

Entwicklung, Konstruktion und Inbetriebnahme einer automatisierten Handhabungseinrichtung für die induktive Erwärmung von Formplatinen im Warmformprozess

DIPLOMARBEIT

von
Christian Gasser



Technische Universität Graz
Institut für Werkzeugtechnik & Spanlose Produktion
Univ.-Prof. Dr. -Ing. Ralf Kolleck

Betreuer:
Dipl. -Ing. Robert Veit (TUGraz)
Univ.-Prof. Dr. -Ing. Ralf Kolleck (TUGraz)

Graz, Dezember 2010

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und Inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 10. Dezember 2010

Unterschrift

Danksagung

Für die Betreuung, die Unterstützung und die Möglichkeit zur Diplomarbeit am Institut für Werkzeugtechnik & Spanlose Produktion, möchte ich mich recht herzlich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralf Kolleck und Herrn DI Robert Veit bedanken.

Weiters möchte ich mich bei meinen Kolleginnen und Kollegen am Institut bedanken, die mich in meinen Tätigkeiten bei der Erstellung dieser Arbeit immer wieder unterstützt haben. Mein spezieller Dank gilt Herrn Gernot Wilfinger und dem Werkstattteam des Institutes, Herrn Heinz Karl Fasching, Herrn Josef Mühlberg und Herrn Nino Müllner für die Unterstützung im praktischen Teil.

Des Weiteren möchte ich mich an dieser Stelle bei Herrn Friedrich Luhn für die steuerungstechnische Unterstützung bedanken.

Zum Abschluss möchte ich meiner Freundin Irene und meiner Familie danken, die durch ihre Geduld, ihr Verständnis und ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Diplomarbeit wesentlich beigetragen haben.

Christian Gasser, Graz im Dezember 2010

Kurzfassung

Leichtbau, Sicherheit und Preis. Das sind die derzeit in der Automobilbranche, vor allem im Karosseriebau, treibenden Kräfte. Gestiegene Anforderungen in all diesen Bereichen verlangen alternative Methoden und neue Werkstoffe. Um speziell eine Blechdickenreduzierung bei gleichzeitig steigender Festigkeit zu erzielen wird das Presshärten von borlegierten Stählen verwendet. Im Kapitel Stand der Technik wird das Presshärten zum konventionellen Tiefziehen samt verwendeter Platinenwerkstoffe abgegrenzt, typische Begriffe definiert und die erforderliche Prozessführung beschrieben. Verschiedene Erwärmungstechnologien, als Teilprozess des Presshärtens, führen dann zum Kern der Arbeit, der Weiterentwicklung einer bestehenden Prototypenanlage zur induktiven Erwärmung von Formplatinen. Im Speziellen steht dabei die Konzipierung eines neuen Handhabungssystems der Platinen im Mittelpunkt. Die gesamte Entwicklung beruht auf einer Analyse des Bestehenden, wobei von alten Lösungen befreit, neue Wege eingeschlagen werden. Nach einer intensiven Konzeptphase werden die Details für die technische Umsetzung in der Konstruktion gefunden. Die Fertigung, die Montage und die Inbetriebnahme des neuen Fördersystems im Kontext einer einsatzfähigen Erwärmungsanlage laut Pflichtenheft runden diese Arbeit letztlich ab.

Abstract

Lightweight design, increased safety and price. These are currently the driving forces in the automotive industry, particularly in the field of auto body construction. Alternative methods and new materials are an answer to this call for rising specifications in all of these areas. In order to achieve a reduction of the thickness for sheet metals and simultaneously increase their strength, presshardening is applied to boron-alloyed steels. In the chapter "State of the art", presshardening in the sense of a conventional deepdrawing process is differentiated, including the sheet materials. Further, characteristic vocabulary is defined and the required process management is described in detail. Various heating technologies, as they are necessary steps of the presshardening procedure, lead to the core of this work: to continue the further development of an existing prototype system for inductive heating of shaped blanks. In particular, the developing a concept of a new handling system for blanks is central to this work. The entire development is based on an analysis of an already existing system, by which, liberated of its earlier approaches, new paths are followed to reach a solution. Following an intense concept phase, the details for a technical realisation of the construction are found. The fabrication, mounting and startup operation of the new handling system in the context of a ready-to-use, fully functional heating system according to its required specification finally rounds off this work.

Formelzeichen

F	Kraft allgemein
a	Beschleunigung
m	Masse
r	Teilkreisradius
M_{erf}	erforderliches Motormoment

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	4
2.1	Wie kommt der Stahl in Form?	4
2.2	Warmumformung	7
2.2.1	Definitionen	7
2.2.2	Presshärten	8
2.3	Prozessführung beim Presshärten	10
2.3.1	Direktes Presshärten	10
2.3.2	Indirektes Presshärten	14
2.4	Erwärmungstechnologien	14
2.4.1	Konventionelle Methoden	17
2.4.2	Induktive Erwärmung von Formplatinen	18
3	Zielsetzung	21
4	Ausgangssituation und Anforderungen	22
4.1	Bestehende Anlage	22
4.1.1	Das Transportsystem	23
4.1.2	Probleme	23
4.2	Platzverhältnisse	25
4.3	Rahmenbedingungen und Komponenten der Erwärmungsanlage	26
4.4	Pflichtenheft zur Handhabungseinrichtung	31
5	Konzeptfindung	32
5.1	Abstrahieren und erstellen der Funktionsstruktur	33
5.2	Lösungsprinzipien	35
5.3	Gliedern in realisierbare Module	37
5.4	Gestalten der maßgebenden Module	37
5.4.1	Erstes Modul: Transport der Platine	37

5.4.2	Zweites Modul: Antriebslösung	40
5.4.3	Drittes Modul: Signalverarbeitung	42
5.4.4	Viertes Modul: Bedienung	43
5.4.5	Fünftes Modul: Platinenzufuhr	43
5.4.6	Sechstes Modul: Platinenübergabe	44
5.4.7	Siebtentes Modul: Gestell	45
5.5	Gestalten des gesamten Produkts	46
5.6	Ausarbeiten	49
6	Konstruktion	50
6.1	Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen	50
7	Fertigung, Montage und Inbetriebnahme	72
7.1	Testbetrieb	77
8	Schlussbetrachtungen	86
8.1	Erkenntnisse und Verbesserungspotentiale	86

1 Einleitung

Im Automobilbau spielt das Schlagwort "Leichtbau" nicht nur vor dem Hintergrund der CO₂-Diskussion eine große Rolle. Eine verschärfte Gesetzgebung für die Automobilsicherheit und den gesenkten Emissionsgrenzen neben den gestiegenen Kundenwünschen fordern die Entwicklungszentren der Automobilhersteller in den letzten zwei Jahrzehnten immer mehr. Um stetig und auch in Zukunft wirtschaftlich und unter allen Gesichtspunkten der Anforderungsliste produzieren zu können, ist es notwendig, innovative Lösungen zu finden und dafür neuartige Verfahren zu entwickeln. Die Ergebnisse sind neue Werkstoffe, neue Umformtechnologien und neue Produktentwicklungskonzepte.

Die Verbesserung der passiven Crashesicherheit, um den steigenden Sicherheitsanforderungen entgegen zu kommen, und die Reduzierung des Fahrzeuggewichts, um eine proportionale Treibstoffeinsparung zu erzielen, sind Anforderungen, die mit herkömmlichen Verfahren sehr konträre Maßnahmen erfordern. Eine Verbesserung im Sicherheitsbereich lässt sich folglich nur durch eine Erhöhung der Blechdicke erreichen, was aber dem Leichtbau widerspricht. Dessen Potential wird durch folgendes Beispiel aufgezeigt.

Eine Einsparung von 100 *kg* an Fahrzeuggewicht würde den Kraftstoffverbrauch eines Pkw im Mittel um ca. 0.3 *l* auf 100 *km* senken [3].

Der Leichtbaugedanke bei gleichzeitig steigender Crashesicherheit ist folgerichtig die treibende Kraft in der Entwicklung des modernen Karosseriebaus. Dies hat die Entwicklung von hoch- und höchstfesten Stählen durch die Stahlproduzenten und deren Einsatz einhergehend mit einer Reduktion der Blechstärke zugeführt und trifft das beschriebene Anforderungsprofil.

Nachfolgend ist das Produktportfolio von Thyssen Krupp Steel, als ausgewählter Werkstoffproduzent der das gesamte Spektrum abdeckt, in zwei verschiedenen Grundarten dargestellt. Diese sind, wie in den Abbildungen 1.1 und 1.2 dargestellt, Warm- und Kaltband.

Innovative
Lösungen für
eine saubere
Umwelt.

Leichtbaupotential
als
treibende
Kraft.

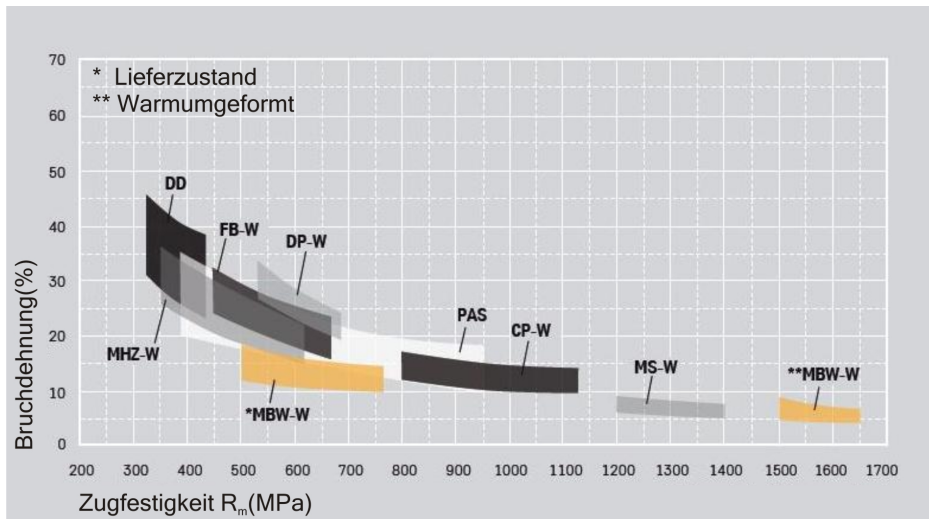


Abbildung 1.1: Produktportfolio Thyssen - Warmband [29]

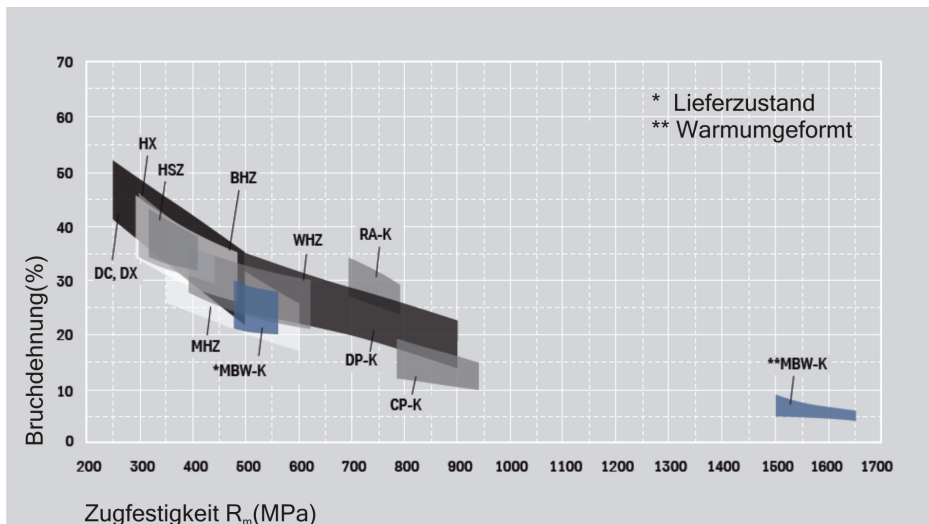


Abbildung 1.2: Produktportfolio Thyssen - Kaltband [29]

Die Entwicklung neuer hochfester Werkstoffe durch die Stahlproduzenten macht keinen Sinn, wenn diese nicht effizient verarbeitet werden können. Die Eigenschaft, dass hohe Zugfestigkeiten niedrige Bruchdehnungen nach sich ziehen, begrenzt die Umformbarkeit in der Kaltumformung und damit den Komplexitätsgrad der zu realisierenden Bauteile.

Deshalb stellt sich die entscheidende Frage: Wie sieht der Weg zur Herstellung von Bauteilen mit hochfesten Eigenschaften vom Coil bis zum fertigen Produkt aus?

Verarbeitung
der Stähle

Ein Lösungsansatz ist die Warmumformung, im Speziellen das Presshärten. Dabei wird der durch Erwärmung vollständig austenitisierte Blechwerkstoff im gekühlten Umformwerkzeug in einem Schritt umgeformt und gehärtet. Das Ergebnis sind hochfeste Produkte.

Detaillösungen des Gesamtprozesses werden sich je nach Automatisierungsgrad und Anwendungsbereich, sprich Kleinserien-, Serien- oder Prototypfertigung, sehr voneinander unterscheiden. Zur Umsetzung der Manipulation zwischen und in den einzelnen Prozessschritten sind der Kreativität keine Grenzen gesetzt. Ausgehend vom manuellen Handling bis hin zur vollautomatisierten Industrieroboterzelle mit Platinenlader und einem Steuersystem für den gesamten Prozess ist alles denkbar. Generell wird die Reproduzierbarkeit den Schlüsselfaktor für den Prozess darstellen.

2 Stand der Technik

2.1 Wie kommt der Stahl in Form?

Konventionelle Herstellverfahren, zum Beispiel das Tiefziehen (Kaltumformung), haben folgende Vorteile [13, S.15ff]:

- kein Energieaufwand für die Erwärmung
- geringe Werkzeugbaustoffkosten
- geringer Einfluss der Umformgeschwindigkeit
- keine Werkstoffverluste und Nachbehandlungen wegen Zunderbildung
- keine Maßfehler durch Schwindung
- bessere Oberflächengüte
- Festigkeitssteigerung des Bauteils

Vorteile der konventionellen Herstellverfahren.

Im speziellen bei der Umformung von hoch- und höchstfesten Stählen wird das konventionelle Herstellverfahren mit Problemen konfrontiert. Die Nachteile der Kaltumformung sind:

- hohe Umformkräfte, große Pressenkraft und damit mehr Arbeitsbedarf und erhöhter Werkzeugverschleiß
- Kaltverfestigung, was bedeutet, dass die Hauptumformung im ersten Schritt erfolgen muss
- Rückfederung
- begrenztes Umformvermögen

Bei der Umformung von hoch- und höchstfesten Stählen treten Probleme auf.

2.1 Wie kommt der Stahl in Form?

Diese Probleme ergeben sich hauptsächlich aus den grundlegenden Eigenschaften der hochfesten Blechwerkstoffe bei der Umformung. Sie haben eine hohe Zugfestigkeit, damit aber auch eine geringe Bruchdehnung, welche ein Maß für die Umformbarkeit eines Werkstoffes ist. Damit ist das Einsatzgebiet von hochfesten Stählen in der Bauteilherstellung mit konventionellen Verfahren auf sehr einfache Teile beschränkt.

Die folgende Abbildung 2.1 zeigt das Leistungsspektrum von Stählen in der Automobilbranche als Schaubild der Bruchdehnung über der Zugfestigkeit. Dabei steht LSS (low strength steels) für weiche Tiefziehgüten, HSS (high strength steels) für hochfeste Stähle und UHSS (ultra high strength steels) für höchstfeste Stähle.

Leistungsspektrum von Stählen in der Automobilbranche.

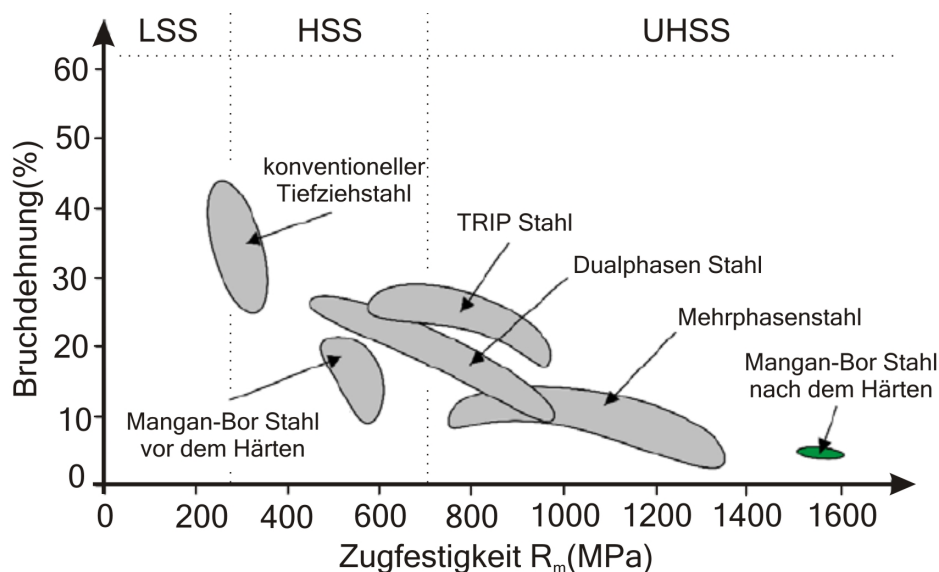


Abbildung 2.1: Schaubild der Bruchdehnung über der Zugfestigkeit von verschiedenen Stählen [4]

Bauteile, insbesondere Funktionsbauteile in der Automobilbranche, haben meist einen hohen geometrischen Komplexitätsgrad. In Zukunft werden Strukturbauteile komplexer, sollen leichter werden und müssen dabei noch den Anforderungen genügen.

Die Probleme müssen gelöst werden.

Der moderne Karosseriebau verlangt folglich die Verknüpfung von optimalen Konstruktionen aus hoch- und höchstfesten Werkstoffen mit innovativen Fertigungsverfahren vor dem Hintergrund einer Nutzen-Kosten-Optimierung.

Die Lösung für die Umformung der neuen Werkstoffe mit geändertem Umformverhalten ist der alternative Prozess der Warmumformung, in diesem

Presshärten ist die Lösung.

2.1 Wie kommt der Stahl in Form?

Kontext auch "Presshärten" oder "press hardening" genannt. Damit werden die Umformgrenzen erweitert, die erforderlichen Umformkräfte reduziert und gleichzeitig die geforderte Bauteilgenauigkeit gewährleistet.

Das Presshärten borlegierter Stähle gilt als eine der entscheidenden Ist- und Zukunftstechnologien im Automobilbau, bei dem ein härterer Stahl umgeformt und gehärtet wird. Es wird je nach Prozessführung das direkte und das indirekte Presshärten unterschieden. Beide Begriffe werden später detaillierter beschrieben.

Um optimierte Karosseriestrukturen im Automobilbau herzustellen, ist die Warmumformung immer mehr im Vormarsch. 2008 liefen weltweit schon mehr als 80 Anlagen oder waren in Bau [22].

Die Vorteile dieser neuen Technologie sind [32] :

- Realisierung komplexer Geometrien mit höchster Festigkeit, die kalt nicht herstellbar sind
- attraktive Gewichtspotentiale
- Reduzierung der benötigten Umformstufen
- Verbesserung der Formgenauigkeit
- geringe Rückfederung
- geringe Bauteilspannungen

Als Nachteil ist der hohe Aufwand für die Anlagen- und Werkzeugtechnik zu nennen [7, S.366].

Presshärten ist die Technologie der Zukunft.

2.2 Warmumformung

Umformen ist nach DIN 8580 die zweite der sechs Hauptgruppen der Fertigungsverfahren. Die Umformverfahren können nach DIN 8582 weiter klassifiziert werden [7, S.9ff]. Diese sind in Bild 2.2 dargestellt.

Einteilung der Umformverfahren.

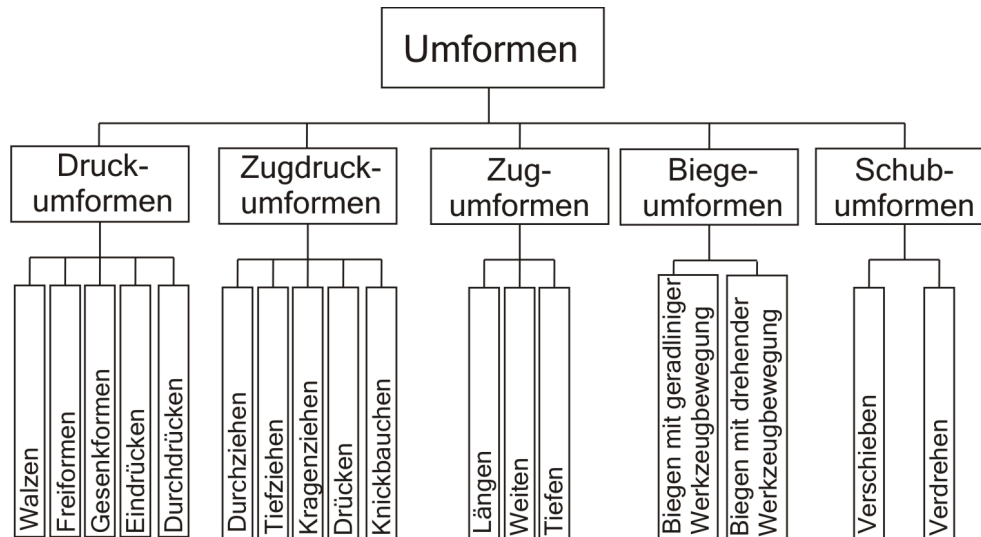


Abbildung 2.2: Umformverfahren [7]

Als Fundament dieser Arbeit dient das Tiefziehen unter Temperatureinfluss von erwärmten Formplatinen, als thermomechanischer Umformprozess in der Blechumformung, das ein Umformverfahren aus der Unterkategorie des Zugdruckumformens ist.

2.2.1 Definitionen

- Thermomechanisches Verfahren

Thermomechanische Verfahren [26, S.645] umfassen alle Wärmebehandlungsmethoden, die gezielte Temperaturführungen mit mechanischen Umformprozessen kombinieren .

- Blechumformen

Blechumformung [18, S.263ff] ist eine Änderung der geometrischen Gestalt (Form) durch plastische Formänderung metallischer Werkstoffe, deren Ausgangsform als Blechband oder Blechtafel vorliegt. Die Blechdicke bleibt im Normalfall erhalten .

- Warm-, Halbwarm- und Kaltumformen [18, S.116ff]

Eine Umformung, die bei oder oberhalb der Rekristallisationstemperatur stattfindet, wird als Warmformgebung bezeichnet.

Weit unterhalb der besagten Temperatur, eigentlich bei Raumtemperatur, befindet sich die Kaltumformung. Zusätzlich ist die Halbwarmumformung an dieser Stelle zu nennen. Dabei werden die Vorteile aus Kalt- und Warmformgebung durch eine Kompromisslösung unterhalb der Rekristallisationstemperatur vereinigt.

Verschiedene Werkstoffe haben sehr unterschiedliche Rekristallisationstemperaturen. So ist sie von Blei bei ca. 3 °C und von reinem Eisen bei ca. 450 °C.

2.2.2 Presshärten

Das Presshärten [7, S.365ff] wurde entwickelt um komplexe Strukturen mit höchstfesten Eigenschaften herzustellen. Es verbindet das Umformen mit einer gleichzeitigen Wärmebehandlung von Bauteilen in einem Fertigungsprozess. Durch das erwärmte Umformen und rasche Abkühlen können Mindestzugfestigkeiten von ca. 500 N/mm^2 im Anlieferungszustand bis auf 1650 N/mm^2 gesteigert werden [28].

Steigerung der Zugfestigkeit durch das Presshärten.

In der nachfolgenden Abbildung 2.3 sind mögliche Einsatzbereiche von presshärtbaren Stählen in einer modernen Karosserie abgebildet. Diese sind:

Einsatzgebiete

1. Türverstärkungen
2. Stoßfängerträger
3. Längs- und Querträger
4. A-/B-Säulen
5. Seitenwandverstärkungen

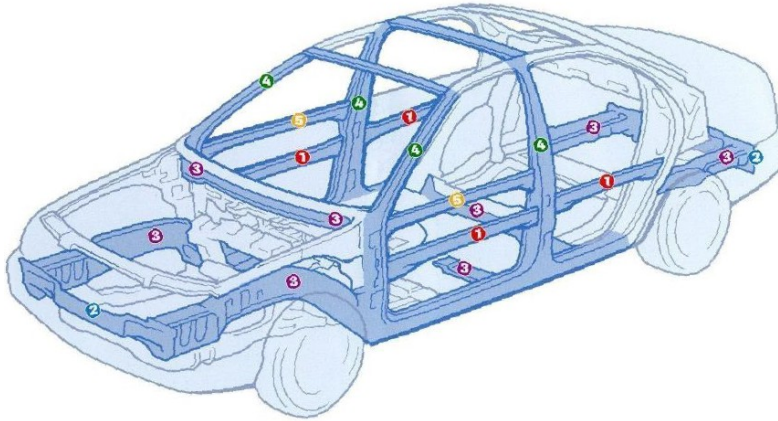


Abbildung 2.3: Karosseriebauteile [27]

Für die Warmumformung eignen sich speziell borlegierte Stähle als Blechwerk-Borlegierte stoff, wie zum Beispiel 22MnB5. Als Zunderschutz und Prozessschmierung werden die Bleche beschichtet. Stähle gut geeignet

Es wird zwischen dem direkten und dem indirekten Presshärten unterschieden. Detaillierte Beschreibungen folgen anschließend in Abschnitt 2.3.

2.3 Prozessführung beim Presshärten

2.3.1 Direktes Presshärten

Der Prozessablauf [7, S.365ff] beim direkten Presshärten ist in Abbildung 2.4 dargestellt und wird folgend in sechs Schritten erklärt.

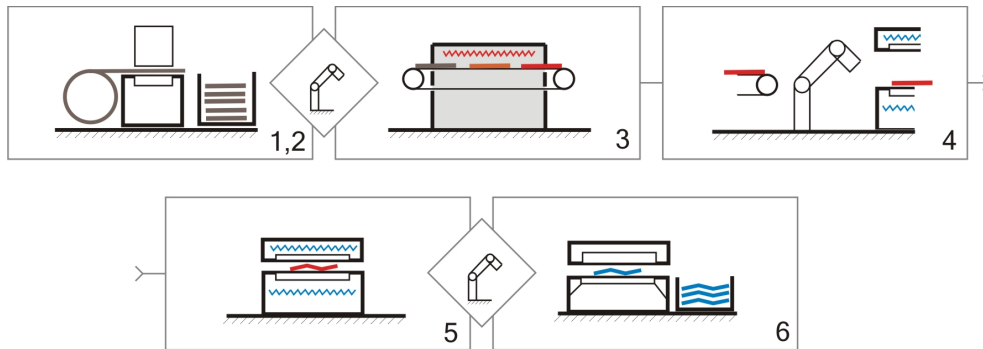


Abbildung 2.4: Schematischer Prozessablauf beim direkten Presshärten

Erster Schritt. Der härtbare, hoch- oder höchstfeste Werkstoff wird in Form eines Coils oder als Blechtafel dem Bauteilhersteller geliefert. Das Material ist, falls erforderlich, bereits beschichtet.

Erstens: Anlieferung.

Im zweiten Schritt wird die Platine laut Vorgabe zugeschnitten. Das Ergebnis ist der Rohling für die Umformung, die Formplatte.

Zweitens: Zugschnitt.

Im dritten Schritt wird die Formplatte zur vollständigen Austenitisierung auf ca. 950 °C erwärmt. Diese Erwärmung kann im Ofen, induktiv oder konduktiv erfolgen. Der Inhalt dieser Arbeit ist wie schon bekannt eine Handhabungseinrichtung für die Erwärmung von Formplatten. Deshalb wird diesem Prozess ein eigenes Kapitel gewidmet, welches im Anschluss unter Punkt 2.4 folgt.

Drittens: Erwärmung.

Der nächste Schritt sorgt für einen prozesssicheren Transport des heißen Blechs in das Umformwerkzeug. Da die Bleche bei der Umformung in einem bestimmten Temperaturfenster liegen müssen, ist ein schneller und genauer Werkstücktransport notwendig. Das bedeutet, dass die Produktionslogistik entscheidend zur Qualität des Produktes beiträgt und die Produktionseffektivität bestimmt. Diese Aussage hat nicht nur in diesem Schritt, sondern auch bei allen anderen Übergabeoperationen Gültigkeit.

Viertens: Transport der Platine.

2.3 Prozessführung beim Presshärten

Das Umformwerkzeug hat beim Presshärten eine zentrale Bedeutung. Der fünfte Schritt formt das eingelegte Blech, in einem gekühlten Werkzeugsystem zum Presshärten, um. Dabei läuft ein thermo-mechanischer-Prozess ab, der die Eigenschaften vom fertigen Bauteil bestimmt. Die wichtigsten Prozessparameter sind Platinentemperatur vor der Umformung, Umformtemperatur, Umformgeschwindigkeit, Haltezeit bei geschlossenem Werkzeug (Abschrecken) und Entnahmetemperatur. Umformgeschwindigkeiten von bis zu 700 mm/s fordern spezielle Pressen für das Presshärten. [1]

Fünftens: Umformen.

Die Abkühlung im Werkzeug muss mit einer bestimmten Mindestabkühlgeschwindigkeit erfolgen, damit die gezielte Gefügeumwandlung vollständig erfolgt. Siehe dazu folgende Abbildung 2.5.

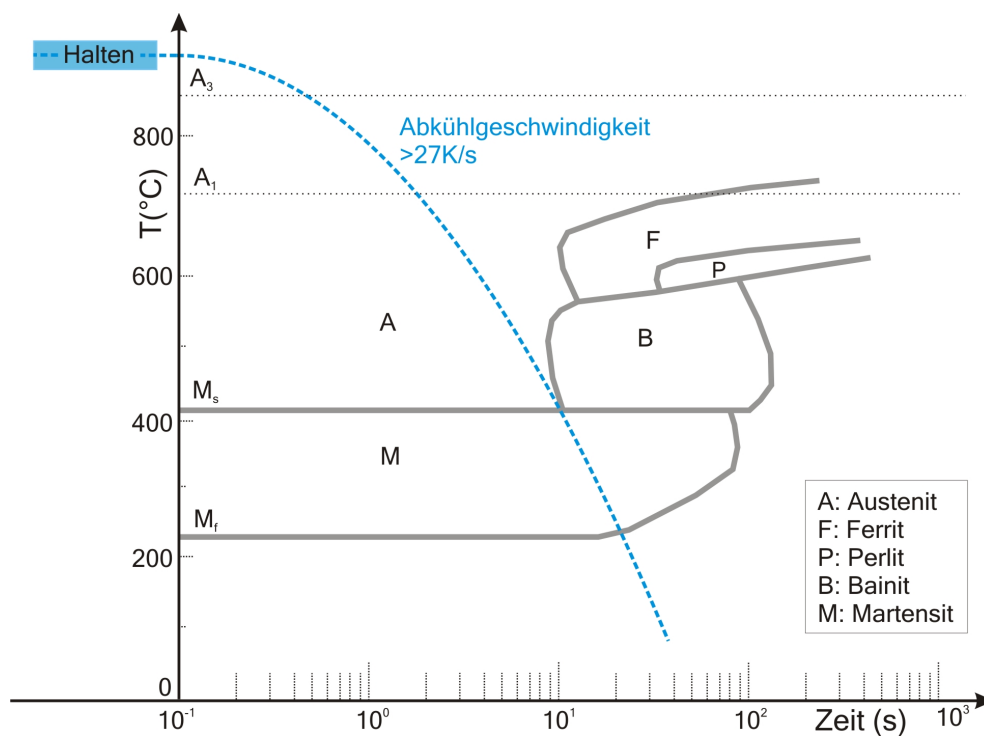


Abbildung 2.5: Schematisches ZTU Schaubild Presshärten [20]

Am Beispiel eines AlSi-beschichteten 22MnB5 wird unter Zuhilfenahme des schematischen Zeit-Temperatur-Umwandlungs(ZTU)-Schaubildes die Gefügeumwandlung erklärt. Im Ausgangszustand liegt ein feinkörniges ferritisch-perlitisches Gefüge mit 600 N/mm^2 Zugfestigkeit vor. Durch Erwärmung auf eine spezifische Temperatur oberhalb der A_3 -Linie, einer kurzen Haltezeit zur vollständigen Austenitisierung und anschließendem Abschrecken, entsteht martensitisches Gefüge mit einer Festigkeit von bis zu 1600 N/mm^2 .

Notwendiges Abkühlverhalten an einem Beispiel.

2.3 Prozessführung beim Presshärten

Die Abkühlrate beträgt mindestens 27 K/s [27]. Die Entnahme aus dem Umformwerkzeug erfolgt nach abgeschlossener Gefügeumwandlung unterhalb der M_f -Linie mit ca. 200 °C .

Während des gerade beschriebenen Prozesses verändert sich die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung des Blechwerkstoffes enorm. Diese Veränderung ist in Abbildung 2.6, ausgehend vom Anlieferungszustand a) bis zum fertigen Bauteil b), dargestellt. Vergleiche Abbildung 1.1.

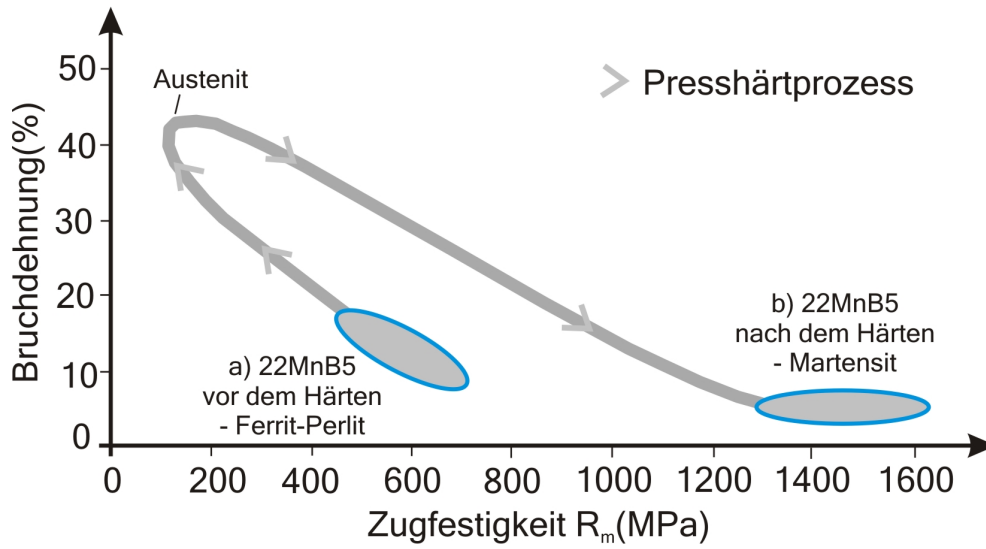


Abbildung 2.6: Festigkeitsveränderung während des Umformens. [30]

Im letzten Schritt wird das umgeformte Bauteil einem Beschnittprozess unterzogen. Er trägt wesentlich zur Wirtschaftlichkeit der gesamten Prozesskette bei und wird in hohem Maße durch die Gestaltung des Platinzuschnitts beeinflusst. Laserbeschnitt oder Kaltbeschnitt in einem speziellen Werkzeug werden derzeit eingesetzt, um das Bauteil fertig zu stellen. Mit dem Ab stapeln der fertigen Gutteile in Transportcontainer endet der Prozess.

Sechstens: Beschnitten.

Nachfolgende Abbildung 2.7 zeigt eine industrielle Warmumformlinie zum Presshärten für die Serienproduktion, wie oben beschrieben ohne Coil und Zuschnitt.

2.3 Prozessführung beim Presshärten

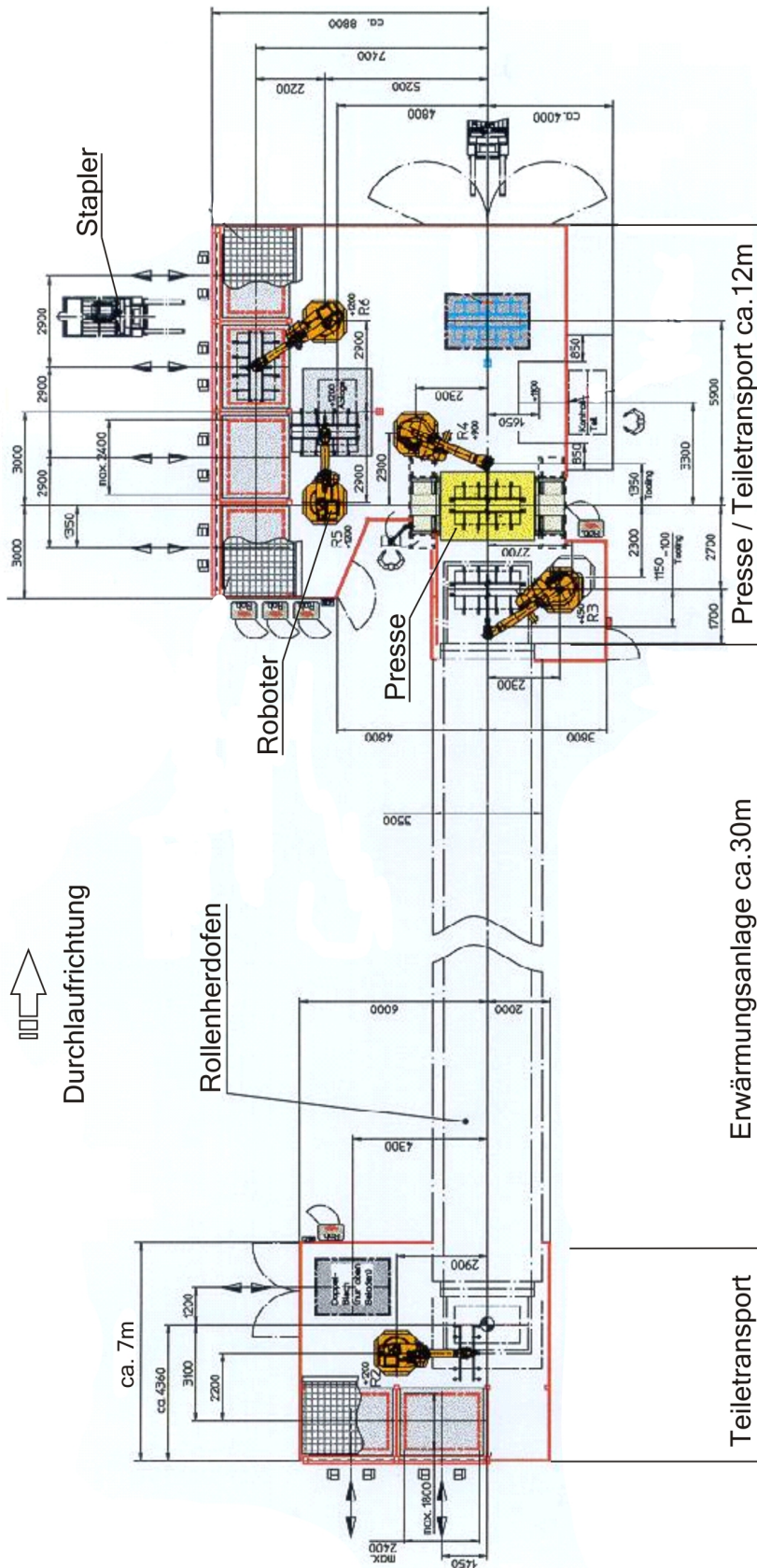


Abbildung 2.7: Anlage zum Presshärten [21]

2.3.2 Indirektes Presshärten

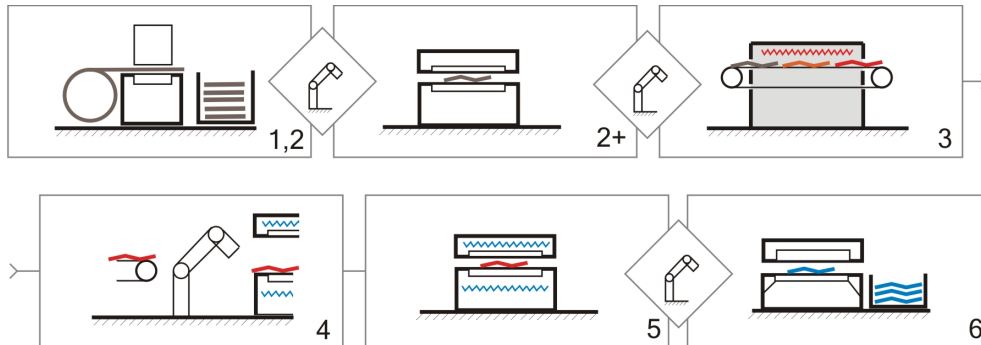


Abbildung 2.8: Schematischer Prozessablauf beim indirekten Presshärten

Beim indirekten Presshärten wird im Vergleich zum direkten Presshärten zwischen dem zweiten und dritten Schritt eine vorangehende Kaltumformoperation durchgeführt. In Abbildung 2.8, welche die Prozessführung beim indirekten Presshärten darstellt, ist dieser Vorgang als Schritt 2+ gekennzeichnet. Vor dem Erwärmen wird die Formplatte durch Kaltumformung vorgeformt. Danach wird dieses Formteil im Ofen erwärmt und anschließend im zweiten Pressvorgang auf Endgeometrie warmgeformt und vergütet. Der Prozess erfolgt bis auf das Vorformen grundsätzlich in gleicher Weise wie beim direkten Presshärten.

Unterschied liegt in der Vorformung der kalten Platine.

2.4 Erwärmungstechnologien

Der Erwärmungsprozess der Formplatte, der wegen der einhergehenden Gefügeumwandlung als Wärmebehandlungsprozess angesehen werden kann, ist neben der Handhabungs- und Werkzeugtechnik einer der drei Kernbereiche, der für die Prozessführung wesentlich ist. Der Aufheizprozess wird durch die Faktoren Energieeinsatz und Temperaturführung zur Einstellung der gewünschten Werkstoff- und Oberflächeneigenschaften bestimmt[5].

Kernaufgabe der Warmumformung.

Die gezielte Erwärmung der Formplatte erfordert den Einsatz von Wärmebehandlungsanlagen, wobei bei dieser Betrachtung nur die wichtigste Apparategruppe, die Industrieöfen, herangezogen wird. Je nach Ausführung und Anwendungszweck gibt es unterschiedliche Ofentypen. Eine grundsätzliche Unterscheidung erfolgt zwischen Standöfen mit instationären Chargenprozessen und Durchlauföfen mit stationären Durchlaufprozessen.

Eine genauere Klassifizierung erfolgt nach den Merkmalen Ofenart, in Verbindung mit der Art der Gutlagerung (Abb.2.9) und der Beheizungsart in Kombination mit dem Gut umgebenden Hüllmittel sowie das durch die Art des zu behandelnden Werkstoffs festgelegte thermische Verfahren (Abb.2.10).

Klassifizierung der Industrieöfen.

Ofenart		Prinzipbild	Gutlagerung		Prinzipbild	
Standöfen	Kammer, Grube		Gefäße	Gut flüssig	Tiegel, Wanne herausnehmbar	
	Schrank				Herd, Wanne fest	
	Mulde, Wanne				Rohrbügel	
	Schacht		Gut stückig	Behälter, Gestell		
	Wagenherd			Muffel, Topf gasdicht		
	Haube		Festherde	eben		
	Hubherd			profiliert		
	Kippgefäß			Balken, Bänke		
	Retorte			Schienen		
	Durchlauföfen	Schacht		feste Unterlage	Horden, Nasen, Leisten	
Röhren			Stege, Roste			
Drehrohr			Muffel, Rohre fest			
Trommel						
Drehherd			Rollenherde		Rollen, Walzen nicht angetrieben	
Schrägerherd					Rollen, Walzen angetrieben	
Stoß-, Zieh-				Walzen, Kugeln mitlaufend		
Schleppstangen			Gleitherde	Herd, beweglich		
Schüttelherd						
Rollen-, Walzenherd			bewegliche Unterlage	Tragherde	Transport-Korb Rost, Platte	
Tunnel					Wagen	
Hubbalken					Band	
Stufenrost				Kette		
Förder-Band Förder-Kette				Aufhängung		
Paternoster						
Gerader Durchgang			Sonstige	ohne Lagerung im Ofen		
Wende Durchgang						
Fallschacht						

Abbildung 2.9: Einteilung der Wärmebehandlungsanlagen - Ofenart [26, S.654]

2.4 Erwärmungstechnologien

Beheizung			Prinzipbild	Hüllmittel	Thermisches Verfahren			
elektrisch	induktiv	Lichtbogen		ohne zwangsweise Umwandlung	Luft	Schmelzen		
		Eisenkern geschlossen			Dämpfe explosionsfähig	Trocknen		
			Eisenkern teilweise geschlossen			Vakuum	Erwärmen, Wärmen	
		ohne Flußleiter			inerte Schutzgase A	Warmhalten, Ausgleichen		
	Kapazität				exotherm erzeugte Schutzgase B	Wärmebehandeln		
	mittelbare Widerstandserwärmung	metallisch	Wendel, Bänder			endotherm erzeugte Schutzgase C	Abkühlen	
			Patrone			wasserstoffreiche Gase D	Reduzieren	
		nicht metallisch	fest: Stab, Rohr, Gieß			Verbrennungsgase	Sintern	
			Schmelze: Salz					
	konduktiv				flüssige	Öl	Brennen	
Sonder	Infrarotstrahl		Salz	Aufschmelzen				
	Elektronenstrahl		Metall	Raffinieren				
Brennstoffe	gasförmig	direkt	Brenner		Wasser und wässrige Lösung	Verdampfen		
			in- direkt	Strahlrohr, Strahlfläche				
		in- direkt	Brenner				Beschichten	
	Strahlrohr, Strahlfläche							
	kombiniert gasf./flüssig	in- direkt	Brenner		Pulver	Verbinden		
			Brenner					
	feste	direkt	Brenner		Erze	Oxidieren		
			Strahlrohr, Strahlfläche					
			Brenner				Sonstige	Rösten
			in Gut eingebettet					
kombiniert	gasförmig/elektrisch	flüssig/elektrisch		Luft	Backen			
		flüssig/elektrisch						
		flüssig/elektrisch						
ohne Heizmittel		gasförmig		mit zwangsweiser Umwandlung	gasförmige	Dämpfe explosionsfähig	Calzinieren	
		Thermalöl				inerte Schutzgase A	Entgasen	
		Warmwasser				exotherm erzeugte Schutzgase B		
		Dampf				endotherm erzeugte Schutzgase C		
						wasserstoffreiche Gase D		
						Verbrennungsgase		
flüssige		Öl				Öl		
		Salz				Salz		
		Metall				Metall		
		Wasser und wässrige Lösung				Wasser und wässrige Lösung		

Abbildung 2.10: Einteilung der Wärmebehandlungsanlagen - Beheizung [26, S.655]

2.4.1 Konventionelle Methoden

Je nach Blechdicke, Blechbreite und Durchlaufgeschwindigkeit werden für die Wärmebehandlung von Blechen Rollenherd-, Drehherd-, Gleichschritt-, Hauben- sowie Banddurchlauföfen verwendet. Die letzten drei Typen sind für das Presshärten nicht von Relevanz. Gleichschrittöfen werden eher für die Erwärmung größerer Blöcke und Haubenöfen für ganze Coils verwendet. Banddurchlauföfen sind für die Wärmebehandlung von Blech vom Coil vorgesehen.

Rollen- und Drehherdöfen werden zur industriellen Erwärmung am häufigsten eingesetzt.

Die derzeit in den industriellen Warumformanlagen meist eingesetzten Öfen zur Materialerwärmung sind Rollenherd- oder Hubbalkenöfen mit modernster Ofentechnologie. Neuere Konzepte denken einen Drehherdofen an. Die Öfen werden entweder mit Erdgas (Methan) befeuert [2] oder elektrisch beheizt [24]. Es hat sich erwiesen, dass damit beste Wirtschaftlichkeit und die höchste Prozesssicherheit erzielt werden kann [25].

Zum besseren Verständnis sind folgend ein Rollen- und ein Drehherdofen dargestellt.

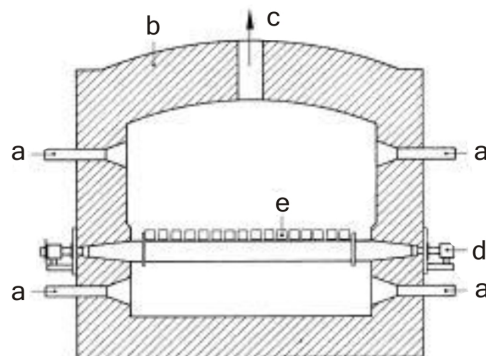


Abbildung 2.11: Rollenherdofen [26, S.658ff]

Der dargestellte Querschnitt eines Rollenherdofens besteht, in Bezug auf Abbildung 2.11, aus: a) Brenner, b) Ofenwand, c) Abgasaustritt, d) Rolle mit Antrieb und e) Wärmegut. Rollenherdöfen haben eine typische Länge von 35-40m. Für eine Verkürzung der Zykluszeiten kann sich der Ofen an die 80m verlängern.

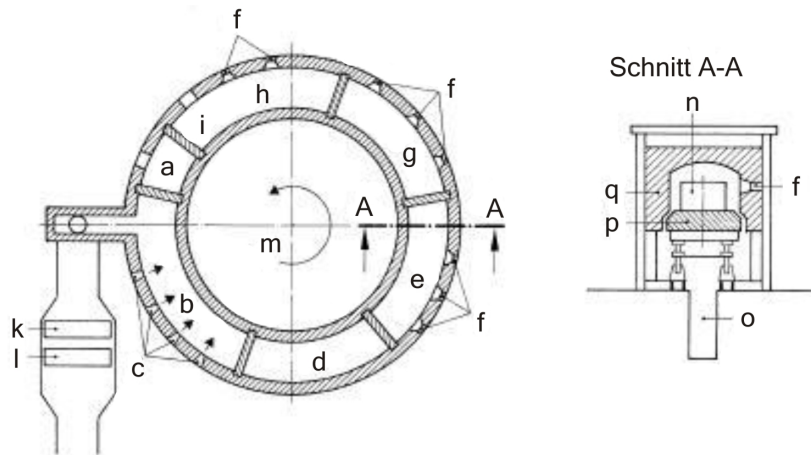


Abbildung 2.12: Drehherdofen [26, S.658ff]

Die Hauptkomponenten des Drehherdofens, in Bezug auf Abbildung 2.12, sind: a) Wärmegutaufgabe, b) Vorwärmzone I mit sekundärer Verbrennung, c) Düsen für vorgewärmte Luft, d) Vorwärmzone II, e) Heizzone I, f) Brenner, g) Heizzone, h) Haltezone für den Temperatenausgleich, i) Wärmegutentnahme, k) Lufttrekuperator, l) Brennstofftrekuperator, m) Drehrichtung des Herdes, n) Wärmegut, o) Begehungskanal, p) Brenner und q) Ofenwand.

2.4.2 Induktive Erwärmung von Formplatinen

Eine Methode, die derzeit in der Entwicklung zur Industrietauglichkeit steht, ist das induktive Erwärmen von Formplatinen. Es werden die gleichen mechanischen Eigenschaften und Mikrostrukturen erreicht, außerdem hat diese Technologie eine hohe Leistungsdichte und erzielt hohe Wirkungsgrade. Ein großer Vorteil gegenüber den herkömmlichen Systemen ist zusätzlich der geringe Platzbedarf. Das induktive Erwärmen ist im Bereich des Schmelzens und des Schmiedens eine etablierte Methode, kann aber in der industriellen Blechumformung noch nicht angefounden werden.

Die folgende Abbildung 2.13 stellt eine konventionelle Anlage, beispielsweise mit Rollenherdofen wie in Abbildung 2.7, einer neuartigen Anlage mit Induktionserwärmung gegenüber und zeigt damit ihr Potential auf. Die Ziele der Innovation sind die Reduktion an Platzbedarf um ca. 30% und die Senkung des Investitionsbedarf um ca. 25% [16].

Eine neue Methode mit hohem Wirkungsgrad und geringem Platzbedarf.

Eine Gegenüberstellung zeigt das Potential.

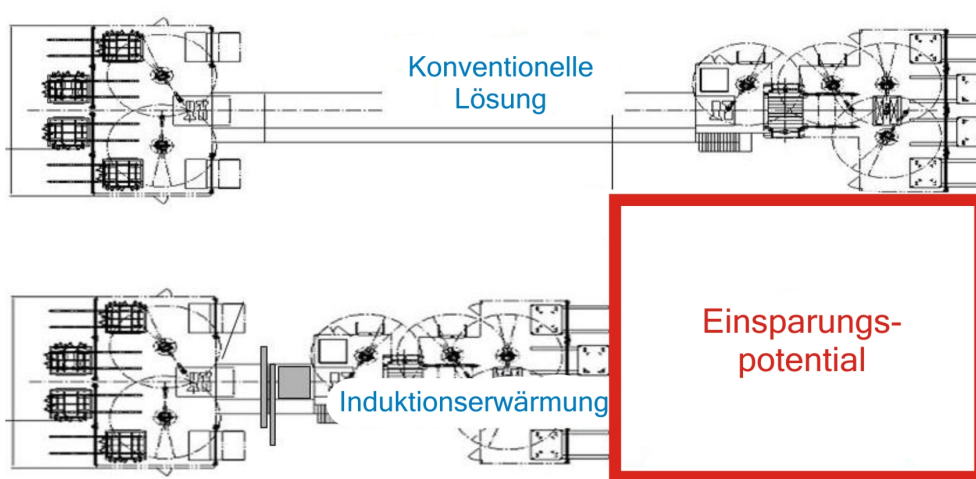


Abbildung 2.13: Anlagenvergleich [16]

Eine erste Prototypenanlage zur induktiven Erwärmung im Presshärteprozess wurde vom Institut für Umformtechnik und spanlose Produktion an der Technischen Universität Graz entwickelt.

Prototypenanlage an der TU Graz.

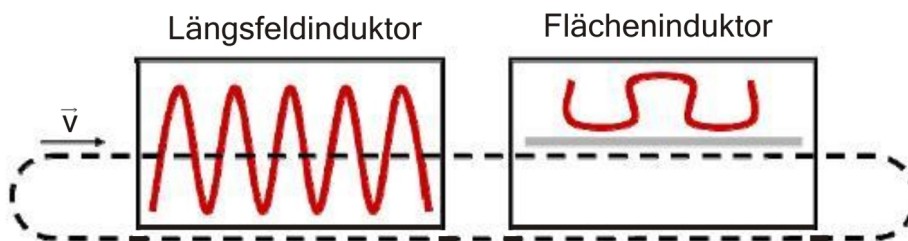


Abbildung 2.14: Aufbau der Versuchsanlage [14]

Der schematische Aufbau dieser Versuchsanlage ist in obiger Abbildung dargestellt. Diese Vorrichtung zum induktiven Erwärmen besteht aus einem Hochfrequenzgenerator und zwei Induktionsspulen. Ein Manipulationssystem übernimmt den Transport mit einer bestimmten Geschwindigkeit \vec{v} der Platine durch den Prototyp.

Die Grundarten der Spulen zur Blecherwärmung, a) Längsfeld-, b) Querfeld- und c) Flächenspule, sind nachfolgend in Abbildung 2.15 abgebildet.

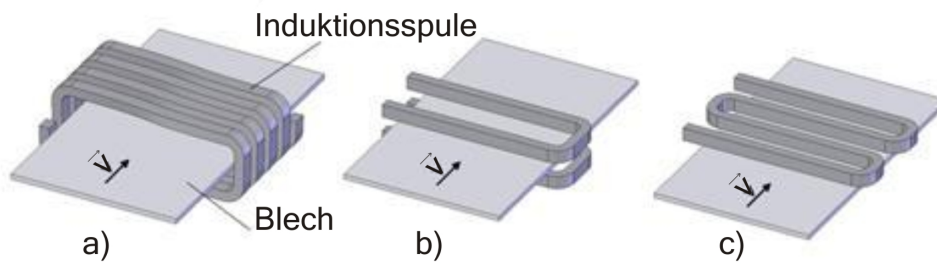


Abbildung 2.15: Grundarten der Induktionsspulen [16]

Die Auswahl und Reihung verschiedener Spulen beeinflusst den Wirkungsgrad und die maximal erreichbare Temperatur. Außerdem wird das erzielte Ergebnis, die erwärmte Platine, stark von der Frequenz und der Fördergeschwindigkeit \vec{v} beeinflusst.

3 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit soll eine bestehende Prototypenanlage zur induktiven Erwärmung von Formplatinen weiterentwickelt werden. Es gilt nach einer Analyse des Prototypen die auftretenden Probleme, besonders die Erfahrungen mit dem bisherigen Kettentransportsystem, darzustellen und bei der Umsetzung einer neuen Anlage darauf aufzubauen. Dies bedeutet, dass auf Basis eines Pflichtenheftes eine Erneuerung zu entwickeln ist, die die bestehenden Probleme behebt und vor allem kontrolliert reproduzierbare Ergebnisse bei einfacher Bedienung und Flexibilität liefert. Der Kern der Aufgabe befasst sich mit der Substitution des Förderkonzeptes der Stahlkette durch ein dem Anforderungsprofil entsprechendes System.

Das Hauptanwendungsgebiet der Anlage ist die Erwärmung von FAL-beschichteten borlegierten Stählen. Konkret kommen AL/Si beschichtete 22MnB5 Formplatinen zum Einsatz. Um die erforderliche Temperaturführung und Qualität zu erreichen, müssen zusätzlich die Erwärmungskomponenten erweitert werden. Durch diese Maßnahme sind die aktiven Förderkomponenten einer Temperatur zwischen 900 °C und 1000 °C ausgesetzt. Diese neue Kombination von Erwärmungselementen bildet die Ausgangsbasis bei der Entwicklung.

Weiterentwicklung einer bestehenden Prototypenanlage zur induktiven Erwärmung von Formplatinen.

4 Ausgangssituation und Anforderungen

In diesem Kapitel werden ausgehend von der bestehenden Prototypenanlage zur induktiven Erwärmung deren Schwierigkeiten aufgezeigt und die Anforderungen an die neue Anlage aufgelistet.

4.1 Bestehende Anlage

Wie bereits unter Punkt 2.4.2 erwähnt, wurde vom Institut für Werkzeugtechnik und spanlose Produktion an der Technischen Universität Graz eine Versuchsanlage zur induktiven Erwärmung von Formplatinen entwickelt (Abbildung 2.14). Auf der Abbildung 4.1 ist eine Formplatte während der Erwärmung in der Prototypenanlage zu sehen.

Versuchsanlage an der TU Graz.

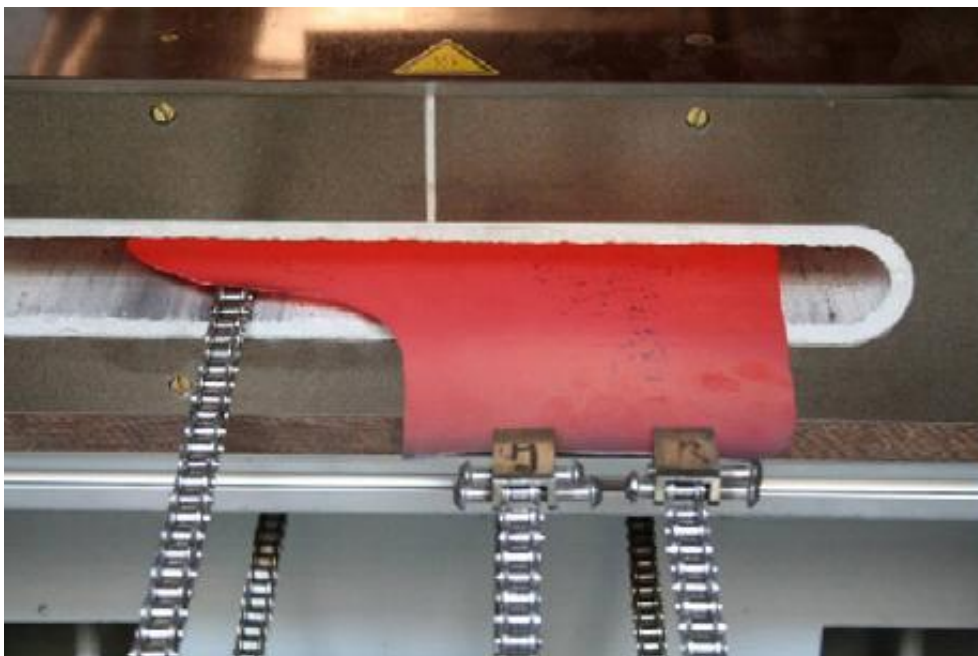


Abbildung 4.1: Längsfeldinduktor und Transportsystem [15]

4.1.1 Das Transportsystem

Drei parallele Buchsenkettenstränge nach DIN8164 stellen die Hauptkomponenten des Fördersystems dar. Diese sind in Abbildung 4.2 dargestellt.

Mechanischer Aufbau

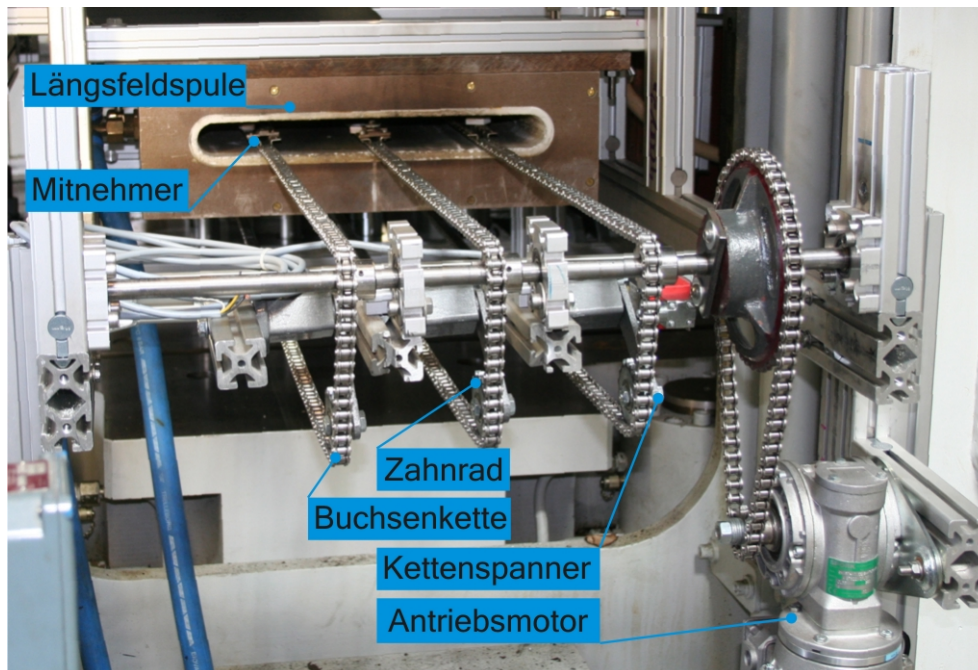


Abbildung 4.2: Hauptkomponenten des alten Fördersystems

Wie in Abbildung 2.14 und 4.2 zu sehen, ist das Lasttrum der Kette durch beide Induktoren geführt. Das Leertrum verläuft außerhalb des magnetischen Feldes was zu einer ständigen Temperaturwechselbeanspruchung führt. Die Kette ist vorne sowie hinten mittels Zahnrädern umgelenkt. Zur sicheren Mitnahme der Platine auf der Kette sind dort Mitnehmer angebracht. Der Antrieb der Förderkette erfolgt über einen Asynchronmotor mit Drehzahlregelung.

Der eigentliche Transportvorgang erfolgt durch Ablage der Formplatte auf dem Lasttrum, unter Berücksichtigung der Mitnehmerposition, vor dem ersten Induktor. Beim Umkehrpunkt der Kette wird die erwärmte Formplatte zur weiteren Verwendung entnommen.

4.1.2 Probleme

Das Hauptproblem und damit der Hauptgrund für die komplette Überarbeitung der Erwärmungsanlage ist, dass die Erwärmung beschichteter 22MnB5

Bleche in der geforderten Qualität mit der vorhandenen Anordnung der Erwärmungskomponenten nicht möglich ist.

Dennoch können für die Weiterentwicklung wichtige Erkenntnisse aus den Problemen der bestehenden Anlage gezogen werden. Generell ist festzuhalten, dass es Probleme mit der Reproduzierbarkeit gibt und die Anlage sehr unflexibel ist. Die Schwachstellen sind bezüglich allgemeiner Aspekte der Erwärmungsanlage und spezifischer Probleme mit dem Transportsystem nachfolgend aufgelistet.

Probleme mit der bestehenden Anlage sind:

- Eine gleichmäßige Erwärmung mittels Flächenspule setzt einen konstanten Abstand zwischen Blech und Induktor voraus. Wärmebedingte Verformungen der Platine, Durchhängen und Schwingen der Ketten verhindern dies.
- Die FAL Beschichtung der Formplatine geht ab 580 °C in eine flüssige Phase über[17]. Die Umrichterfrequenz von 10 kHz ruft Kraftwirkungen auf die aufgeschmolzene Beschichtung hervor und führt damit zur unerwünschten Tropfenbildung. Eine Frequenz von 100 kHz soll diesen Effekt beseitigen.
- Starke Verformungen der Platine führen zu Beschädigungen in der Einlaufzone der Induktoren, verursachen ein Steckenbleiben im Induktor und führen so zur Überbelastung der Kette.
- Am Ende der Anlage ist keine definierte Übergabeposition vorzufinden.

Probleme mit dem bestehenden Transportsystem:

Wie schon oben beschrieben, ist ein Kettenfördersystem im Einsatz, dessen Stahlkette für einige Probleme sorgte. Diese sind:

- Die Stahlglieder der Kette entziehen der Formplatine Wärme. Dies führt zu einer ungleichmäßigen Erwärmung.
- Vor allem die Schwingungen im Leertrum verursachen ruckartige Vorschubbewegungen.
- Das Lasttrum der Kette befindet sich in der Ofenheizzone mit Temperaturen von ca. 950 °C und das Leertrum in der Umgebungsatmosphäre bei Raumtemperatur. Dies führt zu einem ständigen Temperaturwechsel in der Kette.

- Die einzelnen Kettenstränge weisen ein unterschiedliches Längungsverhalten auf. Dies geschieht insbesondere durch Überbelastung oder im Falle eines Crashes.
- Durch Schwingungen in der Kette und Verformungen der Platine ergeben sich Probleme mit der Mitnahme. Außerdem sind nur an speziellen Stellen der Kette Mitnehmer vorhanden. Dies führt zu Verzögerungen in der Taktzeit. Weiters können sich die Mitnehmer am Umkehrpunkt verhängen.
- Die Kettenglieder aus nichtrostendem Edelstahl werden aufgrund des Restmagnetismus teilweise induktiv erwärmt, beeinflussen damit das Magnetfeld und senken den Wirkungsgrad. Diese Beeinflussung ist beim 10 kHz Umrichter gering. Bei höheren Frequenzen ist dieser Effekt sehr wohl zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass die Kette bei 100 kHz überhitzen würde.

Zusammenfassend sei gesagt, dass die Stahlkette nicht das optimale Transportmittel für Formplatinen im induktiven Erwärmungsprozess ist.

4.2 Platzverhältnisse

Die Anlage zur induktiven Erwärmung von Formplatinen wird im Labor des Instituts aufgebaut. Die Platzverhältnisse und die für die Anlage vorgesehene Aufstellfläche ist im Anlagenlayout, Abbildung 4.3, dargestellt.

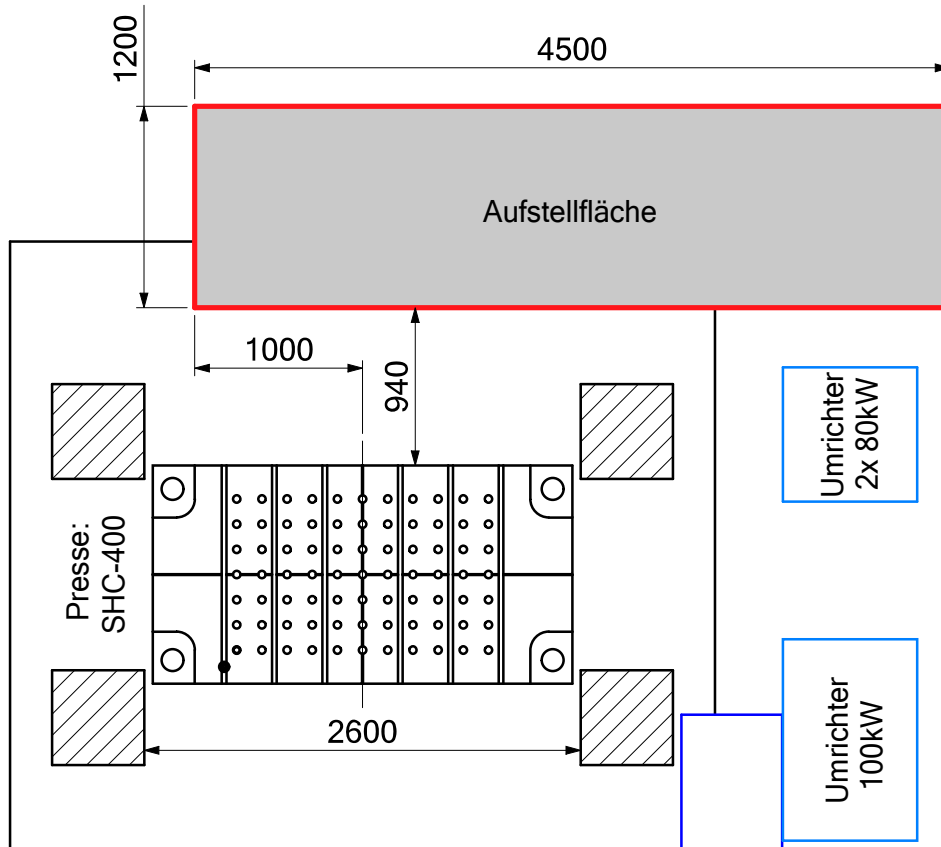


Abbildung 4.3: Anlagenlayout

Die vorgegebene Anordnung und die Abmessungen der Induktoren, sowie die Notwendigkeit einer möglichst kurzen Übergabestrecke nach der induktiven Erwärmung ins Werkzeug ergibt die oben dargestellte Situation. Anschlüsse für Strom und Pressluft sind an der Pressenrückseite vorhanden.

4.3 Rahmenbedingungen und Komponenten der Erwärmungsanlage

Die Erwärmungskomponenten der neuen Anlage sind:

- eine Längsfeldspule
- ein Muffelofen
- die Flächenspule

Erwärmungskomponenten entsprechend ihrer Anordnung in der Anlage.

4.3 Rahmenbedingungen und Komponenten der Erwärmungsanlage

- eine Widerstandsheizung.

Die Reihung der Komponenten spiegelt die Anordnung im Erwärmungsprozess wider. Die einzelnen Komponenten sind folgend mit ihren Grundabmessungen dargestellt und kurz beschrieben.

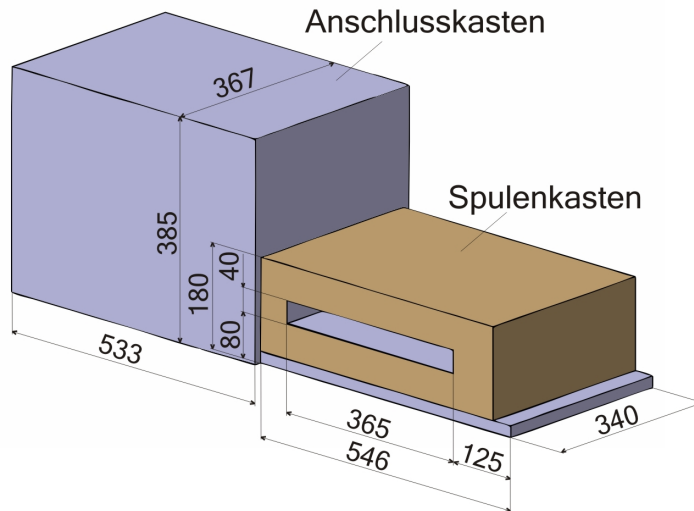


Abbildung 4.4: Längsfeldspule

Die Längsfeldspule, Abbildung 4.4, ist die Kernkomponente eines Induktionsofens. In dieser Stufe wird die Formplatte auf ca. 600 °C erwärmt. Die Beschichtung geht ab 580 °C in eine flüssige Phase über [17]. Die Speisung der Längsfeldspule erfolgt durch einen 100 kW Umrichter mit einer Frequenz von 100 kHz.

Längsfeldspule

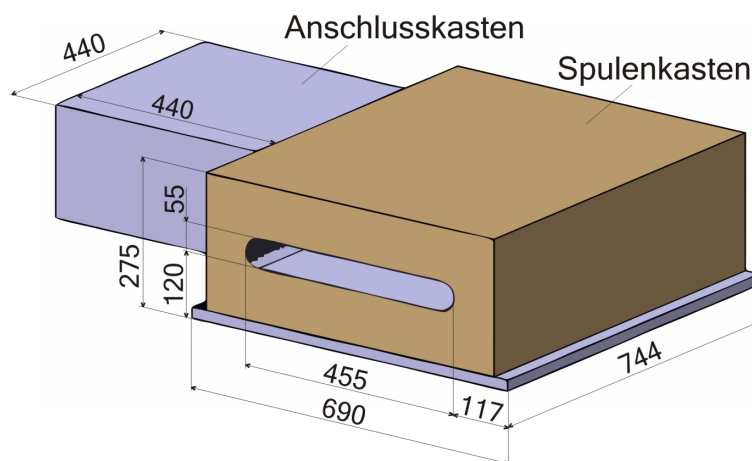


Abbildung 4.5: Muffelofen

4.3 Rahmenbedingungen und Komponenten der Erwärmungsanlage

Der Muffelofen, Abbildung 4.5, ist ein induktiv erwärmtes Stahlprofil. Die dadurch entstehende Ofenatmosphäre dient dem langsamen Weitererwärmen auf ca. 750 °C. Der dabei ablaufende Diffusionsvorgang ist für die Erwärmung von FAL beschichteten Formplatinen unerlässlich. Die Speisung erfolgt mit einem 80 KW Umrichter mit einer Frequenz von 10 kHz.

Muffelofen

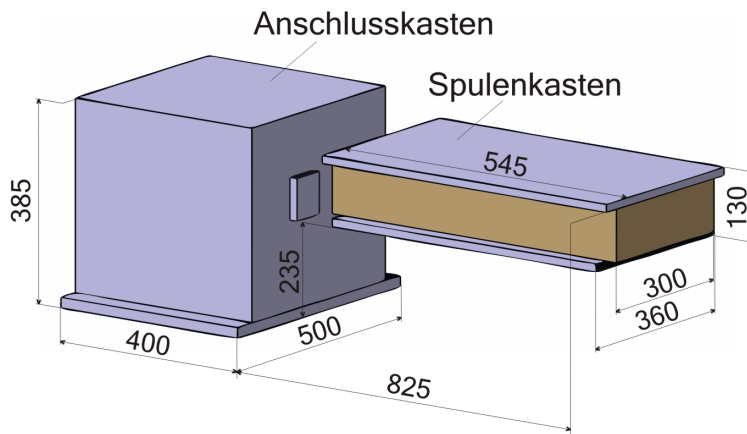


Abbildung 4.6: Flächenspule

Auch die Flächenspule, Abbildung 4.6, ist ein Induktionsofen. Vergleiche dazu Abbildung 2.15. Hier erfolgt ein weiterer Temperaturhub auf ca. 950 °C. Nach abgeschlossener Diffusion ist die Beschichtung wieder fest. Die Speisung des Muffelofens erfolgt durch einen 80 KW Umrichter mit einer Frequenz von 10 kHz.

Flächenspule

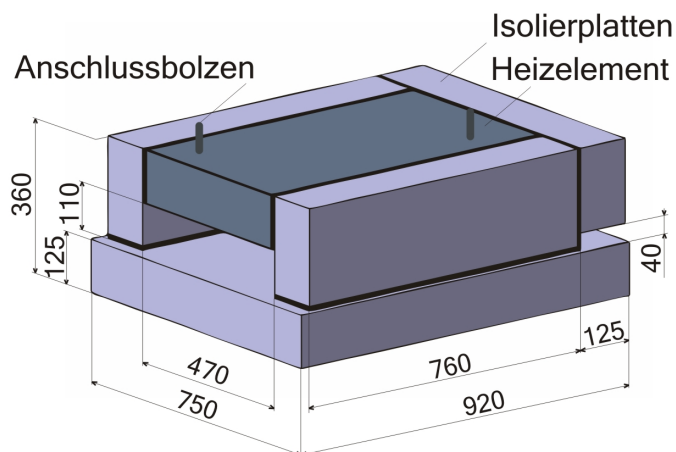


Abbildung 4.7: Widerstandsheizung

Die Widerstandsheizung, Abbildung 4.7, ist ein keramisch isolierter Ofen-

Widerstandsheizung

4.3 Rahmenbedingungen und Komponenten der Erwärmungsanlage

raum der mittels Widerstandsdraht elektrisch beheizt wird. Sie hat den Zweck, die Temperatur vor dem Umformen der Formplatte, auf ca. 950 °C zu halten.

Neben den beschriebenen Grundkomponenten wird die Anlage aus dem Transportsystem, dem Gestell, der Platinaufgabe und der Platinenentnahme bestehen. Die Komponentenübersicht in Abbildung 4.8 stellt diesen Sachverhalt grafisch dar. Darin ist a) die Platinaufgabe, b) die Längsfeldspule, c) der Muffelofen, d) die Flächenspule, e) die Widerstandsheizung und f) die Platinenentnahme. Die Bemaßungen inkludieren Raum für Befestigung und Manipulation. Die Gesamtlänge der Anlage wird etwas weniger als vier Meter betragen.

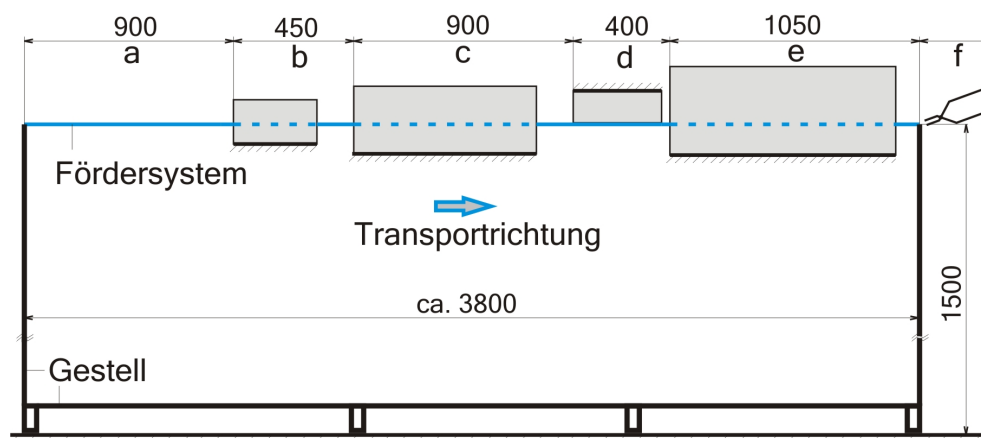


Abbildung 4.8: Komponentenübersicht

Weitere Eckpunkte als Basis für das Transportsystem sind:

- Abmessungen der maximal erwärmbaren Platine betragen 800 *mm* Länge und 350 *mm* Breite.
- Transporthöhe liegt 1500 *mm* über dem Hallenboden.
- Aufstellungsraum ist dem Anlagenlayout zu entnehmen. Siehe Abbildung 4.3 .
- Der Muffelofen muss ohne großen Aufwand entfernt werden können. Daraus ergibt sich die Forderung an ein modular aufgebautes System. Wie aus der Beschreibung des Muffelofens hervorgeht, ist dieser nur für beschichtete Bleche notwendig.

Rahmenbedingungen für die Erwärmungsanlage.

4.3 Rahmenbedingungen und Komponenten der Erwärmungsanlage

- Der Flächeninduktor muss in der Höhe justierbar sein, da der exakte Abstand zwischen Flächenspule und Formplatte ausschlaggebend für die gleichmäßige Erwärmung und Qualität der erhitzten Platte ist.
- Kurze Wege zwischen Erwärmung und Presse um so wenig Temperaturverlust wie möglich zu haben.

Durch die Erwärmung verformen sich Formplatten. Der Grad der Verformung ist jedoch stark vom verwendeten Material abhängig. Die Anlage soll im ersten Schritt nur für die Erwärmung von beschichteten 22MnB5 Blechen konzipiert werden. Da diese eine geringe Neigung zur Verformung aufweisen, wird die Behebung dieses Problems mit geringerer Priorität in die Anforderungsliste aufgenommen. Zusätzlich zu den allgemeinen Anforderungen an den Erwärmungsprozess werden die Solleigenschaften des Handhabungssystems, in Abschnitt 4.4, gesondert angeführt.

4.4 Pflichtenheft zur Handhabungseinrichtung

Aufbauend auf das beschriebene Fundament muss die Entwicklung des zukünftigen Förderkonzepts folgende Anforderungsliste treffen:

Anforderungs-
liste für
das neue
Fördersystem.

- Das Magnetfeld der Induktoren darf nur in der Formplatine einkoppeln.
- Die verwendeten Werkstoffe für aktive Bauteile die dem Magnetfeld ausgesetzt sind, dürfen weder magnetisch noch elektrisch leitend sein.
- Weiters müssen diese Bauteile temperaturbeständig bis 1100 °C sein.
- Der Wärmeentzug durch die Handhabungseinrichtung muss so gering wie möglich sein.
- Zwischen der Formplatine und dem Fördersystem darf aufgrund der streckenweise flüssigen Phase der Beschichtung, siehe 4.3, keine Relativbewegung entstehen.
- Transportwege außerhalb der Spulen sollen so kurz wie möglich gehalten werden um Temperaturverluste, diese entsprechen an Luft zwischen 10 und 15 K/s , zu minimieren.
- Die Transportgeschwindigkeit der Platine muss vom Stillstand bis hin zu 100 mm/s stufenlos und reproduzierbar einstellbar sein.
- Die Haupttransportrichtung ist vorwärts (Abbildung 4.8).
- Ein Umschalten auf Rückwärtstransport muss möglich sein.
- Die Handhabungseinrichtung muss an verschiedene Geometrien von Formplatinen schnell und unkompliziert anpassbar sein.
- Wie schon unter 4.1.2 erwähnt ist ein gleichmäßiger Abstand zwischen Flächenspule und Platine ausschlaggebend für die gleichmäßige Erwärmung der Platine. Deshalb muss sichergestellt werden, dass die Formplatine vor der Flächenspule eben ist. Dafür ist eine Richteinheit vorzusehen.

5 Konzeptfindung

Der Konstruktionsprozess mit seinen Hauptphasen Klären der Aufgabenstellung, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten bildet den Inhalt dieses und des nächsten Kapitels. Als Basis des methodischen Vorgehens dienen Grundlagen der Konstruktionstechnik. [10]

Mit dem Konstruktionsprozess zum Gesamtentwurf.

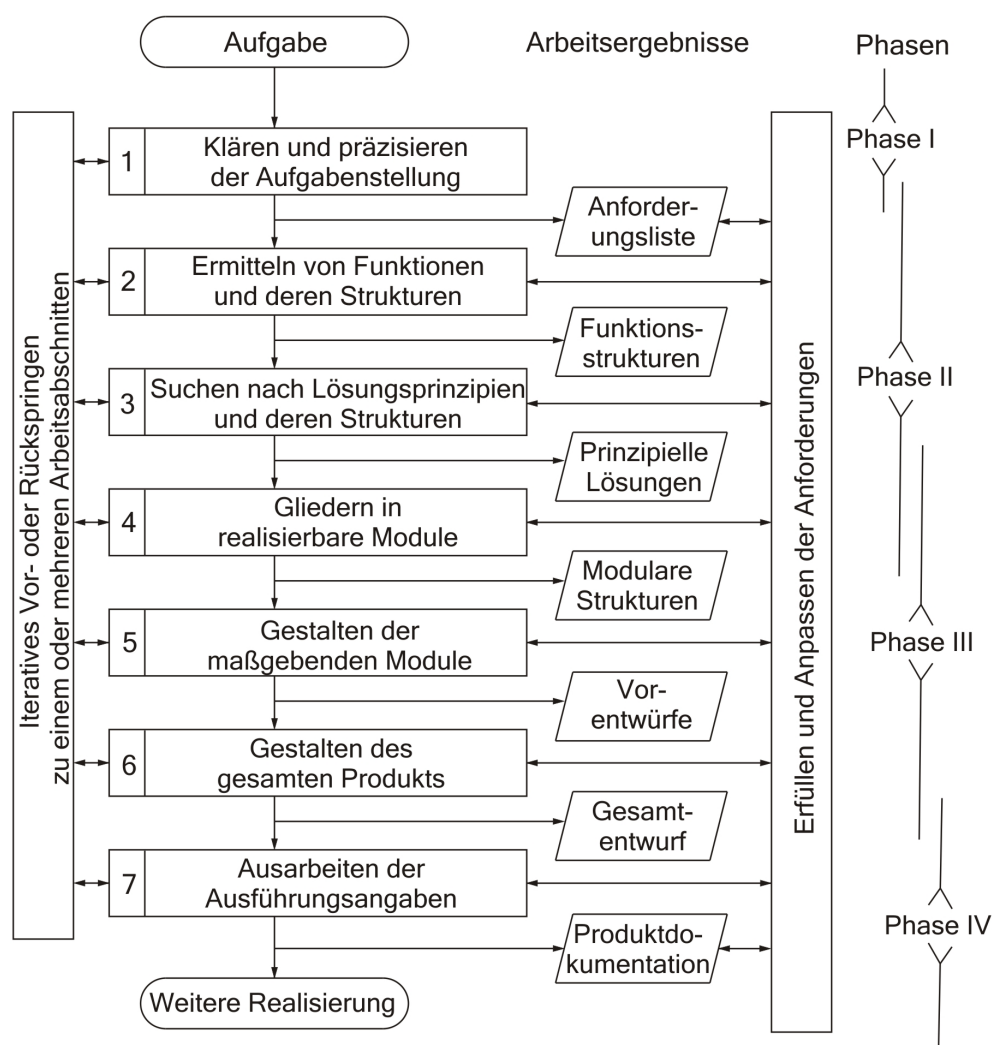


Abbildung 5.1: Vorgehen beim Entwickeln und Konzipieren [31]

Ausgehend von den in Kapitel 4 genannten Anforderungen, wird im Folgenden die Aufgabe durch die Abstraktion der wesentlichen Probleme präzisiert und Funktionsstrukturen aufgestellt. Das Ziel ist ein Gesamtentwurf mit der Freigabe zur detaillierten Ausarbeitung. Dabei ist es wichtig, dass der reproduzierbare Zusammenhang zwischen der Ein- und Ausgabegröße des Gesamtsystems nicht aus dem Auge verloren wird. Außerdem sollen von alten Lösungen befreit, neue Lösungswege gefunden werden.

5.1 Abstrahieren und erstellen der Funktionsstruktur

Die Basis dieser Arbeit ist ein Durchlaufofen mit induktiver Beheizung und Luft als Hüllmittel. Vergleiche dazu Abbildung 2.9 und 2.10. Die Entwicklung der beweglichen Unterlage, wie es in Abbildung 2.9 genannt wird, ist der Kerninhalt dieser Arbeit.

In Abbildung 5.2 ist die Funktionsstruktur des Formplatinentransportes dargestellt. Der Formplatinentransport durch die Erwärmungsanlage mit dem Zweck der Erwärmung auf ca. 950 °C stellt die Gesamtfunktion der Aufgabenstellung dar. Dabei kann der eigentliche Transport der Formplatte durch die einzelnen Einheiten der Erwärmungsanlage als Hauptfunktion genannt werden. Die Nebenfunktionen sind die Zuführung, die Aufnahme, die Erwärmung, die Signalverarbeitung, die Bedienung und die Übergabe der Formplatte mit ihren definierten Positionen.

Gesamtfunktionsstruktur.

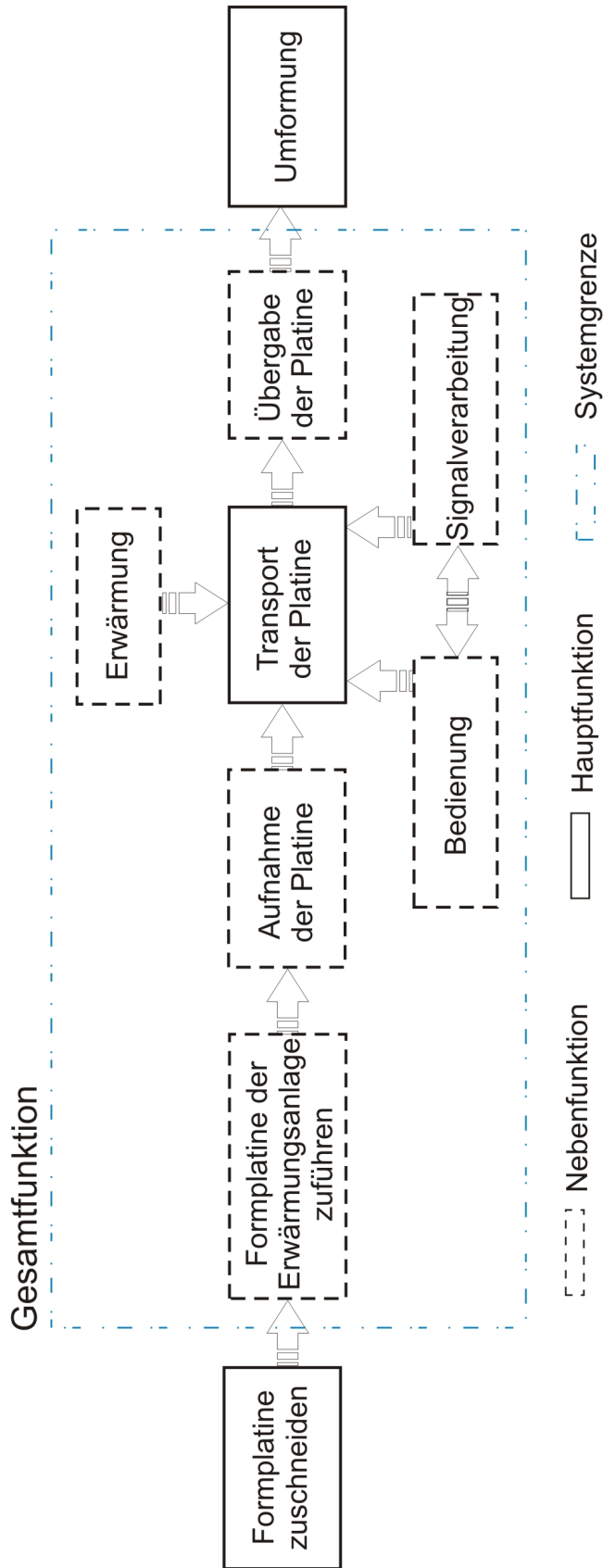


Abbildung 5.2: Funktionsstruktur beim Formplatinentransport

Neben der Gesamtfunktion sind aus der Aufgabenstellung auch die wesentlichen Bedingungen der Hauptfunktion herausgearbeitet. Diese sind:

- Kontinuierliche Förderung der Platine auf konstanter Höhe von ca. 1500 *mm*.
- Temperaturbeständigkeit der Aktivteile bis 1000 °C.
- Keine Relativbewegung zwischen Platine und Wirkflächen.
- Die Maximalabmessung der Platine beträgt 800 x 350 *mm*.

5.2 Lösungsprinzipien

Unter Zuhilfenahme eines morphologischen Kastens werden beim Konzipieren Lösungsprinzipien für die einzelnen Teilfunktion gesucht. [11] Durch eine eingehende Bewertung nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten in Bezug auf die Anforderungsliste wird aus dem morphologischen Kasten eine prinzipielle Gesamtlösung identifiziert. In Abbildung 5.3 ist diese durch eine rote Linie neben ihren Konkurrenten dargestellt.

Lösungsprinzipien durch morphologischen Kasten

Teilfunktionen	Teillösung 1	Teillösung 2	Teillösung 3	Teillösung 4	Teillösung 5
Formplatte der Erwärmungsanlage zuführen	manuelle Zuführung der Platine ●	Feedersystem	Robotersystem	mechanische Lösung	hydraulisch oder pneumatisch
Aufnahme / Mitnahme der Platine	Platinenträger	Mitnehmerpacken	Haftreibung ●	--	--
Transport der Platine	Kettenförderer	Rollenbahn	Transportband	Wagentransport	Hubbalken
Antrieb des Transportsystems	hydraulisch oder pneumatisch	mechanisch / manuell	E-Motor ●	--	--
Erwärmung	induktiv ●	--	--	--	--
Anordnung der Erwärmungs-	zufällig	rotatorisch	translatorisch / seriell ●	translatorisch / parallel	--
Signalverarbeitung	manuell durch Personal	Pneumatische Steuerung	Steuerung durch elektrische IC-Logikbausteine ●	SPS-Steuerung	Mikroprozessor-Steuerung
Bedienung: Richtung und Geschwindigkeit	mechanisch über Getriebestufen	elektronisch ●	Volumenstrom eines Fluids	manuell durch Personal	--
Übergabe der Platine	manuelle Zuführung der Platine ●	Feedersystem	Robotersystem	mechanische Lösung	hydraulisch oder pneumatisch

Abbildung 5.3: Morphologischer Kasten

5.3 Gliedern in realisierbare Module

Aus der in 5.1 gefundenen prinzipiellen Gesamtlösung ergeben sich einzelne Module die für sich gestaltet werden können. Dabei ist zu beachten, dass sich alle Module gegenseitig beeinflussen und aufeinander aufbauen. Im Einzelnen sind dies folgende Module:

Gesamtlösung besteht aus Modulen

1. Transport der Platine auf Basis des Hubbalkenprinzips. Es beinhaltet neben dem mechanischen Aufbau die Gestaltung der Kinematik.
2. Eine geeignete Antriebslösung für das Hubbalkensystem.
3. Steuerung und Signalverarbeitung.
4. Die Bedienung mit dem Zweck der Vorgabe der Geschwindigkeit und der Richtung an das Transportsystem.
5. Die manuelle Platinezufuhr mit einer definierten Schnittstelle zum Transportsystem.
6. Die Platinenübergabe an den nachfolgenden Prozess.
7. Ein Gestell das einerseits die Erwärmungskomponenten und andererseits das Transportsystem aufnimmt und das Gesamtsystem zu einer Anlage kombiniert.

5.4 Gestalten der maßgebenden Module

5.4.1 Erstes Modul: Transport der Platine

Um den anforderungsgerechten Transport der Formplatte durch die Erwärmungskomponenten zu realisieren, werden im ersten Schritt die Wirkbewegung und dann die Wirkflächen bestimmt. Beide Schritte zusammen stellen die Wirkgeometrie der Handhabungseinrichtung dar.

Bestimmen der Wirkgeometrie.

Die Wirkbewegung der Formplatte muss laut Anforderungsliste eine kontinuierliche, translatorische Bewegung auf einer konstanten Höhe sein. Für das gewählte Hubbalkensystem ist die anforderungsgerechte Kinematik in Abbildung 5.4 für einen Hubbalken dargestellt. Zur Realisierung der geforderten Bewegung sind zwei parallele Hubbalken, die zeitversetzt denselben Bewegungsablauf abarbeiten, notwendig.

Die Wirkbewegung.

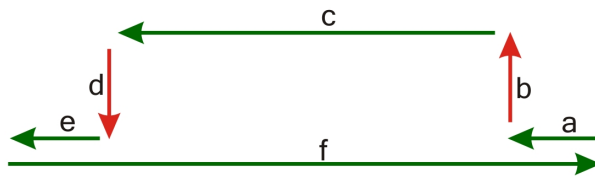


Abbildung 5.4: Kinematik des Hubbalkensystems

Die Gesamtbewegung setzt sich aus horizontalen und vertikalen Bewegungen zusammen. Die einzelnen Bewegungsphasen des Hubbalkens, wie in Abbildung 5.4 dargestellt, sind:

a) Beschleunigen, b) Heben, c) Transportieren, d) Senken e) Abbremsen und f) Rücklauf bestehend aus Beschleunigung und Verzögerung.

Im folgenden Diagramm ist das notwendige Geschwindigkeitsverhalten über die Zeit der parallelen Hubbalken abgebildet. Um die kontinuierliche Bewegung auf einer konstanten Höhe zu verwirklichen, müssen die zwei Systeme in jedem Zyklus eine Überlappung am Anfang der Transportphase aufweisen. Diese Forderung ist in Abbildung 5.5 markiert.

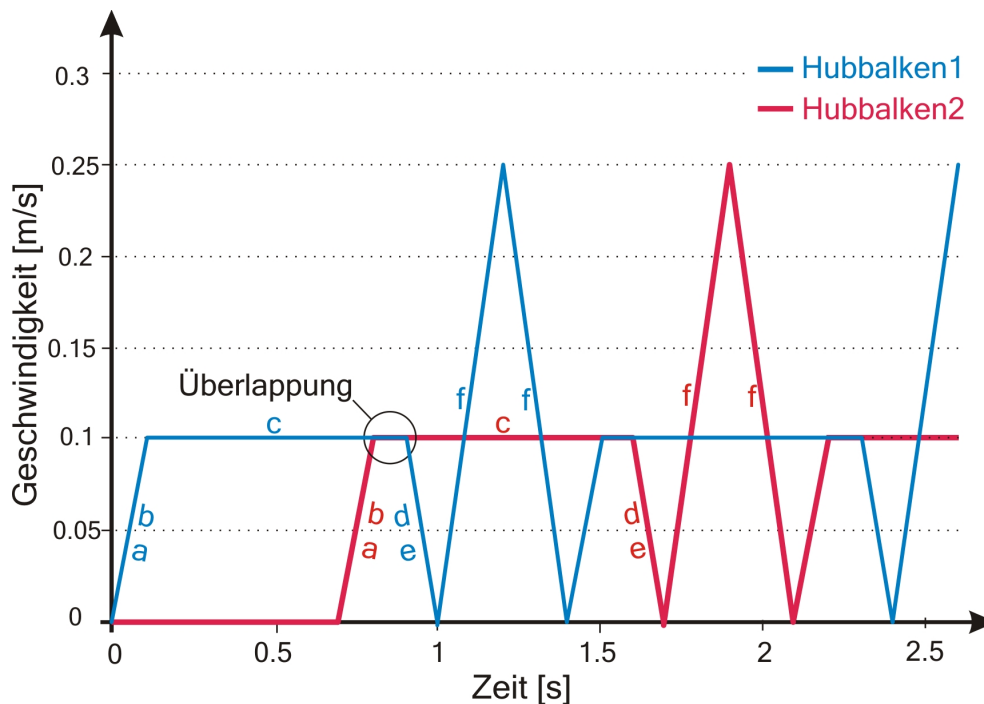


Abbildung 5.5: Bewegungskonzept

Die Auslegung der Kinematik erfolgt für die maximale Transportgeschwindigkeit von $0,1 \text{ m/s}$ und einem Fahrweg von 100 mm pro Hubbalken.

5.4 Gestalten der maßgebenden Module

Als Wirkfläche wird die Auflagefläche für die Formplatte am Hubbalken identifiziert. Sie muss den spezifischen Anforderungen an Hitzebeständigkeit, Wärmeleitfähigkeit und elektrischer Leitfähigkeit genügen. Für diesen konkreten Anwendungsfall erfüllen keramische Werkstoffe am besten den geforderten Zweck.

Für einen Hubbalken erfolgt die Ausarbeitung des Konzepts der Wirkgeometrie beispielhaft am Teilsystem Längsfeldspule, da hier kritische Tunnelmaße vorliegen. In Bezug auf Abbildung 5.6 wird das Hubbalkensystem aus den Komponenten Keramikbalken (Pos.1), Hubschlitten (Pos.2), Horizontalführung (Pos.3), Vertikalführung (Pos.4) und dem Gestell (Pos.5) bestehen. Mit (Pos.6) ist die Längsfeldspule inklusive Tunnel gekennzeichnet.

Die Wirkfläche.

Das Konzept der Wirkgeometrie.

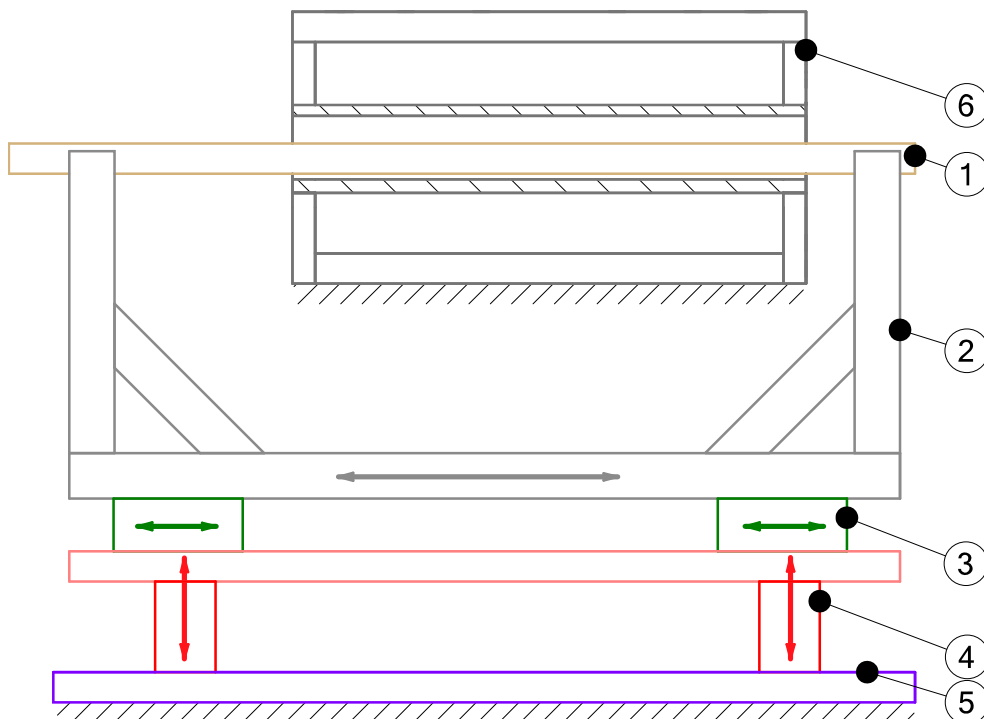


Abbildung 5.6: Konzept Hubbalkenteilsystem

In Abbildung 5.7 sind die parallel arbeitenden Hubbalken als Gesamtsystem dargestellt.

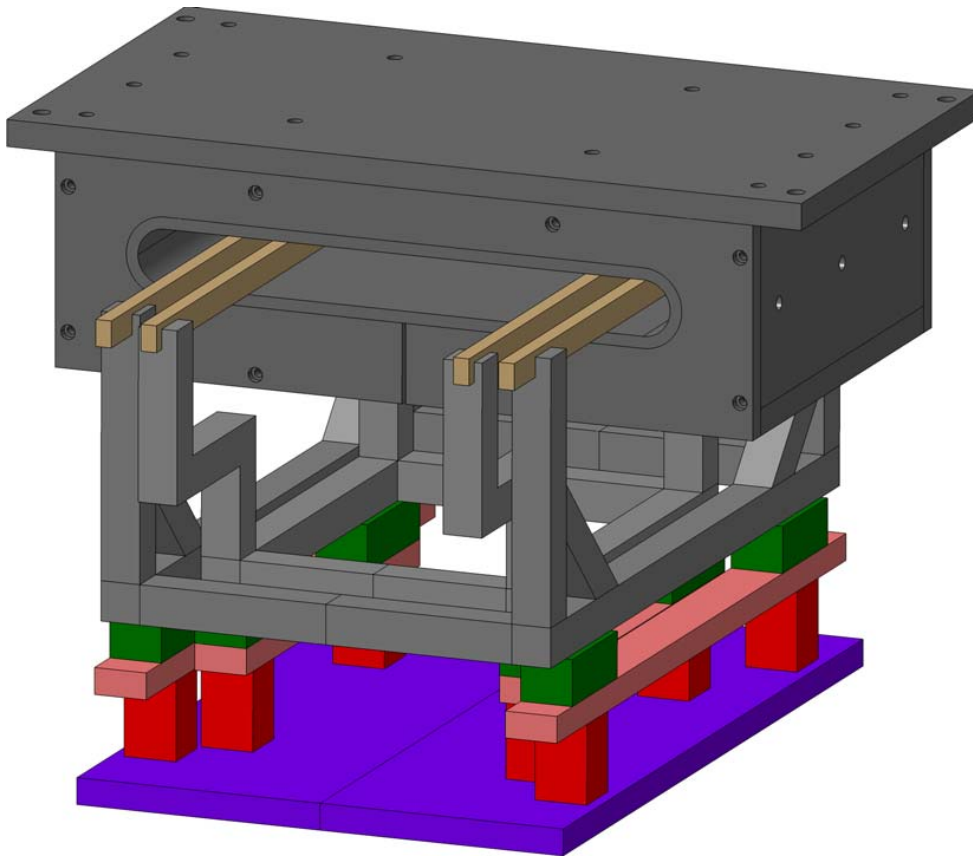


Abbildung 5.7: Konzept Hubbalkensystem

Durch einen modulartigen Aufbau des Gesamtsystems ist es möglich, alle Erwärmungskomponenten mit diesem Prinzip zu durchlaufen. Dafür wird das vorgestellte Konzept dupliziert und wiederverwendet.

Das Konzept wird bei allen Erwärmungskomponenten verwendet.

5.4.2 Zweites Modul: Antriebslösung

Wie schon oben unter Punkt 5.4.1 erläutert, benötigt dieses Konzept eine Bewegung in horizontaler sowie in vertikaler Richtung. Für beide Richtungen werden getrennt voneinander Antriebslösungen gesucht. Diese Einzellösungen sollen durch eine Steuerung gekoppelt werden, mit dem Ziel eine Bewegung laut Abbildung 5.5 zu realisieren.

Suchen der Antriebslösung für zwei Richtungen.

Die Vertikalbewegung soll durch ein pneumatisch betätigtes Kniehebelsys-

Die Vertikalbewegung.

tem realisiert werden. Diese translatorische Bewegung, sie wird im Folgenden als Hub bezeichnet, beträgt 6 mm. Eine Prinzipskizze ist in folgender Abbildung 5.8 dargestellt.

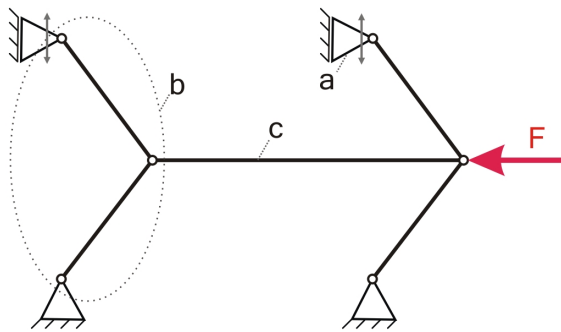
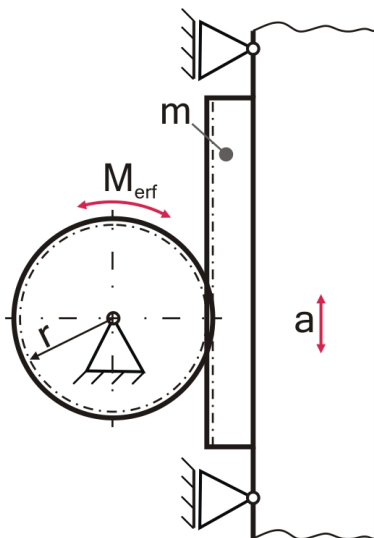


Abbildung 5.8: Konzept Vertikalbewegung

F repräsentiert in Abbildung 5.8 die Kraft eines Pneumatikkompaktzylinders zur Betätigung, a ist die vertikale Führung und b ein Kniehebelteilsystem. Die Kopplung der Kniehebelteilssysteme erfolgt über starre Stangen c .

Die Horizontalbewegung wird durch Umwandlung einer Rotationsbewegung von einem Elektromotor, siehe Abbildung 5.3, in eine Translation mittels Zahnrad und Zahnstange erfolgen. Der Motor ist ortsfest und der Schlitten über eine horizontale Führung beweglich. Siehe Abbildung 5.9. Dabei ist das erforderliche Motordrehmoment wie folgt berechnet.

Die Horizontalbewegung.



$$F = m \cdot a \quad (5.1)$$

$$M_{erf} = F \cdot r \quad (5.2)$$

Abbildung 5.9: Momentenberechnung

Durch die einfachen kinematischen Zusammenhänge folgt aus Abbildung 5.5 eine maximale Beschleunigung a von $2,5 \text{ m/s}^2$. Mit einer großzügigen Schätzung der Schlittenmasse m mit 50 kg und einem realistischen Teilkreisradius r von 30 mm des Zahnrades kann schließlich das erforderliche Motormoment M_{erf} berechnet werden.

Bei der Auswahl des E-Motors ist laut Formel (5.2) ein Mindestmotormoment von $3,75 \text{ Nm}$ notwendig. Die Mindestmotordrehzahl beträgt für den dargestellten Fall 500 min^{-1} .

Schrittmotoren werden als kostenoptimale und robuste Antriebe für Anwendungen mit kurzen Distanzen und früher Drehmomentanforderung eingesetzt [6]. Wegen des unkomplizierten Aufbaus, dem wartungsfreien Betrieb und der einfachen Inbetriebnahme des Schrittmotors ist die Entscheidung auf ihn gefallen. Er grenzt sich vor allem durch die einfache Steuerung zum Servomotor ab.

Um einen steuerungstechnischen Mehraufwand und zusätzliche Kosten zu verhindern, werden die Hubbalkensysteme für die restlichen Erwärmungskomponenten zwar gleich aufgebaut, aber ohne Antriebskomponenten, sprich Schrittmotor und Zylinder, ausgeführt. Deren Antrieb erfolgt durch eine mechanische Verbindung der Systeme mit Stangen. Daraus ergibt sich der zusätzliche Vorteil der automatischen Synchronisation der einzelnen Teilsysteme.

Auswahl des E-Motors.

Der Antrieb weiterer Systeme.

5.4.3 Drittes Modul: Signalverarbeitung

Der exakte kinematische Ablauf nach Abbildung 5.5 ist für das Hubbalkensystem von entscheidender Bedeutung. Dafür müssen die einzelnen Teilsysteme genau aufeinander abgestimmt sein und miteinander kommunizieren.

Diese Kommunikation der Systemkomponenten funktioniert über Sensoren in den Endlagen der einzelnen Bewegungen. Für die horizontale Bewegung werden Lichtschranken, wie in Abbildung 5.10 dargestellt, verwendet.

Die Systemkommunikation bestimmt den richtigen Bewegungsablauf.



Abbildung 5.10: Gabellichtschranke [23]

Für die vertikale Bewegung werden standardmäßige Zylindernäherungsschalter verwendet.



Abbildung 5.11: Näherungsschalter FESTO [9]

Die Umsetzung der Komponentenkommunikation und die Ansteuerung der Antriebselemente erfordert einen nicht zu vernachlässigenden Aufwand an Steuerungstechnik. Die Realisierung erfolgt gemeinsam mit einem externen Partner in Form einer nicht programmierbaren Steuerung mit elektrischen IC-Logikbausteinen.

Die Umsetzung der Systemkommunikation.

5.4.4 Viertes Modul: Bedienung

Einfache und intuitive Bedienung sind Vorgaben aus der Anforderungsliste. Ein übersichtlich gestaltetes Bedienfeld wird Elemente zum Starten und Stoppen des Transportvorganges, zur Wahl der Transportrichtung, zur Einstellung der Geschwindigkeit in beide Richtungen und eine Anzeige für aktuelle Geschwindigkeitswerte beinhalten.

Die Elemente des Bedienfeldes.

5.4.5 Fünftes Modul: Platinenzufuhr

Die Formplatte wird der Erwärmungsanlage, im kalten Zustand, manuell durch eine Person zugeführt. Dafür wird wie in Abbildung 5.12 folgend dargestellt eine Rollenbahn vor dem Hubbalkensystem installiert.

Platinenzufuhr durch Rollenbahn.

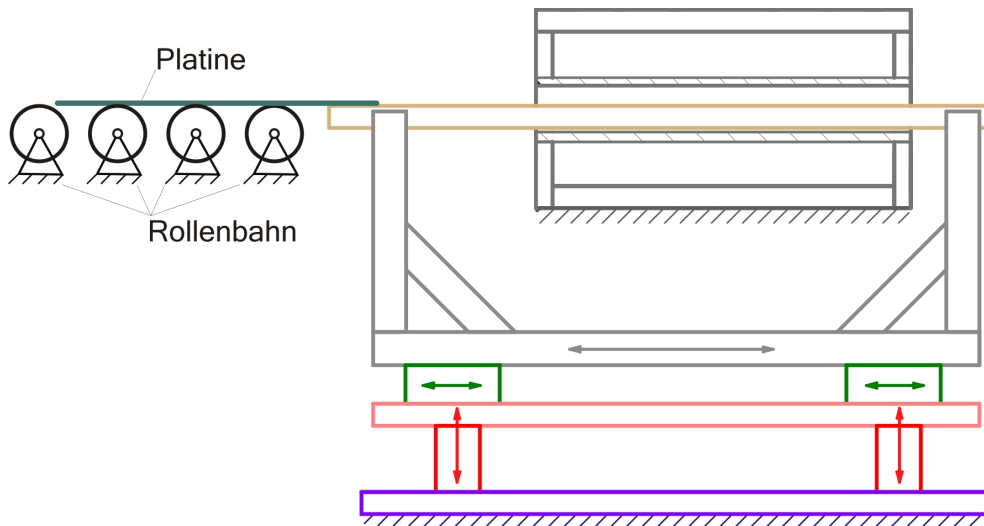


Abbildung 5.12: Konzept Platinenzufuhr

5.4.6 Sechstes Modul: Platinenübergabe

Am Ende des Erwärmungsvorganges ist die erwärmte Platine durch den Bediener manuell vom Hubbalkensystem zu entnehmen. Im einfachsten Fall wird das Blech mit einer Zange in das Umformwerkzeug eingelegt. Siehe Bild 5.13.

Manuelle Entnahme.

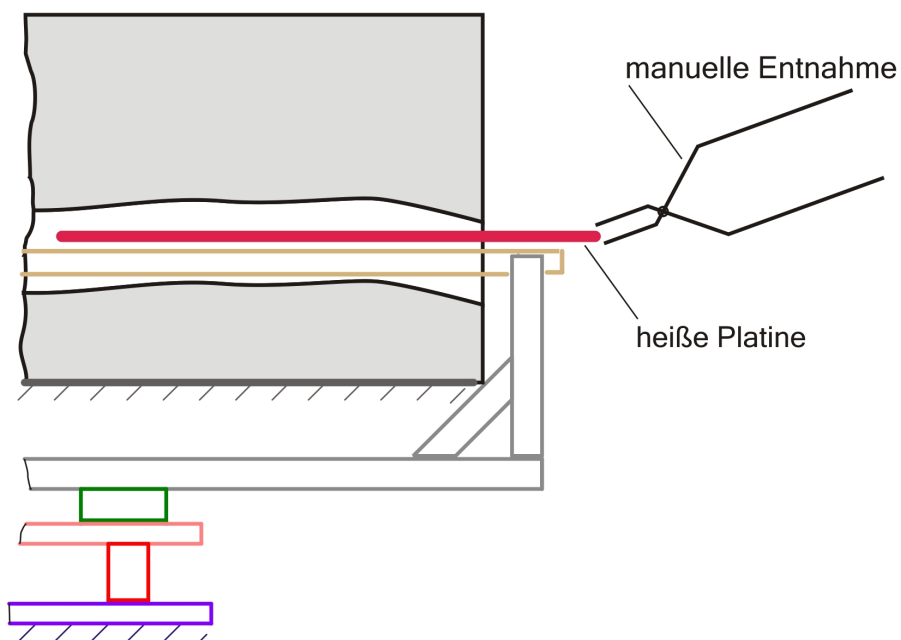


Abbildung 5.13: Konzept Platinenübergabe

5.4.7 Siebentes Modul: Gestell

Das Gestell dient als Rahmen und vereint die einzelnen Systeme zu einer gesamten Anlage. Grundaspekte für die Gestaltung des Rahmens sind Stabilität und Flexibilität bei gleichzeitiger Erfüllung der technischen Aufgabe. Um der geforderten Flexibilität gerecht zu werden, soll das Gestell auf Rollen stehen und damit verschiebbar sein. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die gegenseitige Entkoppelung der einzelnen Erwärmungsanlagen. Dies fordert die Bildung von losgelösten Wageneinheiten. Für die Längsfeldspule ist der eben verfasste Sachverhalt in Abbildung 5.14 skizziert. Die restlichen Erwärmungskomponenten werden prinzipiell gleich aufgebaut.

Der Rahmen als losgelöste Wageneinheit.

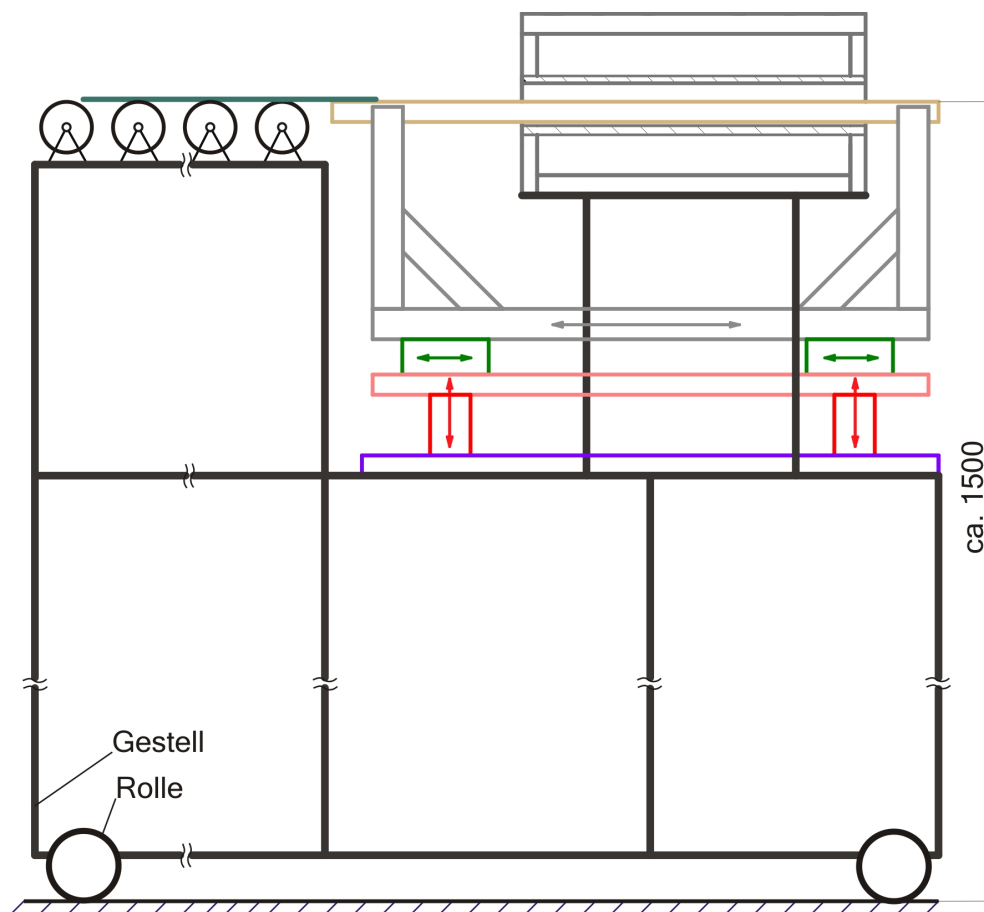


Abbildung 5.14: Konzept Gestell

Die Umsetzung des Gestells basiert auf Basis des Systembaukasten für Maschinenbau aus der item Profiltechnik [12] mit der Profilverihe acht.

5.5 Gestalten des gesamten Produkts

Die Kombination der einzelnen Module zu einer Gesamtanlage unter Berücksichtigung der Anforderungsliste bestimmt die geometrischen Grundabmessungen für die Ausarbeitung.

In Abbildung 5.15 ist das Anlagenkonzept skizziert. Dabei ist a) die Platinaufgabe, b) die Längsfeldspule, c) der Muffelofen, d) die Flächenspule, e) die Widerstandsheizung und f) die Platinenentnahme. Vergleiche dazu Abbildung 4.8.

Um die notwendige Flexibilität zu erhalten, werden die Platinezufuhr und das Längsfeld auf einem verfahrbaren Rahmen kombiniert. Der Muffelofen befindet sich auf einem eigenständigen Wagen. Die Flächenspule und die Widerstandsheizung werden auch zusammengefasst. Die modular aufgebauten Wagen werden miteinander verschraubt und anschließend die Hubbalkensysteme durch Stangenverbindungen gekoppelt. Dafür muss zum einen das Kniehebelsystem als Hebemechanismus und zum anderen die Schlitten verbunden werden.

Wie in der Abbildung 5.15 zu sehen, ist für den Muffelofen kein eigenes Hubbalkensystem notwendig. Die Keramikbalken, zur Realisierung der Transportaufgabe durch den Muffelofen, werden von den benachbarten Hubbalkensystemen aufgenommen.

Die Gesamtanlage als Summe dreier eigenständiger Wagen.

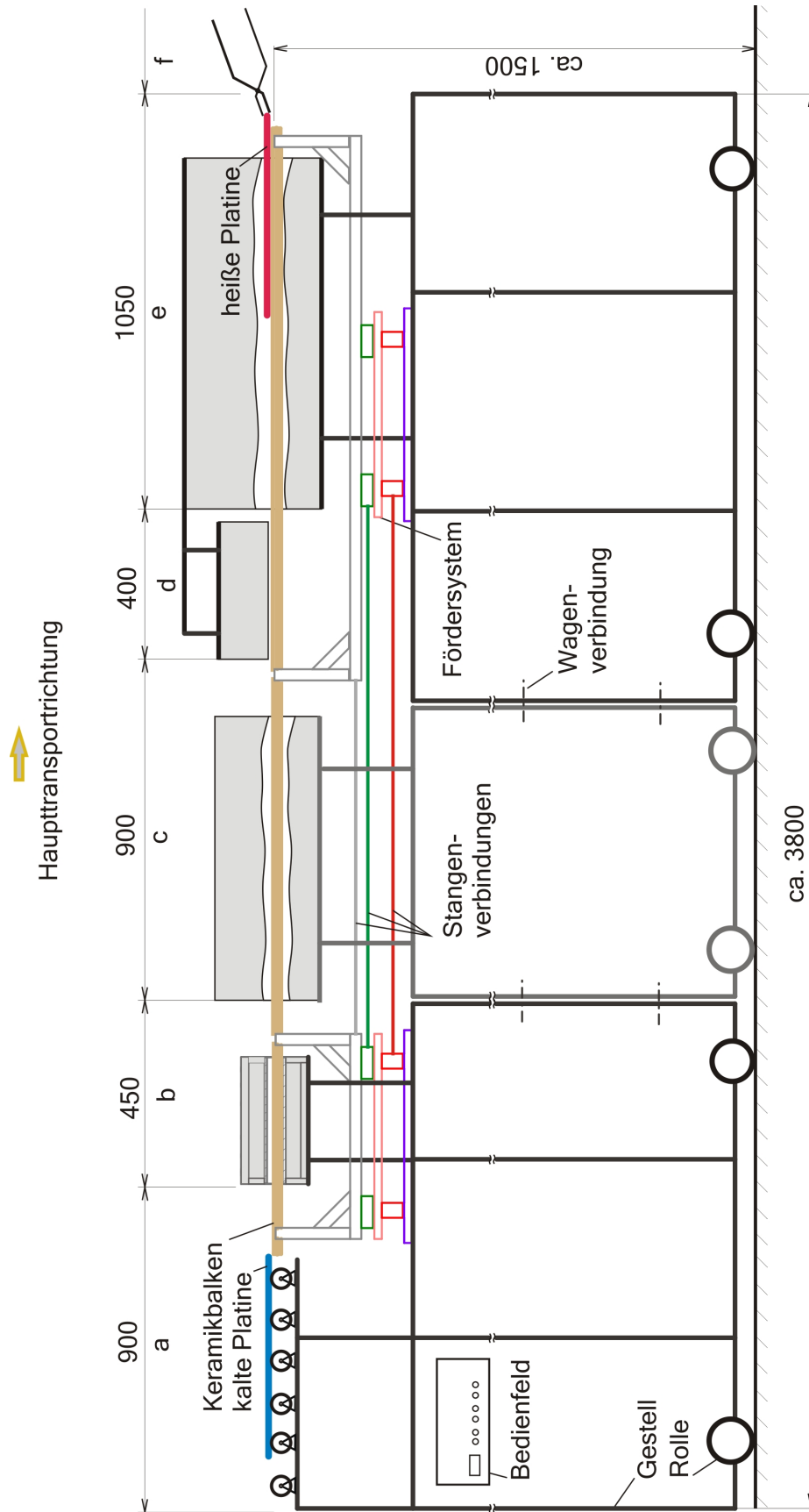


Abbildung 5.15: Konzept Gesamtanlage

5.5 Gestalten des gesamten Produkts

Für die Betätigung des Kniehebelsystems ist ein doppelwirkender Zylinder für jeden der zwei parallel arbeitenden Hubbalken, siehe Abbildung 5.8, vorgesehen.

Die Betätigung des Kniehebelsystems.



Abbildung 5.16: Doppelwirkender Kompaktzylinder [8]

Der Schlittenantrieb erfolgt, wie schon in Abschnitt 5.4.2 erläutert, durch einen Schrittmotor. Der gewählte Typ 34-HSX312 mit einem Haltemoment von $7,6 \text{ Nm}$ erfüllt die Anforderungen aus der Momentenberechnung, siehe Kapitel 5.4.2 mit ausreichender Sicherheit. Folgende Abbildung 5.17 zeigt den gewählten Schrittmotor und die dazugehörige Steuerung PM546.

Der Schlittenantrieb.



Abbildung 5.17: Schrittmotor[19]

5.6 Ausarbeiten

Die detaillierte Ausarbeitung des Gesamtentwurfes erfolgt im Kapitel 6, Konstruktion. In Abbildung 5.18 ist dafür die grundlegende Vorgehensweise dargestellt.

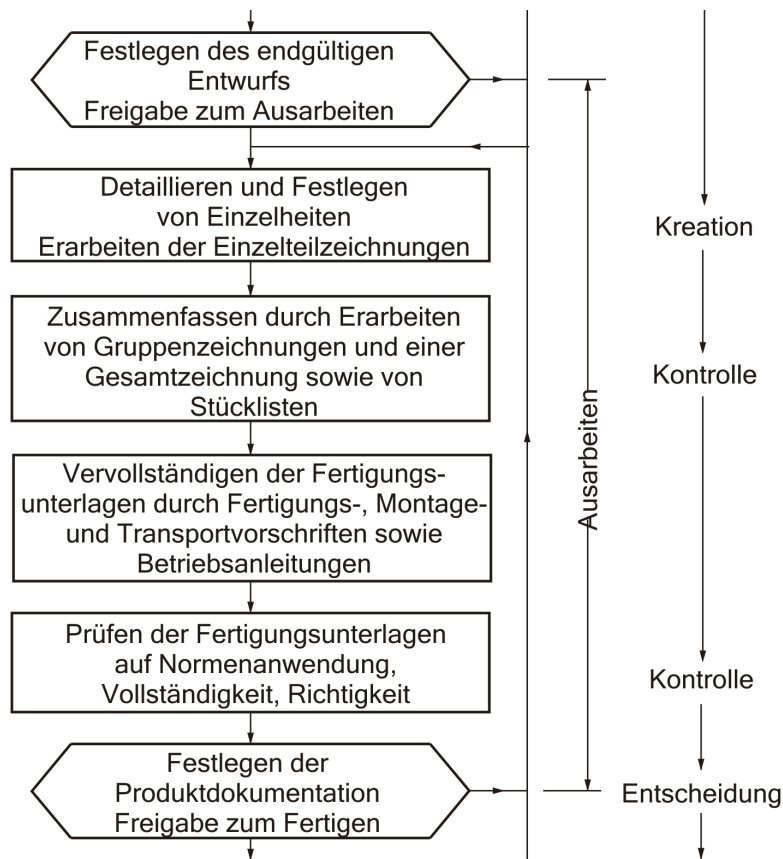


Abbildung 5.18: Arbeitsschritte beim Ausarbeiten [10]

6 Konstruktion

In diesem Kapitel wird der in Kapitel 5 erarbeitete Gesamtentwurf mit der Freigabe zur Ausarbeitung dieses technischen Gebildes durch Vorschriften bezüglich Anordnung, Form, Bemessung und Oberflächenbeschaffenheit aller Einzelteile ergänzt. Die Vorgehensweise erfolgt laut 5.18. Das Festlegen aller Werkstoffe unter Berücksichtigung der Herstellmöglichkeiten sowie der Kosten erweitert dieses Vorgehen, wobei als Ergebnis die verbindlichen zeichnerischen Unterlagen mit der Freigabe zum Fertigen geschaffen werden.

Vom Gesamtentwurf zu den Fertigungsunterlagen.

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

Die gesamte Konstruktion erfolgt auf Catia V5R17. Nach dem Erstellen von dreidimensionalen Modellen werden die dazugehörigen zweidimensionalen Zeichnungen daraus abgeleitet.

Die Konstruktion erfolgt mit Catia V5R17.

Die in diesem Kapitel eingebundenen Zeichnungen entsprechen nicht den Normen einer technischen Dokumentation. Im Speziellen bezieht sich dies auf Rahmen und Schriftfeld sowie den Einträgen in den Stücklisten. In den Darstellungen wird weiters auf die Bezeichnung und die Aufnahme von Befestigungselementen, wie zum Beispiel Schrauben, in die Stücklisten bewusst verzichtet. Für die Beschaffung wird eine Gesamtstückliste erstellt.

Wie unter Punkt 5.4.1 erklärt, werden zwei parallele Hubbalken verwendet. Die im Folgenden verwendeten Namenszusätze A und B kennzeichnen die Zugehörigkeit des betitelten Elements zum jeweiligen Hubbalkenteilsystem. A steht für das unter 5.4.1 erklärte System, B bezieht sich auf das innere System. Da die zwei Hubbalkenteilsysteme im Wesentlichen gleich ausgeführt sind, wird im Folgenden nur Teilsystem A detailliert dargestellt. Die Einzelteile der zwei Teilsysteme unterscheiden sich in den Außenabmessungen und Bohrungspositionen. Die Fertigungsunterlagen werden für alle Teile erstellt.

Die Namenszusätze A und B.

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

Wegen der kritischen Tunnelmaße wird auch die Ausarbeitung der Wirkgeometrie am Teilsystem Längsfeldspule durchgeführt. Vergleiche dazu Punkt 5.4, im Speziellen Abbildung 5.6 und Abbildung 5.7.

Im Zuge der Konzeptfindung wurde schon unter Punkt 5.4.1 der Grundaufbau des Hubbalkensystems mit den erforderlichen Komponenten dargestellt.

Das Hubbalkensystem für das Längsfeld.

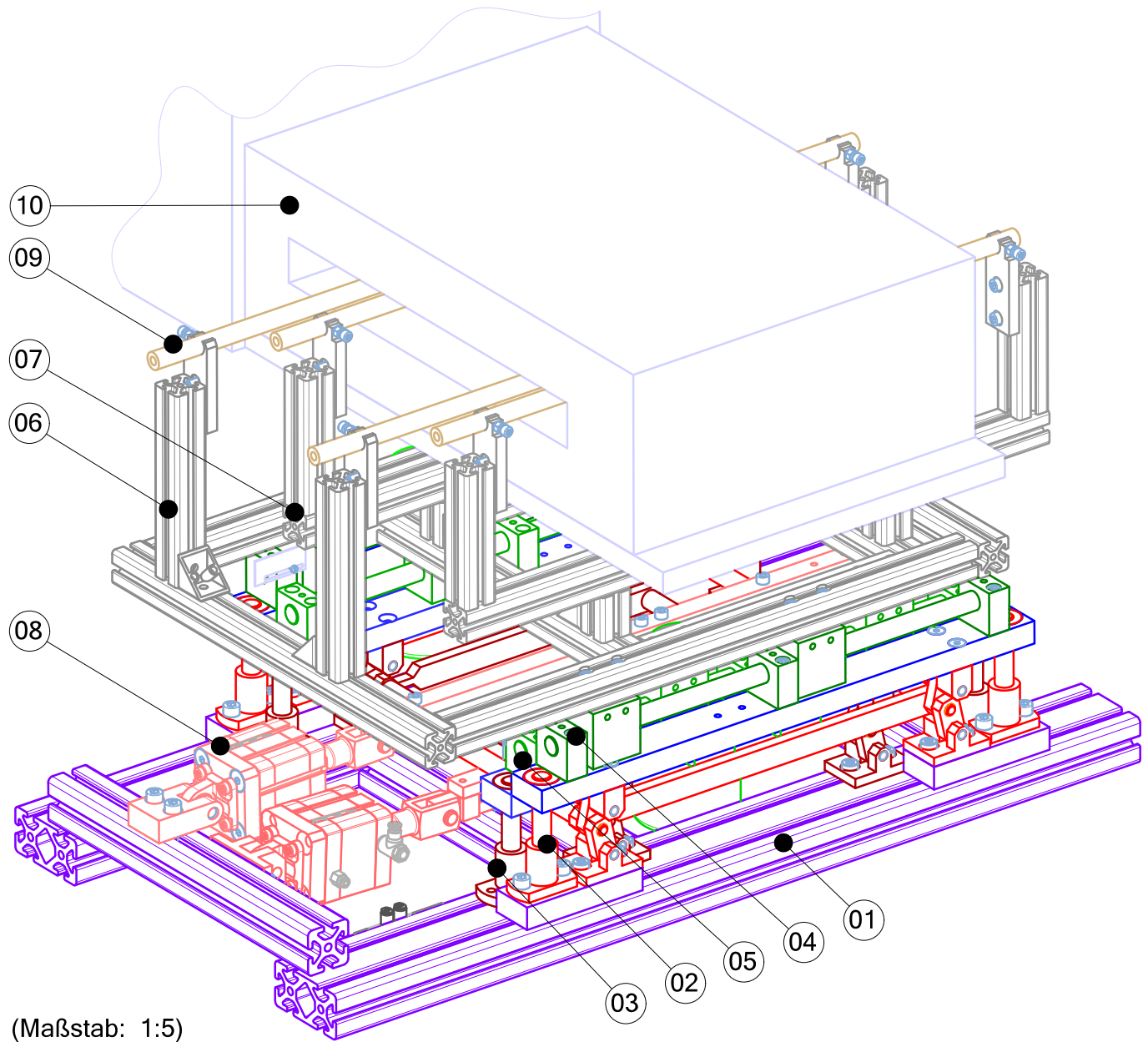


Abbildung 6.1: Hubbalkensystem Längsfeld

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

Die Basisbaugruppen für die Realisierung des Hubbalkensystems sind in Abbildung 6.1 ausgearbeitet und in Tabelle 6.1 bezeichnet.

1	Längsfeldspule	10			ITG
4	Keramikbalken	09		15x7x575	
1	Antriebslösung	08	Abb.6.7		
1	Hubschlitten B	07			
1	Hubschlitten A	06	Abb.6.6		
2	Schlittenführung B	05			
2	Schlittenführung A	04	Abb. 6.5		
1	Hebevorrichtung B	03			
1	Hebevorrichtung A	02	Abb. 6.3		
1	Basisrahmen	01	Abb.6.2		
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.1: Stückliste Hubbalkensystem Längsfeld

Die detaillierte Beschreibung der Unterbaugruppen und Einzelteile sowie deren Zusammenspiel folgt auf den nächsten Seiten.

Der Basisrahmen, Teil 01 aus Tabelle 6.1, dient als Fundament des Hubbalkensystems. Er besteht aus ITEM-Profilen, worauf die weiteren Komponenten positioniert und befestigt werden. Siehe Abbildung 6.2 und Tabelle 6.2.

Der Basisrahmen.

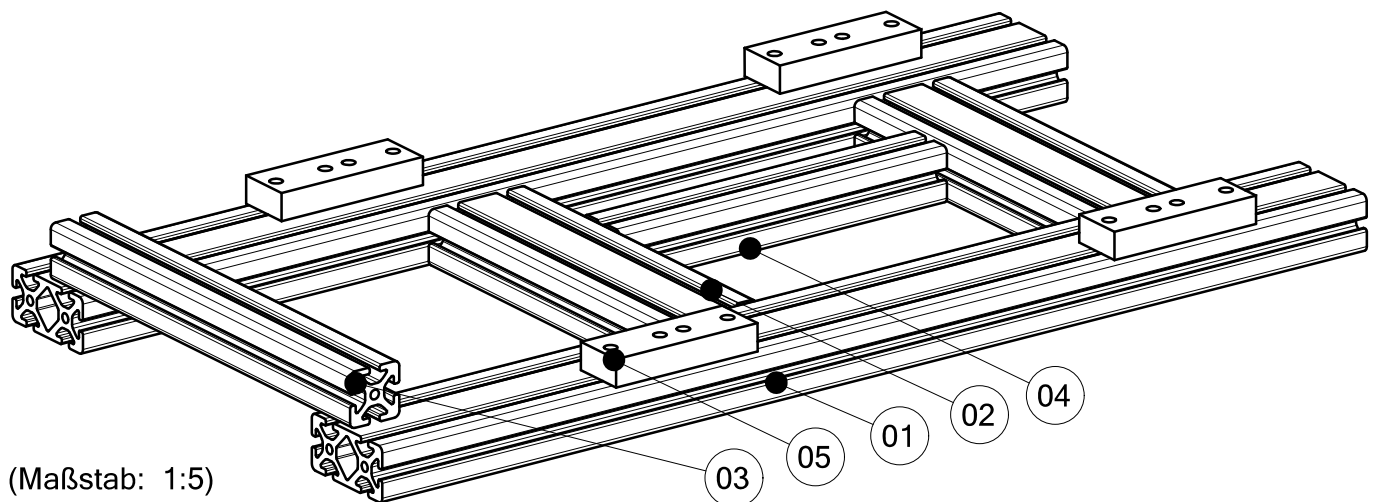


Abbildung 6.2: Basisrahmen

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

4	Hebedistanz	05	S235	Fl 20x40x115	
1	Zylinderanschlag	04	Alu	40x40x266	ITEM
1	Zylinderbefestigung	03	Alu	40x40x340	ITEM
2	Hubbegrenzung	02	Alu	80x40x260	ITEM
2	Hubbalkenbefestigung	01	Alu	80x40x800	ITEM
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.2: Stückliste Basisrahmen

Die Hebevorrichtung, Teil 02 aus Tabelle 6.1, übernimmt den vertikalen Anteil der Gesamtbewegung des Hubbalkens. Als Schnittstellen dienen einerseits die Zwischenplatten zur Aufnahme der horizontalen Führung und andererseits die Hebedistanz zur Fixierung am Basisrahmen. Wie schon unter Punkt 5.4.2, Abbildung 5.8 konzipiert, erfolgt der Hub durch ein Kniehebelsystem. In Abbildung 6.3 und Tabelle 6.3 ist diese Einheit beschrieben. Vergleiche dazu auch das Konzept der Vertikalbewegung, Abbildung 5.8. Entscheidend für diese Translation ist neben dem eigentlichen Kniehebelsystem, siehe Abbildung 6.4 und Tabelle 6.4, die Beschränkung der Freiheitsgrade der Zwischenplatte, Teil 01, auf die eindimensionale vertikale Verschiebung. Dies erfolgt durch die Säulenständer, Teil 02, und die Gleitlagerbuchsen, Teil 10. Über Teil 09 wird die Betätigungskraft für den Hub eingeleitet. Die Schubstange, Teil 08, und die Hubstangen, Teil 07, betätigen dann infolge die Kniehebel mit dem Ergebnis der vertikalen Verschiebung. Dabei ist darauf zu achten, dass der Kraftangriff nicht mittig ist. Der Hubanschlagblock, Teil 05, begrenzt den Hub.

Die Hebevorrichtung.

4	Gleitlagerbuchse MPFZ	10	St	15-20	Misumi
1	Zylinderbefestigung-vorne	09	S235	Fl 40x20x20	
1	Schubstange	08	S235	Fl 20x10x472	
2	Hubstange	07	St52	Rd 16x404	
4	Hebedistanz	06	Abb. 6.2		
1	Hubanschlagblock	05	S235	Fl 40x20x60	
2	Hubverbindung	04	S235	Fl 20x10x366	
4	Kniehebelsystem	03	Abb. 6.4		
4	Säulenständer KBFSBN	02	St	15-75	Misumi
2	Zwischenplatte	01	S235	Fl 40x20x490	
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.3: Stückliste Hebevorrichtung A

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

Damit ein Verkanten der Hubstange in den Kniehebelschenkeln verhindert wird und alle vier Kniehebelsysteme denselben Hub verrichten, wird die Hubverbindung, Teil 04, eingeführt. Sie bildet, gemeinsam mit den Hubstangen, einen stabilen Rahmen, der für die Funktion entscheidend ist.

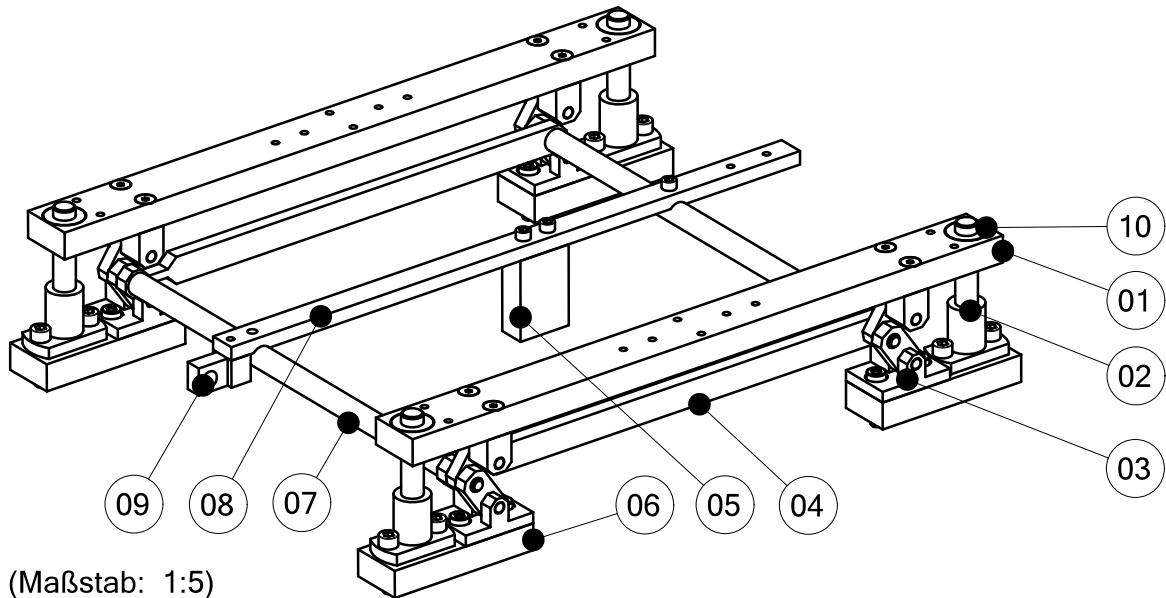


Abbildung 6.3: Hebevorrichtung A

Das Kniehebelsystem realisiert den eigentlichen Hub. Siehe Abbildung 6.4 und Tabelle 6.4. Bei der ausgearbeiteten Detaillösung kann der obere Hubgelenkbock, Teil 02, einen maximalen Weg von 26 mm zurücklegen. Dabei entscheidet die Länge der Hubgelenkstange, Teil 03, im Wesentlichen über diesen maximalen Weg. Gleitlagerbuchsen, Teil 04, in den Bohrungen der Hubgelenkstangen sorgen in Kombination mit dem Zapfen der Hubstange, Teil 05, den Befestigungsbolzen in den Hubgelenkböcken und den richtigen Passungen der Einzelteile für die spielfreie Bewegung.

Das Kniehebelsystem.

1	Hubstange	05	Abb.6.3		
4	Gleitlagerbuchse LFZB	04	-	8-10	Misumi
2	Hubgelenkstange	03	S235	Fl 20x10x38	
1	Hubgelenkbock oben	02	S235	Fl 40x20x27	
1	Hubgelenkbock	01	S235	40x56x27	
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.4: Stückliste Kniehebelsystem

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

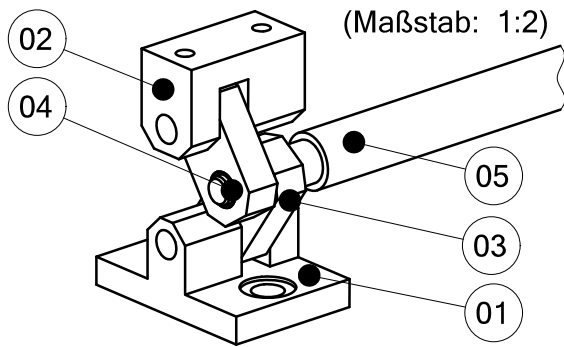


Abbildung 6.4: Kniehebelsystem

Die Schlittenführung, Abbildung 6.5 und Tabelle 6.5, besteht im Wesentlichen aus einer Stahlwelle für Linearbewegungen, Teil 03, die in Wellenböcken, Teil 02, aufgenommen und fixiert ist. Befestigt an der Zwischenplatte, Teil 01, wird ihr, und damit allen darauf geführten Elementen, die Vertikalbewegung der Hebevorrichtung überlagert.

Die Schlittenführung.

1	Stahlwelle SFJ	03	St	16-442	Misumi
3	Wellenbock	02	S235	Fl 40x20x38	
1	Zwischenplatte	01	Abb. 6.3		
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.5: Stückliste Schlittenführung A

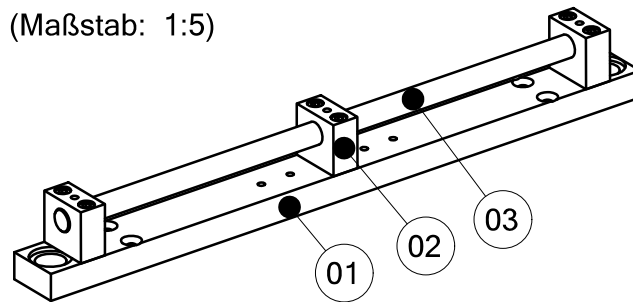
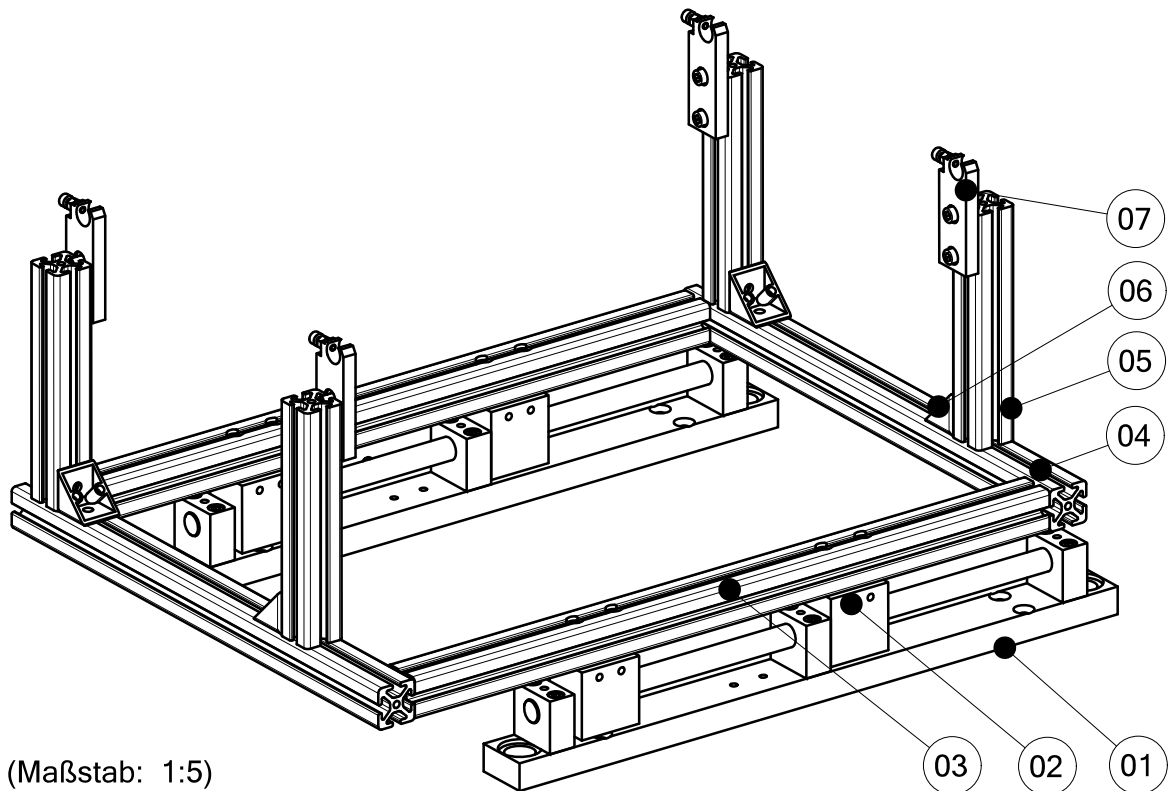


Abbildung 6.5: Schlittenführung A

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

Das Gegenstück zur gerade beschriebene Schlittenführung ist der Schlitten selbst, welcher in Abbildung 6.6 und Tabelle 6.6 dargestellt ist. Die eigentliche horizontale Bewegung entsteht durch die Verschiebung der Linearkugellager, Teil 02, auf der Schlittenführung, Teil 01, im Speziellen auf deren Stahlwelle. Die Befestigung des Schlittenrahmens, Teil 03 bis 06, an den Linearkugellagern ermöglicht eine unkomplizierte, billige und leichtgängige Führung. Der Schlittenrahmen vom Hubschlitten A ist für eine kollisionsfreie Gesamtbewegung mit dem Hubschlitten B abgestimmt. Teil 07, die Rohraufnahme, ermöglicht durch ihr spezielles Design eine wartungsfreundliche Aufnahme der Keramikbalken. Diese werden in der zylindrischen Aufnahmeöffnung durch eine gekonterte Schraube fixiert. In vertikaler Richtung kann die Rohraufnahme beliebig positioniert und mit Schrauben in der Nut des ITEM-Profiles geklemmt werden. Dies dient der einfachen Ausrichtung der Keramikbalken nach der Montage.

Der Hubschlitten.



(Maßstab: 1:5)

Abbildung 6.6: Hubschlitten A

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

4	Rohraufnahme	07	S235	Fl 20x10x79	
4	Winkel-6	06	Alu	30x30	ITEM
4	Rohrstuetze	05	Alu	30x30x170	ITEM
2	Traegerrahmen1-quer	04	Alu	30x30x410	ITEM
2	Traegerrahmen1-laengs	03	Alu	30x30x520	ITEM
4	Linearkugellager LHSS	02	-	16	Misumi
2	Schlittenführung A	01	Abb. 6.5		
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.6: Stückliste Hubschlitten A

Abbildung 6.7 und Tabelle 6.7 erläutern die Antriebslösung für das Hubbalkensystem. Wie schon unter Punkt 5.4.2 erklärt, wird die vertikale und die horizontale Bewegung getrennt voneinander angetrieben.

Die Ausarbeitung der Antriebslösung.

1	Basisrahmen	21	Abb.6.2		
1	Hebevorrichtung B	20			
1	Hebevorrichtung A	19	Abb.6.3		
2	Schlittenführung B	18			
2	Schlittenführung A	17	Abb. 6.5		
1	Hubschlitten B	16			
1	Hubschlitten A	15	Abb.6.6		
1	Hubanschlag	14	S235	Fl 40x20x40	
1	Zylinderbefestigung2	13	S235	35x40x70	
1	Zylinderbefestigung	12	S235	Fl 40x20x60	
1	Zylinderanschlag2	11	S235	Fl 20x10x89	
2	Adapterplatte	10	St37	65x65x15	
2	Schwenkflansch-SNCS	09	St	32-2	FESTO
2	Kompaktzylinder ADN	08	-	50 20 APA	FESTO
2	Gabelkopf-SG	07	St	M12x125	FESTO
2	Zahnstangenhalterung	06	S235	Fl 40x20x251	
2	Zahnstange SZ	05	St	10150500	Zimm
2	Stirnrad ZSR	04	St	1006015	Zimm
2	Schrittmotor 34HSX	03	-	312	mclennan
2	Motorhalterung-sym	02	S235	Fl 40x20x136	
2	Motorhalterung	01	S235	Fl 40x20x136	
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.7: Stückliste Antriebslösung Hubbalkensystem

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

In der technischen Umsetzung der Horizontalbewegung wird die Zahnstangenhalterung, Teil 06, mit der Zahnstange, Teil 05, an den Linearkugellagern des Hubschlittens, Teil 15 bzw. 16, verschraubt. Der eigentliche Antrieb erfolgt durch das an der Schrittmotorantriebswelle montierte Stirnrad, Teil 04. Hier ist besonders darauf hinzuweisen, dass die Motorhalterung, Teil 01 und 02, an der Zwischenplatte der Hebevorrichtung, Teil 19 bzw. 20, befestigt ist. Dies stellt sicher, dass der darauf befestigte Schrittmotor, Teil 03, in Bezug auf den Hubschlitten eine stationäre Position einnimmt. Dadurch werden unerwünschte Relativbewegungen in vertikaler Richtung zwischen Zahnrad und Zahnstange vermieden.

Die Horizontalbewegung.

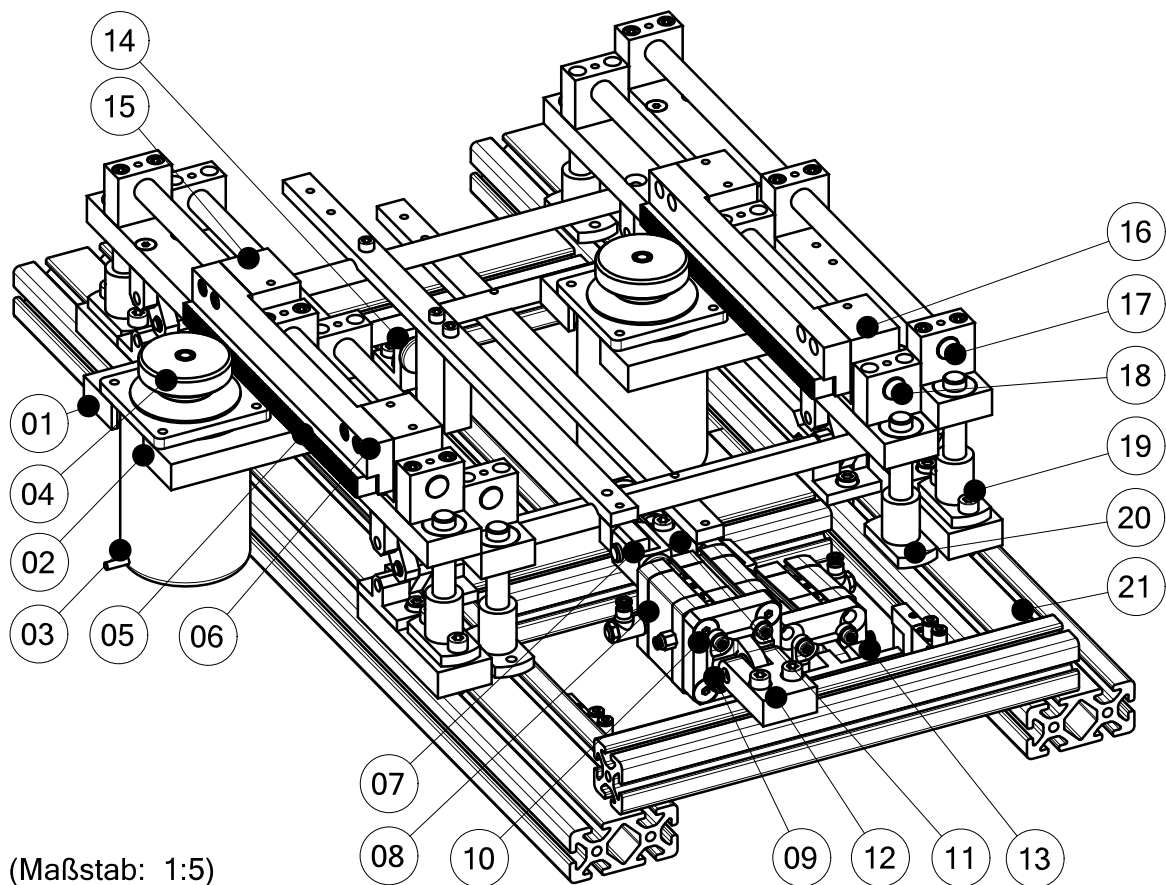


Abbildung 6.7: Antriebslösung Hubbalkensystem

Die für die Vertikalbewegung erforderliche Kräfteinleitung erfolgt, wie schon bei Abbildung 6.3 beschrieben, über die Zylinderbefestigung an der Hebevorrichtung, Teil 19 bzw. 20. Die Kraft selbst wird mit einem pneumatischen Kompaktzylinder, Teil 08, aufgebracht, über den zugehörigen Gabelkopf, Teil

Die Vertikalbewegung.

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

07, wie beschrieben eingeleitet und durch den Schwenkflansch, Teil 09, über die Zylinderbefestigung, Teil 12 bzw. 13, gegen den Basisrahmen, Teil 21, abgestützt.

Teil 14, der Hubanschlag, begrenzt im System A den Hub nach oben und ist einfach verstellbar. Die untere Begrenzung des Hubs wird über die hintere Endlage des Kompaktzylinders realisiert. Der Zylinderanschlag², Teil 11, hat dieselbe Funktion im System B.

Wie schon unter Punkt 5.4.3 beschrieben, erfolgt die Kommunikation der Systemkomponenten über Sensoren in den Endlagen. Abbildung 6.8 und Tabelle 6.8 stellen diesen Sachverhalt dar.

Die Systemkommunikation.

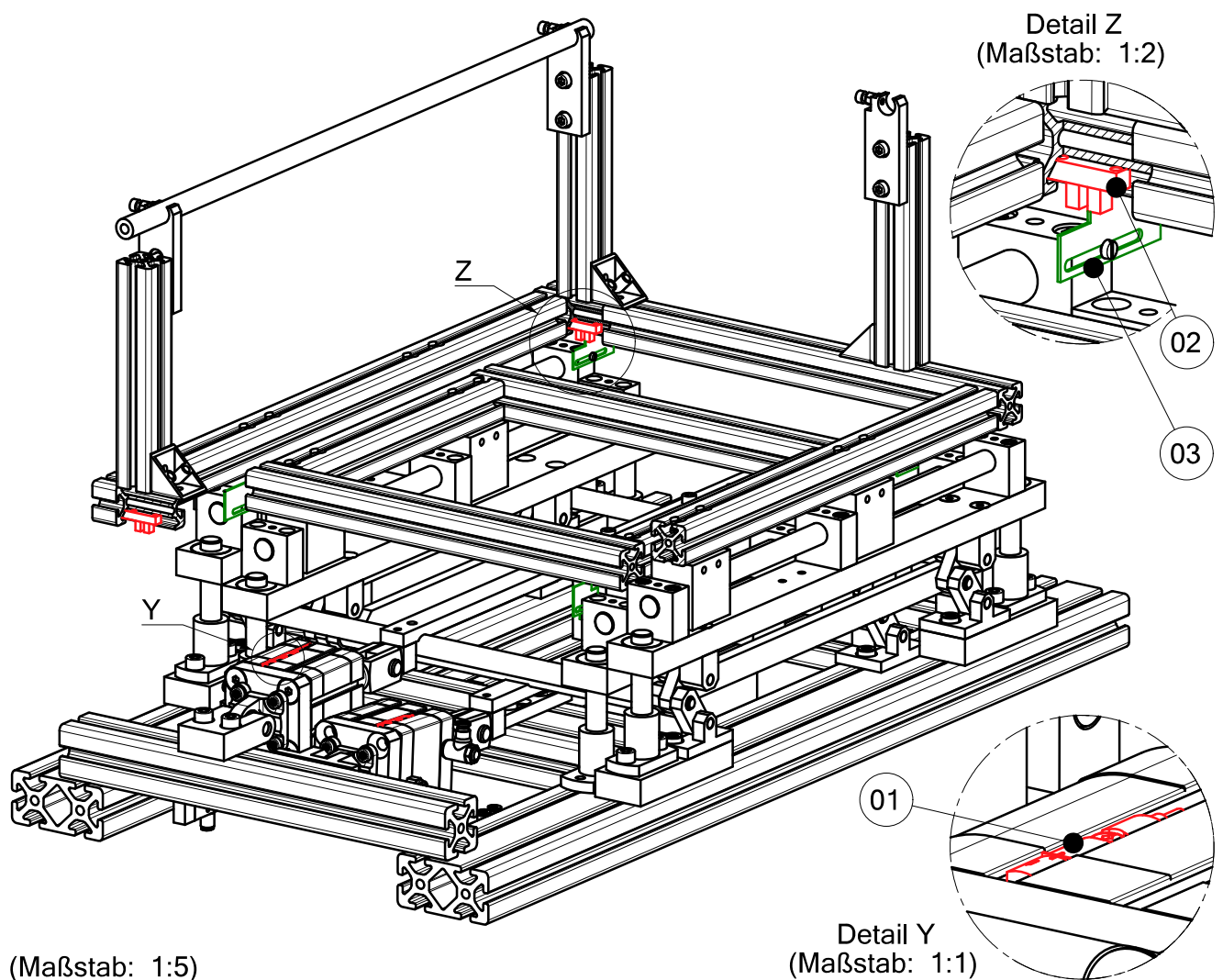


Abbildung 6.8: Systemkommunikation

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

Die Schlittenendlagenpositionen werden durch die Auslösung eines Signals der Lichtschranke, Teil 02, durch die Schaltfahne, Teil 03, detektiert. Dabei sind jeweils zwei Lichtschranken, eine für die vordere und eine für die hintere Endlage, pro Schlitten installiert. Die zugehörigen Schaltfahnen sind an den Wellenböcken der Schlittenführungen ortsfest befestigt. Die Position kann über Langlöcher justiert werden.

Das Signal für die Hubposition wird mit einem Näherungsschalter, Teil 01, als Zubehör des Kompaktzylinders generiert.

4	Schaltfahne	03	St	50x22x1	
4	Lichtschranke HOA7730-M22	02	-		RS
2	Näherungsschalter SME8M-DS-24V-K-2,5-OE	01	-		FESTO
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.8: Stückliste Systemkommunikation

Die eigentliche Signalverarbeitung und Ansteuerung der Antriebskomponenten erfolgt durch die Steuerung, realisiert in Form einer elektrischen Schaltung mit IC-Logikbausteinen. Das Bedienfeld dieser Steuerung ist in Abbildung 6.9 im Maßstab 1:2 abgebildet. Tabelle 6.9 bezeichnet die Bedienelemente.

Die Signalverarbeitung und das Bedienfeld als Mensch-Maschine-Schnittstelle.

1	Digitalanzeige	07	-		
1	Drehknopf	06	-		RS
1	Drehknopf	05	-		RS
1	Drehknopf	04	-		RS
1	Drehknopf	03	-		RS
1	Wippschalter	02	-		RS
1	Wippschalter	01	-		RS
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.9: Stückliste Bedienfeld

Teil 01 und 02 kennzeichnen zwei Wippschalter. Einerseits zum Ein- und Ausschalten des Fördersystems, andererseits zur Wahl der Vorschubrichtung. Für beide Transportrichtungen gibt es Drehregler, Teil 03 und 05, für die Feineinstellung der Transportgeschwindigkeit im Bereich zwischen 21 mm/s und 75 mm/s mit einem zehngängigen Potentiometer. Die Drehregler, Teil

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

04 und 06, erlauben eine Grobeinstellung mit einem eingängigen Potentiometer, welches den gesamten Geschwindigkeitsbereich bis hin zum Stillstand abdeckt. Dabei ist die Hauptfunktion das Stoppen und das Wiederauffahren der Transporteinrichtung während der Erwärmung.

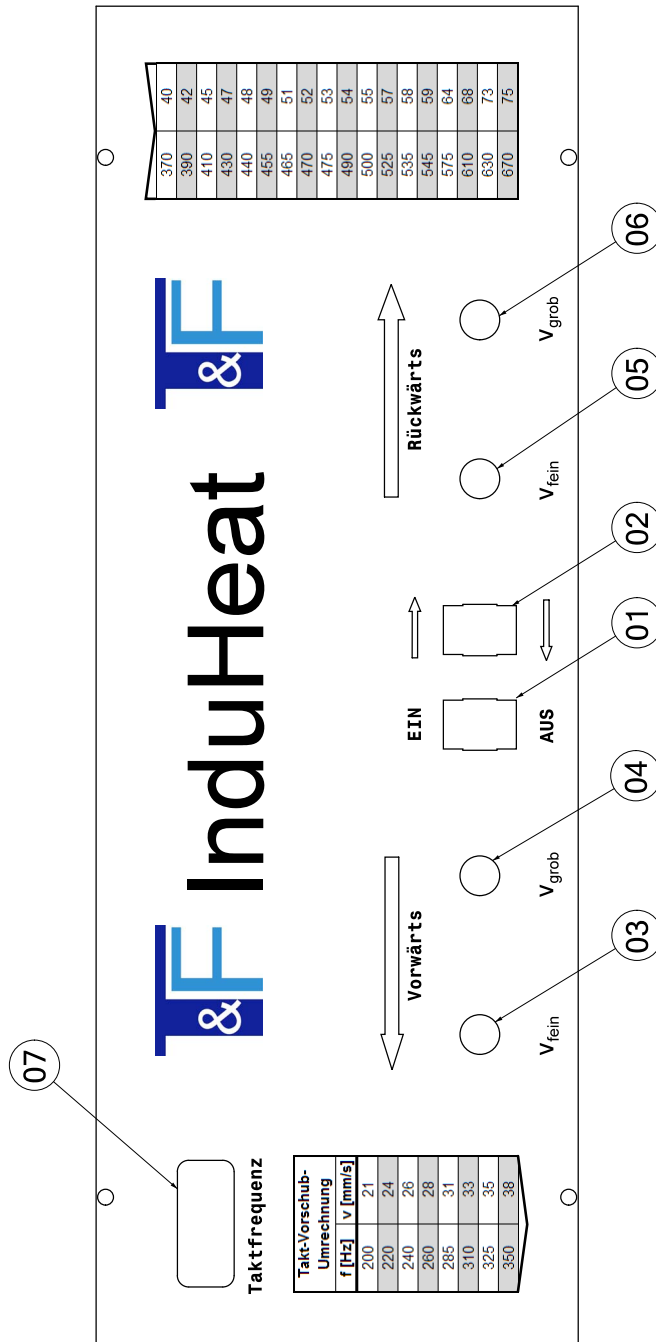


Abbildung 6.9: Bedienfeld

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

An der Digitalanzeige, Teil 07, wird die Taktfrequenz der Schrittmotoren angezeigt. Mit Hilfe der am Bedienfeld, siehe Abbildung 6.9, in Form einer Umrechnungstabelle abgebildeten Takt-Vorschub-Umrechnung kann zur angezeigten Frequenz leicht eine entsprechende Vorschubgeschwindigkeit ermittelt werden.

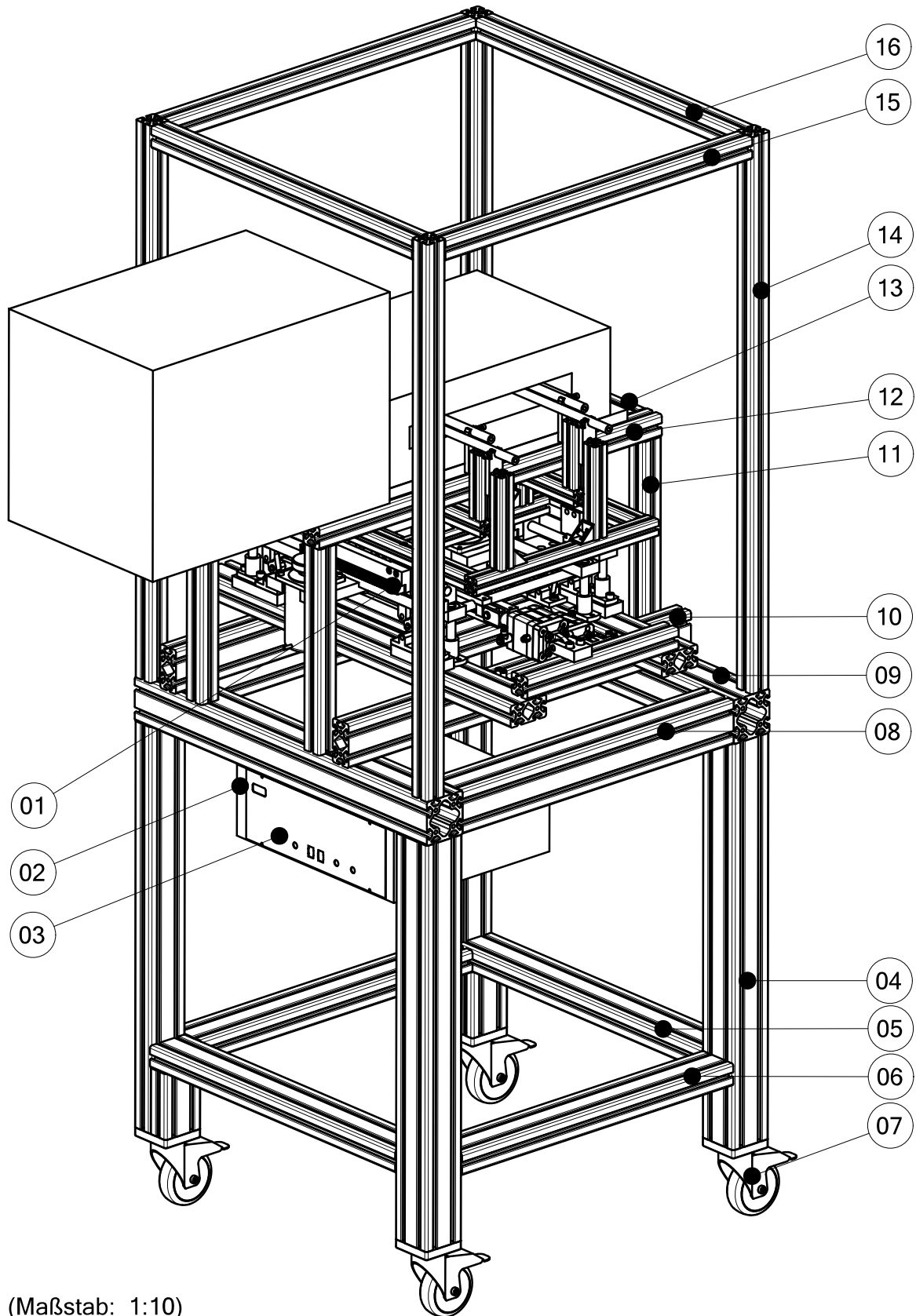
Das ausgearbeitete Gestell, konzipiert unter Punkt 5.4.7, ist in Abbildung 6.10 und Tabelle 6.10 beschrieben. Dabei bilden die Teile 04 bis 09 das verfahrbare Grundgestell, an dem die Steuerung, Teil 02, in Form eines Kastens montiert ist. Die Längsfeldspule ist auf einem aufgesetzten Rahmen, Teil 11 bis 13, fixiert. Das Hubbalkensystem, wie im Vorigen erarbeitet, ist über Teil 10 mit dem Gestell verbunden.

Das Gestell.

Die Teile 14 bis 16 dienen lediglich als Stützrahmen für eine flächige Einhausung der Anlage.

2	Profil GL16	16	Alu	40x40x665	ITEM
2	Profil GL15	15	Alu	40x40x690	ITEM
4	Profil GL14	14	Alu	40x40x1015	ITEM
2	Profil GL13	13	Alu	80x40x260	ITEM
2	Profil GL12	12	Alu	40x40x770	ITEM
4	Profil GL11	11	Alu	40x40x375	ITEM
2	Profil GL10	10	Alu	80x40x770	ITEM
2	Profil GL09	09	Alu	80x80x745	ITEM
2	Profil GL08	08	Alu	80x80x610	ITEM
4	Lenkrolle	07	-	D100	ITEM
2	Profil GL06	06	Alu	80x40x610	ITEM
2	Profil GL05	05	Alu	80x40x625	ITEM
4	Profil GL04	04	Alu	80x80x740	ITEM
1	Bedienfeld	03	Abb. 6.9		
1	Steuerung	02			
1	Hubbalkensystem Längsfeld	01	Abb.6.1		
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.10: Stückliste Gestell zu Hubbalkensystem Längsfeld



(Maßstab: 1:10)

Abbildung 6.10: Gestell zu Hubbalkensystem Längsfeld

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

Sechs Transportrollen, Teil 06, aus dem ITEM Systembaukasten bilden, wie in Abbildung 6.11 dargestellt, den Kern der Platinenzufuhr. Sie ist direkt am Gestell für das Hubbalkensystem Längsfeld, Teil 01, verschraubt. In Tabelle 6.11 sind die restlichen Profile für die technische Umsetzung bezeichnet.

6	Transportrolle	06	Alu	Rd 32x350	ITEM
4	Gelenk 8	05	Alu	40x40	ITEM
2	Profil PZ04	04	Alu	40x40x580	ITEM
2	Profil PZ03	03	Alu	40x40x900	ITEM
1	Profil PZ02	02	Alu	40x40x690	ITEM
1	Gestell zu Hubbalkensystem	01	Abb.6.10		
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.11: Stückliste Platinenzufuhr

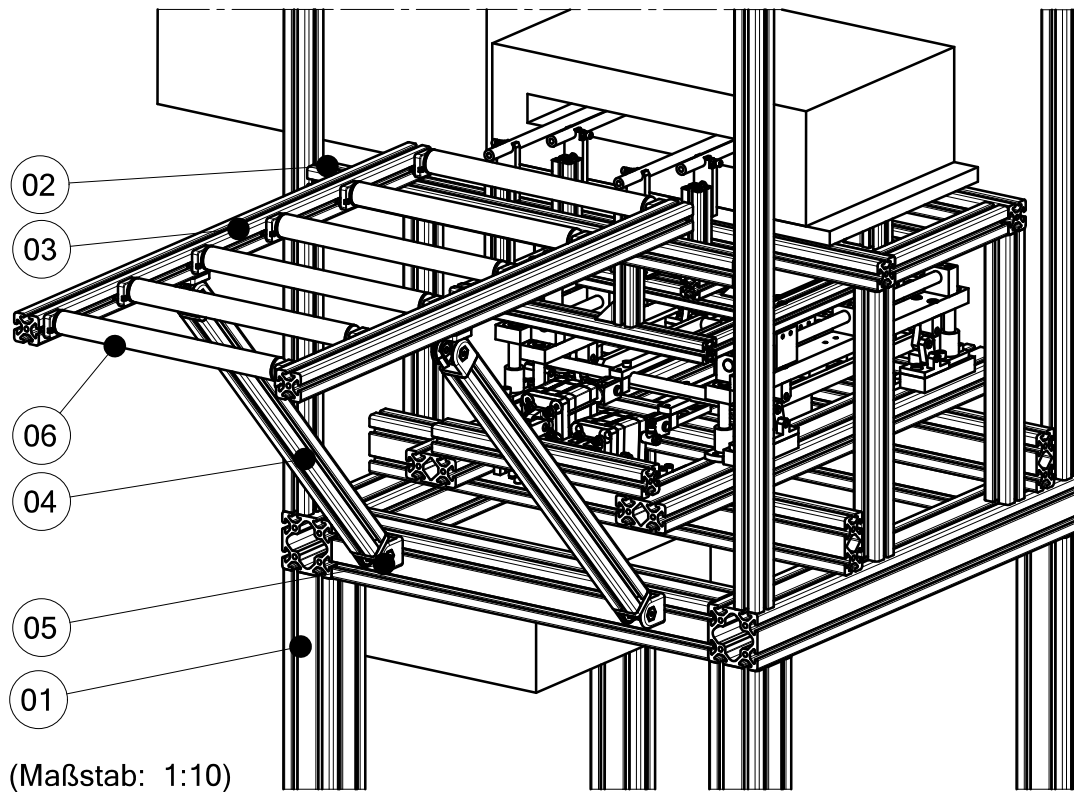


Abbildung 6.11: Platinenzufuhr

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

Gleich wie das Gestell zum Längsfeld ist das Gestell für den Muffelofen aufgebaut. In Abbildung 6.12 und Tabelle 6.12 sind die verwendeten Komponenten dargestellt. Dieses Gestell dient nur der Aufnahme des Muffelofens.

Das Muffelmodul.

2	Profil GM11	11	Alu	40x40x690	ITEM
2	Profil GM10	10	Alu	40x40x755	ITEM
4	Profil GM09	09	Alu	40x40x640	ITEM
1	Muffelofen	08	-		ITG
2	Profil GM07	07	Alu	80x80x835	ITEM
1	Profil GM06	06	Alu	80x40x610	ITEM
4	Profil GM05	05	Alu	80x40x1115	ITEM
2	Profil GM04	04	Alu	80x40x610	ITEM
2	Profil GM03	03	Alu	80x40x755	ITEM
4	Profil GM02	02	Alu	80x40x120	ITEM
4	Lenkrolle	01	-	D100	ITEM
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.12: Stückliste Muffelmodul

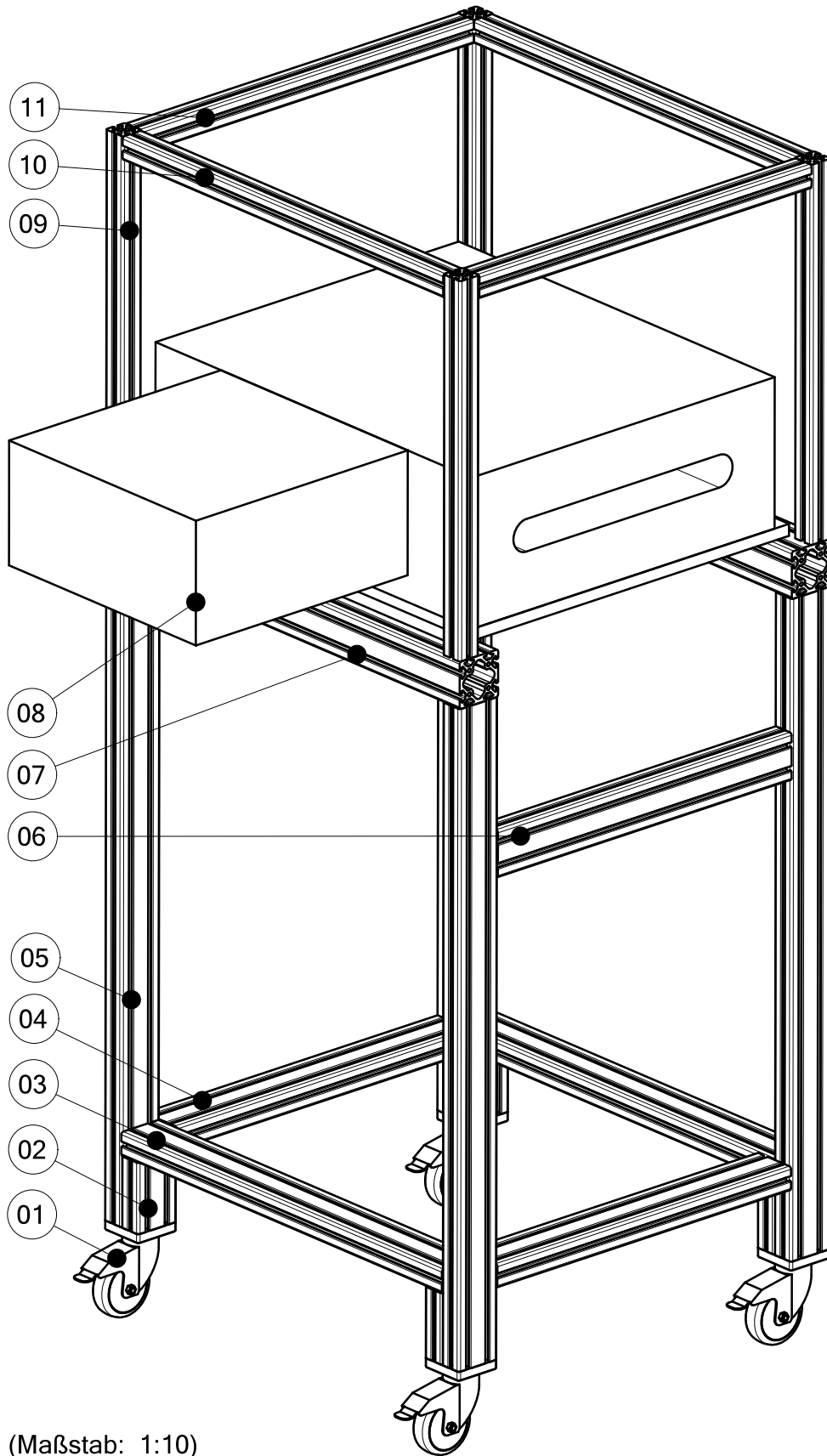
Wesentlich aufwendiger ist das Flächenmodul gestaltet. Siehe Abbildung 6.13 und Tabelle 6.13. Neben dem Grundgestell, Teil 01 bis 09 und 31 bis 33, und dessen trivialer Aufgabe sind in diesem Modul drei weitere Einheiten integriert.

Das Flächenmodul.

Die Teile 09 bis 16 nehmen die Widerstandsheizung auf und verbinden diese fest mit dem Grundgestell. Die Heizung selbst besteht aus den keramischen Isolierplatten, Teil 17 bis 19, der Isoliermatte, Teil 21, zwischen den einzelnen Platten und dem Heizelement, Teil 20.

Die Flächenspule, Teil 24, wird von Profilen, Teil 22 und 23, gehalten. Der Kondensatorblock dieser Spule ist durch die Teile 25 bis 29 mit dem Gestell verbunden. Diese bilden durch Gewindestangen eine höhenverstellbare Aufnahme.

Durch Teil 30 wird das Transportsystem positioniert und mit dem Rahmen verschraubt.



(Maßstab: 1:10)

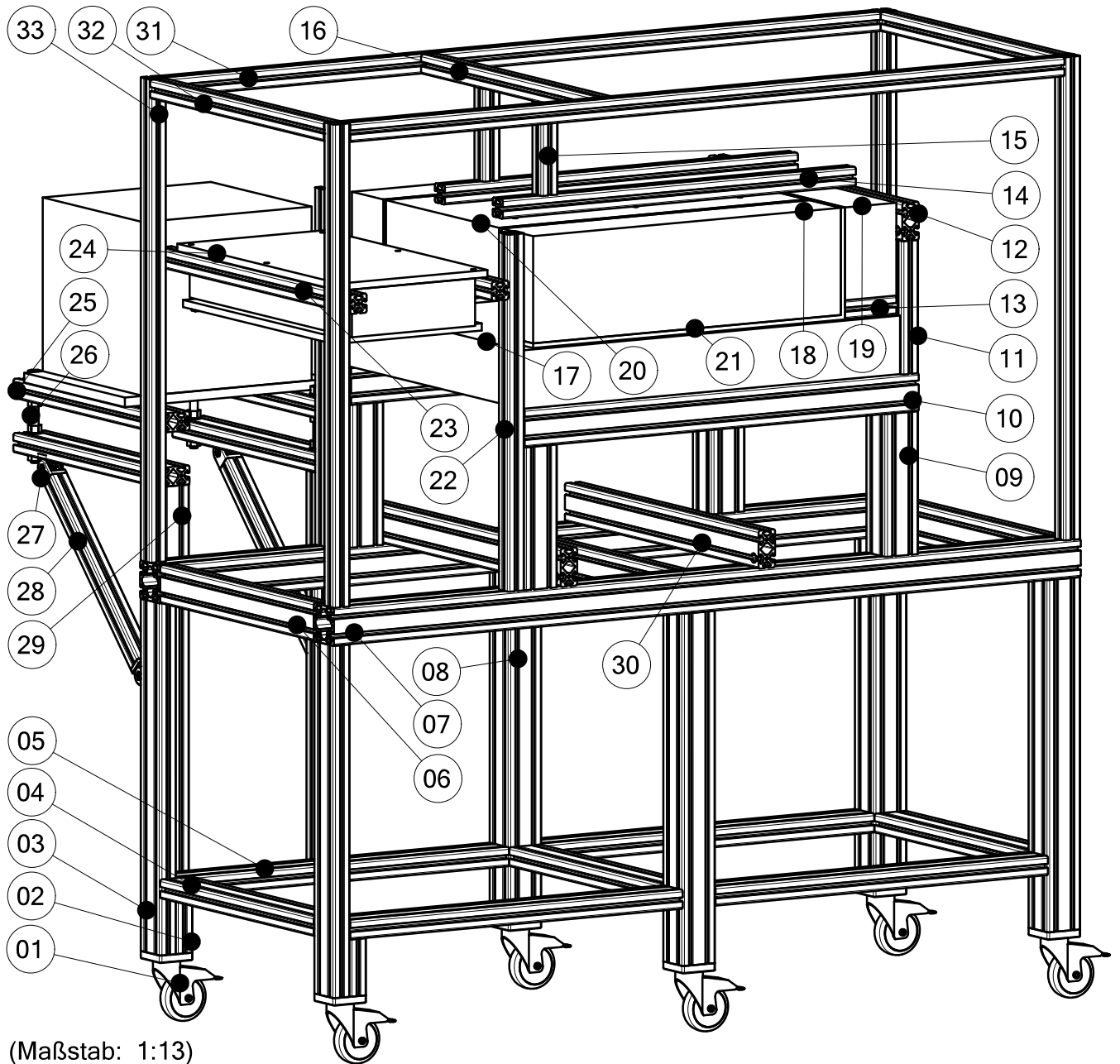
Abbildung 6.12: Muffelmodul

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

4	Profil GF33	33	Alu	40x40x1015	ITEM
2	Profil GF32	32	Alu	40x40x690	ITEM
2	Profil GF31	31	Alu	40x40x1740	ITEM
2	Profil GF30	30	Alu	80x40x770	ITEM
2	Profil GF29	29	Alu	80x40x850	ITEM
2	Profil GF28	28	Alu	40x40x485	ITEM
4	Gelenk 8	27	Alu	40x40	ITEM
4	Gewindestange M16	26	St	200	
4	Profil GF25	25	Alu	80x40x570	ITEM
1	Flächenspule	24	-		ITG
2	Profil GF22	22	Alu	40x40x770	ITEM
2	Profil GF22	22	Alu	40x40x750	ITEM
-	Isoliermatte	21	-	-	Fibrothal
1	Ofenplatte4 / Heizung	20	-	125x450x750	Fibrothal
1	Ofenplatte3	19	-	125x195x720	Fibrothal
2	Ofenplatte2	18	-	125x225x750	Fibrothal
1	Ofenplatte1	17	-	125x750x920	Fibrothal
1	Profil GF16	16	Alu	40x40x690	ITEM
2	Profil GF15	15	Alu	40x40x195	ITEM
2	Profil GF14	14	Alu	40x40x860	ITEM
2	Profil GF13	13	Alu	40x40x125	ITEM
1	Profil GF12	12	Alu	80x40x770	ITEM
2	Profil GF11	11	Alu	80x40x280	ITEM
2	Profil GF10	10	Alu	80x80x960	ITEM
4	Profil GF09	09	Alu	80x80x300	ITEM
4	Profil GF08	08	Alu	80x80x740	ITEM
2	Profil GF07	07	Alu	80x80x1820	ITEM
3	Profil GF06	06	Alu	80x40x610	ITEM
4	Profil GF05	05	Alu	80x40x740	ITEM
3	Profil GF04	04	Alu	80x40x810	ITEM
2	Profil GF03	03	Alu	80x40x610	ITEM
2	Profil GF02	02	Alu	80x40x120	ITEM
4	Lenkrolle	01	-	D100	ITEM
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.13: Stückliste Flächenmodul

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen



(Maßstab: 1:13)

Abbildung 6.13: Flächenmodul

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

In Abbildung 6.14 und Tabelle 6.14 ist das komplette Transportsystem, der Kern dieser Arbeit, dargestellt. Dabei ist mit Teil 01 das Hubbalkensystem im Längsfeld, wie zuvor beschrieben, gekennzeichnet.

Das Gesamthubbalkensystem.

Das Hubbalkensystem für das Flächenmodul, Teil 02, ist bis auf zwei Details exakt gleich wie das Hubbalkensystem Längsfeld. Wie schon unter Punkt 5.4.2 beschrieben, wird im Vergleich zu Abbildung 6.1 die komplette Antriebslösung entfernt und die Schlitten verlängert. Der letzte Punkt betrifft, in Bezug auf Abbildung 6.6, nur den "Traegerrahmen1-laengs" beim Hub Schlitten A. Entsprechendes gilt für den Hubschlitten B. Die Betätigung der Hebevorrichtung erfolgt über die Verbindung der zwei Hubbalkensysteme mit den Schubstangen, Teil 03 und 04. Siehe Detail Z in Abbildung 6.14. Gleiches gilt für die Schlitten durch die Schlittenverbindungen, Teil 05 und 06 in Detail Y.

Die Keramikbalken M, Teil 08, übernehmen den Transport durch den Muffelofen, Teil 09 im Flächenmodul.

4	Keramikbalken F	09		15x7x1500	
4	Keramikbalken M	08		15x7x940	
2	Traegerrahmen1-laengs H	07	Alu	30x30x1480	ITEM
1	Schlittenverbindung A	06	S235	20x10x1000	
1	Schlittenverbindung B	05	S235	20x10x1700	
1	Schubverbindung A	04	S235	20x10x1520	
1	Schubverbindung B	03	S235	20x10x1520	
1	Hubbalkensystem Fläche	02			
1	Hubbalkensystem Längsfeld	01	Abb. 6.1		
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.14: Stückliste Gesamthubbalkensystem

Abbildung 6.15 und Tabelle 6.15 zeigen die Kombination der Einzelsysteme zur Gesamtanlage mit ihren Grundabmaßen.

Das Gesamtprodukt.

1	Flächenmodul	05	Abb.6.13		
1	Muffelmodul	04	Abb.6.12		
1	Platinenzufuhr	03	Abb.6.11		
1	Längsfeldmodul	02	Abb.6.10		
1	Gesamthubbalkensystem	01	Abb.6.14		
Stk	Benennung	Teil	Material	Rohmaße	Bem

Tabelle 6.15: Stückliste Gesamtprodukt

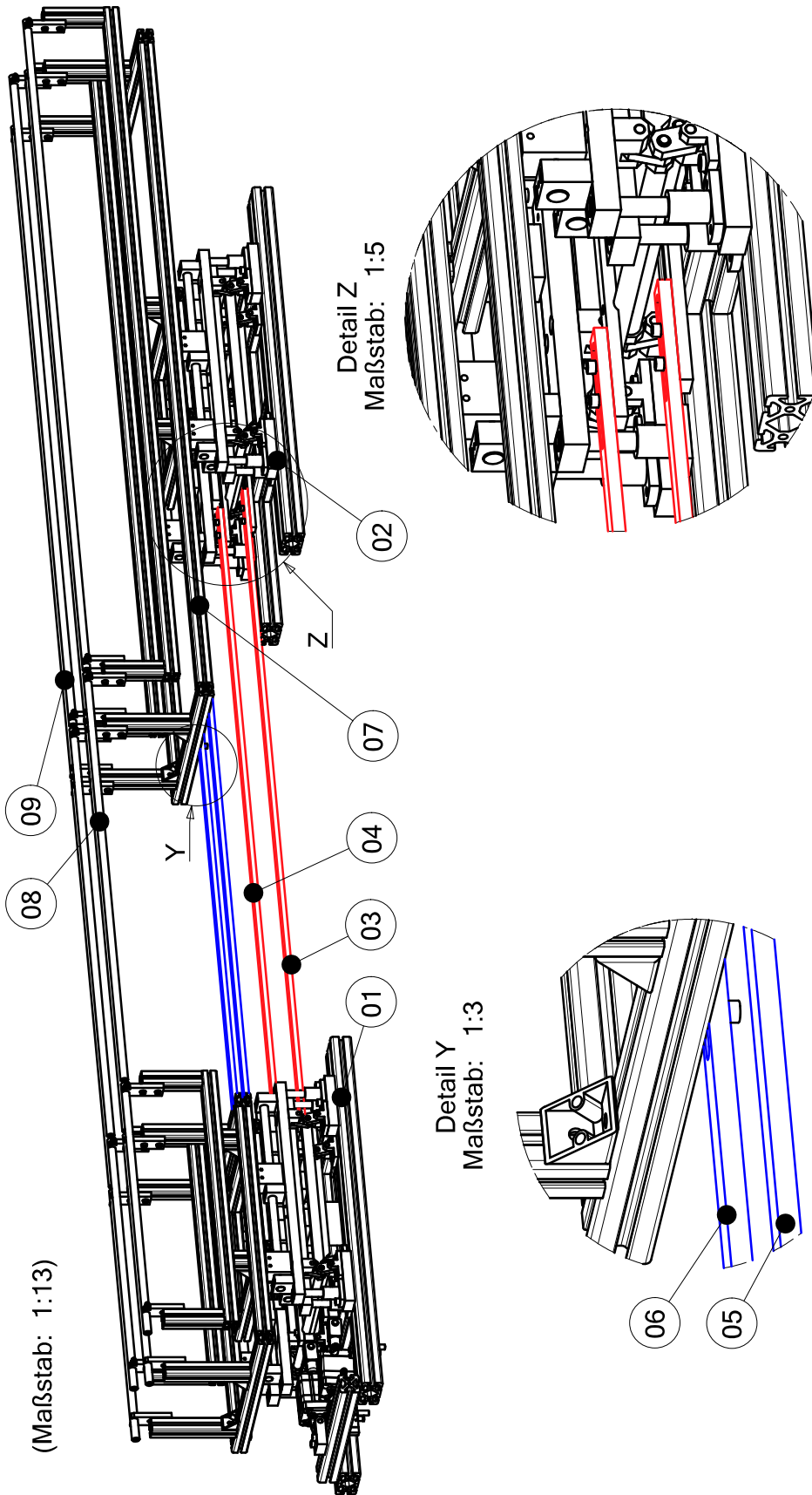


Abbildung 6.14: Gesamthubbalkensystem

6.1 Detaillierung und Zusammenfassung zu Baugruppen

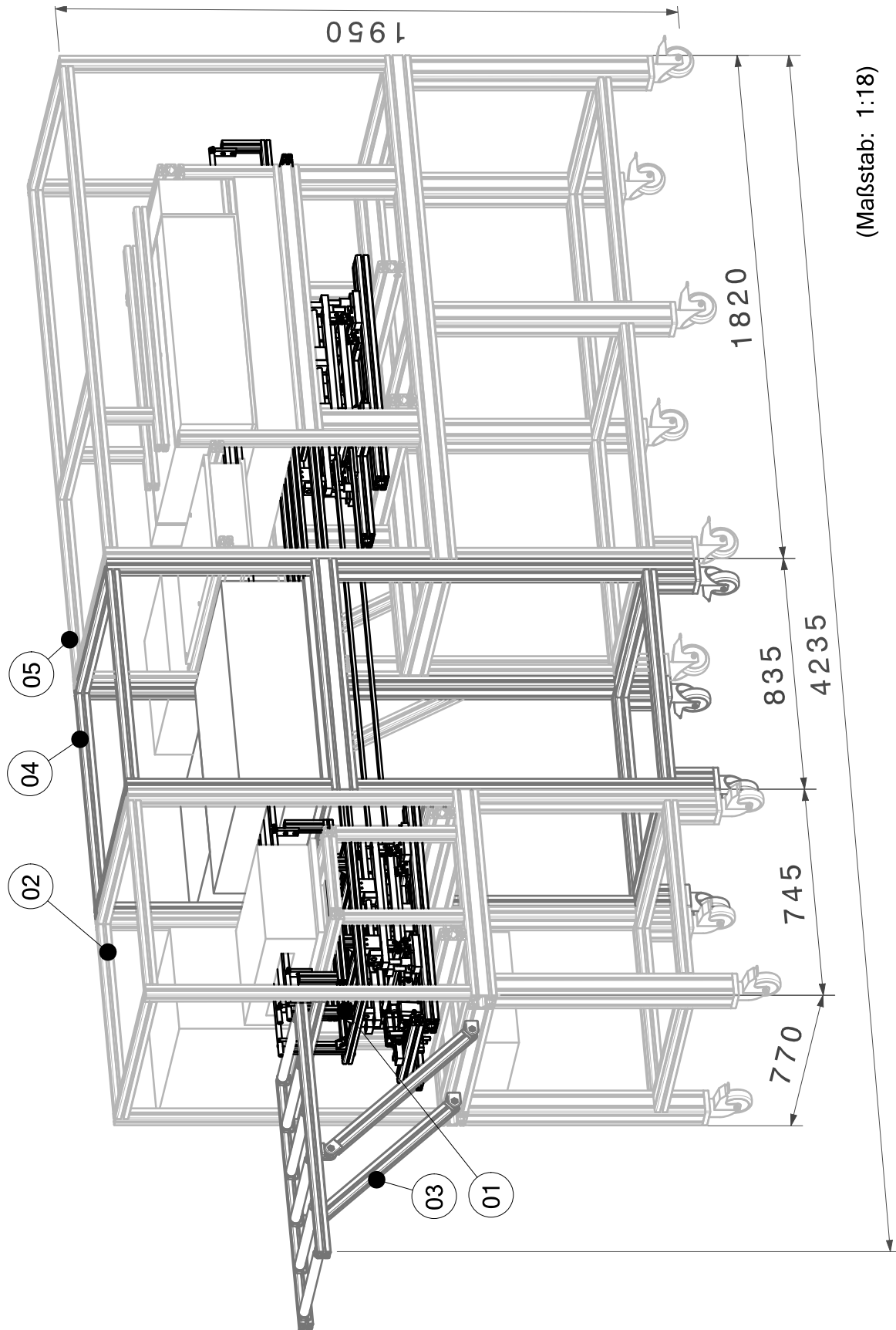


Abbildung 6.15: Gesamtprodukt

7 Fertigung, Montage und Inbetriebnahme

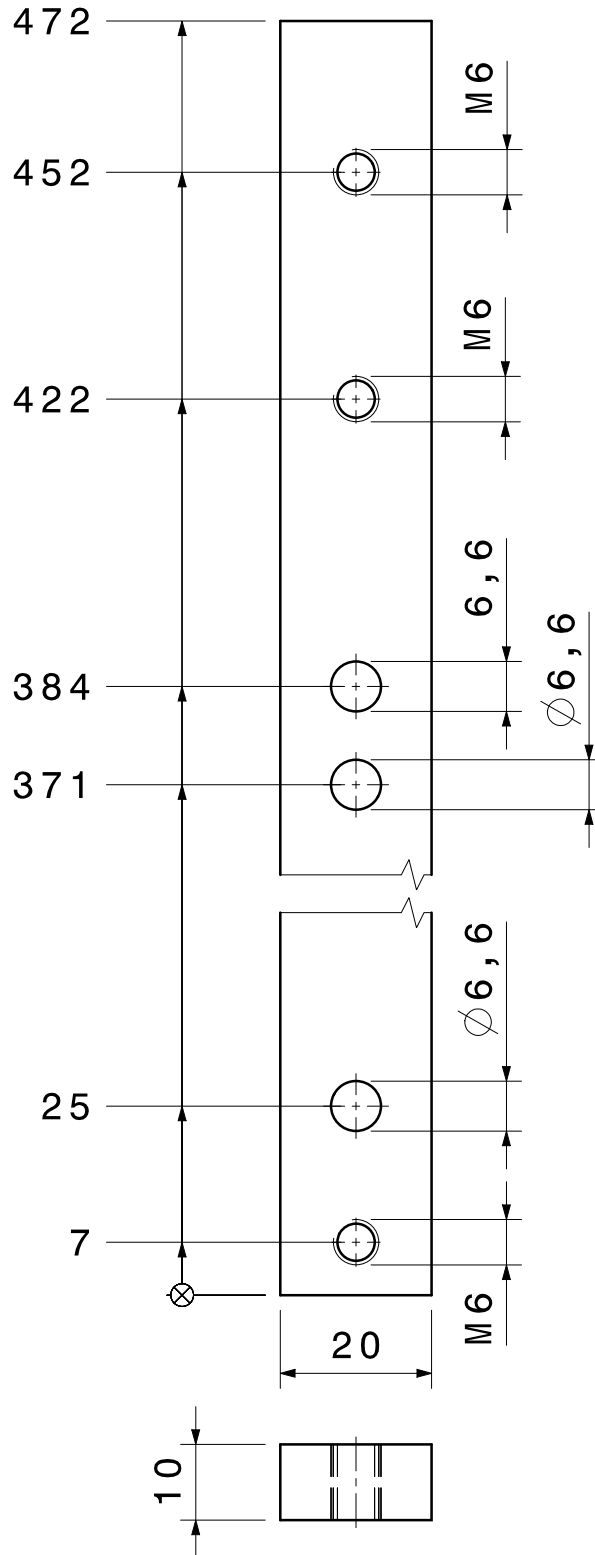
Der vorangegangene Prozess der geistigen Synthese aller Forderungen und Vorgaben zu Einzel- und Zusammenstellungszeichnungen wurde in Kapitel 6 beschrieben. Er hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Produktkosten.

Eine sorgfältige Planung und Projektierung, sowie eine kostenbewusste Konstruktion schaffen neben monetären Verbesserungen auch Potentiale für den zeitlichen Rahmen. Gerade in der Prototypenfertigung sind diese Faktoren von großer Bedeutung. Die Abwicklung des Gesamtprojektes nach den Prinzipien des Simultaneous Engineerings trägt zusätzlich wesentlich zum Gelingen der Arbeit bei.

Um Probleme während der Fertigung aber im Besonderen bei der Montage zu verhindern, werden die Detailzeichnungen der Einzelteile vor der Freigabe zur Fertigung genauestens geprüft und gleichzeitig mit der Fertigung besprochen. Der letzte Punkt minimiert den Aufwand für die Zeichnungserstellung, da entgegen den Richtlinien einer normgerechten Fertigungszeichnung besondere Merkmale der Bauteile mündlich überliefert werden und dabei auf der Basis von Baugruppenzeichnungen auch die Funktion erklärt wird. Somit reichen meist dreidimensionale Modelle der Bauteile aus dem CAD-System mit beigefügter Übersichtszeichnung zur Fertigung.

Fertigungs-
unterlagen

Als ausgewähltes Beispiel ist die Zeichnung der Schubstange zur Hebevorrichtung A, vergleiche Abbildung 6.3, auf der nächsten Seite eingebunden. Für alle weiteren Einzelteile sind Fertigungszeichnungen in gleicher Art und Weise vorhanden.



Hebevorrichtung A Teil108 / 1Stück
 3D-Daten: ... \Bauteile \Schubstange.CATPart

(Verwendungsbereich)			(Zul. Abw.)		(Oberfläche)	Maßstab 1:1	(Gewicht) -	
						(Werkstoff, Halbzeug)	ST37, 20x10	
			Datum	Name	(Benennung)			
			Bearb	15.03.10				Gasser
			Gepr.					
			Norm					
			Institut für Werkzeugtechnik & F		(Zeichnungsnummer)	Blatt 1		
					... \Werkzeug \Bauteile \Schubstange.CATDrawing	1 Bl.		
Zust	Änderung	Datum	Name	(Urspr.)	(Ers.f.:	(Ers.d.:		

Nach und schon während der Fertigung der Einzelteile in der Werkstatt Montage des T&F werden die ersten Baugruppen montiert. Das Zusammenfügen der Einzelkomponenten aus den mechanischen, pneumatischen und elektrischen Teilbereichen ergibt die funktionsfähige Gesamtanlage, wie sie konstruiert und in Abbildung 6.15 als Zusammenbauzeichnung mit ihren Grundabmaßen dargestellt ist.

Die folgende Abbildung 7.1 zeigt die fertig montierte Anlage an ihrem Bestimmungsort. Der zur Verfügung gestellte Platz wird nicht zur Gänze ausgeschöpft. Vergleiche dazu Abbildung 4.3.

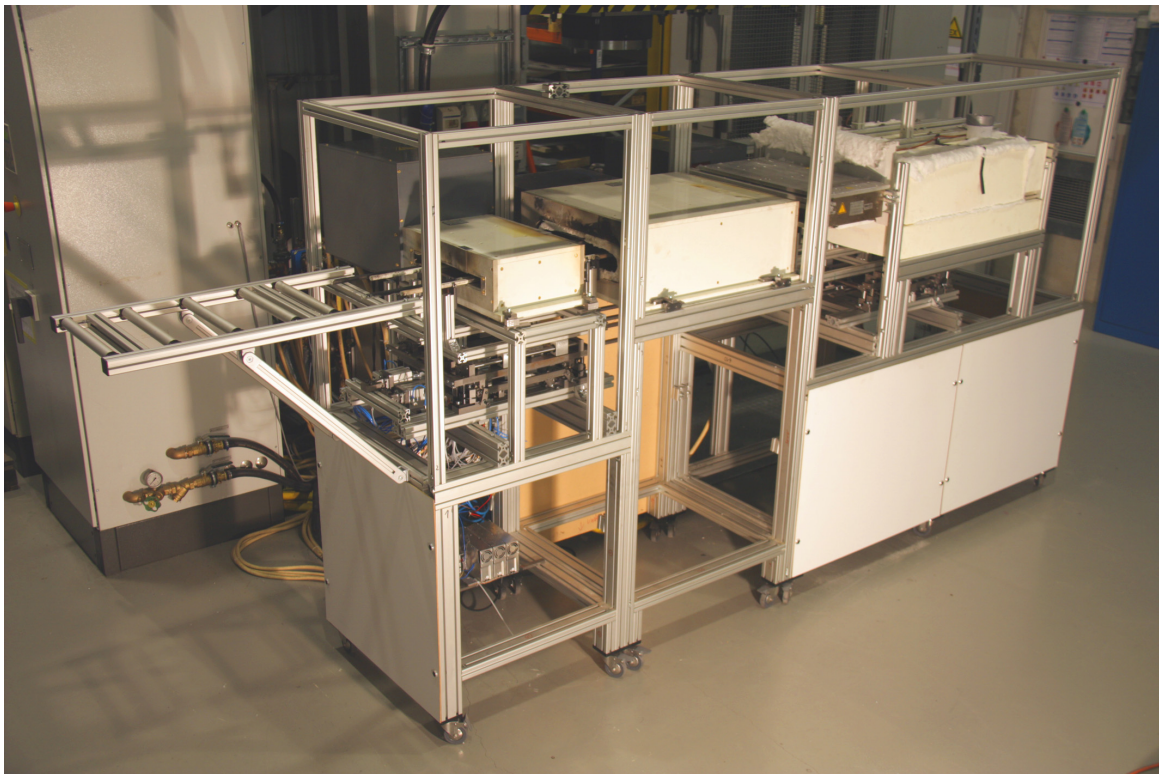


Abbildung 7.1: Gesamtanlage

Nachfolgend sind einige Details des Fördersystems, mit Bezug auf die entsprechende Zeichnung, dargestellt. Teilebezeichnungen sind dieser zu entnehmen. Abbildung 7.2 zeigt die Platinenzufuhr. Die zugehörige Baugruppenzeichnung ist in Abbildung 6.11 zu finden.

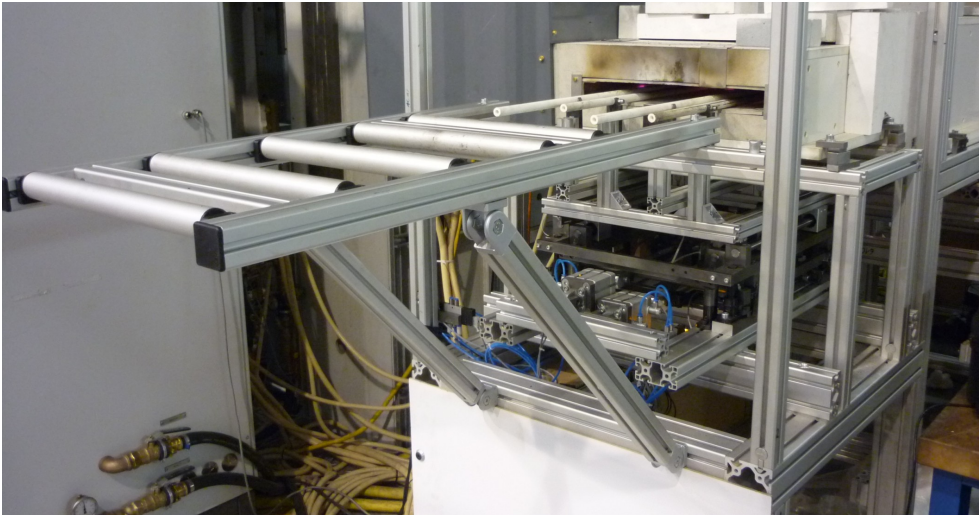


Abbildung 7.2: Platinenaufgabe

In Bezug auf Abbildung 6.7 ist in Abbildung 7.3 die inbetriebgenommene Antriebslösung samt Verkabelung abgebildet.

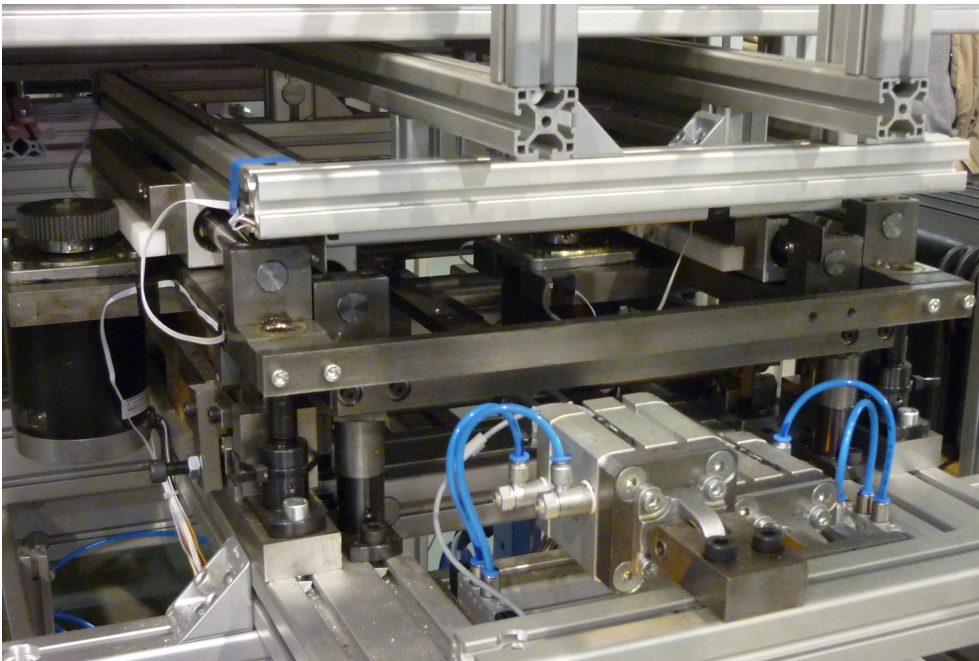


Abbildung 7.3: Antriebslösung

Die Hebevorrichtung ist ein sehr sensibler Bereich der Fördereinrichtung. Aufgrund der Vielzahl an bewegten Einzelteilen ist bei der Montage besonderes Augenmerk auf exaktes Fügen, verzugfreies Befestigen und Leichtgän-

gigkeit zu achten. Das Herzstück der Vertikalbewegung ist in Abbildung 7.4 abgebildet. Vergleiche dazu Abbildung 6.4 und 6.5.

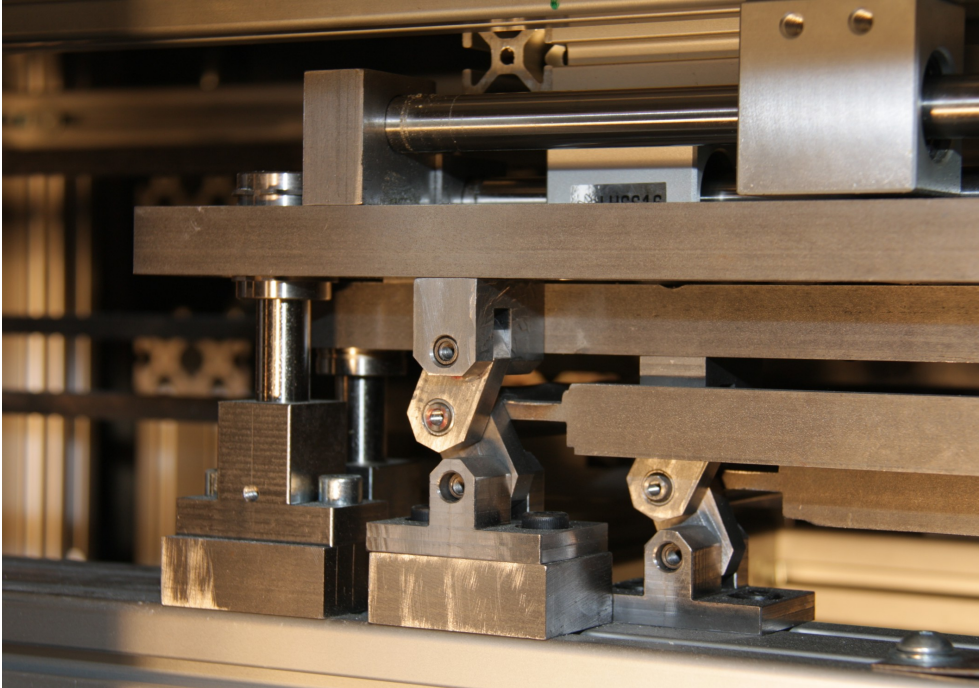


Abbildung 7.4: Hubmechanismus

Das Detail Z in Abbildung 6.14 beschreibt die Verbindung der Hubballkensysteme über Stangen. Dies ist auch derart umgesetzt. Siehe Abbildung 7.5.

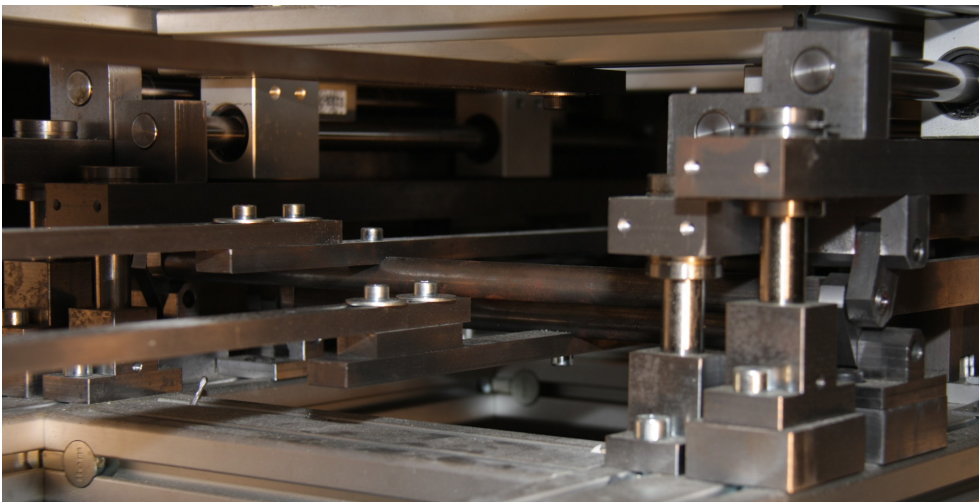


Abbildung 7.5: Stangenverbindung Flächenmodul

7.1 Testbetrieb

Nach erfolgter Montage und Inbetriebnahme wird der Bewegungsablauf laut Kapitel 5.4.1 abgestimmt. Dazu müssen die mechanischen Endlagenbegrenzungen richtig justiert werden.

Für die Vertikalbewegung wird der Hubanschlag, Teil 14 aus Abbildung 6.7, für die Hebevorrichtung A und der Zylinderanschlag², Teil 11, für die Hebevorrichtung B so eingestellt, dass der Hub mit sechs Millimeter beschränkt ist.

Die Horizontalbewegung muss durch die richtige Abstimmung der Schaltfahnenpositionen der zugehörigen Lichtschranken bestimmt werden. Vergleiche dazu Abbildung 6.8.

Nach dem Einstellen und anschließenden Prüfen der Signale wird der korrekte kinematische Ablauf, laut Abbildung 5.4 und Abbildung 5.5, des automatisierten Fördersystems überprüft.

Die Abbildungen 7.6 bis 7.9 dokumentieren diesen Ablauf mit den Bildern S010-S110 Schritt für Schritt. Dies dient neben der Kontrolle auch dem besseren Verständnis des in Abschnitt 5.4.1 konzipierten Bewegungsablaufes. Erklärungen

Auf den Einzelbildern ist im Vordergrund, weißes Rohr, der Hubschlitten A und im Hintergrund, geschwärztes Rohr, der Hubbalken B dargestellt. Die Positionsmarke 1 markiert die hintere Endlage, 2 das Ende der Beschleunigungsphase und die Generierung des Signals zum Heben. An Position 3 wird ein Startsignal für den parallelen Hubbalken gesendet. 4 ist mit dem Senken verknüpft und gleichzeitig der Beginn der Verzögerungsphase. Die Positionsmarke 5 zeigt die vordere Endlage an. Mit Au und Bu wird die abgesenkte Position in vertikaler Richtung der Hubbalken markiert. Ao und Bo sind Marken für die angehobenen Schlitten. Der Text rechts unten enthält aktuelle Statusinformationen von beiden Hubschlitten die durch Pfeile ergänzt sind.

In Bild S010 ist ein klar definierter Zustand dargestellt, den das Förder- system automatisch bei jedem Starten des Transportvorganges einnimmt. Dabei sind beide Schlitten in der hinteren Endlage und beide Hebevorrichtungen eingefahren. Bewegungs-
ablauf

Der korrekte kinematische Ablauf beginnt mit der Beschleunigung des Hubschlittens A, Bild S020. Nach der Beschleunigungsphase führt die Hebevorrichtung A den Hub, Bild S021, aus. S030 zeigt den Transportvorgang des Hubschlittens A mit konstanter Geschwindigkeit bis ca. drei viertel der Wegstrecke absolviert sind. An dieser Stelle wird Schlitten B das Startzeichen signalisiert. Genaue Zeit- und Wegabhängigkeiten sind Abbildung 5.5 zu entnehmen. Mit dem erhaltenen Startsignal beschleunigt Hubschlitten B im Hintergrund, Bild S040, und betätigt anschließend die Hebevorrichtung B, Bild S041, während Schlitten A immer noch transportiert.

In Bild S050 ist eine Situation dargestellt, in der beide Schlitten gemeinsam die Transportaufgabe übernehmen. Diese kurzzeitige Überlappung ist notwendig, damit der Transport auf einer konstanten Höhe sichergestellt ist. Danach fährt der Kompaktzylinder der Hebevorrichtung A ein, in Bild S060 wird Hubschlitten A gesenkt, und der Antrieb in horizontaler Richtung verzögert bis zum Stillstand, Bild S061. Während der Hubschlitten B jetzt selbstständig die Förderung übernimmt, wird der Schlitten A im abgesenkten Zustand schnell in die Ausgangslage zurückgezogen, Bild S070. Nach ca. drei viertel der Wegstrecke von B erhält das Hubbalkensystem A durch B wieder ein Startsignal. Der Hubschlitten A wird beschleunigt, hebt und transportiert dann wieder überlappend mit B. S080, S081 und S090 zeigen dies. Gleich wie vorhin bei A muss nun B senken, abbremsen und zurückziehen. Siehe dazu die Bilder S100, S101 und S110. Ab diesem Zeitpunkt, hintere Ruhelage von B, wird wieder bei Bild S040 begonnen und der kontinuierliche Platinentransport gewährleistet.

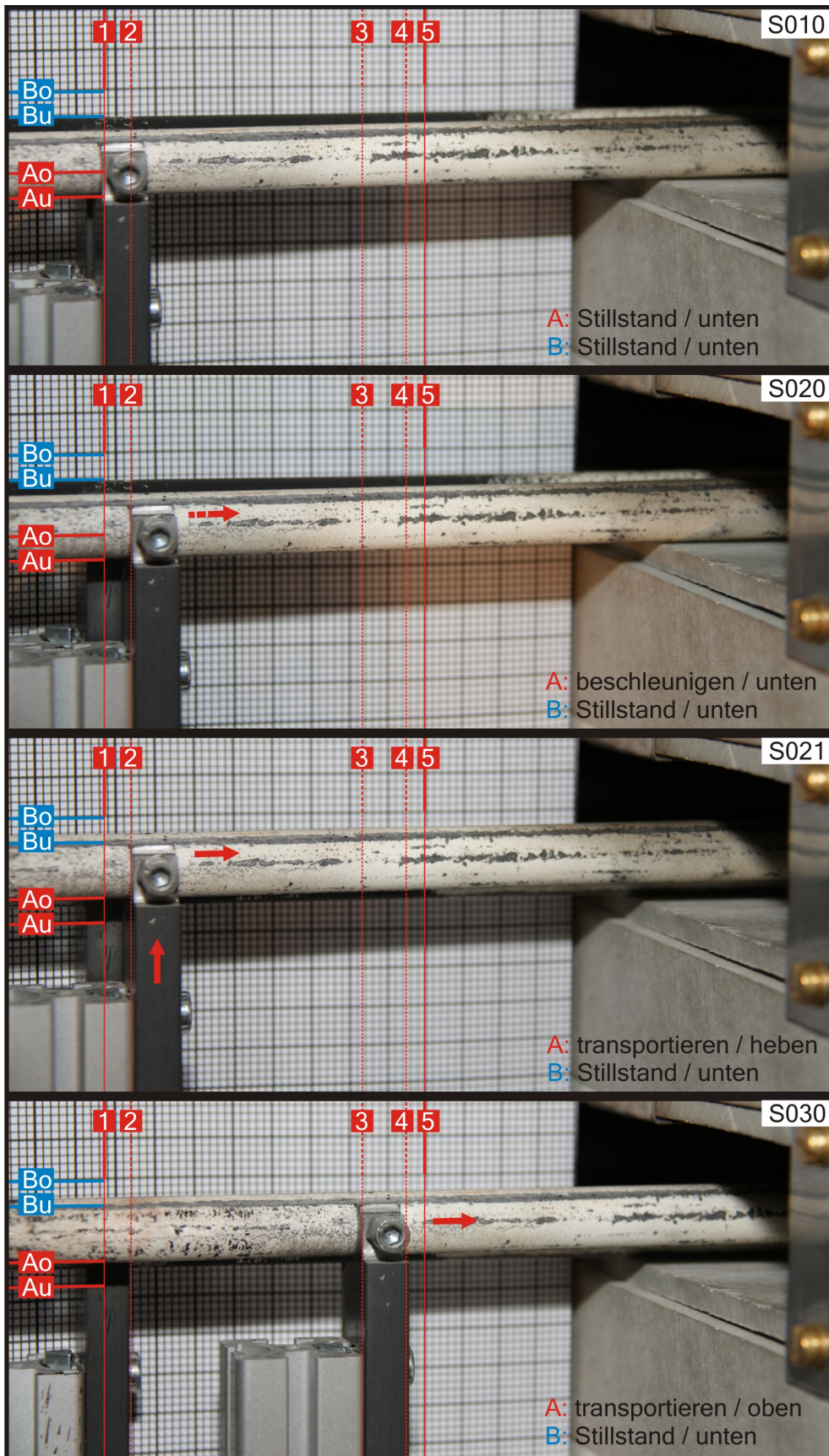


Abbildung 7.6: Bewegungsablauf Teil1

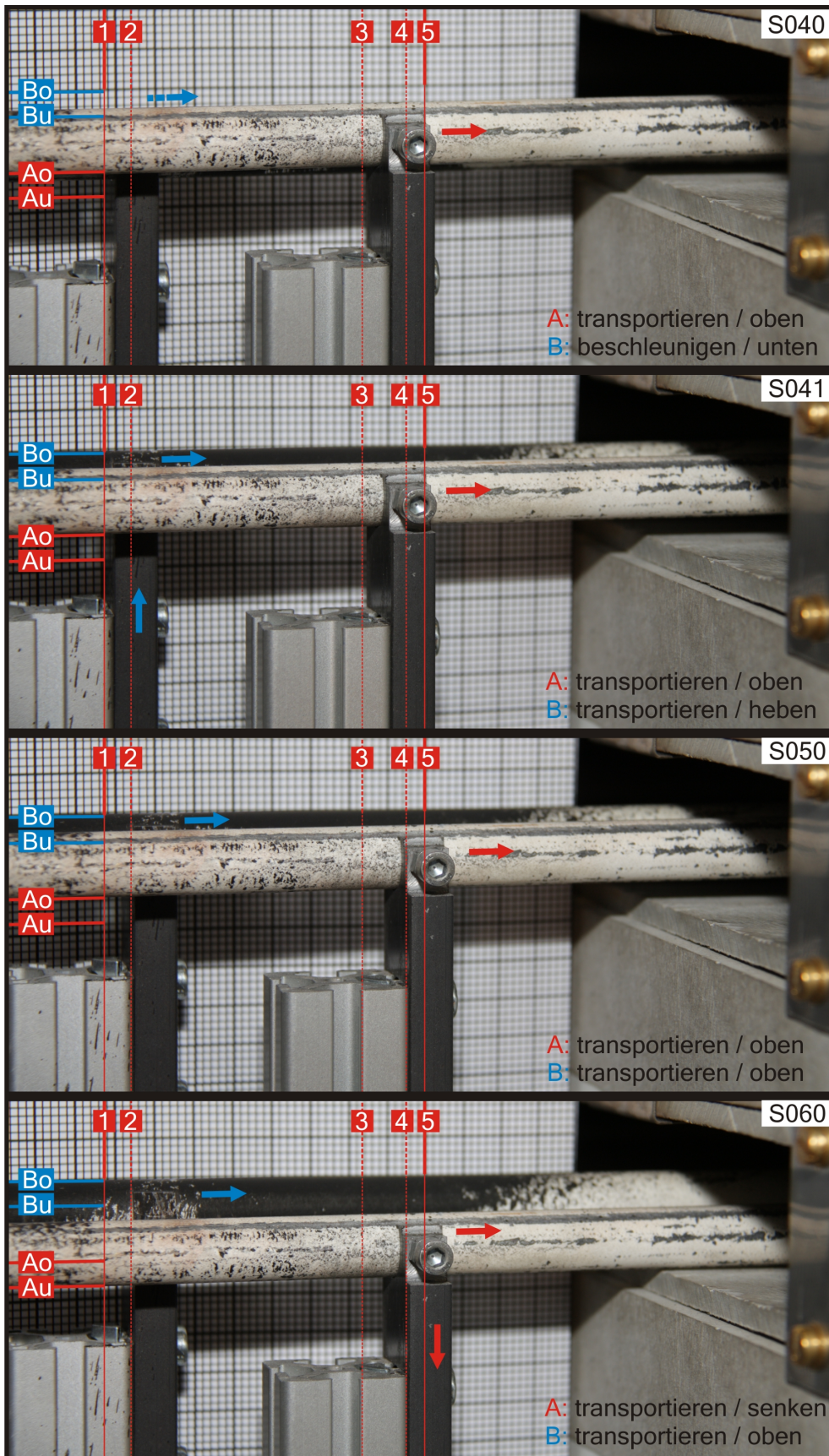


Abbildung 7.7: Bewegungsablauf Teil2



Abbildung 7.8: Bewegungsablauf Teil3

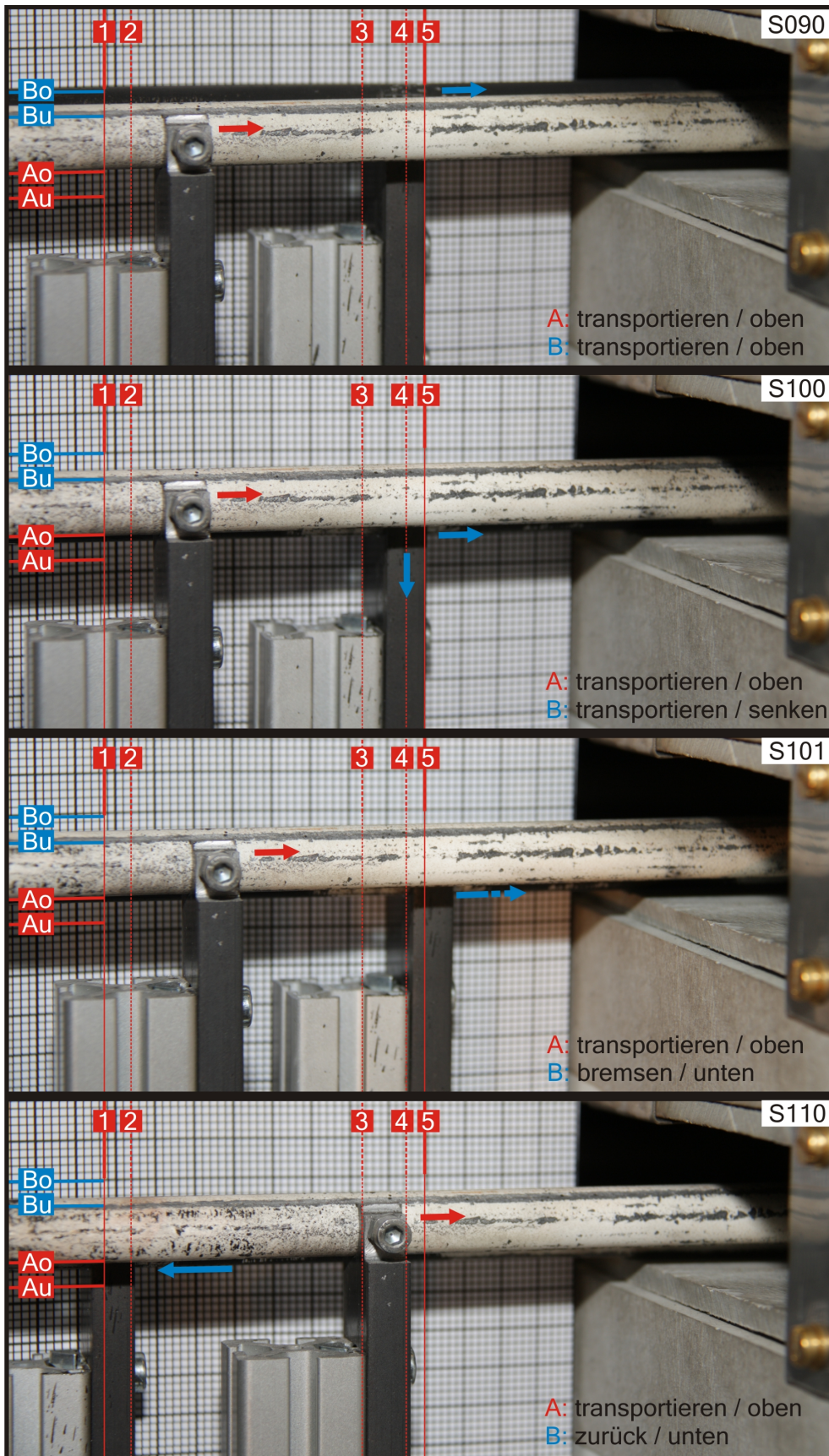


Abbildung 7.9: Bewegungsablauf Teil4

7.1 Testbetrieb

Die Bedienung der Anlage besteht im Wesentlichen aus der Einstellung der gewünschten Geschwindigkeit, dies erfolgt wie bei Abbildung 6.9 beschrieben. Die Umsetzung ist in Abbildung 7.10 dargestellt. Bedienung der Anlage.

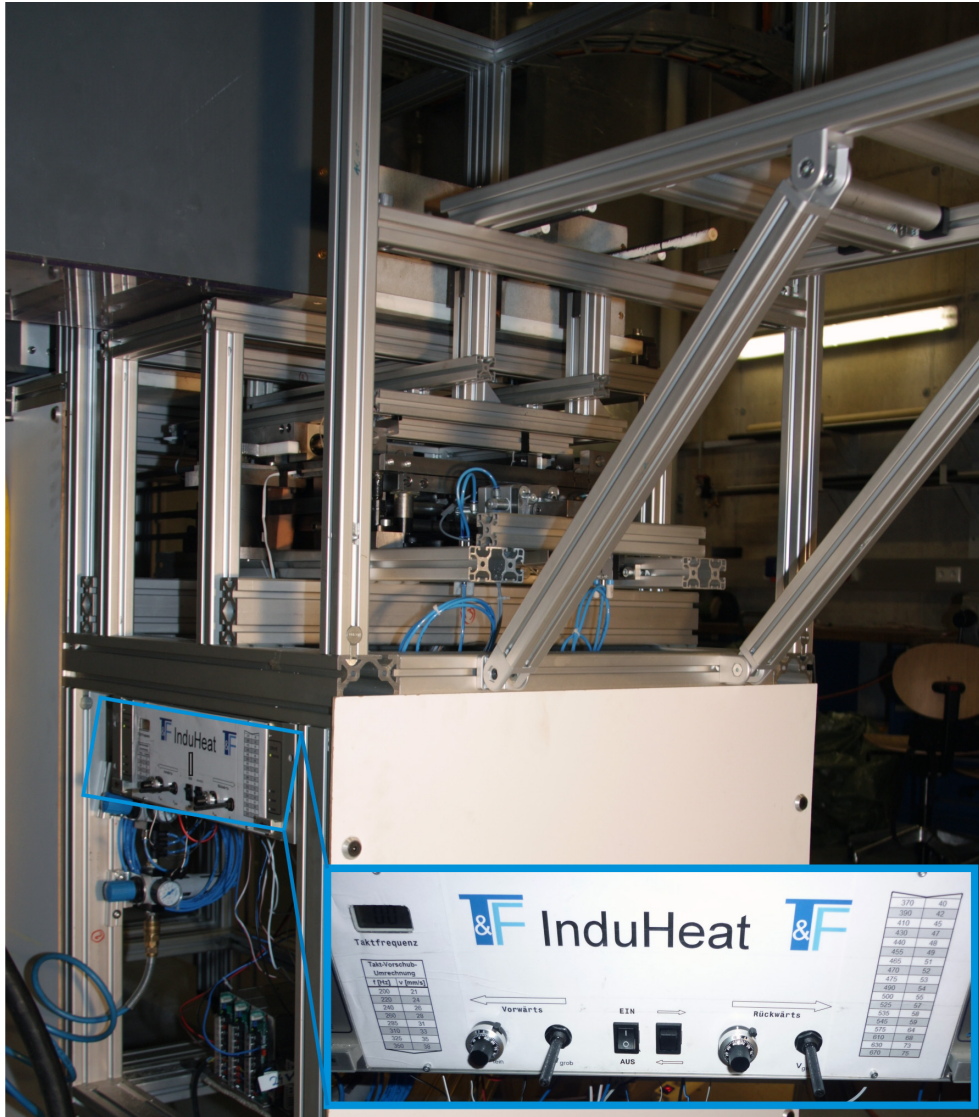


Abbildung 7.10: Bedienung

7.1 Testbetrieb

Der eigentliche Testbetrieb unter realen Verhältnissen des Erwärmungsprozesses liefert wichtige Erkenntnisse und Verbesserungspotentiale für die Handhabungseinrichtung und die Anlage als Gesamtsystem. In den anknüpfenden Bildern vom Testbetrieb ist die hohe Temperatur sichtbar. Abbildung 7.11 zeigt die einzelnen Erwärmungszonen und im Vordergrund eine Rolle der Platinezufuhr.

Testbetrieb mit der Gesamtanlage.

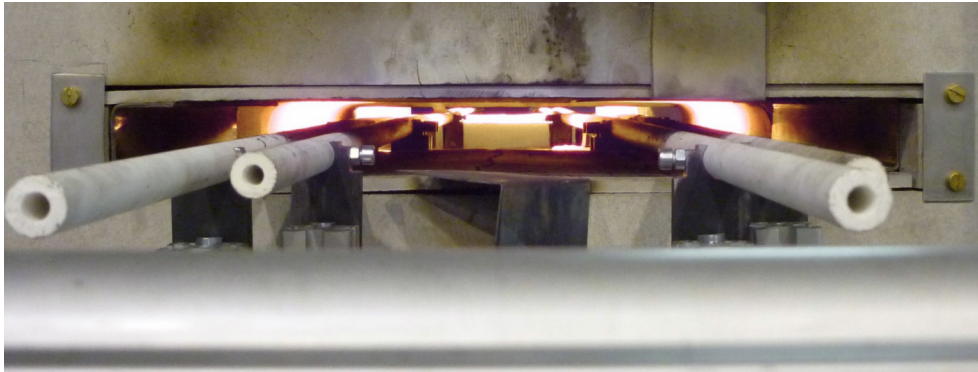


Abbildung 7.11: Sicht durch die Gesamtanlage

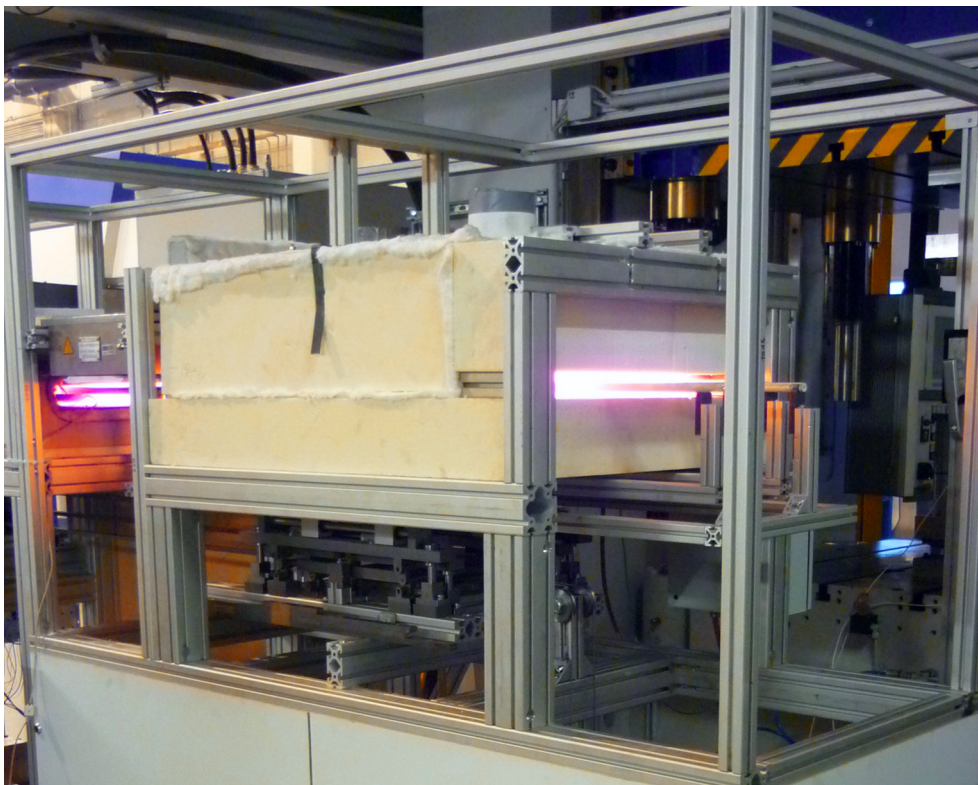


Abbildung 7.12: Flächenmodul in der Gesamtanlage

Die Widerstandsheizung mit 950 °C als Bestandteil des Flächenmoduls zeigt Abbildung 7.12. Die Verhältnisse unterhalb der Flächenspule sind detailliert in Abbildung 7.13 dargestellt. Am linken Rand leuchtet der Muffelofen, rechts strahlt die Widerstandsheizung und oben ist die Isolierplatte der Flächenspule.



Abbildung 7.13: Unterhalb der Flächenspule

8 Schlussbetrachtungen

Die Testphase der automatisierten Handhabungseinrichtung für die induktive Erwärmung von Formplatinen im Warmformprozess endet mit einem durchwegs positiven Gesamtresümee. Die Funktion des kontinuierlichen Transports der Platine auf konstanter Höhe durch die Erwärmungskomponenten mit dem ausgearbeiteten Konzept ist bewiesen.

8.1 Erkenntnisse und Verbesserungspotentiale

Verbesserungen sind in folgenden Bereichen sinnvoll:

- Die Wartungsfreundlichkeit des Transportsystems muss gesteigert werden.

Wie unter anderem in Abbildung 7.13 zu sehen, ist die Zugänglichkeit teilweise nur von einer Seite gewährleistet. Dies erschwert speziell bei der dem Bediener abgewandten Seite den Wechsel bzw. die Klemmung der Keramikbalken. Außerdem ist die Klemmung durch das Schraubenzugmoment hierfür nicht geeignet, da es viel Gefühl braucht und das Kontern der Klemmschraube wegen des Platzmangels schwierig ist. Ist die Klemmung zu stark, wird das Rohr beschädigt und führt dort leicht zum Bruch.

Wegen der geometrischen Gestaltung der Aufnahme müssen die Balken in die zylindrische Aufnahmebohrung eingefädelt werden. Dies fordert speziell in der Muffelstrecke das Entfernen der angrenzenden Rohre. Die Position der Keramikrohrhalterung am Schlitten muss zum Justieren der Höhe verändert werden. Platzmangel führt auch hier zu Problemen.

- Durch den verwendeten Schrittmotor, dessen Halbschrittbetrieb und dem Direktantrieb des Schlittens über die Zahnstange besteht ein mas-

8.1 Erkenntnisse und Verbesserungspotentiale

sives Schwingungsproblem bei langsamen Drehgeschwindigkeiten. Dieses ist besonders am Schlitten aber auch in der restlichen Anlage bemerkbar.

Die Folgen sind ein seitliches Abwandern der Platine auf den Keramikrohren, gelöste Schraubenverbindungen und verlorene Kleinteile. Weiters werden dadurch Steckverbindungen, wie zum Beispiel bei der Lichtschranke, gelöst.

- Die projektierte Maximalgeschwindigkeit von 100 mm/s kann nicht erreicht werden.
Dies liegt einerseits an der Steuerung selbst und andererseits am verwendeten Motor, der das dafür geforderte Beschleunigungsverhalten nicht aufbringen kann. Die Obergrenze liegt bei 75 mm/s , nach unten beschränken die dort stärker werdenden Vibrationen den Einsatzbereich mit 20 mm/s .
- Die Geschwindigkeitsregelung funktioniert wie geplant, die Einstellbarkeit sollte aber verbessert werden.
Schnelle Geschwindigkeitsänderungen sind aufgrund des zehngängigen Potentiometers schwer möglich. Einen weiteren Problempunkt stellt hier die Wiederholgenauigkeit der eingestellten Geschwindigkeit, nach Aus- und Einschalten des Fördersystems, dar. In diesem Zusammenhang scheint die Frequenzanzeige am Bedienfeld die Schaltung zu beeinflussen, im Besonderen dessen Ladestand der Batterie.
- An der Schnittstelle Platinezufuhr zum Handhabungssystem muss darauf geachtet werden, dass die Formplatine weit genug auf die Hubbalken geschoben wird. Bei zu kleiner Auflagefläche wird diese vom Fördersystem nicht mitgenommen. Zur Prozesssicherheit sollte dort eine Anpressrolle installiert werden.
- Der gleichmäßige Abstand zwischen Flächenspule und Formplatine entscheidet über die Erwärmungsqualität.
Für den bei der Konzeption der Anlage festgelegten Platinenwerkstoff ist die Erwärmung in der geforderten Qualität reproduzierbar. Bei anderen Blechwerkstoffen sollte in diesem Zusammenhang über eine Zwangslage der Platine während der Energieeinbringung mit der Flächenspule nachgedacht werden.

8.1 Erkenntnisse und Verbesserungspotentiale

- Allgemeine Erkenntnisse sind, dass große Platinen weniger Probleme als kleine verursachen. Außerdem ist jeglicher Temperaturverlust der Formplatte durch geeignete Abschirmungen und Isolierungen zu verhindern.

Je nach gewünschtem Automatisierungsgrad der Anlage sollte über eine zentrale Prozesssteuerung und Prozessüberwachung nachgedacht werden. So könnten die Induktionsspulen, verknüpft mit dem Vorschub des Fördersystem und einer Positionsüberwachung der Platine, gezielt ein- und ausgeschaltet werden.

Ein weiteres Anwendungsfeld wäre das partielle Presshärten, dort im Speziellen das verzögerte Ein- und Ausschalten der Flächenspule und der damit verbundenen partiellen Erwärmung der Platine.

Zusammenfassend kann die realisierte Handhabungseinrichtung in Form des dargestellten Hubbalkensystems als sinnvolles Fördersystem bei der induktiven Erwärmung von Formplatten im Warmformprozess und sehr gute Alternative zur Kettenförderung des Prototyps bezeichnet werden.

Mit den Erkenntnissen aus dem Testbetrieb ist es auf Basis dieser technischen Dokumentation denkbar, den Schritt zur industrietauglichen Serienanlage zu gehen.

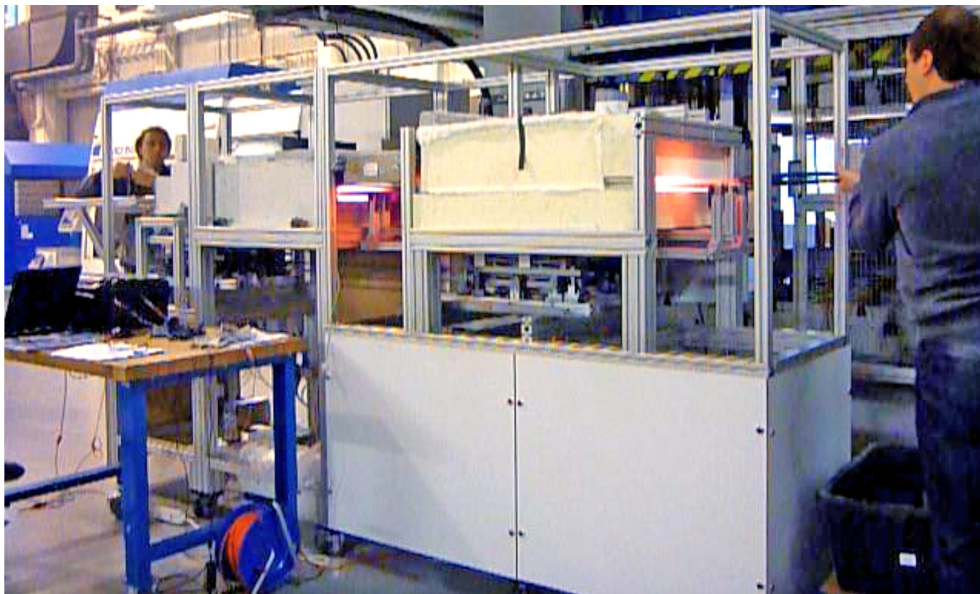


Abbildung 8.1: InduHeat 2010

Abbildungsverzeichnis

1.1	Produktportfolio Thyssen - Warmband	2
1.2	Produktportfolio Thyssen - Kaltband	2
2.1	Schaubild der Bruchdehnung über der Zugfestigkeit von verschiedenen Stählen	5
2.2	Umformverfahren	7
2.3	Karosseriebauteile	9
2.4	Schematischer Prozessablauf beim direkten Presshärten	10
2.5	Schematisches ZTU Schaubild Presshärten	11
2.6	Festigkeitsveränderung während des Umformens.	12
2.7	Anlage zum Presshärten	13
2.8	Schematischer Prozessablauf beim indirekten Presshärten	14
2.9	Einteilung der Wärmebehandlungsanlagen - Ofenart	15
2.10	Einteilung der Wärmebehandlungsanlagen - Beheizung	16
2.11	Rollenherdofen	17
2.12	Drehherdofen	18
2.13	Anlagenvergleich	19
2.14	Aufbau der Versuchsanlage	19
2.15	Grundarten der Induktionsspulen	20
4.1	Längsfeldinduktor und Transportsystem	22
4.2	Hauptkomponenten des alten Fördersystems	23
4.3	Anlagenlayout	26
4.4	Längsfeldspule	27
4.5	Muffelofen	27
4.6	Flächenspule	28
4.7	Widerstandsheizung	28
4.8	Komponentenübersicht	29
5.1	Vorgehen beim Entwickeln und Konzipieren	32
5.2	Funktionsstruktur beim Formplatinentransport	34
5.3	Morphologischer Kasten	36
5.4	Kinematik des Hubbalkensystems	38
5.5	Bewegungskonzept	38
5.6	Konzept Hubbalkenteilsystem	39
5.7	Konzept Hubbalkensystem	40
5.8	Konzept Vertikalbewegung	41

5.9	Momentenberechnung	41
5.10	Gabellichtschranke	42
5.11	Näherungsschalter FESTO	43
5.12	Konzept Platinezufuhr	44
5.13	Konzept Platinenübergabe	44
5.14	Konzept Gestell	45
5.15	Konzept Gesamtanlage	47
5.16	Doppeltwirkender Kompaktzylinder	48
5.17	Schrittmotor	48
5.18	Arbeitsschritte beim Ausarbeiten	49
6.1	Hubbalkensystem Längsfeld	51
6.2	Basisrahmen	52
6.3	Hebevorrichtung A	54
6.4	Kniehebelsystem	55
6.5	Schlittenführung A	55
6.6	Hubschlitten A	56
6.7	Antriebslösung Hubbalkensystem	58
6.8	Systemkommunikation	59
6.9	Bedienfeld	61
6.10	Gestell zu Hubbalkensystem Längsfeld	63
6.11	Platinezufuhr	64
6.12	Muffelmodul	66
6.13	Flächenmodul	68
6.14	Gesamthubbalkensystem	70
6.15	Gesamtprodukt	71
7.1	Gesamtanlage	74
7.2	Platinenaufgabe	75
7.3	Antriebslösung	75
7.4	Hubmechanismus	76
7.5	Stangenverbindung Flächenmodul	76
7.6	Bewegungsablauf Teil1	79
7.7	Bewegungsablauf Teil2	80
7.8	Bewegungsablauf Teil3	81
7.9	Bewegungsablauf Teil4	82
7.10	Bedienung	83
7.11	Sicht durch die Gesamtanlage	84
7.12	Flächenmodul in der Gesamtanlage	84
7.13	Unterhalb der Flächenspule	85
8.1	InduHeat 2010	88

Tabellenverzeichnis

6.1	Stückliste Hubbalkensystem Längsfeld	52
6.2	Stückliste Basisrahmen	53
6.3	Stückliste Hebevorrichtung A	53
6.4	Stückliste Kniehebelsystem	54
6.5	Stückliste Schlittenführung A	55
6.6	Stückliste Hubschlitten A	57
6.7	Stückliste Antriebslösung Hubbalkensystem	57
6.8	Stückliste Systemkommunikation	60
6.9	Stückliste Bedienfeld	60
6.10	Stückliste Gestell zu Hubbalkensystem Längsfeld	62
6.11	Stückliste Platinenzufuhr	64
6.12	Stückliste Muffelmodul	65
6.13	Stückliste Flächenmodul	67
6.14	Stückliste Gesamthubbalkensystem	69
6.15	Stückliste Gesamtprodukt	69

Literaturverzeichnis

- [1] APT-VERTRIEBS-GMBH: *Komplette Warmumformanlagen*. Burbach : http://www.blechrohreprofile.de/4-2010-april/artikel_-handhabungs-know-how-fuerand-8217;s-warmumformen-_11709_4_369_de.html, 2007. – [Online; Stand 20. 08. 2010]
- [2] APTGROUP: *Materialerwärmung*. http://de.aptgroup.com/Produkte_Losungen/Produktionslinien/Presshartelinien/Materialerwärmung/Materialerwärmung/, 2010. – [Online; Stand 26. 08. 2010]
- [3] BARTOS, Ralph: *Leicht ist nicht genug*. Düsseldorf : http://www.stahl-info.de/medieninformationen/pm_leicht_ist_nicht_genug.asp, 2010. – [Online; Stand 23. 08. 2010]
- [4] BEHRENS B., Olle P.: Numerische Simulation des Presshärtprozesses unter Berücksichtigung der Gefügeumwandlung. In: *6. LS-DYNA Anwenderforum*. Frankenthal : DYNAmore GmbH, 2007, S. CII
- [5] BLECHNET: *Gezielte Warmumformung für punktgenaue Bauteileigenschaften*. Burbach : <http://www.blechnet.com/>, 2007. – [Online; Stand 13. 07. 2010]
- [6] BZT-MASCHINENBAU-GMBH: *Schritt- und Servomotor: Technologien im Vergleich*. Leopoldshöhe : http://www.bzt-cnc.de/wp/pdf/Vergleich_Schritt-Servomotor.pdf, 2010. – [Online; Stand 29. 08. 2010]
- [7] DOEGE E., Behrens B.-A.: *Handbuch Umformtechnik: Grundlagen, Technologien, Maschinen*. Berlin [u.a.] : Springer, 2007. – 368–371 S
- [8] FESTO: *Doppeltwirkender Kompaktzylinder*. Wien : http://www.festo.com/pnf/de-at_at/products/catalog?action=search&Mode=portal&lang=de-at&country=AT&key=536313&submit=, 2010. – [Online; Stand 20. 07. 2010]
- [9] FESTO: *Zylindernäherungsschalter*. Wien : http://www.festo.com/cat/de-at_at/xDKI.asp, 2010. – [Online; Stand 15. 07. 2010]

- [10] GROTE K.-H., Feldhusen J.: *DUBBEL Taschenbuch für den Maschinenbau, 21.Auflage*. Berlin Heidelberg New York : Springer, 2004. – F1ff S
- [11] HEINRICH, Berthold: *Mechatronik - Grundlagen und Komponenten*. Wiesbaden : Vieweg, 2004
- [12] ITEM: *Systembaukasten für Maschinenbau*. Linz : <http://catalog.item.info/Onlinekatalog/>, 2010. – [Online; Stand 16. 07. 2010]
- [13] KLOCKE FRITZ, König W.: *Fertigungsverfahren4 - Umformtechnik*. Aachen : Springer, 2006. – 15ff S
- [14] KOLLECK R., Koroschetz C. Sünkel R.: Komponententest - Ein geeignetes Werkzeug für die Karosserieentwicklung? In: *Car Body Colloquium*. Chemnitz : 5th Car Body Colloquium, 2008, S. 193–204
- [15] KOLLECK R., Merklein M. Lechler J. Geiger M.: Investigation on induction heating for hot stamping of boron alloyed steels. In: *CIRP Annals*. Boston : CIRP Annals - Manufacturing Technology 58, 2009, S. 275–278
- [16] KOLLECK R., Pfanner S.: Press Hardening of boron steel sheets - forming and tooling technology with high potential. In: *Iddrg*. Besançon : Tagungsband zur Iddrg 2005, 2005
- [17] KOLLECK R., Veit R.: Inductive Heating of Al/Si-coated Boron Alloyed Steels. In: *Iddrg*. Graz : Tagungsband zur Iddrg 2010, 2010, S. 151–156
- [18] KUGLER, Harald: *Umformtechnik - Umformen metallischer Konstruktionswerkstoffe*. Baden-Württemberg : Hanser, 2009. – 263 S
- [19] MCLENNAN: *Schrittmotor*. Leeds : <http://www.mclennan.co.uk/datasheets/european/stepper/hsxsteppermotors.pdf>, 2010. – [Online; Stand 20. 07. 2010]
- [20] NADERI M., Bleck W.: The effects of nonisothermal deformation on martensitic transformation in 22MnB5 steel. In: *Material Science and Engineering A 487*. Oxford : Material Science and Engineering, 2008, S. 445–455
- [21] N.N: *Warmumformlinie für die Serienproduktion*. Göppingen : Schuler, 2005
- [22] OTTERBACH, Bernd: *Besondere Leichtbauanforderungen*. <http://www.automobil-industrie.vogel.de/>, 2008. – [Online; Stand 10. 07. 2010]

- [23] RS-COMPONENTS: *Gabellichtschränke HOA7720*. Gmünd : <http://at.rs-onli-ne.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=searchProducts&searchTerm=HOA7720&x=27&y=14>, 2010. – [Online; Stand 15. 07. 2010]
- [24] SCHULERGROUP: *Vom Ofen in die Presse*. http://www.schulergroup.com/major/pool/12_Produnkte_Verfahren/040_Formhaerten/02_Verfahren/index.html, 2007. – [Online; Stand 26. 08. 2010]
- [25] SCHWARTZ R., Lehmann H.: Neueste Entwicklungen im Bereich der Wärmebehandlung von Bauteilen für das Presshärten. In: *Erlanger Workshop Warmblechumformung*. Meisenbach Bamberg : Tagungsband zum 4. Erlanger Workshop Warmblechumformung 2009, 2009, S. 45–70
- [26] SPUR G., Stöferle T.: *Handbuch der Fertigungstechnik - Band4/2 Wärmebehandeln*. München, Wien : Hanser, 1987. – 654 S
- [27] STÖHR T., Merklein M.: Weiterführende Untersuchungen zum Fließverhalten presshärtbarer Stähle. In: *Erlanger Workshop Warmblechumformung*. Meisenbach Bamberg : Tagungsband zum 4. Erlanger Workshop Warmblechumformung 2009, 2009, S. 71–84
- [28] THYSSENKRUPPSTEEL: *Produktinformation Mangan-Bor-Stähle MBW zum Warmformhärten*. Duisburg : <http://www.thyssenkrupp-steel-europe.com>, 2009. – [Online; Stand 25. 08. 2010]
- [29] THYSSENKRUPPSTEEL: *Mangan Bor Stähle zum Warmumformhärten*. <http://www.thyssenkrupp-steel-europe.com>, 2010
- [30] TU-MÜNCHEN: *Warmblechschneiden*. München : http://www.utg.mw.tum.de/utg_website/index2.php?page=133, 2009. – [Online; Stand 10. 10. 2010]
- [31] VDI-RICHTLINIE2221: *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf : VDI Verlag, 1993
- [32] WITTIG AXEL, Müller W.: Neue Technologien in der Warmumformung. In: *EFB Neue Wege zum wirtschaftlichen Leichtbau*. Fellbach : Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V., 2007, S. 55–61