

Lehrstuhl für Fördertechnik und Konstruktionslehre
Department Product Engineering
Montanuniversität Leoben



Diplomarbeit

Konzipierung und Auslegung einer Zugprüfmaschine für
Material- und Funktionsprüfungen an Ausbauelementen
für den Untertagebau

Dominik Johannes Dendl
Studienrichtung Montanmaschinenwesen

Leoben, im Juni 2011

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Leoben, am 01.06.2011

Dominik Johannes Dendl

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei der Firma DYWIDAG-Systems International GmbH für die Unterstützung dieser Diplomarbeit am Lehrstuhl für Fördertechnik und Konstruktionslehre bedanken. Besonders bedanken möchte ich auch bei meinen universitären Betreuer, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Franz Kessler.

Mein ganz persönlicher Dank gilt meinen beiden Betreuern, Herrn Dipl.-Ing. Wolfgang Dolsak und Herrn Dipl.-Ing. Günther Volkmann von der Firma DYWIDAG-Systems International GmbH, die mich bei der Verfassung meiner Diplomarbeit sowie bei der Durchsicht und Korrektur unterstützt haben.

Meinen Eltern, Roswitha Dendl und Michael Koller, die mir ein Studium „Montanmaschinenwesen“ an der Montanuniversität Leoben ermöglicht haben, möchte ich auch herzlich danken. Leider durften sie beide das Ende meines Studiums nicht mehr miterleben.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei meinen nächsten Verwandten, im Besonderen bei meinem Bruder Werner Koller und meiner Schwester Martina Huber, die mir immer einen familiären Rückhalt geboten haben.

Für die schöne Zeit während meines Studiums in Leoben möchte ich meinen Dank an meine Freunde und Kommilitonen aussprechen.

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entscheidungsfindung zur Bestimmung der optimalen technisch-wirtschaftlichen Konstruktionsvariante für eine Zugprüfmaschine auf Basis der Vorgaben eines Lastenhefts des Auftraggebers, der Firma DYWIDAG-Systems International GmbH mit Sitz in Pasching/Linz. Diese Prüfmaschine soll der Durchführung von Zugversuchen im Rahmen der internen und externen Produktionskontrolle sowie der Unterstützung von Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der untertätigen Stützmittel dienen.

Auf Grundlage der Anforderungen aus gültigen Prüfnormen für Ausbauelemente im Untertagebau und der erforderlichen Prüfkräfte wurde in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber ein Lastenheft erstellt. Das Lastenheft beinhaltet die Anforderungen an Messtechnik, hydraulische Komponenten, Steuerung und Regelung sowie Konstruktion der Prüfmaschine. Bei der Konzipierung der Maschine wurden von Beginn an die maßgebenden Aspekte der aktuellen Maschinensicherheitsverordnung mit einbezogen.

Aus möglichen Krafteinleitungsvarianten in die Probe wurden mehrere Konstruktionsvarianten entwickelt und mittels einer Bewertungsmatrix verglichen.

Das Ergebnis der Bewertung zeigte als bevorzugte Variante eine Prüfmaschine mit zwei Hydraulikzylindern, zwischen zwei Querträgern montiert (siehe Abbildung 1). Hierbei ist ein Querträger fest, der zweite beweglich ausgeführt. Der bewegliche Querträger wird zwischen zwei Gleitlagern geführt. Die Rahmenkonstruktion dient einerseits zur Führung des beweglichen Querträgers, andererseits zur Aufnahme des festen Querträgers. Die Probe wird zwischen zwei symmetrisch angeordneten Hydraulikzylindern eingeführt. Die Einspannung erfolgt außerhalb der beiden Querträger, wobei die Probe durch Bohrungen in beiden Querträger geführt und verspannt wird. Durch das Ausfahren der Hydraulikzylinder wird Zugkraft in die Probe eingeleitet. Um den Zugang zur Probe zu erleichtern wurde die Prüfmaschine um 60 [°] geneigt aufgestellt.

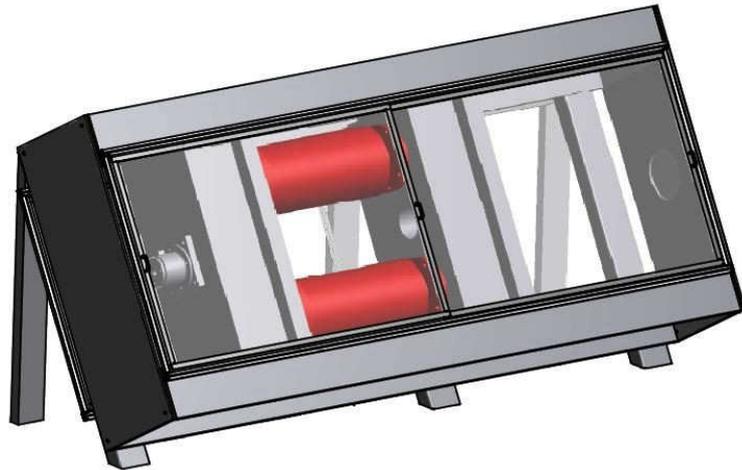


Abbildung 1: ISO-Ansicht der Prüfmaschine.

Mittels der Finite-Elemente-Methode (in der Folge mit FEM abgekürzt) wurde der optimale Querschnitt der Querträger bestimmt. Die höchstbelastete Schweißnaht wurde mittels des Strukturspannungskonzepts bewertet. FEM-Modelle für die Auslegung der Schweißnähet und der Querschnittsfläche wurden mit jeweils einer numerischen Rechnung verglichen.

Ein Steuerungskonzept wurde mit Hilfe der „Finite-State-Machine“- Methode erstellt und in das Lastenheft eingearbeitet.

Das beschriebene Lastenheft dient schlussendlich als Grundlage für die Auslegung der hydraulische Antriebseinheit und der Maschinensteuerung.

Auf Basis der vorliegenden Arbeit kann die Realisierung der 5 [MN] Zugprüfmaschine für Werkstoff- und Funktionsprüfung an Ausbauelementen im Untertagebau begonnen werden.

Abstract

The present thesis describes the decision-making process for the determination of the optimum layout for a tensile testing machine. Based on the specifications of the sponsor company, DYWIDAG-Systems International GmbH based in Pasching/Linz, the evaluation has been conducted both on a technical and economical basis. This tensile testing machine will be used for internal and external quality control testing, and supporting tests in the course of R&D in the field of ground control products and systems.

Specifications from test standards for ground control products and systems, and given test forces were the basis for the functional requirements, which have been defined in cooperation with the sponsor company. The functional requirements include the sections measurement techniques, hydraulic components, control and adjustment, and design of the testing machine. In the course of the conceptual design, main aspects of the machine safety direction have been included from the beginning. Alternative design concepts derived from different methods of load transmission have been established and compared by a rating matrix. As a result, a preferred design concept for the tensile testing machine using two hydraulic cylinders mounted in between two cross beams has been identified (see figure 1 on page 5). One cross beam is fixed, the second one movable. The movable cross beam is guided by two friction bearings. The framework of the testing machine is required for the guidance of the movable cross beam, and holds the fixed cross beam too. The test piece is put in between the two symmetrical hydraulic cylinders. Fixation and tensioning of the test piece is accomplished on the outer sides of both cross beams, which have a through boring to accommodate the test pieces. By driving the hydraulic cylinders forward, a tensile force is introduced into the test piece. For the purpose of easing the access to the test piece, the tensile testing machine has been designed at an inclination of 60 degrees. The optimum layout of the cross beams has been determined using the finite elements method (FEM). By means of the hot spot approach, the utmost loaded welding seam has been evaluated. FEM-results for the design of the welding seam and the beam layout have been compared with conventional numerical calculations.

The control system has been defined by the “Finite-State-Machine” method; a description is included in the functional specifications. The already mentioned functional specifications are the basis for the design of the hydraulic drive unit and machine control in general.

Based on the present work, the realization of a 5 [MN] tensile testing machine for material and system testing of ground control products and systems can be conducted in the following.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Eidesstattliche Erklärung | 2 |
| Danksagung | 3 |
| Kurzfassung | 4 |
| Abstract | 6 |
| Inhaltsverzeichnis | 8 |
| Abkürzungs- und Formelzeichenverzeichnis | 12 |
| 1. Einleitung und Aufgabenstellung | 15 |
| 1.1 Einleitung | 15 |
| 1.2 Aufgabenstellung des Unternehmens | 16 |
| 2. Ausbauelemente im Untertagebau | 17 |
| 2.1 Allgemeines | 17 |
| 2.2 Anker und Felsbolzen | 18 |
| 2.2.1 Verpressanker | 20 |
| 2.2.2 Reibanker | 21 |
| 2.2.3 Spreizanker..... | 21 |
| 2.3 Spieße..... | 22 |
| 2.4 Rohrschirme..... | 22 |
| 2.5 Prüfung von Ausbauelementen im Untertagebau..... | 23 |
| 3. Maschineneinflüsse | 24 |
| 4. Proben | 25 |
| 5. Prüfmethode | 28 |
| 5.1 Zugversuch | 28 |
| 5.2 Wirkung von Kerben..... | 29 |
| 5.3 Normen | 29 |
| 5.3.1 ÖNORM EN ISO 6892-1..... | 29 |
| 5.3.2 ETAG 013..... | 32 |
| 5.4 Werkstoffprüfung..... | 34 |
| 5.5 Funktionsprüfung | 35 |
| 5.5.1 Kupplung..... | 35 |
| 5.5.2 Verankerung | 35 |
| 6. Messsysteme | 36 |
| 6.1 Sensoren..... | 36 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 6.2 | Übersicht der Messaufnehmer für Druck- bzw. Kraftmessung | 37 |
| 6.3 | Übersicht der Messaufnehmer zur Längenmessung | 38 |
| 6.4 | Abschätzungen der Messfrequenz | 39 |
| 7. | Steuerungs- und Regelungstechnik..... | 40 |
| 7.1 | Steuerungstechnik | 40 |
| 7.2 | Regelungstechnik..... | 40 |
| 7.3 | Steuerungsablauf mit Hilfe des „Finite State Machine“ Konzepts | 42 |
| 7.4 | Konzepte für die Zugprüfmaschine | 42 |
| 7.4.1 | Schematischer Aufbau der Steuerung der Zugprüfmaschine und des Regelkreises | 42 |
| 7.4.2 | Steuerungskonzept für die Zugprüfmaschine | 43 |
| 7.4.3 | Steady-State-Diagramm für die Zugprüfmaschine | 43 |
| 8. | Hydraulik | 45 |
| 8.1 | Allgemeines | 45 |
| 8.2 | Übersicht und Vergleich unterschiedlicher Hydraulikventile | 47 |
| 8.2.1 | Druckventile | 47 |
| 8.2.2 | Stromventile | 48 |
| 8.2.3 | Proportionalwirkende Ventile | 48 |
| 8.3 | Hydraulikzylinder | 49 |
| 8.3.1 | Einfachwirkende Hydraulikzylinder | 49 |
| 8.3.2 | Doppeltwirkende Hydraulikzylinder | 49 |
| 8.4 | Auswahlkriterien und Anforderungen an einen Hydraulikzylinder | 50 |
| 8.5 | Hydraulikkonzepte für die Zugprüfmaschine | 51 |
| 8.5.1 | Hydraulisches Konzept für "EINEN" Hydraulikzylinder | 51 |
| 8.5.2 | Hydraulisches Konzept für "ZWEI" Hydraulikzylinder | 53 |
| 9. | Konstruktion..... | 55 |
| 9.1 | Konzepte für die Anordnung der Messsysteme und Hydraulikzylinder | 55 |
| 9.1.1 | Konzept 1 – „Zugstange“ | 55 |
| 9.1.2 | Konzept 2 - „Hohlkolben“ | 57 |
| 9.1.3 | Konzept 3 – „TVFA TU Wien ALT“ | 58 |
| 9.1.4 | Konzept 4 – „Zwei Hydraulikzylinder“ | 60 |
| 9.2 | Konzeptauswahl | 62 |
| 9.3 | Mechanische Auslegung der Zugprüfmaschine | 63 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 9.4 | Dämpfungskonzept | 66 |
| 10. | Maschinensicherheit | 67 |
| 10.1 | Allgemeines | 67 |
| 10.2 | Definition „Maschine“ laut der Maschinenrichtlinie MSV 2010 | 70 |
| 10.3 | Aufbau der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG | 71 |
| 10.4 | Technische Unterlagen | 72 |
| 10.5 | Allgemeine Gestaltungsleitsätze für die Sicherheit von Maschinen | 74 |
| 10.5.1 | Normen | 75 |
| 10.5.2 | Gefährdungen | 76 |
| 10.6 | Verfahrensweg zur Risikominimierung bei Maschinen..... | 77 |
| 10.6.1 | Allgemeines | 77 |
| 10.6.2 | Risikobeurteilung | 78 |
| 10.6.3 | Risikoanalyse..... | 78 |
| 10.6.4 | Risikobewertung | 86 |
| 10.6.5 | Risikovergleich..... | 88 |
| 10.7 | Dokumentation | 88 |
| 10.8 | Steuerungen | 89 |
| 10.8.1 | Vorgehensweisen bei EN 954-1: 1996 | 89 |
| 10.8.2 | Unterschied EN 954-1 zu EN 13849-1..... | 90 |
| 10.9 | Sicherheitstechnische Festlegungen für Werkstoffprüfmaschinen..... | 90 |
| 10.9.1 | Gefahren..... | 90 |
| 10.9.2 | Allgemeine sicherheitstechnische Festlegungen | 91 |
| 11. | Datenmanagement..... | 93 |
| 11.1 | Dokumentation der gewählten Prüfbedingungen | 93 |
| 11.2 | Prüfbericht..... | 93 |
| 11.3 | Messwerterfassungsfrequenz | 94 |
| 12. | Lastenheft..... | 95 |
| 12.1.1 | Probenanzahl und Prüfkräfte | 95 |
| 12.1.2 | Prüfanordnungen und Prüfparameter | 98 |
| 12.1.3 | Anforderungen an die Messsysteme | 105 |
| 12.1.4 | Anforderungen an Steuerung und Regelung der Prüfmaschine | 106 |
| 12.1.5 | Hydrauliklastenheft | 108 |
| 13. | Zusammenfassung | 110 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 13.1 | Entscheidungsbaum..... | 110 |
| 13.2 | Konstruktives Pflichtenheft..... | 111 |
| 13.3 | Konformitätsprozess an der Zugprüfmaschine..... | 114 |
| 13.3.1 | Risikobeurteilung | 114 |
| 13.3.2 | Sicherheitskonzept | 114 |
| 14. | Literaturverzeichnis..... | 116 |
| 15. | Abbildungsverzeichnis..... | 118 |
| 16. | Tabellenverzeichnis..... | 120 |

Anhang A – Entscheidungsbaum

Anhang B – Risikobeurteilung: Bestimmung der Grenzen der Maschinen

Anhang C – Risikobeurteilung

Anhang D – Abschätzung der Messfrequenz

Anhang E – Steuerungskonzept für die Zugprüfmaschine

Anhang F – Konzept für dem Steuerungsablauf der Zugprüfmaschine

Anhang G – Mechanische Auslegung der Prüfmaschine

Anhang H – Energiebetrachtung bei Gewaltbruch

Anhang I – Beispiele für Gefährdungen

Abkürzungs- und Formelzeichenverzeichnis

Tabelle 1: verwendete Abkürzungen.

| Abkürzung | Bedeutung |
|-----------|--------------------------------|
| bzw. | beziehungsweise |
| engl. | englisch |
| etc. | et cetera |
| d.h. | das heißt |
| FEM | Finite Elemente Methode |
| MSV | Maschinensicherheitsverordnung |
| s.l. | sine loco (ohne Ort) |
| z.B. | zum Beispiel |
| ZPM | Zugprüfmaschine |

Tabelle 2: verwendete Formelzeichen.

| Zeichen | Bedeutung | Einheit |
|----------------------|---|----------------------|
| A | Fläche | [mm ²] |
| A ₀ | Nennquerschnitt | [mm ²] |
| A _g | Plastische Extensometer-Dehnung bei der Höchstkraft | [%] |
| A _{gt} | Gesamte Extensometer-Dehnung bei der Höchstkraft | [%] |
| A _{Kolben} | Kolbenfläche | [mm ²] |
| d _a | Außendurchmesser | [mm] |
| D _b | Bohrlochdurchmesser | [mm] |
| $\dot{\epsilon}$ | Dehngeschwindigkeit | [1/s] |
| E | Elastizitätsmodul | [N/mm ²] |
| f | Frequenz | [Hz] |
| F _a | Kraftamplitude | [kN] |
| F _{p0,2} | Kraft an der 0,2% Dehngrenze | [kN] |
| F _m | Höchstkraft | [kN] |
| F _{max} | benötigte, maximale Kraft | [kN] |
| F _t | Mittlere Prüfkraft | [kN] |
| h _a | Hubamplitude | [mm] |
| h _{mittel} | Mittlerer Hub | [mm] |
| h _{Kolben} | Kolbenhub | [mm] |
| l _{fs} | Freispielstrecke | [mm] |
| l _{va} | Äußere Verbundlänge | [mm] |
| l _{vi} | Innere Verbundlänge | [mm] |
| p _{Betrieb} | Betriebsdruck | [bar] |
| q | Relative Anzeigeabweichung | [-] |
| \dot{R} | Spannungsgeschwindigkeit | [MPa/s] |
| R _e | Streckgrenze | [N/mm ²] |
| R _{eH} | Obere Streckgrenze | [N/mm ²] |
| R _m | Zugfestigkeit | [N/mm ²] |
| R _p | Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung | [N/mm ²] |
| R _{p0,2} | 0,2 [%] Dehngrenze | [N/mm ²] |
| R _t | Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung | [N/mm ²] |

| | | |
|---------------------|-----------------------|----------------------|
| t | Zeitintervall | [s] |
| $V_{\text{Öl}}$ | Ölvolumen | [dm ³ /s] |
| v_{Kolben} | Kolbengeschwindigkeit | [mm/s] |
| Z | Brucheinschnürung | [%] |

1. Einleitung und Aufgabenstellung

1.1 Einleitung

Die mechanisch-technologische Prüfung von Werkstoffen ist die älteste Disziplin in der Materialprüfung (1). Im 15. und 16. Jahrhundert stellten Leonardo da Vinci und Galileo Galilei Überlegungen über die Biegebeanspruchung und das elastische Verhalten von Werkstoffen an (1). Bauteile werden unter reproduzierbaren und spezifizierten mechanischen Bedingungen geprüft, um das Verhalten aus werkstoffspezifischen Kennwerten zu bestimmen. Vor ihrem Praxiseinsatz werden Bauteile auf ihre Funktionsfähigkeit geprüft. Die mechanisch-technologische Prüfung ist eine Methode, Bauteile auf ihre Leistung und auf ihre Qualität zu überprüfen (2).

Ausbauelemente für den Untertagebau werden für die Stützung und Verfestigung von Hohlräumen eingesetzt. Diese Ausbauelemente müssen bestimmungsgemäßen Material- und Funktionsprüfungen unterzogen werden, um ihre Leistungscharakteristik zu definieren und ihre Qualität laufend zu überprüfen. Die Firma DYWIDAG-Systems International GmbH mit Sitz in Pasching/Linz stellt Ausbauelemente für den Untertagebau her. Die in der vorliegenden Arbeit behandelte Zugprüfmaschine soll für interne Qualitätsprüfungen sowie auf dem Gebiet der Forschung und Entwicklung eingesetzt werden.

Die Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit umfasst daher die Findung der Versuchsparameter für die Material- und Funktionsprüfungen von Ausbauelementen im Untertagebau und die darauf anschließende Konzeption und Konstruktion einer geeigneten Zugprüfmaschine. Die Zielsetzung war es die technisch-wirtschaftlich optimale Konstruktionsvariante für diese Prüfmaschine zu bestimmen. Auf die Umsetzung des Lastenheftes durch den Auftraggeber wurde vom Auftraggeber besonderes Augenmerk gelegt. Ein weiterer wichtiger Aufgabenpunkt war die Definition von Lastenheften für die Teilbereiche Hydraulik, Steuerung und Regelung. Die Maschineneinflüsse bilden das Konzept für die Gliederung der vorliegenden Arbeit.

1.2 Aufgabenstellung des Unternehmens

Die Firma DYWIDAG-Systems International GmbH mit Sitz in Pasching/Linz benötigt eine neue Zugprüfmaschine (ZPM) zur Durchführung von Werkstoff- und Funktionsprüfungen an Ausbauelementen für den Untertagebau. Eine maximale Prüfkraft von 5.000 [kN] soll hierbei realisiert werden. Der Antrieb der ZPM soll hydraulisch erfolgen und soll so konzipiert sein, dass je nach Tragfähigkeitsklassen der Ausbauelemente unterschiedliche Sets von Hydraulikzylindern für den entsprechenden Lastbereich verwendet werden können. Die Auslegung der Hydraulikkomponenten der ZPM soll so erfolgen, dass weder beim Regelbetrieb noch bei einem Bruch einer Probe (hohe, impulsartige frei werdende Kräfte) an der Maschine Schäden auftreten.

Die Werkstoffprüfung beinhaltet die Ermittlung des Spannungs-Dehnungs-Verlaufes inklusive der Ermittlung des Elastizitätsmoduls. Die Elastizitätsmodulbestimmung ist jedoch nicht bei jeder Prüfung notwendig. Voll- und Hohlstabsysteme (Zugglieder und Muffen bzw. Verankerungen) werden bei der Funktionsprüfung auf ihre Gebrauchstauglichkeit geprüft. Von den verschiedenen Möglichkeiten der Spannungs- und Dehnungsmessung soll für diese Prüfmaschine die geeignetste ausgewählt werden.

Die ZPM wird in einem neuen Prüflabor integriert. Die maximale Größe der ZPM ist durch die des Prüflabors definiert. Die ZPM darf in ihren Gesamtabmessungen eine Länge von sechs Metern, eine Breite und Höhe von in etwa zwei Metern nicht überschreiten.

Die Probenlängen variieren zwischen ca. 2.000 und 3.000 [mm]. Als Proben für die Werkstoffprüfung werden Vollstäbe und Rohre sowie profilierte Hohlstäbe verwendet. Der Durchmesser der zu prüfenden Vollstäbe liegt im Bereich von 20-70 [mm]. Die Probenaufnahme, d.h. die beidseitige Einspannung, muss so realisiert werden, dass die unterschiedlichen Voll- und Hohlstabsysteme aufgenommen werden können (Anpassung an die unterschiedliche Profilierung erforderlich). Für die Funktionsprüfungen werden die oben genannten Elemente entweder gekuppelt und/oder die Endverankerung (z.B. Platte und Mutter), einseitig mittels Aufnahmewerkzeugen eingespannt, geprüft.

2. Ausbauelemente im Untertagebau

2.1 Allgemeines

„In vielen Fällen, in denen untertägige Hohlräume hergestellt, Baugruben ausgehoben oder Geländeeinschnitte vorgenommen werden, aber auch an natürlichen Böschungen, müssen Maßnahmen zur künstlichen Stützung der freiliegenden Flächen getroffen werden, weil das Gebirge wegen mangelnder Festigkeit nicht imstande ist, stabil zu bleiben“. (3)

In der Literatur werden hierfür zwei Möglichkeiten genannt: der künstlichen Ausbau (engl. „support“) und die künstliche Verfestigung (engl. „reinforcement“).

Für den künstlichen Ausbau werden Bauelemente ausgewählt, die die Kräfte beim Zerfallsprozess in Richtung der freiliegenden Flächen aufnehmen können (3). Diese Ausbauelemente bringen hohlraumseitig so viel Widerstand gegen die Verformung des Gebirges auf, dass das Gebirge nicht in den Hohlraum hinein bricht.

Folgende Ausbauelemente werden dem künstlichen Ausbau zugeordnet:

- (a) Spritzbeton- und Betonauskleidungen;
- (b) Holz- und Stahlausbau; und
- (c) Tübbinge.

Bei der künstlichen Verfestigung wird die Festigkeit des Gebirges „von innen erhöht“. Dies kann entweder durch eine Baugrundverbesserung oder durch Verbesserung des Spannungszustandes erreicht werden. Die bekannteste Methode zur Verfestigung ist die Ankerung bzw. Verdübelung (4).

Die nachstehenden Ausbauelemente bzw. damit verbundenen Methoden zur Gebirgsverbesserung werden der künstlichen Verfestigung zugeschrieben:

- (a) Verankerungen;
- (b) Injektionen;
- (c) Vereisungen (als temporäre Gebirgsverbesserung);
- (d) Spieße; und
- (e) Rohrschirme.

In den Kapiteln 2.2 bis 2.4 werden Ausbauelemente für das künstliche Verfestigen kurz beschrieben. Injektion, Vereisung und die Ausbauelemente für den künstlichen Ausbau werden nicht im Detail behandelt, weiterführende Informationen finden sich in (4) und (5).

2.2 Anker und Felsbolzen

Der Anker bzw. Felsbolzen (in der Folge wird auf Anker referenziert) ist das am häufigsten eingesetzte Mittel zur Gebirgsverfestigung. Diese Elemente werden eingesetzt um Blöcke im Verband zu halten, Schwerverschiebungen an vorgegebenen Trennflächen oder anlaufenden Brüchen zu behindern, oder die Biegesteifigkeit durch Verdübelung einzelner Schichten zu erhöhen (3).

Anker sind stabförmige und auf Zug oder Schub ausgelegte Elemente (3), die aus Vollstäben, Rohren oder Litzen hergestellt werden. Durch Vorspannung des Ankers wird eine Druckkraft im Baugrund bzw. Gebirge eingebracht, diese bewirkt eine Verbesserung der Tragfähigkeit des Baugrunds bzw. Gebirges (5). Eingebaute, ungespannte Anker, die eigentlichen Felsbolzen, benötigen eine Verformung des Gebirges zur Aktivierung (5).

Typische Anwendungsgebiete von Ankern sind die Systemankerung unter Tage, die Stützung von Baugruben, und die Aufnahme von Zugkräften bei Seilbrücken, Seilbahnen oder ähnlichen Bauwerken.

Abbildung 2 zeigt die wesentlichen Bauteile des Ankers. Ein Anker besteht im Wesentlichen aus dem Ankerkopf, dem Ankerschaft und dem Verbundelement mit dem Gebirge. Der Ankerkopf wird aus der Ankerplatte, dem Befestigungs- bzw. Spannelement und gegebenenfalls Zwischenstücke (z.B.: Stauchelement, Zwischenstücke, etc.) gebildet. Durch die Ankerplatte wird die Kraft des Befestigungs- bzw. Spannelement auf das Gebirge, Auflager bzw. Bauteil übertragen (6). Das Verbundelement ermöglicht den Kraftschluss zwischen Gebirge und Anker.

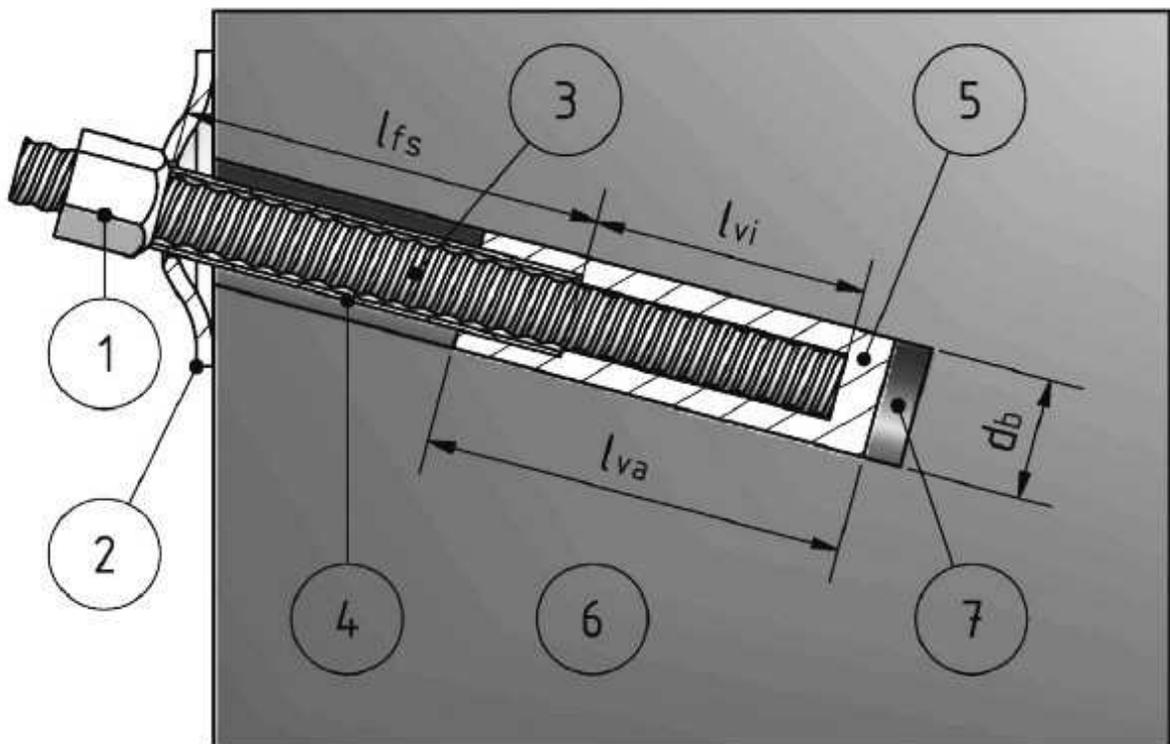


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Gebirgsankers und Benennung der Systemkomponenten in Anlehnung an DIN 21521-1: 1 Ankermutter, 2 Ankerplatte, 3 Ankerschaft, 4 Ummantelung (Hüllrohr), 5 Verbundmaterial, 6 Gebirge, 7 Ankerbohrloch, l_{fs} Freispielstrecke, l_{vi} Innere Verbundlänge, l_{va} Äußere Verbundlänge, d_b Bohrlochdurchmesser (7).

Die Literatur kennt verschiedene Möglichkeiten die Anker zu unterscheiden (4), (5), (6). Einige sind nachfolgend angeführt:

Nach der Nutzungsdauer:

- (a) Temporäranker (Nutzungsdauer < 2 Jahre);
- (b) Permanentanker oder Daueranker (Nutzungsdauer > 2 Jahre).

Nach Art des Verbundelementes:

- (a) Verpressanker;
- (b) Reibanker;
- (c) Spreizanker.

2.2.1 Verpressanker

Verpressanker werden in ein vorab erstelltes Bohrloch eingeführt, anschließend wird das im Bohrloch befindliche Ende mit Zementmörtel verfüllt bzw. nachträglich verpresst. Das luftseitige Ende des Ankers wird über eine Kopfplatte gegen eine Stützwand vorgespannt. In Abbildung 3 ist das Prinzip eines Verpressankers dargestellt.

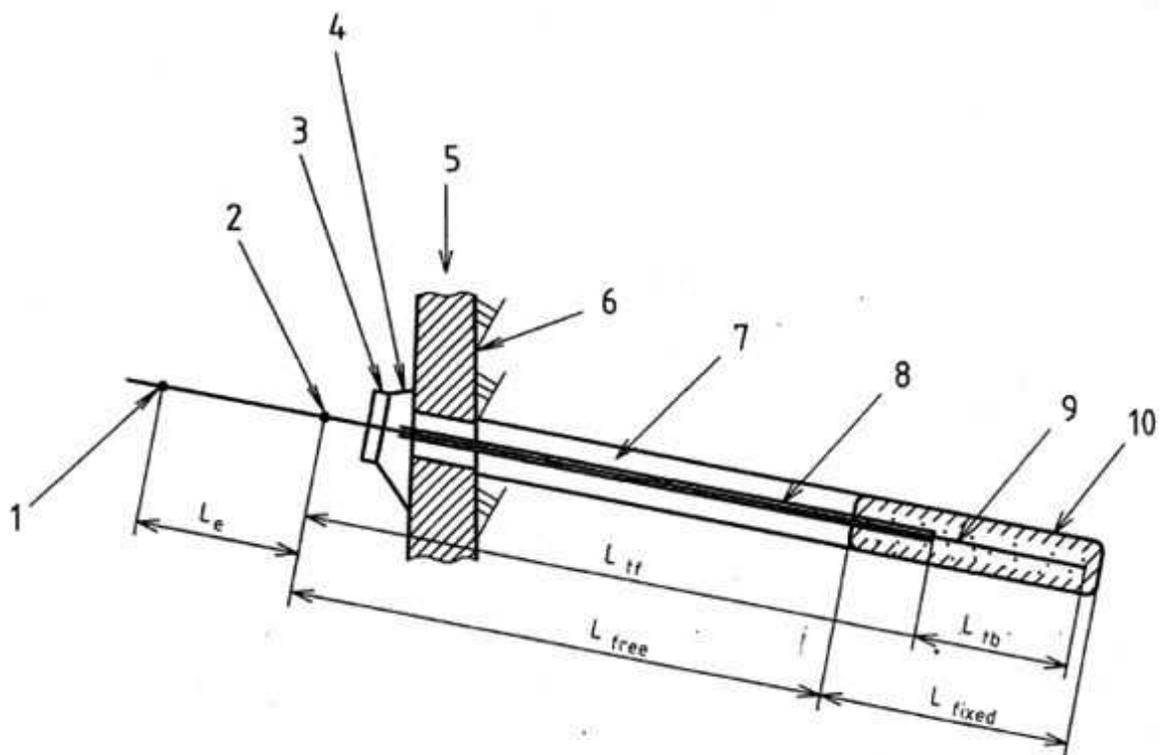


Abbildung 3: Verpressanker - 1 Verankerungspunkt an der Spannpresse während des Spanns, 2 Verankerungspunkt am Ankerpunkt im Gebrauchszustand, 3 Auflagerplatte, 4 Auflager, 5 Bauteil, 6 Boden / Fels, 7 Bohrloch, 8 Hüllrohr, 9 Zugglied, 10 Verpresskörper (8).

2.2.2 Reibanker

Bei Reibankern erfolgt der Kraftübertragung zwischen Bohrlochwand und Ankerschaft über Reibung. Die Reibung entsteht durch das Anpressen des rohrförmigen Ankerschaftes gegen die Bohrlochwand. Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Funktionsweise eines Reibrohrexpanstionsankers.

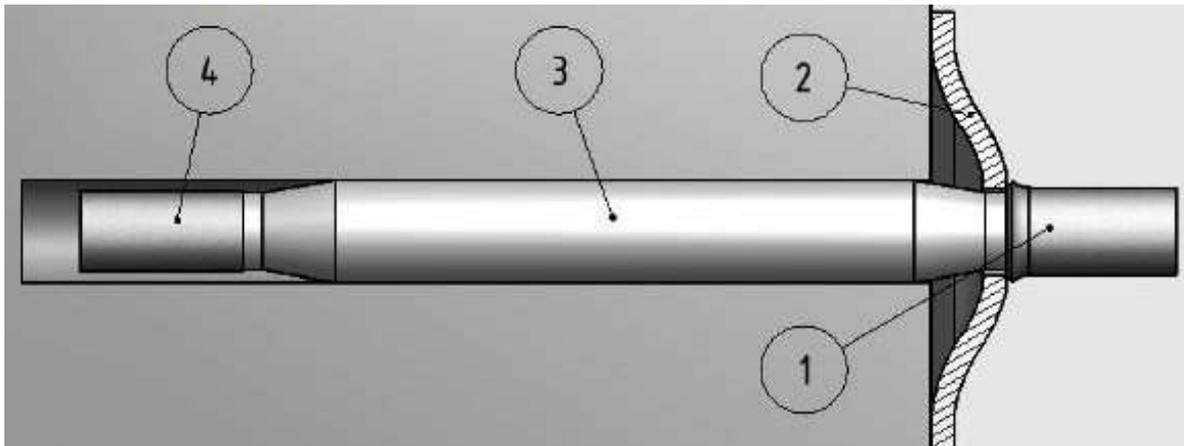


Abbildung 4: Reibrohrexpanstionsanker - 1 Setzhülse (aufgeschweißt), 2 Kalottenankerplatte, 3 W-förmiges Ankerrohr, 4 Endhülse (7).

2.2.3 Spreizanker

„Bei sogenannten Spreizankern (oder Spreizkopfankern bzw. Endankern) wird im Bohrlochfuß der Ankerstab über ein Spreizelement mit der Bohrlochwand verspannt“ (7). Abbildung 5 stellt den Spreizanker mit seinen Komponenten dar.

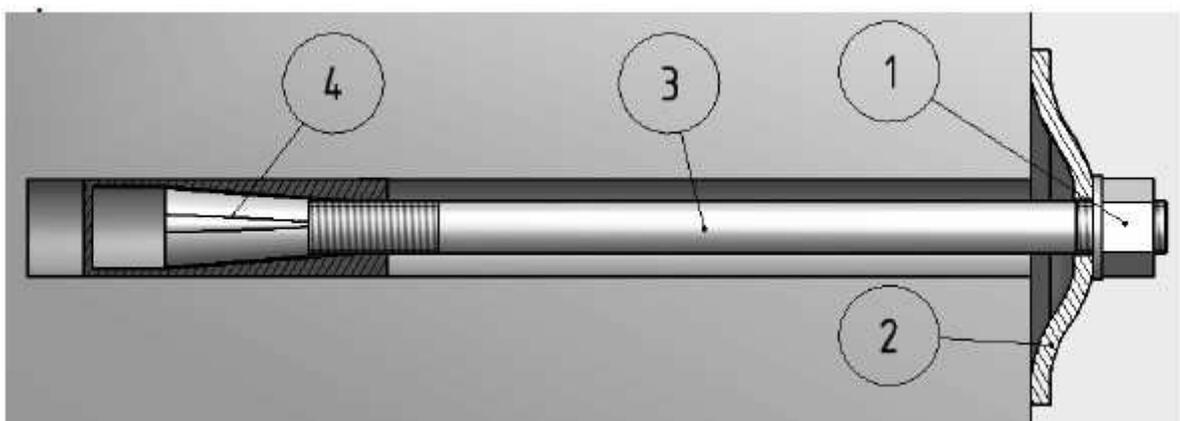


Abbildung 5: Spreizanker - 1 Anker Mutter, 2 Kalottenankerplatte, 3 Ankerstab mit beidseitig aufgerolltem Gewinde, 4 Spreizkopf (7).

2.3 Spieße

Eine weitere Möglichkeit, den Baugrund bzw. das Gebirge zu stützen, ist die Einbringung von Spießen. Spieße werden vorausseilend im unmittelbaren Vortriebsbereich eingebracht.

„Eingesetzt werden die Spieße wenn die Verbandsfestigkeit des Gebirges zu gering ist, dass selbst das Freilegen von kleineren Flächen zu einem Nachbrechen bzw. zu einem Ausführen des Materials führt“ (4).

Spieße werden im Allgemeinen aus Rohren oder Stabstählen gefertigt.

2.4 Rohrschirme

Rohrschirme werden längs der Vortriebsrichtung zur Voraussicherung bei weichem oder gestörtem Baugrund verwendet. Rohrschirme werden parallel zum Hohlraum eingebohrt und später mit Zementsuspension oder Schaumharzen verpresst, siehe Abbildung 6. Das optimale Einsatzgebiet dieser Methode ist weicher oder heterogener Boden, auch bei Vorkommen von größeren Blöcken (9). *„Der Rohrschirm gewährleistet unterhalb einen sicheren Ausbruch“ (4).*

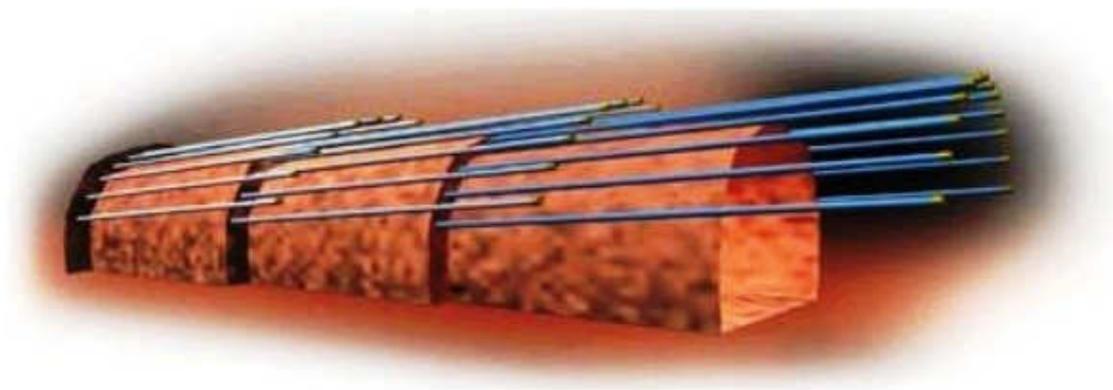


Abbildung 6: schematischer Rohrschirm (10).

2.5 Prüfung von Ausbauelementen im Untertagebau

Wilczek (11) beschreibt in seiner Arbeit die in der Literatur bekannten Laborprüfungen an Gebirgsankern. Daraus geht hervor, dass der Anker ein weitverbreitetes Ausbauelement ist, aber die Wirkungsweise nicht genau bekannt ist, daher wurden zahlreiche verschiedene Prüfmethode und Prüfstände für Anker entwickelt.

Allgemein werden die Versuche entweder über die Art der Lasteinleitung oder in statische und dynamische Versuche unterteilt (11).

An Ausbauelementen werden Material- (Werkstoff) und Bauteilprüfungen (System) durchgeführt. Bei der Bauteilprüfung können Funktions- bzw. Verbundprüfungen unterschieden werden. Bei Funktionsprüfung wird die Funktion der Ausbauelemente überprüft, hierbei vor allem Verankerungen und Kupplungen. Bei Verbundprüfungen wird das Verhalten zwischen Anker und Verbundmittel untersucht z.B. im Rahmen von Ausziehversuchen und Kräfteinleitungsversuchen.

3. Maschineneinflüsse

In Summe wurden für die Zugprüfmaschine acht unterschiedliche Maschineneinflüsse bestimmt (siehe Abbildung 7). Diese Einflüsse geben untereinander Anforderungen vor. Unter den Einfluss „Probe“ fallen Aspekte wie zum Beispiel Probenart, Probenwerkstoff, Geometrie, etc.. Die Gesamtheit dieser Aspekte liefert die Anforderungen an andere Maschinenflüsse. Die Probenart gibt die Prüfmethode vor, daraus resultieren wiederum Anforderungen an andere Einflüsse. Die Maschineneinflüsse bilden das Konzept für die Gliederung der vorliegenden Arbeit.

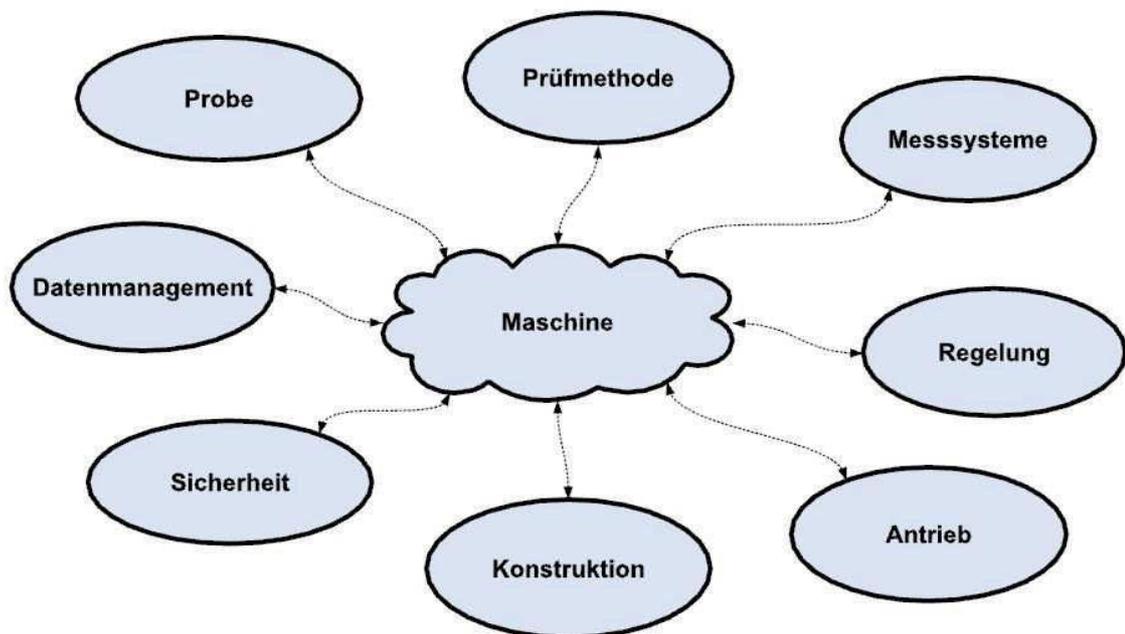


Abbildung 7: Maschineneinflüsse.

4. Proben

Mit der geplanten Zugprüfmaschine sollen Werkstoff- und Funktionsprüfungen durchgeführt werden. Die Probenlänge für die Werkstoffprüfung beträgt im Allgemeinen 2.000 [mm]. Folgende Produkte werden bei der Werkstoffprüfung geprüft:

- (a.) Vollstäbe;
- (b.) Hohlstäbe (System DYWI® Drill);
- (c.) Rohre.

Abbildung 8 zeigt einen DYWI® Drill Hohlstab mit durchgehendem Außengewinde.



Abbildung 8: DYWI® Drill Hohlstab mit durchgehendem Außengewinde (12).

Voll- und Hohlstabprodukte finden Einsatz als Zuelemente für Verankerungen. Unter Voll- und Hohlstäben werden Rundstahlprodukte verstanden, auf die ein Gewinde kalt oder warm aufgewalzt wurde. Voll- und Hohlstäbe können aus Betonstahl oder Vergütungsstahl gefertigt werden.

Tabelle 3 listet die verschiedenen Typen Hohlstäbe aus der DYWI® Drill Reihe mit der jeweiligen Höchstkraft F_m auf. Der Nennquerschnitt wurde rechnerisch aus der Nennmasse ermittelt.

Tabelle 3: Hohlstababmessungen mit Abschätzung der Höchstkraft

| DYWI® Drill Hohlstab | Außendurch- messer d_a [mm] | Nennquerschnitt A_0 [mm²] | Zugfestigkeit R_m [N/mm²] | Höchstkraft F_m [kN] |
|---------------------------------|---|--|--|--|
| R32-210 | 32 | 345 | 610 | 210 |
| R32-250 | 32 | 375 | 670 | 251 |
| R32-280 | 32 | 419 | 670 | 281 |
| R32-320 | 32 | 485 | 660 | 320 |
| R32-360 | 32 | 508 | 710 | 361 |
| R32-400 | 32 | 552 | 720 | 397 |
| R38-420 | 38 | 656 | 640 | 420 |
| R38-500 | 38 | 753 | 660 | 497 |
| R38-550 | 38 | 790 | 700 | 553 |
| R51-550 | 51 | 898 | 610 | 548 |
| R51-660 | 51 | 975 | 680 | 663 |
| R51-800 | 51 | 1134 | 710 | 805 |
| T76-1200 | 76 | 2000 | 600 | 1200 |
| T76-1600 | 76 | 2700 | 600 | 1620 |
| T76-1900 | 76 | 3200 | 600 | 1920 |

Die Prüfung von Rohren bezieht sich im Allgemeinen auf Spieße oder Rohrschirme, die als Stützmittel im Untertagebau eingesetzt werden (siehe Kapitel 2.4). Das Rohrmaterial ist im Allgemeinen ein Baustahl der Güte S355. Tabelle 4 zeigt die gängigen Probenabmessungen von Rohrschirmrohren.

Tabelle 4: Probenabmessungen von Rohrschirmrohren

| Außendurchmesser [mm] | Wandstärke [mm] | Innendurchmesser [mm] |
|------------------------------|------------------------|------------------------------|
| 88,9 | 6,3 | 76,3 |
| 114,3 | 6,3 | 101,7 |
| 139,7 | 8 | 123,7 |
| 139,7 | 10 | 119,7 |
| 142 | 10 | 122 |
| 168 | 12,5 | 143 |

Bei der Funktionsprüfung wird zwischen der Kupplungs- und der Verankerungsprüfung unterschieden. Bei der Kupplungsprüfung werden zwei DYWI® Drill Hohlstäbe über eine Muffe (Abbildung 9) verbunden.



Abbildung 9: Aufgeschnittene Muffe mit durchgehendem Innengewinde und Mittelstopp (12).

Bei der Verankerungsprüfung werden eine DYWI® Drill Platte, eine DYWI® Drill Mutter (siehe Abbildung 10) und ein DYWI® Drill Hohlstab (siehe Abbildung 9) geprüft. Mögliche Versuchsaufbauten sind im Kapitel 0 beschrieben.



Abbildung 10: Mutter (12).

5. Prüfmethode

5.1 Zugversuch

Der Zugversuch hat unter den mechanischen Prüfverfahren große Bedeutung und eine vielseitige Anwendung in der Forschung und Entwicklung von Werkstoffen, der Qualitätskontrolle und als Grundlage für die Bauteilbemessung (13). Dieses Prüfverfahren wird den Prüfverfahren mit statischer Belastung zugeordnet. Die Probe wird im Allgemeinen bis zum Bruch gedehnt, die aufzuwendende Kraft und die Längenveränderung der Probe werden hierbei aufgezeichnet. Um aus probenabhängigen Versuchsergebnissen unabhängige Werkstoffkennwerte zu erhalten, wird aus dem Kraft–Verlängerungs–Verlauf das Spannungs–Dehnungs–Diagramm ermittelt.

Das Spannungs–Dehnungs–Diagramm (Abbildung 11) stellt die mechanischen Eigenschaften eines Werkstoffes unter homogenen einachsigen Zugspannungen dar. Die bekanntesten Kennwerte im Maschinenbau sind die Zugfestigkeit R_m und die Streckgrenze R_e bzw. Dehngrenze $R_{p0,2}$ (14).

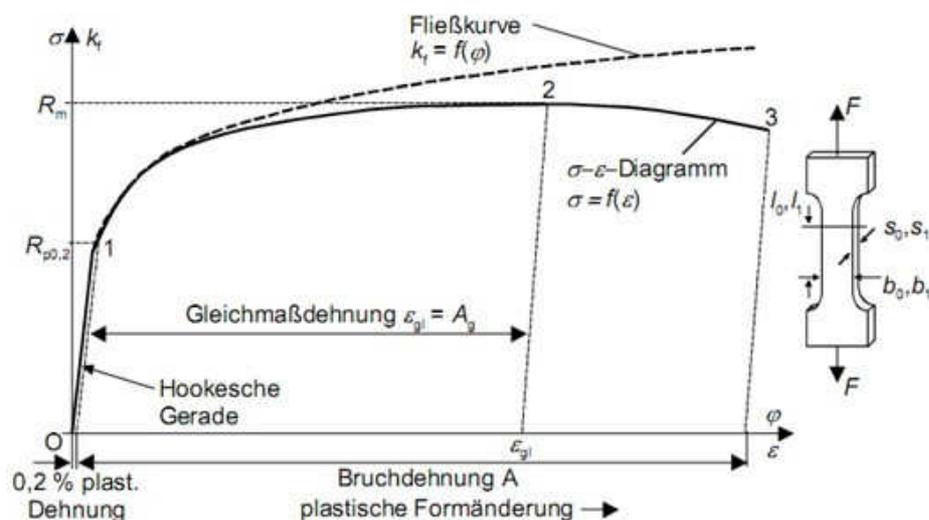


Abbildung 11: Spannungs–Dehnungsdiagramm, sowie Fließkurve (14).

Ein wesentlicher Vorteil des Zugversuches ist, dass dieser genormt ist. ÖNORM EN ISO 6892-1 beschreibt die genormten Prüfparameter für den allgemeinen, metallischen Zugversuch bei Raumtemperatur. "Genormt sind bei diesem Versuch die Probengeometrie, Prüfgeschwindigkeit und die

Prüftemperatur" (14). Die Norm zählt die Kennwertbestimmung der mechanischen Kennwerte, die durch den Zugversuch erhalten werden, auf. Die Kennwertbestimmung der unterschiedlichen, mechanischen Kennwerte wird in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt.

Die Normen für Ausbauelemente im Untertagebau verweisen des Öfteren auf die ÖNORM EN ISO 6892-1 (früher ÖNORM EN 10002-1). Hauptsächlich wird hierbei auf folgende Punkte verwiesen:

- (a.) Kalibrierung der Messsysteme,
- (b.) Regelung der Prüfgeschwindigkeit und
- (c.) Bestimmung von mechanischen Kennwerten.

5.2 Wirkung von Kerben

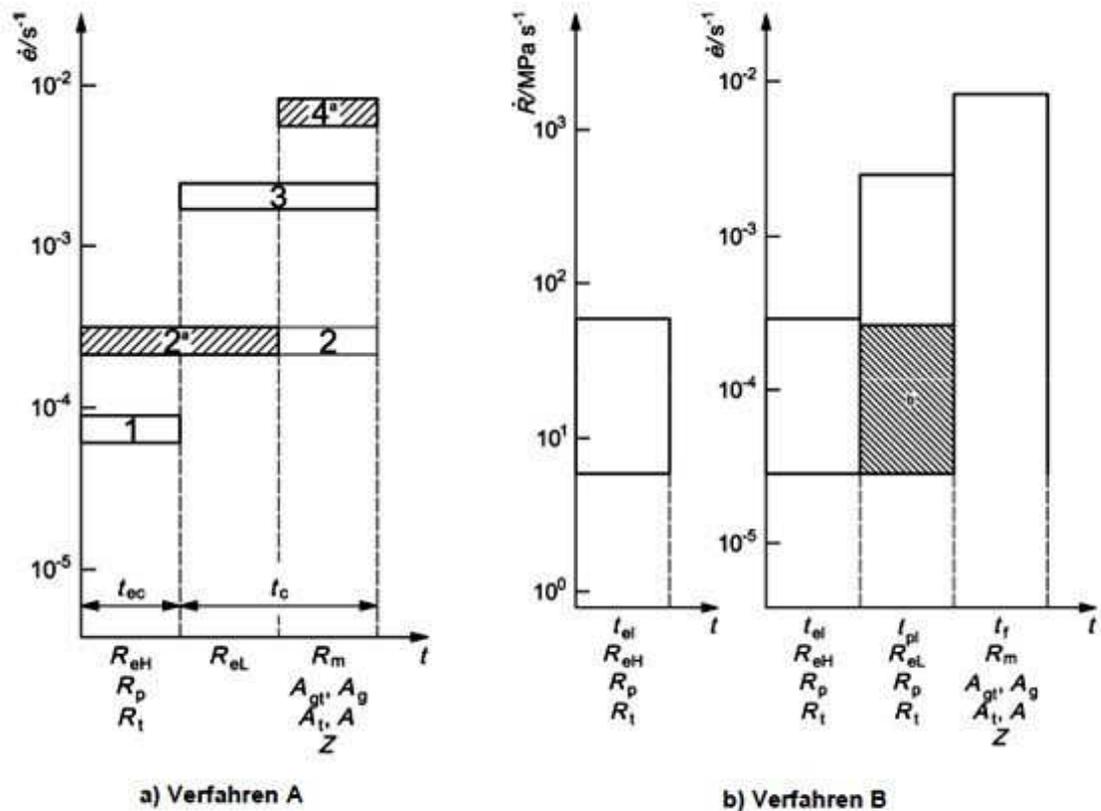
Das Bruchverhalten der Proben hängt von unterschiedlichen Bedingungen ab. Kerben führen zu Spannungslinienverdichtungen im Bauteil. Durch diese Spannungslinienverdichtung entstehen Spannungsspitzen im Kerbgrund. Bei zähen Werkstoffen führen Kerben zu einer Erhöhung der Streckgrenze und der Zugfestigkeit beziehungsweise zu einer Reduzierung der Bruchdehnung (13). Bei spröden Werkstoffen bewirken Kerben eine deutliche Verringerung der Streckgrenze, der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung.

5.3 Normen

5.3.1 ÖNORM EN ISO 6892-1

ÖNORM EN ISO 6892-1 beschreibt die gebräuchlichsten Probenformen sowie deren genauen Maße und Toleranzen. Im Allgemeinen hängt die Form der Probe vom Erzeugnis ab. Die Norm kennt zwei Möglichkeiten der Regelung der Prüfgeschwindigkeit. Unterschieden wird zwischen der Prüfgeschwindigkeit basierend auf (a) der Dehnungsgeschwindigkeit und (b) der Spannungsgeschwindigkeit. Die Regelung nach der Dehnungsgeschwindigkeit wird „Verfahren A“ genannt, das zweite „Verfahren B“. Bevorzugt sollte Verfahren A verwendet werden, da die mechanischen Kennwerte dehnungsgeschwindigkeitsabhängig

sind (15). Normgemäß eignet sich dieses Verfahren auch zur Reduzierung der Messunsicherheiten der Prüfergebnisse (15). Abbildung 12 zeigt die empfohlenen Einsatzbereiche (schraffierte Bereiche) für die Verfahren A und B.



Legende

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> $\dot{\epsilon}$ Dehngeschwindigkeit \dot{R} Spannungsgeschwindigkeit t Zeit während des Zugversuchs t_c Zeitintervall zur Anwendung der Regelung der Traversengeschwindigkeit t_{ec} Zeitintervall zur Anwendung der Regelung der Dehngeschwindigkeit über das Extensometersignal oder der Regelung der Traversengeschwindigkeit t_{el} Zeitintervall (elastischer Bereich) zur Bestimmung der aufgeführten Kennwerte (Definitionen siehe Tabelle 1) | <ul style="list-style-type: none"> t_f Zeitintervall (üblicherweise bis zum Bruch) zur Bestimmung der aufgeführten Kennwerte (Definitionen siehe Tabelle 1) t_{pl} Zeitintervall (plastischer Bereich) zur Bestimmung der aufgeführten Kennwerte (Definitionen siehe Tabelle 1) 1 Bereich 1: $\dot{\epsilon} = 0,000\ 07\ s^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\ %$ 2 Bereich 2: $\dot{\epsilon} = 0,000\ 25\ s^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\ %$ 3 Bereich 3: $\dot{\epsilon} = 0,002\ s^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\ %$ 4 Bereich 4: $\dot{\epsilon} = 0,006\ 7\ s^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\ %$ ($0,4\ min^{-1}$ mit einer relativen Toleranz von $\pm 20\ %$) |
|--|---|

Abbildung 12: Darstellung der anzuwendenden Dehngeschwindigkeiten im Zugversuch a) Verfahren A b) Verfahren B (15).

Empfehlungen bei der Bestimmung der mechanischen Kennwerte bei der Anwendung rechnergestützter Zugprüfmaschinen

Obere Streckgrenze

Die obere Streckgrenze sollte als die Spannung betrachtet werden, die dem höchsten Kraftwert vor der Kraftabnahme von mindestens 0,5 [%] entspricht, wobei im nachfolgenden Dehnungsbereich von mindestens 0,05 [%] die vorherige Maximalkraft nicht überschritten werden sollte (15).

Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung und Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung

„Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung R_p und Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung R_t können durch Interpolation zwischen zwei Messwertepaaren der Spannungs-Dehnungs-Kurve bestimmt werden“ (15).

Gesamte Extensometer-Dehnung bei der Höchstkraft (15)

„Der A_{gt} -Wert sollte als die gesamte Extensometer-Dehnung betrachtet werden, die dem Maximum der Spannungs-Dehnungs-Kurve des Extensometer nach dem Bereich der Streckgrenzendehnung entspricht“ (15).

Für einige (technische) Werkstoffe ist es notwendig, die Spannungs-Dehnungs-Kurve des Extensometers zu glätten, wobei eine Regression auf der Grundlage eines Polynoms empfohlen wird. Der Bereich, über den die Kurve geglättet wird, kann das Ergebnis beeinflussen. Die geglättete Kurve sollte den wichtigen Bereich der originalen Spannungs-Dehnungs-Kurve des Extensometer sinnvoll darstellen.

Plastische Extensometer-Dehnung bei der Höchstkraft

Der A_g -Wert sollte als die plastische Extensometer-Dehnung betrachtet werden, die dem Maximum der Spannungs-Dehnungs-Kurve des Extensometers nach dem Bereich der Streckgrenzendehnung entspricht (15).

Probenbruch

In der ÖNORM EN ISO 6892-1 wird der Probenbruch als der Punkt definiert nach dem die Kraft zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messpunkten abfällt (15):

(a.)um mindestens fünfmal mehr als zwischen den beiden vorherigen Messpunkten, gefolgt von einem Abfall auf kleiner 2 % der maximalen Zugkraft;

(b.)auf kleiner 2 % der maximalen Zugkraft (bei weichen Werkstoffen) (13).

Ein weiteres Verfahren zur Erkennung des Probenbruches ist die Aufzeichnung der elektrischen Spannung oder des elektrischen Stroms, der durch die Probe geleitet wird (15). Bei diesen Verfahren sind die Messwerte vor dem plötzlichen Abfall des Stromes als Probenbruch definiert (15).

5.3.2 ETAG 013

Die ETAG 013 ist eine technische Richtlinie für Vorspannsysteme und deren Verbindungen, die bei vorgespannten Konstruktionen eingesetzt werden. Die Richtlinie unterscheidet zwischen äußeren Vorspannsystemen (ohne Verbund) und Vorspannsystemen mit Verbund.

Folgende Prüfungen sind für Vorspannsysteme nach der ETAG 013 notwendig (16):

(a.)Belastungswiderstand gegen statische Belastung: Vorspannsysteme müssen in der Lage sein, ohne vorzeitigen Ausfall der Verankerungskomponenten und unnötige Deformation beziehungsweise ohne unverhältnismäßige Relativbewegungen zwischen Zugelement und Verankerungskomponenten, einen bestimmten Prozentsatz der Endfestigkeit (Höchstkraft) des Zugelementes mit einem Minimum an Dehnung zu entwickeln.

(b.)Dauerschwingversuch: Vorspannsysteme müssen in der Lage sein, einer angegebenen Lastanzahl ohne Unterschreitung eines bestimmten Festigkeitsverlustes zu widerstehen.

(c.)Kraftübertragung in den Baukörper: Vorspannsysteme müssen in der Lage sein, einen bestimmten Prozentsatz der Endfestigkeit des Zugelementes in die Betonverankerungen einzuleiten, ohne dass Risse oder Verformungen des Baukörpers auftreten.

(d.)Reibungskoeffizient: Bei Vorspannsystemen sollte es möglich sein, die genaue Vorspannkraft in der Verankerung bestimmen zu können, daher ist es notwendig die Reibungsverhältnisse in der Verankerung zu kennen.

(e.)Durchbiegung: Die Durchbiegung der Sehne hat einen Einfluss auf die Grenzspannung die auf den Beton aufgebracht werden kann, daher muss diese bestimmt werden.

(f.) Brauchbarkeit: Vorspannsysteme müssen eine sichere und zuverlässige Handhabung und Installation garantieren.

Die ETAG enthält eine Methode zur Prüfung von Zugelementen. Zugprüfmaschinen müssen nach ISO 7500-1 verifiziert sein und der Genauigkeitsklasse 1 oder besser entsprechen (16). Das Extensometer muss der Genauigkeitsklasse 2 oder besser entsprechen (16). Laut ETAG soll die Probenlänge mindestens einen Meter betragen.

Versuchsdurchführung für die Bestimmung des Belastungswiderstands gegen statische Belastung

Das Spannsystem muss nach der Einbauanweisung in die Prüfmaschine eingebaut werden (16). Auf einem Ende des Zugelementes wird der Ankerkopf verankert. Auf dem anderen Ende ist das Zugelement so zu verspannen, dass die Belastung axial in das Zugelement eingeleitet werden kann. Das Spannsystem wird mit 20 [%], 40 [%], 60 [%] und 80 [%] der charakteristischen Bruchkraft belastet (16) Die Belastung wird mit einer konstanten Spannungsgeschwindigkeit von 100 [MPa/min] belastet (16). Ab 80 [%] wird die Prüfkraft für eine oder zwei Stunden gehalten (16). Bei äußeren Spanngliedern wird dann die Prüfkraft auf 20 [%] der charakteristischen Bruchkraft reduziert. Nachdem werden beide Spannsysteme mit einer Dehnungsrate von 0,002 [1/min] bis zum Bruch belastet.

Versuchsdurchführung bei einzelnen Zugelementen

Die Probe wird in der Prüfmaschine montiert. Auf einem Ende des Zugelementes wird der Ankerkopf befestigt, auf dem anderen Ende ist das Zugelement so zu verspannen, dass die Belastung axial in das Zugelement eingeleitet werden kann.

Am Anfang wird die Probe zwischen 20 und 30 [%] der charakteristischen Bruchkraft des Zugelementes belastet, danach wird die Probe wieder auf 5 [%] der charakteristischen Bruchkraft entlastet (17). Die Probe wird dann bis zum Bruch mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 15 [N/mm²] beansprucht (16).

Die folgenden Größen und Beobachtungen sollen aufgezeichnet werden (16):

- (a.) Position der Verankerung;
- (b.) Verlängerung des Zugelementes an der freien Länge bei der maximalen Kraft;
- (c.) Maximale Kraft;
- (d.) Lage und Art des Versagens;
- (e.) Mögliche Verformungen der Verankerungskomponenten.

5.4 Werkstoffprüfung

Die Werkstoffprüfung kann entweder nach EN ISO 15630-3 oder ETAG 013 (siehe Kapitel 5.3.2) durchgeführt werden. Die EN ISO 15630-3 behandelt die Prüfung von Spannstählen. Die Prüfparameter für Spannstähle decken sich mit den Prüfbedingungen aus der ÖNORM EN ISO 6892-1.

Die Prüfgeschwindigkeit soll entsprechend ÖNORM EN ISO 6892-1 geregelt werden (17). Die Messgeräte müssen wie in ISO 7500-1 beschrieben regelmäßig überprüft werden und kalibriert sein (17). Die Genauigkeitsklasse der Prüfeinrichtungen muss mindestens der Klasse 1 entsprechen (17). *"Zur Bestimmung der Dehnung bei Höchstkraft A_{gt} darf ein Extensometer der Klasse 2 verwendet werden"* (17).

Der Bruch der Probe kann als ungültig gesehen werden, wenn der Probenbruch an der Einspannstelle oder innerhalb eines Abstandes von 20 [mm] von der Einspannung entfernt erfolgt. Laut ÖNORM EN ISO 6892-1 ist es erlaubt in Rohre Stopfen einzuschweißen.

5.5 Funktionsprüfung

5.5.1 Kupplung

Kupplungselemente können nach ETAG 013 geprüft werden. Sie dürfen die Zugfestigkeit des Zuggliedes nicht beeinflussen und müssen theoretisch der ENV 1992-1-1 entsprechen. *"Die freie Dehnung eines Stahlzuggliedes darf nicht durch Bewegungsbehinderungen des Koppellementes beeinträchtigt werden"* (17). Die Prüfgeschwindigkeit und Genauigkeitsklassen der Messaufnehmer werden wie in der ÖNORM EN ISO 6892-1 vorgeschrieben ausgewählt.

5.5.2 Verankerung

Als Grundlage für die Versuchsparameter für die Prüfung von Verankerungen dient DIN 21 521 Teil 2. Die Versuchsbestimmungen werden durch EN ISO 15630 Teil 1 und ÖNORM EN ISO 6892-1 ergänzt. Verankerungen können auch entsprechend ETAG 013 geprüft werden.

"Bei der Prüfung des Ankerkopfes darf die Höchstzugkraft des Ankerschaftes nicht unter ihrem Bemessungswert liegen. Bei der Prüfung des Ankerkopfes muss der Ankerkopf den Bemessungswert der Höchstzugkraft des Ankerschaftes ohne Bruch und ohne Abscheren oder Durchstanzen der Mutter aufnehmen". (6)

Die Verankerung wird wie in der Einbauanweisung in die Prüfeinrichtung eingebaut. Der Ankerkopf wird am Ankerschaft befestigt und gegen eine Einspannung verspannt. Der Ankerschaft wird durch eine Zugkraft belastet (18). *"Der Versuch wird unter einen Winkel von 15 [°] zwischen dem Ankerschaft und der Normalen auf die Ankerplatte durchgeführt"* (19). Der Ankerkopf muss die charakteristische Bruchkraft des Zuggliedes aushalten (18). *"Die charakteristische Bruchkraft wird durch die Werkstoffprüfung ermittelt. Der Ankerkopf muss eine maximale Winkelabweichung des Zuggliedes gegen die Normale um 3 [°] erlauben, dabei darf die Bruchkraft um 3 [%] fallen"* (18).

6. Messsysteme

In diesem Kapitel werden die Messsysteme, die bei der Zugprüfmaschine zur Anwendung kommen, beschrieben. Die Kraft und die Längenveränderung werden direkt an der Probe gemessen.

6.1 Sensoren

Die Aufgabe von Sensoren ist es nicht-elektrische Messgrößen (wie zum Beispiel: Temperatur, Kräfte, etc.) in elektrische Größen umzuwandeln (20). Dabei werden physikalische oder chemische Messeffekte verwendet (20). Diese Messeffekte werden von unerwünschten Stör- und Einflussfaktoren überlagert (20). Jeder Sensor erhält eine eigene, individuelle Auswerteschaltung, mit deren Hilfe das Signal in ein Amplituden- oder Frequenzsignal umgeformt wird (20). Manchmal ist es notwendig das Messsignal durch Messverstärker zu verstärken. Mit Hilfe von digitalen oder analogen Messwandlern können Signale umgewandelt werden.

Die wichtigsten Anforderungen an Sensoren sind (20):

(a.) Statische Übertragungseigenschaften:

- i. Empfindlichkeit;
- ii. Zulässige Fehlergrenzen.

(b.) dynamische Übertragungseigenschaften;

(c.) Einflusseffekte;

(d.) Umgebungsbedingungen;

(e.) Zuverlässigkeit und

(f.) Wirtschaftlichkeit.

6.2 Übersicht der Messaufnehmer für Druck- bzw. Kraftmessung

Druckmessgeber werden in der Praxis weit verbreitet für Kraftmessungen eingesetzt. Durch einen bestimmten Druck und eine definierte Fläche kann auf die entsprechende Kraft geschlossen werden.

Der Druck kann über folgende Geräte gemessen werden (21):

- (a.)Geräte zur direkten Druckanzeige: Der Druck wirkt auf einen elastischen Bauteil. Die Verformung des Bauteils ist ein Maß für den Druck. Typische Geräte zur direkten Druckanzeige sind Kolbenmanometer, Federbalgmanometer, Kapselfedermanometer oder Federrohrmanometer.
- (b.)Flüssigkeitsmanometer: Der Druck wird über die Verschiebung einer Wassersäule dargestellt. Die bekanntesten Bauformen sind das U-Rohrmanometer und das Ringrohrmanometer.
- (c.)Drucksensoren: Der Druck bewirkt auf einer definierten Fläche eine bestimmte Kraft. Die Kraft bewirkt eine bestimmte Geometrieänderung im Bauteil. Diese Geometrieänderung kann elektrisch gemessen werden. Die wichtigsten Verfahren für Drucksensoren sind Kraftmessdosen auf Basis von Dehnungsmessstreifen (Abkürzung „DMS“), piezoresistive Verfahren, induktive Wegmessung, kapazitive Wegmessung, piezoelektrische Sensoren und Schwingquarz-Druckaufnehmer.

Wichtigste Kenngrößen von Druckaufnehmern sind (21), (22):

- (a.)Messbereich;
- (b.)Genauigkeit / Messabweichung;
- (c.)Signalausgang - analog (0-10 [V], 4-20 [mA]) oder digital (Wortbreite = Bitanzahl);
- (d.)Linearität;
- (e.)Temperaturbereich;

-
- (f.) Temperaturfehler (Offsetfehler, Empfindlichkeitsfehler);
 - (g.) Überlastfestigkeit;
 - (h.) Messfrequenz;
 - (i.) Stabilität;
 - (j.) Zeitabhängige Empfindlichkeit des Sensors;
 - (k.) Dynamisches Verhalten;
 - (l.) Statische oder dynamische Messungen.

6.3 Übersicht der Messaufnehmer zur Längenmessung

In der Literatur werden für die Längenmessung folgende Aufnehmer (21), (22) beschrieben:

- (a.) Resistive Wegaufnehmer;
- (b.) Induktive Wegaufnehmer;
- (c.) Kapazitive Wegaufnehmer;
- (d.) Magnetische Wegaufnehmer;
- (e.) Inkrementale Wegaufnehmer;
- (f.) Laser-Interferometer.

Wichtigste Kenngrößen von Wegaufnehmern sind (22):

- (a.) Messbereich;
- (b.) Genauigkeit / Messabweichung;
- (c.) Signalausgang - analog (0-10 [V], 4-20 [mA]) oder digital (Wortbreite = Bitanzahl);
- (d.) Linearität;
- (e.) Temperaturbereich;
- (f.) Temperaturfehler (Offsetfehler, Empfindlichkeitsfehler);
- (g.) Messfrequenz.

6.4 Abschätzungen der Messfrequenz

Anhang D zeigt die Abschätzung der benötigten Messfrequenz für die jeweiligen Messsysteme.

7. Steuerungs- und Regelungstechnik

7.1 Steuerungstechnik

Die Steuerungstechnik umfasst den Entwurf und die Realisierung von Steuerungen. Steuerungen lassen sich mit folgenden Technologien realisieren (21):

- (a.)elektromechanisch (Schütztechnik);
- (b.)pneumatisch bzw. elektropneumatisch;
- (c.)hydraulisch; oder
- (d.)elektronisch.

Die oben genannten Technologien lassen sich auch untereinander kombinieren.

Bei elektronischen Steuerungstechnologien kann unterschiedet werden (21):

- (a.)Hardwaresteuerungen;
- (b.)Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS);
- (c.)PC-basierten Steuerungen (IPC) und
- (d.)Mikrocontrollern.

7.2 Regelungstechnik

„Um innerhalb eines technischen Prozesses eine physikalische Größe, z. B. einen Druck, einen Durchfluss oder eine Temperatur, auf einem gewünschten Wert zu halten, kann diese Größe entweder gesteuert oder geregelt werden“ (23).

Unterschied zwischen Steuerung und Regelung

„Nach DIN 19226 ist „Regeln“ ein Vorgang, bei dem eine Größe (die Regelgröße) fortlaufend erfasst (gemessen), mit einer anderen Größe (der Führungsgröße) verglichen und abhängig vom Ergebnis dieses Vergleichs im Sinne der Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird“ (20). Abbildung 13 zeigt ein Blockschaltbild einer Regelung.

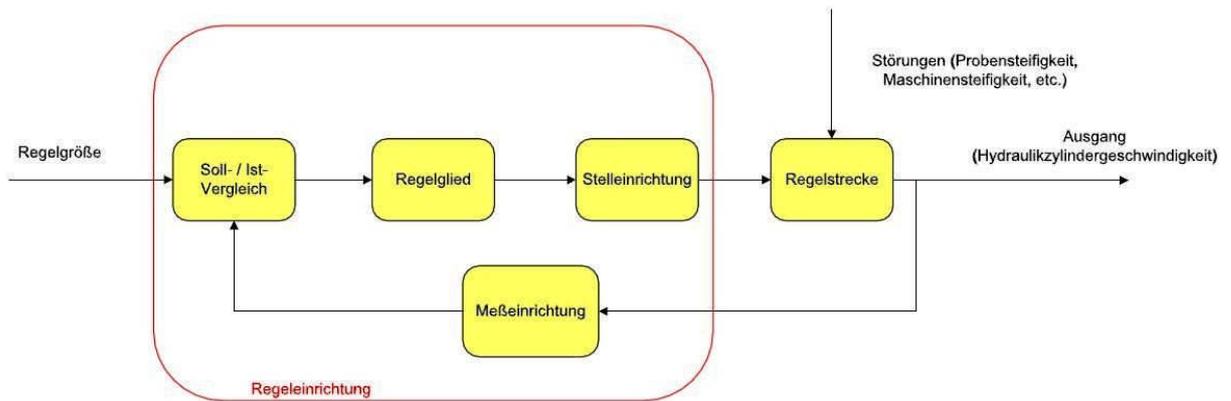


Abbildung 13: Blockschaltbild einer Regelung.

„Demgegenüber ist „Steuern“ der Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen aufgrund der dem System eigentümlich Gesetzmäßigkeiten beeinflussen“ (20). Abbildung 14 beinhaltet ein Blockschaltbild einer Steuerung.

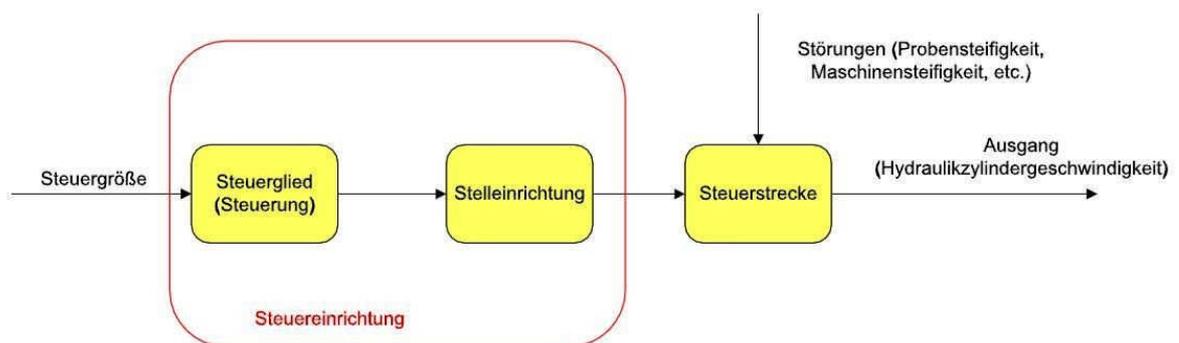


Abbildung 14: Blockschaltbild einer Steuerung.

7.3 Steuerungsablauf mit Hilfe des „Finite State Machine“

Konzepts

Ein klar, definierter Prozess befindet sich immer in einem bestimmten Zustand (engl.: "state"). Damit er in einen anderen Zustand übergeht, muss ein definiertes Ereignis eintreten (Zeitablauf, Endanschläge erreicht, etc.) (21). Während eines Zustandes müssen bestimmte Aktionen gesetzt werden. Diese werden entweder mit dem Verlassen des Zustandes wieder beendet oder sie bleiben bestehen (21). Jeder deterministische Prozess lässt sich im Prinzip auf diese Weise darstellen (21). Zustandsdiagramme sind eine Art der Darstellung von komplexen Zustandsautomaten (engl.: Finite State Machine). Die Pfeile zwischen den Zuständen symbolisieren die möglichen Zustandsübergänge. Das "Steady-State-Diagramm" stellt eine Möglichkeit der Darstellung des Steuerungsablaufs dar.

7.4 Konzepte für die Zugprüfmaschine

7.4.1 Schematischer Aufbau der Steuerung der Zugprüfmaschine und des Regelkreises

Abbildung 15 zeigt schematisch den Aufbau der Steuerung der Zugprüfmaschine und des entsprechenden Regelkreises für die Kolbengeschwindigkeit. Über einen Computer (PC) kann der Benutzer die Zugprüfmaschine bedienen. Die digitale Schnittstelle dient als Kommunikationsinstrument zwischen Regelkreis und PC. Die „Mode-Auswahl“ gibt dem Regelkreis vor, über welchen Parameter die Zugprüfmaschine geregelt werden muss. Geregelt werden kann entweder über die Kraft, die Dehnung oder Kolbenverschiebung. Die Kraft und die Dehnung werden direkt an der Probe gemessen. Der Controller steuert das Servoventil mit einem analogen Signal an. Das Servoventil regelt den Volumenstrom und die Flussrichtung des Hydrauliköles und somit die Kolbengeschwindigkeit.

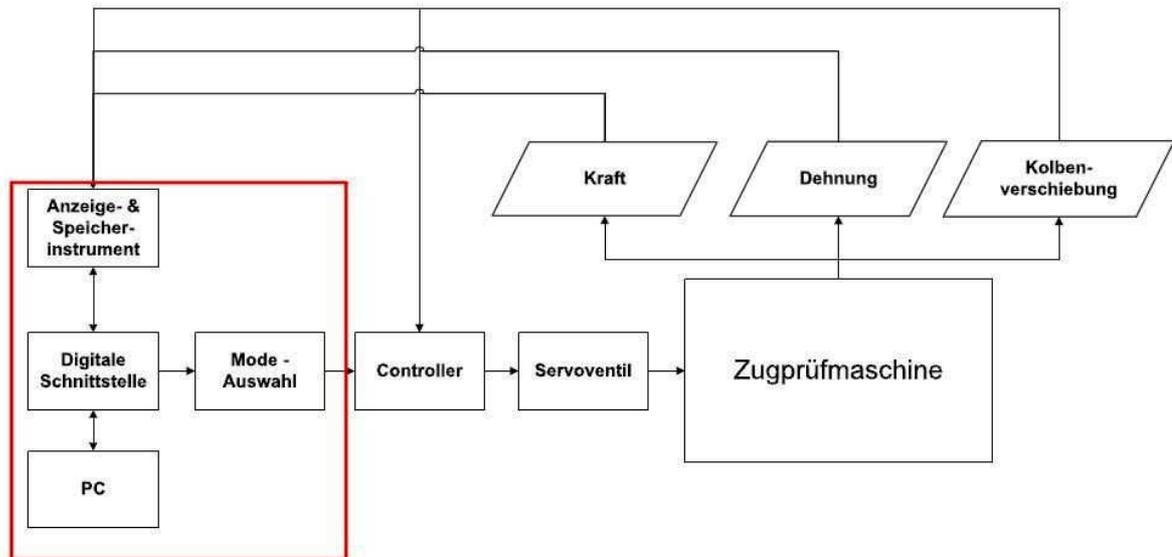


Abbildung 15: Schematischer Aufbau der Steuerung der Prüfmaschine und des Regelkreises.

7.4.2 Steuerungskonzept für die Zugprüfmaschine

Anhang E zeigt ein Steuerungskonzept für die Zugprüfmaschine. Dieses Konzept dient als Grundlage für das Lastenheft. Das Konzept beinhaltet die Steuerung der Zugprüfmaschine und die Regelung des Hydraulikaggregates. Über den Energiefluss wird die Steuerung der Zugprüfmaschine erklärt. Betrachtet wurde der Energiefluss ab der Versorgung der Zugprüfmaschine bis zum Energieeintrag in die Probe. Die Eingangsenergie kann über den „Not-Aus“, über die sequentielle Steuerung und über die Schutzschaltung unterbrochen werden. Messsysteme sind angedacht für die Messungen an den Proben und zum Schutz der Prüfmaschine. Die wichtigsten Signalverläufe in der Anlage sind im Konzept dargestellt.

7.4.3 Steady-State-Diagramm für die Zugprüfmaschine

Ein Steady-State-Diagramm wurde für das Lastenheft erstellt, dieses wird als Konzept für den Programmablauf in der Prüfmaschine verwendet. Im Anhang F wird das Steady-State-Diagramm dargestellt. Das Steady-State zeigt die Zustände der Prüfmaschine (dargestellt durch Kreise im Diagramm) und ihren möglichen Übergängen (dargestellt durch Pfeile). Der Hauptprozess mit seinen Unterprozessen wird hierbei dargestellt, auf eine Einbeziehung der Übergangsfunktionen zwischen den verschiedenen Zuständen wird in dieses Diagramm verzichtet. Der Hauptprozess beginnt mit dem Initialisierungsprozess [INIT]. Bei diesem Prozess

wird in der Zugprüfmaschine die Energieversorgung im System sichergestellt, danach folgt der Zustand der Überprüfung sämtlicher Systeme. Um in den Zustand „Warten“ zu kommen überprüft die Zugprüfmaschine systemrelevante Bereiche. In diesem Zustand kann der Benutzer aus folgenden Unterprogrammen wählen:

- (a.)Prüfungen;
- (b.)Verfahren; sowie
- (c.)Wartung und Instandhaltung.

Das Unterprogramm „Prüfungen“ ermöglicht die Durchführung von Prüfungen. Der Prüfungsablauf ist für die Werkstoff- und Funktionsprüfung dargestellt. Das manuelle Verfahren der Hydraulikzylinder der Zugprüfmaschine und somit des Querträgers wird mit dem Unterprogramm „Verfahren“ ermöglicht. Für die Wartung und Instandhaltungsarbeiten soll das Unterprogramm „Wartung und Instandhaltung“ die notwendigen Zustände liefern. Diese wurden in dem Konzept nicht behandelt. Die Sicherheitsfunktionen, wie „NOT-Aus“, „NOT-Halt“ und „HALT“ sollen aus jedem Zustand der Zugprüfmaschine erreichbar sein. Bei „NOT-Aus“ muss die sofortige Unterbrechung des Energiestromes erfolgen. Aus dem Zustand „NOT-Aus“ kann nur in den Initialisierungsprozess [INIT] übergegangen werden. Der „NOT-Halt“ dient als Überwachungsfunktion der Prüfmaschine. Stellt die Steuerung fest, dass Grenzwerte in der Prüfmaschine überschritten werden, soll diese in den Zustand „Warten“ übergehen. Die Sicherheitsfunktion „Halten“ soll dem Benutzer die Möglichkeit geben Aktionen der Prüfmaschine abubrechen.

8. Hydraulik

8.1 Allgemeines

Die Fluidtechnik beschäftigt sich mit der Beschreibung und Vorausberechnung von Bewegungen der Fluide. Der Begriff „Fluid“ wird hierbei für Gase und Flüssigkeiten verwendet.

Im Vorlesungsbehef der Vorlesung „Hydraulik und Pneumatik“ (24) an der Montanuniversität Leoben werden die Vorteile bzw. Nachteile von Hydraulikanlagen wie folgt beschrieben:

Die Vorteile der Hydraulik sind (24):

- (a) Erzeugung großer Kräfte und Drehmomente bei geringen Abmessungen und Massen der dazu verwendeten Bauelemente als Folge der hohen Energiedichte der Hydraulik;
- (b) Stufenlose Änderung der Antriebsgeschwindigkeit bzw. Drehzahl, einfache Umkehr der Bewegungsrichtung, Anfahren aus dem Stillstand auch unter voller Last;
- (c) Niedrige Trägheitsmomente hydraulischer Motoren aufgrund ihrer geringen Abmessungen und bewegten Massen, folglich geringe Zeitkonstanten bei Anfahrt und Verzögerung;
- (d) Einfache Anzeige der wirkenden Kräfte und Drehmomente durch Druckmessgeräte;
- (e) Einfacher, beliebig einstellbarer Überlastschutz durch Druckbegrenzungsventile;
- (f) Einfache Umwandlung rotierender in oszillierende Bewegungen und umgekehrt;
- (g) Stufenlose Übersetzungsänderung unter Last;
- (h) Problemloser Einsatz in explosionsgefährdeten Bereich;

Die Nachteile der Hydraulik sind (24):

- (a) Relativ hohe Anschaffungskosten bedingt durch die zur Erzielung kleinstmöglicher Spalte zwischen bewegten Bauteilen erforderliche genaue Fertigung (Präzisions- und Feinmechanik der Bauteile);
- (b) Hohe Anforderungen an die Filterung der Hydraulikflüssigkeiten;
- (c) Geringe Übertragungsentfernung hydraulischer Anlagen durch die aus der relativ hohen Viskosität der Hydraulikflüssigkeit resultierenden hohen Druckverluste;
- (d) Abhängigkeit wichtiger Eigenschaften der Hydraulikflüssigkeiten, wie Viskosität, Dichte und Kompressibilität von Druck und Temperatur;
- (e) Geringer Wirkungsgrad der hydraulischen Antriebe gegenüber den mechanischen Antrieben (infolge von Druckverlusten durch Flüssigkeitsreibung in Rohren und Elementen sowie infolge von Leckölverlusten in den Spalten der Elemente);
- (f) Schlupf, zwischen An- und Abtrieb (infolge von Leckölverlusten und der Kompression des Öles, so dass keine exakte Synchronisierung von Bewegungsabläufen möglich ist).

8.2 Übersicht und Vergleich unterschiedlicher Hydraulikventile

Ventile werden in der Hydraulik und Pneumatik für die Regelung und Steuerung von Fluiden verwendet. Ventile werden übergeordnet in Ventile mit festen Schaltstellungen beziehungsweise Ventile ohne festgelegte Schaltstellung unterteilt. Ventile ohne festgelegte Schaltstellung können jede beliebige Zwischenstellung zwischen zwei Endwerten einnehmen. Durch die beliebigen Zwischenstellungen können unterschiedliche Drosselwirkungen erreicht werden. Nach der Regelgröße im Hydrauliksystem können die Ventile wie folgt unterschieden werden:

- (a) Druckventile;
- (b) Stromventile;
- (c) Wegeventile.

Die Ausführung des Schließteils bei Ventilen ist ein wichtiges Unterscheidungskriterium, dabei wird zwischen Sitz- und Kolbenventilbauweise unterschieden (24). Die Vorteile der Sitzventile liegen im leckfreien Verschließen und der Unempfindlichkeit gegen Schmutz im Hydrauliksystem (24).

„Die Betätigung der Ventile kann durch Muskelkraft, mechanisch elektrisch, magnetisch oder durch Druck (hydraulisch oder pneumatisch) erfolgen“ (24). Die Ansteuerung der Ventile erfolgt entweder direkt oder indirekt.

8.2.1 Druckventile

In Hydrauliksystemen wird der Druck mittels Druckventilen beeinflusst. Druckventile werden als Sitz- beziehungsweise als Kolbenventile ausgeführt.

Die wichtigsten Druckventile sind:

- (a) das Druckbegrenzungsventil;
- (b) das Druckzuschaltventil;
- (c) das Druckregelventil.

8.2.2 Stromventile

Der Durchfluss wird mittels Stromventilen in Hydrauliksystemen beeinflusst. Die wichtigsten Stromventile sind:

- (a) Drosselventile:
- (b) Stromregelventile;
- (c) Sperrventile;
- (d) Wegeventile.

Durch Verstellen des Kolbens werden bei Wegeventilen verschiedene Strömungskanäle freigegeben. Die erste Zahl gibt die Anzahl der Anschlüsse an und die zweite die Anzahl der Schaltstellungen (inklusive Zwischenstellungen) (24). Wegeventile werden als Kolbenventile ausgeführt.

8.2.3 Proportionalwirkende Ventile

Proportionalwirkende Ventile sind Wegeventile, die beliebige Zwischenpositionen einnehmen können daher ist der Volumenstrom beliebig einstellbar (24).

Die möglichen Bauformen sind Servoventile und Proportional-Wegeventile. Die Ansteuerung der Proportional-Wegeventile geschieht über steuerbare Elektromagnete, bei Servoventilen über ein elektrisches Analogsignal. Die Positionierungsgenauigkeit ist bei Servoventilen genauer, da die Magnet- und Reibungshysterese die Genauigkeit der Proportional-Wegeventile verringert. Servoventile sind teurer als Proportionalwirkende Ventile. Die Schaltsymbole sind bei beiden Bauformen gleich (24).

8.3 Hydraulikzylinder

Hydraulikzylinder werden in einfachwirkende und doppelwirkende Hydraulikzylinder unterteilt.

8.3.1 Einfachwirkende Hydraulikzylinder

Einfachwirkende Hydraulikzylinder werden auf einer Seite mit Druck beaufschlagt. Abbildung 16 zeigt die Schaltbilder für einen einfachwirkenden Hydraulikzylinder, bei der die Rückführung durch eine äußere Kraft geschieht, und einen einfachwirkenden Hydraulikzylinder mit eingebauter Feder.

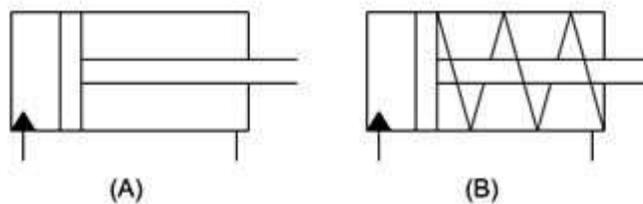


Abbildung 16: Einfachwirkende Hydraulikzylinder: (a) Rückbewegung durch äußere Kraft, (b) Rückbewegung durch eingebaute Feder.

8.3.2 Doppelwirkende Hydraulikzylinder

Die wesentlichen Bauarten bei doppelwirkenden Hydraulikzylindern sind die Differential- und die Gleichlaufbauweise. Doppelwirkende Hydraulikzylinder werden auf zwei Seiten mit Druck beaufschlagt, daher kann der Hydraulikzylinder in zwei Richtungen bewegt werden. Abbildung 17 zeigt das Schaltbild für einen Differentialzylinder und für einen Gleichlaufzylinder.

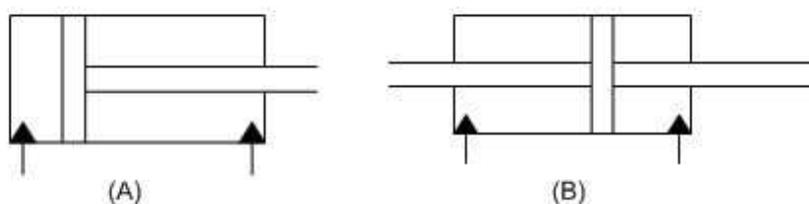


Abbildung 17: Doppelwirkende Hydraulikzylinder: (A) Differentialzylinder, (B) Gleichlaufzylinder.

Der Differentialzylinder verfügt über eine Kolbenstange, der Gleichlaufzylinder besitzt zwei. Bei Differentialzylindern ist durch die unterschiedlichen Wirkflächen die Ein- und Ausfahrgeschwindigkeit des Kolbens ungleich. Durch den Einsatz von

Differentialzylindern werden Dauerschwingversuche bei kleinen Frequenzen ermöglicht. Dauerschwingversuche mit höheren Frequenzen werden mit Hilfe von Gleichlaufzylindern realisiert. Differentialzylinder sind kostengünstiger als Gleichlaufzylinder.

8.4 Auswahlkriterien und Anforderungen an einen Hydraulikzylinder

Grundlegend sollte festgelegt werden ob ein einfach- oder doppelwirkender Hydraulikzylinder benötigt wird. Einfachwirkende Hydraulikzylinder erlauben nur eine Krafrichtung und die Rückholung des Kolbens muss definiert werden. Bei doppelwirkenden Hydraulikzylindern kann die Bauform des Hydraulikzylinders durch die Ein- und Auslaufgeschwindigkeit des Kolbens beeinflusst werden.

Mit den Grundformeln der Hydraulik lassen sich die Eigenschaften des Hydraulikzylinders (wie zum Beispiel die Kolbenfläche des Zylinders) bestimmen. Die benötigte Kraft F_{max} und der benötigte Hub h_{Kolben} stellen die wesentlichen Auswahlkriterien für die geometrischen Maße des Hydraulikzylinders dar.

Die erforderliche Kolbenfläche A_{Kolben} hängt von der benötigten Kraft F_{max} und dem Betriebsdrucks $p_{Betrieb}$ im Hydrauliksystem ab. Mit der nachfolgenden Formel kann die Kolbenfläche A_{Kolben} bestimmt werden:

$$A_{Kolben} = \frac{F_{max}}{p_{Betrieb}} \quad (8.1) \quad (25)$$

Das benötigte Ölvolumen $V_{Öl}$ ist gleich der wirksamen Kolbenfläche A_{Kolben} des Hydraulikzylinders multipliziert mit dem Hub. Mit der folgenden Formel kann das Ölvolumen $V_{Öl}$ bestimmt werden:

$$V_{Öl} = A_{Kolben} \cdot h_{Kolben} \quad (8.2) \quad (25)$$

Die Kolbengeschwindigkeit v_{Kolben} ist das Fördervolumen $V_{\ddot{O}l}$ dividiert durch die Kolbenfläche A_{Kolben} . Die folgende Formel beschreibt die Berechnung der Kolbengeschwindigkeit:

$$v_{Kolben} = \frac{V_{\ddot{O}l}}{A_{Kolben}} \quad (8.3) \quad (25)$$

Bei den vorher beschriebenen Formeln für die grundlegende Auswahl des Hydraulikzylinders handelt es sich um theoretische Formeln, da die Kompressibilität des Öls unter hohem Druck nicht berücksichtigt wird.

Der Hydraulikzylinder muss die geforderte Prüfkraft erreichen ohne Schädigungen zu erlangen. Die Komponenten des Hydraulikzylinders erfordern eine besonders genaue Formgenauigkeit um kleine Führungsspiele und eine geringe Kippgefahr des Kolbens zu gewährleisten. Im Hydraulikzylinder sollte die Reibung so gering als möglich sein. Dies kann durch die Wahl der optimalen Reibpartner und der passenden Oberflächenbehandlung der Zylinderkomponenten (z.B.: Honen, etc.) erreicht werden. Haftgleiteffekte (englisch: „Stick-Slip“) dürfen bei Hydraulikzylindern nicht auftreten.

8.5 Hydraulikkonzepte für die Zugprüfmaschine

Aus möglichen Krafteinleitungsvarianten in die Probe wurden mehrere Konstruktionsvarianten entwickelt. Daraus wurde ersichtlich, dass die Krafteinleitung entweder über einen oder zwei Hydraulikzylinder erfolgen kann. Die Auslegung der Hydraulikkomponenten der ZPM soll gewährleisten, dass bei einem Bruch einer Probe (hohe, impulsartig frei werdende Kräfte) an der Maschine keine Schäden auftreten. Die technisch-wirtschaftliche Auslegung der Hydraulikanlage erfolgt über eine Drittfirma. Die Konzepte dienen als Grundlage für das hydraulische Lastenheft.

8.5.1 Hydraulisches Konzept für "EINEN" Hydraulikzylinder

Abbildung 18 zeigt das hydraulische Konzept für die Krafteinleitung über einen Hydraulikzylinder. Das Konzept gilt für die Konstruktionsvarianten eins bis drei (siehe Kapitel 9.1). Der doppelwirkende Hydraulikzylinder ist als Differentialzylinder

ausgeführt. Bei den ersten beiden Varianten wird der Hydraulikzylinder als Hohlkolbenzylinder ausgeführt, bei der dritten als Vollkolbenzylinder.

Ein 4/3-Wegeventil regelt den ein- und ausfließenden Volumenstrom. Das 4/3-Wegeventil ist als proportionalwirkendes Ventil ausgeführt, das elektronisch angesteuert wird. Der Volumenstrom wird in der Zu- und Rückleitung gemessen. Ein Wegaufnehmer, der auf dem Hydraulikzylinder montiert ist, dient zur Bestimmung des exakten Hubs und der Ein- und Ausfahrgeschwindigkeit des Kolbens. Der Volumenstrom dient zur Regelung der Ein- und Ausfahrgeschwindigkeit des Kolbens. In der Grundstellung des Wegeventils fördert die Pumpe das Hydrauliköl in den Hydrauliktank. Durch Verschiebung des Wegeventils nach links oder rechts wird der Hydraulikzylinder entweder ein- oder ausgefahren.

Ein Überdruckventil ist parallel zwischen der Zu- und Ableitung geschaltet, dieses soll die Hydraulikanlage beim Ein- oder Ausfahren des Hydraulikzylinders vor zu hohem Druck in der Anlage schützen.

Ein Drosselrückschlagventil, das seriell in der Zuleitung geschaltet ist, soll die Hydraulikpumpe vor impulsartigen Kräften schützen. Die Pumpe wird durch einen Elektromotor angetrieben.

Der Hydraulikdruck wird mit einem mechanischen Manometer angezeigt, des Weiteren wird dieser auch elektronisch erfasst.

Der Tank ist mit einem Niveauschalter, einem Ablassventil, einem Rücklaufilter, einer Ölstandanzeige, sowie einem Einfüll- und Entlüftungsventil ausgestattet (siehe Abbildung 18).

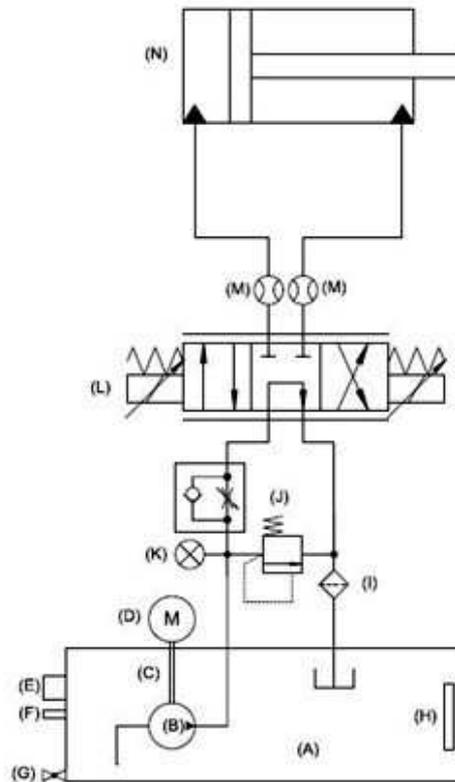


Abbildung 18: Hydraulikplankonzept für einen Zylinder - (A) Tank, (B) Pumpe, (C) Kupplung, (D) Motor, (E) Einfüll- und EntlüftungsfILTER, (F) Niveauschalter, (G) Ablassventil, (H) Ölstandanzeige, (I) Rücklauffilter, (J) Druckbegrenzungsventil, (K) Manometer (optisch und elektrisch), (L) 4/3 Wegeventil, (M) Volumenmessgerät, (N) doppelwirkender Hydraulikzylinder.

8.5.2 Hydraulisches Konzept für "ZWEI" Hydraulikzylinder

Das hydraulische Konzept für "ZWEI" Hydraulikzylinder ist ähnlich aufgebaut wie jenes für einen Hydraulikzylinder. Abbildung 19 zeigt das hydraulische Konzept für die vierte Konstruktionsvariante (siehe Kapitel 9.1). Die beiden Hydraulikzylinder sind als doppelwirkende Differentialzylinder ausgeführt. Für die Regelung der Hydraulikzylinder werden zwei 4/3 Wegeventile benötigt. Die Regelung der Kolbengeschwindigkeit erfolgt wie beim Konzept für "EINEN" Hydraulikzylinder. Der Tank ist ebenfalls gleich gestaltet (siehe Abbildung 19).

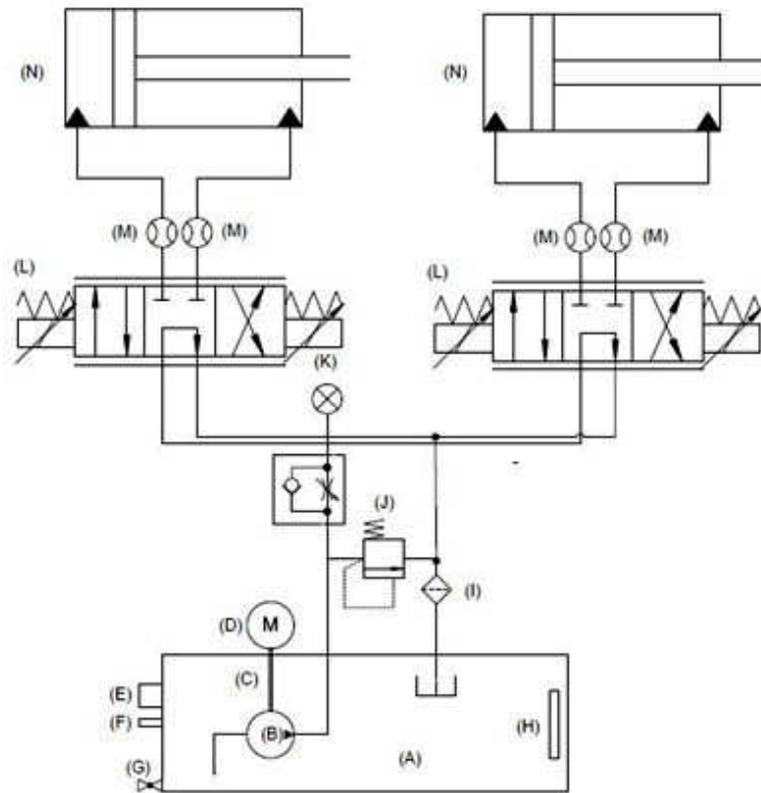


Abbildung 19: Hydraulikplankonzept für zwei Zylinder - (A) Tank, (B) Pumpe, (C) Kupplung, (D) Motor, (E) Einfüll- und EntlüftungsfILTER, (F) Niveauschalter, (G) Ablassventil, (H) Ölstandsanzeige, (I) Rücklauffilter, (J) Druckbegrenzungsventil, (K) Manometer (optisch und elektrisch), (L) 4/3 Wegeventil, (M) Volumenmessgerät, (N) doppeltwirkender Hydraulikzylinder

Vor- und Nachteile der beiden hydraulischen Konzepte

Der wesentliche Vorteil des Konzepts für einen Hydraulikzylinder liegt darin, dass weniger Komponenten benötigt werden. Dies hat zur Folge, dass die Kosten geringer sind. Der Vorteil bei zwei Hydraulikzylindern gegenüber einem ist, dass die Zylinder bei gleichem Druck kleiner ausgeführt werden können. Ein Nachteil bei der Verwendung von zwei Hydraulikzylindern ist die Synchronisierung beim Ein- und Ausfahren der Kolben.

Konstruktive Vorteile überwiegen beim Konzept mit zwei Hydraulikzylindern, da an den Anschlussflanschen zwischen Querträger und Hydraulikzylinder kleinere Kräfte auftreten als bei einem Hydraulikzylinder. Die Handhabung zweier kleinerer Hydraulikzylinder ist auch wesentlich einfacher. Ein konstruktiver Vorteil für das Konzept mit nur einem Hydraulikzylinder ist, dass weniger Hydraulikleitungen verlegt werden müssen und somit Wartung und Instandhaltung einfacher werden.

9. Konstruktion

9.1 Konzepte für die Anordnung der Messsysteme und Hydraulikzylinder

Für alle nachfolgenden Konzepte gilt, dass die Prüfkraft an der Probe selbst gemessen werden soll. Dadurch soll verhindert werden, dass das Versuchsergebnis durch Reibung und Steifigkeit der Rahmenkonstruktion verfälscht wird. Die möglichen Versuchsanordnungen werden in Kapitel 0 beschrieben. Die Prüfmaschine soll dem Bediener genügend Platz für den Ein- und Ausbau der Proben sowie für die Wartung bieten. Schutz- und Sicherheitseinrichtungen wurden in der Konzeptphase nicht berücksichtigt.

9.1.1 Konzept 1 – „Zugstange“

Abbildung 20 zeigt das Prüfmaschinenkonzept Nr. 1. Die Einspannung der Probe erfolgt über zwei hydraulische Einspannbacken. Der Hydraulikzylinder ist als Hohlkolbenzylinder ausgeführt und ist außerhalb des Prüfraumes auf dem Rahmen fixiert.

Eine hydraulische Einspannung ist auf der Rahmenkonstruktion fixiert, die zweite ist durch eine Zugstange mit dem Hydraulikzylinder verbunden. Die Zugstange ist an einem Ende, wie eingehend erwähnt, mit der Probeneinspannung und auf der anderen Seite mit dem Hydraulikzylinder verbunden. Die Zugstange wird durch den Hohlkolbenzylinder geführt. Die Probe wird von oben oder von vorne in die Zugprüfmaschine eingebracht. Durch Ausfahren des Hydraulikzylinders wird über die Zugstange in die Probe eine Zugkraft eingeleitet. Bei dieser Konstruktion sind zwei Hydraulikzylinder als Dämpfungssystem vorgesehen.

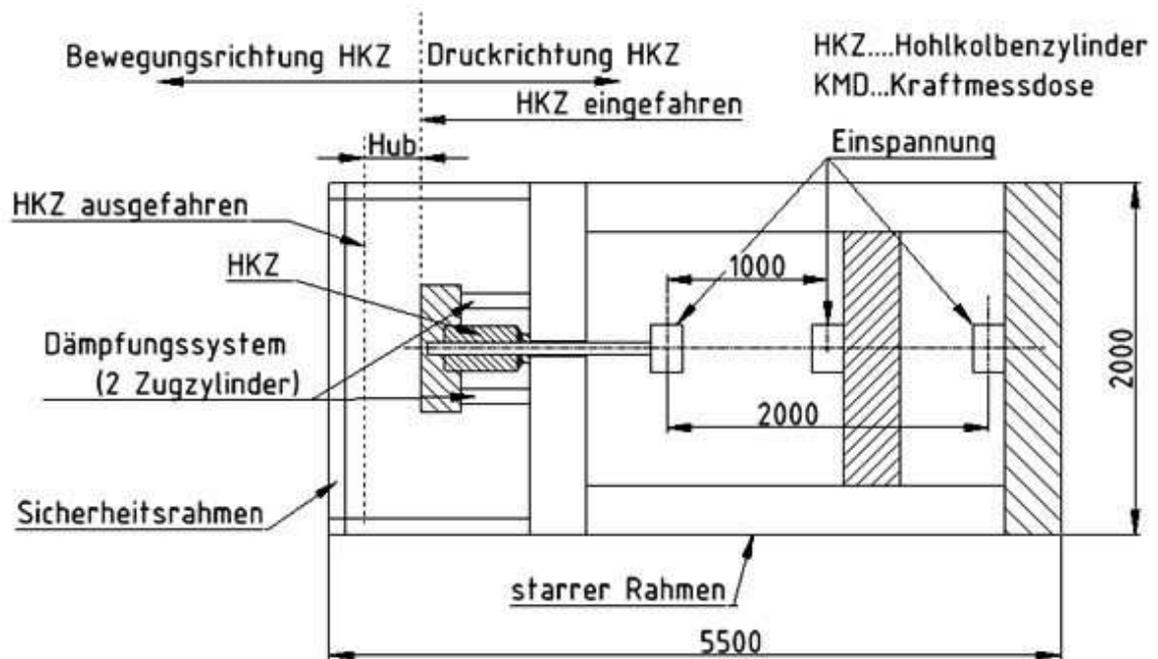


Abbildung 20: Prüfmaschinenkonzept Nr. 1 (schematische Darstellung).

Bei dieser Konstruktionsvariante ist die Umsetzung der Hydraulikbacken sehr einfach zu realisieren. Durch den Hohlkolbenzylinder ist eine zentrale Krafteinleitung in die Probe gegeben. Für große Prüfkräfte wäre eine Sonderkonstruktion für den Hohlkolbenzylinder notwendig, was sich in den Kosten für das Hydrauliksystem widerspiegelt. Die Prüfmaschine bietet genügend Platz für verschiedene Versuchsaufbauten.

9.1.2 Konzept 2 - „Hohlkolben“

Abbildung 21 stellt das Prüfmaschinenkonzept Nr. 2 schematisch dar. Der Hydraulikzylinder ist als Hohlkolbenzylinder ausgeführt, dadurch kann die Probe durch den Hydraulikzylinder geführt werden. Die Probeneinspannung erfolgt einerseits über eine Einspannvorrichtung die auf dem Hohlkolbenzylinder fixiert ist, andererseits durch eine Einspannvorrichtung die auf der Rahmenkonstruktion montiert ist. Der Hydraulikzylinder ist auf die Rahmenkonstruktion geflanscht. Die Probe wird seitlich durch die Bohrung des Hydraulikzylinders durchgeführt. Durch das Ausfahren des Hydraulikzylinders wird eine Zugkraft in die Probe eingeleitet.

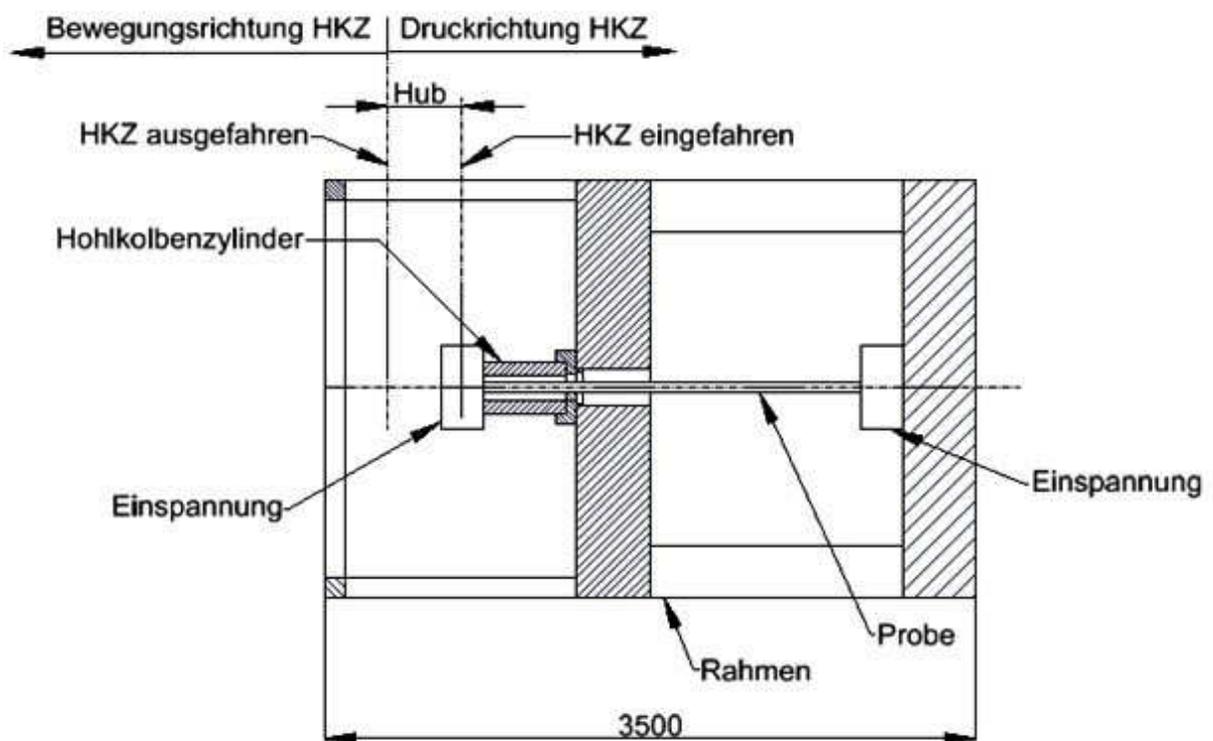


Abbildung 21: Prüfmaschinenkonzept Nr. 2 (schematische Darstellung).

Der Hauptvorteil dieser Anordnung liegt in der zentralen Kraffteinleitung in die Probe. Es werden geringe Massen bewegt, dadurch entstehen keine großen Energieverluste durch Reibung. Als nachteilig muss angesehen werden, dass sich die Probe größtenteils im Hydraulikzylinder befindet und daher nicht zugänglich ist.

9.1.3 Konzept 3 – „TVFA TU Wien ALT“

Beim diesem 3. Konzept ist ein Hydraulikzylinder zwischen einem beweglichen Querhaupt und einem Rahmenquerträger befestigt (siehe Abbildung 22). Die Rahmenkonstruktion besteht aus einem Rahmenquerträger und zwei Rahmenlängsträgern. Das bewegliche Querhaupt besteht aus zwei Querhauptträgern, die mittels Zugstangen verbunden sind. Die beiden Querträger werden zwischen zwei Gleitlagern in der Rahmenkonstruktion geführt. Der rechte Querhauptträger dient für ein Ende der Probe als Einspannung, der linke Querträger als mechanische Anbindung an den Hydraulikzylinder. Als zweite Probeneinspannung dient ein beweglicher Einspannträger. Dieser wird wie die Querhauptträger in der Rahmenkonstruktion geführt. Bei der Versuchsdurchführung wird der bewegliche Einspannträger mittels Bolzen an der Rahmenkonstruktion fixiert. Die Probe wird von der Seite durch Bohrungen in beide Träger geführt und mittels Verankerungen verschraubt. Durch das Ausfahren der Hydraulikzylinder wird über das bewegliche Querhaupt eine Zugkraft in die Probe eingeleitet. Die Prüfmaschine wurde um 60 [°] geneigt ausgeführt, um den Zugang für den Ein- und Ausbau der Proben sowie für die Wartung zu erleichtern.

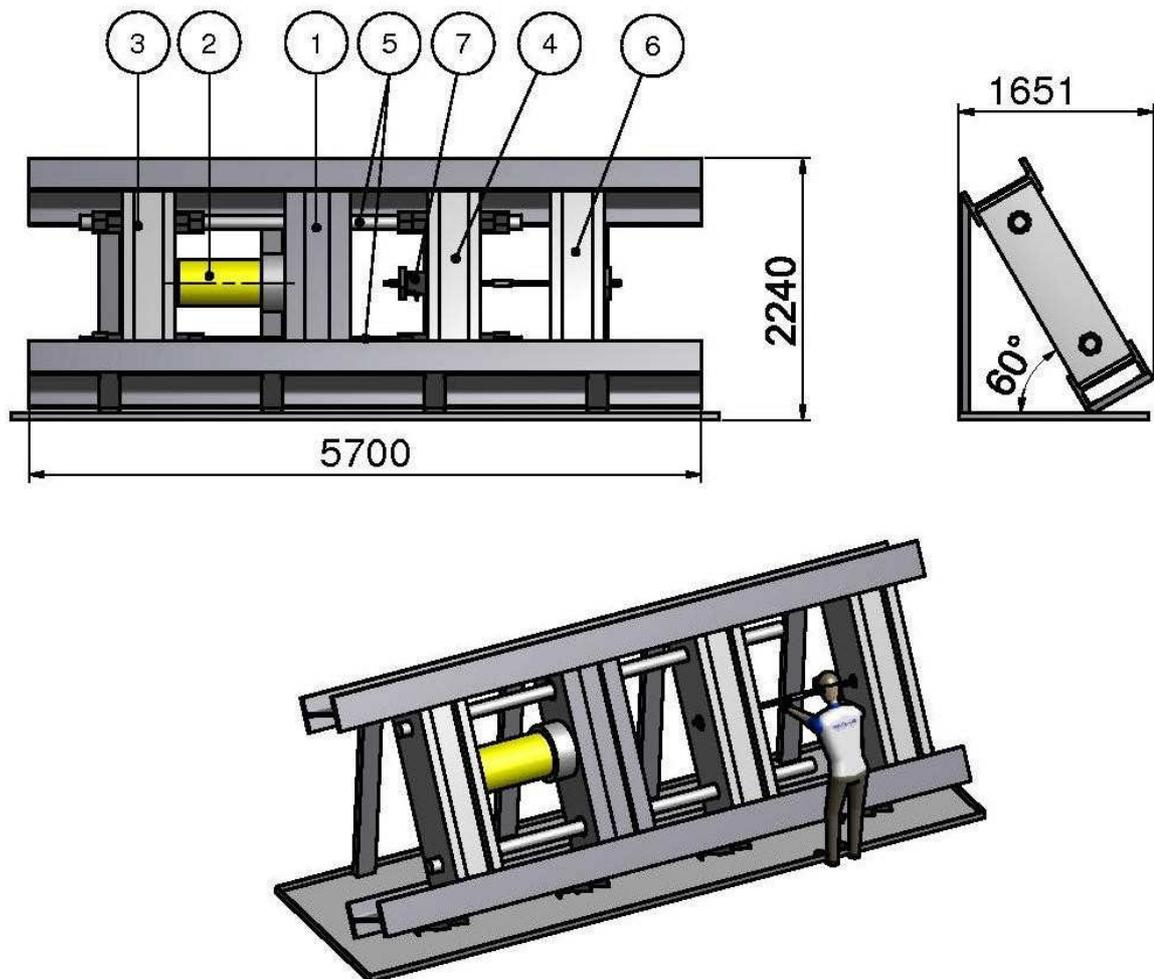


Abbildung 22: Prüfmaschinenkonzept Nr. 3: 1 Rahmenquerträger, 2 Hydraulikzylinder, 3 Querhauptträger links, 4 Querhauptträger rechts, 5 Führungssäulen, 6 Einspannquerträger (schematische Darstellung).

Diese Bauform der Prüfmaschine erlaubt aufgrund des verstellbar ausgeführten Einspannquerträgers eine variable Probenlänge. Die Prüfmaschine bietet auch ausreichend Platz für unterschiedliche alternative Versuchsaufbauten, wie zum Beispiel Ausziehversuche gemäß ETAG 013. Der wesentliche Nachteil der Prüfmaschine ist der komplizierte Aufbau. Im Zuge der Versuchsdurchführung kann es zu Zwängungen des Querhauptes kommen. Da die Prüfmaschine zwei Querhauptträger hat, besitzt die Maschine hohe bewegliche Massen, daraus resultieren hohe Reibungskräfte. Ein weiterer Nachteil ist der komplizierte Einbau der Probe.

9.1.4 Konzept 4 – „Zwei Hydraulikzylinder“

Anders als die vorher beschriebenen Konzepte sieht das Konzept Nr. 4 zwei Hydraulikzylinder, die zwischen zwei Querträgern montiert sind, vor. Hierbei ist ein Querträger fest, der zweite beweglich ausgeführt. Der bewegliche Querträger wird zwischen zwei Gleitlagern geführt. Die Rahmenkonstruktion dient einerseits zur Führung des beweglichen Querträgers, andererseits zur Aufnahme des festen Querträgers. Die Probe selbst befindet sich zwischen zwei symmetrisch angeordneten Hydraulikzylindern. Die Einspannung erfolgt außerhalb der beiden Querträger, wobei die Probe von der Seite durch Bohrungen in beiden Querträgern geführt und mittels Verankerungen verspannt wird. Durch das Ausfahren der Hydraulikzylinder wird eine Zugkraft in die Probe eingeleitet. Der Neigungswinkel der Gesamtkonstruktion wurde variiert, um den optimalen Zugang zur Probe zu ermitteln. Bei Konzept Nr. 4a ist die Prüfmaschine in horizontaler, bei Konzept Nr. 4b in vertikaler Richtung geneigt. Abbildung 23 kann für die schematische Darstellung der horizontalen und vertikalen Prüfmaschinenanordnung herangezogen werden. Bei Konzept Nr. 4c ist die Prüfmaschine unter einem Neigungswinkel von 60 [°] aufgestellt (siehe Abbildung 24).

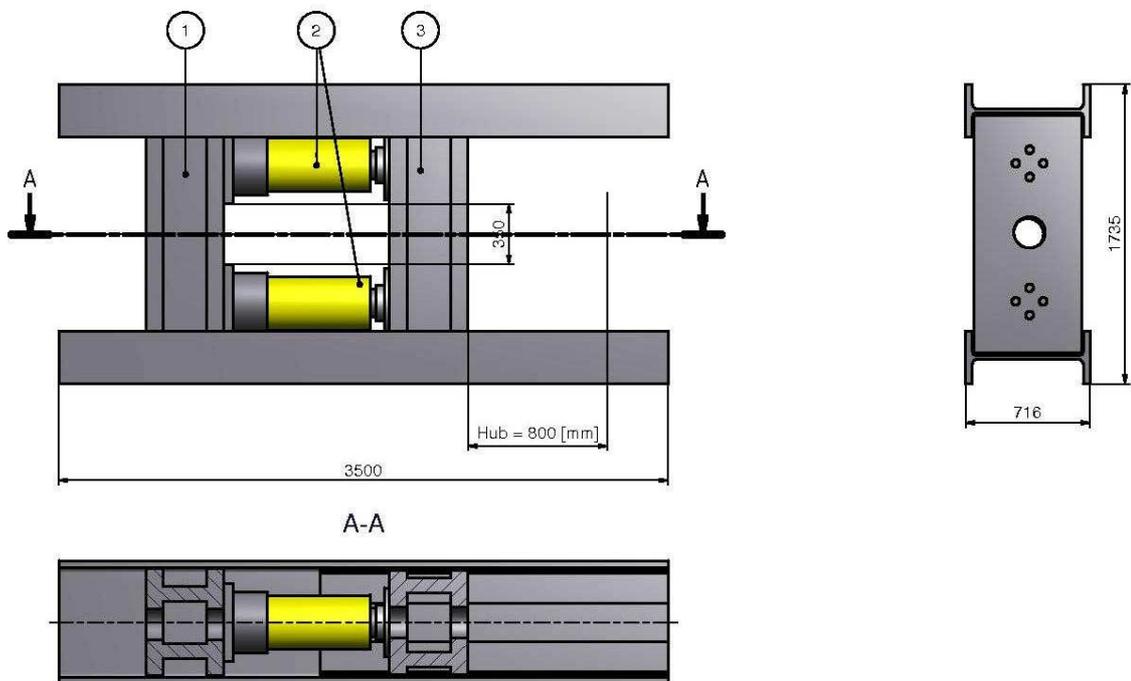


Abbildung 23: Prüfmaschinenkonzepte Nr. 4a und Nr. 4b: 1 Rahmen, 2 Hydraulikzylinder, 3 Einspannquerträger (schematische Darstellung).

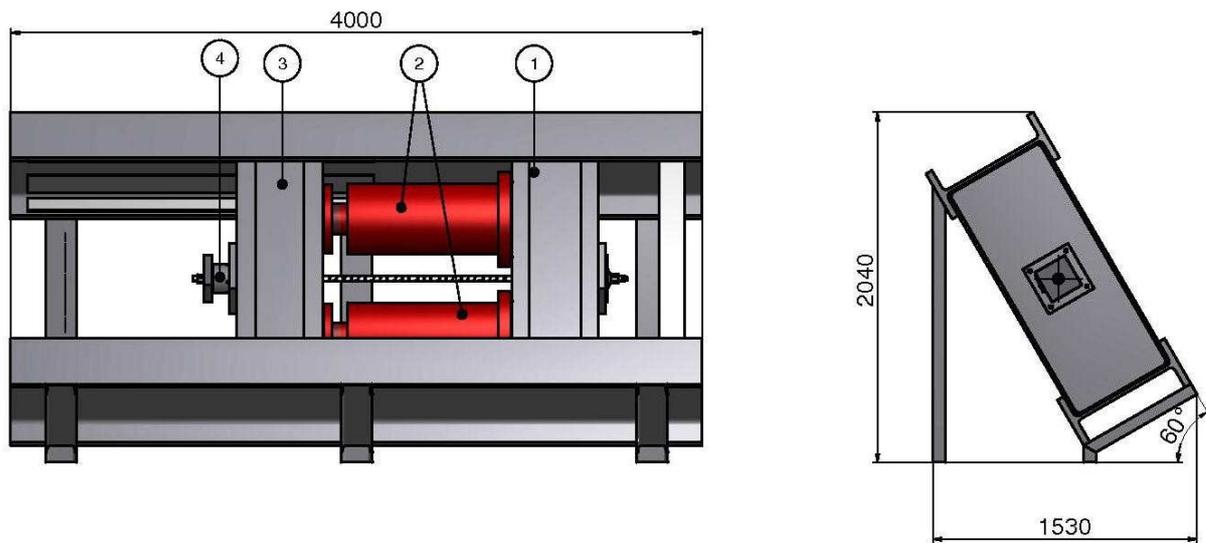


Abbildung 24: Prüfmaschinenkonzept 4c: 1 Rahmenkonstruktion, 2 Hydraulikzylinder, 3 Einspannträger, 4 Versuchsaufbau (schematische Darstellung).

Ein wesentlicher Vorteil dieser drei ähnlichen Konzepte ist die optimale Kraffteinleitung in die Probe, des Weiteren ist die Konstruktion einfach und stabil. Da wenig bewegte Teile vorhanden sind treten auch geringe Reibungskräfte auf. Die Rahmenkonstruktion für das Konzept Nr. 4c ist etwas komplizierter als bei den beiden anderen Konzepten, da eine Neigung von 60 [°] realisiert werden muss. Die Konzepte 4b und 4c bieten genügend Platz für den Zugang zum Probenraum und zu den Hydraulikzylindern. Durch die Neigung der Prüfmaschine (Konzepte 4b und 4c) wird ein Zugang zur Probe von beiden Seiten ermöglicht. Bei den Konzepten 4a und 4c ist es möglich, für den Probeneinbau und -ausbau oder Auswechslung eines Hydraulikzylinders einen Kran zu verwenden, Konzept 4b bietet diese Möglichkeit nicht. Alle drei Konzepte liefern genügend Platz für verschiedene Versuchsaufbauten. Konzept 4a bietet einen guten Zugang zur Probe, aber die Arbeitshaltung für den Benutzer ist ungünstig. Da für die Konzeptvarianten zwei Hydraulikzylinder erforderlich sind, ist die Hydraulik teurer als bei den Konzepten Nr. 1 bis 3.

9.2 Konzeptauswahl

Die Auswahl der optimalen wirtschaftlich-technischen Konstruktion wurde mittels einer Nutzwertanalysematrix ermittelt. Es wurden 11 verschiedene Kriterien für die Zugprüfmaschine definiert, die in Tabelle 5 aufgelistet werden.

Tabelle 5: Auflistung der Kriterien für die Lösungsfindung.

| Nutzwertanalysematrix für Lösungsvarianten der Zugprüfmaschine | | Bewertung | |
|---|-------------------|------------------|-----------------|
| Kriterium | Gewichtung | gut | schlecht |
| geringe Masse der beweglichen Objekte | 7 | 10 | 1 |
| geringe Masse der unbeweglichen Objekte | 3 | 10 | 1 |
| Platz zum Einbau der Probe | 10 | 10 | 1 |
| Zeit zum Einbau der Probe | 9 | 10 | 1 |
| Einfacher Aufbau der Maschine | 7 | 10 | 1 |
| Kosten der Herstellung | 5 | 10 | 1 |
| Messgenauigkeit | 10 | 10 | 1 |
| Handhabung | 10 | 10 | 1 |
| Fertigung | 5 | 10 | 1 |
| Wartung | 7 | 10 | 1 |
| Instandsetzung | 7 | 10 | 1 |
| <i>Gesamt:</i> | <i>80</i> | | |

Die Kriterien wurden gewichtet, die Gewichtung multipliziert mit der Bewertung der Konstruktionsvariante ergibt die Bewertungspunktzahl. Die Bewertungspunktzahl kann zwischen eins und hundert liegen. Tabelle 6 zeigt die Bewertung der einzelnen Lösungsvarianten.

Tabelle 6: Bewertung der Lösungsvarianten.

| Nutzwertanalysematrix für Lösungsvarianten der Zugprüfmaschine | | Bewertung der Lösungsvarianten | | | | | |
|---|-------------------|---------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Kriterium | Gewichtung | 1 | 2 | 3 | 4a | 4b | 4c |
| geringe Masse der beweglichen Objekte | 7 | 10 | 10 | 5 | 9 | 9 | 9 |
| geringe Masse der unbeweglichen Objekte | 3 | 7 | 5 | 2 | 8 | 8 | 8 |
| Platz zum Einbau der Probe | 10 | 8 | 8 | 9 | 7 | 10 | 9 |
| Zeit zum Einbau der Probe | 9 | 9 | 9 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Einfacher Aufbau der Maschine | 7 | 5 | 7 | 1 | 10 | 9 | 10 |
| Kosten der Herstellung | 5 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 6 |
| Messgenauigkeit | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Handhabung | 10 | 8 | 8 | 6 | 9 | 7 | 9 |
| Fertigung | 5 | 6 | 5 | 3 | 8 | 8 | 7 |
| Wartung | 7 | 6 | 5 | 4 | 7 | 7 | 7 |
| Instandsetzung | 7 | 6 | 5 | 4 | 7 | 7 | 7 |
| <i>Gesamt:</i> | <i>80</i> | | | | | | |

Die Gesamtsumme der einzelnen Bewertungspunktzahlen ergibt die Punktzahl für die jeweilige Variante. Die Variante mit der höchsten Punktzahl wird als die

bestmögliche Konstruktionsvariante angesehen. Tabelle 7 zeigt das Ergebnis für die Bewertung der unterschiedlichen Konstruktionsvarianten. Die optimale technisch-wirtschaftliche Lösung für die Realisierung der Zugprüfmaschine ist Variante 4c.

Tabelle 7: Ergebnis der Nutzwertanalyse.

| Nutzwertanalysematrix für Lösungsvarianten der Zugprüfmaschine | | Gewichtung mal Bewertung der Lösungsvarianten | | | | | |
|--|------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| Kriterium | Gewichtung | 1 | 2 | 3 | 4a | 4b | 4c |
| geringe Masse der beweglichen Objekte | 7 | 70 | 70 | 35 | 63 | 63 | 63 |
| geringe Masse der unbeweglichen Objekte | 3 | 21 | 15 | 6 | 24 | 24 | 24 |
| Platz zum Einbau der Probe | 10 | 80 | 80 | 90 | 70 | 100 | 90 |
| Zeit zum Einbau der Probe | 9 | 81 | 81 | 63 | 63 | 63 | 63 |
| Einfacher Aufbau der Maschine | 7 | 35 | 49 | 7 | 70 | 63 | 70 |
| Kosten der Herstellung | 5 | 40 | 40 | 40 | 35 | 35 | 30 |
| Messgenauigkeit | 10 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Handhabung | 10 | 80 | 80 | 60 | 90 | 70 | 90 |
| Fertigung | 5 | 30 | 25 | 15 | 40 | 40 | 35 |
| Wartung | 7 | 42 | 35 | 28 | 49 | 49 | 49 |
| Instandsetzung | 7 | 42 | 35 | 28 | 49 | 49 | 49 |
| Gesamt: | 80 | 621 | 610 | 472 | 653 | 656 | 663 |

9.3 Mechanische Auslegung der Zugprüfmaschine

Die Prüfmaschine wurde festigkeitsmäßig nach der Gestaltfestigkeitshypothese ausgelegt, danach wurde die Konstruktion mittels der Finite-Elemente-Methode nachgerechnet. Die Schweißnahtverbindung zwischen dem Querträger und den Längsträgern wurde gemäß DIN 15018 rechnerisch ausgelegt. In dieser Norm werden Schweißnähte im Kranbau behandelt - Schweißnähte können hierbei statisch und dynamisch ausgelegt werden. Die Berechnungen für die ausgewählte Konstruktionsvariante sind in Anhang G enthalten.

Die Schweißnaht wurde zur Überprüfung der rechnerischen Auslegung ebenfalls in einem Finite-Elemente-Model (Programm: Abaqus, Version 6.8) simuliert. Für die Bestimmung der optimalen Trägerquerschnittsfläche wurden in der Simulation zwei Konstruktionsvarianten verglichen. In der vorliegenden Arbeit wird nur auf den optimalen Querschnitt des Querträgers eingegangen. Die Trägerquerschnitte wurden hinsichtlich des Spannungsverlaufes und des Verschiebungsverlaufes bewertet. Für das Werkstoffmodell wurden ein ideal-elastisches und ideal-plastisches Stoffgesetz verwendet. Durch das ideal-plastische Model sollen kritische Bereiche im Model selbst aufgezeigt werden.

Für die Schweißnahtkonstruktion zwischen Quer- und Längsträger wurde mittels der Normrechnung eine Schweißnahtdicke von 6 [mm] ermittelt. Abbildung 25 zeigt den Mises-Vergleichsspannungsverlauf des optimierten Querträgers (Halbschnitt). Die Simulation hat gezeigt, dass die größten Spannungen im Bereich der Probeneinspannung auftreten.

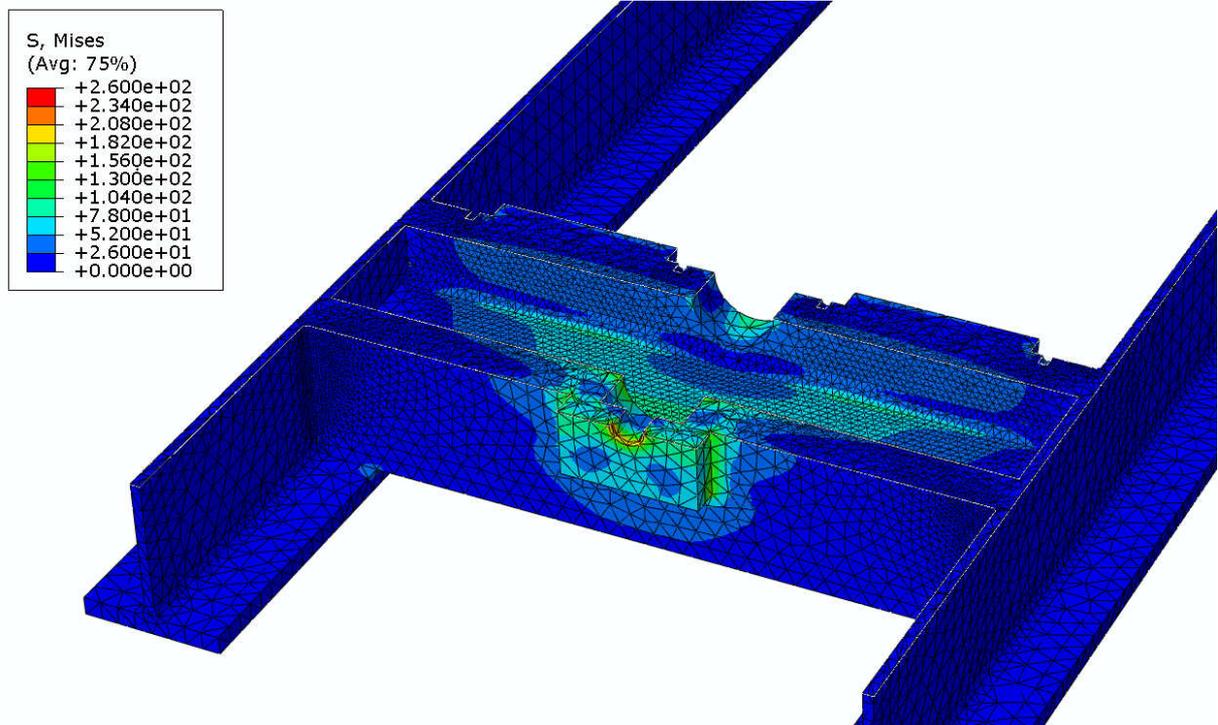


Abbildung 25. Mises-Spannungsverlauf in der Rahmenkonstruktion.

Abbildung 26 zeigt den Vergleichsspannungsverlauf nach Mises im Bereich der Probeneinspannung. Der Spannungsverlauf zeigt, dass der Trägerquerschnitt ausreichend bemessen wurde. Die größte Spannung von 254 [N/mm²] tritt im Bereich der Probeneinspannung auf. Die Trägerquerträgerschweißnaht weist eine maximale Spannung von 176 [N/mm²] auf. Ein Vergleich mit den zulässigen Spannungen für Schweißnähte und Bauteile (siehe Anhang G) hat gezeigt, dass die Konstruktion ausreichend bemessen wurde.

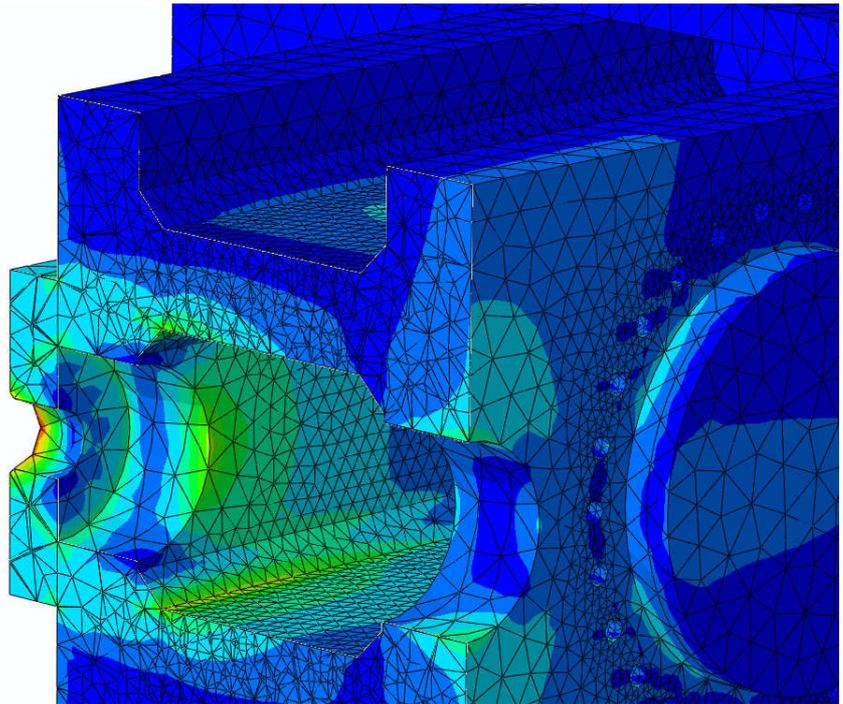
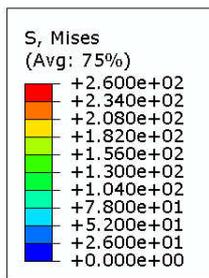


Abbildung 26: Spannungsverlauf im Bereich der Probeneinspannung.

Abbildung 27 zeigt den Verschiebungsverlauf für die ermittelte Querschnittsfläche. Die größte elastische Verschiebung tritt ebenfalls im Bereich der Probeneinspannung auf und beträgt maximal 0,5 [mm]. Die Druckplatte die als Probeneinspannung dient, soll aus hochfestem Stahl ausgeführt werden.

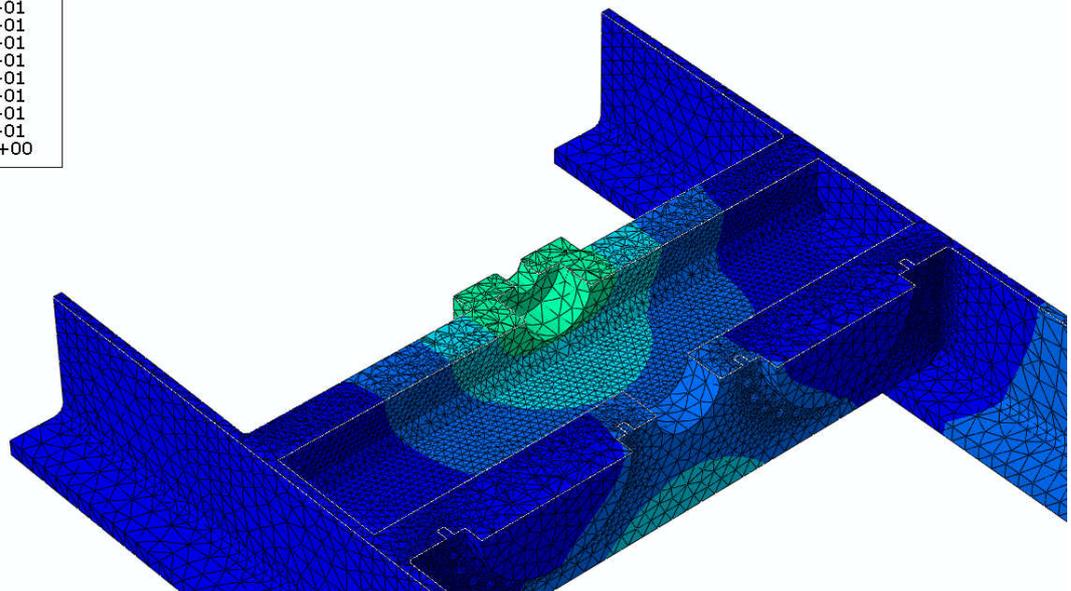
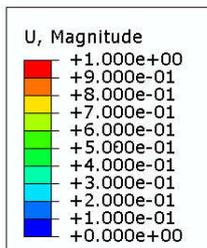


Abbildung 27. Verschiebungsverlauf im Querträger.

9.4 Dämpfungskonzept

Durch den Bruch einer Probe können hohe, impulsartige Kräfte frei werden. Damit keine Schäden auf der Prüfmaschine beziehungsweise am Gebäude selbst entstehen können, müssen diese Kräfte durch ein Dämpfungskonzept aufgefangen werden.

Die frei werdende Energie beim Bruch einer Probe wurde mittels einer energetischen Betrachtung ermittelt, die Verzerrungsenergie der Probe wurde in einen elastischen und einen plastischen Anteil zerlegt. Es wurde angenommen, dass die elastische Energie für das Wegschleudern von Probenteilen nach dem Bruch verantwortlich ist. Der plastische Anteil geht in die Verformung der Probe über. Die Berechnung ist in Anhang H dargestellt. Auf das Ergebnis wird hier nicht eingegangen, da es ohne die entsprechende Berechnung nicht nachvollziehbar ist.

Für die Abschätzung der erforderlichen Dämpfungsenergie wurden die Verzerrungsenergie der Querträger und die kinetische Energie des beweglichen Querträgers berücksichtigt. Die Berechnung ist in Anhang H dargestellt. Das Ergebnis wird hier nicht angeführt, da es ohne die entsprechende Berechnung nicht nachvollziehbar ist.

Für die Dämpfung der Zugprüfmaschine kommen folgende Konzepte in Frage:

- (a.)Gegenläufige Hydraulikzylinder;
- (b.)Dämpfung der gesamten Rahmenkonstruktion mittels Hydraulikzylindern; oder
- (c.)Verankerung der Prüfmaschine in den Hallenboden.

Das Dämpfungssystem wurde in der vorliegenden Arbeit nicht weiter ausgelegt.

10. Maschinensicherheit

Die folgenden Unterkapitel stellen eine Zusammenfassung der Maschinensicherheitsverordnung 2010 [MSV 2010], der Norm für „Sicherheit für Maschinen – Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze EN ISO 12100 Teil 1 und 2“, sowie der Norm für „Sicherheit für Maschinen – Risikobeurteilung EN ISO 14121-1“ dar (26), (27), (28), (19).

10.1 Allgemeines

„Der Maschinenbau ist ein wichtiger technischer Teilsektor und einer der industriellen Kernbereiche der Wirtschaft. Die sozialen Kosten der durch den Umgang mit unmittelbar hervorgerufenen zahlreichen Unfällen lassen sich verringern, wenn der Aspekt der Sicherheit in die Konstruktion und den Bau der Maschinen einbezogen wird und wenn Maschinen sachgerecht installiert und gewartet werden.“ [6]

Die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG hat folgende Ziele (26):

- (a.) Errichtung eines gemeinsamen Marktes (freier Warenverkehr);
- (b.) Harmonisierung; und
- (c.) Festlegung einheitlicher Rechtsvorschriften;
 - i. Sicherheitstechnische Anforderungen [GSA];
 - ii. und Festlegung einheitlicher Konformitätsverfahren.

Die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG ist in allen Mitgliedsstaaten des europäischen Wirtschaftsraums umgesetzt worden. In Österreich erfolgte dies durch die Maschinensicherheitsverordnung 2010 [MSV 2010], BGBl II 282 / 2008, die, am 29. Dezember 2009 in Kraft getreten ist.

Arbeitsmittel, die nach dem 1. Jänner 1995 und vor dem 29. Dezember 2009 hergestellt worden sind, fallen unter die Maschinenrichtlinie 98/37/EG. Die Maschinenrichtlinie 98/32/EG und 2006/42/EG sehen eine CE-Kennzeichnung der Arbeitsmittel vor. Die CE-Kennzeichnung ist kein Qualitätsmerkmal, sondern eine

Kennzeichnung für Arbeitsmittel, die einen bestimmten Standard an Sicherheit bieten. Arbeitsmittel, die vor dem 1. Jänner 1995 produziert worden sind, benötigen keine CE-Kennzeichnung.

Die Kernanforderungen an die Maschinensicherheitsverordnung 2010 [MSV 2010] sind (26):

- (a) Grundlegende Sicherheitsanforderungen;
- (e) Technische Dokumentation;
- (f) Betriebsanleitung;
- (g) EG-Konformitätserklärung;
- (h) CC-Kennzeichnung;
- (i) Ggf. Baumusterprüfung.

Beim Umbau der Maschine oder Verkettung von Maschinen bzw. unvollständigen Maschinen zu einer vollständigen Maschine ist eine Risikoanalyse notwendig. Der Umbau einer Maschine bedeutet entweder eine Leistungssteigerung der Maschine oder eine Funktionsänderung der Maschine. Die Verkettung beschreibt die Schnittstelle zwischen den verbundenen Maschinen, es wird zwischen geringfügiger und tiefgreifender Verkettung unterschieden (29):

„Eine geringfügige Verkettung liegt vor, sofern einzelne Maschinen miteinander verbunden werden, jedoch weiterhin selbstständige Arbeit verrichtet und insbesondere die Sicherheitselemente (z.B.: Not-AUS-Schalter zur Stillsetzung jeder einzelnen Maschine) auf die Einzelmaschine abgestellt werden“.

In der Regel wird die Verkettung lediglich auf die Transportfunktion des zu bearbeitenden Produktes beschrieben (29):

„Eine tiefgreifende Verkettung ist dann gegeben, wenn sämtliche Maschinen derart miteinander verbunden werden, dass sie einen Gesamtkomplex bilden und insbesondere auch in sicherheitstechnischer Hinsicht eine Einheit bilden (z.B.: NOT-AUS-Schalter, der die Gesamtmaschine stillsetzt“.

Bei Maschinengruppen mit einer geringfügigen Verkettung muss jede einzelne Maschine einem Konformitätsverfahren unterzogen werden (z.B.: für jede Maschine muss eine Betriebsanleitung erstellt werden, etc.). Bei der tiefgreifenden Verkettung wird der Gesamtkomplex einem Übereinstimmungsverfahren unterzogen (29):

„Die Verantwortung hinsichtlich des Konformitätsverfahrens trägt bei verketteten Maschinen mit geringfügiger Verkettung der Hersteller der jeweiligen Einzelmaschine, bei verketteten Maschinen tiefgreifender Verkettung der Hersteller/Monteur der „Gesamtmaschine“.

Der Begriff „Inverkehrbringen“ wurde in der MSV 2010 neu definiert. Inverkehrbringen bedeutet die entgeltliche oder unentgeltliche erstmalige Bereitstellung in der Gemeinschaft zum Vertrieb oder zur Benutzung (26). Abbildung 28 zeigt das Verfahren nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG.

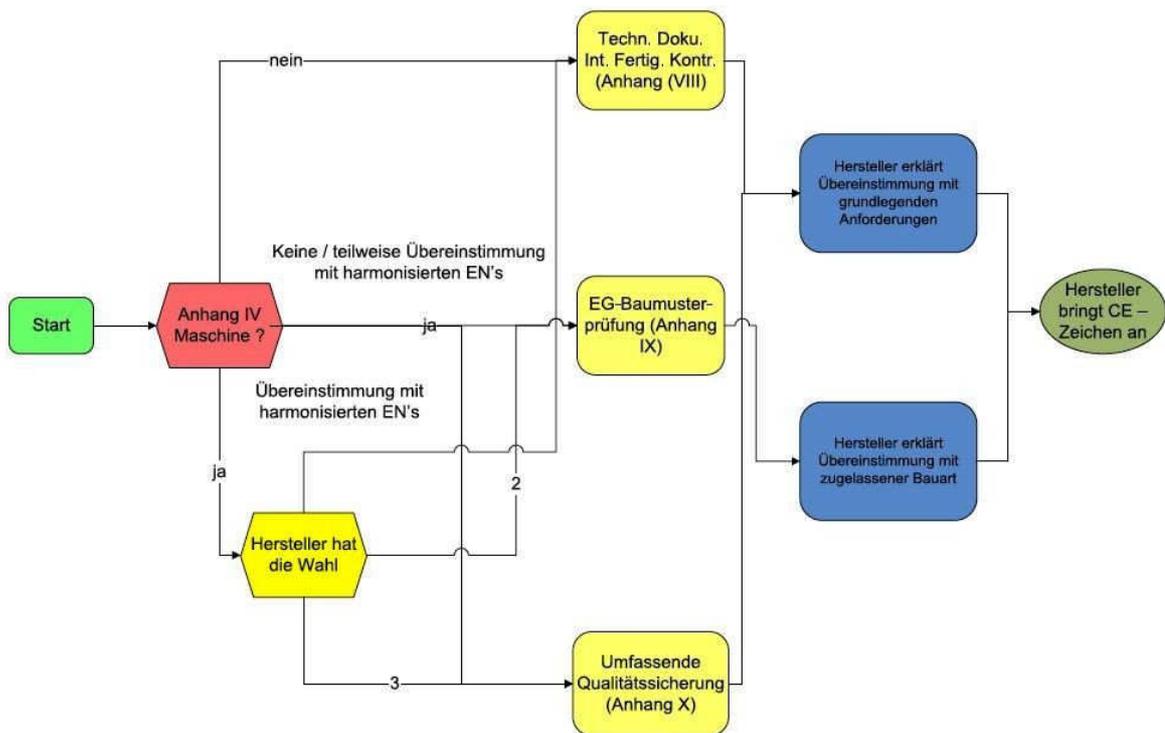


Abbildung 28: Verfahren nach MRL 2006/42/EG (26).

10.2 Definition „Maschine“ laut der Maschinenrichtlinie MSV 2010

Eine Maschine ist laut MSV 2010, Paragraph 2 Abs. 2 (26):

- (a) eine Gesamtheit von miteinander verbundenen Teilen, von denen mindestens einer beweglich ist, die für eine bestimmte Anwendung zusammengefügt sind;
- (b) eine Gesamtheit der lediglich die Teile fehlen, die sie mit ihrem Einsatzort oder mit ihren Energie- und Antriebsquellen verbinden;
- (c) eine einbaufertige Gesamtheit, die erst nach Anbringung auf einem Beförderungsmittel oder Installation in einem Gebäude oder Bauwerk funktionsfähig ist;
- (d) eine Gesamtheit von unvollständigen Maschinen die so angeordnet werden und betätigt werden, dass sie als Gesamtheit funktionieren;
- (e) eine Gesamtheit von miteinander verbundenen Teilen oder Vorrichtungen, von denen mindestens eines bzw. eine beweglich ist und für Hebevorgänge zusammengefügt sind und deren einzige Antriebsquelle die unmittelbar eingesetzte menschliche Kraft ist.

In den Anwendungsbereich der MSV 2010 fallen (26):

- (a) Maschinen;
- (b) Auswechselbare Ausrüstungen;
- (c) Sicherheitsbauteile;
- (d) Lastaufnahmemittel;
- (e) Ketten, Seile und Gurte (Anmerkung: nur für Hebezwecke);
- (f) Abnehmbare Gelenkwellen;
- (g) Unvollständige Maschinen.

Der Ausdruck „Maschine“ bezeichnet laut MSV 2010 die Punkte a bis g der vorigen Aufzählung (26). Sicherheitsbauteile die als Ersatzteile vom Hersteller geliefert werden sind ausgenommen.

10.3 Aufbau der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

Die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG besitzt drei Hauptabschnitte. Die Abschnitte sind (26):

- (a) Erwägungsgründe;
- (b) Verfügender Teil;
- (c) Anhänge.

Der Abschnitt „Verfügender Teil“ behandelt folgende Themengebiete (26):

- (a) Anwendungsbereich;
- (b) Ausnahmen;
- (c) Definitionen;
- (d) Herstellerverpflichtungen als Voraussetzungen für das Inverkehrbringen;
- (e) Kennzeichnungsregeln;
- (f) Verwaltungsmaßnahmen gegen unsichere Maschinen;
- (g) Konformitätsbewertung;
- (h) Anwendungstermine;
- (i) Umsetzungsfristen;
- (j) und das Verhältnis zur Maschinenrichtlinie 98/37/EG.

Die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG beinhaltet 12 Anhänge und diese lauten (26):

- (a) Anhang I – Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen für Konstruktion und Bau von Maschinen;
- (b) Anhang II – Erklärungen;
- (c) Anhang III – CE – Kennzeichnung;
- (d) Anhang IV – Kategorien von Maschinen, für die eines der Verfahren nach Artikel 12 Absatz 3 und 4 der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG anzuwenden ist;
- (e) Anhang V – Nicht erschöpfende Liste der Sicherheitsbauteile Anhang VI - Montageanleitung unvollständige Maschinen;
- (f) Anhang VI – Montageanleitung für eine unvollständige Maschine;
- (g) Anhang VII – Technische Unterlagen für Maschinen & unvollständigen Maschinen;
- (h) Anhang VIII – Verfahren der Konformität;
- (i) Anhang IX – EG-Baumusterprüfung;
- (j) Anhang X – Umfassende Qualitätskontrolle;
- (k) Anhang XI – Mindestkriterien für die Benennung der Stellen;
- (l) Anhang XII – Entsprechungstabelle.

10.4 Technische Unterlagen

Der Anhang VII der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG beschreibt das Verfahren zur Erstellung der technischen Dokumentation. Die technische Dokumentation muss in einer oder mehreren Gemeinschaftsprachen abgefasst sein (26). Sie müssen sich, soweit es für diese Beurteilung erforderlich ist, auf die Konstruktion, den Bau und die Funktionsweise der Maschine erstrecken (26). Die technische Dokumentation ist gemäß der Maschinensicherheitsverordnung MSV 2010 mindestens 10 Jahre ab der letzten in Verkehr gebrachten Maschine aufzubewahren (26). Die technischen

Unterlagen müssen sich nicht unbedingt im Gebiet der Mitgliedstaaten der Europäischen Union, der anderen Vertragspartner des Europäischen Wirtschaftsraums und der anderen gleichgestellten Staaten befinden und auch nicht ständig körperlich vorhanden sein. Sie müssen jedoch von der in der EG-Konformitätserklärung benannten Person entsprechend der Komplexität der Unterlagen innerhalb angemessener Frist zusammengestellt und zur Verfügung gestellt werden können (26).

Die technischen Unterlagen umfassen (26):

- (a) eine technische Dokumentation mit folgenden Angaben bzw. Unterlagen:
- (b) eine allgemeine Beschreibung der Maschine;
- (c) eine Übersichtszeichnung der Maschine und die Schaltpläne der Steuerkreise sowie Beschreibung und Erläuterungen, die zum Verständnis der Maschine nötig sind;
- (d) vollständige Detailzeichnungen, eventuelle mit Berechnung, Versuchsergebnissen, Bescheinigungen, usw., die für die Überprüfung der Übereinstimmungen der Maschine mit den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erforderlich sind;
- (e) die Unterlagen der Risikobeurteilung, aus denen hervorgeht, welches Verfahren angewandt wurde; dies schließt ein:
- (f) eine Liste der grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen, die für die Maschine gelten,
- (g) eine Beschreibung der zur Abwendung ermittelter Gefährdungen oder zur Risikominderung ergriffenen Schutzmaßnahmen und gegebenenfalls eine Angabe der von der Maschine ausgehenden Restrisiken;
- (h) die angewandten Normen und sonstigen technischen Spezifikationen unter Angabe der Normen erfassten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen;

-
- (i) alle technischen Berichte mit den Ergebnissen der Prüfung, die vom Hersteller selbst oder von einer Stelle nach Wahl des Herstellers oder seinen Bevollmächtigten durchgeführt wurden;
 - (j) ein Exemplar der Betriebsanleitung der Maschine;
 - (k) gegebenenfalls die Einbauerklärung für unvollständigen Maschinen und die Montageeinrichtung für solche unvollständigen Maschinen;
 - (l) gegebenenfalls eine Kopie der EG-Konformitätsbescheinigung für die Maschine und andere Maschinen oder Produkte;
 - (m) eine Kopie der EG-Konformitätserklärung;
 - (n) bei Serienfertigung eine Aufstellung der intern getroffenen Maßnahmen zur Gewährleistung der Übereinstimmung aller gefertigten Maschinen mit den Bestimmungen dieser Verordnung.

Für eine unvollständige Maschine muss eine spezielle technische Unterlage erstellt werden (26). Die Anforderungen an die speziellen technischen Unterlagen sind die gleichen wie für die technischen Unterlagen. Für unvollständige Maschine muss eine Montageanleitung erstellt werden. In der Montageanleitung für eine unvollständige Maschine ist anzugeben, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit die unvollständige Maschine ordnungsgemäß und ohne Beeinträchtigung der Sicherheit und Gesundheit von Personen mit den anderen Teilen zur vollständigen Maschine zusammengebaut werden kann (26).

Bei der Risikobeurteilung müssen die in Anhang I der MSV 2010 angegebenen grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen berücksichtigt werden.

10.5 Allgemeine Gestaltungsleitsätze für die Sicherheit von Maschinen

Einen Gesamtüberblick und einen Leitfaden zur Herstellung von Maschinen, die für ihre bestimmungsgemäße Verwendung sicher sind, gibt die EN ISO 12100. Die Norm besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil beschäftigt sich mit Grundbegriffen und mit allgemeinen Gestaltungsleitsätzen, der zweite mit technischen Leitsätzen.

„Der Begriff der Sicherheit von Maschinen betrachtet die Fähigkeit einer Maschine, ihre vorgesehene(n) Funktion(en) während ihrer Lebensdauer auszuführen, wobei das Risiko hinreichend verringert wurde“ (28).

10.5.1 Normen

Normen enthalten Detailforderungen und geben einen Stand bzw. Regel der Technik wieder. Normen sind für die Sicherheit von Maschinen nicht verbindlich. Die Norm EN ISO 12100-1 bildet die Grundlage für eine Normenreihe, die folgt definiert ist:

A-Normen

A-Normen sind Sicherheitsgrundnormen und befassen sich mit Grundbegriffen, Gestaltungsleitsätzen und allgemeinen Aspekten.

B-Normen

B-Normen behandelt einen Sicherheitsaspekt oder eine Art von Schutzeinrichtungen, die für verschiedenen Typen von Maschinen verwendet werden können. B-Normen können wie folgt unterteilt werden:

- (a) B1-Normen für bestimmte Sicherheitsaspekte (z.B.: Sicherheitsabstände, Lärm, etc.);
- (b) B2-Normen für Sicherheitseinrichtungen (z.B.: Zweihandschaltungen, trennende Schutzeinrichtung, etc.).

C-Normen

C-Normen beinhalten Maschinensicherheitsnormen und beschreiben detaillierte Sicherheitsanforderungen.

Harmonisierte Norm

Eine harmonisierte Norm ist eine nicht verbindliche technische Spezifikation, die von einer europäischen Normungsorganisation aufgrund eines Auftrages der Kommission nach einem festgelegten Verfahren angenommen wurde. Wurde eine Maschine nach

einer harmonisierten Norm hergestellt, so darf davon ausgegangen werden dass diese den Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen entspricht.

10.5.2 Gefährdungen

Die Gefährdung ist laut EN ISO 12100-1:2003 eine potentielle Schadensquelle, die entweder dauerhaft (bestimmungsmäßige Verwendung der Maschine), oder auch unerwartet auftreten kann. Die Begriff „Gefährdung“ kann auch spezifiziert werden um den Ursprung der Gefährdung (z.B.: elektrische Gefährdung, etc.) oder die Art der Gefährdung (z.B. Gefährdung durch elektrischen Schlag, etc.) zu beschreiben (28). Die EN ISO 12100-1 lassen sich die Gefährdungen wie folgt einteilen (28):

- (a) Mechanische Gefährdungen;
- (b) Elektrische Gefährdungen;
- (c) Thermische Gefährdungen;
- (d) Gefährdungen durch Lärm;
- (e) Gefährdungen durch Schwingungen;
- (f) Gefährdungen durch Strahlung;
- (g) Gefährdungen durch Materialien und Substanzen;
- (h) Gefährdungen durch Vernachlässigungen ergonomischer Grundsätze bei der Konstruktion von Maschinen;
- (i) Gefährdungen durch Ausrutschen, Stolpern und Stürzen;
- (j) Gefährdungskombinationen;
- (k) Gefährdungen in Zusammenhang mit der Einsatzumgebung der Maschine.

Anhang I zeigt die Gefährdungen bzw. deren möglichen Folgen entsprechend ihrer Art in Gruppen eingeteilt. Die zwei zusätzlichen Spalten listen den möglichen Ursprung der Gefährdung auf bzw. deren möglichen Folgen.

Die Maschinensicherheitsverordnung 2006/42/EG werden die Gefährdung den unterschiedlichen Lebenslaufabschnitten der Maschine zugeteilt (26).

10.6 Verfahrensweg zur Risikominimierung bei Maschinen

10.6.1 Allgemeines

Abbildung 29 zeigt den iterativen Prozess zur Risikominimierung bei Maschinen nach EN 14121-1:2007.

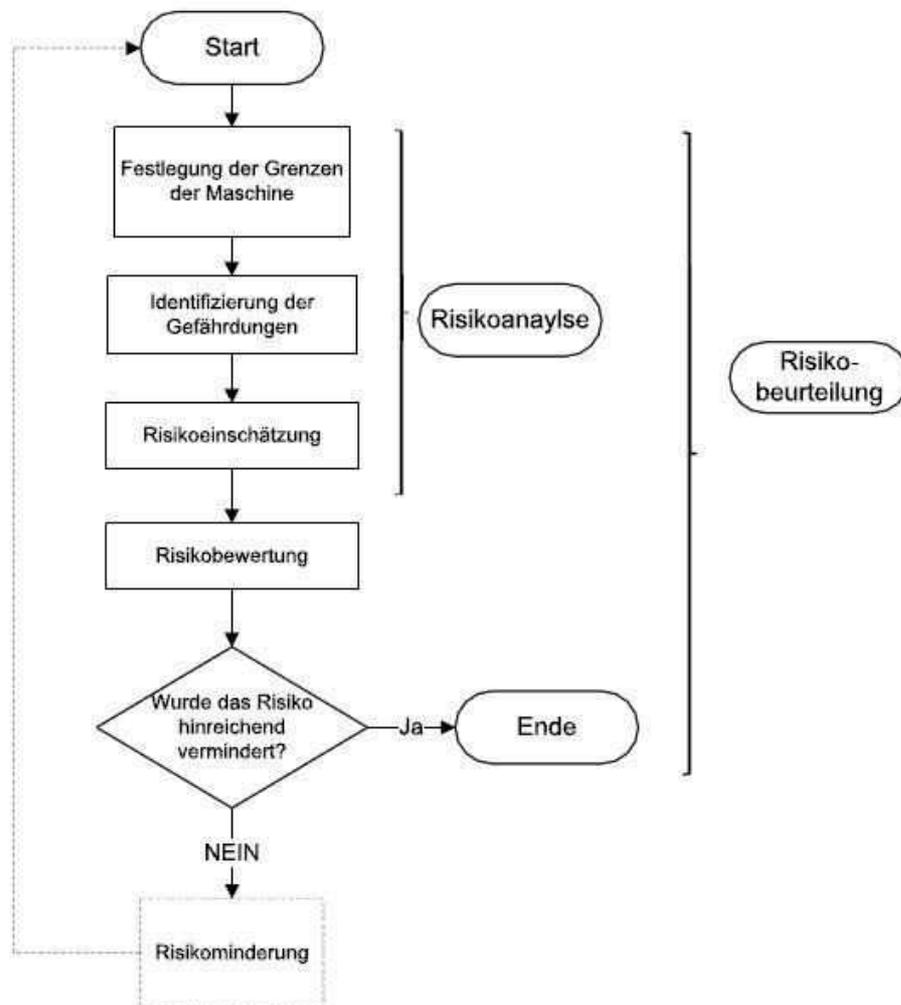


Abbildung 29: Iterativer Prozess zur Risikominimierung (27).

10.6.2 Risikobeurteilung

Grundkonzept

Die Risikobeurteilung ist eine Folge von logischen Schritten, welche die systematischen Analyse und Bewertung von Risiken erlauben, die von Maschinen ausgehen (27). Nach der Risikobeurteilung kann eine Risikominderung nach ISO 12000-1:2003, Abschnitt 5 erfolgen. Eine Iteration dieses Vorganges kann erforderlich sein, um die Gefährdungen so weit wie möglich zu beseitigen und um die Risiken zu vermindern (27).

Die Risikobeurteilung umfasst folgende Vorgehensweise (27):

(a) Risikoanalyse:

- i. Festlegung der Maschinengrenzen;
- ii. Identifizierung der Gefährdungen;

(b) Risikoeinschätzungen.

Die Risikobeurteilung muss so ausgeführt werden, dass es möglich ist, den Verfahrensweg und die erreichten Ergebnissen zu dokumentieren. EN ISO 14121-1 beinhaltet grundsätzliche Anforderungen zur Durchführung von Gefahrenanalyse und Risikobeurteilung.

10.6.3 Risikoanalyse

Festlegung der Maschinengrenzen

Verwendungsgrenzen

Zu den berücksichtigenden Aspekten bei der Verwendungsgrenze zählen folgende (27):

- (a) die verschiedenen Betriebsarten der Maschine, unterschiedliche Eingriffsmöglichkeiten und die vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendungen;

-
- (b) der Einsatzbereich der Maschinen durch Personen mit unterschiedlichen Geschlecht und Alter oder mit begrenzten physischen Fähigkeiten;
 - (c) das vorausgesetzte Niveau in Hinblick auf Ausbildung, Erfahrung oder Fähigkeiten der Benutzer, wie z.B.:
 - i. Bedienerpersonen;
 - ii. Instandhaltungspersonal oder Techniker;
 - iii. Auszubildende und Praktikanten; und
 - iv. die allgemeine Öffentlichkeit.
 - (d) weitere Personen, die den Gefährdungen im Zusammenhang mit der Maschine ausgesetzt sein können, soweit dies vernünftigerweise vorhersehbar ist, einschließlich:
 - i. Bedienpersonen, die in der Nähe arbeiten;
 - ii. In der Nähe befindliche nicht angestellte Personen, z.B. Besuchern.

Räumliche Grenzen

Zu den berücksichtigenden Aspekten zählen (27):

- (a) der Bewegungsraum;
- (b) der Platzbedarf von Personen, die mit der Maschine umgehen, z. B. während des Betriebs;
- (c) die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Maschine, z.B. Schnittstelle „Mensch/Maschine“;
- (d) die Schnittstelle „Maschine/Energieversorgung“.

Zeitliche Grenzen

Zu den zu berücksichtigenden Aspekten zählen (27):

- (a) die „Grenze der Lebensdauer“ der Maschine und/oder einiger von deren Bauteilen (z.B. Werkzeuge, Verschleißteile, etc.) und
- (b) die empfohlenen Wartungsintervalle.

Beispiele für weitere Grenzen sind (27):

- (a) umgebungsbezogen – empfohlene Mindest- und Höchsttemperaturen; die Tatsache, ob der Betrieb im Innenraum oder im Freien, unter trockenen oder nassen Witterungsbedingungen, bei direkter Sonneneinstrahlung, staub- und nässeverträglich usw., stattfinden kann;
- (b) „Housekeeping“ – der erforderliche Grad an Sauberkeit;
- (c) Eigenschaften des zu verarbeitenden Materials bzw. der zu verarbeitenden Materialien.

Identifizierung der Gefährdungen

Nach der Festlegung der Grenzen der Maschine besteht als nächster Schritt bei der Risikobeurteilung einer Maschine in der systematischen Identifizierung der vorhersehbaren Gefährdungen, Gefährdungssituationen und/oder Gefährdungsereignissen in sämtlichen Phasen der Lebensdauer der Maschine, d.h. (27):

- (a) Herstellung;
- (b) Transport, Zusammenbau und Installation;
- (c) Inbetriebnahme;
- (d) Verwendung;
- (e) Einrichten, Teachen / Programmieren oder Umrüsten;
- (f) Betrieb;

-
- (g) Reinigung;
 - (h) Fehlersuche;
 - (i) Instandhaltung;
 - (j) Außerbetriebnahme, Demontage und Entsorgung.

Um die Gefährdungsidentifizierung zu bekommen, muss festgestellt werden, welche Arbeitsgänge durch die Maschine ausgeführt werden und welche Aufgaben durch Personen zu erfüllen sind, die mit der Maschine umgehen. Dabei sind die verschiedenen Teile, Mechanismen oder Funktionen der Maschinen, gegebenenfalls die zu verarbeitenden Materialien und das Umfeld, in dem die Maschine eingesetzt werden kann, zu berücksichtigen.

Die Identifizierung der Aufgaben sollte auch die folgenden Aufgabenkategorien berücksichtigen, ohne sich darauf zu beschränken (27):

- (a) Einrichten;
- (b) Prüfen;
- (c) Einlernen;
- (d) Umrüsten;
- (e) Anlauf;
- (f) alle Betriebsarten;
- (g) Maschinenbeschickung;
- (h) Entnahme des Produktes aus der Maschine;
- (i) Stillsetzen der Maschine;
- (j) Stillsetzen der Maschine im Notfall;
- (k) Wiederherstellung des Betriebs nach Blockierung;

-
- (l) Neustart nach außerplanmäßigem Stillsetzen;
 - (m) Fehlersuche und Fehlerbeseitigung (Eingreifen der Bedienperson);
 - (n) Reinigung und Haushaltung;
 - (o) präventive Instandhaltung;
 - (p) Fehler behebbende Instandhaltung.

Risikoeinschätzung

Nach der Identifizierung der Gefährdungen ist für jede Gefährdungssituation eine Risikoeinschätzung durchzuführen, indem die Risikoelemente bestimmt werden (30).

Risikoelemente

Das mit einer bestimmten Gefährdungssituation zusammenhängende Risiko hängt von folgenden Elementen ab (27):

- (a) dem Schadensausmaß;
- (b) der Eintrittswahrscheinlichkeit dieses Schaden als Funktion;
- (c) der Gefährdungsexposition einer Person / von Personen;
- (d) des Eintritts eines Gefährdungsereignisses;
- (e) der technischen und menschlichen Möglichkeiten zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens.

Schadensausmaß

Der Schadensausmaß kann unter Berücksichtigung folgenden Kriterien eingeschätzt werden, dem Ausmaß der Verletzung oder Gesundheitsschädigung und dem Schadensumfang (27).

Eintrittswahrscheinlichkeit

Die Gefährdungsexposition von Personen beeinflusst die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens; folgende Faktoren sind zu berücksichtigen (27):

- (a) die Notwendigkeit des Zuganges zum Gefährdungsbereich (z.B. Normalbetrieb, Instandhaltung, Beseitigung von Fehlfunktionen, Instandhaltung oder Reparatur);
- (b) die Art des Zuganges (z.B. manuelle Materialzuführung);
- (c) die Zeit, die im Gefährdungsbereich verbracht wird;
- (d) die Anzahl der Personen, für die ein Zugang erforderlich ist;
- (e) die Häufigkeit des Zuganges.

Auch der Eintritt eines Gefährdungsereignisses beeinflusst die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens. Zu den Faktoren, die zu berücksichtigen sind, um den Eintritt eines Gefährdungsereignisses einschätzen zu können, gehören unter anderem (27):

- (a) Zuverlässigkeitsdaten und andere statistischen Daten;
- (b) die Unfallgeschichte;
- (c) Daten über die Gesundheitsbeschädigung;
- (d) und Risikovergleiche.

Möglichkeiten zur Vermeidung oder Begrenzung eines Schadens

Die Möglichkeit, einen Schaden zu vermeiden oder zu begrenzen, beeinflusst die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens. Zu den Faktoren, die zu berücksichtigen sind, um diese Möglichkeiten einschätzen zu können, gehören unter anderem (27):

- (a) welche Personen der/den Gefährdung(en) ausgesetzt sein können, zum Beispiel
 - i. qualifizierte; oder
 - ii. unqualifizierte.
- (b) wie schnell eine Gefährdungssituation zu einem Schaden führen könnte:
 - i. plötzlich;
 - ii. rasch; oder
 - iii. langsam.
- (c) jedes Risikobewusstsein, zum Beispiel:
 - i. durch allgemeine Informationen, insbesondere Benutzerinformationen;
 - ii. durch direkte Beobachtung; oder
 - iii. durch Warnzeichen und Anzeigegeräte, insbesondere an der Maschine.
- (d) die menschliche Fähigkeit, Schaden zu vermeiden oder zu begrenzen (z.B. durch Reflexe);
- (e) praktische Erfahrungen und Kenntnisse;
 - i. in Bezug auf die Maschine;
 - ii. in Bezug auf ähnliche Maschinen oder,
 - iii. keine Erfahrungen.

Während der Risikoeinschätzung zu berücksichtigende Aspekte

Folgende Aspekte müssen während der Risikoeinschätzung berücksichtigt werden (27):

- (a) Exponierte Personengruppe (Die Risikoeinschätzung muss alle Personen (Bedienpersonen und weitere Personen) berücksichtigen.);
- (b) Art, Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition;
- (c) Zusammenhang zwischen Gefährdungsexposition und Auswirkungen;
- (d) Menschliche Faktoren:
 - i. Wechselwirkungen zwischen Personen und Maschine, einschließlich Korrekturen von Fehlfunktionen;
 - ii. Wechselwirkungen von Personen;
 - iii. stressbezogene Aspekte;
 - iv. ergonomische Aspekte;
 - v. Fähigkeiten von Personen, in Abhängigkeit von Ausbildung, Erfahrung und Können einer bestimmten Situation ein Risikobewusstsein entwickeln zu können;
 - vi. ermüdungsbezogene Aspekte.
- (e) Tauglichkeit von Schutzmaßnahmen:
 - i. Umstände identifizieren, die einen Schaden zur Folge haben können;
 - ii. gegebenenfalls quantitative Verfahren zum Vergleich alternativer Schutzmaßnahmen anwenden;
 - iii. Informationen liefern, die eine Auswahl geeigneter Schutzmaßnahmen gestattet.
- (f) Möglichkeiten zur Ausschaltung oder Umgehung von Schutzmaßnahmen;

(g) Fähigkeit zur Aufrechterhaltung von Schutzmaßnahmen;

(h) Benutzerinformationen.

10.6.4 Risikobewertung

Nach der Risikoeinschätzung muss eine Risikobewertung durchgeführt werden, um zu entscheiden, ob eine Risikominderung notwendig ist. Ist eine Risikominderung erforderlich, dann sind geeignete Schutzmaßnahmen auszuwählen und anzuwenden, und die Risikobewertung muss wiederholt werden. Dieser iterative Prozess muss solange durchgeführt werden, bis eine hinreichende Risikominderung erreicht wurde.

Erreichen einer hinreichenden Risikominderung

„Es wird davon ausgegangen, dass eine an einer Maschine vorhandene Gefährdung früher oder später zu einem Schaden führt, falls keine Schutzmaßnahme(n) durchgeführt wird (werden)“ (28). Konstruktiven Maßnahmen zur Risikominderung sind den vom Benutzer durchgeführten Maßnahmen vorzuziehen.

3-Schritt-Verfahren

Die Erfüllung der nachfolgenden nach ihrer Priorität aufgeführten Bedingungen zeigt an, dass das Verfahren nach ISO 12000-1:2003 angewendet wurde (28):

- (a.)Die Gefährdung wurde beseitigt oder das Risiko wurde durch konstruktive Maßnahmen vermindert.
- (b.)Das Risiko unter Berücksichtigung der bestimmungsgemäßen Verwendung und der vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendungen wurde durch die Anwendung technischer und ergänzender Schutzmaßnahmen vermindert.
- (c.)Falls die Anwendung technischer und ergänzender Schutzmaßnahmen nicht durchführbar ist oder das Risiko nicht hinreichend vermindert wird, muss die Benutzerinformation einen Hinweis auf jegliches Restrisiko enthalten.

In den Informationen muss beinhaltet sein (28):

- (a) Arbeitsverfahren, die beim Einsatz der Maschine anzuwenden sind;
- (b) die empfohlenen Verfahren für ein sicheres Arbeiten mit der Maschine und die entsprechende Ausbildungsanforderungen;
- (c) ausreichend Angaben, einschließlich Warnhinweis, über Restrisiken in den verschiedenen Lebensphasen der Maschine; und
- (d) die Beschreibung jeder empfohlenen persönlichen Schutzausrüstung, einschließlich Einzelheiten zu deren Benutzung sowie der dafür erforderlichen Ausbildung.

Annahme einer hinreichenden Risikominderung

Eine hinreichende Risikominderung ist erreicht, wenn (28):

- (a) alle Betriebsbedienungen und alle Eingriffsmöglichkeiten berücksichtigt wurden;
- (b) die Gefährdung beseitigt oder die Risiken vermindert wurden, soweit es praktisch umsetzbar ist;
- (c) sämtliche neuen Gefährdungen, die aus ergriffenen Schutzmaßnahmen resultieren, in angemessener Weise berücksichtigt wurden;
- (d) Benutzer über Restrisiken ausreichend informiert und gewarnt wurden;
- (e) die durchgeführten Schutzmaßnahmen miteinander vereinbar sind;
- (f) die Folgen ausreichend berücksichtigt wurden, die sich durch den Gebrauch einer für den gewerblichen / industriellen Einsatz konstruierten Maschine im nicht gewerblichen / nicht industriellen Bereich ergeben können;
- (g) die durchgeführten Schutzmaßnahmen die Arbeitsbedingungen der Bedienpersonen oder die Benutzerfreundlichkeiten der Maschine nicht negativ beeinflussen.

10.6.5 Risikovergleich

Maschinen oder Teile dürfen mit ähnlichen Maschinen oder Teilen verglichen werden, falls folgende Kriterien erfüllt werden (28):

- (a) die vergleichbaren Maschinen entsprechen relevanten Normen;
- (b) die bestimmungsgemäße Verwendung, die vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung und die Art der Konstruktion und Herstellung beider Maschinen sind vergleichbar;
- (c) die technischen Spezifikationen sind vergleichbar;
- (d) die Einsatzbedingungen sind vergleichbar.

10.7 Dokumentation

Die Dokumentation zur Risikobeurteilung muss das angewendete Verfahren und die erzielten Ergebnisse darlegen. Diese Dokumentation umfasst, sofern relevant (26):

- (a) die Maschine, für die die Beurteilung durchgeführt wurde (z.B. Spezifikationen, Grenzen, bestimmungsgemäße Verwendung);
- (b) alle relevanten Annahmen, die getroffen wurden (z.B. Lasten, Festigkeiten, etc.);
- (c) die identifizierten Gefährdungen und Gefährdungssituationen und die bei der Beurteilung in Betracht gezogenen Gefährdungsereignisse;
- (d) die Angaben, auf denen die Risikobeurteilung beruhte;
- (e) die verwendeten Daten und deren Quelle
- (f) die mit den Daten verbundene Unsicherheit und deren Einfluss auf die Risikobeurteilung;
- (g) die zur Beseitigung identifizierter Gefährdung oder zur Risikominderung angewendeten Schutzmaßnahmen, wobei auf die zu deren Auswahl verwendeten Normen oder anderen Spezifikationen verwiesen werden sollte;

-
- (h) die durch Schutzmaßnahmen zu erreichenden Risikominderungsziele;
 - (i) die mit der Maschine verbundenen Restrisiken;
 - (j) das Ergebnis der Risikobeurteilung;
 - (k) alle während der Risikobeurteilung ausgefüllten Formulare.

10.8 Steuerungen

„Fehler in der Steuerung dürfen keine Gefahr bringenden Bewegungen des Arbeitsmittels oder von Werkstück oder Werkzeugen auslösen“ (31). Teile von Maschinensteuerungen werden häufig Sicherheitsaufgaben übertragen. Diese Teile werden sicherheitsbezogene Teile einer Software genannt (31). Sicherheitsbezogene Teile bestehen aus Hardware und Software. Bis zum Jahresende 2011 ist die EN 954-1:1996 für die Sicherheitsbezogene Teile gültig. Die EN 954-1:1996 wird durch die EN 13849-1 ersetzt. EN ISO 13849 und IEC/EN 62061 bilden die Grundlage für die Gestaltung und Realisierung von elektrischen Steuerungen. IEC/EN 62061 legt im Gegensatz zur EN ISO 13849-1 keine Anforderungen für die Leistungsfähigkeit von nicht-elektrischen (z.B.: hydraulische, pneumatischen, elektromechanischen) sicherheitsbezogenen Steuerungselementen für Maschinen fest (32).

10.8.1 Vorgehensweisen bei EN 954-1: 1996

„Ausgehend von der Risikobeurteilung an der Maschine muss der Konstrukteur über den Beitrag zur Risikominderung entscheiden, den jedes Teil der sicherheitsbezogenen Teile der Steuerung zu leisten hat. Je mehr Risikoverringerung von den sicherheitsbezogenen Teilen von Steuerungen abhängig ist, desto höher muss die erforderliche Widerstandsfähigkeit dieser Teile gegen Fehler sein“ (31).

Fünf Kategorien (B, 1, 2, 3, 4) unterteilen die Leistungsfähigkeit eines sicherheitsbezogenen Teiles einer Steuerung beim Auftreten von Fehlern, die als Bezugspunkte angewendet werden soll (31).

Im ersten Schritt zur Gestaltung von sicherheitsbezogenen Teilen von Bauteilen nach EN 954-1:1996 wird eine Gefährdungsanalyse mit anschließender Risikobeurteilung durchgeführt. Anschließend werden die Maßnahmen zur Risikominderung festgelegt.

Die Risikominderung kann durch Gestalten und durch Schutzeinrichtungen erfolgen. Nach der Festlegung der Maßnahmen zur Risikominderung werden die sicherheitstechnischen Anforderungen für die sicherheitsbezogenen Teile der Steuerungen fixiert. In diesem Schritt werden die Sicherheitsfunktionen, z.B.: NOT-AUS, STOP-Funktion, und ihre Eigenschaften definiert. Folgend wird die Steuerung gestaltet. Der Abschluss des iterativen Prozesses bildet das Validieren der erreichten Funktionen und Kategorien.

10.8.2 Unterschied EN 954-1 zu EN 13849-1

Die grundsätzliche Vorgehensweise zur Gestaltung von sicherheitsbezogenen Teilen bleibt in der neuen Norm gleich. Auch die Risikoparameter bleiben nahezu erhalten und es wird weiterhin fünf Kategorien geben (30). Den Kategorien werden sogenannten „Performance Levels (PL)“ zugeordnet. „Bei der Ermittlung dieser Performance Levels werden unter anderem Faktoren „Mean Time to Dangerous Failure“ (Zuverlässigkeit; durchschnittliche Zeit zwischen sicherheitsrelevanten Fehlern und Ausfällen; MTTFd), Fehlerrückmeldung (DC; Diagnostic Coverage) und Maßnahmen gegen Ausfälle gemeinsamer Ursache (CCF; Common Cause Failure) herangezogen“ (30).

10.9 Sicherheitstechnische Festlegungen für Werkstoffprüfmaschinen

DIN 51233:2007 enthält sicherheitstechnische Festlegungen für Werkstoffprüfmaschinen.

10.9.1 Gefahren

Die Norm kennt folgende Gefahren hinsichtlich der Handhabung von Werkstoffprüfmaschinen:

- (a) Probenbedingte Gefahr: Bei der Auswahl der sicherheitstechnischen Schutzmittel muss das Verhalten der Probe während des Versuches berücksichtigt werden. Unterschiedliche Formen, Größen und Werkstoffe verhalten sich unterschiedlich bei der Prüfung. *„Dieses kann zwischen*

allmählicher plastischer Verformung und gefährlicher explosionsartiger Zerstörung der Probe liegen“ (33).

(b) Gestaltungsbedingte Gefahr: Die Art der Konstruktion der Prüfmaschine kann gestaltungsbedingte Gefahren mit sich bringen (33).

(c) Funktionsbedingte Gefahr: *„Bei der Benutzung der von Werkstoffprüfsystemen entstehen funktionsbedingte Gefahren durch das Aufbringen hoher Kräfte und die damit verbundene Energiespeicherung in Probe und Prüfsystem, durch die Art der Krafteinleitung in die Probe, durch das Auftreten schneller Bewegungen von Maschinenteilen sowie durch schnelle Energieänderungen“ (33).*

(d) Handhabungsbedingte Gefahr: Beim Einrichten des Werkstoffprüfsystems, beim Einbau der Probe in die Maschine und bei der Bedienung der Maschine während des Versuches können handhabungsbedingte Gefahren auftreten (33).

10.9.2 Allgemeine sicherheitstechnische Festlegungen

(a) Schutz gegen bewegte Teile:

- i. Unbeabsichtigtes Berühren;
- ii. Quetschen;
- iii. Einklemmen;
- iv. Unbeabsichtigtes In-Betrieb-Setzen der Prüfmaschine.

(b) Abschaltvorrichtungen des Werkstoffprüfsystems:

- i. Im Einrichtbetrieb: Not-Aus in unmittelbarem Zugriffsbereich;
- ii. Im Prüfbetrieb: Alle elektrischen und hydraulischen Anlagenteile müssen mit einer Not-Aus Einrichtung versehen werden. Die Energie zum Antrieb muss sofort bei der Betätigung der NOT-Aus Einrichtung unterbrochen werden.

(c) Hydraulische Ausrüstung.

Der „eingesperrte“ Druck in den Hydraulikleitungen bzw. –schläuchen kann zu ungewollten, gefahrbringenden Gefährdungen führen. An der Prüfmaschine müssen Einrichtungen, die den vorhandenen Druck anzeigen, sowie Einrichtungen die das System druckfrei machen, vorgesehen werden (33). *„Rohrleitungen und Hydraulikschläuche müssen hinsichtlich ihrer Eignung und Bemessung so ausgewählt werden und so angeordnet sein, dass Beschädigungen, die gefahrbringende Bewegung zur Folge haben können, verhindert werden“* (33)

Sicherheitstechnische Festlegungen für Zugprüfmaschinen

DIN 51233:2007 führt folgende Schutzeinrichtungen für horizontal Prüfmaschinen an:

- (a) Sicherung durch Schutzwand;
- (b) Aufstellung der Prüfmaschine in einer Grube;
- (c) Klappbare Schutzhaube;
- (d) Fahrbare Schutzhaube.

11. Datenmanagement

Die folgenden Kapitel stellen eine Zusammenfassung der ÖNORM EN ISO 6892-1 dar.

11.1 Dokumentation der gewählten Prüfbedingungen

Zur Dokumentation der Art der Prüfgeschwindigkeitsregelung und der Prüfgeschwindigkeit kann folgendes System von Abkürzungen verwendet werden (15):

ISO 6892 Ann oder ISO 6892 Bn

wobei "A" das verwendete Verfahren A (Dehngeschwindigkeitsregelung) und "B" das verwendete Verfahren B (Spannungsgeschwindigkeit) symbolisiert. Die Symbole "nnn" stellen eine Serie von bis zu drei Zeichen dar, die sich auf die Geschwindigkeiten während jeder Phase des Versuchs (bis zur oberen Streckgrenze, zwischen oberer Streck- und unterer Streckgrenze, und nach der unteren Streckgrenze) beziehen (15).

"n" kann zur Dokumentation der Spannungsgeschwindigkeit (in [MPa/s]) im elastischen Bereich angehängt werden (15).

11.2 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss, wenn zwischen den beteiligten Partnern nicht anders vereinbart, mindestens die folgenden Angaben enthalten (15):

- (a.) Hinweis auf diesen Teil von ISO 6892, erweitert mit den festgelegten Prüfbedingungen;
- (b.) Kennzeichnung der Probe;
- (c.) Werkstoff, falls bekannt;
- (d.) Art der Probe;
- (e.) Probenlage und -richtung, wenn bekannt;

(f.) Regelungsarten des Versuchs und Prüfgeschwindigkeit(en) oder Prüfgeschwindigkeitsbereiche;

(g.) Prüfergebnisse.

Falls in Produktnormen nicht anders spezifiziert, sollten die Prüfergebnisse zur Angabe mit mindestens der folgenden Genauigkeit gerundet werden (15):

(a.) Festigkeitswerte in [MPa]: auf die nächste ganze Zahl;

(b.) Werte für die Streckgrenze-Extensometer-Dehnung A_e : auf 0,1 [%];

(c.) alle anderen Dehnungs- und Extensometer-Dehnungswerte: auf 0,5 [%];

(d.) Brucheinschnürung Z: auf 1 [%].

11.3 Messwerterfassungsfrequenz

Die Frequenz-Bandweite jedes Messkanals sowie die Messwerterfassungsfrequenz sollten ausreichend hoch sein, damit die zu bestimmenden Werkstoffkenngrößen der in eins durch Sekunde angegebenen Mindestmesswerterfassungsgrenze f_{\min} verwendet werden, wobei e die Dehnungsgeschwindigkeit in [1/s], E der E-Modul in [N/mm²], R_{eH} die Obere Streckgrenze in [N/mm²] und q die relative Anzeigeabweichung der Kraftmessdose in [%] sind (15):

$$f_{\min} = \frac{e \cdot E}{R_{eH} \cdot q} \quad (11.4) \quad (15)$$

12. Lastenheft

12.1.1 Probenanzahl und Prüfkräfte

Die folgenden Verteilungen wurden auf Grundlage des Produktionsschemas der DYWI® Drill Reihe der Firma DYWIDAG-Systems International GmbH sowie sonstiger Prüfaufträge im Rahmen der Forschung und Entwicklung von Stützmitteln für den Untertagebau erstellt. Die Verteilungen wurden dazu verwendet, um die erforderliche Prüfkraft und das Belastungsschema pro Jahr für die Prüfmaschine zu ermitteln.

Abbildung 30 zeigt die wahrscheinliche Anzahl an Werkstoffprüfungen im Jahr.

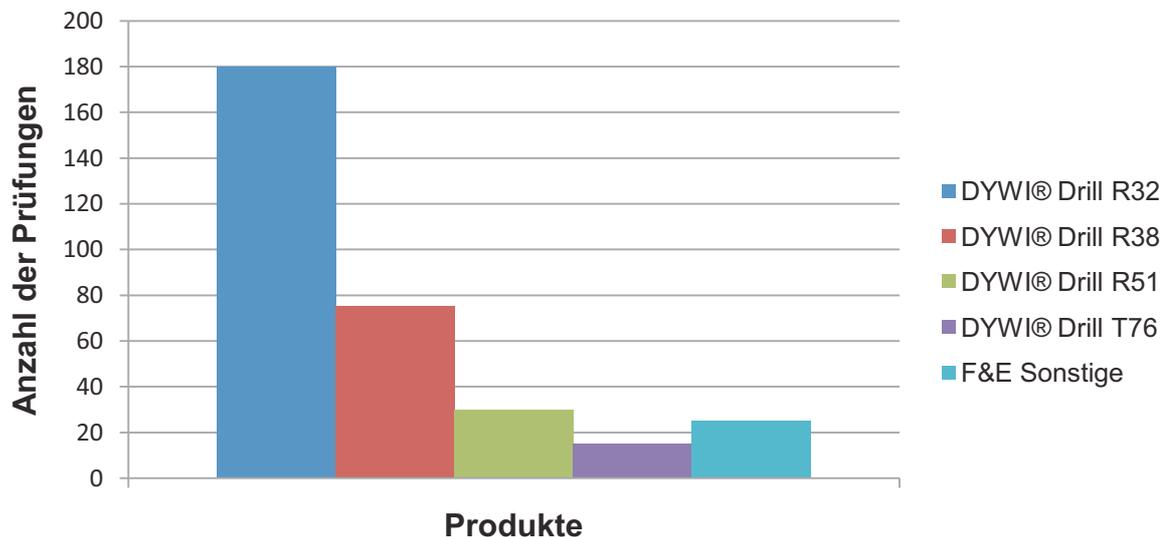


Abbildung 30: ermittelte Anzahl der jährlichen Werkstoffprüfungen.

Abbildung 31 zeigt die voraussichtliche Anzahl an jährlichen Systemprüfungen von Kupplungen.

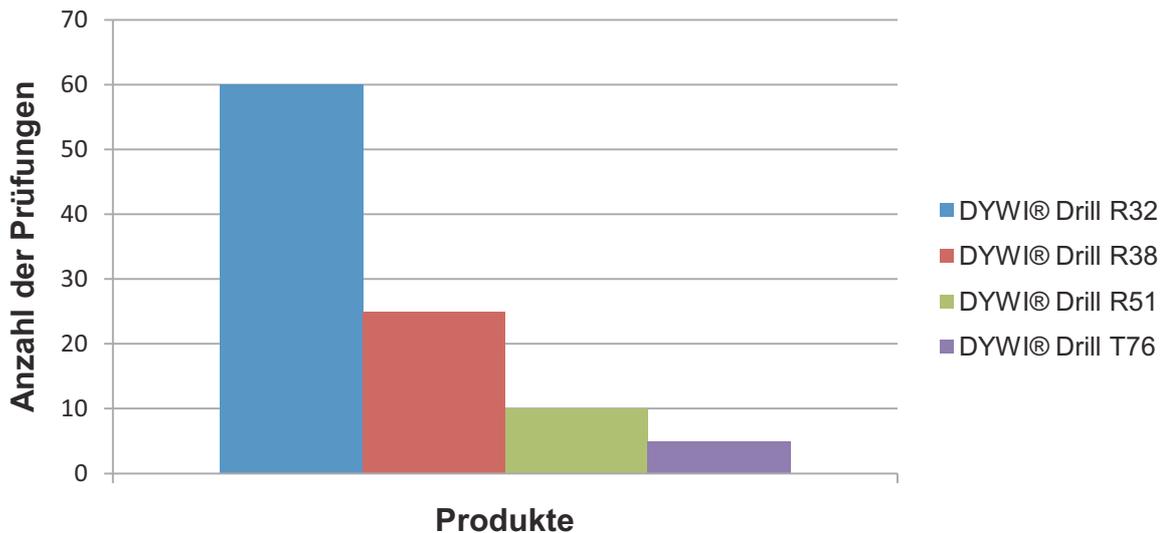


Abbildung 31: ermittelte Anzahl der jährlichen Funktionsprüfungen – Kupplung.

Abbildung 32 stellt die voraussichtliche Anzahl der jährlichen Systemprüfungen von Verankerungen dar.

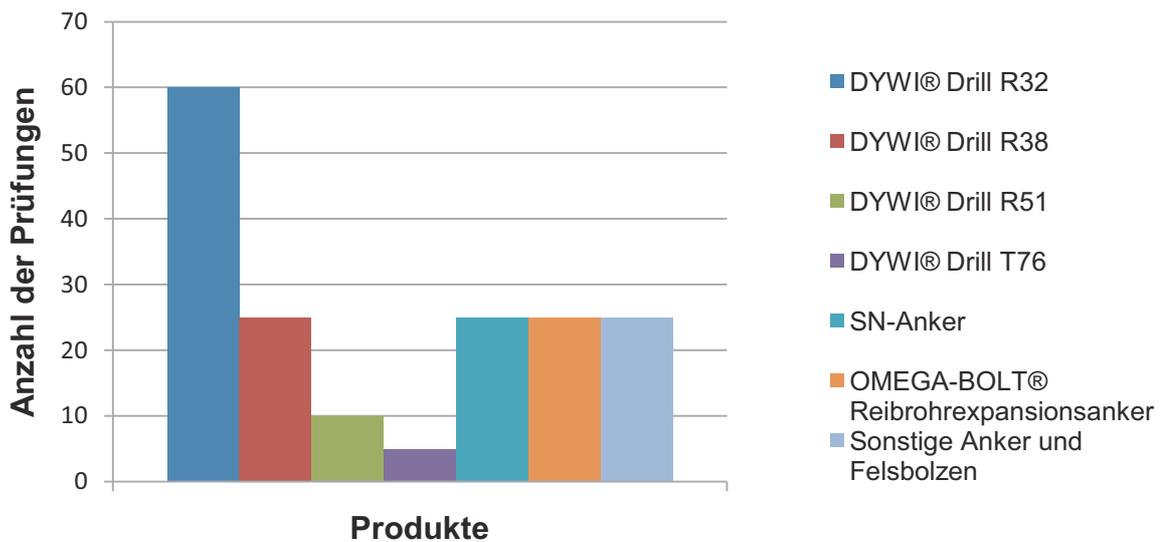


Abbildung 32: Anzahl der jährlichen Funktionsprüfungen – Verankerungen.

Die Gesamtanzahl von Werkstoffprüfungen bzw. Funktionsprüfungen ist in Abbildung 33 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Werkstoffprüfungen den Hauptteil des Prüfumfanges ausmachen.

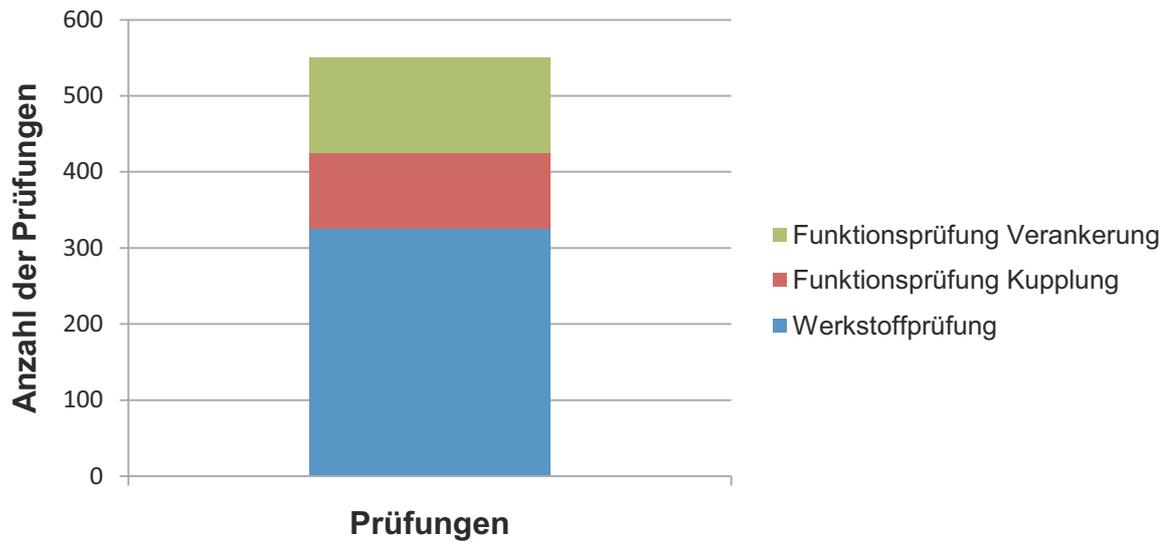


Abbildung 33: Geplante Prüfungen im Jahr.

Für die vorher dargestellten Verteilungen wurden die erforderlichen Prüfkraften ermittelt und in Abbildung 34 zusammengefasst. Daraus ist ersichtlich, dass die meisten Prüfungen im Prüfkraftbereich kleiner 1.000 [kN] durchgeführt werden. In naher Zukunft sollen Prüfungen bis zu 5.000 [kN] durchgeführt werden.

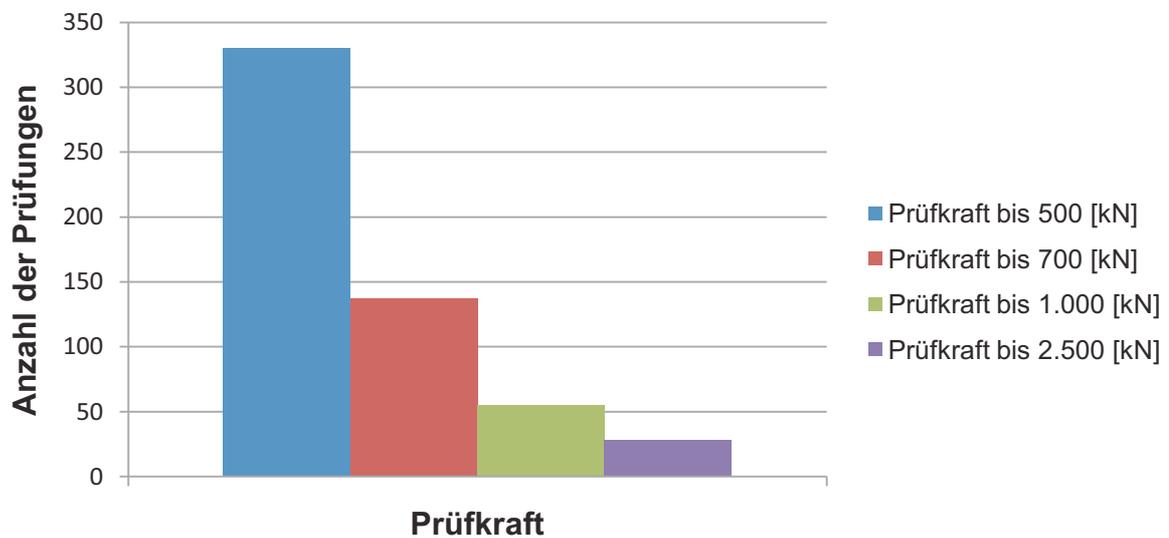


Abbildung 34: Geplante Prüfungen im Jahr nach Prüfkraften.

12.1.2 Prüfanordnungen und Prüfparameter

Abbildung 35 bis Abbildung 37 zeigen mögliche Versuchsanordnungen der 5 [MN] – Zugprüfmaschine:

(a) Prüfung DYWI® Drill Stäbe:

- iii. Werkstoffprüfung;
- iv. Optional: Dauerschwingversuche.

(b) Prüfung DYWI® Drill System – Verankerung:

- v. Funktionsprüfungen;
- vi. Optional: Dauerschwingversuche.

(c) Prüfung DYWI® Drill System – Kupplung:

- vii. Funktionsprüfungen;
- viii. Optional: Dauerschwingversuche.

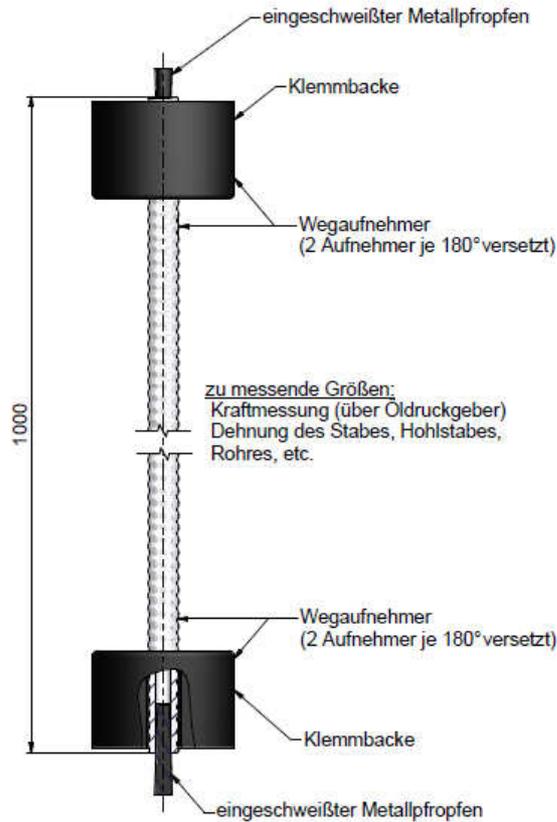


Abbildung 35: Mögliche Anordnung der Werkstoffprüfung.

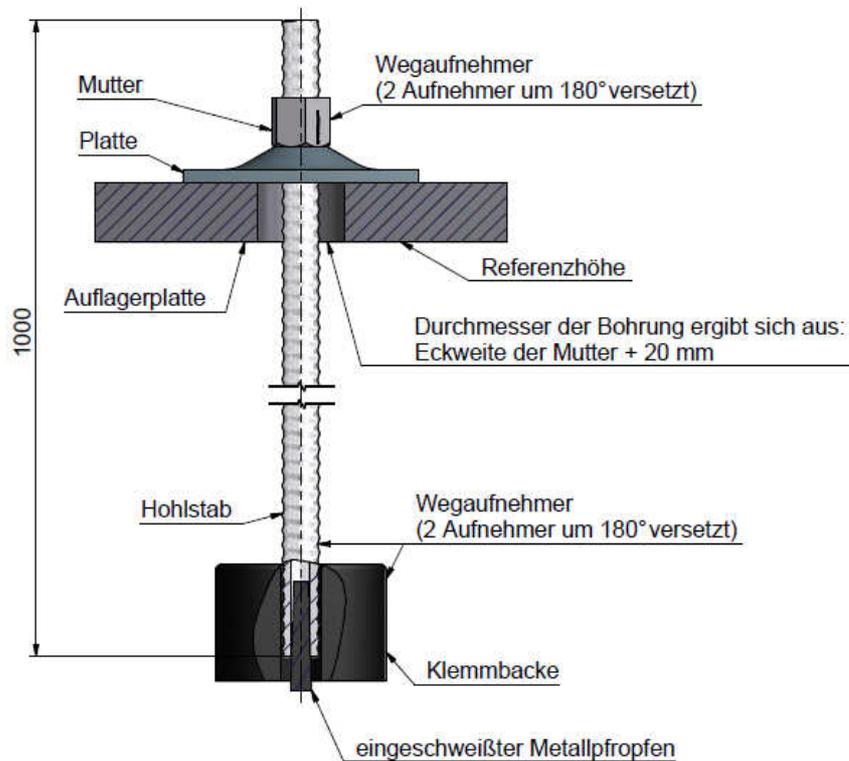


Abbildung 36: Mögliche Anordnung der Verankerungsprüfung.

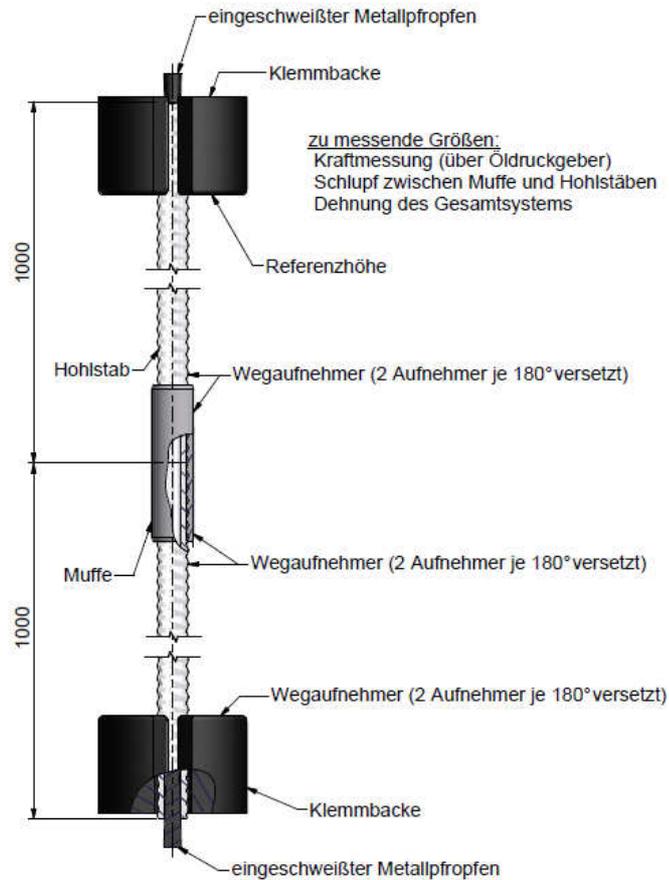


Abbildung 37: Mögliche Anordnung der Kupplungsprüfung.

Zugversuch

Abbildung 38 zeigt einen schematischen Verlauf der Kolbengeschwindigkeit bzw. des Hubs bei einer Werkstoffprüfung eines DYWI® Drill T76-1900 mit einer Versuchslänge von 2.500 [mm].

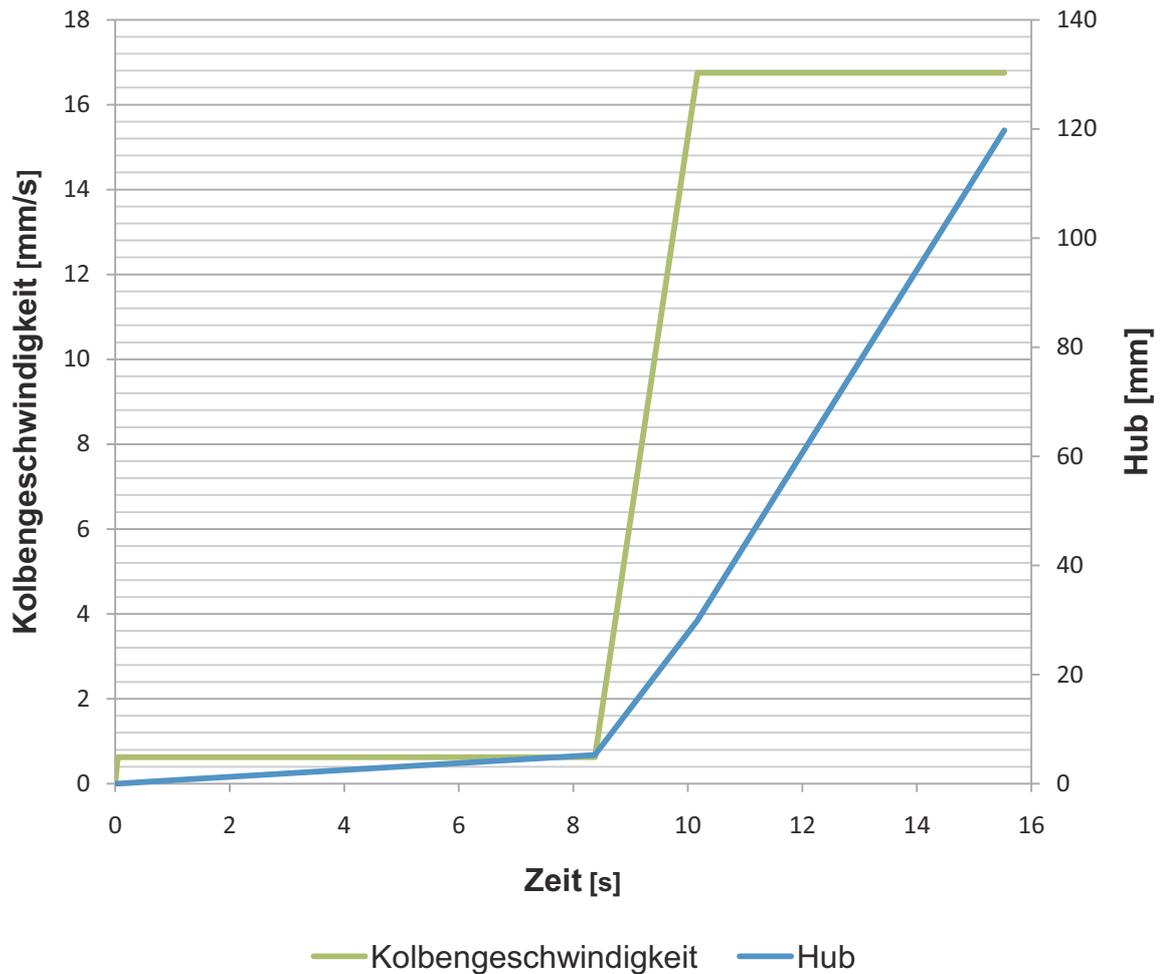


Abbildung 38: Kolbengeschwindigkeits- bzw. Hubverlauf bei einer Werkstoffprüfung eines DYWI® Drill Hohlstab T76-1900 mit einer Probenlänge von 2.500 [mm]

Dauerschwingversuch

Dauerschwingversuche an DYWI® Drill Stäben

Tabelle 8 zeigt die Versuchsparameter bei Dauerschwingversuchen an verschiedenen DYWI® Drill Hohlstäben mit einer Frequenz von $f = 10$ [Hz] (Probenlänge = 3.000 [mm]).

Tabelle 8: Versuchsparameter von Dauerschwingversuchen an DYWI® Drill Stäben

| DYWI® Drill Typ | F_p [kN] | F_t [kN] (0,7* F_p) | A [mm ²] | F_a [kN] | h_{mittel} [mm] | h_a [mm] |
|-----------------|------------|--------------------------|----------------------|------------|--------------------------|------------|
| R32-210 | 170 | 119 | 340 | 85 | 5,00 | 3,57 |
| R51-550 | 530 | 371 | 975 | 244 | 5,44 | 3,57 |
| T76-1900 | 1500 | 1050 | 3200 | 800 | 4,69 | 3,57 |

Abbildung 39 zeigt schematisch den Verlauf des Hubs bzw. der Kraft bei einem Dauerschwingversuch an einem DYWI® Drill Hohlstab R32-210 mit einer Probenlänge von 3.000 [mm].

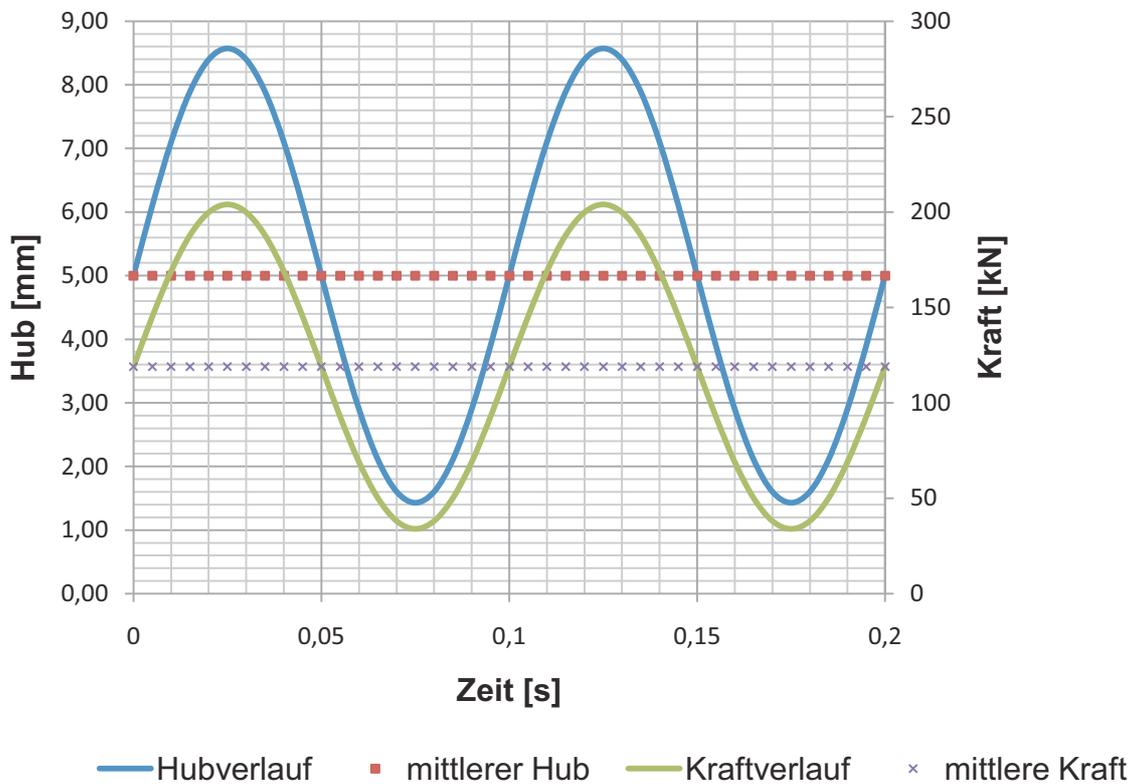


Abbildung 39: Dauerschwingversuch ($f = 10$ [Hz]) am DYWI® Drill Hohlstab R32-210 mit einer Probenlänge von 3.000 [mm]

Abbildung 40 zeigt schematisch den Verlauf des Hubs bzw. der Kraft bei einem Dauerschwingversuch an einem DYWI® Drill Hohlstab T76-1900 mit einer Versuchslänge von 3.000 [mm].

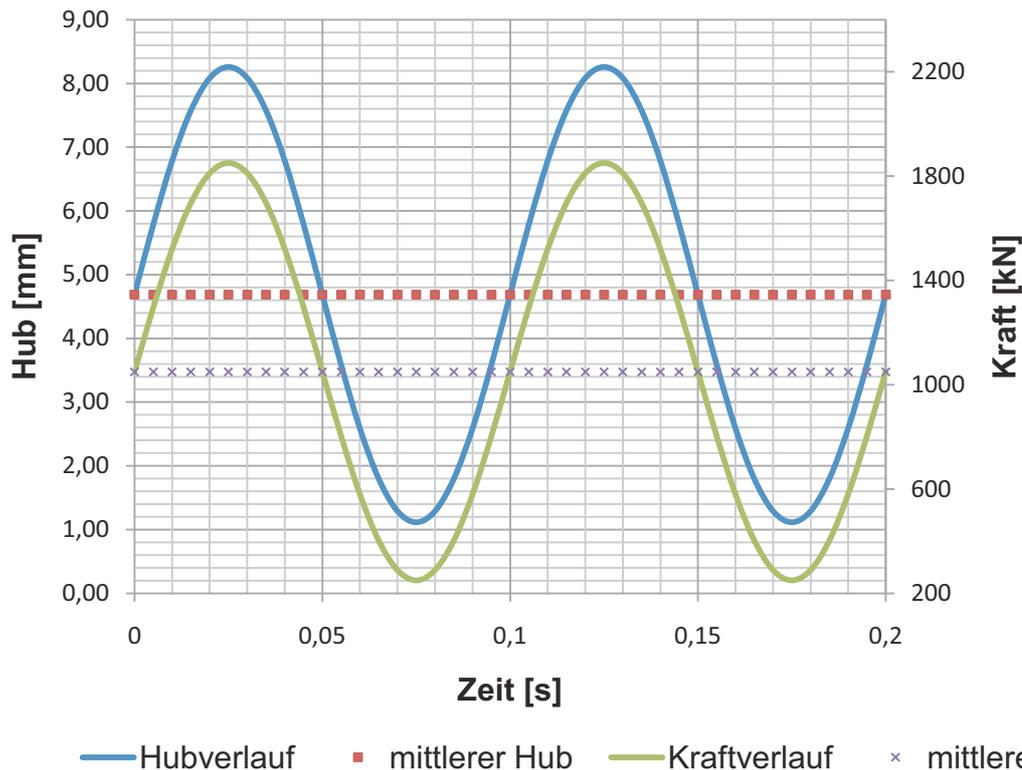


Abbildung 40: Dauerschwingversuch ($f = 10$ [Hz]) am DYWI® Drill Hohlstab T76-1900 mit einer Probenlänge von 3.000 [mm].

Dauerschwingversuche an DYWI® Drill System - Kupplung

Das DYWI® Drill System besteht aus zwei Stäben und einer Muffe, die Einspannung erfolgt über zwei gekonterte Muttern.

Tabelle 9 zeigt die Versuchsparameter bei Dauerschwingversuchen an verschiedenen DYWI® Drill Systemen mit einer Frequenz von $f = 10$ [Hz] (Probenlänge = 3.000 [mm]).

Tabelle 9: Versuchsparameter von Dauerschwingversuchen an DYWI® Drill Systemen

| DYWI® Drill System ($f = 10$ [Hz]) | | | | | | |
|-------------------------------------|------------|------------------------------------|-------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| DYWI® Drill Typ | F_m [kN] | F_t [kN] ($0,65 \cdot F_m$) | A [mm ²] | F_a [kN] | h_{mittel} [mm] | h_a [mm] |
| R32-210 | 210 | 136,5 | 340 | 27,2 | 5,74 | 0,95 |
| R51-550 | 550 | 357,5 | 975 | 78 | 5,24 | 0,95 |
| T76-1900 | 1900 | 1235 | 3200 | 256 | 5,51 | 0,95 |

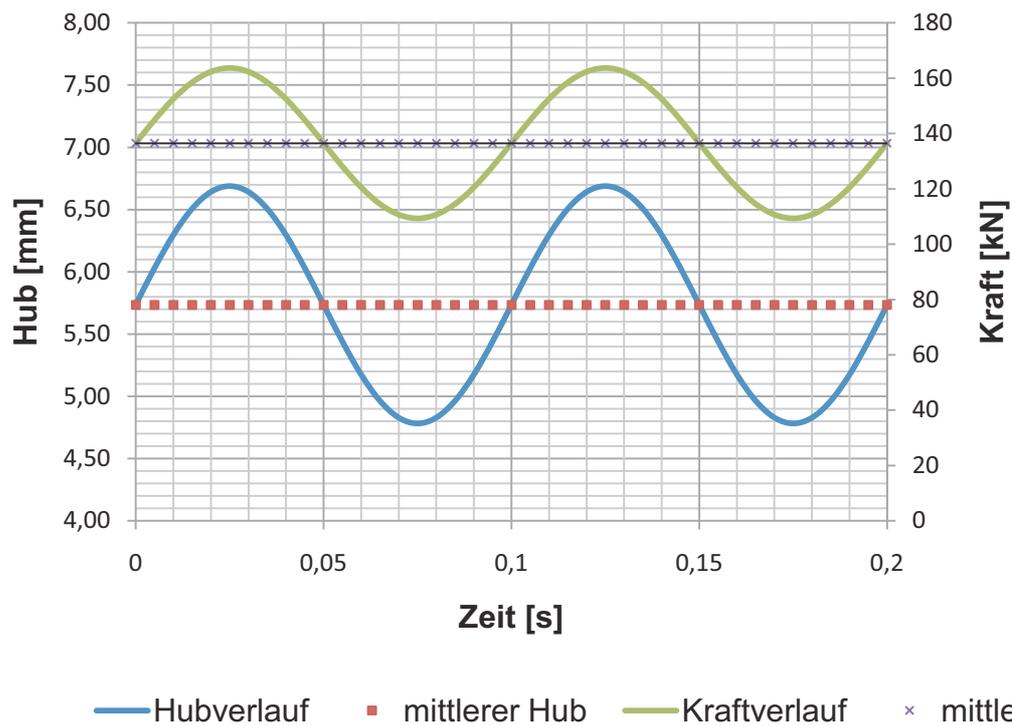


Abbildung 41: Dauerschwingversuch ($f = 10$ [Hz]) am DYWI® Drill System R32-210 mit einer Probenlänge von 3.000 [mm]

Abbildung 42 zeigt schematisch den Verlauf des Hubs bzw. der Kraft bei einem Dauerschwingversuch an einem DYWI® Drill System T76-1900 mit einer Versuchslänge von 3.000 [mm].

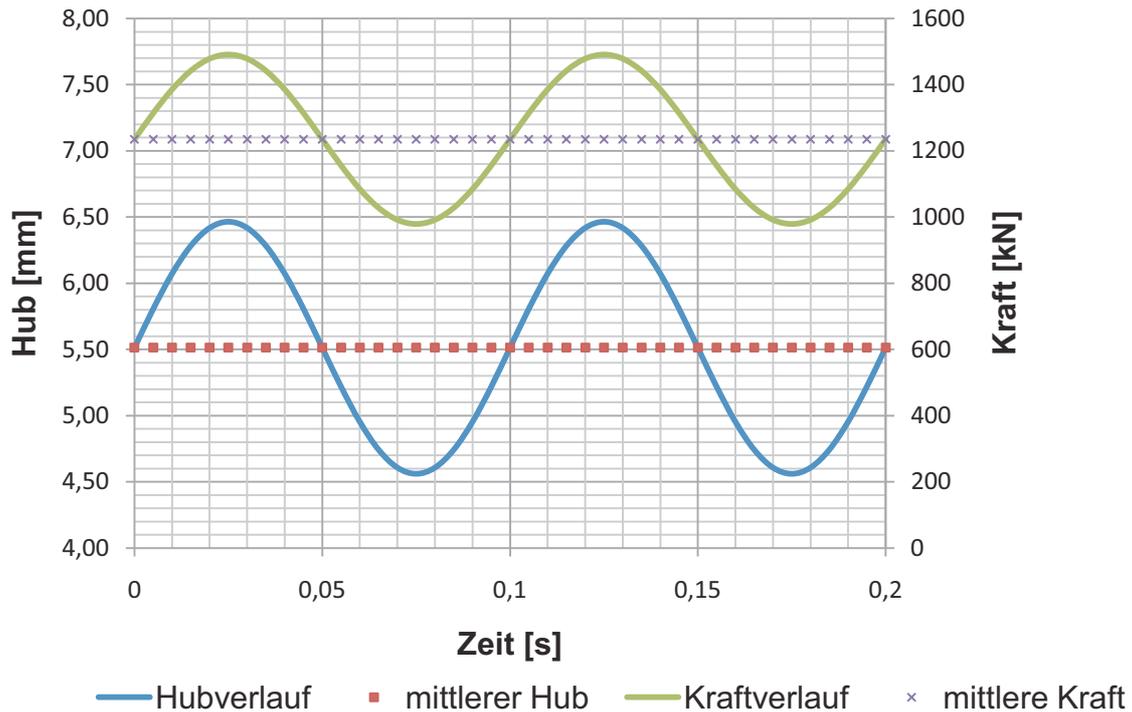


Abbildung 42: Dauerschwingversuch ($f = 10$ [Hz]) am DYWI® Drill System T76-1900 mit einer Probenlänge von 3.000 [mm].

12.1.3 Anforderungen an die Messsysteme

Die Messgeräte für Zugprüfmaschinen müssen, wie in ISO 7500-1 beschrieben, regelmäßig überprüft werden und kalibriert werden (18). Sie müssen mindestens der Genauigkeitsklasse 1 nach ISO 7500-1 entsprechen. Die Messsysteme selbst müssen an die verschiedenen Versuchsdurchführungen angepasst sein.

Die wichtigsten Anforderungen an Sensoren sind (20):

(a.) Statische Übertragungseigenschaften:

- i. Empfindlichkeit;
- ii. Zulässige Fehlergrenzen.

(b.) Dynamische Übertragungseigenschaften;

(c.) Einflusseffekte;

(d.) Umgebungsbedingungen;

(e.) Zuverlässigkeit;

(f.) Wirtschaftlichkeit.

Anhang D zeigt die Abschätzung der benötigten Messfrequenzen für die jeweiligen Messsysteme.

12.1.4 Anforderungen an Steuerung und Regelung der Prüfmaschine

Abbildung 43 stellt einen schematischen Ablauf für die Steuerung der Zugprüfmaschine und die Regelung der Kolbengeschwindigkeit dar. Steuerung und Regelung sollen nach heutigem Stand der Technik ausgeführt werden und allen derzeit gültigen Normen entsprechen. Bei der Regelung der ZPM ist zu beachten, dass die geforderten Genauigkeiten der unterschiedlichen Versuchsdurchführungen eingehalten werden. Die Steuerung der Maschine soll einer Risikoanalyse unterzogen werden und wird von einer Drittfirma realisiert.

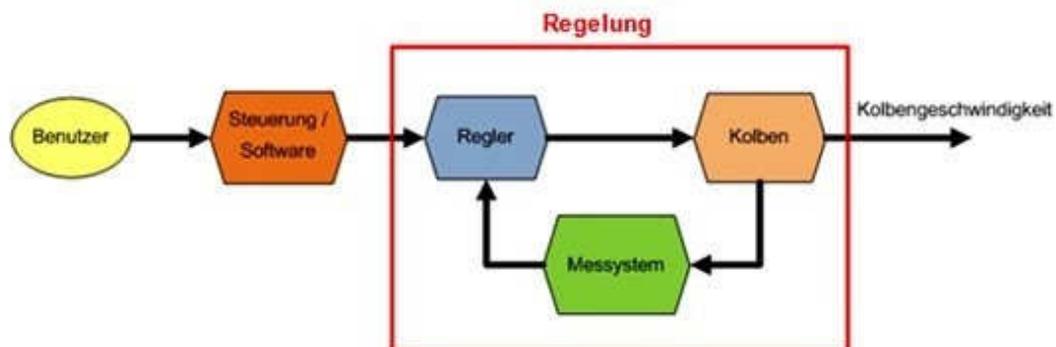


Abbildung 43: Schematische Darstellung der Steuerung und Regelung der ZPM.

Zur einfacheren Darstellung der Steuerungs- und Regelungsproblemstellung wurden folgende Konzepte erstellt.

(g.) Schematischer Aufbau der Steuerung der Zugprüfmaschine und des Regelkreises (siehe Kapitel 7.4);

(h.) Steuerungskonzept für die Zugprüfmaschine (siehe Kapitel 7.4);

(i.) „Steady-State-Diagramm“ für die Zugprüfmaschine (siehe Kapitel 7.4).

Anforderungen an die Maschinensicherheit

Die Zugprüfmaschine unterliegt der Maschinensicherheitsverordnung [MSV 2010](34) und soll daher dieser entsprechen. Beim Bruch einer Probe (hohe, impulsartig frei werdende Kräfte) dürfen an Personen, an anliegenden Gebäuden oder an der Maschine selbst keine Schäden auftreten. Laut Maschinensicherheitsverordnung ist eine Maschine so auszulegen, dass ein Risikominimum an Gefährdungen für Personen auftritt. Für die Zugprüfmaschine ist ein Sicherheitskonzept zu erstellen. Aus einer Risikobeurteilung soll bestimmt werden, ob noch weitere Sicherheitssysteme nötig sind, um eine ausreichende Risikominimierung sicher zu stellen.

Anforderungen - Software

Die Software soll als Kommunikationsmittel zwischen Zugprüfmaschine und Benutzer dienen. Eine wichtige Grundvoraussetzung ist hierbei, dass die Software modulartig aufgebaut ist. Die Software soll den notwendigen Sollwert berechnen und dann den Regelkreis vorgeben. Aufgabe der Software ist es auch, die Versuchsdaten aufzuzeichnen und auszuwerten.

Die Programmiersprache ist frei wählbar. Ein Konzept für den Ablauf der Software ist im Kapitel 7.4 erläutert. Wenn die Software sicherheitsrelevante Funktionen übernimmt, dann muss die Software einer Risikobeurteilung unterzogen werden. Die Software soll nach heutigem Stand der Technik ausgeführt werden.

Die Software sollte folgende Qualitätsmerkmale beinhalten:

- (a.)Funktionsstüchtigkeit;
- (b.)Betriebsstüchtigkeit;
- (c.)Benutzerfreundlichkeit; und
- (d.)Pflegetbarkeit.

12.1.5 Hydrauliklastenheft

Der Antrieb der Zugprüfmaschine soll hydraulisch erfolgen. Die hydraulische Auslegung der ZPM soll so gewährleisten, dass bei einem Bruch einer Probe (hohe, impulsartig frei werdende Kräfte) an der Maschine keine Schäden auftreten. Konzepte für die Hydraulikanlage sind in Kapitel 8.5 beschrieben.

Die geforderten Eigenschaften an den Hydraulikzylinder sind:

- (a.)Hohe Formgenauigkeit der Hydraulikkomponenten;
- (b.)Kleine Führungsspiele;
- (c.)Geringe Kippgefahr des Kolbens;
- (d.)Geringe Führungsbelastung;
- (e.)Geringe Reibung im Betrieb;
- (f.) Geringer Verschleiß an Zylinder und Dichtung;
- (g.)Lange Lebensdauer.

Tabelle 10 listet die Anforderungen an den Hydraulikzylinder entsprechend den Vorgaben des Lastenhefts auf.

Tabelle 10: Allgemeine Anforderungen an Hydraulikzylinder

| Bezeichnung | Anforderung |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Maximale Prüfkraft | 5.000 [kN] (2 x 2.500 [kN]) |
| Anzahl der Hydraulikzylinder | 2 [-] |
| Kolbengeschwindigkeit | 0 - 20 [mm/s] |
| Regelung der Anlage | Kolbengeschwindigkeit |
| Dämpfung beim Bruch der Probe | Über die Hydraulikregelung |

Messsysteme am Hydraulikzylinder

- (a.)Wegmesssystem; und
- (b.)Druckaufnehmer.

Ausgangssignale Hydraulikzylinder

- (a.)Signal Motor EIN / AUS;
- (b.)Warnung – Ölstand;
- (c.)Warnung – Öltemperatur;
- (d.)Warnung - geringer Öldruck;
- (e.)Warnung - Maschinenstörung (restliche Fehlerquellen);
- (f.) Signal - Position des Kolbens.

Komponenten

- (a.)zwei Hydraulikzylinder mit geeignetem Messsystem;
- (b.)geeignetes Hydraulikaggregat;
- (c.)Hydraulikregelung.

13. Zusammenfassung

13.1 Entscheidungsbaum

Anhang A stellt die Entscheidungsfindung für die Konzipierung der Prüfmaschine in Form eines Entscheidungsbaumes dar. Aus der Aufgabenstellung der Firma DYWIDAG-Systems International GmbH in Pasching/Linz wurden die Anforderungen für das Lastenheft zusammengestellt. Aus den vorgegebenen Prüfkraften und Probenlängen wurden die Anforderungen für die Hydraulik bestimmt. Durch Kriterien wie Kosten und technische Machbarkeit wurde entschieden, dass eine Vereinfachung des erstellten Lastenheftes nicht notwendig ist.

Auf Basis der Probenlänge wurde der benötigte Platzbedarf für die Prüfmaschine ermittelt. Prüfmaschinen können prinzipiell vertikal oder horizontal ausgeführt werden. Der benötigte Platzbedarf bestimmt unter anderem die Auswahl der Bauweise. Aufgrund der definierten Probenlängen wurde entschieden, dass die Prüfmaschine horizontal ausgeführt wird.

Aus den normativen Sicherheitsanforderungen (26), (33) und einer Risikoanalyse (27), (28) wurden die allgemeinen Anforderungen für die Sicherheitssysteme erstellt. Diese Anforderungen gehen in die Ausführungsform der Prüfmaschine ein. Aus den erstellten Anforderungen wurden zwei Konstruktionsvarianten abgeleitet. Die Konstruktionsvarianten wurden mittels einer Bewertungsmatrix verglichen (Kapitel 0). Kriterien für die Wahl der Konstruktionsvariante waren zum Beispiel die Herstellkosten, die technische Machbarkeit, etc.. Das Ergebnis der Bewertung war nicht zufriedenstellend, daher wurde entschieden dass eine neue Variantenstudie durchgeführt werden muss. Bei dieser neuen Variantenstudie wurden zwei weitere Varianten gefunden, wobei für die als Beste eingestufte Variante drei verschiedene Ausführungen konzipiert wurden.

Alle Varianten sind in der Folge einer neuen Bewertung unterzogen worden. Die Bewertung ergab, dass die Konstruktionsvariante 4c unter den gegebenen Randbedingungen die optimale Ausführung darstellt. Diese Konstruktionsvariante wurde einer nochmaligen Risikobeurteilung unterzogen um eine ausreichende Risikominimierung zu gewährleisten. Da keine konstruktiven Änderungen notwendig waren, wurde im nächsten Schritt die technisch-wirtschaftliche Konstruktion bestimmt.

Parallel zur Ermittlung der optimalen Konstruktionsvarianten wurden aus den Prüfmethode die Anforderungen an die Steuerung beziehungsweise Regelung sowie die Messsysteme ermittelt. Aus den Anforderungen an die Hydraulik wurden geeignete Messsysteme für die Prüfmaschine ausgewählt. Die Auswahl der Messsysteme spielt auch eine Rolle für die Anforderungen an die Steuerung beziehungsweise Regelung. Aus den allgemeinen Anforderungen für die Sicherheitssysteme und Steuerung beziehungsweise Regelung wurden die Anforderungen an die Software ermittelt. Auf dieser Grundlage wurde schließlich das Lastenheft für die Software erstellt.

13.2 Konstruktives Pflichtenheft

Anhand einer Bewertungsmatrix (siehe Kapitel 0) wurde das aus technisch-wirtschaftlicher Sicht ideale Konzept (siehe Abbildung 44) definiert. Aus diesem Konzept wurde die vorliegende Konstruktion der Prüfmaschine entwickelt.

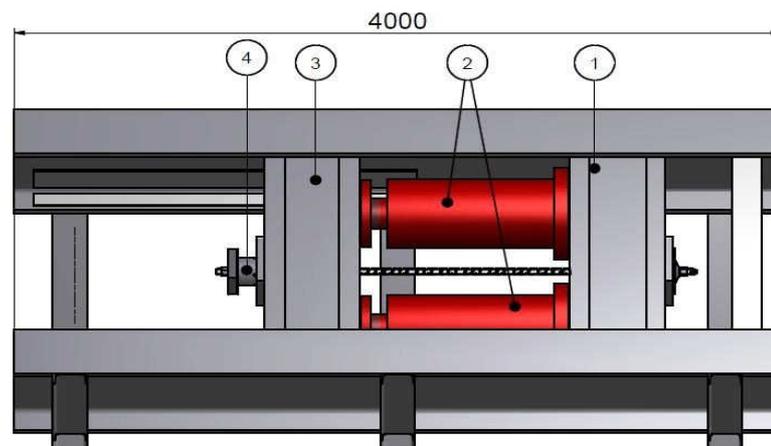


Abbildung 44: schematisches Konzept für die Zugprüfmaschine.

Die Prüfmaschine besitzt zwei Hydraulikzylinder, die zwischen zwei Querträgern montiert sind. Hierbei ist ein Querträger fest, der zweite beweglich ausgeführt. Der bewegliche Querträger wird mittels zweier Gleitlager geführt. Die Rahmenkonstruktion dient einerseits zur Führung des beweglichen Querträgers, andererseits zur Aufnahme des festen Querträgers. Die Probe selbst befindet sich zwischen den zwei symmetrisch angeordneten Hydraulikzylindern. Die Einspannung erfolgt außerhalb der beiden Querträger, wobei die Probe von der Seite durch Öffnungen in beiden Querträgern geführt und mittels geeigneter Verankerungen

verspannt wird. Durch das Ausfahren der Hydraulikzylinder wird eine Zugkraft in die Probe eingeleitet. Die Zugprüfmaschine wurde um 60 [°] geneigt ausgeführt, um die Zugänglichkeit zur Probe zu erleichtern. Die Endversion der Zugprüfmaschine ist in Abbildung 45 und Abbildung 46 nochmals dargestellt.

An den Hydraulikzylindern sind Weg- und Druckaufnehmer vorgesehen. Um die Probenverlängerung messen zu können, ist ein Seilzugaufnehmer, der auf der Rahmenkonstruktion montiert wird, vorgesehen. Über eine Kraftmessdose direkt an der Probe außerhalb des festen Querträgers wird die eingeleitete Zugkraft gemessen.

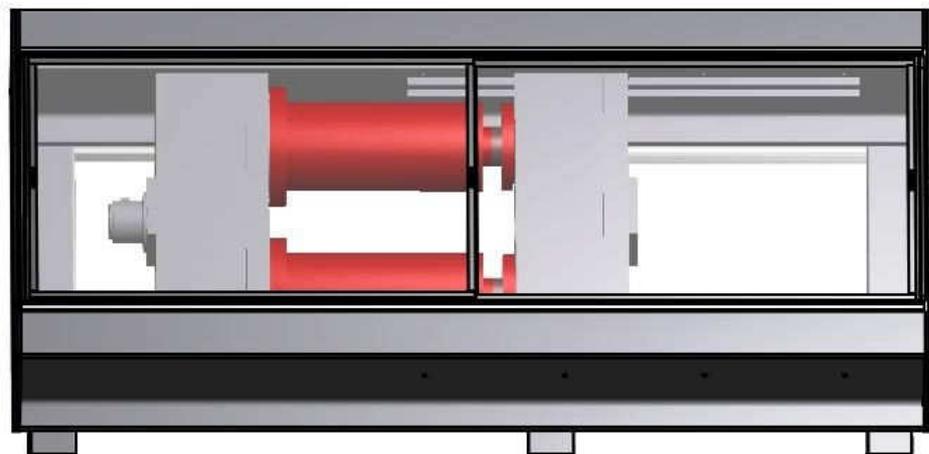


Abbildung 45: Vorderansicht - Endkonzept der Zugprüfmaschine (schematisch).



Abbildung 46: Seitenansicht - Endkonzept der Zugprüfmaschine (schematisch).

Da die Probe von der Seite zugeführt wird, ist seitlich eine Öffnung angedacht, die mittels einer metallischen Schiebetür verschlossen werden kann (siehe Abbildung

46). Die Rahmenkonstruktion wurden seitlich mittels einer verschraubbaren Blechkonstruktion verschlossen, um anwesende Personen von möglicherweise bei Probenbruch weggeschleuderten Bauteilen zu schützen. Die Vorder- und Rückfront der Prüfmaschine sind mit Schiebetüren verschlossen worden. Die Schiebetüren haben die Aufgabe, beteiligte Personen von möglicherweise herumfliegenden Probenteilen zu schützen beziehungsweise den Probenraum bei der Prüfung zu verschließen. Sämtliche Schiebetüren sind elektronisch gesichert. Versuche dürfen nur bei geschlossenen Schiebetüren durchgeführt werden.

In den Gefahrenbereichen der Zugprüfmaschine, die in Abbildung 47 dargestellt sind, sind NOT-AUS-Schalter vorgesehen. Bei Betätigung der NOT-AUS-Schalter muss die Energiezufuhr sofort unterbrochen werden.

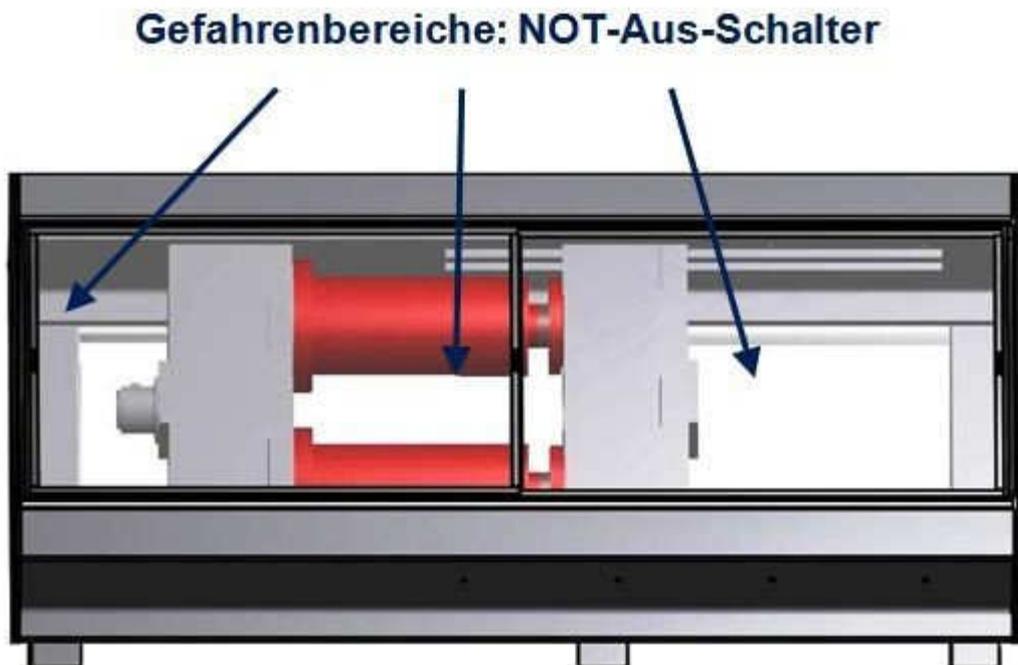


Abbildung 47: Gefahrenbereich der Zugprüfmaschine (schematisch).

13.3 Konformitätsprozess an der Zugprüfmaschine

Zugprüfmaschinen werden nicht im Anhang IV der Maschinensicherheitsverordnung „MSV 2010“ behandelt, daher reicht für die Konformitätsbewertung die Erstellung einer technischen Dokumentation und eine interne Qualitätskontrolle.

13.3.1 Risikobeurteilung

Verwendungsgrenzen, räumliche und zeitliche Grenzen für die hydraulische Zugprüfmaschine sind im Dokument „Risikobeurteilung: Bestimmung der Grenzen der Maschinen“ (Anhang B) festgelegt.

Die Gefährdungen an der Zugprüfmaschine wurden mittels einer Gefahrenanalyse ermittelt. Anschließend wurde das Risiko der einzelnen Gefährdungen eingeschätzt und bewertet. Die Risikoanalyse und Risikobewertung befindet sich in Anhang C.

13.3.2 Sicherheitskonzept

Beim Einbau und Ausbau der Probe ist ein Zugang zum Einspannung erforderlich. Der bewegliche Querträger ist während des Einbaus und Ausbaus der Probe verfahrbar, daher ist ein NOT-AUS-Schalter im Gefahrenbereich erforderlich. Ein Kran sowie ein Rollengang sollen den Ein- und Ausbau der Probe erleichtern. Der Kran soll auch für die Wartung und Instandhaltung der Anlage herangezogen werden.

Beim Bruch der Probe kann es zum unkontrollierten Abbrechen von Probenstücken kommen. Diese herumfliegenden Probenstücke können anwesende Personen verletzen bzw. das Hydrauliksystem der Prüfmaschine beschädigen. Durch Anbringen von metallischen Abdeckungen (Blechkonstruktion) sollen beteiligte Personen und das Hydrauliksystem von herumfliegenden Probenteilen (bei Bruch der Probe) geschützt werden.

Während der Prüfung darf der unmittelbare Prüfraum von Personen nicht erreichbar sein, dies wird durch bewegliche Schutzhauben realisiert. Die beweglichen Schutzhauben werden elektronisch gegen unbeabsichtigtes Öffnen gesichert. Beim Öffnen der Schutzhauben wird der Prüfprozess automatisch unterbrochen.

Die Energie, die beim Bruch einer Probe frei wird, soll über das Hydrauliksystem abgefangen werden.

Die Steuerung wird über eine Drittfirma eingekauft - diese führt die Validierung und Prüfung der Steuerung durch.

Die sicherheitstechnische Auslegung erfolgt vom Hersteller der Hydraulikanlage. Eine mechanische Anzeige soll den Druck im Hydrauliksystem anzeigen. Zur Druckfreimachung des Hydrauliksystems muss ein Druckentlastungsventil vorgesehen werden.

Durch das Betätigen des NOT-AUS-Schalters muss die Energiezufuhr zur Pumpe sofort unterbrochen werden. Die doppelwirkenden Hydraulikzylinder müssen nach einem NOT-AUS nicht festgehalten werden. Der angelegte Druck in den Hydraulikzylinder wird über das Hydrauliksystem abgebaut.

Die persönliche Schutzausrüstung muss den Tätigkeiten an der Maschine angepasst sein.

Die Prüfmaschine muss regelmäßig gewartet werden, um die Funktionalität und die Sicherheit zu garantieren.

14. Literaturverzeichnis

1. **Roell, Zwick I.** Direct industry. [Online] [Zitat vom: 6. 6 2011.] http://pdf.directindustry.de/pdf/zwick/prufmaschinen-und-prufsystemef-ur-textile-werkstoffe/15660-3708-_3.html.
2. [Online] SGS. [Zitat vom: 29. 05 2011.] http://www.de.sgs.com/de/zerstorungsfreie_de.
3. **Habenicht, H.** *Anker und Ankerungen zur Stabilisierung des Gebirges*. Wien : Springer Verlag, 1976.
4. **N., N.** *Skript "Tunnelbau und Felsmechanik"*. Graz : TU Graz, 2007.
5. **Kolymbas, D.** *Geotechnik Bodenmechanik, Grundbau und Tunnelbau*. Berlin Heidelberg : Springer Verlag, 2007.
6. *DIN 21521:1990 - Teil 1: Ausbauelemente im Tunnelbau - Gebirgsanker*. Berlin : Deutsches Institut für Normung e.V.Berlin, 1990.
7. **Dolsak, s. Kainrath-Reumayer und W.** *Gebirgsanker im Berg- und Tunnelbau*. 2008, Bde. BHM Berg- und Hüttenmännische Hüttenhefte, Heft 10.
8. *ÖNORM EN 1537 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) Verpreßanker*. Wien : Österreichisches Normeninstitut, 2000.
9. [Online] Rodio. [Zitat vom: 26. 04 2011.] <http://www.rodio.org/index-Dateien/Page844.htm>.
10. *EDC - Drillingtools*. [Online] [Zitat vom: 22. 05 2011.] http://edc-drillingtools.com/index.php?option=com_remository&func=select&id=58&lang=de.
11. **Wilczek, K.** *Labor-Ankerversuchsanlage*. Leoben : Montanuniversität Leoben, 2009.
12. [Online] DSI Alwag. [Zitat vom: 29. 05 2011.] <http://www.alwag.at/products/anchors-and-rock-bolts/ibo-self-drilling-anchors.html>.
13. **N., N.** *Laborbericht: Werkstoffkunde*. Hannover : FH Hannover.
14. **D. Dendl, B. Gumpetsberger, L. Wunsch.** *Fließkurvenbestimmung*. Leoben : Seminararbeit, 2010.
15. *ÖNORM EN 6892-1 Metallische Werkstoffe - Zugversuch Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur*. Österreichisches Normeninstitut Wien : s.n., 2009.
16. *ETAG 013 - Guideline for European Technical Approval of post-tensioning kits for prestressing of structures*. Brussels : European Organisation for Technical Approvals, 2002.
17. *EN ISO 15630-3 Stähle für die Bewehrung und das Vorspannen von Beton Prüfverfahren Teil 3: Spannstähle*. Berlin : Deutsches Institut für Normung, 2002.
18. *ÖNORM EN 1537 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) Verpreßanker*. Wien : Österreichisches Normeninstitut, 2000.
19. *ÖNORM EN ISO 12100-2: 2004 - Sicherheit von Maschinen - Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze -Teil 2: Technische Leitsätze*. Wien : Österreichisches Normeninstitut, 2004.
20. **Czichos H., Hennecke M.** *HÜTTE - Das Ingenieurwissen*. Berlin-Heidelberg : Springer Verlag, 2008.
21. **Köberl, J.** *Mess-, Steuer- und Regelungstechnik und Messelektronik*. Mödling : HTLuVA Mödling, 2003.

-
22. **Kleckers, T.** Wichtige Kenngrößen von Kraftaufnehmern. [Online] [Zitat vom: 26. 05 2011.] www.hbm.de.
23. **SAMSON.** [Online] [Zitat vom: 22. 05 2011.] http://www.samson.de/pdf_de/l101de.pdf.
24. **N., N.** *Lehrbehelf zur Vorlesung: "Hydraulik und Pneumatik"*. Leoben : Allgemeinen Maschinenbau, Montanuniversität Leoben, 2008.
25. **ENERPAC, Firma.** *Hydraulische Kraft für alle industriellen Anwendungen*. s.l. : Produktkatalog.
26. **Wirtschaft, Bundesminister für Arbeit und.** 282. *Verordnung - Maschinen-Sicherheitsverordnung 2010 - MSV 2010*. Wien : s.n., 2008.
27. **ÖNORM EN ISO 14121-1: 2008 - Sicherheit von Maschinen - Risikobeurteilung - Teil 1: Leitsätze.** Wien : Österreichisches Normeninstitut, 2008.
28. **ÖNORM EN ISO 12100-1: 2004 - Sicherheit von Maschinen - Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze.** Wien : Österreichisches Normeninstitut, 2004.
29. **Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten an Magistrat der Landeshauptstadt Linz, Amt für Technik.** Verkettete Maschinen, Anfrage des Magistrates der Landeshauptstadt Linz (Korrespondenz). Linz : s.n., 02.01.1997. Geschäftszahl: 33.251/54-III/3/96.
30. **Schmidt, F.** Maschinensicherheit: Abschied von der EN 954-1. 2005, Bd. Computer & Automation Heft, Heft 9/2005.
31. **EN 954-1: 1996 - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze.** s.l. : Europäisches Komitee für Normungen, Dezember 1996.
32. **Arbeitssicherheit - Leuze.** [Online] [Zitat vom: 01. 05 2011.] http://www.arbeitssicherheit.leuze.de/a/a_11.htmlv.
33. **DIN 51233: 2007 Werkstoffprüfung - Sicherheitstechnische Festlegungen - Allgemeine Festlegung.** Berlin : Normenausschluss Materialprüfung, 2007.
34. **Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über die Sicherheit von Maschinen und von Sicherheitsbauteilen für Maschinen .** Wien : Bundesminister für Wirtschaft und Arbeit, 2008.
35. **Richtlinie 2006/42/EG über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16EG (Neufassung).** Brüssel : Europäisches Parlament und des Rates, 17. Mai 2006 .
36. **Arbeit, Bundesministerium für Wirtschaft und.** *Arbeitsmittel-Verordnung: Die Arbeitsinspektion informiert.* Wien : s.n., März 2001.

15. Abbildungsverzeichnis

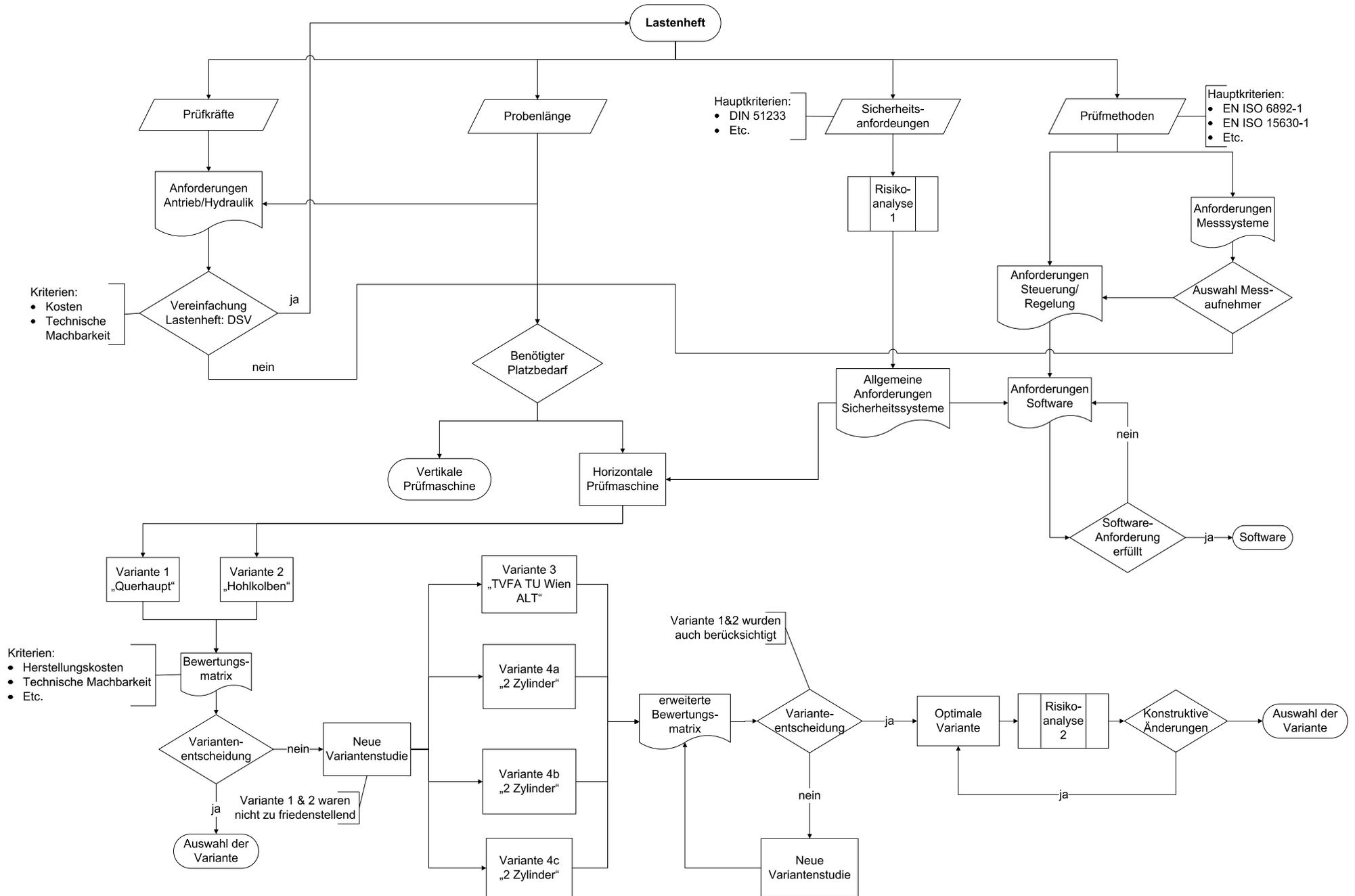
| | Seite |
|--|--------------|
| Abbildung 1: ISO-Ansicht der Prüfmaschine..... | 5 |
| Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Gebirgsankers und Benennung der Systemkomponenten in Anlehnung an DIN 21521-1: 1 Anker Mutter, 2 Ankerplatte, 3 Ankerschaft, 4 Ummantelung (Hüllrohr), 5 Verbundmaterial, 6 Gebirge, 7 Ankerbohrloch, l_{fs} Freispielstrecke, l_{vi} Innere Verbundlänge, l_{va} Äußere Verbundlänge, d_b Bohrlochdurchmesser (7). | 19 |
| Abbildung 3: Verpressanker - 1 Verankerungspunkt an der Spannpresse während des Spannens, 2 Verankerungspunkt am Ankerpunkt im Gebrauchszustand, 3 Auflagerplatte, 4 Auflager, 5 Bauteil, 6 Boden / Fels, 7 Bohrloch, 8 Hüllrohr, 9 Zugglied, 10 Verpresskörper (8). | 20 |
| Abbildung 4: Reibrohrexpanionsanker - 1 Setzhülse (aufgeschweißt), 2 Kalottenankerplatte, 3 W-förmiges Ankerrohr, 4 Endhülse (7). | 21 |
| Abbildung 5: Spreizanker - 1 Anker Mutter, 2 Kalottenankerplatte, 3 Ankerstab mit beidseitig aufgerolltem Gewinde, 4 Spreizkopf (7). | 21 |
| Abbildung 6: schematischer Rohrschirm (10). | 22 |
| Abbildung 7: Maschineneinflüsse..... | 24 |
| Abbildung 8: DYWI® Drill Hohlstab mit durchgehendem Außengewinde (12). | 25 |
| Abbildung 9: Aufgeschnittene Muffe mit durchgehendem Innengewinde und Mittelstopp (12). | 27 |
| Abbildung 10: Mutter (12). | 27 |
| Abbildung 11: Spannungs-Dehnungsdiagramm, sowie Fließkurve (14). | 28 |
| Abbildung 12: Darstellung der anzuwendenden Dehngeschwindigkeiten im Zugversuch a) Verfahren A b) Verfahren B (15). | 30 |
| Abbildung 13: Blockschaltbild einer Regelung. | 41 |
| Abbildung 14: Blockschaltbild einer Steuerung. | 41 |
| Abbildung 15: Schematischer Aufbau der Steuerung der Prüfmaschine und des Regelkreises. | 43 |
| Abbildung 16: Einfachwirkende Hydraulikzylinder: (a) Rückbewegung durch äußere Kraft, (b) Rückbewegung durch eingebaute Feder. | 49 |
| Abbildung 17: Doppeltwirkende Hydraulikzylinder: (A) Differentialzylinder, (B) Gleichlaufzylinder. | 49 |
| Abbildung 18: Hydraulikplankonzept für einen Zylinder - (A) Tank, (B) Pumpe, (C) Kupplung, (D) Motor, (E) Einfüll- und EntlüftungsfILTER, (F) Niveauschalter, (G) Ablassventil, (H) Ölstandanzeige, (I) Rücklauffilter, (J) Druckbegrenzungsventil, (K) Manometer (optisch und elektrisch), (L) 4/3 Wegeventil, (M) Volumenmessgerät, (N) doppeltwirkender Hydraulikzylinder. | 53 |
| Abbildung 19: Hydraulikplankonzept für zwei Zylinder - (A) Tank, (B) Pumpe, (C) Kupplung, (D) Motor, (E) Einfüll- und EntlüftungsfILTER, (F) Niveauschalter, (G) Ablassventil, (H) Ölstandanzeige, (I) Rücklauffilter, (J) Druckbegrenzungsventil, (K) Manometer (optisch und elektrisch), (L) 4/3 Wegeventil, (M) Volumenmessgerät, (N) doppeltwirkender Hydraulikzylinder. | 54 |
| Abbildung 20: Prüfmaschinenkonzept Nr. 1 (schematische Darstellung). | 56 |
| Abbildung 21: Prüfmaschinenkonzept Nr. 2 (schematische Darstellung). | 57 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 22: Prüfmaschinenkonzept Nr. 3: 1 Rahmenquerträger, 2 Hydraulikzylinder, 3 Querhauptträger links, 4 Querhauptträger links, 5 Führungssäulen, 6 Einspannquerträger (schematische Darstellung)..... | 59 |
| Abbildung 23: Prüfmaschinenkonzepte Nr. 4a und Nr. 4b: 1 Rahmen, 2 Hydraulikzylinder, 3 Einspannquerträger (schematische Darstellung)..... | 60 |
| Abbildung 24: Prüfmaschinenkonzept 4c: 1 Rahmenkonstruktion, 2 Hydraulikzylinder, 3 Einspannträger, 4 Versuchsaufbau (schematische Darstellung)..... | 61 |
| Abbildung 25: Mises-Spannungsverlauf in der Rahmenkonstruktion..... | 64 |
| Abbildung 26: Spannungsverlauf im Bereich der Probeneinspannung..... | 65 |
| Abbildung 27: Verschiebungsverlauf im Querträger..... | 65 |
| Abbildung 28: Verfahren nach MRL 2006/42/EG (26)..... | 69 |
| Abbildung 29: Iterativer Prozess zur Risikominimierung (27)..... | 77 |
| Abbildung 30: ermittelte Anzahl der jährlichen Werkstoffprüfungen..... | 95 |
| Abbildung 31: ermittelte Anzahl der jährlichen Funktionsprüfungen – Kupplung..... | 96 |
| Abbildung 32: Anzahl der jährlichen Funktionsprüfungen – Verankerungen..... | 96 |
| Abbildung 33: Geplante Prüfungen im Jahr..... | 97 |
| Abbildung 34: Geplante Prüfungen im Jahr nach Prüfkräften..... | 97 |
| Abbildung 35: Mögliche Anordnung der Werkstoffprüfung..... | 99 |
| Abbildung 36: Mögliche Anordnung der Verankerungsprüfung..... | 99 |
| Abbildung 37: Mögliche Anordnung der Kupplungsprüfung..... | 100 |
| Abbildung 38: Kolbengeschwindigkeits- bzw. Hubverlauf bei einer Werkstoffprüfung eines DYWI® Drill Hohlstab T76-1900 mit einer Probenlänge von 2.500 [mm]..... | 101 |
| Abbildung 39: Dauerschwingversuch ($f = 10$ [Hz]) am DYWI® Drill Hohlstab R32-210 mit einer Probenlänge von 3.000 [mm]..... | 102 |
| Abbildung 40: Dauerschwingversuch ($f = 10$ [Hz]) am DYWI® Drill Hohlstab T76-1900 mit einer Probenlänge von 3.000 [mm]..... | 103 |
| Abbildung 41: Dauerschwingversuch ($f = 10$ [Hz]) am DYWI® Drill System R32-210 mit einer Probenlänge von 3.000 [mm]..... | 104 |
| Abbildung 42: Dauerschwingversuch ($f = 10$ [Hz]) am DYWI® Drill System T76-1900 mit einer Probenlänge von 3.000 [mm]..... | 105 |
| Abbildung 43: Schematische Darstellung der Steuerung und Regelung der ZPM..... | 106 |
| Abbildung 44: schematisches Konzept für die Zugprüfmaschine..... | 111 |
| Abbildung 45: Vorderansicht - Endkonzept der Zugprüfmaschine (schematisch)..... | 112 |
| Abbildung 46: Seitenansicht - Endkonzept der Zugprüfmaschine (schematisch)..... | 112 |
| Abbildung 47: Gefahrenbereich der Zugprüfmaschine (schematisch)..... | 113 |

16. Tabellenverzeichnis

| | Seite |
|--|--------------|
| Tabelle 1: verwendete Abkürzungen..... | 12 |
| Tabelle 2: verwendete Formelzeichen. | 13 |
| Tabelle 3: Hohlstababmessungen mit Abschätzung der Höchstkraft | 26 |
| Tabelle 4: Probenabmessungen von Rohrschirmrohren | 27 |
| Tabelle 5: Auflistung der Kriterien für die Lösungsfindung. | 62 |
| Tabelle 6: Bewertung der Lösungsvarianten..... | 62 |
| Tabelle 7: Ergebnis der Nutzwertanalyse. | 63 |
| Tabelle 8: Versuchsparameter von Dauerschwingversuchen an DYWI® Drill Stäben | 101 |
| Tabelle 9: Versuchsparameter von Dauerschwingversuchen an DYWI® Drill Systemen | 103 |
| Tabelle 10: Allgemeine Anforderungen an Hydraulikzylinder | 108 |

Anhang A - Entscheidungsflussdiagramm



Anhang B - Risikobeurteilung: Bestimmung der Grenzen der Maschine

Maschine: hydraulische Zugprüfanlage für eine Prüfkraft von max. 5 [MN]

Bestimmungsgemäße Verwendung, Verwendungsgrenzen:

- Zugprüfung an stab- und rohrförmigen Proben
- Funktionsprüfungen:
 - Prüfungen von Kupplungen
 - Prüfungen von Verankerungen
- Probenarten - Zugprüfung:
 - Stab- bzw. rohrförmige Proben
- Maximale Probenlänge: 2.500 [mm]
- Ein- und Ausspannen der Proben erfolgt manuell
- Versuchsabläufe laufen halbautomatisch ab
- maximale Prüfkraft: 5.000 [kN]
- maximale Kolbengeschwindigkeit: 20 [mm/s]
- Prüfeinrichtung nach ISO 7500-1:1999

Räumliche Grenzen:

Systeme sowie die Einflüsse, welche die Systemgrenzen überschreiten, sind auf der folgenden Skizze eingezeichnet.

Zeitliche Grenzen:

Lebensdauer der Maschine: 10 Jahre

| Lebensphasen, Betriebsart | Betroffene Personen: | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|--------|------------|------------|------------------------|-----------|
| | Anwender * | Dritte | Mechaniker | Elektriker | Transport- fachmann | Entsorger |
| Bau | | X | X | X | | |
| Transport | | X | X | X | X | |
| Inbetriebnahme | X | X | | | | |
| Einsatz / Gebrauch | | | | | | |
| Normalbetrieb (Prüfbetrieb) | X | X | | | | |
| Maschinenstörung | X | X | X | X | | |
| Reinigung | X | X | | | | |
| Instandhaltung | X | X | | | | |
| Außerbetriebnahme | X | X | | | | |
| Entsorgung | | X | | | | X |

* Ausbildung des Anwenders: Einschulung an der Prüfmaschine durch entsprechendes Fachpersonal

Einsatzbereich:

Prüflabor mit Stromversorgung

| Konzipierung und Auslegung einer Zugprüfmaschine für Material- und Funktionsprüfungen an Ausbauelementen für den Untertagebau | | Anhang C - Risikobeurteilung | | | | | | | | Seite 1 von 2 | |
|---|---|---|-----------------------------|---|--|---|--|------------|---|---|--|
| Risikobeurteilung | | Hydraulische Zugprüfmaschine | | | Schadensausmaß (S) | | Eintrittswahrscheinlichkeit (W) | | | Datum 09.06.2011 | |
| | | | | | I Tod | | A häufig | | | | |
| | | | | | II schwerer bleibender Gesundheitsschaden | | B gelegentlich | | | | |
| | | | | | III leichter bleibender Gesundheitsschaden | | C selten | | | | |
| | | | | | IV heilbare Verletzung mit Arbeitsunfall | | D unwahrscheinlich | | | | |
| | | V heilbare Verletzung ohne Arbeitsausfall | | E praktisch unmöglich | | | | | | | |
| Nr | Beschreibung der Betriebsart | Gefahrensituation | | | Risiko | | Schutzziel / Lösungsbeschreibung | Restrisiko | | Bemerkung / Hinweis | |
| | | Gefahr | Personen im Gefahrenbereich | Ursache / Ereignis | S | W | | S | W | | |
| 1. Bau | | | | | | | | | | | |
| 1.1. | Schweißung der Rahmenkonstruktion | Atemwegsverletzungen, Augenverletzungen, Hautverletzungen | Schweißer | Verletzungen des Schweißers beim Schweißen der Rahmenkonstruktion. | | | Einschulung, Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung. | | | Hinweis Betriebsanleitung | |
| 1.2. | Aufbau der Maschine | Quetschung | Mechaniker | Die Maschine kann beim Aufbau wegrutschen oder schwingen, wenn sie angehängt ist. | | | Einzelschritte beim Aufbau beschreiben und mit Bildern darstellen. | | | Hinweis Betriebsanleitung | |
| 2. Transport | | | | | | | | | | | |
| 2.1. | Abladen der Maschinengruppen | Quetschung | Mechaniker | Beim Abladen der Maschinengruppen dürfen diese nicht herabfallen oder verrutschen. | | | Geeignete Anschlagpunkte vorsehen, Gewichte angeben, Sicherheitsschuhe tragen. | | | Hinweis Betriebsanleitung | |
| 2.2. | Umtransport | | | | | | | | | | |
| 3. Inbetriebnahme | | | | | | | | | | | |
| 3.1. | Einfüllen des Hydrauliköls | Beschädigung der Maschine | | Falsches Öl, ungenügende Ölfüllung oder Überfüllung könnte zur Beschädigung der Maschine führen. | | | Hinweisschild für Öltyp und -menge an Maschine anbringen. | | | Hinweis Betriebsanleitung | |
| | | Umweltgefährdung | Anwender | | | | Hinweisschild für Öltyp und -menge an Maschine anbringen. | | | | |
| | | Kontakt mit gefährlichen Stoffen | Anwender | | | | Längeren Hautkontakt mit Hydrauliköl vermeiden. | | | | |
| 3.2. | Anschließen der Spannungsversorgung | Beschädigung der Maschine | | | | | Nur Elektrofachpersonal darf die Maschine anschließen. Örtliche Bestimmungen für die Energieversorgung beachten. | | | Hinweis Betriebsanleitung | |
| | | Kontakt mit spannungsführenden Teilen | Elektriker, Mechaniker | Personen könnten durch falschen Anschluß in direkten Kontakt mit spannungsführenden Teilen haben (z.B.: Phase und Nullleiter verwechselt). | | | Nur Elektrofachpersonal darf die Maschine anschließen. Örtliche Bestimmungen für die Energieversorgung beachten. | | | Hinweis Betriebsanleitung | |
| 3.3. | Kontrolle der Drehrichtung des Motors | Beschädigung der Maschine | | Bei falscher Drehrichtung kann die Pumpe beschädigt werden. | | | Zur Drehrichtungsprüfung die Motoren nur kurzfristig laufen lassen. Nur Personal des Herstellers oder Fachpersonal darf die Drehrichtung des Motors prüfen. | | | | |
| 3.4. | Schutzeinrichtungen einrichten / prüfen | Quetschen, Scherren | Elektriker, Mechaniker | Wenn die Schutzeinrichtung und steuerungstechnische Anfragen nicht korrekt installiert sind, kann es zu gefährlichen Bewegungen kommen. Wenn die Schutzeinrichtungen unvollständig sind/falsch eingestellt sind, können später Bediener gefährdet werden. | | | Prüfanweisungen für Schutzeinrichtungen. Nur Personal des Herstellers darf die Schutzeinrichtungen prüfen. Prüf- und Abnahmeprotokoll nach Installation vor Ort ausfüllen inklusive Prüfung der elektrischen Sicherheit. | | | Hydraulikanlage wird von einer Fremdfirma installiert | |
| 3.5. | Hydrauliksystem entlüften | Quetschen, Scherren | Elektriker, Mechaniker | Wenn sich jemand während der Bewegung der Hydraulikzylinder im Gefahrenbereich befindet, kann er verletzt werden. | | | Schutzeinrichtungen verwenden. Nur Personal des Herstellers oder Fachpersonal darf das Hydrauliksystem entlüften. | | | | |
| 4. Normalbetrieb (Prüfbetrieb) | | | | | | | | | | | |
| 4.1. | Einstellen, Programmieren | Beschädigung der Maschine | Anwender | Durch falsche Einstellungen kann die Maschine beschädigt werden. Teile können herausgeschleudert werden. | | | Einstelldaten (Versuchsdaten) auf Plausibilität prüfen; Probelauf durchführen. | | | | |

| | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|--|------------------|---|--|--|--|--|---------------------------|
| 4.2. | Probeneinbau | Quetschen | Anwender | Durch falschen Einbau der Probe kann die Probe herausgeschleudert werden. | | | Einzelschritte des Einbaus der Probe beschreiben und mit Bildern darstellen. | | Hinweis Betriebsanleitung |
| | | Quetschen durch die bewegliche Schutzhaube | Anwender | Beim Öffnen und Schließen der Schutzhaube kann es zu Einquetschungen kommen. | | | Einzelschritte des Einbaus der Probe beschreiben und mit Bildern darstellen. | | Hinweis Betriebsanleitung |
| | | Quetschen, Scheren, Stoß | Anwender | Wenn sich jemand während der Bewegung der Hydraulikzylinder im Probenbereich befindet, kann er verletzt werden. | | | Vorder- & Rückseite mit zweiteiliger beweglicher Schutzhaube mit elektrischer Verriegelung. | | |
| | | | | | | | NOT-AUS-Schalter im Gefahrenbereich. | | |
| | | Quetschen | Anwender | Beim Einbau der Messaufnehmer kann es zur Verletzungen kommen. | | | Einzelschritte der Montage der Messaufnehmer beschreiben und mit Bildern darstellen. | | Hinweis Betriebsanleitung |
| 4.3. | Probenbruch | Verletzungsgefahr von Personen | Anwender | Abhängig von Werkstoff und Form der Probe, insbesondere bei spröden, zusammengesetzten Proben oder Proben mit hoher Energieaufnahme, können beim Belasten oder beim Bruch Teile ausbrechen und herausgeschleudert werden. | | | Anbringen einer fangenden Schutzeinrichtung. | | Hinweis Betriebsanleitung |
| | | Beschädigung des Hydraulikaggregats | | | | | | | |
| | | Beschädigung der Maschine | | | | | | | Hinweis Betriebsanleitung |
| 4.4. | Probenausbau | Quetschen, Scheren, Schlag, Schnittwunden | Anwender | Beim Ausbau der Probe kann es zu Verletzungen kommen. | | | Einzelschritte der Montage der Messaufnehmer beschreiben und mit Bildern darstellen. Arbeitsschube und Handschuhe verwenden. | | Hinweis Betriebsanleitung |
| 5. Maschinenstörung | | | | | | | | | |
| 6. Reinigung | | | | | | | | | |
| 6.1. | Reinigung des Probenraums | Quetschen, Scheren | Anwender | | | | | | |
| 7. Instandhaltung | | | | | | | | | |
| 7.1. | Schmieren | | | | | | | | |
| 7.2. | Hydraulikölfilter wechseln, Ölwechsel, Hydraulikschläuche tauschen. Drucknehmer warten | Herausspritzen von Flüssigkeiten, Verbrennungen, Kontakt mit gefährlichen Stoffen | | | | | | | |
| 7.3. | Schutzeinrichtungen prüfen | | | | | | siehe 3.4. | | |
| 8. Außerbetriebnahme | | | | | | | | | |
| 8.1. | Außerbetriebnahme | Quetschen, Berühren spannungsführender Teile, Kontakte mit gefährlichen Arbeitsstoffen, Umweltgefährdungen | | Unerwartete Bewegungen sind möglich, elektrischer Schlag, Hydrauliköl könnte in Kanalisation gelangen. | | | Außerbetriebsetzung darf nur vom Fachpersonal durchgeführt werden, Korrekte Reihenfolge bei Außerbetriebnahme einhalten: noch festzulegen. | | Hinweis Betriebsanleitung |
| 9. Entsorgung | | | | | | | | | |
| 9.1. | Entsorgung des Hydrauliköls | Umweltgefährdung | Anwender, Dritte | | | | Hinweisschild für Öltyp und -menge an Maschine anbringen. | | Hinweis Betriebsanleitung |
| 10. alle Lebensphasen | | | | | | | | | |
| 10.1. | alle Betriebsphasen | Herausspritzen von Flüssigkeiten, Verbrennungen | | Defekte oder überaltete Hydraulikschläuche können bersten oder undicht werden, so dass heißes Hydrauliköl unter hohem Druck herausspritzt. | | | Wartungsplan einhalten, Prüf- und Austauschintervalle für Schläche beachten. | | Hinweis Betriebsanleitung |
| 10.2. | alle Betriebsphasen | Gefährliche Bewegung des Hydraulikschlauches | | | | | Wartungsplan einhalten, Prüf- und Austauschintervalle für Schläche beachten, Eignung und Bemessung der Schläuche sorgfältig auswählen. | | |
| 10.3. | alle Betriebsphasen | Gefährdung durch den austretenden Ölstrahl | | | | | Wartungsplan einhalten, Prüf- und Austauschintervalle für Schläche beachten, Schlauchleitungen befestigen. | | |
| 10.4. | alle Betriebsphasen | Umweltschäden | | | | | Wartungsplan einhalten, Prüf- und Austauschintervalle für Schläche beachten. | | |
| 10.5. | alle Betriebsphasen | Kontakt mit spannungsführenden Teilen im Fehlerfall | | Durch Defekte in der elektrischen Anlage können berührbare Teile spannungsführend werden | | | Ausführung der elektrischen Anlage nach geltenden Normen, Sicherheitsprüfung vor Inbetriebnahme. | | |

Anhang D - Abschätzung der Messfrequenz

Die folgenden Berechnungen und Anmerkungen wurde in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 6892-1 erstellt.

Versuchslängen

$L_{c1} := 1\text{m}$ Versuchslänge 1

$L_{c2} := 2\text{m}$ Versuchslänge 2

Die Traversengeschwindigkeit berechnet sich wie folgt $v_c = L_c \cdot \epsilon_{Lc}$

1.) Dehnungsgeschwindigkeit zur Bestimmung der oberen Streckgrenze R_{eH} oder der Dehngrenzen R_p und R_t

Die Dehngeschwindigkeit ϵ_{Le} ist so weit wie möglich bis zu und während der Bestimmung von R_{eH} oder R_p oder R_t konstant zu halten. Während der Bestimmung dieser Kennwerte muss die Dehngeschwindigkeit ϵ_{Le} (empfohlener Bereich) liegen:

$$\epsilon_{Le1} := 0.00025 \frac{1}{s}$$

Abgeschätzte Traversengeschwindigkeit (Toleranz: +/- 20%)

$$v_{c1} := L_{c1} \cdot \epsilon_{Le1}$$

$$v_{c1} = 0.25 \cdot \frac{\text{mm}}{s}$$

$$v_{c2} := L_{c2} \cdot \epsilon_{Le1}$$

$$v_{c2} = 0.5 \cdot \frac{\text{mm}}{s}$$

2.) Dehnungsgeschwindigkeit zur Bestimmung der untere Streckgrenze R_{eL} und der Streckgrenzen-Extensometer-Dehnung A_e

Nach der Bestimmung der oberen Streckgrenze ist die abgeschätzte Dehngeschwindigkeit über die Versuchslänge ϵ_{Lc} , bis zum Ende des diskontinuierlichen Fließens in folgenden Bereich (empfohlener Bereich) zu halten.

$$\epsilon_{Lc1} := 0.00025 \frac{1}{s}$$

Abgeschätzte Traversengeschwindigkeit (Toleranz: +/- 20%)

$$v_{c3} := L_{c1} \cdot \epsilon_{Lc1}$$

$$v_{c3} = 0.25 \cdot \frac{\text{mm}}{s}$$

$$v_{c4} := L_{c2} \cdot \epsilon_{Lc1}$$

$$v_{c4} = 0.5 \cdot \frac{\text{mm}}{s}$$

3.) Dehnungsgeschwindigkeit zur Bestimmung der Zugfestigkeit R_m , der Bruchdehnung A , der gesamten Extensometer Dehnung bei der Höchstkraft A_{gt} , der plastischen Extensometer-Dehnung bei Höchstkraft A_g und der Brucheinschnürung Z

Nach Bestimmung der geforderten Streck- respektive Dehngrenzen muss die abgeschätzte Dehnungsgeschwindigkeit über die Versuchslänge ϵ_{Lc} in folgendem Bereich (empfohlener Bereich) verändert werden:

$$\epsilon_{Lc2} := 0.0067 \frac{1}{s}$$

Abgeschätzte Traversengeschwindigkeit (Toleranz: +/- 20%)

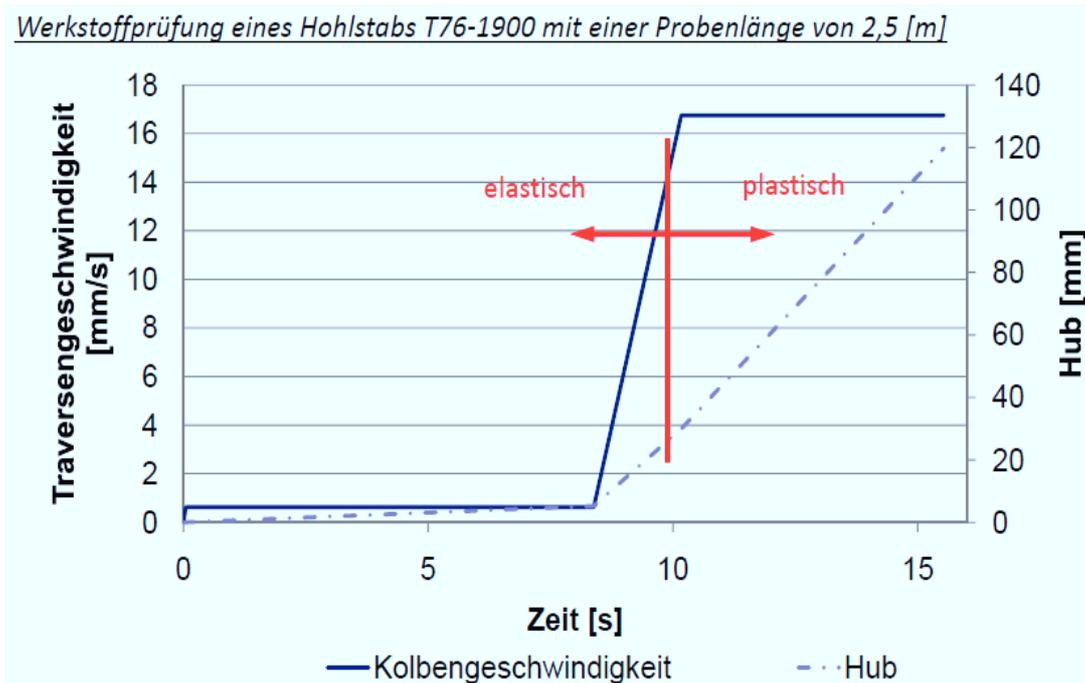
$$v_{c5} := L_{c1} \cdot \epsilon_{Lc2}$$

$$v_{c5} = 6.7 \cdot \frac{mm}{s}$$

$$v_{c6} := L_{c2} \cdot \epsilon_{Lc2}$$

$$v_{c6} = 13.4 \cdot \frac{mm}{s}$$

Werkstoffprüfung eines Hohlstabs T76-1900 mit einer Probenlänge von 2,5 [m]



Prüfgeschwindigkeit basierend auf Spannungsgeschwindigkeit

Die Prüfgeschwindigkeiten müssen den nachfolgenden Festlegungen, die vom Werkstoff abhängen, entsprechen. Wenn nicht anderes festgelegt, darf jede geeignete Prüfgeschwindigkeit bis zu einer Spannung verwendet werden, die der Hälfte der spezifizierten Streckgrenze entspricht. Die Prüfgeschwindigkeiten oberhalb dieses Punktes werden in der Folge festgelegt.

Obere Streckgrenze R_{eH}

Die Traversengeschwindigkeit muss so konstant als möglich gehalten werden und innerhalb folgender Spannungsgeschwindigkeiten liegen:

$$R_{\min} := 6 \frac{\text{MPa}}{\text{s}} \quad R_{\max} := 60 \frac{\text{MPa}}{\text{s}} \quad \text{gilt für Werkstoffe mit } E \geq 150\,000 \text{ MPa}$$

Die Norm sieht vor, dass die Dehngeschwindigkeit im elastischen Bereich aus der Spannungsgeschwindigkeit unter Verwendung des Elastizitätsmodules vor 210 000 MPa (Stahl) berechnet wird.

$$E_{\text{ref}} := 210000 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{e_{\min}} := \frac{R_{\min}}{E_{\text{ref}}} \quad \epsilon_{e_{\min}} = 0.000029 \frac{1}{\text{s}}$$

$$\epsilon_{e_{\max}} := \frac{R_{\max}}{E_{\text{ref}}} \quad \epsilon_{e_{\max}} = 0.00029 \frac{1}{\text{s}}$$

Abgeschätzte Traversengeschwindigkeit

$$v_{c7} := L_{c1} \cdot \epsilon_{e_{\min}} \quad v_{c7} = 0.03 \cdot \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

$$v_{c8} := L_{c1} \cdot \epsilon_{e_{\max}} \quad v_{c8} = 0.29 \cdot \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

$$v_{c9} := L_{c2} \cdot \epsilon_{e_{\min}} \quad v_{c9} = 0.06 \cdot \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

$$v_{c10} := L_{c2} \cdot \epsilon_{e_{\max}} \quad v_{c10} = 0.57 \cdot \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Untere Streckgrenze R_{eL}

Wenn nur die untere Streckgrenze zu bestimmen ist, so muss die Dehngeschwindigkeit im Bereich der Versuchslänge während des Fließens zwischen 0,00025 [1/s] und 0,0025 [1/s] liegen.

$$\epsilon_{u_min} := 0.00025 \frac{1}{s}$$

$$\epsilon_{u_max} := 0.0025 \frac{1}{s}$$

Abgeschätzte Traversengeschwindigkeit

$$v_{c11} := L_{c1} \cdot \epsilon_{u_min}$$

$$v_{c11} = 0.25 \cdot \frac{\text{mm}}{s}$$

$$v_{c12} := L_{c1} \cdot \epsilon_{u_max}$$

$$v_{c12} = 2.5 \cdot \frac{\text{mm}}{s}$$

$$v_{c13} := L_{c2} \cdot \epsilon_{u_min}$$

$$v_{c13} = 0.5 \cdot \frac{\text{mm}}{s}$$

$$v_{c14} := L_{c2} \cdot \epsilon_{u_max}$$

$$v_{c14} = 5 \cdot \frac{\text{mm}}{s}$$

Obere und untere Streckgrenze, R_{eH} und R_{eL}

Werden die obere und untere Streckgrenze im selben Versuch bestimmt, gelten die Bedingungen zur Bestimmung der unteren Streckgrenze.

Dehngrenze bei plastischer Extensometer-Dehnung und Dehngrenze bei gesamter Extensometer-Dehnung R_p und R_t

Innerhalb des elastischen Bereiches muss die Traversengeschwindigkeit so konstant als möglich und innerhalb der Grenzen gehalten werden, die im Unterpunkt "Obere Streckgrenze" angegebenen Spannungsgeschwindigkeiten beschrieben.

Im plastischen Bereich und bis zur Dehngrenze (plastische oder gesamte Extensometer-Dehnung) darf die Dehngeschwindigkeit nicht größer sein als 0,0025 [1/s].

$$\epsilon_{p_max} := 0.0025 \frac{1}{s}$$

$$v_{c15} := L_{c1} \cdot \epsilon_{p_max}$$

$$v_{c15} = 2.5 \cdot \frac{\text{mm}}{s}$$

$$v_{c16} := L_{c2} \cdot \epsilon_{p_max}$$

$$v_{c16} = 5 \cdot \frac{\text{mm}}{s}$$

Auswahl des Verfahrens und der Prüfgeschwindigkeiten

Wenn nicht anderes festgelegt, unterliegt die Wahl des Verfahrens der Regelung und der Prüfgeschwindigkeiten dem Hersteller oder den von ihm beauftragten Prüflabor, vorausgesetzt, die Vorgaben entsprechend ISO 6892 werden eingehalten.

Messwerterfassungsfrequenz

Die Frequenz-Bandweite jedes Messkanals sowie die Messwerterfassungsfrequenz sollten ausreichend hoch sein, damit die zu bestimmenden Werkstoffkenngrößen der in eins durch Sekunde angegebenen Mindestmesswerterfassungsgrenze f_{\min} verwendet werden:

$$f_{\min} = \frac{e \cdot E}{R_{eH} \cdot q} \cdot 100 \quad [\text{Hz}]$$

Abschätzung der min. Messwertfrequenz bei verschiedenen Werkstoffen

Annahmen

$$\epsilon_{Le1} = 0.00025 \frac{1}{s} \quad \text{empfohlene Dehngeschwindigkeit}$$

$$S_s := 1.5 \quad \text{Sicherheitsfaktor (Toleranz, etc.)}$$

$$e_1 := \epsilon_{Le1} \cdot S_s \quad \text{Dehnungsgeschwindigkeit}$$

$$E := 210000 \text{MPa} \quad \text{Elastizitätsmodul für Stahl}$$

$$q := 1\% \quad \text{relative Anzeigeabweichung der Kraftmessdose der Kraftmessvorrichtung}$$

Werkstoffe und ihre min. Messfrequenz:

$$R_{S235} := 235 \text{MPa} \quad \text{Streckgrenze S355 (Quelle: Stahlschlüssel)}$$

$$f_{S235_min} := \frac{e_1 \cdot E}{R_{S235} \cdot q} \cdot 100$$

$$f_{S235_min} = 3.4 \cdot \text{kHz}$$

$$R_{S355} := 355 \text{MPa} \quad \text{Streckgrenze S355 (Quelle: Stahlschlüssel)}$$

$$f_{S355_min} := \frac{e_1 \cdot E}{R_{S355} \cdot q} \cdot 100$$

$$f_{S355_min} = 2.2 \cdot \text{kHz}$$

$$R_{17MnV7} := 450 \text{MPa} \quad \text{Streckgrenze 17MnV7 (Quelle: Saarstahl)}$$

$$f_{17MnV7_min} := \frac{e_1 \cdot E}{R_{17MnV7} \cdot q} \cdot 100$$

$$f_{17MnV7_min} = 1.8 \cdot \text{kHz}$$

$$R_{20MnVN6} := 520 \text{MPa} \quad \text{Streckgrenze 20MnVN6 (Quelle: Ovako)}$$

$$f_{20MnVN6_min} := \frac{e_1 \cdot E}{R_{20MnVN6} \cdot q} \cdot 100$$

$$f_{20MnVN6_min} = 1.5 \cdot \text{kHz}$$

$$R_{St900_1100} := 900 \text{MPa} \quad \text{Streckgrenze St 900 / 1100 (Quelle: Stahlwerk Annahütte)}$$

$$f_{St900_1100} := \frac{e_1 \cdot E}{R_{St900_1100} \cdot q} \cdot 100$$

$$f_{St900_1100} = 0.9 \cdot \text{kHz}$$

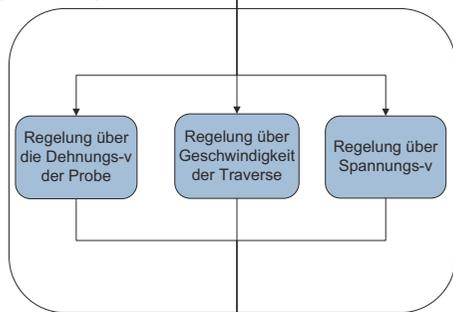
Anhang E - Konzept für die Steuerung der Zugprüfmaschine

Legende

- ▭ Schaltungen
- ▭ Messsysteme
- ▭ Anlage / Kolben
- ▭ Regelungssystem (Hardware)
- ▭ Regelungssystem (Software)
- ▭ Funktions- & Sicherheitssignale
- Softwarekomponente bzw. Signal
- Hardwarekomponente

- S0.....Schließer
- S1.....Schließer
- S2.....Schließer
- S3.....Schließer (Motor Ein/Aus)
- S4.....Öffner (Schutzschaltung)

Bestimmung des Kolben-v – Verlaufes (v-t Verlauf)



- Eingabe durch den Benutzer:**
- Dehnungsgeschwindigkeit / Probe
 - Geschwindigkeit der Traverse
 - Spannungsgeschwindigkeit

Sequentielle Schaltung

Eingangsenergie (Stromversorgung)

NOT/AUS Schalter 1

S0

S3

S4

Signale an die sequentielle Steuerung ⁽²⁾

⁽³⁾ Signale – Schutz (Hardwarekomponenten):

- NOT/AUS Schalter
- Warnleute Maschine (EIN/AUS/Wartung Signal)
- Motor EIN / AUS
- Warnung - Ölstand
- Warnung - Öltemperatur
- Warnung - geringer Öldruck
- Warnung - Maschinenstörung (restliche Fehlerquellen)
- Warnung - Sicherheitssystem nicht funktionstüchtig (z.B.: offene Tür)

Energiemessung (Überlastschutz)

Schutzschaltung

Schutzsignale ⁽³⁾

Messungen an der Anlage bzw. Kolben ⁽¹⁾

Energiemessung (Frequenz)

v – Messung (2.System)

Ausgangsenergie (Energieeintrag i. d. Probe)

Kolbengeschwindigkeit (Sollwert)

Soll- / Ist-Vergleich

Regler

Frequenzsteller (Stellglied)

Kolben / Anlage

Kolbengeschwindigkeit (Istwert)

v – Messung (1.System)

⁽²⁾ Signale von der Anlage zur Steuerung (Hardware):

- NOT/AUS Schalter
- Warnleute Maschine (EIN/AUS/Wartung Signal)
- Motor EIN / AUS
- Warnung - Ölstand
- Warnung - Öltemperatur
- Warnung - geringer Öldruck
- Warnung - Maschinenstörung (restliche Fehlerquellen)
- Warnung - Sicherheitssystem nicht funktionstüchtig (z.B.: offene Tür)

⁽¹⁾ Messungen an der Anlage bzw. Kolben (Hardware):

- Kolbenweg mit integrierter Kolbengeschwindigkeitsmessung
- Öldruck (Öldruckmesser)
- Kraftmessdose

Statischer Zugversuch:

Dehnung an der Probe über Seilzug (1 zusätzliches Messsignal)

Zugversuch – Verankerungen:

4 zusätzliche Wegaufnehmer

Zugversuch – Kupplungen:

6 zusätzliche Wegaufnehmer

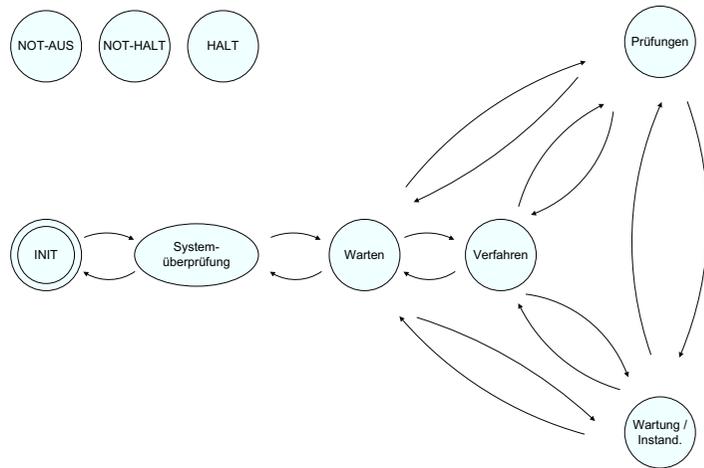
Anhang F - Konzept für den Steuerungsablauf der Zugprüfmaschine (Finite State Maschine)

Legende

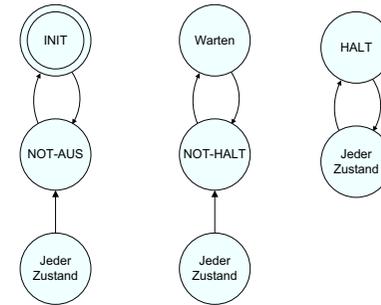
- Kein Benutzereingriff notwendig
- Benutzereingriff notwendig

Hauptprozess

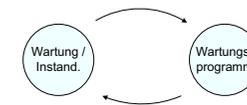
Sicherheitsfunktionen – aus jedem Zustand möglich (siehe Sicherheitsfunktionen)



Sicherheitsfunktionen (aus jedem Zustand möglich)



Unterprozess: Wartung / Instandhaltung

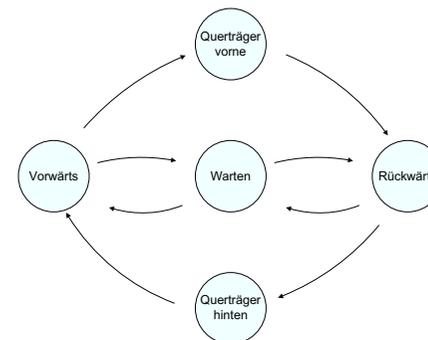


Bemerkung:

- Wartungsprogramm umfasst:
- Überprüfung der Sicherheitseinrichtungen
 - Überprüfung der Hydraulikanlage
 - Überprüfung der Steuerung

Das Wartungsprogramm muss auf die Systemkomponenten der Prüfmaschine abgestimmt werden (Information von den Zulieferfirmen, z.B.: Hydraulikaggregat, etc.).

Unterprozess: Verfahren



Unterprozess: Prüfung

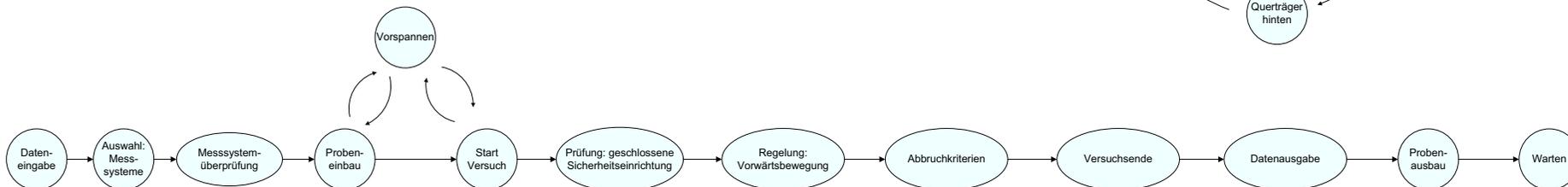
Prüfungsarten:

- Materialprüfung
- Funktionsprüfung – Kupplung
- Funktionsprüfung – Verankerungen

Versuchsablauf bei allen Prüfungen gleich; Übergangsfunktionen verschieden;

Drei Möglichkeiten der Regelung „Vorwärts“:

- Regelung über die abgeschätzte Dehnungsgeschwindigkeit (Traversengeschwindigkeit)
- Regelung über die Dehnungsgeschwindigkeit an der Probe
- Regelung über den Spannungsgradienten



Anhang G - Mechanische Auslegung

Grobe Festigungsauslegung

Einheitendefinitionen (nicht im Programm vordefiniert)

Nm := 1J t := 1000kg kNm := 1000Nm

Angaben und Annahmen

Grundlegende Angaben:

Maximale Prüfkraft $P_1 := 7500\text{kN}$
Abstand der Lager (Maß aus der Entwurfskizze) $l_a := 800\text{mm}$

Annahmen für die Auslegung:

Sicherheitsbeiwert (Erhöhung der Kraft) $s_{p1} := 1.5$

Begründung: Die Kraft wurde um den Sicherheitsfaktor erhöht um etwaige Aufbauten, etc. zu berücksichtigen.

Werkstoffauswahl für die Querträger

ausgewählter Werkstoff S355
Werkstoffnummer 1.0122
Streckgrenze $R_{p_S355} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Sicherheitsbeiwert $S_{W1} := 3$

Begründung: Der Sicherheitsbeiwert wurde so hoch gewählt, um etwaige Imperfektionen (schiefe Krafteinleitung, Zwängungen, etc.) zu berücksichtigen.

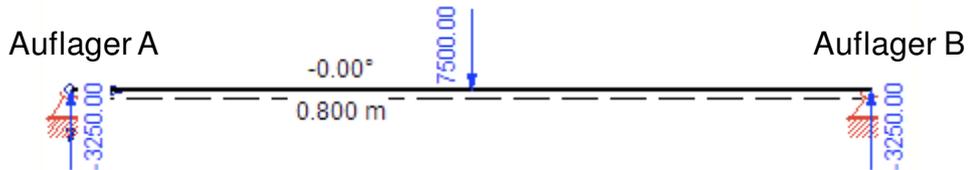
zulässige Spannung $\sigma_{zul1} := \frac{R_{p_S355}}{S_{W1}}$
 $\sigma_{zul1} = 118.33 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Dichte Stahl $\rho_{\text{stahl}} := 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Berechnung der Kraft- und Momentenverläufe

Berechnung der Auslegungskraft

1. Auslegung bei horizontaler Ausführung des Steges

Skizze:



Auflagerkräfte:

Auflagerkraft im Auflager A $F_A := 500\text{kN}$

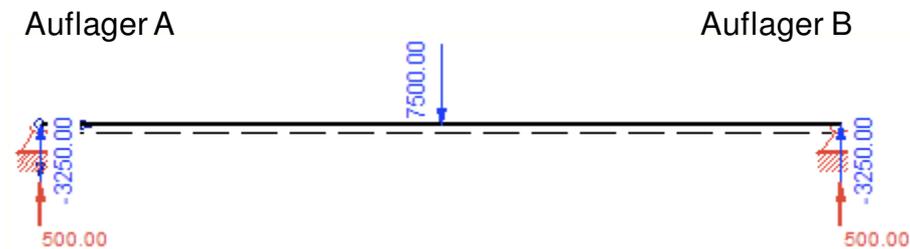
Auflagerkraft im Auflager B $F_B := 500\text{kN}$

Kolbenkraft $F_K := 3250\text{kN}$

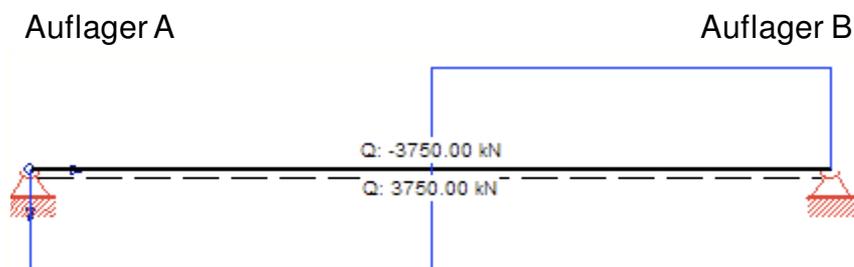
Maximales Schnittmoment in der Mitte des Trägers:

$$M_{s_mitte} := F_A \cdot \frac{l_a}{2} + F_K \cdot \frac{l_a}{2} \quad M_{s_mitte} = 1,5 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$$

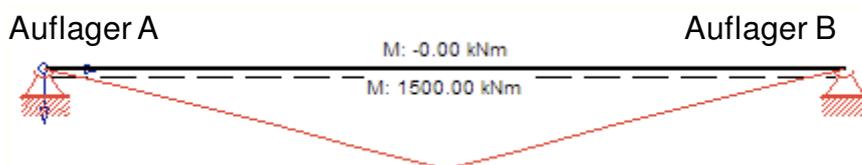
Auflagerberechnung mittels Berechnungsprogramm "Ruck Zuck 6.0"



Querkraftverlauf mittels Berechnungsprogramm "Ruck Zuck 6.0"



Momentenverlauf mittels Berechnungsprogramm "Ruck Zuck 6.0"



Berechnung der statischen Sicherheit in der Mitte des festen Querträgers

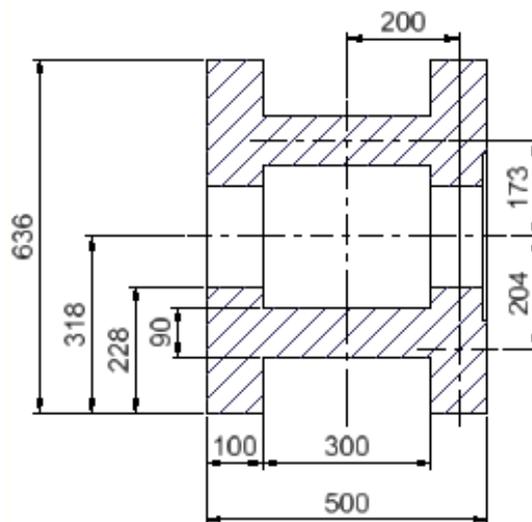
Belastungen im Querschnitt - Mitte

Biegung $M_{s_mitte} = 1.5 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$

Querkraft $Q_{mitte} := 3750 \text{kN}$

Der Querschnitt muss mit einer Vergleichsspannung bemessen werden, da der Querschnitt auf Biegung und Schub belastet ist.

gegebener Querschnitt:



Flächenabmessungen und ihre Schwerpunktsabstände

| | | | |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| $a_{a1} := 100 \text{mm}$ | $h_{a1} := 228 \text{mm}$ | $x_{sa1} := -200 \text{mm}$ | $y_{sa1} := 204 \text{mm}$ |
| $a_{a2} := 100 \text{mm}$ | $h_{a2} := 228 \text{mm}$ | $x_{sa2} := 200 \text{mm}$ | $y_{sa2} := 204 \text{mm}$ |
| $a_{a3} := 100 \text{mm}$ | $h_{a3} := 228 \text{mm}$ | $x_{sa3} := -200 \text{mm}$ | $y_{sa3} := -204 \text{mm}$ |
| $a_{a4} := 100 \text{mm}$ | $h_{a4} := 228 \text{mm}$ | $x_{sa4} := 200 \text{mm}$ | $y_{sa4} := -204 \text{mm}$ |
| $a_{a5} := 300 \text{mm}$ | $h_{a5} := 90 \text{mm}$ | $x_{sa5} := 0 \text{mm}$ | $y_{sa5} := -173 \text{mm}$ |
| $a_{a6} := 300 \text{mm}$ | $h_{a6} := 90 \text{mm}$ | $x_{sa6} := 0 \text{mm}$ | $y_{sa6} := 173 \text{mm}$ |

Flächenberechnung

$$A_{a1} := a_{a1} \cdot h_{a1} \quad A_{a1} = 228 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{a2} := a_{a2} \cdot h_{a2} \quad A_{a2} = 228 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{a3} := a_{a3} \cdot h_{a3} \quad A_{a3} = 228 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{a4} := a_{a4} \cdot h_{a4} \quad A_{a4} = 228 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{a5} := a_{a5} \cdot h_{a5} \quad A_{a5} = 270 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{a6} := a_{a6} \cdot h_{a6} \quad A_{a6} = 270 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{a_ges} := A_{a1} + A_{a2} + A_{a3} + A_{a4} + A_{a5} + A_{a6}$$

$$A_{a_ges} = 1.452 \times 10^3 \cdot \text{cm}^2$$

Berechnung des Flächenträgheitsmoments um die y-Achse

$$I_{ay1} := \frac{a_{a1}^3 \cdot h_{a1}}{12} + A_{a1} \cdot x_{sa1}^2 \quad I_{ay1} = 9.31 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{ay2} := \frac{a_{a2}^3 \cdot h_{a2}}{12} + A_{a2} \cdot x_{sa2}^2 \quad I_{ay2} = 9.31 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{ay3} := \frac{a_{a3}^3 \cdot h_{a3}}{12} + A_{a3} \cdot x_{sa3}^2 \quad I_{ay3} = 9.31 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{ay4} := \frac{a_{a4}^3 \cdot h_{a4}}{12} + A_{a4} \cdot x_{sa4}^2 \quad I_{ay4} = 9.31 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{ay5} := \frac{a_{a5}^3 \cdot h_{a5}}{12} + A_{a5} \cdot x_{sa5}^2 \quad I_{ay5} = 2.025 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{ay6} := \frac{a_{a6}^3 \cdot h_{a6}}{12} + A_{a6} \cdot x_{sa6}^2 \quad I_{ay6} = 2.025 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{a_ges} := I_{ay1} + I_{ay2} + I_{ay3} + I_{ay4} + I_{ay5} + I_{ay6}$$

$$I_{a_ges} = 4.129 \times 10^5 \cdot \text{cm}^4$$

Randfaserabstand

$$e_a := \frac{450 \text{mm}}{2} \quad e_a = 225 \cdot \text{mm}$$

Widerstandsmoment um die y-Achse

$$W_{ay} := \frac{I_{a_ges}}{e_a} \quad W_{ay} = 1.835 \times 10^4 \cdot \text{cm}^3$$

Belastungen im Querschnitt

Biegung $M_{s_mitte} = 1.5 \times 10^6 \text{ J}$

Querkraft $Q_{mitte} = 3.75 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

Berechnung der Vergleichsspannung und der statischen Sicherheit

$$\sigma_{vergl1} := \sqrt{\left(\frac{M_{s_mitte}}{2W_{ay}}\right)^2 + 3\left(\frac{Q_{mitte}}{A_{a_ges}}\right)^2} \quad \sigma_{vergl1} = 60.591 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{stat1} := \frac{\sigma_{zul1}}{\sigma_{vergl1}} \quad S_{stat1} = 1.953$$

Der Querschnitt ist an dieser Stelle ausreichend bemessen.

Berechnung der statischen Sicherheit in der Mitte des beweglichen Querträgers

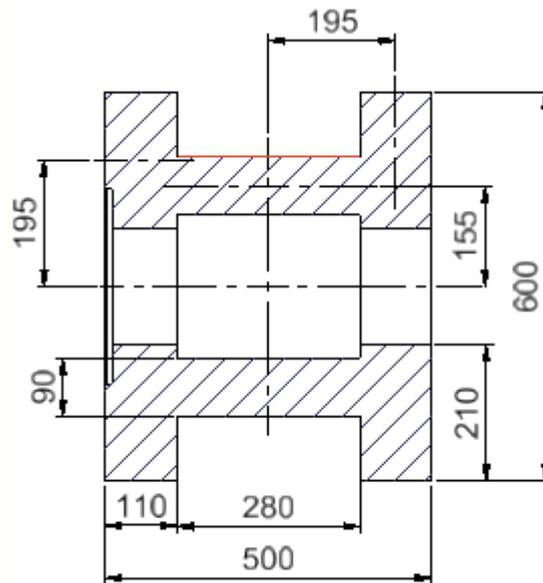
Belastungen im Querschnitt - Mitte

Biegung $M_{s \text{ mitte}} = 1.5 \times 10^3 \cdot \text{kNm}$

Querkraft $Q_{\text{mitte}} = 3.75 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

Der Querschnitt muss mit einer Vergleichsspannung bemessen werden, da der Querschnitt auf Biegung und Schub belastet ist.

gegebener Querschnitt:



Flächenabmessungen und ihre Schwerpunktsabstände

| | | | |
|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| $a_{b1} := 110\text{mm}$ | $h_{b1} := 210\text{mm}$ | $x_{sb1} := -195\text{mm}$ | $y_{sb1} := 195\text{mm}$ |
| $a_{b2} := 110\text{mm}$ | $h_{b2} := 210\text{mm}$ | $x_{sb2} := 195\text{mm}$ | $y_{sb2} := 195\text{mm}$ |
| $a_{b3} := 110\text{mm}$ | $h_{b3} := 210\text{mm}$ | $x_{sb3} := -195\text{mm}$ | $y_{sb3} := -195\text{mm}$ |
| $a_{b4} := 110\text{mm}$ | $h_{b4} := 210\text{mm}$ | $x_{sb4} := 195\text{mm}$ | $y_{sb4} := -195\text{mm}$ |
| $a_{b5} := 280\text{mm}$ | $h_{b5} := 90\text{mm}$ | $x_{sb5} := 0\text{mm}$ | $y_{sb5} := -155\text{mm}$ |
| $a_{b6} := 280\text{mm}$ | $h_{b6} := 90\text{mm}$ | $x_{sb6} := 0\text{mm}$ | $y_{sb6} := 155\text{mm}$ |

Flächenberechnung

$$A_{b1} := a_{b1} \cdot h_{b1} \quad A_{b1} = 231 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{b2} := a_{b2} \cdot h_{b2} \quad A_{b2} = 231 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{b3} := a_{b3} \cdot h_{b3} \quad A_{b3} = 231 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{b4} := a_{b4} \cdot h_{b4} \quad A_{b4} = 231 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{b5} := a_{b5} \cdot h_{b5} \quad A_{b5} = 252 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{b6} := a_{b6} \cdot h_{b6} \quad A_{b6} = 252 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{b_ges} := A_{b1} + A_{b2} + A_{b3} + A_{b4} + A_{b5} + A_{b6}$$

$$A_{a_ges} = 1.452 \times 10^3 \cdot \text{cm}^2$$

Berechnung des Flächenträgheitsmoments um die y-Achse

$$I_{by1} := \frac{a_{b1}^3 \cdot h_{b1}}{12} + A_{b1} \cdot x_{sb1}^2 \quad I_{by1} = 9.017 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{by2} := \frac{a_{b2}^3 \cdot h_{b2}}{12} + A_{b2} \cdot x_{sb2}^2 \quad I_{by2} = 9.017 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{by3} := \frac{a_{b3}^3 \cdot h_{b3}}{12} + A_{b3} \cdot x_{sb3}^2 \quad I_{by3} = 9.017 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{by4} := \frac{a_{b4}^3 \cdot h_{b4}}{12} + A_{b4} \cdot x_{sb4}^2 \quad I_{by4} = 9.017 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{by5} := \frac{a_{b5}^3 \cdot h_{b5}}{12} + A_{b5} \cdot x_{sb5}^2 \quad I_{by5} = 1.646 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{by6} := \frac{a_{b6}^3 \cdot h_{b6}}{12} + A_{b6} \cdot x_{sb6}^2 \quad I_{by6} = 1.646 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

$$I_{b_ges} := I_{by1} + I_{by2} + I_{by3} + I_{by4} + I_{by5} + I_{by6}$$

$$I_{b_ges} = 3.936 \times 10^5 \cdot \text{cm}^4$$

Randfaserabstand

$$e_b := \frac{450\text{mm}}{2} \quad e_b = 225 \cdot \text{mm}$$

Widerstandsmoment um die y-Achse

$$W_{by} := \frac{I_{b_ges}}{e_b} \quad W_{by} = 1.749 \times 10^4 \cdot \text{cm}^3$$

Belastungen im Querschnitt

Biegung $M_{s_mitte} = 1.5 \times 10^6 \text{ J}$

Querkraft $Q_{mitte} = 3.75 \times 10^3 \cdot \text{kN}$

Berechnung der Vergleichsspannung und der statischen Sicherheit

$$\sigma_{vergl2} := \sqrt{\left(\frac{M_{s_mitte}}{2W_{by}}\right)^2 + 3\left(\frac{Q_{mitte}}{A_{b_ges}}\right)^2} \quad \sigma_{vergl1} = 60.591 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{stat2} := \frac{\sigma_{zul1}}{\sigma_{vergl2}} \quad S_{stat2} = 1.893$$

Der Querschnitt ist an dieser Stelle ausreichend bemessen.

Flächenpressung

Vorgaben:

Masse des Querträgers

$$m_{\text{Quertraeger}} := 4000 \text{ kg}$$

Neigung der Prüfmaschine

$$\alpha := 60^\circ$$

zulässige Flächenpressung (Herstellerangabe Gleitflächenlager)

$$p_{zul} := 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Berechnung der Gewichtskraft

Gewichtskraft

$$F_{\text{Gewicht}} := m_{\text{Quertraeger}} \cdot g$$

Normalkomponente der Gewichtskraft

$$F_N := F_{\text{Gewicht}} \cdot \cos(\alpha)$$

Tangentialkomponente der Gewichtskraft

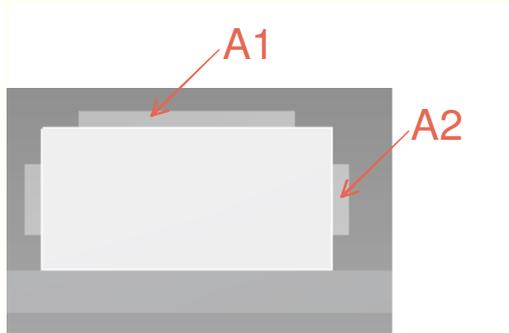
$$F_T := F_{\text{Gewicht}} \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_{\text{Gewicht}} = 39.227 \cdot \text{kN}$$

$$F_N = 19.613 \cdot \text{kN}$$

$$F_T = 33.971 \cdot \text{kN}$$

Berechnung der Flächenpressung



Fläche A_1 wird mit der Normalkomponente F_N der Gewichtskraft belastet und Fläche A_2 mit der Tangentialkomponente F_T der Gewichtskraft.

Fläche A_1 $A_1 := 28800 \text{ mm}^2$

Fläche A_2 $A_2 := 9600 \text{ mm}^2$

$$p_1 := \frac{F_N}{A_1} \quad p_1 = 0.681 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

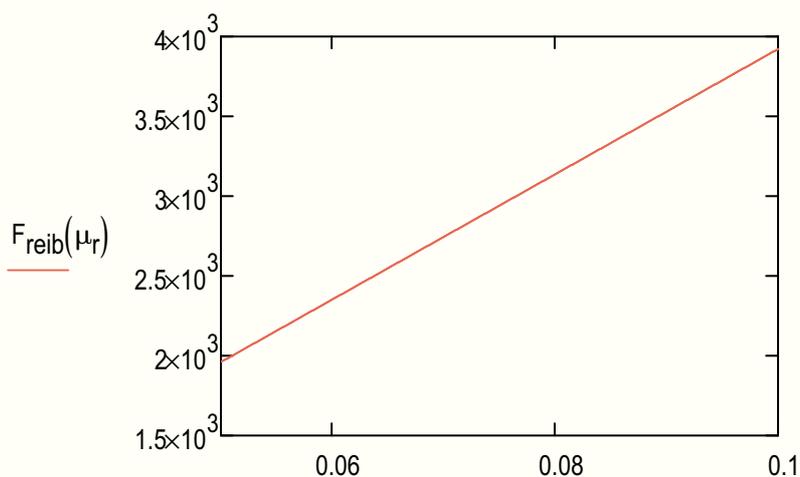
$$p_2 := \frac{F_T}{A_2} \quad p_2 = 3.539 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$p_{\text{zul}} = 10 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Abschätzung der Reibkraft

Laut Herstellerangaben (Quelle: <http://www.glt-gleitlagertechnik.de>) sind für Trockenlager Reibwerte zwischen 0,05 bis 0,1 zu erreichen.

$$F_{\text{reib}}(\mu_r) := F_{\text{Gewicht}} \cdot \mu_r \quad F_{\text{Gewicht}} = 39.227 \cdot \text{kN}$$

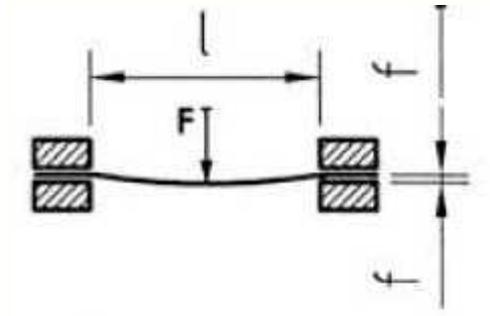


Anmerkung: Das Berechnungsprogramm kann keine Einheiten bei Diagrammen darstellen. Die Reibkraft $F_{\text{reib}}(\mu_r)$ ist in [N] und μ_r ist [-] dargestellt.

Vereinfachte Bestimmung der Durchbiegung

$$f = \frac{F \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I \cdot 10^4}$$

F = Belastung in N
 l = Profillänge in mm
 I = Flächenträgheitsmoment in cm^4
 E = Elastizitätsmodul in N/mm^2
 $E_A = 70.000 \text{ N/mm}^2$



Quelle: www.item.at

Prüfkraft

$$F_{\max} := 5000 \text{ kN}$$

Gewichtskraft

$$F_{\text{Gewicht}} = 39.227 \cdot \text{kN}$$

Trägerlänge

$$l_{\text{Traeger}} := 1500 \text{ mm}$$

Trägheitsmoment fester Träger

$$I_{\text{ges}_1} := I_{a_ges}$$

Trägheitsmoment beweglicher Träger

$$I_{\text{ges}_2} := I_{b_ges}$$

E-Modul

$$E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Gesamtkraft

$$F_{\text{ges}} := F_{\max} + F_{\text{Gewicht}}$$

$$F_{\text{ges}} = 5.039 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Durchbiegung des festen Querträgers

$$f_1 := \frac{F_{\text{ges}} \cdot l_{\text{Traeger}}^3}{384 \cdot E \cdot I_{\text{ges}_1}}$$

$$f_1 = 0.051 \cdot \text{mm}$$

Durchbiegung des beweglichen Querträgers

$$f_2 := \frac{F_{\text{ges}} \cdot l_{\text{Traeger}}^3}{384 \cdot E \cdot I_{\text{ges}_2}}$$

$$f_2 = 0.054 \cdot \text{mm}$$

Schweißnahtberechnung

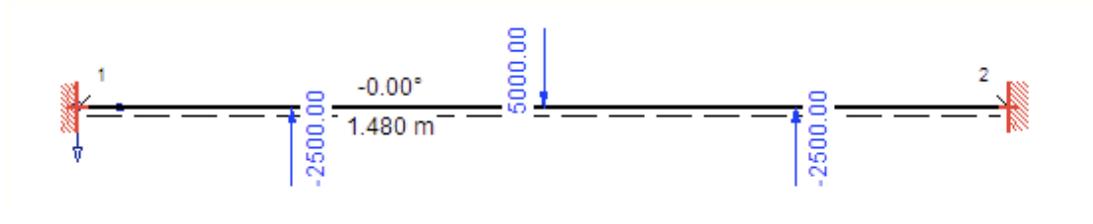
Berechnung der Auflagerkräfte sowie des Querkraft- und Momentenverlaufes während des Versuches

Anmerkung Das Gewicht der Querträger wurde in den Berechnungen vernachlässigt.

Skizze:

Auflager 1

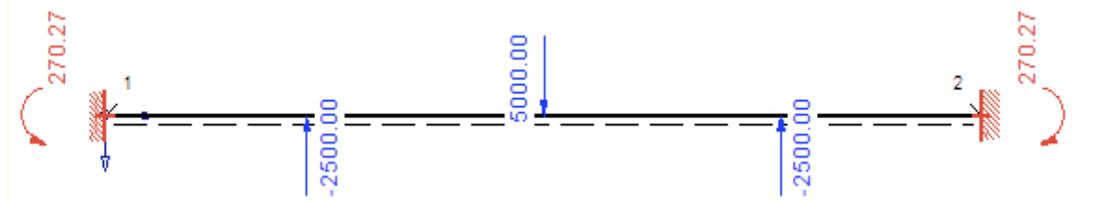
Auflager 2



Auflagerberechnung mittels Berechnungsprogramm "Ruck Zuck 6.0"

Auflager 1

Auflager 2



Als Auflagerreaktionen treten nur Momente auf.

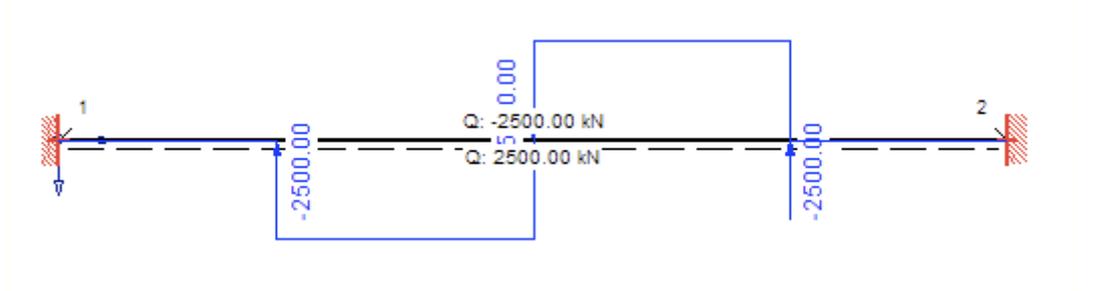
Auflagermoment im Lager A: $M_A := 270.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Auflagermoment im Lager B: $M_B := 270.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Querkraftverlauf mittels Berechnungsprogramm "Ruck Zuck 6.0"

Auflager 1

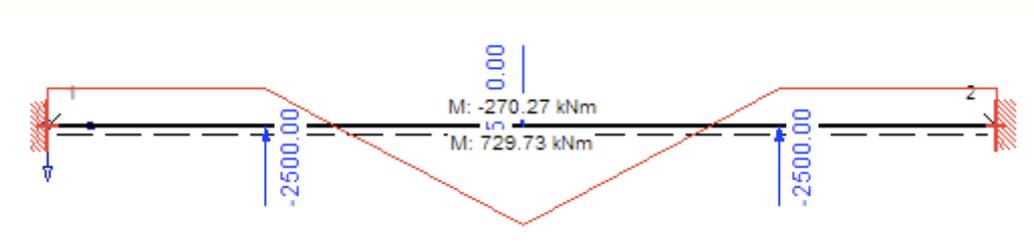
Auflager 2



Momentenverlauf mittels Berechnungsprogramm "Ruck Zuck 6.0"

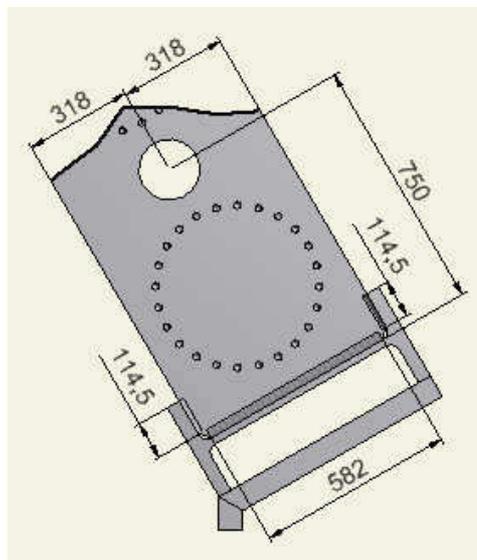
Auflager 1

Auflager 2



Grobe Auslegung der Schweißnahtdicke

Skizze



Annahmen:

Schweißnahtlänge 1

$$l_{w1} := 582\text{mm}$$

Schweißnahtlänge 2

$$l_{w2} := 114\text{mm}$$

Trägerbreite

$$b_1 := 500\text{mm}$$

Bleekdicke (Querträger)

$$t_1 := 100\text{mm}$$

Bleekdicke (Steg des I-Trägers)

$$t_2 := 22\text{mm}$$

Bleekdicke (Gurt des I-Trägers)

$$t_3 := 40\text{mm}$$

Minimale und maximale Schweißnaht nach Geometriebedingungen [2]:

Für Kehlnähte gilt:

| | | |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------|
| minimale Schweißnahtdicke | $a_{\min} := \sqrt{22} - 0.5$ | $a_{\min} = 4.19$ |
| maximale Schweißnahtdicke | $a_{\max} := 0.7 \cdot 22$ | $a_{\max} = 15.4$ |
| gewählte Schweißnahtdicke | $a_{\text{gew}} := 10\text{mm}$ | |

$$y_s := \frac{(a_{\text{gew}} \cdot l_{w1}) \cdot \frac{a_{\text{gew}}}{2} + (a_{\text{gew}} \cdot l_{w1}) \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot a_{\text{gew}} + b_1 \right)}{2 \cdot a_{\text{gew}} \cdot l_{w1}} \quad y_s = 260 \cdot \text{mm}$$

$$e_y := b_1 + 2 \cdot a_{\text{gew}} - y_s \quad e_y = 260 \cdot \text{mm}$$

$$W_1 := \frac{2}{e_y} \left[\frac{a_{\text{gew}}^3 \cdot l_{w1}}{12} + a_{\text{gew}} \cdot l_{w1} \cdot \left(e_y - \frac{a_{\text{gew}}}{2} \right)^2 \right]$$

$$W_1 = 2.911 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

$$\sigma_{b.\text{max}} := \frac{M_A}{W_1} \quad \sigma_{b.\text{max}} = 92.839 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Bestimmung der zulässigen statischen Spannung

Nahtbeiwert (für Kehlnähte) $\nu := 0.8$

Güteklasse der Schweißnaht
(Schweißer werksneutral geprüft, Naht nicht geprüft) $\nu_2 := 0.8$

Streckgrenze $R_e := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$\sigma_A := \nu \nu_2 \cdot R_e \quad \sigma_A = 227.2 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{\text{stat}} := \frac{\sigma_A}{\sigma_{b.\text{max}}} \quad S_{\text{stat}} = 2.447$$

Die Biegespannung ist geringer als die zulässige Spannung. Die statische Sicherheit beträgt 2,4.

Festigkeitsnachweis nach DIN 15018

DIN 15018 behandelt die Betriebsfestigkeitsrechnung für Schweißnähte im Kranbau.

Annahmen:

| | |
|------------------|--------------------------------|
| Schweißnahtlänge | $l_{w1} = 582 \cdot \text{mm}$ |
| Bleekdicke 1 | $t_1 = 100 \cdot \text{mm}$ |
| Bleekdicke 2 | $t_2 = 22 \cdot \text{mm}$ |

zulässige Spannungen für die Bauteile [3]:

| | |
|------------------------------|--|
| zulässige Vergleichsspannung | $\sigma_{b.v.zul} := 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ |
| zulässige Zugspannung | $\sigma_{d.Zug.zul} := 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ |
| zulässige Biegespannung | $\sigma_{d.Biege.zul} := 210 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ |
| zulässige Schubspannung | $\tau_{d.zul} := 138 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ |

zulässige Spannungen für die Schweißkehlnaht [4]:

| | |
|-------------------------|--|
| zulässige Zugspannung | $\sigma_{w.Zug.zul} := 170 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ |
| zulässige Biegespannung | $\sigma_{w.Biege.zul} := 195 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ |
| zulässige Schubspannung | $\tau_{w.zul} := 170 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ |

Berechnung der Vergleichsspannung

In der Schweißnaht tritt eine Normalspannung auf die normal zur Schweißnaht liegt.

Die Vergleichsspannung wird wie folgt berechnet [6]:

$$\sigma_{wv} = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_p^2 - \sigma_n \cdot \sigma_p + 2 \cdot (\tau_n^2 \cdot \tau_p^2)} \leq \sigma_{z.zul}$$

| | |
|------------|---|
| σ_n | Normalspannung normal zur Schweißnaht |
| σ_p | Normalspannung parallel zur Schweißnaht |
| τ_n | Schubspannung normal zur Schweißnaht |
| τ_p | Schubspannung parallel zur Schweißnaht |

wobei sich die Werte wie folgt berechnen:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_{z.zul}}{\sigma_{nz.zul}} \cdot \sigma_n(z)$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma_{z.zul}}{\sigma_{nd.zul}} \cdot \sigma_n(d)$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{z.zul}}{\sigma_{nz.zul}} \cdot \sigma_p(z)$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{z.zul}}{\sigma_{nd.zul}} \cdot \sigma_p(d)$$

| | |
|-------------------|---|
| $\sigma_{z.zul}$ | zulässige Zugspannung im Bauteil |
| $\sigma_{nz.zul}$ | zulässige Zugspannung in der Schweißnaht |
| $\sigma_{nd.zul}$ | zulässige Druckspannung in der Schweißnaht |
| $\sigma_n(z)$ | vorhandene Zugspannung normal zur Schweißnaht |
| $\sigma_n(d)$ | vorhandene Druckspannung normal zur Schweißnaht |
| $\sigma_p(z)$ | vorhandene Zugspannung parallel zur Schweißnaht |
| $\sigma_n(d)$ | vorhandene Druckspannung parallel zur Schweißnaht |

gewählte Schweißnahtdicke

$$a_w := 6\text{mm}$$

Widerstandsmoment der Schweißnaht

$$W_1 = 2.911 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

Biegespannung in der Schweißnaht

$$\sigma_{w.n} := \frac{M_A}{2 \cdot W_1}$$

$$\sigma_{w.n} = 46.419 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{n_z} := \frac{\sigma_{d.Zug.zul}}{\sigma_{w.Zug.zul}} \cdot \sigma_{w.n}$$

$$\sigma_{n_z} = 65.533 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{n_d} := \frac{\sigma_{d.Biege.zul}}{\sigma_{w.Zug.zul}} \cdot \sigma_{w.n}$$

$$\sigma_{n_d} = 57.342 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Vergleichspannung 1 (Gewichtung auf Zugbelastung)

$$\sigma_{v1} := \sqrt{\sigma_{n_z}^2}$$

$$\sigma_{v1} = 65.533 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Vergleichspannung 2 (Gewichtung auf Biegung)

$$\sigma_{v1} \geq \sigma_{v2}$$

$$\sigma_{v2} := \sqrt{\sigma_{n_d}^2}$$

$$\sigma_{v2} = 57.342 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

zulässige Vergleichsspannung

$$\sigma_{b.v.zul} = 240 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Die Vergleichsspannung ist kleiner als, die zulässige Spannung. Die Schweißnaht ist ausreichend bemessen.

1.3 Betriebsfestigkeitsnachweis

$$\left(\frac{\sigma_{wx}}{\sigma_{wxD.zul}} \right)^2 \leq 1.1$$

$$\sigma_{wx} = \sigma_{wxm} + \sigma_{wxa}$$

$$\sigma_{wxm}$$

Mittelspannung in der Schweißnaht

$$\sigma_{wxa}$$

Spannungsausschlag in der Schweißnaht

Annahme:

Die Belastung ist eine reine Wechselbeanspruchung ($\kappa=-1$).

$$\sigma_{wxm} := \frac{\sigma_{w.n}}{2}$$

$$\sigma_{wxm} = 23.21 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{wxa} := \frac{\sigma_{w.n}}{2}$$

$$\sigma_{wxa} = 23.21 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{wx} := \sigma_{wxm} + \sigma_{wxa}$$

$$\sigma_{wx} = 46.419 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Kerbfall aus DIN 15018: K4

Spannungskollektiv: S1 - für Bauteile, die in kleiner Häufigkeit der Höchstbelastung unterliegen

Spannungsspielbereich: N2 (über $1 \cdot 10^5$ bis $6 \cdot 10^5$) - Regelmäßige Benutzung bei unterbrochenem Betrieb

Aus dem Spannungskollektiv und dem Spannungsspielbereich wird die Beanspruchungsgruppe bestimmt. => B2

$$\sigma_{\text{wxD.zul}} := 108 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{\text{wxD.zul}}}{\sigma_{\text{wx}}} = 2.327$$

Literatur

- [1] B. Schlecht, "Maschinenelemente 1", Tabelle 7.7., Seite 343, Pearson Studium, 2007
- [2] B. Schlecht, "Maschinenelemente 1", Tabelle 7.6., Seite 331, Pearson Studium, 2007
- [3] B. Schlecht, "Maschinenelemente 1", Tabelle 7.10., Seite 345, Pearson Studium, 2007
- [4] B. Schlecht, "Maschinenelemente 1", Tabelle 7.11., Seite 346, Pearson Studium, 2007
- [5] B. Schlecht, "Maschinenelemente 1", Tabelle 7.12., Seite 347, Pearson Studium, 2007
- [6] B. Schlecht, "Maschinenelemente 1", Pearson Studium, 2007

Anhang H - Energiebetrachtung bei Gewaltbruch

Einheitdefinitionen (nicht im Programm vordefiniert)

$$\text{kJ} := 10^3 \text{J} \quad \text{kNm} := 10^3 \text{N} \cdot \text{m} \quad \text{h} := 3600 \text{s}$$

Annahme: Probe

| | |
|--|--|
| Probenlänge | $l_{\text{probe}} := 2.5 \text{m}$ |
| elastische Probenlänge ($R_{p0,2}$) | $l_x := 0.02 \cdot l_{\text{probe}} \quad l_x = 50 \cdot \text{mm}$ |
| plastische Probenlänge | $l_y := 0.3 l_{\text{probe}} - l_x \quad l_y = 700 \cdot \text{mm}$ |
| E-Modul | $E := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ |
| Schub-Modul | $G_{\text{Schub}} := 81000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ |
| maximaler Durchmesser (Rohr, Hohlstab) | $d_{\text{max}} := 150 \text{mm}$ |
| maximaler Querschnitt | $A_{\text{max}} := \frac{d_{\text{max}}^2 \cdot \pi}{4} \quad A_{\text{max}} = 0.018 \cdot \text{m}^2$ |
| maximales Probengewicht | $m_{\text{Probe}} := 80 \text{kg}$ |

Vorgaben - Hydraulikzylinder

| | |
|---------------------------------|--|
| maximale Prüfkraft | $F_{\text{max}} := 5000 \text{kN}$ |
| maximaler Hub | $h_{\text{max}} := 800 \text{mm}$ |
| maximale Ausfahrgeschwindigkeit | $v_{\text{Kolben.max}} := 20 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$ |

Vorgaben - Prüfmaschine

| | |
|----------------------------------|---|
| Gesamtgewicht der Prüfmaschine | $m_{\text{gesamt}} := 9565 \text{kg}$ |
| Maximales Moment im Querträger | $M_{\text{max}} := 730 \text{kNm}$ |
| Maximale Querkraft im Querträger | $Q_{\text{max}} := \frac{F_{\text{max}}}{2} \quad Q_{\text{max}} = 2.5 \times 10^3 \cdot \text{kN}$ |

Konstruktive Angaben - fester Querträger

| | |
|---|---|
| Trägheitsmoment des festen Querträgers | $J_{\text{ges}_1} := 3.13 \cdot 10^5 \text{cm}^4$ |
| Länge des festen Querträgers | $l_1 := 1500 \text{mm}$ |
| Querschnittsfläche des festen Querträgers | $A_{\text{ges.1}} := 181200 \text{mm}^2$ |
| Schubfläche des festen Querträgers | $A_{q1} := 54000 \text{mm}^2$ |
| Querhauptvolumen des festen Querträgers (aus "Inventor 2011" bestimmt) | $V_1 := 265169222 \text{mm}^3$ |
| Masse des festen Querträgers | $m_1 := 2082 \text{kg}$ |

Konstruktive Angaben - beweglicher Querträger

| | |
|--|---|
| Trägheitsmoment des beweglichen Querträgers | $J_{\text{ges}_2} := 2.88 \cdot 10^5 \text{cm}^4$ |
| Länge des beweglichen Querträgers | $l_2 := 1352 \text{mm}$ |
| Querschnittsfläche des beweglichen Querträgers | $A_{\text{ges.2}} := 182400 \text{mm}^2$ |
| Schubfläche des beweglichen Querträgers | $A_{q2} := 50400 \text{mm}^2$ |
| Querhauptvolumen des beweglichen Querträgers (aus "Inventor 2011" bestimmt) | $V_2 := 240202334 \text{mm}^3$ |
| Masse des beweglichen Querträgers | $m_2 := 1886 \text{kg}$ |

Formänderungsenergie (Verzerrungsenergie)

Zugstab

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \int_0^l \frac{F^2}{E \cdot A} dx$$

| | |
|-----|------------------------------|
| F | Zugkraft [N] |
| E | E-Modul [N/mm ²] |
| A | Fläche [mm ²] |
| x | Länge [mm] |
| E*A | Zugsteifigkeit |

Biegestab

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \int_0^l \frac{M^2}{E \cdot J} dx$$

| | |
|-----|------------------------------------|
| M | Biegemoment [Nm] |
| E | E-Modul [N/mm ²] |
| J | Trägheitsmoment [mm ⁴] |
| x | Länge [mm] |
| E*J | Biegesteifigkeit |

Schub

$$\Pi = \int_0^\gamma \tau(\gamma) \cdot V_0 d\gamma = \int_0^\gamma G \cdot V_0 \cdot \gamma d\gamma = \frac{1}{2} \cdot G \cdot V_0 \cdot \gamma^2 = \frac{\tau^2 \cdot V_0}{2 \cdot G}$$

| | |
|----------|------------------------------------|
| τ | Schubspannung [N/mm ²] |
| G | Schubmodul [N/mm ²] |
| γ | Schubwinkel [°] |
| V | Volumen [mm ³] |

Druckenergie

$$W = \int_0^V p dV$$

$$W = \int_0^l p \cdot A dx$$

| | |
|---|---------------------------|
| p | Druck [bar] |
| V | Volumen [m ³] |
| A | Fläche [m ²] |
| x | Länge [m] |

Energiebetrachtung des festen Querträgers vor und nach dem Bruch der Probe

Anmerkung: Die Verzerrungsenergie der Probe geht in kinetische Energie und Verformungsenergie der Probe über (Berechnung in der Folge).

Energie vor dem Bruch der Probe

$$E_{\text{Anf.1}} = U_{\text{Träger}_\text{Bieg}_1} + U_{\text{Träger}_\text{Schub}_1}$$

$U_{\text{Träger}}$ Verzerrungsenergie des festen Querträgers

Energie nach dem Bruch der Probe

$$E_{\text{Ende.1}} = E_{\text{kin1}}$$

E_{kin} kinetische Energie (=> Berechnung des Impulses auf die Zugprüfmaschine)

Berechnung der einzelnen Energiebeiträge für den festen Querträger

Verzerrungsenergie des festen Querträgers

$$U_{\text{Träger_Bieg_1}} := \frac{1}{2} \cdot \frac{M_{\text{max}}^2}{E \cdot J_{\text{ges_1}}} \cdot l_1 \quad U_{\text{Träger_Bieg_1}} = 0.608 \cdot \text{kJ}$$

$$U_{\text{Träger_Schub_1}} := \frac{\left(\frac{Q_{\text{max}}}{A_{q1}}\right)^2}{2 \cdot G_{\text{Schub}}} \cdot V_1 \quad U_{\text{Träger_Schub_1}} = 3.508 \cdot \text{kJ}$$

Gesamtenergie des festen Querträgers vor dem Bruch

$$E_{\text{Anf.1}} := U_{\text{Träger_Bieg_1}} + U_{\text{Träger_Schub_1}}$$

$$E_{\text{Anf.1}} = 4.116 \cdot \text{kJ}$$

Gesamtenergie des festen Querträgers nach dem Bruch

$$E_{\text{Ende.1}} := E_{\text{Anf.1}} \quad E_{\text{Ende.1}} = 4.116 \cdot \text{kJ}$$

Energiebetrachtung des beweglichen Querträgers vor und nach dem Bruch der Probe

Anmerkung: Die Verzerrungsenergie der Probe geht in kinetische Energie und Verformungsenergie der Probe über (Berechnung in der Folge).

Energie vor dem Bruch der Probe

$$E_{\text{Anf.2}} = E_{\text{kin.Träger}} + U_{\text{Träger_Bieg_2}} + U_{\text{Träger_Schub_2}}$$

$E_{\text{kin.Träger}}$ kinetische Energie des beweglichen Querträgers

$U_{\text{Träger}}$ Verzerrungsenergie des beweglichen Querträgers

Energie nach dem Bruch der Probe

$$E_{\text{Ende.2}} = E_{\text{kin.2}}$$

E_{kin} kinetische Energie (=> Berechnung des Impulses auf die Zugprüfmaschine bzw. auf den beweglichen Querträger)

Verzerrungsenergie des beweglichen Querträgers

$$U_{\text{Träger_Bieg_2}} := \frac{1}{2} \cdot \frac{M_{\text{max}}^2}{E \cdot J_{\text{ges_2}}} \cdot l_2 \quad U_{\text{Träger_Bieg_2}} = 0.596 \cdot \text{kJ}$$

$$U_{\text{Träger_Schub}_2} := \frac{\left(\frac{Q_{\text{max}}}{A_{q2}}\right)^2}{2 \cdot G_{\text{Schub}}} \cdot V_2 \quad U_{\text{Träger_Schub}_1} = 3.508 \cdot \text{kJ}$$

Gesamtenergie des beweglichen Querträgers vor dem Bruch

$$E_{\text{Anf.2}} := U_{\text{Träger_Bieg}_2} + U_{\text{Träger_Schub}_2} + \frac{m_2 \cdot v_{\text{Kolben.max}}^2}{2}$$

$$E_{\text{Anf.2}} = 4.244 \cdot \text{kJ}$$

Gesamtenergie des beweglichen Querträgers nach dem Bruch

$$E_{\text{Ende.2}} := E_{\text{Anf.2}} \quad E_{\text{Ende.2}} = 4.244 \cdot \text{kJ}$$

Energiebetrachtung der Probe

Die Verzerrungsenergie besteht aus einem elastischen und plastischen Anteil. Der plastische Anteil der Verzerrungsenergie geht in die Verformungsenergie der Probe über, der elastische Anteil in die kinetische Energie.

$$U_{\text{Stab}} := \frac{1}{2} \cdot \frac{F_{\text{max}}^2}{E \cdot A_{\text{max}}} \cdot l_x \quad U_{\text{Stab}} = 0.168 \cdot \text{kJ}$$

$$E_{\text{kin.Probe}} := U_{\text{Stab}} \quad E_{\text{kin.Probe}} = \frac{m_{\text{probe}} \cdot v_{\text{Probe}}^2}{2}$$

$$v_{\text{Probe}} := \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{kin.Probe}}}{m_{\text{Probe}}}} \quad v_{\text{Probe}} = 2.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Anhang I – Beispiele für Gefährdungen

Beispiele für Gefährdungen nach ÖNORM EN ISO 12100-1.

| Art oder Gruppe (a) | Beispiele für Gefährdungen | |
|--|---|--|
| | Ursprung (b) | Mögliche Folgen |
| Mechanische Gefährdungen | <ul style="list-style-type: none"> - Beschleunigung/Abbremsung (kinetische Energie); <ul style="list-style-type: none"> - spitze Teile; - Annäherung eines sich bewegenden Teils an ein feststehendes Teil; <ul style="list-style-type: none"> - schneidende Teile; - elastische Elemente; - herabfallende Gegenstände; <ul style="list-style-type: none"> - Schwerkraft (gespeicherte Energie); - Höhe gegenüber dem Boden; <ul style="list-style-type: none"> - Hochdruck; - Beweglichkeit der Maschine; <ul style="list-style-type: none"> - sich bewegende Teile; - rotierende Teile; - raue, rutschige Oberfläche; <ul style="list-style-type: none"> - scharfe Kanten; - Standfestigkeit/-sicherheit; <ul style="list-style-type: none"> - Vakuum. | <ul style="list-style-type: none"> - Überfahren werden; - Weggeschleudert werden; <ul style="list-style-type: none"> - Quetschen; - Schneiden oder Abschneiden; - Einziehen oder Fangen; <ul style="list-style-type: none"> - Erfassen; - Reiben oder Abschürfen; <ul style="list-style-type: none"> - Stoß; - Eindringen von unter Druck stehenden Medien; <ul style="list-style-type: none"> - Scheren; - Ausrutschen, Stolpern und Stürzen; - Durchstich oder Einstich; <ul style="list-style-type: none"> - Ersticken. |
| <p>(a) Für jede Art oder Gruppe von Gefährdungen können sich manche möglichen Folgen auf mehrere Gefährdungsursprünge beziehen.</p> <p>(b) Ein Gefährdungsursprung kann mehrere mögliche Folgen haben.</p> | | |

| Art oder Gruppe (a) | Beispiele für Gefährdungen | |
|--|--|--|
| | Ursprung (b) | Mögliche Folgen |
| Elektrische Gefährdungen | <ul style="list-style-type: none"> - Lichtbogen; - elektromagnetische Vorgänge; - elektrostatische Vorgänge; - spannungsführende Teile; - unzureichender Abstand zu unter Hochspannung stehenden Teilen; - Überlast; - Teile, die im Fehlerzustand spannungsführend geworden sind; - Kurzschluss; - Wärmestrahlung. | <ul style="list-style-type: none"> - Verbrennung; - chemische Reaktionen; - Auswirkungen auf medizinische Implantate; - tödlicher Stromschlag; - Stürzen, Weggeschleudert werden; - Feuer; - Herausschleudern von geschmolzenen Teilen; - (elektrischer) Schlag. |
| Thermische Gefährdungen | <ul style="list-style-type: none"> - Explosion; - Flamme; - Objekte oder Materialien hoher oder niedriger Temperatur; - Strahlung von Wärmequellen. | <ul style="list-style-type: none"> - Verbrennung; - Dehydrierung; - Unbehagen; - Erfrierung; - Verletzungen durch Strahlung von Wärmequellen; - Verbrühung. |
| <p>(a) Für jede Art oder Gruppe von Gefährdungen können sich manche möglichen Folgen auf mehrere Gefährdungsursprünge beziehen.</p> <p>(b) Ein Gefährdungsursprung kann mehrere mögliche Folgen haben.</p> | | |

| Art oder Gruppe (a) | Beispiele für Gefährdungen | |
|--|---|--|
| | Ursprung (b) | Mögliche Folgen |
| Lärmgefährdungen | <ul style="list-style-type: none"> - Kavitationsvorgänge; - Abluftsystem; - mit hoher Geschwindigkeit austretendes Gas; - Herstellungsprozess (Stanzen, Schneiden usw.); - bewegliche Teile; - reibende Flächen; - mit Unwucht rotierende Teile; - pfeifende Pneumatik-Einrichtungen; - verschlissene Teile. | <ul style="list-style-type: none"> - Unbehagen; - Bewusstseinsverlust; - Gleichgewichtsstörung; - bleibender Hörverlust; - Stress; - Tinnitus (Ohrensausen); - Ermüdung; - alle weiteren (z. B. mechanischen, elektrischen) Probleme als Folge einer Störung der Sprachkommunikation oder einer Störung akustischer Signale. |
| Schwingungsgefährdungen | <ul style="list-style-type: none"> - Kavitationsvorgänge; - Fehlausrichtung sich bewegender Teile; - bewegliche Ausrüstung; - reibende Flächen; - mit Unwucht rotierende Teile; - schwingende Ausrüstung; - verschlissene Teile. | <ul style="list-style-type: none"> - Unbehagen; - Erkrankungen der unteren Wirbelsäule; - neurologische Erkrankung; - Knochengelenkschaden; - Wirbelsäulenverletzung; - Gefäßerkrankung. |
| <p>(a) Für jede Art oder Gruppe von Gefährdungen können sich manche möglichen Folgen auf mehrere Gefährdungsursprünge beziehen.</p> <p>(b) Ein Gefährdungsursprung kann mehrere mögliche Folgen haben.</p> | | |

| Art oder Gruppe (a) | Beispiele für Gefährdungen | |
|--|---|--|
| | Ursprung (b) | Mögliche Folgen |
| Strahlungsgefährdungen | <ul style="list-style-type: none"> - ionisierende Strahlungsquelle; - niederfrequente elektromagnetische Strahlung; - optische Strahlung (infrarot, sichtbar und ultraviolett), einschließlich Laserstrahlen; - hochfrequente elektromagnetische Strahlung. | <ul style="list-style-type: none"> - Verbrennung; - Augen- und Hautschädigung; - Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit; - genetische Veränderung; - Kopfschmerzen, Schlaflosigkeit usw. |
| Material-/ Substanzgefährdungen | <ul style="list-style-type: none"> - Aerosol; - biologische und mikrobiologische (virale oder bakterielle) Substanz; - Brennstoff; - Staub; - Explosivstoff; - Fasern; - feuergefährliches Material; - Flüssigkeit; - Dämpfe; - Gas; - Nebel; - Oxidationsmittel. | <ul style="list-style-type: none"> - Atembeschwerden, Ersticken; - Krebs; - Korrosion; - Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit; - Explosion; - Feuer; - Infektion; - Veränderung des Erbguts; - Vergiftung; - Sensibilisierung. |
| <p>(a) Für jede Art oder Gruppe von Gefährdungen können sich manche möglichen Folgen auf mehrere Gefährdungsursprünge beziehen.</p> <p>(b) Ein Gefährdungsursprung kann mehrere mögliche Folgen haben.</p> | | |

| Art oder Gruppe (a) | Beispiele für Gefährdungen | |
|--|---|---|
| | Ursprung (b) | Mögliche Folgen |
| Ergonomische Gefährdungen | <ul style="list-style-type: none"> - Zugang; - Gestaltung oder Anordnung von Anzeigen und optischen Displays; - Gestaltung, Anordnung oder Erkennung von Steuerungseinrichtungen; - Anstrengung; - Flackern, Blenden, Schattenbildung und stroboskopische Effekte; - örtliche Beleuchtung; - psychische Überbelastung/ Unterforderung; - Körperhaltung; - sich wiederholende Tätigkeiten; - Sichtbarkeit. | <ul style="list-style-type: none"> - Unbehagen; - Ermüdung; - Störungen des Bewegungsapparates; - Stress; - alle weiteren (z. B. mechanischen, elektrischen) Probleme als Folge menschlichen Fehlverhaltens. |
| <p>(a) Für jede Art oder Gruppe von Gefährdungen können sich manche möglichen Folgen auf mehrere Gefährdungsursprünge beziehen.</p> <p>(b) Ein Gefährdungsursprung kann mehrere mögliche Folgen haben.</p> | | |

| Art oder Gruppe (a) | Beispiele für Gefährdungen | |
|--|--|--|
| | Ursprung (b) | Mögliche Folgen |
| Gefährdungen im Zusammenhang mit der Einsatzumgebung der Maschine | <ul style="list-style-type: none"> - Staub und Nebel; - elektromagnetische Störungen; - Blitzschlag; - Feuchtigkeit; - Verunreinigungen; - Schnee; - Temperatur; - Wasser; - Wind; - Sauerstoffmangel. | <ul style="list-style-type: none"> - Verbrennung; - leichte Erkrankungen; - Ausrutschen, Stürzen; - Ersticken; - alle weiteren Probleme, die als Folge der Auswirkungen der Gefährdungsquellen an der Maschine oder an Teilen der Maschine auftreten. |
| Kombination von Gefährdungen | - z. B. sich wiederholende Tätigkeit + Anstrengung + hohe Umgebungstemperatur | - z. B. Dehydrierung, Bewusstseinsverlust, Hitzeschock. |
| <p>(a) Für jede Art oder Gruppe von Gefährdungen können sich manche möglichen Folgen auf mehrere Gefährdungsursprünge beziehen.</p> <p>(b) Ein Gefährdungsursprung kann mehrere mögliche Folgen haben.</p> | | |