



Entwicklung eines Handhabungsgeräts für den kraftarmen und produktiven Teiletransport bei manuell geführten Umformprozessen

Bei großer Artikelvielfalt und/oder geringer Produktionsmenge ist eine Automatisierung von Massivumformanlagen, zum Beispiel durch Roboter, aus wirtschaftlichen Gründen vielfach nicht sinnvoll. Hier wird bei schweren Bauteilen von den Mitarbeitern noch manuelle Schwerstarbeit geleistet. Zudem ist in solchen Fällen der Mensch in der Regel der produktivitätsbegrenzende Faktor. Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens wurde ein manuell bedienbares Handhabungsgerät konzipiert, entwickelt und als Demonstrator in Pilotanwendungen im industriellen Umfeld eingesetzt.

AUTOREN



**Prof. Dr.-Ing.
Rainer Herbertz**

leitet das Labor für Massivumformung der Fachhochschule Südwestfalen in Iserlohn



**Dipl.-Ing.
Harald Hermanns**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor für Massivumformung der Fachhochschule Südwestfalen in Iserlohn

Die Fertigung schwerer Umformteile auf manuellen Produktionsanlagen bedeutet für den Mitarbeiter eine körperliche Höchstbelastung bei gleichzeitig hoher Anforderung durch das genaue Positionieren der Bauteile in den einzelnen Prozessstationen. Die Folgen für die Mitarbeiter sind einseitige Überlastung, frühzeitiger Verschleiß der Gelenke, häufige Arbeitsausfälle wegen Krankheit und schlussendlich die frühzeitige Arbeitsunfähigkeit. Die finanziellen Folgen für die Unternehmen, die Versicherungssysteme und die Volkswirtschaft sind erheblich und inakzeptabel. Gerade vor dem Hintergrund der demografischen Entwicklung, knapper werdender Ressourcen bei Fachpersonal sowie dem späterem Renteneintrittsalter bekommt der verantwortungsvolle Umgang mit dem „Humankapital Mensch“ eine ganz neue Bedeutung.

Im Rahmen des Vorhabens sollte für manuelle Schwerstarbeitsplätze an Massivumformanlagen die Belastung des Bedienpersonals drastisch reduziert werden bei gleichzeitiger Steigerung der Anlagenproduktivität. Hierzu wurde ein manuell bedienbares Handhabungsgerät konzipiert, entwickelt, als Demonstrator getestet und bewertet, das den spezifischen Anforderungen bezüglich der komplizierten produkt- und prozessabhängigen Bewegungsabläufe und der erforderlichen präzisen Teilepositionierung genügt. Dabei sollten die besonderen Vorteile des Menschen, wie das empirisch erlernte Verständnis über den Umformprozess und das feinfühlig Anpassen seiner Arbeitsbewegungen an sich ändernde Prozesssituationen weiter genutzt und durch die körperliche Entlastung noch gesteigert werden. Folgende Zielparameter waren vorgegeben:

- deutliche Entlastung des Werkers von schwerer körperlicher Tätigkeit unter Beibehaltung der bisherigen Flexibilität
- flexibler Einsatz des Handhabungsgeräts bei heterogener Teilestruktur
- keine artikelspezifischen Greifersysteme
- kein zusätzlicher Rüstaufwand bei Artikelwechsel
- Einsatzmöglichkeit für verschiedene Aggregatetypen
- geringe Investitionskosten
- höhere Produktivität

ANALYSE DER IST-SITUATION AN PRESSEN UND HÄMMERN

Zur Festlegung der kinematischen Freiheitsgrade und der notwendigen Bewegungsbahnen des Handhabungsgeräts wurde für ein repräsentatives Teilespektrum der prozessbedingte Bewegungsablauf der Bauteile während des Umformprozesses analysiert. Hieraus wurden anschließend die räumlichen Bewegungsbahnen und die zeitlichen Abhängigkeiten abgeleitet (Bild 1).

ERSTELLUNG EINES SIMULATIONSMODELLS

Für die Entwicklung des Handhabungsgeräts wurde ein kinematisches Simulationsmodell erstellt, mit dem verschiedene Funktionsalternativen und die Auswirkungen verschiedener Prozessgrößen detailliert untersucht und bewertet wurden. Der schematische Aufbau des Simulationsmodells ist in Bild 2 dargestellt. Hier wird zum Beispiel ersichtlich, wie die Funktionen der vorderen und hinteren Bedienerhand durch Lagerstellen ersetzt werden, und somit die auftretenden Kräfte und Momente ermittelt werden können.

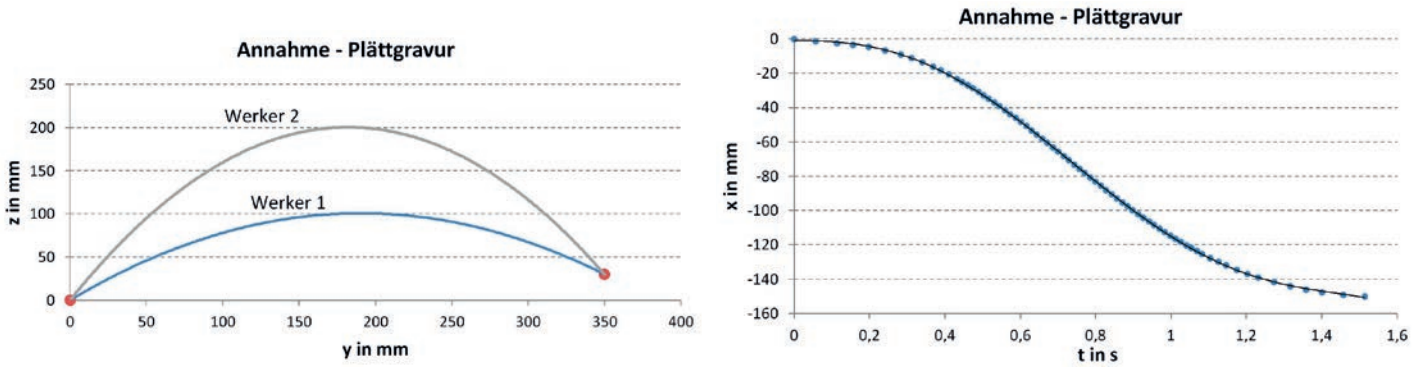


Bild 1: Beispiele für die ermittelte Bewegungsbahn von Bauteilen, links: Streuung der Weg-Weg-Kurven für den Transport des Bauteils von der Annahme zur Plättgravur in Abhängigkeit des Werkers, rechts: Weg-Zeit-Kurve für den Transport des Bauteils von der Annahme zur Plättgravur

Schematischer Aufbau des verwendeten Simulationsmodells

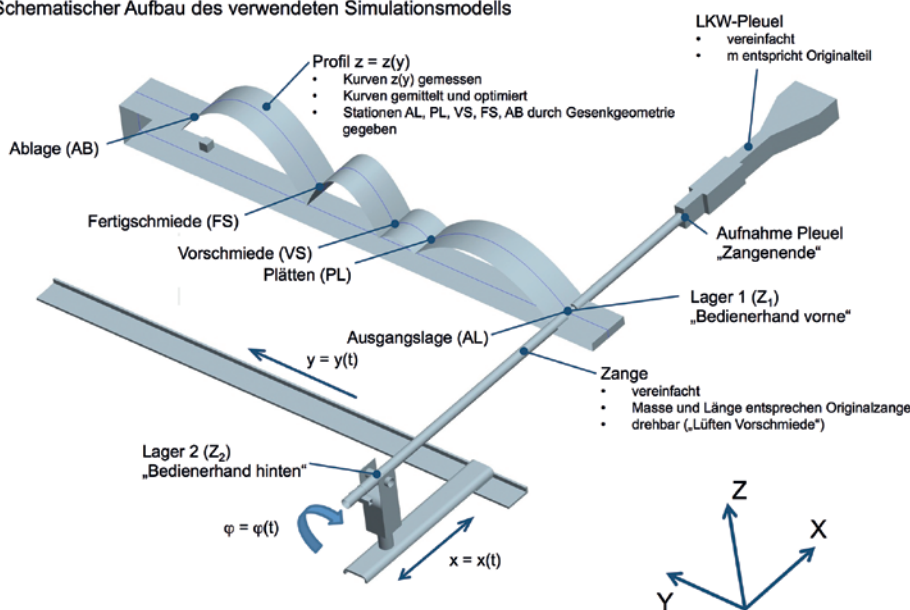


Bild 2: Schematischer Aufbau des kinematischen Simulationsmodells

VORGABEN

In Abstimmung mit den industriellen Projektpartnern erschien es ratsam, dem Mitarbeiter auch bei Nutzung des Handhabungsgeräts eine Restkraft in allen Komponenten des Kraftvektors zu überlassen, um ihm hierüber eine haptische Antwort des Prozesses zur Verfügung zu stellen und nicht im Gegensatz dazu das Ziel einer „Null-Kraft“ zu verfolgen. Für die Restkräfte der einzelnen Kraftkomponenten wurden als Zielgrößen gegenüber dem derzeitigen Ist-Zustands vorgegeben:

- Gewichtskraft 10 %
- Beschleunigungskräfte geringer als 25 %
- Klemmkraft 10 %
- ideal wäre für alle Kraftkomponenten eine einstellbare Restkraft

AUFBAU DES HANDHABUNGSGERÄTS

Der prinzipielle Aufbau des Handhabungsgeräts ist in Bild 3 dargestellt. Realisiert wurden drei translatorische und zwei rotatorische Achsen. Der Hub beträgt 500 mm, die verfahrbare Querachse 1.100 mm und die nutzbare Zangenlänge 500 mm. Die erforderlichen Kräfte und Momente wurden mit Hilfe des Simulationsmodells auf Basis der geometrischen Dimensionen, der Bauteilgewichte und der Bauteildynamik berechnet. Der Demonstrator wurde für ein Bauteilgewicht bis 20 kg ausgelegt.

Für das pneumatisch angetriebene Kraft-System wurde eine Steuer-/Regeleinheit entwickelt, welche auf rein pneumatischem Weg – ohne weitere elektronische Elemente – die geforderte Aufgabenstellung erfüllt. Die Gewichtskraftkompensation („Schwebезustand“ des Bauteils) wird durch zwei Kolbenstangenzylinder in Kombination mit einem Präzisions-Druckregelventil realisiert. Die gewünschte Höhe der Kraftunterstützung kann über Drehregler beliebig variiert werden. Die Energieversorgung des Systems erfolgt über einen im industriellen Umfeld üblichen 6 bar-Druckluftanschluss.

Der Aufbau des Führungssystems erfolgte über zwei stehende Säulen für die vertikale Achse, zwei Linearführungen für die horizontalen Quer- und Längsbewegungen und zwei Drehachsen. Das Wirkprinzip des Zangen-/Greifersystems basiert auf einem Kurvengetriebe, das mit pneumatischer Unterstützung angetrieben wird.

Mit Ausnahme des Zangen-/Greifersystems wurden für den Aufbau des Handhabungsgeräts ausschließlich auf dem Markt erwerbliche und industrieerprobte Komponenten verwendet. Für das Zangen-/Greifersystem war am Markt kein geeignetes System verfügbar, sodass eine Eigenentwicklung und Einzelfertigung erfolgte, mit dem über ein mechanisches

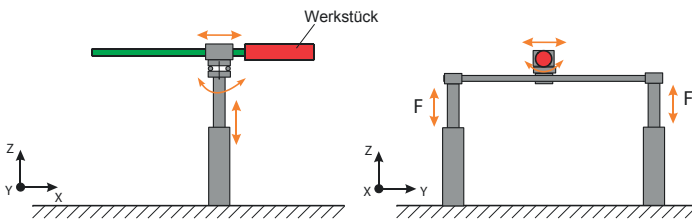


Bild 3: Prinzipieller Aufbau des Handhabungsgeräts

Getriebe mit pneumatischem Antrieb hohe Klemmkräfte erreicht werden können (Bild 4). Bild 5 zeigt den vollständig montierten Demonstrator, einschließlich der Steuer-/Regeleinheit.

TESTBETRIEB

Vor dem Testbetrieb erfolgte eine Einweisung der Bediener in die Funktionalität und Handhabung des Demonstrators mit kalten Bauteilen. Der Zeitaufwand für den Aufbau des Demonstrators betrug zirka 15 Minuten, für den Abbau wurden etwa 5 Minuten benötigt.

Der Praxistest wurde mit zwei Bauteilen an einer Pressenanlage durchgeführt. Hierbei wird der Demonstrator an der Abgratpresse installiert und unter Serienbedingungen eingesetzt (Bild 6). Im Folgendem wird zwischen Testbetrieb 1 und Testbetrieb 2 unterschieden.

	Testbetrieb 1	Testbetrieb 2
Bauteil	Kreuzgelenkgabel	Kurbelwelle
Einsatzmasse	5,4 kg	11,4 kg
Greifelement	Grat	Grat
Taktzeit	12,5 s	20,0 s
Anzahl Bediener des Demonstrators	4	3

ERGEBNISSE DES TESTBETRIEBS

Die Testbetriebe erfolgten jeweils unter Serienbedingungen. Nach einer kurzen Eingewöhnungszeit von zirka 10 bis 15 Minuten beherrschten die Bediener die Koordination des Handhabungsgeräts und waren in der Lage, die vorgegebene Taktzeit einzuhalten.

Die Höhe der Kraftreduzierung für das Anheben und Halten der Bauteile wurde von den Bedienern jeweils nach eigenem Empfinden eingestellt, wobei alle Bediener zur „Null-Kraft“ tendierten. Neben der Reduzierung beziehungsweise dem Wegfall der Hebekraft wurde insbesondere bei dem schweren Bauteil in Testbetrieb 2 der Entfall der aufzubringenden Zangenklemmkraft als vorteilhaft empfunden.

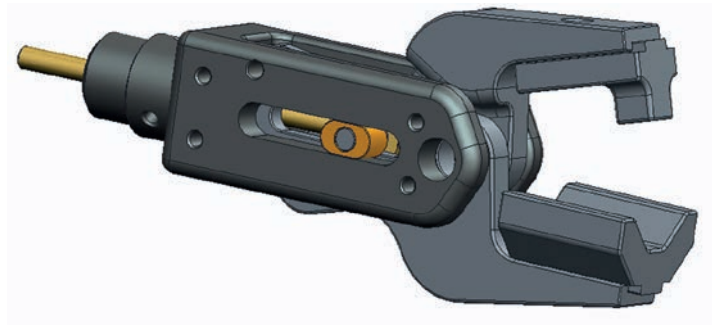


Bild 4: Entwickeltes Zangensystem

Bei dem leichteren Bauteil in Testbetrieb 1 wurde die Kraftreduzierung naturgemäß als weniger dominant empfunden. Hier wurde auch ersichtlich, dass die vorgegebene Taktzeit von 12,5 Sekunden im Grenzbereich für die Anwendung des Handhabungsgeräts bei der vorliegenden Aufgabenstellung beziehungsweise dem Bewegungsablauf liegt.

Der Bewegungsablauf musste bei beiden Testbetrieben geändert werden, da das Greifen des Bauteils am Ende des Kettenbands mit dem Demonstrator nicht in einer vertretbaren Zeit möglich war. Hierfür musste eine definierte Lage des Bauteils für den Testbetrieb geschaffen werden.

ERKANNTE VERBESSERUNGSMÖGLICHKEITEN

Das Bauteil muss sich beim Greifen in einer definierten Aufnahmeposition befinden und für die Zange ist ein Festanschlag vorzusehen, um ein sicheres und schnelles Greifen zu ermöglichen. Für den vorliegenden Bewegungsablauf ist anstatt einer linearen eine kurvenförmige Querführung vorteilhaft.

BEWERTUNG DER BEDIENERENTLASTUNG

Von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und dem Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) werden Analyse- und Bewertungsmethoden (sogenannte Leitmerkalmethoden) für die Belastungsbewertung beim Heben, Halten, Tragen, Ziehen und Schieben von Lasten empfohlen [1]. Für die vorliegende Belastungsart wird die Leitmerkalmethode „LMM zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen“ angewendet. Die Ergebnisse der Beurteilung zeigen danach eine deutliche Verringerung der Belastung des Bediener bei Verwendung des Handhabungsgeräts.

WIRTSCHAFTLICHE GESAMTBEWERTUNG

Die wirtschaftlichen Vorteile des Handhabungsgeräts werden neben einer erhöhten Produktivität durch weiche Faktoren wie der Entlastung der Mitarbeiter und des zu erwartenden reduzierten Krankenstands bestimmt.

Die Investitionskosten des Handhabungsgeräts betragen zirka 15.000 €, die Kosten für die benötigte Druckluft etwa 200 €/a (Taktzeit: 20 s, Produktionszeit: 4.000 h/a). In diesen



Bild 5: Demonstrator mit Greifersystem und pneumatischer Steuer-/Regeleinheit

Kosten ist der Aufwand für eine als notwendig erkannte Aufnahme- und Positionierung des Bauteils nicht enthalten.

Wenn durch das Handhabungsgerät der Krankenstand bei den betroffenen Mitarbeitern einer Produktionsanlage (9 Mitarbeiter bei 3-Schicht-Betrieb) nur um 1 Prozent reduziert werden kann, entspräche dies einem Potenzial von 160 h/a oder zirka 4.800 € Personalkosten/a (unter der Annahme von 30 €/h für Lohn- und Lohnnebenkosten; ohne Berücksichtigung von Arztkosten).

Auf Basis der durchgeführten Pilotanwendungen erfolgte eine Abschätzung einer möglichen Produktivitätssteigerung. Durch eine Reduzierung der Taktzeit um 10 Prozent können die Fertigungskosten um zirka 5 Prozent und die Gesamt-Stückkosten um 2,0 Prozent gesenkt werden. Unter der Annahme, dass nur bei 25 Prozent der Jahresmenge der Produktionslinie (durchschnittliches Bauteilgewicht: 10 kg, 3-Schicht-Betrieb, Taktzeit: 20 s) das Handhabungsgerät zum Einsatz kommt, kann eine Kostenersparnis von zirka 45.000 €/a erzielt werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein Handhabungsgerät für die Massivumformung konzipiert, entwickelt, als Demonstrator gefertigt und in Pilotanwendungen im industriellen Umfeld mit nachfolgenden Ergebnissen eingesetzt:

- Der Einsatz des Handhabungsgeräts führt zu einer deutlichen Reduzierung der körperlichen Belastung des Bediener
- Die Bedienung des Handhabungsgeräts ist intuitiv und erfordert nur eine kurze Eingewöhnungszeit der Bediener
- Das Handhabungsgerät ist flexibel einsetzbar und benötigt nur minimale Rüstzeiten
- Das Handhabungsgerät erfordert nur geringe Investitionskosten und bietet ein wesentliches wirtschaftliches Potenzial durch erhöhte Produktivität und durch weiche Faktoren wie Entlastung der Mitarbeiter und Reduzierung des Krankenstands

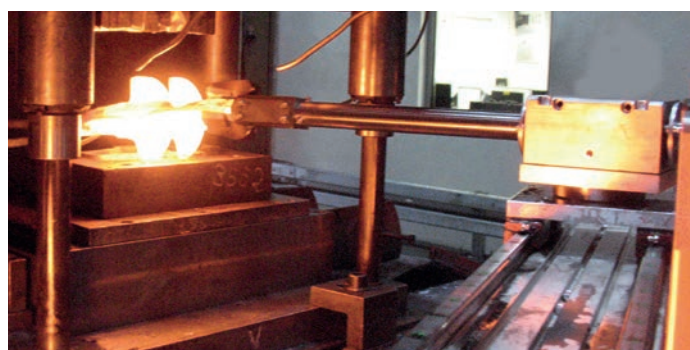


Bild 6: Testbetrieb, oben: Aufnahme des Bauteils, unten: Transport und Positionierung des Bauteils

Bilder: Autoren



Die beteiligten Projektpartner an dem Vorhaben HATUM waren:

- Fachhochschule Südwestfalen, Labor für Massivumformung (LFM)
- LASCO Umformtechnik GmbH
- MAHLE Motorkomponenten GmbH
- Rasche Umformtechnik GmbH & CO KG



[1] Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 2001



Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03FH009PX2 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung