Wird die Festigkeitsbedingung erfüllt?
- Evtl. Nahtdicke und/oder Nahtlänge korrigieren

Tabellen**Tabelle 1:** Berechnungsfall 1 – Stumpfnah am Flachstab

	Zug und Druck	$A_w = a \cdot l$	
	Schub parallel zur Schweißnaht	$A_{ws} = a \cdot l$	
	Biegung um Nahtachse	$I_b = \frac{l \cdot a^3}{12}$	$W_b = \frac{l \cdot a^2}{6}$
	Biegung um die zur Naht senkrechte Achse	$I_b = \frac{a \cdot l^3}{12}$	$W_b = \frac{a \cdot l^2}{6}$
	Torsion	$I_t = \frac{l \cdot a^3}{3}$	$W_t = \frac{l \cdot a^2}{3}$

→ Kein Endkraterabzug bei Flächenträgheits- und Widerstandsmoment

Tabelle 2: Berechnungsfall 2 – Stumpfnah am Rechteckrohr

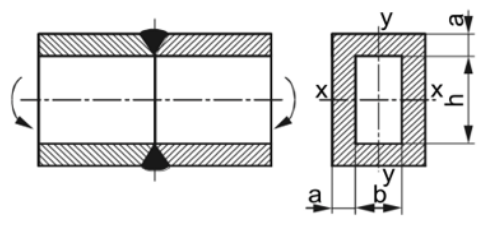
Zug und Druck	$A_w = 2a \cdot (2a + h + b)$	
Schub In x-x-Richtung	$A_{ws} = 2a \cdot (2a + b)$	
Schub In y-y-Richtung	$A_{ws} = 2a \cdot (2a + h)$	
Biegung um x-x-Achse	$I_{bx} = \frac{(b + 2a) \cdot (h + 2a)^3 - b \cdot h^3}{12}$	$W_{bx} = \frac{2 \cdot I_{wx}}{h + 2a}$
Biegung Um y-y-Achse	$I_{by} = \frac{(h + 2a) \cdot (b + 2a)^3 - h \cdot b^3}{12}$	$W_{by} = \frac{2 \cdot I_{wy}}{b + 2a}$
Torsion Bredtsche Formel	$A_m = (h + a) \cdot (b + a)$	$W_t = 2 \cdot A_m \cdot a$

Tabelle 3: Berechnungsfall 3 – Stumpfnah am Kreisrohr

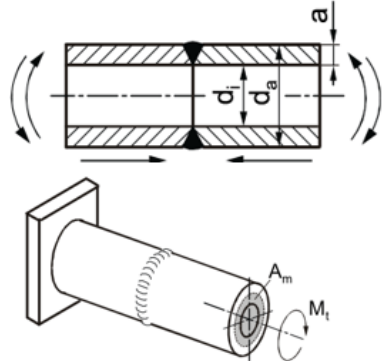
Zug und Druck	$A_w = \frac{\pi}{4} \cdot (d_a^2 - d_i^2)$	
Biegung	$I_b = \frac{\pi}{64} \cdot (d_a^4 - d_i^4)$	
Torsion für $d_i \leq 10a$	$I_t = \frac{\pi}{32} \cdot (d_a^4 - d_i^4)$	
Torsion für $d_i > 10a$ Bredtsche Formel	$A_m = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_a + d_i}{2} \right)^2$	
		$W_t = 2 \cdot A_m \cdot a$

Tabelle 4: Berechnungsfall 4 – Kehlnaht am Rechteckrohr

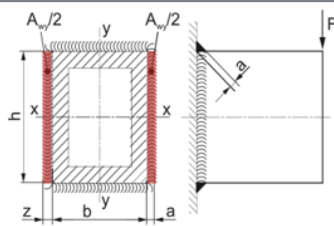
Zug und Druck	$A_w = 2a \cdot (h + b)$	
Schub In x-x-Richtung	$A_{ws} = 2a \cdot b$	
Schub In y-y-Richtung	$A_{ws} = 2a \cdot h$	
Biegung um x-x-Achse	$I_{bx} = \frac{a \cdot h^3 + b \cdot a^3 + 3ab \cdot (h + a)^2}{6}$	$W_{bx} = \frac{2 \cdot I_{wx}}{h + 2a}$
Biegung Um y-y-Achse	$I_{by} = \frac{a \cdot b^3 + h \cdot a^3 + 3ah \cdot (b + a)^2}{6}$	$W_{by} = \frac{2 \cdot I_{wy}}{b + 2a}$
Torsion Bredtsche Formel	$A_m = (h + a) \cdot (b + a)$	$W_t = 2 \cdot A_m \cdot a$

Tabelle 5: Berechnungsfall 5 – Kehlnaht am Kreisrohr

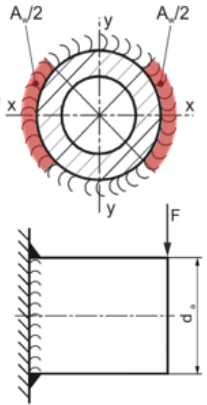
Zug und Druck	$A_w = \pi \cdot a \cdot (d_a + a)$	
Schub	$A_{ws} = \frac{\pi}{2} \cdot a \cdot (d_a + a)$	
Biegung	$I_b = \frac{\pi}{64} \cdot ((d_a + 2a)^4 - d_a^4)$	$W_b = \frac{2 \cdot I_w}{d_a + 2a}$
Torsion für $d_i \leq 10a$	$I_t = \frac{\pi}{32} \cdot ((d_a + 2a)^4 - d_a^4)$	$W_t = \frac{2 \cdot I_w}{d_a + 2a}$
Torsion für $d_i > 10a$ Bredtsche Formel	$A_m = \frac{\pi}{4} \cdot (d_a + a)^2$	$W_t = 2 \cdot A_m \cdot a$

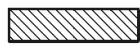
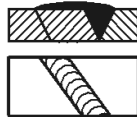
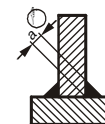
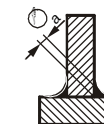
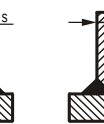
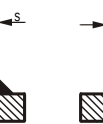
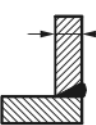
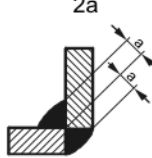
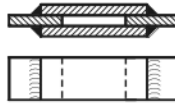
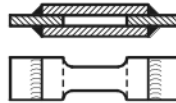
Tabelle 6: Beiwert für statischen Belastungsfall

Nahtform	Belastung	Beiwert v_1
Stumpfnah	Zug/Druck	$v_{z1} = 1$
	Biegung	$v_{b1} = 1$
	Schub	$v_{s1} = 0,8$
Kehlnaht	Zug/Druck	$v_{z1} = 0,8$
	Biegung	$v_{b1} = 0,8$
	Schub	$v_{s1} = 0,8$

Tabelle 7: Beiwert für die Nahtgüte

Nahtgüte	Bewertungsgruppe	Beiwert v_2
nachgewiesen	AS, AK	1
	BS, BK	0,9
	CS, CK	0,8
nicht nachgewiesen	D	0,5

Tabelle 8: Beiwert für dynamischen Belastungsfall

Stumpfstoß	Bezeichnung	Volles Blech	V-Naht	V-Naht (wurzelverschweißt)	V-Naht (bearbeitet)	X-Naht	V-Schräгнаht		
v ₁	Nahtdicke	a = s	a = s	a = s	a = s	a = s	a = s		
	Nahtbild								
	Zug-Druck	1	0,5	0,7	0,92	0,7	0,8		
	Biegung	1,2	0,6	0,84	1,1	0,84	0,98		
	Schub	0,8	0,42	0,56	0,73	0,56	0,65		
T-Stoß	Bezeichnung	Doppel-				HV-Naht (wurzelverschweißt mit Kehlnaht)	K-Naht (mit Doppelkehlnaht)	X-Naht	
		Wölbnah	Flachnaht	Hohlnaht	Flachnaht				
v ₁	Nahtdicke	2a	2a	2a	a	s	s	s	
	Nahtbild								
	Zug-Druck	0,32	0,35	0,41	0,22	0,63	0,56	0,7	
	Biegung	0,69	0,7	0,87	0,11	0,8	0,8	0,84	
	Schub	0,32	0,35	0,41	0,22	0,5	0,45	0,56	
Eckstoß	Bezeichnung	Flachnaht	Doppel- Flachnaht		Eck-Stumpfnah		Eck-X-Naht		
v ₁	Nahtdicke	a	2a		s	s	2a		
	Nahtbild								
	Zug-Druck	0,22	0,3		0,45	0,6	0,35		
	Biegung	0,11	0,6		0,55	0,75	0,7		
	Schub	0,22	0,3		0,37	0,5	0,35		
Laschenstoß	Laschenstoß mit:	Stirnkehlnaht				Flankenkehlnaht			
v ₁	Nahtdicke	2a				2a			
	Nahtbild								
	Zug	0,22				0,25			