



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Technische Universität Chemnitz

Fakultät für Maschinenbau

Masterarbeit

Thema: Entwurf einer Kompaktmaschine zur Schlüsselbearbeitung

vorgelegt von: Zurek, Frantisek
geb. am: 17.9.1991 in: Zlin, Tschechische Republik

Studiengang: Produktionssysteme

Berufsfeld: Produktionstechnik/Werkzeugmaschinen

Betreuer: Dr.-Ing. Volker Wittstock (TU Chemnitz)
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. (VUT Brno)
Dipl.-Ing. Daniel Kitsche (FH) (euro engineering AG)



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH KOMPAKTNÍHO STROJE PRO TŘÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ KLÍČŮ

ENTWURF EINER KOMPAKTMASCHINE ZUR SCHLÜSSELBEARBEITUNG

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

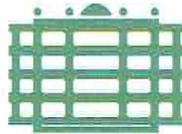
Bc. František Žůrek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

BRNO 2017



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Aufgabenstellung

zur

Abschlussarbeit
im Studiengang Master Produktionssysteme

für

Herrn Frantisek Zurek
geb. am 17. September 1991 in Zlin

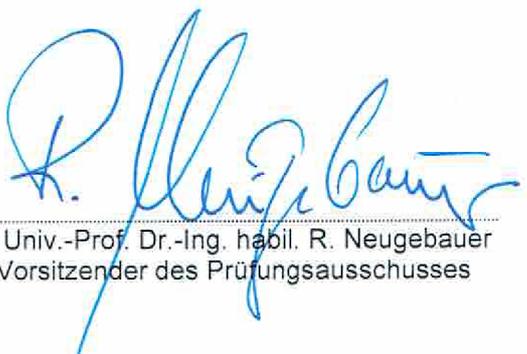
zum Thema

Entwurf einer Kompaktmaschine zur Schlüsselbearbeitung

(ausführliche Aufgabenstellung siehe Rückseite)

Betreuer/ Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Andreas Hirsch
Prüfer: Dr.-Ing. Volker Wittstock
Ausgabedatum: 17.01.2017
Abgabedatum: 26.06.2017
Tag der Abgabe:

Unterschrift:



Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. R. Neugebauer
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

Aufgabenstellung Masterarbeit

für Herrn Frantisek Zurek

Thema: Entwurf einer Kompaktmaschine zur Schlüsselbearbeitung

Aufgabenstellung

Im Rahmen der Masterarbeit soll ein Maschinenkonzept für eine Schlüsselbearbeitungs-
maschine entworfen werden. Bislang existieren in diesem Bereich vor allem große unflexible
Bearbeitungsanlagen zur Massenfertigung von spezifischen Schlüsseln. Vorteil dieser Anlagen
sind die geringen Taktzeiten von wenigen Sekunden. Erweitert werden soll der Bereich um
kleine dezentral aufstellbare Maschine mit einer flexiblen Produktion. Die besondere
Schwierigkeit bei derart kompakten Bauformen ist die Taktzeit, welche deutlich höher als bei
den großen Bearbeitungsanlagen liegt, da alle maschineninternen Prozesse von der
Entnahme der Rohlinge über die 4-Seiten Bearbeitung durch Fräsen und Bohren bis zu finalen
Bearbeitungsschritten wie Bürsten und Beschriften auf engstem Raum stattfinden. Kernpunkt
dieser Arbeit soll die Untersuchung, Konzeptionierung und Beschreibung der Anordnung der
Funktionseinheiten und des Fertigungsablaufes innerhalb der Maschine sein.

Schwerpunkte der Arbeit

- Recherche zum Stand der Technik
- Methodische Erarbeitung und Dokumentation von Lösungsansätzen
- Konzepterstellung von ausgewählten Lösungsansätzen mit vereinfachter 3D-
Visualisierung zu Anordnungen, Darstellung von Abläufen und Taktzeiten
- Konkretisierung der technischen Spezifikation zu einem Lastenheft mit
Funktionsbeschreibung und Mengengerüst
- Untermauerung der Darstellung durch eine Visualisierung der Hauptkomponenten im CAD
- Risikoanalyse, Betrachtungen zu Kosten, Technische Berechnungen, Analyse von
Sicherheit und Ergonomie der Maschine
- Erstellung ausgewählter technischer Dokumente (Zusammenbauzeichnung und Layout)

Die Masterarbeit ist als Einzelarbeit abzugeben. Die Schwerpunkte können in Absprache mit
dem Betreuer an den Arbeitsstand bzw. an die notwendigen Schritte individuell angepasst
werden.

Die Arbeit ist unter der Berücksichtigung der Arbeitshinweise zum Erstellen studentischer
wissenschaftlicher Arbeiten der Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik zu
verfassen.

Beginn: 17.01.2017

Abgabe:

Betreuer: Dipl.-Ing. Daniel Kitsche (euro engineering AG)
Dr.-Ing. Volker Wittstock (TU Chemnitz)
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. (VUT Brno)

Prof. Dr.-Ing. Andreas Hirsch



Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. František Žůrek
Studijní program:	Výrobní systémy
Studijní obor:	Výrobní systémy
Vedoucí práce:	doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh kompaktního stroje pro třískové obrábění klíčů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Předmětem diplomové práce je návrh konceptu stroje pro obrábění bezpečnostních klíčů. Doposud v této oblasti existují zejména velká zařízení pro masovou výrobu omezeného počtu specifických klíčů. Výhody těchto strojů spočívají ve velmi rychlé výrobě s nízkými taktými linek v řádech několika sekund. Toto portfolio strojů by mělo být rozšířeno o menší zařízení s flexibilnější výrobou. Obzvláště složité je při zmenšování rozměrů stroje dosáhnout požadovaného taktu, který stoupá vzhledem k nutnosti manipulace s polotovarem a provedení operací vrtání, frézování, ožehlení či popsání ze všech stran klíče. Cílem této práce je vytvoření koncepce nového stroje, určit jeho komponenty s jejich vzájemnou návazností a popsat výrobní procesy zařízení.

Vedoucí diplomové práce:

Dipl.-Ing. Daniel Kitsche (euro engineering AG)

Dr.-Ing. Volker Wittstock (TU Chemnitz)

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. (VUT v Brně)

Cíle diplomové práce:

- 1) Rešerše dané problematiky
- 2) Metodické zpracování a dokumentace variant řešení
- 3) Vytvoření konceptů vybraných variant řešení pomocí zjednodušených 3D-vizualizací
- 4) Konkretizace technického provedení s popisem funkcí
- 5) Vytvoření podpůrného CAD 3D modelu zařízení s vizualizací hlavních komponent
- 6) Analýza rizik, bezpečnosti a ergonomie včetně technicko-ekonomického zhodnocení projektu
- 7) Vytvoření vybrané technické dokumentace (výkres sestavy a layout)

Jednotlivé body práce se mohou dle požadavků podniku měnit v návaznosti na konzultaci s vedoucími práce.

Práce se řídí doporučeními a pokyny k vytváření vysokoškolských závěrečných prací platných na TU Chemnitz, Institutu obráběcích a tvářecích strojů.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří, et al. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. 1. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

Infozdroje.cz [online]. Praha: Albertina icome Praha s.r.o., 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: www.infozdroje.cz

MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: MM publishing, s. r. o., 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com>

EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie [online]. Brusel: Úřad pro publikace, 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu>

ČSN online [online]. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: csnonline.unmz.cz

WECK, Manfred a Christian BRECHER. Werkzeugmaschinen. 8. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2013. ISBN 9783642387456.

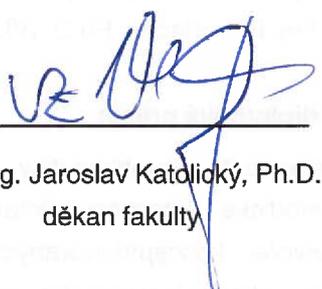
HIRSCH, Andreas. Werkzeugmaschinen: Grundlagen, Auslegung, Ausführungsbeispiele. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2012. Studium. ISBN 978-3-8348-0823-3.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 17. 1. 2017


doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu




doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Herrn
Frantisek Zurek
Jasenna 300
763 13 Jasenna u Vizovic
Tschechische Republik

Chemnitz, 16. Januar 2017

Aufgabenstellung zur Masterarbeit von Herrn Frantisek Zurek zum Thema Entwurf einer Kompaktmaschine für Schlüsselbearbeitung

Im Rahmen der Masterarbeit soll ein Maschinenkonzept für eine Schlüsselbearbeitungsmaschine entworfen werden. Die Auslegung erfolgt nach den Anforderungen des Geschäftspartners der euro engineering AG, der Firma HEITEC Auerbach GmbH & Co. KG. Dieser sieht bei den Schlüsselproduzenten neben dem Bedarf an großen Bearbeitungszentren für die Massenherstellung von Schlüssel zusätzlich einen Bedarf an kleinen dezentral aufgestellten Maschinen zur flexiblen Produktion. Im Vergleich zu den am Markt verfügbaren Produkten möchte sich die Firma HEITEC Auerbach GmbH & Co. KG mit ihrem Anspruch als Hersteller hochwertiger Anlagen durch eine deutlich bessere Qualität der Maschine und der herzustellenden Schlüssel abheben.

Bisherige Voruntersuchungen haben gezeigt, dass bei dieser kompakten Bauform die besondere Schwierigkeit in der Erreichung der Taktzeit von max. 40 Sekunden liegt. Durch maschineninterne Handlingsprozesse müssen die Schlüsselrohlinge aus einem Magazin automatisch entnommen, zur Bearbeitungstation Bohren oder Fräsen von jeweils vier Seiten gebracht und folgend den Bearbeitungsschritten Bürsten und Beschriften zugeführt werden. Kernpunkt dieser Arbeit soll die Untersuchung, Konzeptionierung und Beschreibung der Anordnung der Funktionseinheiten und des Fertigungsablaufes innerhalb der Maschine sein. Die Bearbeitungsparameter wurden bereits vertieft untersucht und sind nicht weiter zu betrachten.

weitere Eckdaten:

- Kompakte Außenmaße von max. 2x2x2 m inkl. Schaltschrank
- Automatikbetrieb mit handwechselbarem Rohlingmagazin für verschiedene Schlüssel
- Werkzeugwechsel von Hand
- Die Bearbeitung Kalottenbohren soll an allen vier Seiten des Schlüssel möglich sein.
- Die Bearbeitung Nuten fräsen erfolgt an zwei Seiten.
- Die Definition der Schlüssel mit Maßbezügen und Variationen sind in der Spezifikation „Schlüsseldefinition“ dargestellt.
- Taktzeit max. 40 Sekunden
- Richtpreis für den Verkauf ca. 100.000 EUR bei einer Auslegung als Standardmaschine für eine Stückzahl von 10

Folgende Gliederungspunkte sollte die Arbeit enthalten:

1. Recherche
2. Methodische Erarbeitung und Dokumentation von Lösungsansätzen
3. Präsentation von Entwürfen
4. Konzepterstellung von ausgewählten Lösungsansätzen mit vereinfachter 3D-Visualisierung zu Anordnungen, Darstellung von Abläufen und Taktzeiten
5. Vorstellung und Festlegung auf einen Lösungsansatz
6. Konkretisierung der technischen Spezifikation zu einem Lastenheft mit Funktionsbeschreibung und Mengengerüst
7. Untermauerung der Darstellung durch eine Visualisierung der Hauptkomponenten im CAD
8. Risikoanalyse
9. Betrachtungen zu Kosten
10. Technische Berechnungen
11. Analyse von Sicherheit und Ergonomie der Maschine
12. Erstellung ausgewählter technischer Dokumente (Zusammenbauzeichnung und Layout)

Mit freundlichen Grüßen



Daniel Kitsche
Dipl.-Ing. (FH)
Stv. Niederlassungsleiter

Bibliographische Beschreibung und Kurzreferat

Zurek, Frantisek:

Entwurf einer Kompaktmaschine zur Schlüsselbearbeitung

Masterarbeit an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Chemnitz 2017

95 Seiten, 75 Abbildungen, 20 Tabellen, 35 Anlagen, 36 Quellen

Schlagwörter:

Sicherheitsschlüssel, Schlüsselbearbeitung, Werkzeugmaschine, Maschinenkonzept, Maschinenentwurf

Die vorliegende Masterarbeit „Entwurf einer Kompaktmaschine zur Schlüsselbearbeitung“ umfasst eine Konzepterstellung für eine kompakte Maschine zur Bearbeitung eines Sicherheitsschlüssels. Dabei werden methodisch erarbeitete Lösungsvarianten insbesondere hinsichtlich erreichbarer Taktzeiten und der Maße des Maschinenaufbaus analysiert und die gewählte Variante weiter auskonstruiert. Um eine schnelle und präzise Auswahl hinsichtlich der Taktzeiten bei verschiedenen kundenspezifischen Fertigungsaufträgen treffen zu können, wurde ein Berechnungsschema entwickelt. Das daraus resultierende Maschinenkonzept, füllt eine Marktlücke in dem Bereich des Sondermaschinenbaus zur Schlüsselherstellung.

Tschechisch / Český

ŽŮREK, F. *Návrh kompaktního stroje pro třískové obrábění klíčů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 115 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D..

Klíčová slova:

Bezpečnostní klíč, Obrábění klíče, Obráběcí stroj, Návrh konceptu, Konstrukce stroje

Předložená diplomová práce se zabývá návrhem konceptu kompaktního stroje pro obrábění bezpečnostních klíčů. Pomocí metodického zpracování jsou představeny návrhy řešení, přičemž je důraz kladen na dosažení co nejnižšího taktu linky při zachování malých zástavbových rozměrů. K rychlému srovnání obou koncepčních variant z hlediska dosažitelných výrobních časů je navrženo výpočetní schéma, které zároveň pružně reaguje na možné kombinace a specifikace klíčů dle výrobních požadavků. Vybraná konstrukční varianta je dále blíže konstruována a jsou specifikovány jednotlivé klíčové komponenty. Výsledkem je návrh konceptu zařízení, které zaplňuje díru na trhu s jednoúčelovými stroji určenými pro výrobu bezpečnostních klíčů.

Englisch / English

Zurek, Frantisek:

Design of a machine tool for a safety keys production

Master thesis at the Faculty of Mechanical Engineering; Chemnitz University of Technology; Institute of Machine Tools and Forming Technology; Chemnitz 2017

95 pages, 75 figures, 20 tables, 35 annex, 36 sources

Keywords:

Safety key, Key machining, Machine tool, Machine tool concept, Machine tool design

This master thesis “Design of a machine tool for a safety keys production” deals with concept of a machine tool for production of safety keys. Solution variants are methodically elaborated, mainly concerning their achieved tact times and machine dimensions. A computation diagram for fast comparison of concepts in case of different customer key specification is presented. Chosen concept version is then detailed designed. The result fills a hole on the market of specific machine tools for machining of safety keys.

Sperrvermerk

Die vorliegende Arbeit beinhaltet interne vertrauliche Informationen der Unternehmen euro engineering AG Niederlassung Chemnitz und der HEITEC Auerbach GmbH & Co. KG. Die Weitergabe oder das Anfertigen von Kopien oder Abschriften sind grundsätzlich untersagt.

Tschechisch / Český

Prohlášení o utajení

Diplomová práce obsahuje interní informace firem euro engineering AG Chemnitz a HEITEC Auerbach GmbH & Co. KG. Tyto citlivé údaje mohou být výrobním tajemstvím a podléhat režimu utajení. Jejich šíření je striktně zakázáno.

Vybrané strany nejsou na základě směrnice TU Chemnitz číslo 21/2008 „Prüfungsordnung für den konsekutiven deutsch-tschechischen Studiengang Produktionssysteme mit dem Doppelabschluss (double degree) Master of Science (M.Sc.) und Inženýr (Ing.) an der Technischen Universität Chemnitz vom 11. Juli 2008“ o závěrečných pracích zpracovávaných v režimu utajení veřejné.

Englisch / English

Blocking Note

This master thesis contains confidential and internal information regarding design and development of Machines and Technology of companies euro engineering AG Chemnitz and HEITEC Auerbach GmbH & Co. KG. Copying and other form of information spreading are strictly forbidden.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Tschechisch / Český

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je mým vlastním dílem, byla vypracována pod vedením přidělených vedoucích a na základě literatury, uvedené v seznamu zdrojů na odpovídajícím místě.

Englisch / English

I hereby declare that the thesis submitted is my own unaided work. All sources used are acknowledged as references.

Datum: 02.05.2017

Unterschrift:



Danksagung

An diese Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben. Besonderem Dank gilt vornehmlich:

- Herrn Lars Kleditzsch und Herrn Dipl.-Ing. (FH) Daniel Kitsche, sowie dem gesamten Team der „euro engineering AG Chemnitz“ für ihre erstklassige Betreuung, dem entgegengebrachten Vertrauen und die herzliche Unterstützung während meiner Zeit im Unternehmen.
- Herrn Dr.-Ing. Volker Wittstock vom IWP der TU Chemnitz für seine professionelle Betreuung und Unterstützung.
- Herrn Prof. Dr.-Ing. Andreas Hirsch und Herrn doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. für ihre Betreuung und Unterstützung während des Studiums und für ihr Engagement im Zusammenhang mit dem deutsch-tschechischen Doppel-Diplom-Masterstudiengang „Produktionssysteme“.
- Meinem guten Freund Herrn Alexander Werner für seine Freundschaft, Hilfe und Unterstützung bei meinen Projektarbeiten.
- Meinen Eltern für die ständige Unterstützung während des gesamten Studiums.

Inhaltsverzeichnis

Bibliographische Beschreibung und Kurzreferat	IX
Sperrvermerk	X
Selbstständigkeitserklärung	XI
Danksagung	XII
Inhaltsverzeichnis	XIII
Abbildungsverzeichnis	XV
Tabellenverzeichnis	XVII
Glossar und Kurzzeichenverzeichnis	XVIII
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	2
2.1 Schließtechnik	2
2.1.1 Schlüsselgeschichte	2
2.1.2 Schlüsselhersteller	4
2.1.3 Maschinen zur Schlüsselherstellung	5
2.1.4 Schlüssel und typische Schlüsselbearbeitung	10
2.2 Konstruktionslehre	11
2.2.1 Charakter der Konstruktionsarbeit	11
2.2.2 Methodische Aufgabenstellungspräzisierung.....	12
2.2.3 Methoden der Lösungssuche und Beurteilung.....	13
2.3 Konstruktion von Werkzeugmaschinen	15
2.3.1 Risikoanalyse im Werkzeugmaschinenbau	16
2.3.2 Werkzeugmaschinenenergonomie	20
3 Profile der Unternehmen	22
4 Aufgabenpräzisierung	23
5 Erstellung des Maschinekonzepts	25
5.1 Kernbaugruppen der Maschine	25
5.1.1 Magazine	26
5.1.2 Schlüsselhandling	27
5.1.3 Schlüsselspannung in der Aufnahme­fläche.....	27
5.1.4 Schlüsselbearbeitungsstellen	28
5.2 Einsatz des Doppelgreifers	29
5.3 Konzeptvariante A	31
5.4 Konzeptvariante B	34

5.5	Berechnungsschema zum Taktzeitvergleich	37
5.6	Vergleich der Varianten	42
5.7	Auswahl der besten Variante	43
6	Erarbeitung des gewählten Konzepts.....	45
6.1	Rundtaktisch	45
6.2	Schlüsselannahmestelle.....	49
6.2.1	Variante 6.2-A	50
6.2.2	Variante 6.2-B	53
6.3	Doppelgreifer.....	57
6.3.1	Ausgleichseinheiten	58
6.3.2	Linearantriebänderung	60
6.3.3	Doppelgreiferoptimierung	61
6.4	Magazin.....	64
6.4.1	Fördermagazin	64
6.4.2	Abgabemagazin	65
6.5	Maschinengestell	71
6.6	Betrachtung der Kosten.....	72
7	Risikoanalyse.....	74
7.1	Schematische Darstellung der Maschine	74
7.2	Grenzen der Maschine	75
7.3	Identifizierung der Gefährdungen	76
7.4	Risikobewertung	77
7.5	Risikoverminderung.....	78
8	Analyse der Maschinenergonomie.....	80
8.1	Höhe der Arbeitsebene	81
8.2	Greifraum, Arbeitsraum	83
8.3	Sehraum.....	84
8.4	Display und Anzeige	85
9	Zusammenfassung	86
10	Shrnutí diplomové práce v českém jazyce.....	88
11	Literaturverzeichnis.....	92
12	Anlageverzeichnis	94

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Ägyptisches Schloss [3]	2
Abbildung 2.2: Prinzip eines Zylinderschlusses [4]	3
Abbildung 2.3: Wendeschlüssel vs. konventioneller Schlüssel ABUS [7]	5
Abbildung 2.4: Schlüsseldienst und Schlüsselkopiermaschine [8]	5
Abbildung 2.5: Layout des HEITEC Schlüsselbearbeitungszentrums [5]	6
Abbildung 2.6: HEITEC Schlüsselbearbeitungszentrum [5]	6
Abbildung 2.7: SILCA PRO TECH Abmaß- und Parameterübersicht [8]	7
Abbildung 2.8: Konzeptabbildung der SILCA PROTECH Maschine [8]	8
Abbildung 2.9: Beispiele der typischen Bearbeitung der Schlüssel [9]	10
Abbildung 2.10: Erhebliche Teile des Schlüsselrohlings [5]	11
Abbildung 2.11: Hauptarbeitsschritte zum Aufstellen der Anforderungsliste [12]	13
Abbildung 2.12: Iterativer Prozess zur Risikominderung [19]	18
Abbildung 2.13: Risikoanalyse - Graph zur Risikoeinschätzungsermittlung [20]	19
Abbildung 2.14: Ausschnitt der Checkliste "Ergonomische Maschinengestaltung" [23]	21
Abbildung 3.1: Logos der Unternehmen [24], [5]	22
Abbildung 4.1: Bedeutender Abmessungen den Schlüsselrohling	23
Abbildung 5.1: Prinzip des Fördermagazins	26
Abbildung 5.2: Ausgabestellen für fertige Schlüssel [8]	26
Abbildung 5.3: Schlüsselaufnahmeprinzip ; Schraubstock	27
Abbildung 5.4: Bezüge bzw. Anschläge der Schlüssel	28
Abbildung 5.5: Doppelgreiferschema	29
Abbildung 5.6: Schema des Rohlingswechsel mit Doppelgreifer	30
Abbildung 5.7: Entwurf des Maschinenkonzepts - Variante A	31
Abbildung 5.8: Entwurf des Maschinenkonzepts - Variante B	34
Abbildung 5.9: Skizze der Variante A als Hilfsmittel im Berechnungsschema	38
Abbildung 5.10: Skizze der Variante B als Hilfsmittel im Berechnungsschema	38
Abbildung 6.1: Rundtaktisch der Firma WEISS GmbH Produktlinie TC [27]	46
Abbildung 6.2: Berechnungsunterlagen zur Wahl des Rundtaktischs	46
Abbildung 6.3: Ausschnitt aus dem Produktkatalog der Firma „WEISS“ [27]	47
Abbildung 6.4: Rundtaktisch WEISS TC220T	47
Abbildung 6.5: 3D Modell ZSB - Rundtaktisch	48
Abbildung 6.6: Skizze Annahmebacke	49
Abbildung 6.7: Skizze der Schlüsselaufnahme Flachseite	49
Abbildung 6.8: Skizze der Schlüsselaufnahme Querseite	49
Abbildung 6.9: Pneumatische Mehrwegdrehdurchführung [29]	50
Abbildung 6.10: Prinzip der Schlüsselaufnahme mit Druckfeder	51
Abbildung 6.11: Schlüsselaufnahmeprinzip mit Druckfeder	51
Abbildung 6.12: Ausschnitt des Federdatenblatts [30]	52
Abbildung 6.13: Schlüsselaufnahmeprinzip mit Druckfeder - Konstruktionsänderung	53

Abbildung 6.14: Skizze Schraubstockprinzip zum Spannkrafterzeugung.....	54
Abbildung 6.15: Druckluftmotor modex MR-08-RV-106-CA1-C [32].....	55
Abbildung 6.16: Skizze - Baugruppe zum Lösen der Schraubstockmechanismus.....	55
Abbildung 6.17: 3D Modell ZSB - Annahmestelle mit Lösmechanismus.....	56
Abbildung 6.18: Doppelgreifer aus Komponenten der Firma SCHUNK.....	58
Abbildung 6.19: Annahmebacke erweitert mit Anlaufkanten	59
Abbildung 6.20: Fügemechanismus für das Ausgleichen der Toleranzen [34].....	59
Abbildung 6.21: Zugelassener Versatz für das „Schwimmen“ des Doppelgreifers (X,Z).....	60
Abbildung 6.22: Versatz für das „Schwimmen“ des Doppelgreifers (Y).....	60
Abbildung 6.23: Doppelgreifer mit separater Führung und pneumatischem Antrieb	61
Abbildung 6.24: Schwenkzeit nach Massenträgheitsmoment - SCHUNK SRU-plus [35].....	62
Abbildung 6.25: 3D Modell ZSB - Doppelgreifer	63
Abbildung 6.26: Fördermagazin - Ansicht von Oben	64
Abbildung 6.27: Fördermagazin - Seitenansicht	65
Abbildung 6.28: Prinzip der Schlüsselabgabe.....	66
Abbildung 6.29: Abgabemagazinvariante - einfache Kiste	67
Abbildung 6.30: Abgabemagazinvariante - Kiste mit Sortierung.....	67
Abbildung 6.31: Abgabemagazinvariante - Rundschaltmagazin	68
Abbildung 6.32: Abgabemagazinvariante – Umlaufband.....	68
Abbildung 6.33: 3D Modell ZSB - Magazine	70
Abbildung 6.34: 3D Modell ZSB – Gestell.....	71
Abbildung 7.1: Risikoanalyse - schematische Darstellung der Maschine.....	74
Abbildung 7.2: Risikoanalyse - räumliche Grenzen der Maschine.....	75
Abbildung 7.3: 3D Modell ZSB – Abdeckung	79
Abbildung 8.1: Ergonomie - "Dummy" ISO 15536-1	80
Abbildung 8.2: Ergonomie - Negativbeispiele der Maschinenbenutzerfreundlichkeit [22]	81
Abbildung 8.3: Ergonomie – Schema zur Festlegung der Arbeitshöhen [22]	81
Abbildung 8.4: Ergonomie – Checklistenausschnitt - Arbeitshöhe der Handbedienteile [23]	82
Abbildung 8.5: Ergonomie - Festlegung der Arbeitshöhen	82
Abbildung 8.6: Ergonomie - Richtwerte für Arbeitsraum und Oberkörperneigung [22].....	83
Abbildung 8.7: Ergonomie - Arbeitsraum und Reichweite	83
Abbildung 8.8: Ergonomie - Zulässiger Sehraum mit (A) und ohne (B) Kopfbewegung [22]	84
Abbildung 8.9: Ergonomie - Das Blickfeld des Maschinenbedieners.....	84
Abbildung 8.10: Ergonomie - Fixierlinienwinkel für die Einbaulagefestlegung des Displays [22]	85
Abbildung 8.11: Einbaulage des HMI Displays	85
Abbildung 9.1: 3D Modell ZSB - Modell der Maschine.....	87

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Übersicht der ausgewählten Schlüsselherstellerunternehmen [5] [6]	4
Tabelle 2.2: Parameter der HEITEC Schlüsselbearbeitungszenter [5]	6
Tabelle 2.3: Übersicht ausgewählter Hersteller von Maschinen zur Schlüsselfertigung	9
Tabelle 2.4: Wertskala nach VDI 2225 [13].....	15
Tabelle 2.5: Übersicht ausgewählter Grundnormen für Maschinensicherheit [18]	17
Tabelle 4.1: Ausschnitt von der Anforderungsliste der Maschine	24
Tabelle 5.1: Berechnung der abgeschätzten Taktzeit - Variante A.....	33
Tabelle 5.2: Berechnung der abgeschätzten Taktzeit - Variante B.....	36
Tabelle 5.3: Ausschnitt des Taktzeitberechnungsschemas	37
Tabelle 5.4: Zusammenfassung und Vergleich der Konzeptvarianten A und B	42
Tabelle 5.5: Bewertungsliste zur Auswahl der Lösungsvariante.....	43
Tabelle 6.1: Ausgewählte Komponenten zur Realisierung eines Doppelgreifers [33]	57
Tabelle 6.2:Vergleich der Lösungsvarianten für das Abgabemagazin.....	69
Tabelle 6.3: Betrachtung zu Kosten - Preisschätzung SCHUNK Komponenten	72
Tabelle 6.4: Betrachtung der Kosten - Preisschätzung FESTO Komponenten	72
Tabelle 6.5: Betrachtung der Kosten - Preisschätzung weiterer Komponenten	73
Tabelle 7.1: Risikoanalyse - Grenzen der Maschine.....	75
Tabelle 7.2: Risikoanalyse – Auswahl der Beispiele relevanter Gefahren	76
Tabelle 7.3: Risikoanalyse – Risikoabschätzung	77
Tabelle 7.4: Risikoanalyse - Formular zur Risikoverminderung.....	78

Glossar und Kurzzeichenverzeichnis

Begriff	Erklärung
Abgabestelle	Eine Stelle bzw. Baugruppe zur Entnahme und Sortierung der Schlüssel.
Aufnahmefläche	Eine Fläche an der der Schlüssel liegt bzw. aufgesetzt wird.
Aufnahmestelle	Eine Stelle bzw. Baugruppe zum Spanen und zur Aufnahme des Schlüssels zur weiteren Bearbeitung.
Bearbeitungsstation/-stelle	Ein Raum in welchem der Schlüssel bearbeitet wird.
Schlüsselanschlag/-bezug	Eine Kante bzw. Fläche wodurch die Position des Schlüssels definiert wird.
Schlüsselmagazin	Eine Stelle bzw. Baugruppe zum Speichern und Ausgang- oder Eingangspositionsbestimmung der Schlüssel.
Schlüsselrohling	Ein Schlüsselhalbzeug welcher zur meist spanenden Bearbeitung geeignet ist.
Schlüssel-Handling	Ein System, den für die Schlüsselmanipulation geeignet ist.

Abkürzung	Erklärung
EU	Europäische Union
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
EN	Europäische Norm
ISO	International Standard Organisation
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallsicherung
CAD	Computer Aided Design
QFD	Quality Function Deployment

Kurzzeichen	Benennung	Einheit
J_1	Massenträgheitsmoment der Zusatzschaltteller	kgm^2
J_2	Massenträgheitsmoment der Einzelgewichte	kgm^2
m_1	Masse der Zusatzschaltteller	kg
m_2	Masse der Einzelgewicht	kg
D_a	Durchmesser der Zusatzschaltteller	m
r_e	Radius der Einzelmassenposition	m
n_e	Menge der Einzelmassen	–
n_s	Anzahl der Schlüssel in der Fertigungsauftrag	–
t_B	Durchschnittliche Bearbeitungszeit	s
t_H	Durchschnittliche Handhabungszeit	s
t_R	Rundtakttschaltzeit	s
AS_H	Seitenanzahl Hauptoperation	–
$AS_{2\div 4}$	Anzahl Seiten Station 2 bis 4	–
t_{FHA}	Fertigungszeit Hauptoperation	s
t_{ZSA}	Zeit der Bearbeitung an weitere Stationen	s
AM	Anzahl zusätzlicher Manipulatoren	–
$t_{sm_{2\div 4}}$	Zeitersparnis durch Manipulatoren an Stationen 2 bis 4	s
t_s	Zeitersparnis durch Manipulatoren insgesamt	s
t_{eA}	Zeit nach der ersten Schlüsselausgabe – Variante A	s
t_{nA}	Zeit nach der n-ten Schlüsselausgabe – Variante A	s
t_{gA}	Gesamtzeit für den Fertigungsauftrag – Variante A	s
t_A	Taktzeit – Variante A	s
t_{eB}	Zeit nach der ersten Schlüsselausgabe – Variante B	s
MXS	Anzahl der zu bearbeitenden Seiten	–
A_{AN}	Anzahl der Annahmestellen – Variante B	–
t_{gB}	Gesamtzeit für den Fertigungsauftrag – Variante B	s

$HW1$	Hilfswert – Aufrunden	–
$HW2$	Hilfswert	–
W_t	Technische Wertigkeit	–
P_i	Punktbewertung	–
V_i	Variantenbezeichnung	–
g	Gewichtungsfaktor	–
T_{Ages}	Gesamtzeit – Ersttaktzeitberechnung Variante A	s
T_{Ages1}	Taktzeit – Ersttaktzeitberechnung Variante A	s
T_{Bges}	Gesamtzeit – Ersttaktzeitberechnung Variante B	s
T_{Bges1}	Taktzeit – Ersttaktzeitberechnung Variante B	s
M_{Spann}	Erforderliches Spannmoment	Nm
F_{ds}	Kraft an der Schraube	N
F_{Spann}	Spannkraft	N
α	Steigungswinkel	$^\circ$
φ	Reibwinkel	$^\circ$
F_n	Höchstkraft der Druckfeder	N
R	Federrate	Nmm^{-1}

Nicht aufgeführte Abkürzungen und Kurzzeichen sind im Text erläutert.

1 Einleitung

Die Herstellung von Sicherheitsschlüsseln ist im Werkzeugmaschinenbau ein sehr spezieller Bereich. Heutzutage werden aktuell immer komplexere und genauere Konzepte von Schließanlagen neu patentiert und eingesetzt. Zur Fertigung dieser verschiedenen Schlüssel, werden kundenspezifische Anlagen und hochwertige Sondermaschinen benötigt.

Ein etablierter Hersteller von Sondermaschinen zur Schlüsselherstellung ist die Firma „HEITEC Auerbach GmbH & Co. KG“, welche in Kooperation mit der „euro engineering AG Chemnitz“ das in dieser Arbeit behandelte Kompaktschlüsselmaschineprojekt in Auftrag gegeben hat. Diese Firma stellt grundsätzlich sehr kundenspezifische Anlagen und Sondermaschinen zur Schlüsselherstellung her. Diese sind oft sehr aufwändig hinsichtlich ihrer Aufbaumaße und Beschaffungskosten. Dennoch hat sich ein besonderer Marktbedarf für kleinere und kompaktere Maschinen herauskristallisiert.

Mit steigendem Bedarf an möglichst kompakten Aufbaumaßen, sowie gleichzeitiger Erfüllung der geforderten Produktqualität und unter Berücksichtigung günstiger Beschaffungskosten, scheint es als notwendig das Thema tiefer zu analysieren.

Diese Masterarbeit soll mit Hilfe von methodischem Vorgehens, mögliche Wege zur Realisierung solcher Anlage prüfen und Konzepte für neue und kompakte Schlüsselbearbeitungsmaschine vorstellen.

Úvod

Výroba bezpečnostních klíčů je z pohledu výrobních strojů poměrně specifickou oblastí. Stále více a více komplexní a složitější principy zámků jsou patentovány a uváděny do praxe. K výrobě těchto klíčů slouží zákazníkovi na míru zkonstruované jednoúčelové stroje a zařízení.

Jedním z na trhu etablovaných výrobců je německá firma HEITEC Auerbach GmbH & Co. KG. Tato firma je rovněž zadavatelem projektu diplomové práce, ve spolupráci s konstrukční kanceláří firmy euro engineering AG. Firma HEITEC vyrábí jednoúčelové stroje a zařízení právě pro výrobu bezpečnostních klíčů. Tyto jsou vždy na míru zákazníka, s velmi specifickými požadavky a nároky na zástavbové prostory a pořizovací náklady. Firma pozoruje požadavek trhu, respektive svých zákazníků, na kompaktnější, cenově příznivější stroje.

Se zvyšujícími se nároky na co nejmenší zástavbový prostor stroje a snižování nákladů při současném zachování kvality vyplývá z dosavadních poznatků nutnost analyzovat blíže konstrukci stroje.

Předmětem této diplomové práce je za pomoci metodického zpracování a postupů analyzovat možné cesty k realizaci takového stroje a navrhnout koncept nového zařízení.

Diplomová práce byla vypracována v rámci studia česko-německého magisterského navazujícího studijního programu s dvojím diplomem Výrobní systémy ve spolupráci VUT Brno a TU Chemnitz. Zároveň byla vyhotovena v rámci pracovní stáže ve firmě euro engineering AG Chemnitz. Jazykem práce je němčina, podrobnější shrnutí v českém jazyce je uvedeno v kapitole 10 Shrnutí diplomové práce v českém jazyce.

2 Stand der Technik

2.1 Schließtechnik

Schloss = Vorrichtung zum Verschließen [1]

Schlüssel = Werkzeug zum Auf- und Zuschließen eines Schlosses [1]

„Ein **Schloss** ist eine Vorrichtung, die dazu dient, ausgewählten Personen den Zugang in bestimmte Bereiche zu gestatten und anderen Personen diesen zu verweigern.“ [1]

2.1.1 Schlüsselgeschichte

Das älteste bekannte und ca. 4000 Jahre alte Türschloss wurde in den Ruinen des Palastes von Khorsabad nahe Ninive in Mesopotamien gefunden. [2]

Dieses ägyptische Schloss besteht aus einem verschiebbaren hölzernen Querriegel, der die Tür sichert. In diesem Riegel ist von oben eine Höhlung mit senkrechten Bohrlöchern eingelassen. Über diesen Löchern sitzt ein Holzklötzchen, aus dem hölzerne Sperrstifte gerade so weit herausfallen, dass sie die Löcher im Riegel füllen. Der Riegel lässt sich somit nicht verschieben, die Tür ist abgesperrt. Zum Öffnen führt man in die Höhlung einen Schlüssel als eine Art umgedrehter Zahnbürste ein, dessen wenige hölzerne Borsten nach Lage und Länge genau in die Löcher im Riegel passen. Sie drängen die Sperrstifte in den Klotz zurück und bleiben selbst gerade noch im Riegelholz, sodass der Riegel nun frei verschiebbar ist. Platzierung und Zahl diese Borsten bzw. Löcher bilden den Code des Ägyptischen Schlosses [2]

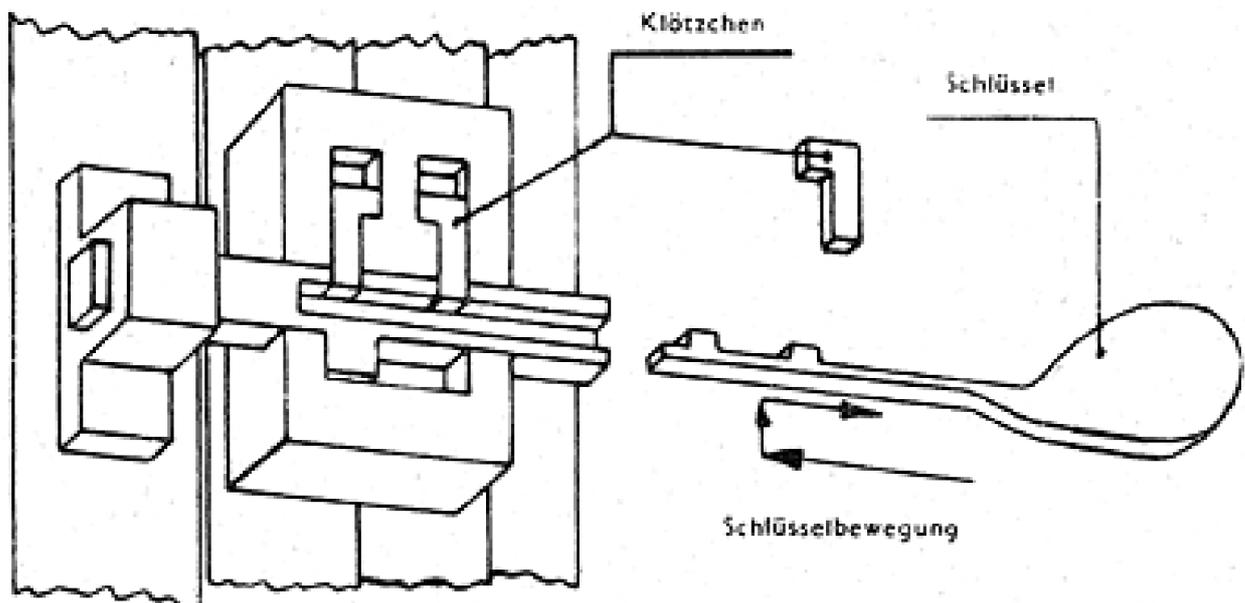


Abbildung 2.1: Ägyptisches Schloss [3]

Als aufgrund der Industriellen Revolution Mitte des 19. Jahrhunderts der Bedarf an Türschlössern rapide anstieg, haben sich viele bekannte Erfinder, wie z.B. Linus Yale Sr. oder Linus Yale Jr., viele Schließanlagen und Schlossvarianten patentiert lassen. Dabei entstand auch eine moderne Variante des Ägyptischen Stift-Schlosses. Linus Yale Jr. hat somit das Prinzip weiter zum Zylinder bzw. Sicherheitsschloss entwickelt, welches heute eines der am weit verbreitetsten Sperrgeräte der Welt darstellt. [2]

Kernstück solcher Schließanlagen ist ein drehbar im Gehäuse gelagerter und mit dem Riegel verbundener Metallzylinder. Im geschlossenen Zustand lässt sich der Zylinder nicht drehen, da die Stifte die Trennlinie zwischen Zylinder und Gehäuse sperren. Ähnlich wie der Sperrstift bei den alten Ägyptern. Steckt hingegen der richtige, flache und gekerbte Schlüssel im Zylinder, drängen seine Kerben die Stifte gerade so weit hinaus, dass sich der Zylinder nun drehen lässt. Die Stifte ergeben zusammen mit der Bartfunktion der Schlüsselkerben eine sehr große Zahl möglicher Kombinationen und ebenfalls eine hohe Sicherheit. [2]

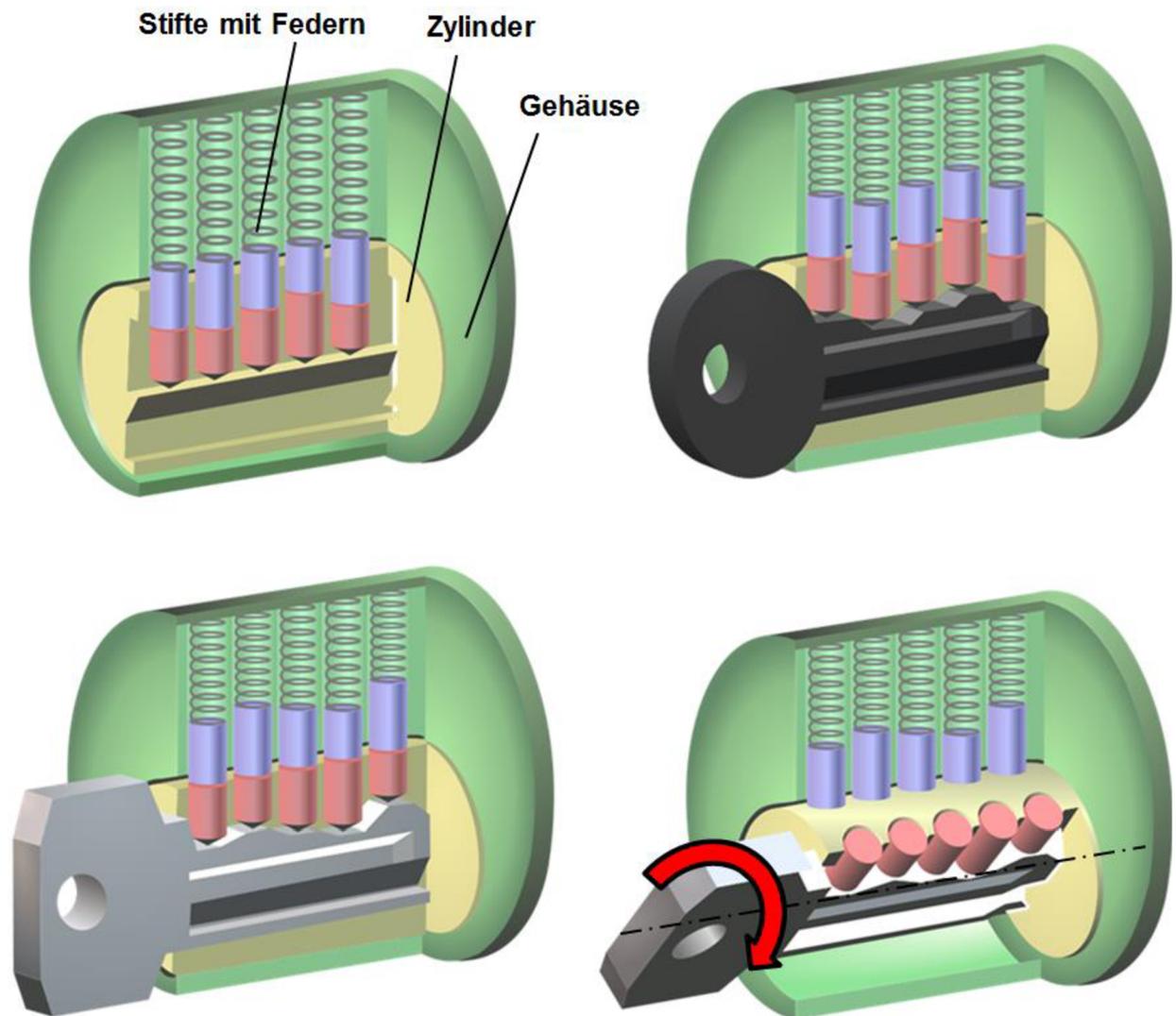


Abbildung 2.2: Prinzip eines Zylinderschlosses [4]

2.1.2 Schlüsselhersteller

Der folgende Abschnitt zeigt eine Übersicht der wichtigsten europäischen Schlüsselherstellerunternehmen und ausgewählte Beispiele aus ihren Produktportfolios.

Tabelle 2.1: Übersicht der ausgewählten Schlüsselherstellerunternehmen [5] [6]

Firma	Stadt	Land
KABA		Schweiz
		Österreich
KESO		Schweiz
ASSA ABLOY		Schweden
		Dänemark
		Vereinigtes Königreich
SEA		Schweiz
WILKA	Velbert	Deutschland
CES		Deutschland
BKS		Deutschland
EMKA		Deutschland
ISEO	Gera	Deutschland
ABUS	Pfaffenhain	Deutschland

Die Region nahe der Städte Velbert und Heiligenhaus im Bundesland Nordrhein-Westfalen, wird als Schlüsselregion bezeichnet. Dieses Gebiet ist ein weltweit führender Standort für Schließ- und Sicherheitstechnik. Die ältesten Belege für Schlosser und Schlossmeister gehen bis auf das 12. Jahrhundert zurück. Die Bedeutung der Schlosserei für die Stadt Velbert, spiegelt sich ebenfalls in deren Stadtwappen wieder. Heutzutage beschäftigen sich über 70 Unternehmen und 7000 Mitarbeiter in der Entwicklung und Fertigung von Schlössern und Beschlägen. [6]

In fast jedem Portfolio der Tabelle 2.1 befinden sich zwei Profile von Schlüsseln, das Wendeprofil und das konventionelle Profil.

Wendeschlüssel sind im Gegensatz zu konventionellen Schlüsseln beidseitig schließbar. Das bedeutet, dass der Schlüssel, egal wie rum er in das Schloss gesteckt wird, in das Schloss passt und es sich schließen lässt. Besonders bei schlechten Lichtverhältnissen oder für Menschen mit Sehbehinderungen, bietet ein Wendeschlüssel deutlich mehr Komfort. Zudem hat der Wendeschlüssel keine scharfkantigen Einschnitte. Somit wird das Tragen in der Hosentasche deutlich angenehmer. [7]



Abbildung 2.3: Wendeschlüssel vs. konventioneller Schlüssel ABUS [7]

2.1.3 Maschinen zur Schlüsselherstellung

Im Bereich der Schlüsselfertigung können die Maschinen grundsätzlich in 2 Kategorien eingeteilt werden:

- **Kopiermaschinen**
- **Sondermaschinen**

Kopiermaschinen sind meist kleine Anlagen, die zur Herstellung eines Schüssels bzw. einer Schlüsselkopie dienen. Diese besitzen einen sehr kleinen Aufbau Raum und müssen meistens manuell bedient werden. Sie sind für die Herstellung einzelner Kopien und nicht für größere Mengen geeignet. Oft werden diese Maschinen in Einkaufszentren bei Schlüsseldiensten oder Schuhreparaturdienstleistern eingesetzt. Diese Art von Maschine dient meistens zur Herstellung von Schlüsseln mit einfacher Geometrie.

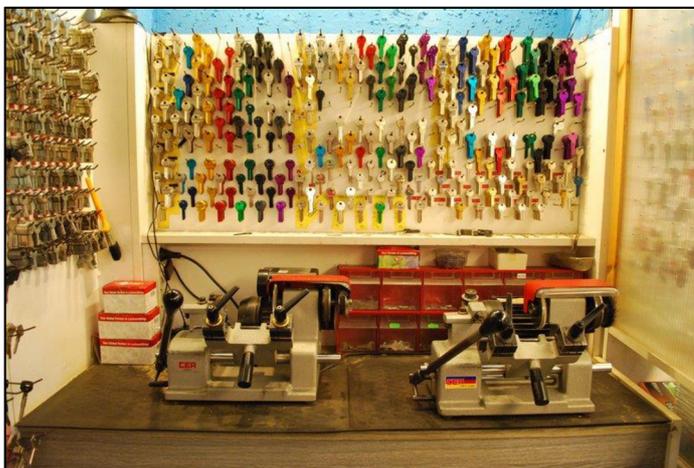


Abbildung 2.4: Schlüsseldienst und Schlüsselkopiermaschine [8]

Im Gegensatz zu Schlüsselkopiermaschinen stehen Sonderanlagen und Sondermaschinen, welche zur Fertigung großer Serien dienen sollen. Zusätzlich sind diese Maschinen zur Herstellung von Sicherheitsschlüsseln mit komplexer und oft komplizierter Geometrie geeignet. Oft sind diese Schlüsseltypen mit verschiedenen Patenten der einzelnen Schlüsselhersteller geschützt. Diese Maschinen sind oftmals sehr aufwändig hinsichtlich ihrer Anschaffungskosten und des Aufbauplatzbedarfs.

Die Firma „HEITEC Auerbach“ beschäftigt sich hauptsächlich mit der Anfertigung von Sondermaschinen zur Sicherheitsschlüsselfertigung. Diese Maschinen sind meistens nach spezifischen Wünschen der Kunden angefertigt. Damit diese Maschinen kurze Taktzeiten erreichen, beinhalten sie mehrere Bearbeitungseinheiten, welche verantwortlich für verschiedene Bearbeitungsprozesse sind. Charakteristisch für solche Maschinen sind insbesondere die großen Aufbaumaße. Die Fertigungslinien sind dabei meistens bis zu dreizehn Meter lang, dazu sehr teuer und benötigen viel Zeit für die Fertigung bzw. Lieferung. Investitionsrückvergütung ist daher nur für große Schlüsselfertigungsserien möglich.



Abbildung 2.5: Layout des HEITEC Schlüsselerarbeitungszentrums [5]



Abbildung 2.6: HEITEC Schlüsselerarbeitungszentrum [5]

Folgende Tabelle bietet eine Übersicht von erreichbaren Parametern der HEITEC Maschinen.

Tabelle 2.2: Parameter der HEITEC Schlüsselerarbeitungszentrum [5]

Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Anzahl der Stationen [-]	Taktzeiten [s]
4 ÷ 13	1,8 ÷ 3	2,1 ÷ 2,8	5 ÷ 20	5 ÷ 25

Die Firma HEITEC sieht, aufgrund vieler Anfragen von Kunden, einen Marktbedarf nach kleineren und kompakten Schlüsselmaschinen zur seriellen Fertigung. Die Nachfrage bezieht sich daher auf einen automatisierten Prozess der Schlüsselfertigung unter Beachtung der möglichst kompakten Aufbaustruktur. Diese Anforderungen in Verbindung mit einer gleichzeitig hohen Produkt- und Fertigungsqualität, bilden eine Notwendigkeit der Neukonzeptionierung einer solchen Maschine.

Ein Beispiel für die prinzipielle Lösung dieser Problematik bietet die italienische Firma „SILCA S.p.A.“. Außer den verschiedenen kleinen Tischanlagen, beinhaltet das Angebot der Firma auch die Variante „Pro Tech“, welche eine konfigurierbare halbindustrielle Maschine zum Bohren, Fräsen, Gravieren und Ordnen verschiedener Schlüsseltypen darstellt. [8]

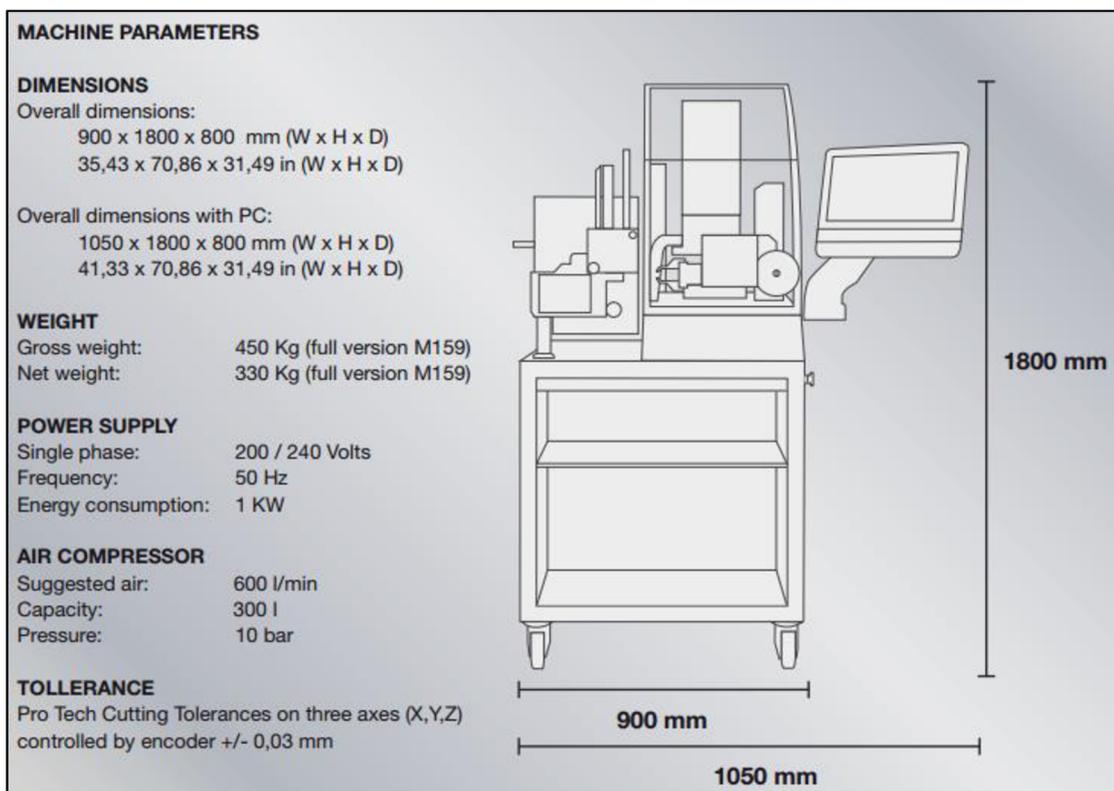
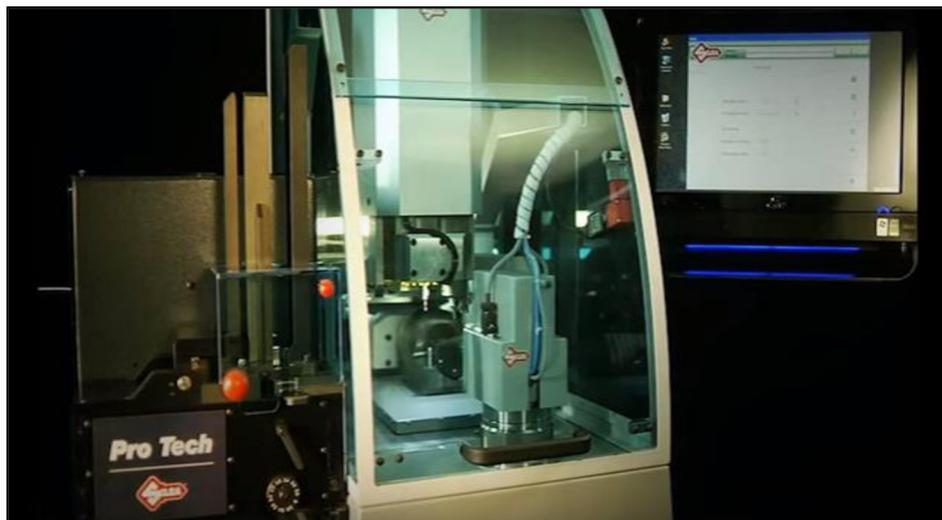


Abbildung 2.7: SILCA PRO TECH Abmaß- und Parameterübersicht [8]

Folgende Abbildungen zeigen den Aufbau und die Hauptparameter der Konkurrenzlösung der Firma „SILCA S.p.A. – SILCA ProTech“. [8]

Weiterhin besteht die Konkurrenzlösung der Firma SILCA S.p.A. aus: [8]

- Basisstruktur auf Rädern
- Maschinenuntergestell
- Magazine zur Förderung und Abgabe der Schlüssel
- Roboter zum Handling/Schlüsselförderung
- Maschinentisch mit beweglichen Backen zur Schlüsselannahme
- Bearbeitungseinheiten zum Bohren, Fräsen etc. [8]

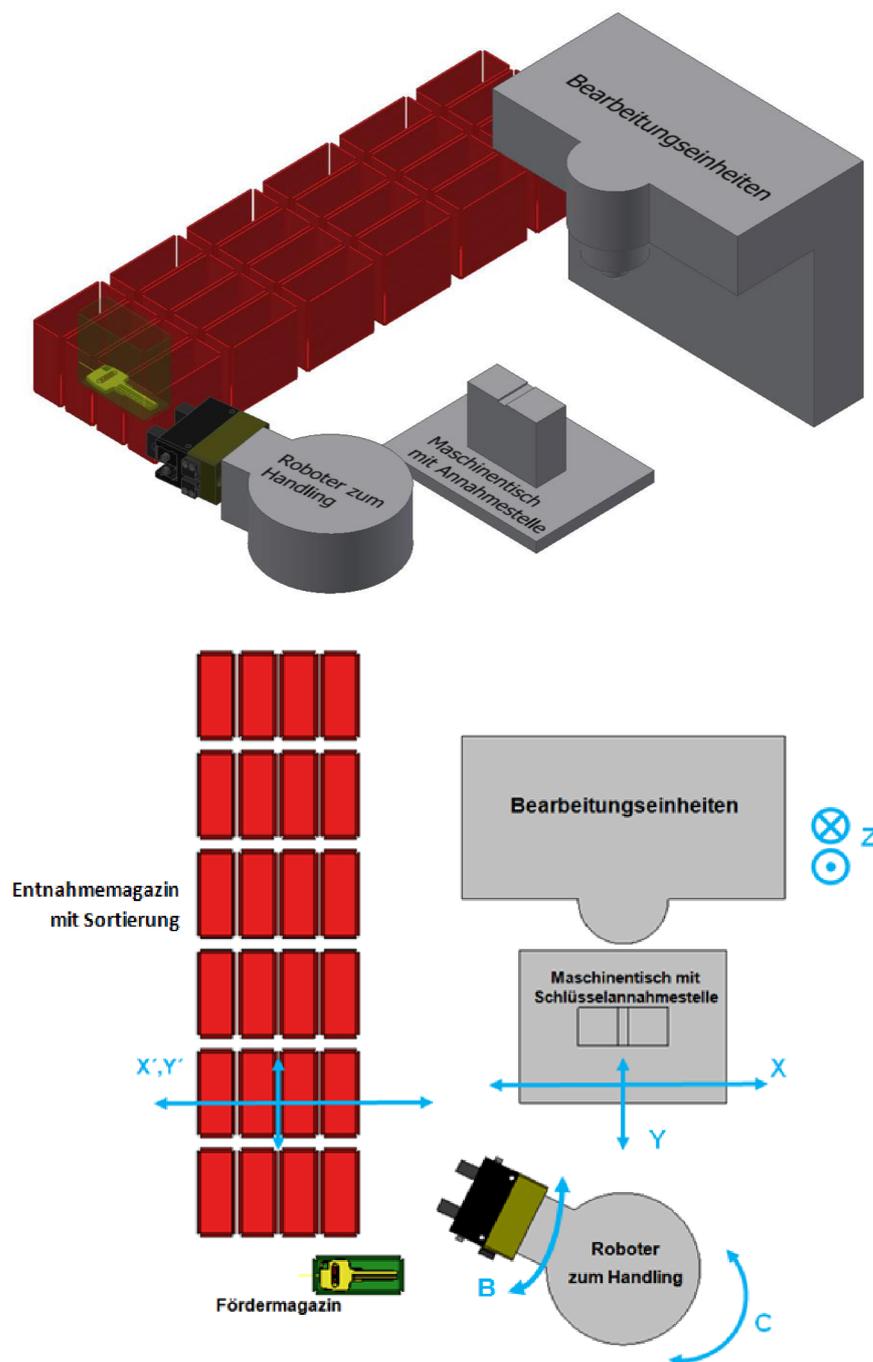


Abbildung 2.8: Konzeptabbildung der SILCA PROTECH Maschine [8]

Ablauf der Schlüsselfertigung (für Achsbeschreibung siehe Abbildung 2.8: Konzeptabbildung der SILCA PROTECH Maschine):

- Entnahme der Schlüssel aus dem Fördermagazin mithilfe des Robotergreifers, welcher zum Handling der Schlüssel mit den Schwenkachsen B und C geeignet ist, den Transport der Schlüssel zum Annahmestelle sichert und sich dabei um 360 Grad drehen kann.
- Annahme der Schlüssel in der Aufspannfläche mithilfe der beweglichen Spannbacken
- Bearbeitung der Schlüssel mithilfe von Bearbeitungseinheiten je nach Fertigungsoperation, z.B. Bohreinheit. Alle Operationen werden durch die zwei Achsen des Maschinentischs (X, Y) und der vertikalen Achse der Bohreinheit (Z) ermöglicht. Eventuell wird dem Maschinentisch bzw. der Annahmestelle noch eine Schwenkachse zugeordnet um weitere Mehrachsbearbeitungen zu realisieren.
- Um alle Seiten der Schlüssel zu bearbeiten, kümmert sich der Robotergreifer um das Handling bzw. das Drehen der Schlüssel.
- Nach den genannten Bearbeitungsoperationen wird der Schlüssel mithilfe der Robotergreifer zum Abgabemagazin befördert. Hier sind die Schlüssel eventuell mithilfe der Sortierungsmanipulatoren (X', Y') nach Schlüsseltypen einsortiert.

Die Firma „SILCA“ garantiert folgende durchschnittlich erreichbare Zykluszeiten für die Schlüsselfertigung:

- Bohrmulden von einer Seite + Beschriftung von 5 Zeichen = **52 Sekunden**
- Bohrmulden von drei Seiten + Beschriftung von 5 Zeichen = **97 Sekunden**

Aus Werbepäsentationen der Firma ist erkennbar, dass eine große Menge der Zykluszeit dieser Bearbeitung für den Robotergreifer zum Handling der Rohling benötigt wird. Das entspricht auch empirischen Erfahrungen der Firma HEITEC, nach denen fast 70 Prozent der Taktzeiten für Handling der Halbzeuge entstehen. [8]

Folgende Tabelle bietet einer Übersicht ausgewählte Kopiermaschine bzw. Sondermaschinen zum Schlüsselfertigung an:

Tabelle 2.3: Übersicht ausgewählter Hersteller von Maschinen zur Schlüsselfertigung

Firma	Land	Produktportfolio
SILCA	Italien	Kopiermaschinen, Kleine Anlagen und Maschinen
KEYLINE	Italien	Kopiermaschinen
ERREBI	Deutschland	Kopiermaschinen
JMA UK	England	Kopiermaschinen
GIULIANI	Italien	Sondermaschinen
HEITEC	Deutschland	Sondermaschinen

2.1.4 Schlüssel und typische Schlüsselbearbeitung

Die heutzutage häufig verwendeten Schließanlagen nutzen Schlüssel, die unter anderem die folgenden typischen Bearbeitungen erfordern (Nummerierung je nach Abbildung 2.9: Beispiele der typischen Bearbeitung der Schlüssel): [5]

- Bohrmulden (1)
- Kerben (2)
- Profilierung (3)
- Beschriften (4)
- Sonderelemente je nach Hersteller unterschiedlich (5)
- Entgraten / Bürsten

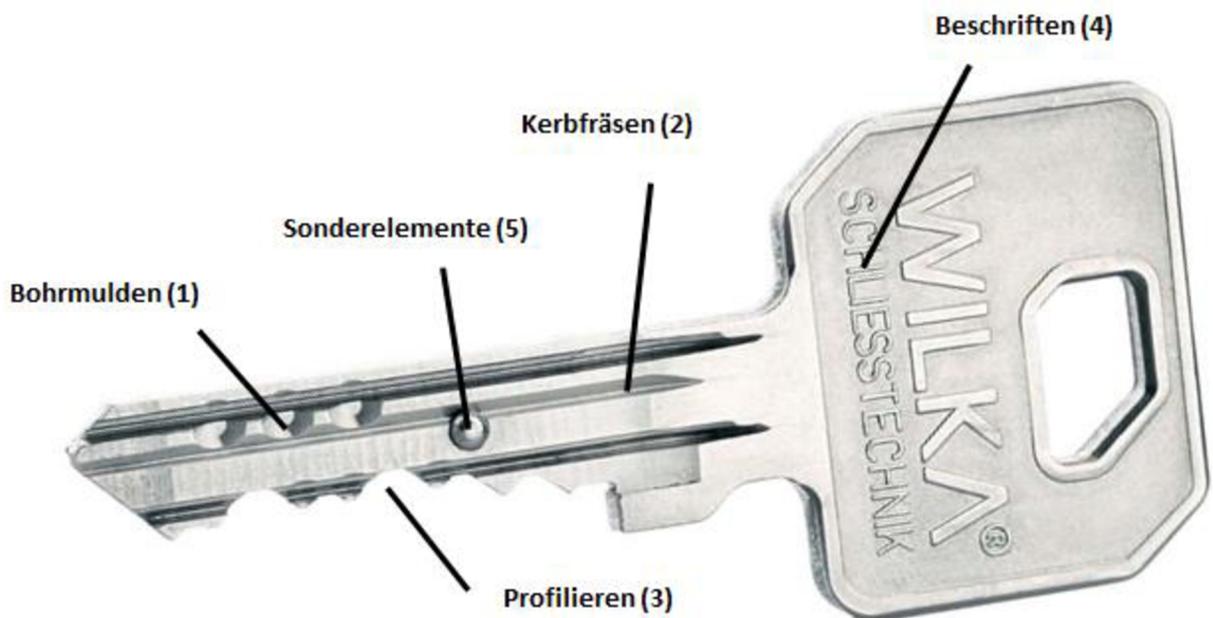


Abbildung 2.9: Beispiele der typischen Bearbeitung der Schlüssel [9]

Folgende Merkmale sind im Bereich Sondermaschinenbau für Schlüsselbearbeitung erkennbar: [5]

- Bei Majorität der Bearbeitung sind klassische spanende Bearbeitungen überwiegend.
- Als Werkzeuge sind meistens spezielle Fräser und Bohrer eingesetzt.
- Zum Beschriften wird häufig elektroerosive Nadelprägung eingesetzt.
- Als Material dienen vornehmlich Aluminium-basierte Legierungen.

Schlüsselrohling

Der Schlüsselrohling ist ein Halbzeug, welches meistens für spanende Bearbeitungen geeignet ist. Je nach Schlüsselhersteller gibt es viele unterschiedliche Schlüsseltypen und Schlüsselgeometrien. Grundsätzlich besteht jeder Schlüssel aus folgenden wesentlichen Bestandteilen, siehe Abbildung 2.10: Erhebliche Teile des Schlüsselrohlings :

- **Reite:** Teil des Schlüssels, welche sich je nach Kundenbedarf unterscheidet. Dieser Teil dient zum Greifen des Schlüssels. In der Fertigungsphase ist dies Bestandteil wesentlich wichtig für das Greifen und das Handling des Schlüssels. Die

Reite enthält wegen der verschiedenen unterschiedlichen geometrischen Formen keine Bezüge bzw. Anschläge.

- **Anschlag:** Ist bezüglich der Herstellung ein wichtiger Teil der Schlüsselgeometrie. Der Anschlag ist voll definiert und gilt als Bezugskante.
- **Bart:** Ist das Funktionsteil des Schlüssels. Er enthält eine definierte Geometrie entsprechend des Schließanlagenprinzips, wie beispielsweise Bohrmulden, Korbfräsnuten, Fräsprofilen.

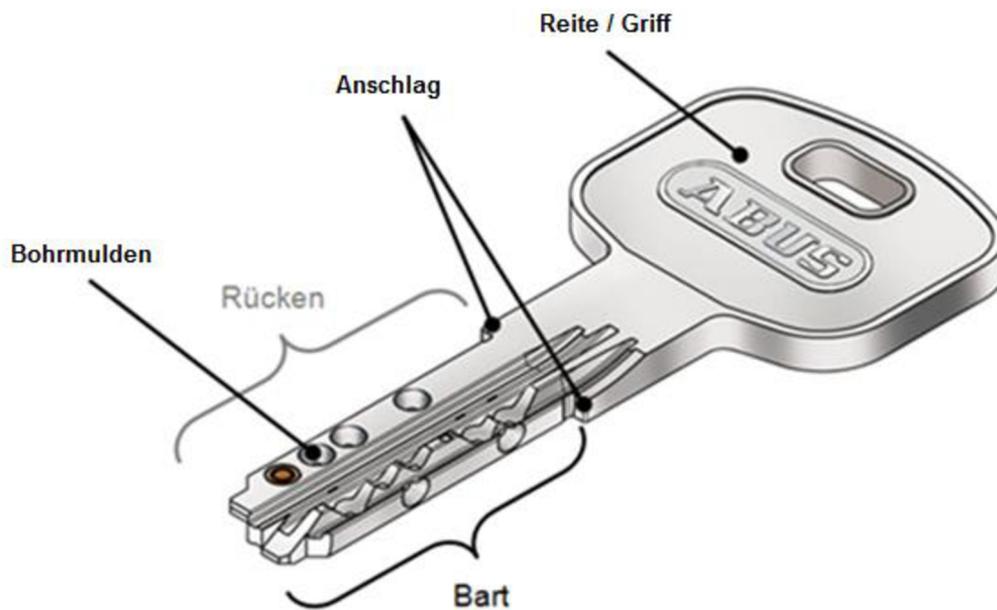


Abbildung 2.10: Erhebliche Teile des Schlüsselrohlings [5]

2.2 Konstruktionslehre

Während man früher das Konstruieren als künstlerischen und schöpferischen Akt beschrieben hat, wird die Konstruktionslehre heute als eine informationsverarbeitende Tätigkeit gesehen. [10]

Allgemein gibt es für das Konstruieren als Tätigkeit viele Definitionen. Als Beispiel lässt sich die folgende Definition von Hubka/Eder erwähnen: [11]

„Konstruieren wird definiert als die Transformation einer Information vom Zustand der Anforderung in die Beschreibung eines technischen Systems, welches die Anforderungen auf die z. Z. bestmögliche Weise erfüllt.“

2.2.1 Charakter der Konstruktionsarbeit

Der Konstrukteur, als Synonym für Entwicklungs- und Konstruktionsingenieur, ist überwiegend an der Lösungsfindung und Produktentwicklung tätig. Seine Ideen, Kenntnisse und Fähigkeiten bestimmen die Eigenschaften eines Produktes. [12]

Entwickeln und Konstruieren ist eine interessante Ingenieurstätigkeit, die: [12]

- viele Gebiete des menschlichen Lebens berührt.
- sich der Gesetze und Erkenntnisse der Naturwissenschaft bedient.
- zusätzlich auf spezielles Erfahrungswissen aufbaut.
- durch hohe Eigenverantwortung begleitet wird.

- die Voraussetzungen zur Verwirklichung von Lösungsideen schafft.

Hinsichtlich der Konstruktionsneuheit unterscheidet man im Wesentlichen zwischen drei Konstruktionsarten: [12], [10]

- Neukonstruktionen
- Anpassungskonstruktionen
- Variantenkonstruktionen

Unter *Neukonstruktion* versteht man die Konstruktion von "neuen" Bauteilen, ohne dass man auf vorhandene Bauteile zurückgreift. Man spricht jedoch ebenfalls von Neukonstruktionen wenn bekannte oder nur wenig geänderte Aufgabenstellungen mit neuen Lösungsprinzipien gelöst werden.

Bei *Anpassungskonstruktionen* bleiben die bekannten Lösungsprinzipie bestehen, wobei die Gestaltung an die veränderten Rahmenbedingungen angepasst wird. Oft ist die Neukonstruktion für einzelne Teile und Baugruppen nötig. Hier stehen die geometrischen und fertigungs- und werkstofftechnischen Fragen im Vordergrund.

Bei der *Variantenkonstruktion* wird das Lösungskonzept einer bestehenden Konstruktion übernommen. Es werden lediglich Maße ganz oder teilweise geändert bzw. Details weggelassen oder ergänzt. Hierunter fallen auch Konstruktionsarbeiten, bei denen nur die Abmessungen von Einzelteilen geändert werden. [12]

2.2.2 Methodische Aufgabenstellungspräzisierung

Konstruktionsabteilungen erhalten ihre Aufgaben von anderen Unternehmensbereichen. Dabei wird im Allgemeinen die Aufgabenstellung an die Konstruktion oder an die Entwicklung in folgender Form herangetragen: [12]

- als Entwicklungsauftrag
- als konkrete Bestellung eines Kunden
- als Anregung, beispielsweise aufgrund von Verbesserungsvorschlägen und Kritik durch Verkauf, Versuch, Prüffeld, Montage oder aus dem Konstruktionsbereich [12]

Die Konstruktionsabteilung steht vor dem Problem, die lösungsbeeinflussenden Produktspezifikationen zu erkennen, mit quantitativen Angaben zu formulieren und zu dokumentieren. Das Ergebnis dieses Prozesses ist die *Anforderungsliste*. Sie stellt somit das Dokument zur Produktspezifikation für die Konstruktionsabteilung dar. [12]

In enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber werden zuerst folgende Fragen erklärt: [12]

- Welchen Zweck muss die beabsichtigte Lösung erfüllen?
- Welche Eigenschaften muss sie aufweisen?
- Welche Eigenschaften darf sie nicht haben?

Die Hauptarbeitsschritte zur Erarbeitung der Anforderungsliste sind in der Abbildung 2.8 dargestellt. Hierbei ist ein zweistufiges Vorgehen zu erkennen. In der ersten Stufe werden offensichtliche Anforderungen definiert und dokumentiert. Diese Anforderungen werden im zweiten Schritt mit Hilfe entsprechender Methoden ergänzt bzw. weiter spezifiziert. [12]

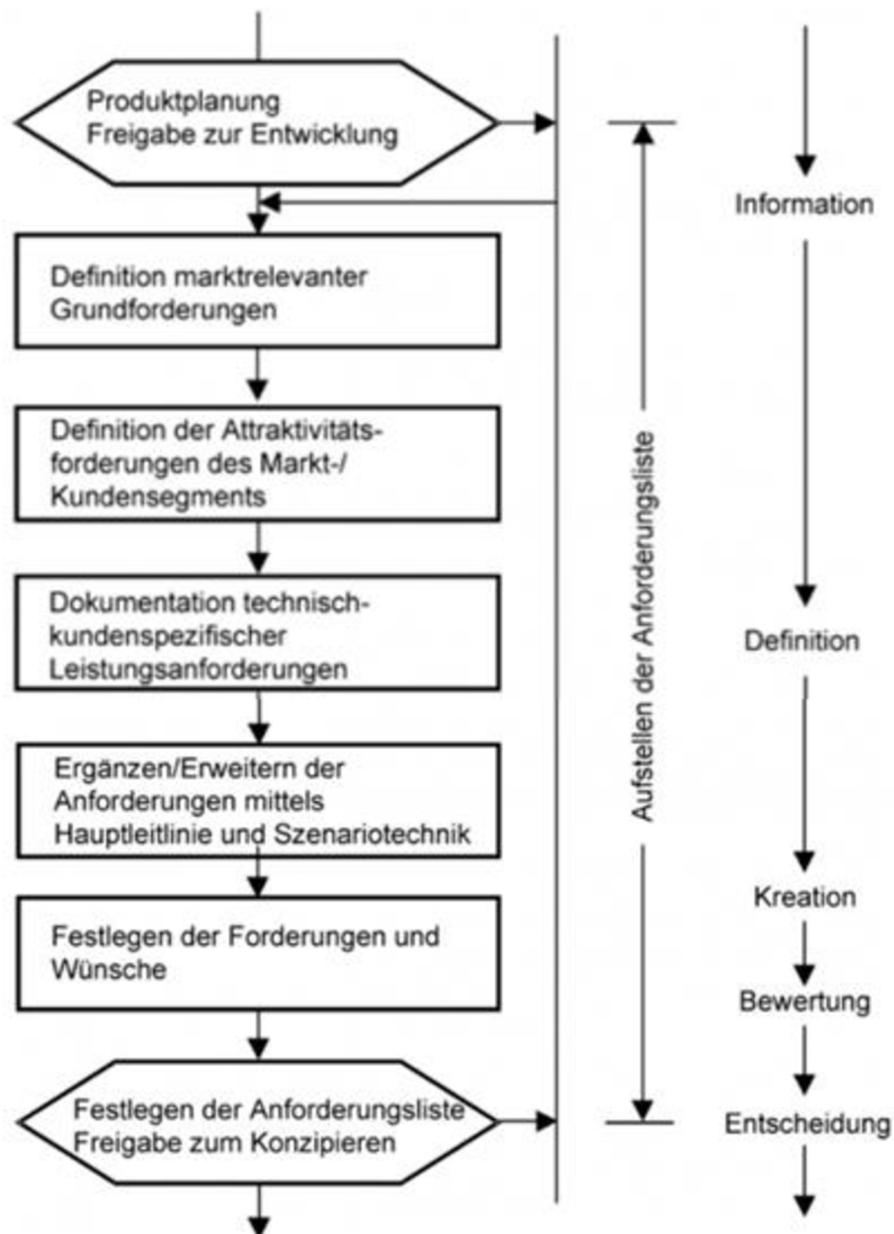


Abbildung 2.11: Hauptarbeitsschritte zum Aufstellen der Anforderungsliste [12]

2.2.3 Methoden der Lösungssuche und Beurteilung

Eine optimale Konstruktionslösung ist vornehmlich durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet: [12]

- Weitgehende Erfüllung aller Wünsche und Aspekte der Anforderungsliste.
- Realisierung unter bestimmten unternehmensspezifischen Bedingungen (Fertigungsmöglichkeiten, Kosten, Liefertermine, usw.)

2.2.3.1 Konventionelle Methoden und Hilfsmittel für Lösungssuche

Literatur [12] bietet folgende Konventionelle Methoden der Lösungssuche an:

Kollektionsverfahren

Unter diese Verfahren versteht man eine Sammlung und Auswertung von Informationen zum Stand der Technik, als wichtige Grundlagen für den Konstrukteur. Die Techniken und Prozesse z.B. des Internets, bieten heute die Möglichkeit die Klassischen Verfahren wie

- Literaturrecherche,
- Auswertung von Verbandsberichten,
- Auswertung von Messen und Ausstellungen,
- Auswertung der Kataloge und Konkurrenzprodukten,
- Patentrecherche usw.

effizient und gezielt durchzuführen. Diese meist internetbasierten Prozeduren sind heute Stand der Technik an einem Ingenieurarbeitsplatz, wobei die Meinung von Experten und Fachleuten dennoch berücksichtigt werden sollte. [12]

Analyse natürlicher Systeme

Das Studium von Formen, Strukturen und Vorgängen unserer Natur, sowie die Nutzung der in der Biologie gewonnenen Erkenntnisse, können zu vielseitig anwendbaren und neuartigen technischen Lösungen führen. Für die schöpferische Phantasie des Konstrukteurs kann die Natur viele Anregungen geben. [12]

Analyse bekannter technischer Systeme

Die Analyse bekannter technischer Systeme gehört zu den wichtigsten Hilfsmitteln mit denen man zu neuen oder verbesserten Varianten bekannter Lösungen gelangen kann. Bekannte Systeme zum Zwecke der Analyse können sein:

- Produkte oder Verfahren des Wettbewerbs
- Ältere Produkte und Verfahren des eigenen Unternehmens
- Ähnliche Produkte oder Baugruppen, bei denen einige Teilfunktionen bzw. Teile der Funktionsstrukturen übereinstimmen

Bei dieser Informationsgewinnung kann man auch von einer systematischen Nutzung von Bewährtem bzw. von Erfahrung sprechen, weil man nur solche Systeme analysiert, welche einen gewissen Bezug zur neuen Aufgabe nehmen oder sie bereits zum Teil erfüllen konnten. Dabei ist jedoch kritisch zu bemerken, dass eine Gefahr besteht, an den bekannten Lösungen festzuhalten und somit neue fortschrittliche Wege nicht eingeschlagen werden. [12]

Analogiebetrachtungen

Zur Lösungssuche und zur Ermittlung von Systemeigenschaften, kann die Übertragung von vorliegenden Problemen oder von Systemfunktionen des neu betrachteten Systems auf ein analoges bereits bestehendes System nützlich sein und zur Lösungsfindung helfen. Hierbei wird das bestehende System als Modell des beabsichtigten Systems zur weiteren Betrachtung verwendet. Unterschiede zwischen analogen technischen Systemen können z.B. durch Änderung der Energieart gewonnen werden. Wichtig sind auch Analogiebetrachtungen zwischen technischen und nichttechnischen Systemen. [12]

Messungen, Modellversuche

Zu den wichtigsten Informationsquellen des Konstrukteurs gehören Messungen, Modellversuche und sonstige experimentelle Untersuchungen. [12]

2.2.3.2 Bewerten von Lösungsvarianten

Zur Auswahlen der besten Varianten verschiedener Lösungskonzepte kommen verschiedenen Bewertungsverfahren zum Einsatz. Das Bewerten der Lösungsvarianten bietet einen klaren und objektiven Vergleich der wichtigsten Eigenschaften der zu konstruieren-

de Anlage. Um Lösungsvarianten zu beurteilen, ist klare Benennung der Bewertungskriterien erforderlich. Diese ergeben sich vor allem aus den Anforderungen an die Maschine bzw. aus den Anforderungslisten. [13], [14], [12]

Diese Kriterien sind mithilfe der Wertskala nach VDI 2225 mit folgenden Punkten bewertet:

Tabelle 2.4: Wertskala nach VDI 2225 [13]

Punkte	Bedeutung	Merkhilfe für Bewertung
0	Unbefriedigend	Weit unter Durchschnitt
1	Gerade noch tragbar	Unter durchschnitt
2	Ausreichend	Durchschnitt
3	Gut	Über Durchschnitt
4	Sehr gut (ideal)	Weit über durchschnitt

Falls die Bewertungskriterien nicht gleichwertig sind, können Gewichtungsfaktoren vergeben werden. Alle Punkte werden dann mit den Faktoren g_1 bis g_n multipliziert, und die aus diesem Produkt ergebenden Punkte sind für die Bewertung zu addieren. Als Wert für die Güte der einzelnen Lösungen, lässt sich mit diesem Wissen die **Technische Wertigkeit** W_t berechnen. [13]

$$W_t = \frac{P_1(V_1) + P_2(V_2) + \dots + P_n(V_n)}{n_{max} \cdot P_{max}} =$$

$$= \frac{\sum P_{Variante}}{n_{max} \cdot P_{max}} = \frac{P_1 \cdot g_1 + P_2 \cdot g_2 + \dots + P_n \cdot g_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot P_{max}} = \frac{\sum P \cdot g}{P_{max} \cdot \sum g}$$

$\sum P \cdot g$ ist ein Produkt der Multiplikation der Summe der Punkte P je Variante V und des Gewichtungsfaktors g je Kriterium.

$P_{max} \cdot \sum g$ ist ein Produkt der möglichst besten Bewertung und Anzahl der Punkte je Variante und der Summe aller Werte der Gewichtungsfaktoren.

Zur Beurteilung der Lösungsvarianten wird die Wertigkeit in folgende Bereiche eingeteilt: [13]

- Sehr gute Lösung $W_t > 0,8$
- Gute Lösung $W_t = 0,7$
- Unbefriedigende Lösung $W_t < 0,6$

2.3 Konstruktion von Werkzeugmaschinen

Ein Konstrukteur im Bereich Werkzeugmaschinenbau beeinflusst mit seiner Tätigkeit fast alle Kollegen und Prozesse in seinem Betrieb. Unter diesem Aspekt ist die Konstruktion ein spezifischer Prozess, ohne welchen keine Maschine hergestellt werden könnte. [15]

Ein Konstrukteur muss beim Entwurf einer Werkzeugmaschine unter anderem diese Faktoren in Betracht ziehen: [15]

- Einsatzbereich der Maschine
- Marktsituation
- Gesetzgebung
- Wirkung der Maschine auf die Umgebung
- Wirkung der Umgebung auf die Maschine
- Wertmanagement

Diese Faktoren bilden eine große und komplizierte Aufgabe für den Konstrukteur, da viele Faktoren gleichzeitig betrachtet werden müssen. [15]

2.3.1 Risikoanalyse im Werkzeugmaschinenbau

2.3.1.1 Normen für Maschinensicherheit in der EU

In der Europäischen Union hergestellten und verkauften Werkzeugmaschinen müssen alle rechtlichen Normen erfüllen. Für diese Erfüllung sind der Hersteller und alle Zulieferer verantwortlich. [15]

Die Europäische Union setzt folgende rechtliche Vorschriften durch: [16]

- **Verordnungen**
gelten nach ihrer Verabschiedung direkt in allen Mitgliedstaaten. Sie sind für die Mitgliedstaaten, ihre Behörden und Organe unmittelbar verbindlich. Steht eine Verordnung im Konflikt mit einem nationalen Gesetz, so hat die Verordnung Vorrang.
- **Richtlinien**
legen ein Ziel und einen Zeitrahmen für dessen Umsetzung fest. Sie müssen von den Mitgliedstaaten in nationales Recht umgesetzt werden. Welche Mittel der Mitgliedstaat dabei einsetzt, bleibt ihm überlassen.
- **Entscheidung**
ist in allen ihren Teilen für diejenigen verbindlich, die sie bezeichnet. Adressaten einer Entscheidung können Mitgliedstaaten oder natürliche oder juristische Personen sein.
- **Empfehlungen**
sind nicht verbindlich und begründen für den Empfänger keine Rechte und Pflichten.

Zum Thema Maschinensicherheit existieren umfangreiche Vorschriften. Eine von besonders wichtiger Bedeutung ist die Richtlinie „**RICHTLINIE 2006/42/EG** DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG“. Diese Richtlinie gilt für die folgenden Erzeugnisse: [17]

- Maschinen
- auswechselbare Ausrüstungen
- Sicherheitsbauteile
- Lastaufnahmemittel
- Ketten, Seile und Gurte
- abnehmbare Gelenkwellen
- unvollständige Maschinen

Weitere Regelungen erfolgen in der EU durch **Normen**. Normen sind dokumentierte Vereinbarungen, in denen Kriterien für Produkte, Dienstleistungen und Verfahren festgelegt werden. Mithilfe von Normen kann gewährleistet werden, dass Produkte und Dienstleistungen für den vorgesehenen Zweck geeignet, vergleichbar und kompatibel sind. [18]

Auf europäischer Ebene kommen die EN-Normen zur Anwendung. Das Normenwesen in Europa lässt sich in sogenannte A-, B-, und C-Normen gliedern. [18]

- **A-Normen**
sind in allen übergeordnet, und befassen sich mit grundlegenden Sicherheitsanforderungen für Maschinen
- **B-Normen**
befassen sich mit Sicherheitsaspekten und Schutzeinrichtungen
- **C-Normen**
befassen sich mit einer konkreten Maschinenart oder Maschinengruppe

Wesentliche Aussagen für die Sicherheit an Maschinen und Anlagen treffen vor Allem die Grundnormen (A- und B-Normen). Die wichtigsten Grundnormen fasst folgende Tabelle zusammen. [18]

Table 2.5: Übersicht ausgewählter Grundnormen für Maschinensicherheit [18]

Bereich		Normen
Sichere Konstruktion	Mechanik	EN ISO 12100 EN ISO 13849-1
	Pneumatische Ausrüstung	EN ISO 4414
	Hydraulische Ausrüstung	EN ISO 4413
	Elektrische Ausrüstung	EN 60204-1 EN 60947-1/-1
Wahl der Schutzeinrichtungen		EN 953 EN ISO 14119 EN 1760-3 EN 61496 EN ISO 13850
Wirksamkeit der Schutzeinrichtung		EN ISO 13857 EN 349

2.3.1.2 Realisierung der sicheren Konstruktion einer Werkzeugmaschine

Beim Entwurf bzw. der Konstruktion einer sicheren Werkzeugmaschine kommen die Normen „ISO EN ISO 12100-1/-2“ und „EN ISO 14121-1“ zum Einsatz. [15]

Diese Normen beschreiben einen iterativen Prozess zur Risikominderung und zur sicheren Konstruktion einer neuen Maschine. Dieser Prozess ist in der Abbildung 2.9 verdeutlicht. [19]

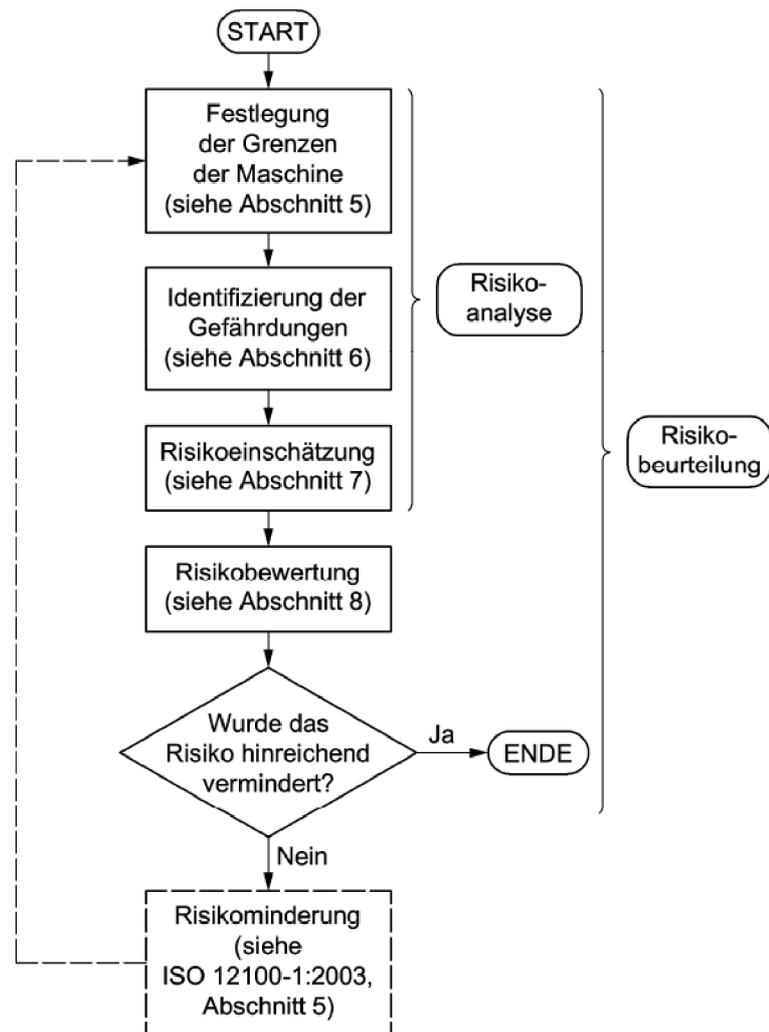


Abbildung 2.12: Iterativer Prozess zur Risikominderung [19]

Mit dieser methodischen Vorgehensweise können Risiken und Gefährdungen effizient erkannt, und ihre Wirkungen und Schaden deutlich vermindert werden. [19]

Die oben erwähnten Prozesse enthalten folgende bedeutende Schritte: [19]

Festlegung der Grenzen der Maschine

Risikobeurteilung beginnt mit der Festlegung der Grenzen der Maschine unter Berücksichtigung sämtlicher Phasen ihrer Lebensdauer. Dies bedeutet, dass die Merkmale und die Leistung der Maschine oder einer Reihe von im selben Prozess eingesetzten Maschinen sowie die am Maschinenprozess beteiligten Personen, die Umgebung und die mit der Maschine in Zusammenhang stehenden Produkte im Hinblick auf die Grenzen der Maschine genau bestimmt werden sollten. Zu diese Maschinegrenzen gehören: [19]

- Verwendungsgrenzen
- Räumliche Grenzen
- Zeitliche Grenzen
- Weitere Grenzen

Identifizierung der Gefährdungen

Nach der Festlegung der Grenzen der Maschine besteht der wichtigste Schritt bei jeder Risikobeurteilung einer Maschine in der systematischen Identifizierung vorhersehbarer Gefährdungen, Gefährdungssituationen und/oder Gefährdungsereignisse in sämtlichen Phasen der Lebensdauer der Maschine, d. h.: [19]

- Transport, Zusammenbau und Installation
- Inbetriebnahme
- Verwendung
- Außerbetriebnahme, Demontage und Entsorgung

Risikoeinschätzung

Nach der Identifizierung der Gefährdungen ist für jede Gefährdungssituation eine Risikoeinschätzung durchzuführen, indem sind die so genannten „Risikolemente“ und „Während der Risikoeinschätzung zu berücksichtigende Aspekte“ zu bestimmen. [19]

Zur Einschätzung der Risiken und den potentiellen Schäden, lassen sich als Hilfsmittel folgenden Graphen nutzen. [20]

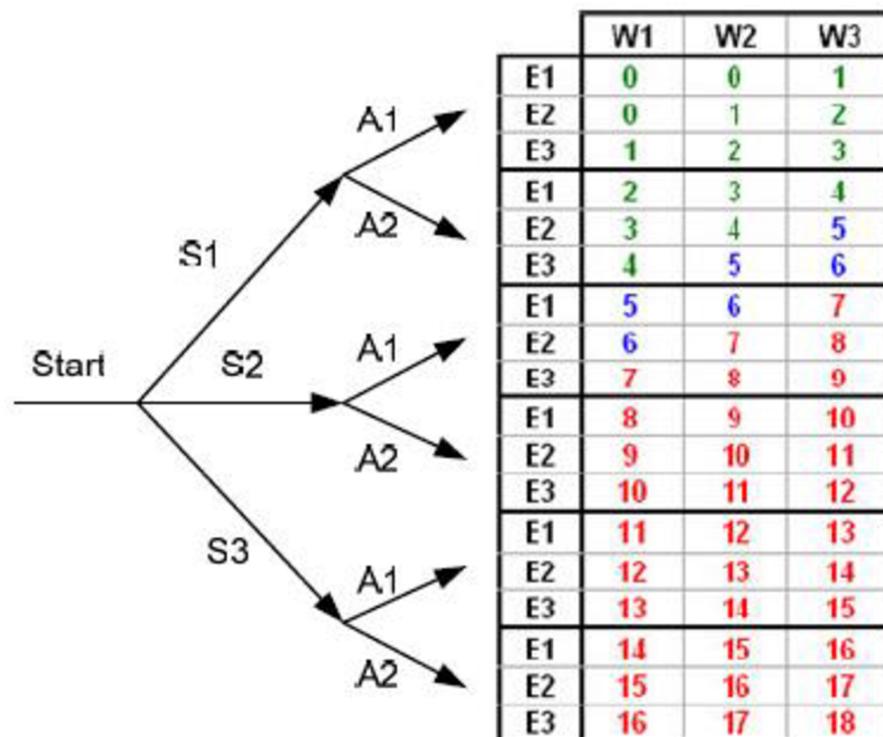


Abbildung 2.13: Risikoanalyse - Graph zur Risikoeinschätzungsermittlung [20]

Legende: [20]

Schwere der Verletzung

- S1** leichte Verletzung
S2 schwere Verletzung oder Tod

Möglichkeiten zur Vermeidung der Gefährdung

- E1** mäßig
E2 mäßig unter bestimmte Umstände
E3 kaum mäßig

Häufigkeit der Gefährdungssituation

- A1** selten bis oft
A2 oft bis ständig

Wahrscheinlichkeit der Gefährdungssituation

- W1** klein
W2 mittig
W3 groß

0-4 relevante Risiken
5-6 erhebliche Risiken
8-18 bedeutende Risiken

Risikobewertung

Im Anschluss an die Risikoeinschätzung muss eine Risikobewertung durchgeführt werden, um zu entscheiden, ob eine Risikominderung notwendig ist. Falls eine Risikominderung notwendig ist, sind geeignete Schutzmaßnahmen auszuwählen, anzuwenden und die Risikobeurteilung ist zu wiederholen. Dies ist ein mehrstufiger iterativer Prozess. Norm [19] spricht über ein 3-Schritt Verfahren, wobei mit der Einführung folgende Maßnahmen das Risiko möglichst vermindert werden soll:

- Konstruktive Maßnahmen
- Anwendung technischer und ergänzender Schutzmaßnahmen
- Hinweise und Benutzerinformationen

Das Erreichen einer hinreichenden Risikominderung und das positive Ergebnis des Risikovergleichs geben Vertrauen, dass das Risiko hinreichend vermindert wurde. [19]

2.3.2 Werkzeugmaschinenenergonomie

Die Ergonomie ist eine Lehre, welche sich mit der menschlichen Arbeit und der optimalen Anpassung an die vorgegebenen Rahmenbedingungen beschäftigt. Die Analyse der Ergonomie umfasst unter anderem Betrachtungen zu:

- Arbeitsumgebung
- Arbeitsplatz
- Arbeitsmittel

und dessen Wirkung auf die Eigenschaften und Fähigkeiten des arbeitenden Menschen. [21]

Ziele der Ergonomie können vereinfacht zusammengefasst werden in: [21]

- **Humanität**
Gestaltung von Arbeitsplätzen nach den Anforderungen des Menschen, Einsatz des arbeitenden Menschen nach körperlicher und geistiger Eignung, optimale Schulung und Ausbildung der arbeitenden Menschen.
- **Wirtschaftlichkeit**
Arbeitsablaufoptimierung, optimale Anpassung der Mittel an die Aufgaben
- **Arbeitsschutz**
Unfallverhütung, Vermeidung von Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren [21]

Ein Verfahren und Hilfsmitteln zur ergonomischen Gestaltung der Maschine ist die Verwendung der so genannten Checkliste. Diese sind zusammengefasste im normbasierten Vorgehen entsprechender Ämter bzw. Normungsinstitutionen. [22]

Folgende Beispielabbildung zeigt einen Ausschnitt aus der Checkliste der Deutschen Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV).

6 Checkliste

1 Zugang zu Maschinen entfällt

Prüfen Sie bitte, ob tatsächlich Ganzkörperzugänge an den Maschinenarbeitsplätzen vorhanden sind. Falls keine Ganzkörperzugänge vorhanden sind, kreuzen Sie „Entfällt“ an und fahren mit Abschnitt 1.2 fort.

1.1 Mindestgröße von Ganzkörperzugängen an Maschinenarbeitsplätzen entfällt

Erlauben die Durchgänge innerhalb der Maschine einen ungehinderten und sicheren Zugang zu den Arbeitsplätzen, um Maßnahmen, wie die Betätigung von Stellteilen, das Überwachen von Arbeitsabläufen und das Prüfen von Arbeitsergebnissen, ausführen zu können?

*Die Notwendigkeit von Ganzkörperzugängen innerhalb der Maschine ist meistens nur bei sehr großen Maschinen gegeben!
Zur Begriffsbestimmung nehmen Sie bitte die zugehörige Information (BGI/GUV-I 5048-2) zur Hilfe. Jeder Frage ist dort eine Skizze zugeordnet, die das zu kontrollierende Maß darstellt.*

a) **Beträgt die Höhe von Ganzkörperzugängen mindestens 197 cm?** entfällt

200

Messung mit Maßband	siehe 5048-2	ja	nein	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Bei Helmtragepflicht: 203 cm

Norm	Abschnitt
DIN EN 547-1:2009	4.1

Abbildung 2.14. Ausschnitt der Checkliste "Ergonomische Maschinengestaltung" [23]

Zu dieser Checkliste sind in der Regel zusätzliche Informationen in Form der „Informationen zur Checkliste“ beigelegt. Diese enthält weiterführende Erklärungen und Skizzen zu Fragen aus der Checkliste. [23]

3 Profile der Unternehmen

Das Projekt „Konzepterstellung einer Kompaktschlüsselbearbeitungsmaschine“ ist ein Kooperationsprojekt zweier Unternehmen:

- „euro engineering AG Niederlassung Chemnitz“ als Auftragnehmer
- „HEITEC Auerbach GmbH & Co. KG“ als Auftraggeber



Abbildung 3.1: Logos der Unternehmen [24], [5]

Die „euro engineering AG“ ist mit über 40 Niederlassungen bundesweit einer der führenden Engineering-Dienstleister Deutschlands. In den eigenen Technischen Büros oder direkt beim Kunden werden hochanspruchsvolle Projekte realisiert. [24]

Das Technische Büro der „euro engineering AG“ in Chemnitz existiert seit 2001 und hat sich als professioneller Partner für die Maschinenbau- und Automobilzulieferindustrie am traditionsreichen Maschinenbaustandort Chemnitz etabliert. Die Niederlassung in Chemnitz ist unter anderem in folgenden Bereichen tätig: [24]

- Produktentwicklung
- CAD-Konstruktion
- Automatisierung und Robotik
- SPS Programmierung [24]

Die „HEITEC Auerbach GmbH & Co.KG“ ist eng verbunden mit der Tradition des Werkzeugmaschinenbaues. Im Laufe des 18-jährigen Bestehens der Firma sind 4 Geschäftsbereiche als logische Folge und Notwendigkeit auf die bestehenden Marktforderungen entstanden: [5]

- Sondermaschinenbau
- Automatisierung
- Schaltschrankbau
- Blechbearbeitung

Die Anlagen zur Herstellung unterschiedlicher Sicherheitsschlüssel aus unbehandelten gestanzten und/oder geprägten bzw. vorprofilierten Rohlingen, sind eine der wichtigsten Sondermaschinen der Firma. Die Kunden der Firma „HEITEC“ sind aus der Schlüsselindustrie unter anderem z.B.: [5]

- KABA
- WILKA
- Schließanlagen Pfaffenhain

Strany 23-85 nejsou na základě směrnice TU Chemnitz číslo 21/2008 „Prüfungsordnung für den konsekutiven deutsch-tschechischen Studiengang Produktionssysteme mit dem Doppelabschluss (double degree) Master of Science (M.Sc.) und Inženýr (Ing.) an der Technischen Universität Chemnitz vom 11. Juli 2008“ o závěrečných pracích zpracovávaných v režimu utajení veřejné.

9 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war die Konzepterstellung einer kompakten Schlüsselbearbeitungsmaschine, die einen Kompromiss zwischen kleinen Schlüsselkopiermaschinen und großen Sonderanlagen bilden soll. Dabei standen die Gestaltung des Konzepts mit möglichst geringen Maschinenaufbaumaßen, sowie das Erreichen der geforderten Taktzeiten im Vordergrund. Ein weiterer Gestaltungsaspekt war die möglichst modulare Gestaltung der Maschine.

Im ersten Schritt wurden die Kernbaugruppen der Maschine betrachtet, welche die grundlegenden Komponenten für eine Schlüsselbearbeitung bilden. Weiterhin wurde zur optimalen Ausnutzung der Handhabungszeiten das Prinzip eines Doppelgreifers verfolgt, welcher gleichzeitig eine Kernkomponente der Maschine darstellt. Nachfolgend bilden diese Komponenten die Bausteine für zwei verschiedene Varianten von Lösungskonzepten. Bei der Variante A wird der Fertigungsprozess hauptsächlich durch ein Linearprinzip mit mehreren Achsen realisiert, während bei der Variante B auf einen Rundtisch zurückgegriffen wurde. Die Konzeptvarianten A und B wurden vor allem hinsichtlich ihrer Taktzeitberechnung analysiert. Dabei kam ein universelles Schema zum Einsatz, womit die Taktzeitberechnung auch für verschiedene Kundenspezifikationen und für eine unterschiedliche Anzahl notwendiger Schlüsselbearbeitungen schnell und einfach möglich ist. Durch dieses Schema ließen sich die zwei Varianten vergleichen und bewerten. Dabei wurde ersichtlich, dass die Variante B die bessere und effektivere Lösung darstellt. Somit wurden die folgenden Betrachtungen ausschließlich mit dieser Variante fortgesetzt.

Die gewählte Konzeptvariante ist im nächsten Schritt weiter analysiert und die Kernbaugruppen wurden weiter auskonstruiert. Dabei wurde ein Rundtisch hinsichtlich der auftretenden Massenträgheit und der gewünschten Taktzeit aus einem Herstellerportfolio ausgewählt. Um das Problem der pneumatischen Medienzuführung zu lösen, sind ebenfalls zwei verschiedene Varianten für die Schlüsselannahme analysiert und konstruiert wurden. Weiterhin konnte die Baugruppe des Doppelgreifers, hinsichtlich der Schwenkzeit und der Massenträgheit, entsprechend optimiert und weiter auskonstruiert werden. Außerdem wurden verschiedene Varianten für die Schlüsselabgabe betrachtet und unter bestimmten Gesichtspunkten das optimale Lösungskonzept gewählt. Einen wichtigen Aspekt stellt ebenfalls die Betrachtung der Kosten dar. Somit wurden die Kosten der wichtigsten Komponenten analysiert und auf einen Wert von ca. 20.000 Euro geschätzt. Abgeschlossen wird die Konzepterstellung mit einer Risikoanalyse sowie mit einer Bewertung der Maschinenergonomie.

Abschließend lässt sich als Ergebnis der Masterarbeit festhalten, dass ein Konzept für eine Schlüsselmaschine gefunden wurde, welches eine Marktlücke im Bereich des Sondermaschinenbaus schließt. Als Ausblick und für die weitere Entwicklung und die tatsächliche Realisierung der Maschine, sollte das entworfene Prinzip des Doppelgreifers vor allem in seiner Funktionalität geprüft werden. Dazu könnte ein Prototyp bzw. ein Prüfstand entworfen werden, welcher den Schnellwechsel des Schlüssels auf seinen gewünschten Arbeitsablauf überprüft. Weiterhin wäre eine Marktanalyse sinnvoll, um an genauere Daten über Kundenwünsche und über bestimmte Anforderungen an die Maschine zu gelangen. Dazu könnten Methoden der Produktplanung, wie z.B. die Methode QFD (Quality Function Deployment) eingesetzt werden. Letztendlich müssen die Konzepte und Entwürfe der Baugruppen nicht nur auskonstruiert werden, sondern sich ebenfalls in der Realität beweisen.

Diese Arbeit ist um zahlreiche Anlagen erweitert wurden. Die zusätzlichen Skizzen und Zeichnungen sind im Anhang zu finden und dienen dem besseren Verständnis der schriftlich beschriebenen Ausführungen.

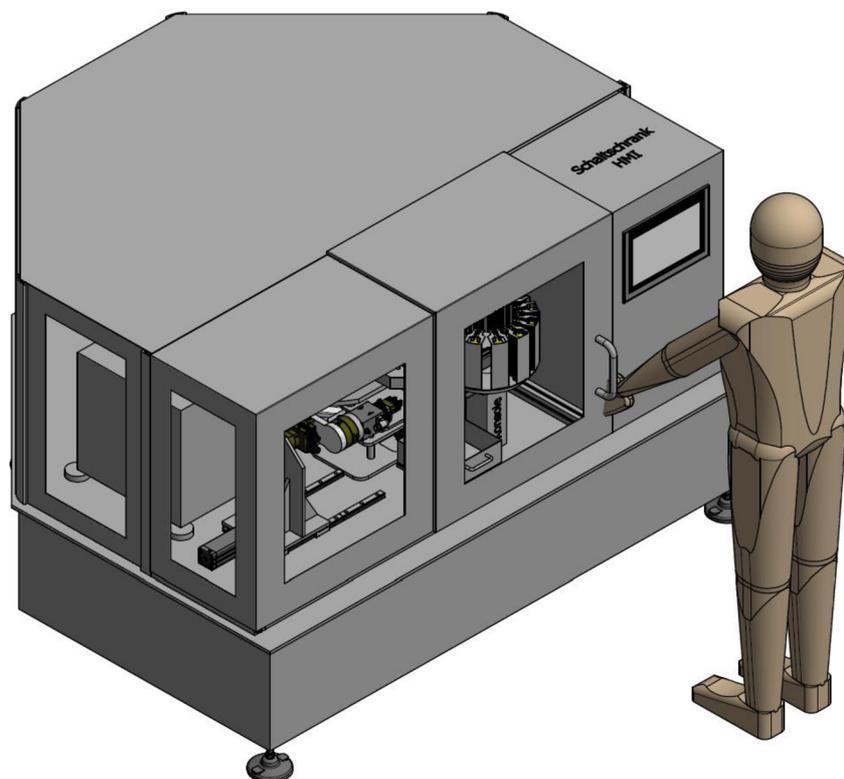
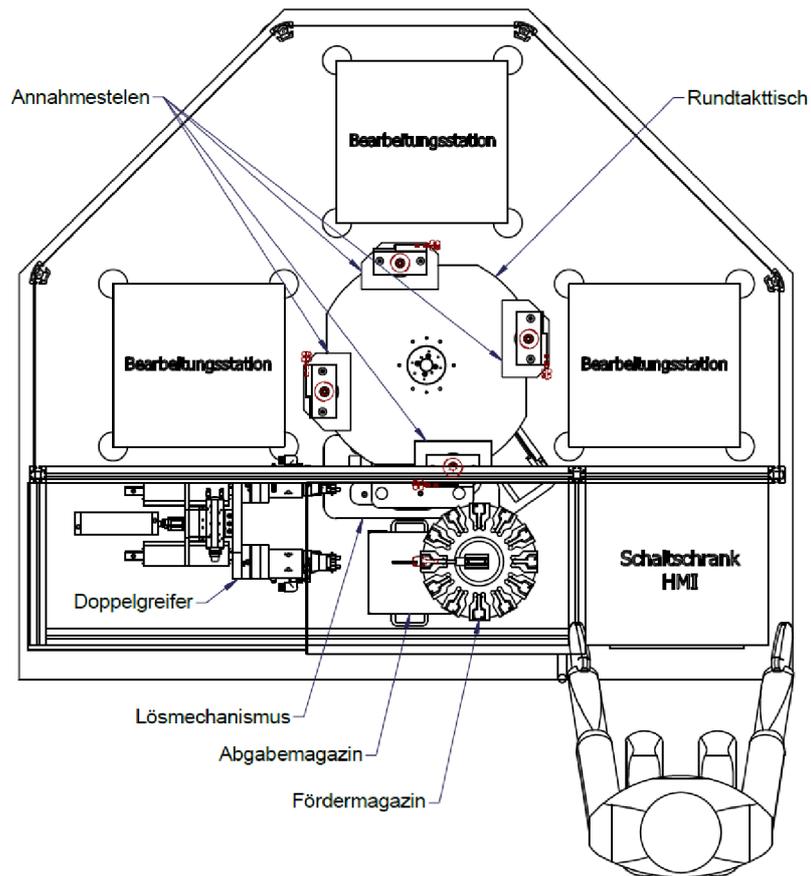


Abbildung 9.1: 3D Modell ZSB - Modell der Maschine

10 Shrnutí diplomové práce v českém jazyce

V této kapitole jsou uvedeny rozšiřující informace, respektive překlad diplomové práce do českého jazyka. Ke stěžejním kapitolám je uveden širší popis a překlad s odkazy na příslušné texty v originále.

Kapitola: 2 Stand der Technik

V první části práce byla provedena krátká rešerše stavu poznání v oblasti bezpečnostních klíčů a jejich výroby. Krátké historické souvislosti následuje výčet současných výrobců klíčů (Schlüsselhersteller) i jednoúčelových strojů určených k takové výrobě. V zásadě se tyto stroje mohou rozdělit do dvou kategorií: (Maschinen zur Schlüsselherstellung)

- Kopírovací stroje
- Jednoúčelové stroje

Zatímco kopírovací stroje jsou malá stolní zařízení, určená ke kusové výrobě, respektive kopírování klíče, jednoúčelové stroje k obrábění klíčů jsou vysoce specifická zařízení na míru zákazníka, obvykle s velkými zástavbovými rozměry a pořizovacími náklady.

Rovněž jsou zde uvedeny typické obráběcí operace na vyráběném klíči. (Abbildung 2.9: Beispiele der typischen Bearbeitung der Schlüssel) Patří mezi ně:

- Vrtání důlků
- Frézování podélných drážek
- Frézování profilu klíče
- Popis klíče
- Zvláštní elementy a operace dle výrobce klíče
- Odjehlení neboli kartáčování

Dále je v této kapitole sepsána rešerše stavu techniky v oblastech metodiky konstruování a konstruování s ohledem k obráběcím strojům. Je naznačena metodika analýzy rizik a ergonomie strojů.

Kapitola: 3 Profile der Unternehmen

V následující kapitole jsou představeny v projektu zainteresované německé podniky, díky jejichž spolupráci byla diplomová práce vypracována. Těmito jsou:

- euro engineering AG Chemnitz jakožto řešitel projektu
- HEITEC Auerbach GmbH & Co. KG jakožto zadavatel projektu

euro engineering AG je zprostředkovatelem inženýrských služeb. Pobočka v Chemnitz se zabývá zejména:

- Produktovým vývojem
- Řízení strojů a programováním PLC, automatizací a robotikou
- Konstrukcí jednoúčelových strojů, zařízení a přípravků
- Školení a podpora konstrukce v 3D CAD Software

Firma HEITEC Auerbach GmbH & Co. KG se zabývá konstrukcí a výrobou jednoúčelových strojů. Mezi významné výrobní programy patří rovněž výroba speciálních strojů k výrobě bezpečnostních klíčů.

Kapitola: 4 Aufgabenpräzisierung

Tato kapitola upřesňuje zadání práce a motivaci projektu. Firma HEITEC sleduje požadavek trhu na menší a s ohledem na pořizovací náklady méně náročné stroje v porovnání s komplexními jednoúčelovými linkami firmy, které jsou náročné na prostory a pořizovací náklady. Příkladem takového stroje je stroj PROTECH konkurenční italské firmy SILCA S.P.A. (Abbildung 2.7: SILCA PRO TECH Abmaß- und Parameterübersicht):

S určitým zjednodušením můžeme zadání práce popsat jako vytvoření konceptu stroje s následujícími rozhodujícími parametry: (Tabelle 4.1: Ausschnitt von der Anforderungsliste der Maschine)

- Kompaktní zástavbové rozměry
- Čas taktu cca. 40 s
- Příznivé pořizovací náklady cca 100.000 EUR
- Modulární neboli stavebnicová konstrukce

Jinými slovy je možno taktéž konstatovat, že předmětem práce respektive úkolem je navrhnout koncept stroje „něco mezi“ cenově náročnými stroji firmy HEITEC a levnou variantou konkurenční společnosti SILCA:

K následnému vytvoření konceptu jsou dále definovány požadované obráběcí operace následujícím omezením:

- Vrtání klíče ze všech 4 stran
- Popsání klíče z jedné strany
- Odjehlení celého klíče

Kapitola: 5 Erstellung des Maschinekonzepts

Následující kapitola se zabývá samotným návrhem konceptu nového zařízení s ohledem na již uvedené klíčové parametry stroje. Jsou popsány klíčové komponenty (5.1 Kernbaugruppen der Maschine):

- Zásobníky polotovarů a hotových klíčů
- Systém určený k manipulaci s klíčem
- Zařízení neboli přípravek k upínání klíče
- Stanice k obrobení klíče dle požadavků

Klíčovým prvkem, sestaveným pro návrh konceptů, je tzv. dvojitý koncový efektor. Za pomoci tohoto strojního prvku je možné urychlit manipulaci, respektive výměnu hotového klíče, za nový polotovar. Ušetření času se dosáhne tím, že je efektozem zároveň najeto do upínacího místa i zásobníku pro nový klíč, čímž je možno zároveň uchopit nový i hotový klíč. Tím odpadá nutnost lineárních posuvů a významně je urychlena výměna klíče. Popis os efektoru a výměna klíče viz Abbildung 5.5: Doppelgreiferschema a Abbildung 5.6: Schema des Rohlingswechsel mit Doppelgreifer.

Následně jsou představena dvojí řešení konceptů neboli uspořádání klíčových prvků tak, aby bylo dosaženo požadovaných parametrů. Tyto jsou označeny jako:

- 5.3 Konzeptvariante A
- 5.4 Konzeptvariante B

Varianta A obsahuje k výše zmíněnému dvojitmu efektoru další lineární manipulátor, zatímco Varianta B má ve svém středu otočný stůl. K těmto konceptům je uveden výpočet

času taktu stroje.

Tento čas taktu je ovšem výrazně závislý na požadované specifikaci klíče, jako například počet stran nutných k obrobení a samotné nutné operace. Se změnou těchto požadavků by docházelo k výrazným změnám vypočteného času linky. Za účelem výpočtu těchto potřebných časů a srovnání obou variant je vytvořeno výpočetní schéma v prostředí programu Microsoft Excel. V tomto prostředí je možné porovnat a získat přehled o výrobních časech pro parametry volené zákazníkem, jako např. Počet stran k obrobení a specifikaci nutných operací, počet vyráběných klíčů, průměrné časy obrobení jedné strany a manipulace s klíčem aj... (5.5 Berechnungsschema zum Taktzeitvergleich)

V závěru kapitoly je shrnuto porovnání výhod a nevýhod vypracovaných variant konceptů a je proveden výběr příznivější varianty dle příslušné multikriteriální metody (5.7 Auswahl der besten Variante).

Kapitola: 6 Erarbeitung des gewählten Konzepts

V další kapitole je vybraný koncept stroje blíže rozpracován a jsou specifikována konkrétní konstrukční řešení. Jedná se zejména o tyto komponenty stroje:

- Otočný stůl (6.1 Rundtakttisch)
- Upínací místo (6.2 Schlüsselannahmestelle)
- Dvojitý koncový efektor (6.3 Doppelgreifer)
- Zásobníky klíčů (6.4 Magazin)

Každý krok, respektive návrh strojní skupiny, je zaznamenán v průběžném zobrazení 3D modelu.

Otočný stůl je vybrán z produktového portfolia firmy WEISS GmbH. Jedná se o otočný stůl s pevným dělením počtu otočení. Výpočet rozměrů, respektive maximálního zatížení při požadovaném maximálním času otočení 1 s, je proveden dle doporučení v příslušném katalogovém listu firmy.

Další konstruovanou skupinou stroje je místo k upínání klíče. Tato funkce je standardně řešena pneumaticky poháněnými upínacími čelistmi, analogicky ke klasickému šroubovému svěráku (5.1.3 Schlüsselspannung in der Aufnahmefläche). Z důvodu použití otočného stolu se jeví použití vzduchu či jiného média problematičtěji, jelikož by se muselo využít rotačních převodníků. Tato součást je poměrně finančně nákladná, navíc podstatně narůstají zástavbové rozměry. Z tohoto popudu je navrženo řešení pasivního upínání, nejprve pomocí tlačné pružiny a dále využitím analogického principu ke šroubovému svěráku (6.2.1 Variante 6.2-A; 6.2.2 Variante 6.2-B).

Následuje konstrukce dvojitého koncového efektoru. Tato skupina je sestavena z modulárních komponent firmy SCHUNK (Abbildung 6.18: Doppelgreifer aus Komponenten der Firma SCHUNK). Jednotlivé komponenty byly vytipovány dle firemních katalogů na základě konzultace se zástupci firmy. Problémem při manipulaci s klíčem a jeho zavedení do upínacího místa je nutnost najetí na příslušné dorazy, respektive hrany definující polohu klíče. Tento problém je řešen pomocí adaptivních koncových efektorů (Abbildung 6.20: Fügemechanismus für das Ausgleichen der Toleranzen). Tyto koncové efektor jsou, za současného použití náběhových hran na čelisti upínacího místa (Abbildung 6.19: Annahmebacke erweitert mit Anlaufkanten), schopny vykompenzovat dovolený přesah a tím zaručit najetí na definované hrany klíče. Efektor byl dále pro konzultaci s vedoucími práce upraven – lineární modul firmy SCHUNK byl nahrazen samostatným vedením s odděleným pneumatickým pohonem (Abbildung 6.23: Doppelgreifer mit separater Führung und pneumatischem Antrieb). Cílem úpravy je vyšší tuhost a robustnost této strojní skupiny. V posledním kroku jsou provedeny mírné úpravy efektoru

dle konzultace s experty firmy SCHUNK na veletrhu INTEC Leipzig 2017.

Další konstruovanou skupinou stroje jsou zásobníky pro polotovary klíče a pro hotové výrobky. Zásobník neopracovaných klíčů a polotovarů určených k dalšímu obrábění je řešen pomocí otočného prstence, na kterém jsou tyto polotovary naskládány. Tato jednotka obsahuje pneumatický píst / podavač, který vysunuje dle potřeby polotovary klíče k dvojitému efektoru (Abbildung 6.27: Fördermagazin - Seitenansicht). Konstrukční řešení zásobníku pro hotové klíče je velmi závislé s přihlédnutím na požadavky zákazníka na rozřídění klíčů dle zakázky / šarže. Je-li nutné třídit hotové klíče, stoupají výrazně nároky na konstrukční řešení a cenu této strojní skupiny. Varianty řešení jsou naznačeny náčrty a porovnány jejich výhody/nevýhody (Tabelle 6.2: Vergleich der Lösungsvarianten für das Abgabemagazin). K další konstrukci, respektive podpurnému 3D modelování je zvolena varianta s jednoduchým odkládacím místem bez třídění dle šarže (Abbildung 6.29: Abgabemagazinvariante - einfache Kiste).

V posledním kroku bližší konstrukce vybraného konceptu je zvolena svařovaná konstrukce pro stojan stroje (6.5 Maschinengestell).

K vytipovaným nakupovaným komponentům byly poptány přibližné ceny k provedení základní ekonomické rozvahy projektu (6.6 Betrachtung der Kosten).

Kapitoly: 7 Risikoanalyse ; 8 Analyse der Maschinenergonomie

V neposlední řadě je na koncept stroje nahlédnuto z hlediska analýzy rizik a ergonomie.

Stručná analýza rizik naznačuje metodiku a postupy uvedené v příslušných normách zabývajících se bezpečností a provozem strojů. Stěžejní jsou v tomto případě zejména metodiky uvedené v normě DIN EN ISO 12100. S pomocí doporučených postupů jsou identifikována některá relevantní nebezpečí a zavedena opatření k jejich snižování.

Analýza ergonomie je provedena na základě tzv. „Checklistů“ německého státního úřadu pro ochranu práce (DGUV). Tyto dokumenty provázejí metodikou kontroly ergonomie a nezávadnosti strojů a celkově míst výkonu práce.

Rozsáhlejší, respektive plnohodnotná analýza rizik a ergonomie stroje je mimo rozsah této práce.

Poslední kapitolou v německém jazyce je závěr práce, kde je shrnut postup řešení v průběhu diplomové práce a dílčí výsledky (9 Zusammenfassung).

Výsledkem je vypracovaný koncept nového kompaktního stroje s popisem nejdůležitějších skupin stroje a jejich konstrukce. Tento stroj zaplňuje díru na trhu jednoúčelových strojů pro výrobu bezpečnostních klíčů. K odhadu výrobních časů je vytvořeno výpočetní schéma, které dokáže dle specifikace zákazníka rychle porovnat obě varianty a nabídnout rychlý přehled dosažitelných časů taktu linky.

Jako další postup vývoje je navržena kontrola funkce a principu dvojitého efektoru, který je součástí obou představených koncepčních variant. K tomuto lze zkonstruovat zkušební stanici, kterou by se ověřila realizovatelnost této strojní skupiny a tím rychlé výměny klíče. Jako další vhodný krok navrhuji provést hlubší analýzu trhu a zákaznických požadavků na podobná strojní zařízení, například pomocí metody QFD. Tato analýza by pomohla bližšímu pochopení požadavků trhu a specifikaci zadání.

Součástí práce je svazek příloh, obsahující zejména náčrty a výkresy vypracované v průběhu práce. Dále tento obsahuje výpočetní schémata, dokumenty a katalogové listy firem nabízejících vybrané použité komponenty.

11 Literaturverzeichnis

- [1] (Ltg.), Friedemann Bedürftig, *Die aktuelle deutsche Rechtschreibung*, Köln: Naumann & Göbel Verlagsgesellschaft mbH, 2006.
- [2] L. Häfliger, *Beiträge der Schweiz zur Technik*, Oberbözing, Schweiz: Olynthus, 1991.
- [3] G. Link, „THEMEN UND NEWS AUS DER SICHERHEITSBRANCHE – TOPICS AND NEWS FROM THE SECURITY INDUSTRY,“ Januar 2014. [Online]. Available: <http://blog.gerhardlink.com/?p=2725>.
- [4] Wikipedia, The Free Encyclopedia, „Pin tumbler lock,“ 2017. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Pin_tumbler_lock&oldid=766422615.
- [5] HEITEC Auerbach GmbH & Co. KG, „Interne Unterlagen der Firma HEITEC,“ Ellefeld, 2017.
- [6] U. Morgenroth, *Vom Schlossmacher zur Schlüsselregion. Schloss und Beschlag in Velbert und Heiligenhaus von 1547 bis heute.*, Scala Verlag, 2011.
- [7] ABUS, „ABUS internet Ratgeber,“ Februar 2017. [Online]. Available: <https://www.abus.com/ger/Ratgeber/Schluesel-und-Zylinder/Gut-zu-wissen>.
- [8] SILCA GmbH, „Silca - your key partner,“ 2017. [Online]. Available: <http://www.silca.de/>.
- [9] WILKA Schließtechnik, „WILKA Schließtechnik - Standardprofil,“ 2017. [Online]. Available: <http://www.wilka.de/zyylinder-und-schliessanlagen/standardprofil>.
- [10] TUC Professur Konstruktionslehre, „Vorlesungen TUC Professur Konstruktionslehre,“ 2017. [Online]. Available: https://www.tu-chemnitz.de/mb/KL/lehre/bachelor_master/bachelor_master.php?#.
- [11] V. Hubka und E. Eder, *Einführung in die Konstruktionswissenschaft*, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1992.
- [12] G. Pahl und W. Beitz, *Konstruktionslehre*, Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2007.
- [13] K.-J. Conrad, *Grundlagen der Konstruktionslehre*, München: Carl Hanser, 2008.
- [14] VDI 2225 Konstruktionsmethodik, *Technisch-wirtschaftliches Konstruieren*, Düsseldorf: VDI, 1997.
- [15] Jiri Marek a kol., *Konstrukce CNC obrabecich stroju*, MM Publishing, 2014.
- [16] EU-info.de, „EU-Info Deutschland,“ 2017. [Online]. Available: <http://www.eu-info.de/europa/eu-richtlinien-verordnungen/>.
- [17] Amtsblatt der Europäischen Union, „RICHTLINIE 2006/42/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. Mai 2006“.
- [18] PILZ, „PILZ Sicherheit,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.pilz.com/>.

- [19] DIN EN ISO 12100, *Sicherheit von Maschinen - grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze*, Berlin: Beuth Verlag, 2011.
- [20] J. Marek, P. Blecha, J. Marecek und E. Krcalova, *Management rizik v konstrukci výrobních strojů*, MM Publishing, 2009.
- [21] M. Huelke, „BGIA: Einführung zur Ergonomie: Grundlagen, Normung, Nutzen,“ 2017. [Online]. Available: http://www.dguv.de/medien/ifa/de/pru/checkliste/einfuehrung_zur_ergonomie.pdf.
- [22] DGUV, „Ergonomische Maschinengestaltung – Informationen zur Checkliste,“ 2017. [Online]. Available: <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/i-5048-2.pdf>.
- [23] DGUV, „DGUV Information 209-068: Ergonomische Maschinengestaltung, Checkliste und Auswertungsbogen,“ [Online]. Available: <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/i-5048-1.pdf>.
- [24] euro engineering AG, „Interne Unterlagen der Firma euro engineering AG,“ Chemnitz, 2017.
- [25] VDI 2222 Konstruktionsmethodik, *Blatt 1: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipen*, Düsseldorf: VDI, 1997.
- [26] M. Hrkova und P. Koleda, „Navrh otocneho stola pre automatizovane pracovisko,“ 2015. [Online]. Available: https://www.tuzvo.sk/files/FEVT/fakulta_fevt/2-2015hrkova-koleda.pdf.
- [27] WEISS GmbH, „Rundtische TC fest-taktend,“ 2017. [Online]. Available: <http://www.weiss-gmbh.de/Typ-TC.2481.0.html>.
- [28] L. W. Novotny, „Jednoucelove stroje,“ MM Prumyslove Spektrum, 2010.
- [29] Haag Zeissler, „Mehrwegdrehdurchführungen,“ 2017. [Online]. Available: http://www.haag-zeissler.com/site/assets/files/1246/hz_mrf-9-11-wege_url-2015-11_low_safe.pdf.
- [30] Gutekunst Federn, „Produkte - Druckfedern,“ [Online]. Available: <https://www.federnshop.com/de/produkte/druckfedern.html?>
- [31] J. E. Shigley, C. R. Mischke und . R. G. Budynas, *Mechanical Engineering Design*, New York: McGraw-Hill, 2004.
- [32] modéc, „Druckluftmotoren modéc,“ 2017. [Online]. Available: <http://www.modéc.fr/?lang=en>.
- [33] SCHUNK GmbH, „Kataloge und Prospekte SCHUNK,“ 2017. [Online]. Available: http://de.schunk.com/de_de/startseite/.
- [34] iPR GmbH, „Intelligente Peripherien für Roboter,“ [Online]. Available: https://www.iprworldwide.com/fileadmin/default/files/Funktionsprinzip/de/Funktionsprinzip_FM_Baureihe_de.pdf.
- [35] SCHUNK GmbH, „SCHUNK SRU-plus 20 Prospektliste,“ 2017. [Online]. Available: <https://de.schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0018152.PDF>.
- [36] A. Hirsch, *Werkzeugmaschinen*, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2012.

12 Anlageverzeichnis

Anlagenband

Zeichnungen / Skizzen:

- Schlüsselrohling
- Schlüsselbezüge
- Doppelgreiferkonzept
- Konzept – Variante A
- Konzept – Variante B
- Rundtakttischberechnung
- Annahmebacke
- Schlüssel in Annahmestelle - Quer
- Schlüssel in Annahmestelle – Flach
- Annahmestelle – Druckfeder
- Druckfeder – Protokoll Gutekunst
- Annahmestelle – Schraubstock
- Annahmestelle – Lösmechanismus
- Doppelgreifer
- Annahmebacken erweitert
- Schlüsselversatz
- Doppelgreiferantrieb getrennt
- Fördermagazin
- Abgabekonzept
- Abgabekonzept einfache Kiste
- Abgabekonzept Kiste mit Sortierung
- Abgabekonzept Rundschalt
- Abgabekonzept Umlaufband
- Räumliche Grenzen Risikoanalyse
- Ergonomie

Katalogen / Prospekte:

- SILCA ProTech Katalogprospekt
- WEISS Rundtakttisch TC220 Katalogliste
- modec Druckluftmotor
- SCHUNK Komponenten Prospekte
 - Schwenkeinheit SRU-plus
 - Dreheinheit ERD
 - Greifer MPG-plus
- HIWIN Linearführungen Prospekte
- FESTO Kompaktzylinder

Sonstiges:

- Anforderungsliste
- Taktzeitberechnungsvergleich
- Bewertungsliste
- Übersicht Preisschätzung
- Checkliste Ergonomie

In der Masterarbeit gebunden

- Layout der Maschine- Format A2

Datenträger

Dokumente in Microsoft Excel *.xls:

- Berechnungsschema Taktzeitvergleich
- Anforderungsliste
- Bewertungsliste
- Preisschätzung

Dokumente in *.pdf:

- Alle Zeichnungen je nach Anlagenband

3D CAD Modell *.step:

- 3D CAD Darstellung der Maschine