

## Ein soziotechnischer Ansatz zur Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen

# Der Regelkreis der Bedienbarkeit

L. Lange, M. Moritz, S. Buxbaum-Conrade, T. Redlich, J. P. Wulfsberg

**ZUSAMMENFASSUNG** In einer qualitativen, explorativen Studie wurden Aspekte erfasst, welche die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen beeinflussen. Hierzu wurden Interviews und Beobachtungen mit Entwicklern, Ausbildern und Bedienern von Werkzeugmaschinen durchgeführt. Die erarbeiteten Aspekte wurden anschließend systematisch analysiert, kategorisiert und in direkte und indirekte Einflüsse untergliedert. Hieraus wurde das hier vorgestellte Modell des Regelkreises der Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen abgeleitet.

## STICHWÖRTER

Mensch und Technik, Werkzeugmaschinen, Produktionsmanagement

## 1 Einführung: Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen

Getrieben durch Automatisierung und Digitalisierung findet in der modernen Fertigungslandschaft ein Paradigmenwechsel statt [1]. Der Wunsch nach weitestgehend regulierbaren Fertigungsprozessen und -systemen geht mit einer gesteigerten Komplexität der verwendeten Maschinen einher [2, 3]. Die so zunehmende Produktionskomplexität und Fertigungstiefe vieler Werkzeugmaschinen führt auch zu erhöhten Anforderungen an Maschinenbediener [4]. Komplexere Maschinen bedeuten einen höheren initialen Lernaufwand, zusätzliche Weiterbildungen und eine grundsätzlich längere Anlernzeit für die Nutzer. Denn trotz zunehmender Digitalisierung und Automatisierung wird der Mensch auch weiterhin ein Zentraler Bestandteil der Produktion bleiben [5]. Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels und dem unter anderem daraus resultierenden Fachkräftemangel steigt jedoch der Bedarf an bedienbaren und einfach zugänglichen Werkzeugmaschinen [6]. Hierdurch entsteht ein Spannungsfeld zwischen mehr Effizienz durch mehr Automatisierung und gegebenenfalls komplexeren Maschinen einerseits und immer weniger Fachkräften andererseits. Werkzeugmaschinenhersteller stehen nun vor der Herausforderung, die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen und die steigende Fertigungstiefe miteinander zu verknüpfen.

Für eine gezielte Verbesserung der Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen, ist es von wesentlicher Bedeutung, zunächst ein Grundverständnis bezüglich der Beziehung zwischen Bedienern und deren Maschinen zu erlangen. Die Bedienbarkeit von Werk-

## The control loop of usability – a socio-technical approach on the usability of machine tools

**ABSTRACT** In a qualitative, explorative study, aspects that influence the usability of machine tools were identified. Interviews and observations were conducted with developers, educators and operators of machine tools. The aspects identified were then systematically analysed, categorized and subdivided into direct and indirect influences. From this, the presented model of the control loop of machine tool usability was derived.

zeugmaschinen beruht auf einer komplexen Verknüpfung unterschiedlichster Aspekte und Einflüsse. So spielen einerseits die technischen Eigenschaften der Maschine eine wichtige Rolle, aber auch der Bedienende vor der Werkzeugmaschine hat einen nicht unerheblichen Einfluss auf das Ergebnis [7]. In diesem Kontext spielen zwei zentrale menschliche Aspekte eine wichtige Rolle: Kognition und Affektivität. Kognition befasst sich mit mentalen Prozessen wie Aufmerksamkeit, Gedächtnis und Entscheidungsfindung [8], während Affektivität die verbundenen Emotionen und Gefühle einer bedienenden Person betrifft. Im Bereich des affective Engineerings ist beispielsweise Kansei Engineering ein bereits etablierter Ansatz, der auf semantischen Methoden basiert und hauptsächlich in Bezug auf Konsumgüter angewandt wird [9]. In einer Studie beschreiben *Liu et al.* einen ersten Schritt, Kansei Engineering mit der Entwicklung von Werkzeugmaschinen zu verbinden und dabei sowohl die Perspektiven der Entwickler als auch der Nutzer systematisch zu integrieren [10]. In einer kombinierten Perspektive haben *Camerer et al.* eine zweidimensionale Charakterisierung der neuronalen Funktionsweise eingeführt, welche die neuronalen Aktivitäten einer Person in kognitive und affektive Prozesse unterteilt, die entweder kontrolliert oder automatisch ablaufen [11]. *Helander* und *Khalid* betonen, wie wichtig es ist, sowohl Kognition als auch Affekt oder Emotion zusammen zu betrachten [12].

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen führte *Lange et al.* einen Ansatz ein, der Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen als ein Zusammenspiel einer physischen, einer kognitiven und einer affektiven Dimension beschreibt [7]. Die technische Dimension umfasst verschiedene Faktoren im Zusammenhang mit den Soft-

ware- und Hardwarefunktionen digitaler Werkzeugmaschinen. Dazu gehören Überlegungen wie die Komplexität der Werkzeugmaschine, die Anzahl der Parameter und ihre entsprechenden Einstellungen, die Gestaltung der Schnittstelle, die Effizienz der Werkzeugmaschine und der Grad der Automatisierung und Digitalisierung. Die kognitive Dimension bezieht sich auf die kognitiven Prozesse, die der Nutzer bei der Bedienung einer Werkzeugmaschine durchläuft. Die kognitive Dimension umfasst Faktoren wie das allgemeine Verständnis des Bedienvorgangs, das bereits vorhandene Wissen über die Funktionsweise der Werkzeugmaschine, die damit verbundenen Lern- und Lehrprozesse und frühere Erfahrungen im Umgang mit Werkzeugmaschinen. Die affektive Dimension umfasst alle Aspekte, die mit Emotionen zu tun haben. Dazu gehören sowohl negative Emotionen wie die Angst, die Werkzeugmaschine falsch zu bedienen, als auch positive Emotionen wie Motivation, Vertrauen, Stolz oder ein Gefühl der Sicherheit bei der Nutzung von Werkzeugmaschinen.

Diese drei Dimensionen enthalten verschiedene Aspekte, welche miteinander verflochten sind und die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen ganzheitlich beeinflussen [7].

Die in dieser Arbeit vorgestellte Forschung befasst sich mit den Wechselwirkungen zwischen diesen Einflussfaktoren und deren Auswirkung auf die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen.

In diesem Beitrag geht es um die Frage, wie die unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen untereinander in Beziehung stehen und welche Betrachtungen bei der Modifizierung dieser Aspekte berücksichtigt werden sollten, um die gesamtheitliche Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen zu erhöhen.

## 2 Operationalisierung der Forschungsfrage und methodischer Zugang

Für das hier aufgezeigte Forschungsvorhaben wurde ein qualitativer, explorativer Forschungsansatz gewählt. Basierend auf dem Grounded Theory Ansatz nach Glaser und Strauss [13] wurde eine Interviewstudie durchgeführt und anschließend mit Methoden der Grounded Theory analysiert. Das Hauptziel dieser Studie bestand darin, ein umfassendes Verständnis der Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen zu entwickeln. Um dies zu erreichen, wurden Interviews als bewährte Methode eingesetzt, um tiefgreifende Einblicke in kausale Faktoren und Beziehungen zu erhalten [14]. Konkret wurden semi-strukturierte Experteninterviews durchgeführt, da sie offene Fragen zulassen, die eine gezielte Erkundung erleichtern und gleichzeitig die Vergleichbarkeit wahren [15]. Vor den Experteninterviews wurde ein Leitfaden mit Fragen zur allgemeinen Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen erstellt. Dabei wurden alle Werkzeugmaschinen gemäß DIN 69 651 berücksichtigt. Es wurden zunächst keine Unterscheidungen bezüglich spezifischer Maschinentypen gemacht. Die Fragen konzentrieren sich hauptsächlich auf potenzielle Herausforderungen bei der Nutzung von Werkzeugmaschinen. Insgesamt nahmen zwölf Entwickler von Werkzeugmaschinen und Steuerungen sowie zehn Ausbilder von Werkzeugmaschinen an den Interviews teil.

Nach der Datenerhebung wurde ein systematischer Analyseansatz angewandt. Die Interviews und Beobachtungen wurden transkribiert und mit Hilfe einer qualitativen Analysesoftware (Atlas.ti) ausgewertet. Anschließend wurde eine strukturierte Analyse auf der Grundlage des von Glaser und Strauss entwickel-

ten Grounded Theory-Ansatzes [16] durchgeführt. Die Textdaten wurden kategorisiert und den verschiedenen Segmenten wurden Codes zugewiesen. Hierbei wurde eine kontinuierliche vergleichende Analyse durchgeführt, um die Zusammenhänge zwischen den zentralen Kategorien nach der Methode von Corbin und Strauss zu untersuchen [14]. Dadurch konnten weitere Erkenntnisse über die spezifischen Beziehungen zwischen den verschiedenen Codes gewonnen werden. Basierend auf der Analyse und Gruppierung dieser Aspekte erfolgte schließlich die theoretische Modellbildung. Während der Analyse entstanden durch die Verdichtung der Codes Kernelemente, welche später als Grundlage des daraus entstandenen Modells des „Regelkreises der Bedienbarkeit“ dienten.

## 3 Erkenntnisse und Modellbildung

Während der Analyse wurden verschiedene Aspekte identifiziert, welche die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen, aus Sicht der Befragten, maßgeblich beeinflussen. Diese Aspekte stehen beispielhaft für die Kriterien, welche aus Sicht der Befragten für die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen relevant sind.

Bei weiterer Betrachtung konnten diese Aspekte nochmals in zwei Kategorien aufgeteilt werden. So wurden einerseits Aspekte identifiziert, die sich direkt auf die Bedienbarkeit der Werkzeugmaschinen auswirken, wie beispielsweise die Angst vor der Maschine oder das Prozessverständnis. Andererseits gibt es aber auch Aspekte, welche sich auf die vorher genannten Aspekte als solche auswirken, wie zum Beispiel das Lernen oder die Zuverlässigkeit der Werkzeugmaschinen und somit einen indirekten Einfluss auf die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen haben. Daher wurden die Aspekte in zwei Untergruppen aufgeteilt: die Faktoren und die Hebel für die Bedienbarkeit der Werkzeugmaschinen. Faktoren beeinflussen die erlebte Bedienbarkeit unmittelbar und direkt. Die Hebel, hingegen, beeinflussen zunächst die Faktoren, welche dann wiederum die Bedienbarkeit beeinflussen.

Eine Übersicht beispielhafter identifizierter Faktoren und Hebel ist in **Tabelle 1** und **Tabelle 2** zu sehen. Dort wird auch der jeweilige Kontext aufgezeigt, in welchem die Faktoren identifiziert wurden (Entwickler, Ausbilder oder Nutzer). Die Abhängigkeiten zwischen Hebeln, Faktoren und der Bedienbarkeit sind in **Bild 1** beispielhaft dargestellt.

Die Faktoren konnten bereits während der initialen Analyse in organisatorische, menschliche und technische Faktoren weiter unterteilt werden. Die Betrachtung von ergonomischen Ansätzen vor dem Hintergrund von Mensch, Technologie und Organisation wird in der Wissenschaft bereits aufgegriffen [17] und führt auch hier zu einer klareren Aufgliederung und Unterteilung der Faktoren.

Die identifizierten Hebel hingegen wurden in die Untergruppen: Maschinenentwicklung, organisatorische Hebel, externe Einflüsse, Bildung und individuelle Hebel unterteilt.

Die hier aufgezeigten Faktoren und Hebel sind beispielhafte Aspekte, welche während der Datenerhebung identifiziert wurden. Sie dienen als Grundlage zur Erarbeitung des folgenden Modells des Regelkreises der Bedienbarkeit.

Im weiteren Verlauf wurden die genaueren Beziehungen zwischen Hebeln, Faktoren und dem Dreieck der Bedienbarkeit untersucht. Hierbei wurde offensichtlich, dass dieses Modell als eine Art Loop oder Kreis betrachtet werden kann. Hebel beeinflussen Faktoren, welche wiederum die Bedienbarkeit beeinflussen.

Tabelle 1. Beispielhafte Faktoren mit direktem Einfluss auf die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen.

Identifizierter Faktor	Beschreibung	Kontext
<b>Maschine</b>		
Komplexität der Werkzeugmaschine	Empfundene Komplexität des Aufbaus und der Funktionen der Werkzeugmaschine	Entwickler, Ausbilder, Nutzer
Zuverlässigkeit der Werkzeugmaschine	Die Gewährleistung, dass Prozesse und die Werkzeugmaschine zuverlässig sind	Nutzer
Maschinensicherheit	Die Sicherheit einer Werkzeugmaschine und wie gering die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls ist	Entwickler, Ausbilder, Nutzer
Gestaltung der Mensch-Maschinen-Schnittstelle	Die Konzeption und Konfiguration der Benutzerschnittstelle der Werkzeugmaschine	Entwickler, Ausbilder, Nutzer
<b>Mensch</b>		
Angst vor der Nutzung der Werkzeugmaschine	Die Angst eines Nutzers, die Werkzeugmaschine tatsächlich zu benutzen	Ausbilder, Nutzer
Angst, die Maschine kaputt zu machen	Die Angst eines Nutzers, die Werkzeugmaschine kaputt zu machen, wenn die Maschine falsch bedient wird	Ausbilder, Nutzer
Angst vor Verletzung	Die Angst eines Nutzers sich oder andere durch die Nutzung der Werkzeugmaschine zu verletzen	Ausbilder, Nutzer
Angst vor Ablehnung	Die Angst der Nutzer, von Kollegen beurteilt zu werden, wenn sie Fragen stellen oder Fehler bei der Nutzung der Werkzeugmaschine machen	Ausbilder, Nutzer
Prozessverständnis	Die Fähigkeit es Nutzers die Abläufe an der Maschine zu erfassen und zu verstehen	Ausbilder, Nutzer
Hintergrund des Nutzers	Der persönliche, soziale Hintergrund und die Vorerfahrung jedes einzelnen Nutzers	Nutzer
Praktische Fähigkeit	Die tatsächliche Fähigkeit eines Nutzers, die erforderlichen Schritte bei der Bedienung einer Werkzeugmaschine auszuführen	Ausbilder, Nutzer
Gewohnheiten	Der Einfluss der individuellen Gewohnheiten, die jeder Nutzer bei der Bedienung von Werkzeugmaschinen an den Tag legt	Ausbilder, Nutzer
<b>Organisation</b>		
IT/Infrastruktur	Die vorherrschende IT und Infrastruktur, die für den Einsatz der Werkzeugmaschine bereitgestellt und benötigt wird	Entwickler, Nutzer
Prozess	Der grundlegende Produktionsprozess, in den die Werkzeugmaschine integriert ist	Entwickler, Ausbilder
Takt	Der Takt, in dem ein Produktionssystem läuft. Damit ist das Tempo gemeint, in dem eine Werkzeugmaschine ein Gutteil herstellen muss	Entwickler
Bauteilgestaltung	Die Gestaltung und das Konzept des herzustellenden Bauteils	Entwickler, Ausbilder

Basierend auf der daraus resultierenden Bedienbarkeit können aufbauend weitere Hebel gezogen werden und die Bedienbarkeit wird erneut versucht zu beeinflussen. Diese Abhängigkeiten sind in Bild 1 dargestellt.

Diese Verknüpfung von Hebeln, Faktoren und deren Zusammenhänge erinnert stark an eine Art Regelkreises, wie man ihn aus der Regelungs- und Steuerungstechnik kennt [18, 19]. Nachfolgend wird der Versuch unternommen, analog den Regelkreis

der Bedienbarkeit zu beschreiben mit dem Ziel, den Wirkmechanismus der Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen besser zu verstehen und bei Abweichungen vom IST-Zustand regelnd eingreifen zu können (**Bild 2**).

Die hier aufgezeigte Analogie des Regelkreises der Bedienbarkeit soll hauptsächlich dazu dienen, die Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen Faktoren und Hebeln zu verstehen. Das

**Tabelle 2.** Beispielhafte Hebel mit indirektem Einfluss auf die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen.

Identifizierter Hebel	Beschreibung	Kontext
<b>Maschinenentwicklung</b>		
Schwerpunkte während der Entwicklung	Schwerpunkte, welche während der Entwicklung der Werkzeugmaschine gesetzt werden	Entwickler
Entwicklungszeit	Zeit, welche für die Entwicklung der Werkzeugmaschine zur Verfügung steht	Entwickler
Budget	Das Budget, welches für die Entwicklung der Werkzeugmaschine zur Verfügung steht	Entwickler
<b>Organisatorische Hebel</b>		
Fehlerkultur	Die Art und Weise, wie ein Umfeld mit Fehlern umgeht, die bei der Nutzung der Werkzeugmaschine auftreten	Ausbilder, Nutzer
Atmosphäre	Die allgemeine Atmosphäre, die in der Werkstatt vorherrscht	Ausbilder, Nutzer
<b>Externe Hebel/ Einflüsse</b>		
Konstruktionsvorschriften	Vorschriften für die Konstruktion von Werkzeugmaschinen, die vom Unternehmen (intern) und Gesetzgebern (extern) vorgegeben werden	Entwickler
Ausbildungsvorschriften	Vorschriften für die Werkzeugmaschinen-ausbildung, die vom Unternehmen (intern) und Gesetzgebern (extern) vorgegeben werden	Ausbilder
Normen	Normen zur Werkzeugmaschinenkonstruktion	Entwickler
Sicherheitsvorschriften	Sicherheitsvorschriften für die Nutzung von Werkzeugmaschinen, die vom Unternehmen (intern) und der Gesetzgebung (extern) vorgegeben werden	Entwickler, Ausbilder, Nutzer
<b>Bildung/ Lernen</b>		
Ausbildungsansatz	Der Ausbildungsansatz, welchen die Ausbilder verfolgen	Ausbilder
Lernumgebung	Die Lernumgebung, die den Nutzern zur Verfügung gestellt wird	Ausbilder, Nutzer
Lehrstil	Der Lehrstil des Ausbilders	Ausbilder, Nutzer
<b>Individuelle Hebel</b>		
Motivation	Die individuelle Motivation eines jeden Nutzers	Nutzer, Ausbilder
Individuelle Herausforderungen	Weitere individuelle Herausforderungen des Nutzers	Nutzer

Beeinflussen eines Hebels hat wiederum eine Auswirkung auf einen Faktor und so entsteht ein Regelkreis.

Eine Übersicht der Elemente des Regelkreises und deren Analogie zur Bedienbarkeit ist in **Tabelle 3** aufgezeigt und anhand von Beispielen verdeutlicht.

Folgendes Beispiel veranschaulicht die Zusammenhänge im Regelkreis. Auf einer CNC-Fräse sollen pro Tag 30 Gutteile produziert werden.  $W(t)$  sind in diesem Fall 30 Gutteile. Tatsächlich werden im Schnitt jedoch lediglich 26 Gutteile produziert  $x(t)$ .  $E(t)$  ist in diesem Fall also 4 Gutteile ( $w(t)-x(t)$ ) also  $30 - 26$  Gutteile). Der Meister wird damit beauftragt Maßnahmen zur Verbesserung der Auslastung der Maschine zu ergreifen. Der Meister beschließt Schulungen zum konkreten Umgang mit der

Werkzeugmaschine für die Bauteile der Serie durchzuführen  $y(t)$ . Diese Schulungen tragen direkt zu einem verbesserten Prozessverständnis der Bedienenden bei. Jedoch ist am gleichen Abend Deutschland bei der Fußball EM in der Vorrunde ausgeschieden. Die Stimmung an der Linie ist am nächsten Tag generell sehr schlecht  $z(t)$ . Durch die zusätzliche Schulung sind die Bediener im Umgang mit der Maschine sicherer. Dies wirkt sich positiv auf die Nutzung aus. Jedoch spiegelt sich auch die schlechte Grundstimmung in der allgemeinen Produktivität wider. An diesem Tag liegt die Produktion bei 28 Gutteilen.  $X(t)$  hat sich also um 2 Gutteile erhöht. Der nun gemessene Wert an Gutteilen fließt erneut in die Planung für den nächsten Tag ein. Der Meister (Regler) registriert, dass das Verständnis gestiegen ist, jedoch

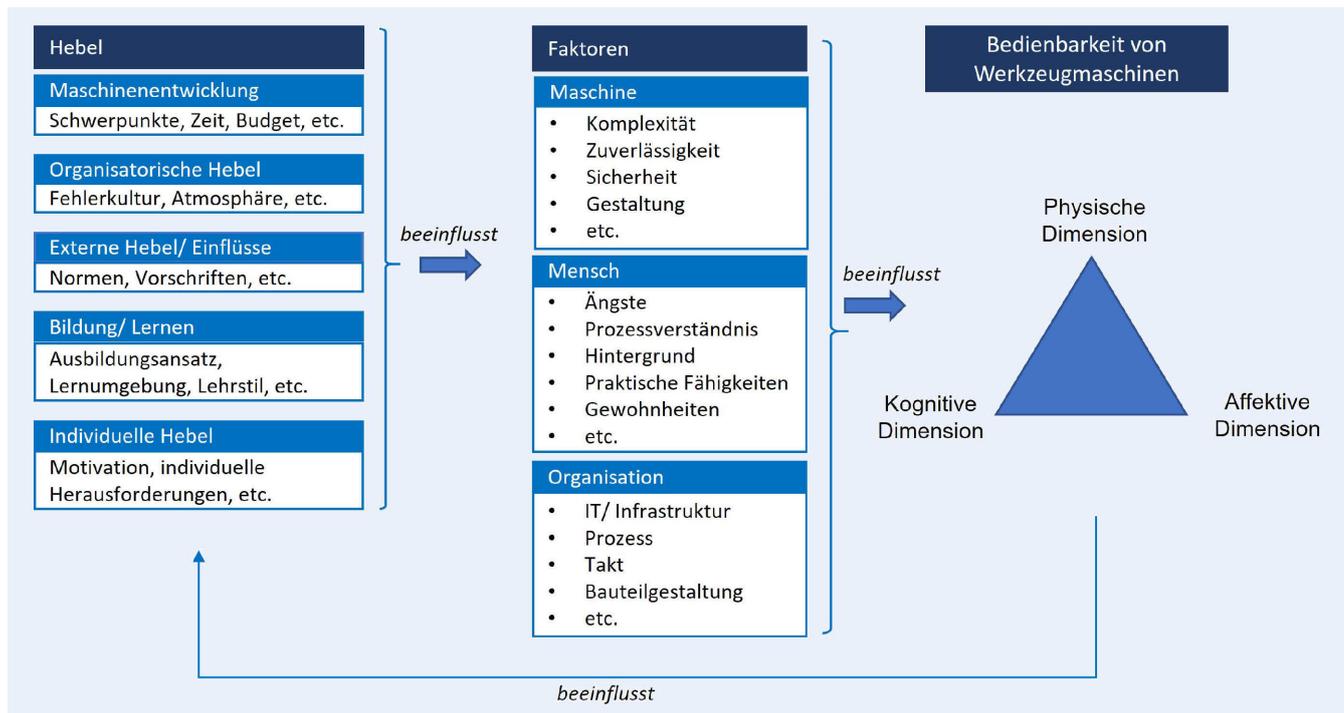


Bild 1. Abhängigkeiten zwischen identifizierten Hebeln, Faktoren und der Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen. Grafik: Luisa Lange

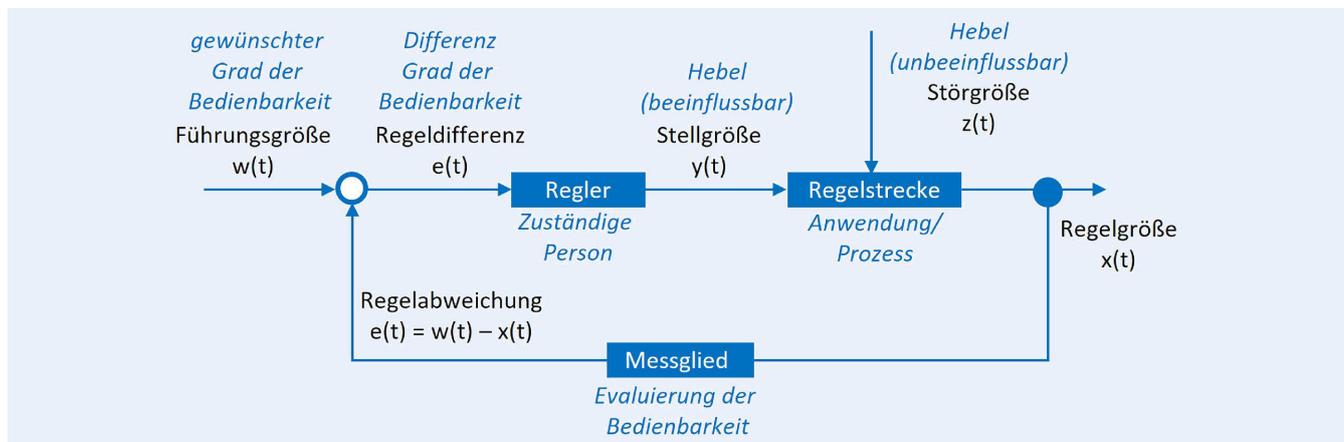


Bild 2. Regelkreis der Bedienbarkeit in Anlehnung an den Regelkreis nach DIN 19226/4. Grafik: Luisa Lange

die Tagesform schlecht war. Daher ergreift er nun gezielt neue Maßnahmen (Hebel) um die Motivation und dadurch auch die Bedienbarkeit zu stärken.

Das Modell des Regelkreises kann gezielt dazu verwendet werden, die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen zu beeinflussen. Wird nun beispielsweise ein Faktor identifiziert, der einen Einfluss auf die Bedienbarkeit einer Maschine hat, so lässt sich das Modell des Regelkreises beschreibend heranziehen. Hat beispielsweise ein Bediener generell eher Angst beziehungsweise Hemmungen vor der Nutzung einer Maschine, so kann dies einen Einfluss auf die Bedienbarkeit der Werkzeugmaschine und somit auch auf das Ergebnis des Produktionsvorgangs haben. Kommen nun noch externe Störgrößen wie beispielsweise Zeitdruck oder eine schlechte Tagesform hinzu, so verschlechtert sich die Bedienbarkeit der Werkzeugmaschine noch weiter. Wird dies im internen Messsystem erfasst (zum Beispiel Anzahl produzierter Gutteile oder Maschinennutzungsdauer), so haben die Mana-

ger/ Meister nun die Möglichkeit, gezielt Hebel zu betätigen, um diesen Faktor zu beeinflussen, wie beispielsweise an der vorherrschenden Atmosphäre oder der Fehlerkultur zu arbeiten. Diese Hebel können sowohl von kurzfristiger (ad hoc) als auch von langfristiger Wirkung sein.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass es essenziell ist, diese Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Einflussaspekten zu verstehen, um gezielt an der Bedienbarkeit auf menschlicher, technischer und organisatorischer Ebene ansetzen zu können.

Nach einer eingehenden Ausarbeitung und Reflexion des Modells wurde deutlich, dass es sich prinzipiell eher um einen multifaktoriellen Regler handelt. Das bedeutet, dass die Abhängigkeiten zwischen den Variablen zusätzlich betrachtet werden müssen. Ein Hebel kann also einen Einfluss auf mehrere Faktoren haben, und ebenso kann ein Faktor von verschiedenen Hebeln beeinflusst werden. Dennoch bietet das Modell des Regelkreises der Bedienbarkeit eine erste Veranschaulichung der Abhängigkeiten und

Tabelle 3. Analogien Regelkreis der Bedienbarkeit.

Element	Analogie zur Bedienbarkeit	Funktion	Beispiel
Führungsgröße $w(t)$	Gewünschter Grad der Bedienbarkeit der Werkzeugmaschine	Dies ist der gewünschte Wert, also der tatsächliche Grad der Bedienbarkeit, den das Mensch-Maschine-System halten soll	$W(t)$ ist in diesem Fall 30 Gutteile.
Regelabweichung $e(t) = w(t) - x(t)$	Differenz im Grad der Bedienbarkeit der Werkzeugmaschine	Dies ist die Differenz zwischen dem tatsächlichen Grad der Bedienbarkeit und dem gewünschten Grad der Bedienbarkeit, die durch einfache Subtraktion berechnet wird.	$e(t) = 30 \text{ Gutteile} - 26 \text{ Gutteile} = 4 \text{ Gutteile}$
Regler	Person, welche über die Änderung entscheidet (z.B. Meister, Manager)	Dies ist der eigentliche Akteur, der entscheidet, welche Schritte unternommen werden sollen, die in den Prozess einzugreifen, um den gewünschten Grad der Bedienbarkeit zu erreichen	Der Meister
Stellgröße $y(t)$	Hebel, der gezogen wird, um in den Prozess einzugreifen	Dies ist der Hebel, den der Steuerungsakteur beeinflusst, um den gewünschten Grad der Bedienbarkeit zu erreichen.	Schulungen zur Werkzeugmaschine
Störgröße $z(t)$	Äußerer Einfluss auf die Faktoren	Zusätzliche Einflüsse von außen auf die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen, welche innerhalb des Systems nicht steuerbar sind	Fußball EM beeinflusst die Motivation
Regelstrecke	Der Prozess der tatsächlichen Nutzung der Werkzeugmaschine	Prozess der Nutzung der Werkzeugmaschine, einschließlich aller Einflüsse von innerhalb und außerhalb des Systems	Nutzung der Werkzeugmaschine über den Tag
Regelgröße $x(t)$	Grad der Bedienbarkeit nach Implementierung der Maßnahmen	Dies ist der tatsächliche Grad der Bedienbarkeit, der nach der Implementierung der Maßnahme erreicht wurde	$X(t) = 28 \text{ Gutteile}$
Messglied	Ein von der Organisation zur Messung der Bedienbarkeit eingerichteter Mechanismus	Dieses Element misst die neue Ausgangs-Regelgröße und vergleicht sie mit der tatsächlichen Führungsgröße	Erfassung der Gutteile am Ende des Tages.

trägt somit wesentlich zum Verständnis der Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen bei. Es ist anzumerken, dass die einzelnen Elemente dieses Modells und deren Zusammenhänge in weiteren Studien untersucht, weiterentwickelt, und das Modell anschließend in der Praxis validiert werden sollte.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

In einer qualitativen Studie wurden die Einflussfaktoren auf die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen systematisch erfasst und analysiert, woraus das Modell des Regelkreises der Bedienbarkeit abgeleitet wurde. Dieses Modell konzeptualisiert die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen analog zu einem Regelkreis, der aus einem Regler, einer Regelstrecke und einem Messglied besteht. Diese Analogie zielt darauf ab, die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen zu erfassen und gezielt zu beeinflussen.

Das Modell bietet einen ganzheitlichen Ansatz, der das Verständnis der Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen für Anwender, Entwickler, Ausbilder und Manager stärkt. Es fungiert als Grundlage für die Erarbeitung eines Leitfadens, der es den Beteiligten ermöglicht, aktiv die relevanten Einflussfaktoren zu identi-

fizieren und zu steuern, um die Bedienbarkeit der Werkzeugmaschine gezielt in die gewünschte Richtung zu lenken.

Die vorliegende Arbeit trägt zur aktuellen Diskussion über die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen bei, indem sie ein umfassendes Modell präsentiert, das die komplexe Dynamik der Mensch-Maschine-Interaktion in der Fertigung erfasst. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse bieten einen nuancierten Ansatz zur Verbesserung der Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen unter Berücksichtigung der sich kontinuierlich wandelnden Fertigungslandschaft.

### FÖRDERHINWEIS

Diese Forschungsarbeit wird durch dtcc.bw – Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr gefördert. dtcc.bw wird von der Europäischen Union – NextGenerationEU finanziert.

## Literatur

- [1] Röcker, C.; Büttner, S. (Hrsg.): Human-Technology Interaction. Cham: Springer International Publishing 2023
- [2] Puschmann, P.; Becker, G.; Camarinopoulos, A. et al.: Von fertigungsbauiertem zu regelbasiertem Verhalten bei der Bedienung von Werkzeugmaschinen. In: GfA, Dortmund (Hrsg.): Frühjahrskongress 2019, Dresden Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten 2019
- [3] Brecher, C.; Kolster, D.; Herfs, W.: Innovative Benutzerschnittstellen für die Bedienpanels von Werkzeugmaschinen. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 106 (2011) 7–8, S. 553–556
- [4] Brecher, C.; Sittig, S.; Hellig, T. et al.: Ansatz eines Maschinenzentrierten ortsspezifischen Bedienkonzepts für Werkzeugmaschinen auf Basis applikations- und situationsabhängiger Informationsbereitstellung. In: GfA, Dortmund (Hrsg.): Frühjahrskongress 2019, Dresden Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten 2019
- [5] Mockenhaupt, A.; Schlagenhauf, T.: Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Produktion. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2024
- [6] Rebeggiani, L.; Wilke, C. B.; Wohlmann, M. (Hrsg.): Megatrends aus Sicht der Volkswirtschaftslehre. Demografischer Wandel – Globalisierung & Umwelt – Digitalisierung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2020
- [7] Lange, L.; Buxbaum-Conradi, S.; Redlich, T. et al.: Sozio-technische Einflussfaktoren auf die Bedienbarkeit von Werkzeugmaschinen. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 118 (2023) 6, S. 371–375
- [8] Wogalter, M. S.; Laughery, K. R. Sr.; Mayhorn, C. B.: Chapter 29. Warnings and Hazard Communications. In: Salvendy, G. (Hrsg.): Handbook of human factors and ergonomics. Hoboken, NJ: Wiley 2012, S. 868–894
- [9] Schütte, S. T. W.; Eklund, J.; Axelsson, J. R. C. et al.: Concepts, methods and tools in Kansei engineering. Theoretical Issues in Ergonomics Science 5 (2004) 3, S. 214–231
- [10] Liu, X.; Lei, T.; Chen, T. J. et al.: A Study on the Industrial Design of Machine Tools Based on the Kansei Engineering Methods. Applied Mechanics and Materials 437 (2013), S. 914–917
- [11] Camerer, C.; Loewenstein, G.; Prelec, D.: Neuroeconomics: How Neuroscience Can Inform Economics. Journal of Economic Literature 43 (2005) 1, S. 9–64
- [12] Helander, M. G.; Khalid, H. M.: Chapter 20 – Affective Engineering and design. In: Salvendy, G. (Hrsg.): Handbook of human factors and ergonomics. Hoboken, NJ: Wiley 2012, S. 569–596
- [13] Glaser, B. G.; Strauss, A. L.: The discovery of grounded theory. Strategies for qualitative research. New York: Aldine De Gruyter 1967
- [14] Corbin, J.; Strauss, A.: Basics of qualitative research. Techniques and procedures for developing grounded theory. London: SAGE Publications 2015
- [15] Williamson, K.: Research methods for students, academics and professionals. Information management and systems. Wagga Wagga, N.S.W.: Centre for Information Studies, Charles Sturt University 2002
- [16] Glaser, B. G.; Strauss, A. L.: The discovery of grounded theory. Strategies for qualitative research. London, New York: Routledge 2017
- [17] Karlton, A.; Karlton, J.; Berglund, M. et al.: HTO – A complementary ergonomics approach. Applied Ergonomics 59 (2017) Pt A, pp.182–190
- [18] Grote, K.-H.; Dubbel, H. (Hrsg.): Taschenbuch für den Maschinenbau. Mit mehr als 3000 Abbildungen und Tabellen. Berlin, Heidelberg: Springer 2005
- [19] DIN 19226-4:1994-02: Leittechnik; Regelungstechnik und Steuerungstechnik; Begriffe für Regelungs- und Steuerungssysteme. 1994



**Luisa Lange, M. Sc.**   
[luisa.lange@hsu-hh.de](mailto:luisa.lange@hsu-hh.de)

**Dr. Manuel Moritz**

**Dr. Sonja Buxbaum-Conradi**

**Dr. Tobias Redlich**

**Prof. Dr. Jens P. Wulfsberg**

Helmut-Schmidt-Universität/UniBw H  
 New Production Institute  
 Laboratorium Fertigungstechnik  
 Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg  
<https://newproductioninstitute.de>

