



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Anika Ahmeti

Smart Machining – Definition und Abgrenzung eines neuen Trends in der Fertigungstechnik

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and
Production Management*

Anika Ahmeti
Smart Machining – Definition und
Abgrenzung eines neuen Trends in der
Fertigungstechnik

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau und Produktion
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer: Herr Prof. Dr. Christian Müller
Zweitprüfer: Herr Jörg Sahling

Abgabedatum: 28.02.2023

Zusammenfassung

Anika Ahmeti

Thema der Bachelorthesis

Smart Machining – Definition und Abgrenzung eines neuen Trends in der Fertigungstechnik

Stichworte

Smart Machining, Smart Factory, Fertigungstechnik, digitale Lösung, künstliche Intelligenz, Automatisierung, Digitalisierung, Industrie 4.0, Zerspanungstechnik, CNC

Kurzzusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es mittels Recherche, die neuen Trends „Smart Machining“ und „Smart Factory“ eindeutig zu definieren und eine standardisierte Definition einzuführen. Mittels methodischen Vergleich wird erörtert, inwiefern „Smart Machining“ ein von der „Smart Factory“ separater eigener Ansatz ist und aus welchen Kernelementen sich ein „Smart Machining“ zusammensetzt. Sowie ob ein „Smart Machining“ sich lediglich auf zerspanende Fertigungsverfahren beschränkt oder als eine universelle digitale Lösung für alle Hauptgruppen der Fertigungstechnik fungiert.

Anika Ahmeti

Title of the paper

Smart Machining – Definition and delimitation of a new trend in manufacturing technology

Keywords

Smart Machining, Smart Factory, manufacturing technology, digital solution, artificial intelligence, automation, digitalization, Industry 4.0, machining technology, CNC

Abstract

The goal of this thesis is to use research to clearly define the new trends "Smart Machining" and "Smart Factory" and to introduce a standardized definition. By means of a methodical comparison, it will be discussed to what extent "Smart Machining" is a separate approach from "Smart Factory" and which core elements make up "Smart Machining". It will also be discussed whether "Smart Machining" is limited to machining processes or whether it functions as a universal digital solution for all main groups of manufacturing technology.

Vorwort

In der vorliegenden Arbeit werden zunehmende neue Begrifflichkeiten hinsichtlich der neuen Trends in der Fertigung genutzt. Hierbei handelt es sich überwiegend um englischsprachige Begrifflichkeiten, die sich durch mehr als nur ein starres Wort übersetzen und auch verstehen lassen. Der Begriff „*Smart Machining*“ ist eines dieser Begrifflichkeiten. Es ist ein Begriff ohne standardisierte Definition. Der Begriff „*Smart*“ lässt sich zum Beispiel mit klug oder schnell übersetzen. Auch für den Begriff „*Machining*“ gibt es vielzählige Übersetzungen, so könnte man Machining mit Bearbeitung, Zerspanungstechnik, Verarbeitung, maschinelle Bearbeitung oder maschinelles Fertigen übersetzen.

Als Hinweis für ein besseres Verständnis der vorliegenden Arbeit nenne ich vorab meine persönliche sprachliche Übersetzung des Begriffes „*Smart Machining*“. Für mich lässt sich der Begriff *Smart* besonders passend mit den Wörtern „*intelligent*“ und „*Bearbeitung*“ übersetzen.

Neben den zahlreichen Übersetzungen der Begrifflichkeiten gibt es auch eine Vielzahl an möglichen Definitionen und Anwendungsgebieten zum „*Smart Machining*“. Die vorliegende Arbeit ist dementsprechend inspiriert von unterschiedlichen Sichtweisen aus der Forschung und Literatur.

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während des Studiums unterstützt haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Professor Dr. C. Müller, der meine Bachelorarbeit betreut und begutachtet hat. Für die hilfreichen Anregungen und konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken. Zudem möchte ich mich herzlich für die gute Lehre in den Modulen, wie Werkzeugmaschinen, Fertigungstechnik und dem Bachelorprojekt bedanken.

Zudem gilt mein Dank auch Herrn J. Sahling, der zahlreiche Laborveranstaltungen geführt hat und so dazu beigetragen hat meine Praxiserfahrung in der Fertigungstechnik zu erweitern.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	ZIELSETZUNG DER ARBEIT.....	1
1.2	EINFÜHRUNG IN DAS WISSENSGEBIET.....	2
1.3	AUFBAU DER ARBEIT.....	5
1.4	VERWENDETE METHODEN.....	6
2	NEUE TRENDS IN DER FERTIGUNGSTECHNIK.....	6
2.1	SMART MACHINING.....	6
2.1.1	<i>Smart Machining System.....</i>	<i>7</i>
2.1.2	<i>Intelligent Process Planning – Intelligente Prozess Planung.....</i>	<i>9</i>
2.1.3	<i>Process Simulation and Optimization – Prozesssimulation und Optimierung</i>	<i>9</i>
2.1.4	<i>The Machining Process Monitoring.....</i>	<i>10</i>
2.1.5	<i>The intelligent Control – Die intelligente Überwachung.....</i>	<i>10</i>
2.1.6	<i>The Database and Big Data Analytics – Datenbank und Big Data Analyse</i>	<i>11</i>
2.1.7	<i>Smart Machine Tool.....</i>	<i>11</i>
2.2	„SMART MACHINES“ AUS EUROPÄISCHER SICHT.....	12
2.3	SMARTE MASCHINEN AUS DER SICHT VON ULRICH ERBL.....	13
2.4	WERKZEUGMASCHINENHERSTELLER UND SMART MACHINING.....	14
2.4.1	<i>Werkzeugmaschinenhersteller Mazak.....</i>	<i>14</i>
2.4.2	<i>Werkzeugmaschinenhersteller ALMI Smart Machining.....</i>	<i>15</i>
2.4.3	<i>Werkzeugmaschinenhersteller FANUC.....</i>	<i>16</i>
2.5	WEITERE DEFINITION ZUM „SMART MACHINING“.....	19
2.6	SMART FACTORY.....	23
2.6.1	<i>Anforderungen an die Smart Factory.....</i>	<i>23</i>
2.6.2	<i>Digitalisierung in der Smart Factory.....</i>	<i>26</i>
2.6.3	<i>Definition Smart Factory.....</i>	<i>27</i>
2.6.4	<i>MES in der Smart Factory.....</i>	<i>28</i>
2.7	SMART FACTORY AUS DER SICHT VON HERSTELLERN.....	31
2.7.1	<i>Smart Factory aus der Sicht von Siemens.....</i>	<i>31</i>
2.7.2	<i>Smart Factory aus der Sicht von FORCAM Smart Factory experts.....</i>	<i>32</i>
2.8	VOR- UND NACHTEILE SMART MACHINING.....	33
2.9	VOR- UND NACHTEILE SMART FACTORY.....	34

3	AUSWERTUNG	34
3.1	VERGLEICH SMART MACHINING UND SMART FACTORY	35
3.2	CHECKLISTE	37
3.2.1	<i>Anleitung</i>	38
3.2.2	<i>Beispiel Anwendung</i>	39
4	FAZIT	41
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	42
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	44
	ANHANG 1: MASCHINENAUSSTATTUNG SPINNER U5-620.....	47
	ANHANG 2 PRODUKTWERBUNG SMART MACHINING	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Detaillierte Darstellung eines Smart Machining System.....	8
Abbildung 2 - Mazak Smart Machine Tool INTEGREX e-500H	15
Abbildung 3: Intelligentes Steuerungssystem.....	17
Abbildung 4: CNC Nachrüstung	18
Abbildung 5: FANUC 0i Steuerung.....	19
Abbildung 6: Prinzipdarstellung eines Regelkreises in der Produktion	24
Abbildung 7: Flächendeckende Datenerfassung in der Produktion.....	25
Abbildung 8: 4-Stufenmodell zur Digitalisierung.....	26
Abbildung 9: Informationsabläufe eines MES.....	29
Abbildung 10: Interoperabilität von MES zwischen mehreren Smart Factories.....	30
Abbildung 11: Aufbau Smart Factory.....	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Checkliste zur Identifikation von Smart Machining	38
Tabelle 2: Beispiel - Checkliste zur Identifikation von Smart Machining	40

Abkürzungsverzeichnis

CNC	Computerized Numerical Control
ERP	Enterprise-Resource-Planning
MES	Manufacturing Execution System
HR	Personalbereich
LVS	Lagerverwaltungssysteme
KI	Künstliche Intelligenz
SMS	Smart Machining System
IIOT	Industrial Internet of Things
IOT	Internet der Dinge
OEE	Gesamtanlageneffektivität
PWG	Prozesswirkungsgrad

1 Einleitung

Das 21. Jahrhundert, ein goldenes Zeitalter der Digitalisierung und Automatisierung in der industriellen Welt. Die Industrie befindet sich in einem stetigen Wandel¹. Nach der Erfindung der Dampfmaschine, Fließband und Computer ist zunehmend eine digitale Transformation in der Industrie zu beobachten, so kommunizieren Bauteile eigenständig mit der Fertigungsmaschine. Die Fertigungsmaschinen veranlassen ihre eigene Reparatur. Menschen, Maschinen und industrielle Prozesse sind intelligent vernetzt, sodass völlig neue datengesteuerte Geschäftsmodelle entstehen. Vernetzte Fabriken und Datenräume gelten als vierte industrielle Revolution. Individueller, effizienter, flexibler, schneller und vor allem intelligent produzieren lautet die Devise. Begrifflichkeiten wie Industrie 4.0, Smart Factory, Smart Machining, Green Machining, Digital Manufacturing und viele weitere Begriffe sind längst in unserem Sprachgebrauch angekommen. Es gibt eine Vielzahl an neuen Begrifflichkeiten im Kontext Digitalisierung. In der Industrie 4.0 ist es keine Seltenheit, dass intelligente Maschinen eigenständig Fertigungsprozesse koordinieren und Roboter den Menschen zum Beispiel bei der Montage unterstützen. Die Produktion in der Industrie 4.0 verzahnt sich mit moderner Information- und Kommunikationstechnik, sodass starre und fest definierte Wertschöpfungsketten dynamisch und flexibel werden². Laut einer Studie von Microsoft haben 69 Prozent der befragten europäischen Industrieunternehmen bereits eine Smart Factory Strategie definiert (Microsoft, Intel, & Analytics, 2022)³.

1.1 Zielsetzung der Arbeit

Ausgehend von der Vielzahl an neuen Begrifflichkeiten und Trends in der Industrie und Fertigung ist es unabdingbar eindeutige Definitionen und Beschreibungen festzulegen. Insbesondere die Differenzierung innerhalb der Begrifflichkeiten ist notwendig, um ein besseres Verständnis zu generieren. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es mittels Recherche die neuen Begrifflichkeiten „Smart Machining“ und „Smart Factory“ eindeutig zu definieren und eine standardisierte Definition einzuführen. Mittels methodischer Vergleiche wird erörtert inwieweit „Smart Machining“ ein von der „Smart Factory“ separater eigener Ansatz ist und aus welchen Kernelementen ein „Smart Machining“ besteht. Sowie ob ein „Smart Machining“ sich

¹ DiConneX, <https://diconnex.com/blog/2020/06/23/die-industrielle-revolution/>, Zugriff 19.01.23

² Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/industrie-40.html>, Zugriff 19.01.23

³ Löffler, Grosche, 2023, <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/wie-die-deutsche-industrie-durch-smart-production-zur-pole-position-zurueckkehrt-a-8c6502ace6d02552c91fb928e365f159/>, Zugriff 19.01.23

lediglich auf zerspanende Fertigungstechniken beschränkt oder als eine universelle digitale Lösung für alle Hauptgruppen der Fertigungstechnik fungiert.

1.2 Einführung in das Wissensgebiet

Laut dem Stand der Technik befindet sich die Welt in der vierten industriellen Revolution und wird zunehmend mit dem Begriff Industrie 4.0 assoziiert. Die rasche Entwicklung in der CNC-Bearbeitung und der künstlichen Intelligenz sowie deren Anwendung in der Fertigungsindustrie sind von großer Bedeutung. Hinsichtlich der vorteilhaften Aspekte erhält das maschinelle Fertigungssystem Einzug in die Industrie und entwickelt sich zunehmend in den Bereichen Automatisierung, Optimierung, Flexibilität, Integration, Intelligenz und Präzision weiter. Der Aspekt löst eine neue Ideen hinsichtlich moderner Maschinebausystemen aus⁴.

Um ein besseres Verständnis für die weiteren Kapitel der vorliegenden Arbeit zu erhalten, werden nachfolgend die Begrifflichkeiten Zerspanungstechnik, CNC-Bearbeitung, Künstliche Intelligenz, Industrie 4.0 kurz erläutert. Sowie der Wandel von Innovations- und Transformationsprozessen dargelegt.

Zerspanungstechnik:

Die Zerspannungstechnik zählt nach der DIN 8580 zu der Hauptgruppe Trennen. Das Trennen wird definiert als das Fertigen durch Änderung der Form eines festen Körpers. Das Fertigungsverfahren der Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide findet in der Industrie den häufigsten Einsatz. Hierzu zählen das Drehen, Fräsen, Bohren, Hobeln und Räumen. Zum Spanen mit unbestimmter geometrischer Schneide zählt das Schleifen⁵. Eine detaillierte Beschreibung zum Spanen findet man im Buch Fertigungstechnik von Alfred Herbert Fritz.

CNC-Bearbeitung:

Die Wurzeln der modernen Industrie liegen in der CNC-Bearbeitung⁶. Der Begriff CNC beschreibt die computergestützte und unterstützte Kontrolle von Maschinen, die mehrdimensional arbeiten. CNC-Maschinen werden mithilfe eines Computer gesteuert und bearbeiten Werkstücke mit unterschiedlichen Werkzeugen sowie unterschiedlichen Parametern. Die CNC-Maschine hat ihren Ursprung in dessen Vorgänger, der NC- Maschine. In der NC-Maschine wurden die Daten zur Bearbeitung über eine Lochkarte in die Maschine

⁴ Übersetzt durch den Autor (Vgl. Zhu, 2022, S.1)

⁵ Fritz, 2018, S.1

⁶ Übersetzt durch den Autor (Vgl. Zhu, S.VII)

eingespeist, sobald die Bearbeitung beginnt, können keine Änderungen des Steuerungsprogramm mehr vorgenommen werden. Moderne CNC-Maschinen hingegen besitzen einen integrierten Kleinrechner, sodass eine Korrektur und Änderung des Steuerungsprogramm direkt an der Maschine gewährleistet⁷.

Künstliche Intelligenz:

Künstliche Intelligenz ist so definiert, dass sie Aspekte des menschlichen Verhaltens in sich nachbildet, um so menschlich zu agieren. Eigenschaften der künstlichen Intelligenz sind das Lösen von Problemen, Erklären, Lernen, Sprachverständnis und flexible Reaktionen eines Menschen auszuführen⁸. Künstliche Intelligenz lässt sich in zwei Segmente unterteilen, der schwachen KI und der starken KI. Ein drittes Segment, welches je nach Auslegung Anwendung findet, nennt man künstliche Superintelligenz⁹. Zhu ist der Auffassung, dass ausgehend von der rasanten Entwicklung der KI und modernen Sensortechnologie die fortschrittlichen KI-Technologien zunehmend erforscht wurden, um so die Fertigungsintelligenz, Bearbeitungspräzision und die Produktivität zu steigern. Der Zusammenhang zwischen künstlicher Intelligenz und moderner Sensortechnologie führt zu einer intelligenten Bearbeitung, dem Smart Machining. Ein Smart Machining System (SMS) hat ihren Ursprung in der modernen Theorie der Metallzerspanung und der intelligenten Fertigungstechnologie. Eine intelligente Fertigungstheorie macht es möglich den Zerspanungsprozess durch Systemwahrnehmung und gleichzeitiger Rückmeldung intelligent vorherzusagen sowie zu optimieren, indem diese eine Online-Sensorik und Datenverarbeitung zur Echtzeitüberwachung des Bearbeitungsprozess besitzt. Die KI-Technologie, auch maschinelles Lernen genannt ermöglicht es während der Bearbeitungsprozesses den Bearbeitungsstatus zu bestimmen und in Echtzeit die Prozessparameter zu optimieren¹⁰.

Maschinelles Lernen:

Das maschinelle Lernen generiert Wissen aus Erfahrung, indem Lernalgorithmen anhand von Beispiel ein komplexes Modell erstellen. Das automatisch erworbene Wissen wird anschließend auf neue, eventuell unbekannte Daten derselben Art angewandt. Insbesondere bei komplizierten Prozessen eignet sich das maschinelle Lernen. Ausgehend von den

⁷ Reinshagen, 2019, <https://www.maschinenmarkt.ch/cnc-maschinen-kurz-erklart-a-825310/>, Zugriff 19.02.23

⁸ Gentsch, 2018, S.17f.

⁹ Oppermann, 2018, S.4

¹⁰ Übersetzt durch den Autor (Vgl. Zhu, 2022, S. VII)

erlernten Modellen kann das maschinelle Lernen Vorhersagen treffen und Empfehlungen entwickeln¹¹.

Weiterführend wird nun der Wandel von Innovations- und Transformationsprozessen vorgestellt.

Industrie 1.0 (Mechanisierung):

Die Wurzeln der industriellen Revolution liegen in England und begann im Jahr 1780. Erst im 19. Jahrhundert erreichte die industrielle Revolution europäische Länder. Zu dieser Zeit startete die Massenproduktion durch Wasser- und Dampfkraft Produktionsmaschinen. Zu den bedeuteten Erfindungen dieser Zeit zählen der mechanische Webstuhl, die Dampfmaschine und die Eisenbahn. Manufaktur und Handwerk wurden in dieser Entwicklungsphase durch Maschinen ersetzt.

Industrie 2.0 (Massenproduktion):

In den 1830er Jahren erhält die Industrie durch Elektrizität, die als Antriebskraft eingesetzt wurde einen weiteren Fortschritt. Die zuvor in der Industrie 1.0 erwähnten Dampfmaschinen wurden gegen Ende des 19. Jahrhunderts durch elektrisch angetriebene Maschinen ersetzt. Zeitgleich wurde in Fabriken die Fließbandarbeit eingeführt. Dies führte zu Rekordzeiten während der Produktion von Massengütern. Besonders geprägt wurde die Industrie 2.0 1913 durch Henry Ford, der Fließbandarbeit in der Autoproduktion einführte. Zusätzlich erhält die Industrie 2.0 auch einen Aufschwung im Bereich der Telekommunikation.

Industrie 3.0 (Automatisierung):

Der Baustein für die dritte industrielle Revolution wurde im Jahr 1941 durch Konrad Ernst Otto Zuse gelegt. Dieser erfand den ersten funktionsfähigen Computer, genannt Z3 oder auch Zuse-Rechner. Besonderheiten des Rechners waren die programmgesteuerte Benutzung, die freie Programmierbarkeit und die Vollautomatisierung. Ausgehend von dem Zuse-Rechner wurden zu dieser Zeit, die verwendeten automatischen Rechenmaschinen durch Computer ersetzt. Dies führte zu einer Veränderung in der Produktion, sodass zunehmend Maschinen, die Arbeit der Menschen übernahmen. Ab dem 1990er Jahren sorgt das Internet für einen weiteren Fortschritt in der Industrie¹².

¹¹ Fraunhofer, https://www.bigdata-ai.fraunhofer.de/content/dam/bigdata/de/documents/Publicationen/Fraunhofer_Studie_ML_201809.pdf, Zugriff 25.02.23

¹² ASS, <https://www.arbeitssicherheit-sofort.de/magazin/industrie-4-0-definition/>, Zugriff 05.01.23

Industrie 4.0 (Digitalisierung und Vernetzung):

Der Begriff Industrie 4.0 bezeichnet die dauerhafte und intelligente Verknüpfung sowie Vernetzung von Maschinen und maschinellen Abläufen in der Industrie. Mittels Digitalisierung wird eine Kommunikations- und Informationstechnologie eingesetzt, die es ermöglicht, dass sich Menschen, Maschinen und die entstehenden Produkte gegenseitig vernetzen, um somit eine höhere und effektivere Produktivität zu erzeugen. Wichtige Merkmale der Industrie 4.0 sind flexible Produktionsumgebungen, Optimierte Logistikkösungen, aktive Ressourcenschonung, Kundenorientierung und die effektive Nutzung aller vorhandenen Daten. Eine flexible Produktionsumgebung sorgt dafür, dass über eine Produktionsstraße ein Produkt in mehreren verschiedenen Variationen hergestellt wird. Im Bereich der Logistik sorgen eine smarte Vernetzung und Digitalisierung dafür, dass Warenketten von Algorithmen optimiert und berechnet werden. Fehlende Produktionsmittel werden durch das Lager und der Maschinen selbständig gemeldet¹³.

1.3 Aufbau der Arbeit

Zur Erarbeitung einer Definition des „Smart Machining“ ist die vorliegende Arbeit in fünf Kapitel gegliedert. Nach dem ersten, der Einleitung dienendem Kapitel, werden im folgenden zweiten Kapitel die neuen Trends in der Fertigungstechnik umfassend vorgestellt. Aufgrund der Vielzahl an Begriffen im Zusammenhang mit Smart Machining ist eine umfassende Recherche unabdingbar und für die in Kapitel drei vorhandene Auswertung notwendig. In Kapitel drei, der Auswertung werden zunächst die beiden Trends „Smart Machining“ und „Smart Factory“ miteinander verglichen. Der Vergleich dient zur Differenzierung beider Trends. Im Anschluss an den Vergleich werden die Kernelemente eines „Smart Machining in einer selbsterstellten Checkliste, die zur Anwendung der Identifikation von Maschinen und Prozessen dient, vorgestellt. In den anschließenden Unterkapiteln folgt zunächst eine Anleitung zur Benutzung der Checkliste. Im Anschluss folgt eine beispielhafte Benutzung der Checkliste. In Kapitel vier wird ein Fazit bezogen auf die Zielsetzung der Arbeit vorgestellt. Abschließend werden in Kapitel fünf die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf mögliche zukünftige Entwicklungen wird geboten.

¹³ Hofmann, 2018, <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/industrie-40-verstaendlich-erklaert-a-762257/>, Zugriff 05.01.23

1.4 Verwendete Methoden

In der vorliegenden Arbeit wird in Kapitel 4 „Auswertung“ eine vergleichende Analyse durchgeführt. In einem Vergleich werden zwei oder mehrere Inhalte beziehungsweise Theorien miteinander verglichen. Es erfolgt eine Herausarbeitung der Unterschiede und Gemeinsamkeiten. Die Inhalte werden anhand eines festgelegten Vergleichsaspekt analysiert und durch eine Gegenüberstellung miteinander verknüpft. Für einen Vergleich eignen sich gleiche und unterschiedliche Informationen zur Thematik sowie unterschiedlichen Betrachtungsweisen. Für das Erstellen eines Vergleichs gibt es zwei Möglichkeiten. Eine Vorgehensweise ist die lineare Vorgehensweise, bei der zunächst Theorie A und im Anschluss Theorie B analysiert wird. Eine weitere Vorgehensweise ist die aspektorientierte Vorgehensweise, dies bedeutet Theorien werden im Wechsel analysiert. Hier handelt sich um eine direkte Gegenüberstellung der zu vergleichenden Theorien¹⁴. In der vorliegenden Arbeit wird zur Betrachtung eine aspektorientierte Vorgehensweise gewählt.

2 Neue Trends in der Fertigungstechnik

Die Fertigungstechnik hat sich in den letzten Jahren durch den technologischen Fortschritt deutlich weiterentwickelt. Es sind zahlreiche neue Trends in der Fertigungstechnik entstanden. Innerhalb kürzester Zeit haben sich Technologien und Trends wie das „industrielles Internet der Dinge“, kurz IIoT oder auch das maschinelle Lernen in die Industrie und deren Unternehmen etabliert. Insbesondere die Automatisierung und der Einsatz von modernen Softwareprogrammen sowie Robotertechnik halten großen Einzug in der modernen industriellen Fertigung. Aufgrund der Vielzahl an neuen Technologien und Trends in der Fertigungstechnik wird im Folgenden das „Smart Machining“ und die „Smart Factory“ herangezogen. Eine Differenzierung der beiden Trends erfolgt in Kapitel 3.1.

2.1 Smart Machining

Zunächst wird von Kapitel 2.1 bis 2.1.7 das „*Smart Machining*“ anhand der Forschung des Professors Kunpeng Zhu erläutert. In Kapitel 2.2 erfolgt die Vorstellung des Ansatzes von Jürgen Kohlhoff. Anschließend wird in Kapitel 2.3 der Ansatz von Ulrich Erbl vorgestellt. Anschließend werden in Kapitel 2.4 einige Maschinenhersteller vorgestellt, die mit Smart Machining werben und dessen Definitionen bezüglich Smart Machining dargestellt. Im letzten Kapitel 2.5 wird eine Definition von ChatGPT dargestellt.

¹⁴ Plakos Akademie, <https://plakos-akademie.de/vergleich-schreiben/>, Zugriff 05.01.23

Die herkömmliche CNC-Bearbeitungstechnologie berücksichtigt nicht die Änderung des Werkzeugzustand während der Bearbeitung, lediglich die Geometrie des Werkstückes, die Prozessparameter und der Werkzeugpfad werden berücksichtigt. Es ist somit nicht möglich Änderungen und Prozessoptimierungen während einer konventionellen CNC-Bearbeitung durchzuführen. Dies führt dazu, dass die Bearbeitungskapazität nicht vollständig genutzt wird, um die optimale Endqualität sicherzustellen.

Diese Problematik lässt sich durch den Einsatz einer „Smart Machining Technology“ zu Deutsch, intelligenten Bearbeitungstechnologie lösen. Smart Machining ist eine technologische Innovation der herkömmlichen CNC-Bearbeitungstechnologie. Eine Smart Machining Technologie besitzt zusätzlich eine Zustandsüberwachung des Bearbeitungsprozesses sowie eine adaptive Steuerung, die für eine intelligente Optimierung sorgt. Erreicht wird dies durch eine Simulationsanalyse. Durch den Austausch und der Verarbeitung von Daten während des Bearbeitungsprozesses ist es möglich Änderungen im Zerspanungsprozess smart, intelligent vorherzusagen. In Echtzeit werden Änderungen im Prozess erfasst, gesteuert und optimiert.

Die modernen nationalen Fertigungsstrategien haben ihre Wurzeln in der „Smart Machining Technology“, so auch das in den Vereinigten Staaten entwickelte „Advanced Manufacturing Partnership Program“ kurz AMP. Auch in Deutschland basiert die Fertigungsstrategie der Industrie 4.0 auf der „Smart Machining Technology“¹⁵.

2.1.1 Smart Machining System

Das „*Smart Machining System*“, zu Deutsch intelligentes Bearbeitungssystem oder auch intelligentes Zerspanen stellt einen Prozess dar, der aus Prozessüberwachung und intelligenter Steuerungstechnologie besteht.

Ziel eines „*Smart Machining System*“ ist es auftretende Probleme im Bearbeitungsprozess adaptiv zu lösen, sodass kein manuelles Eingreifen nötig ist. Weitere Ziele eines intelligenten Bearbeitungssystem sind die intelligente Entscheidungsfindung, Überwachung und Steuerung des Prozesses.

Das Fundament eines „*Smart Machining System*“ liegt in der modernen Zerspanungstechnik und der digitalen Fertigungstechnologie. Ein „*Smart Machining System*“ funktioniert nach dem Prinzip der Überwachung und Informationsanalyse, um in Echtzeit Merkmale von

¹⁵ Übersetzt durch A. Ahmeti (Vgl. Zhu,2022, S.7)

Maschinenwerkzeugen, Werkstücken sowie Schneidwerkzeugen zu überwachen und extrahieren. Durch die Unterstützung von künstlicher Intelligenz, in Kombination mit theoretischem Wissen und Erfahrung in der Verarbeitung wird der Bearbeitungszustand eines Prozesses bewertet. Die intelligente Steuerung führt eigenständig Datenanalysen durch. Diese Daten werden anschließend durch die Steuerung eigenständig geschlussfolgert. Die intelligente Steuerung entscheidet anschließend eigenständig über das weitere Vorgehen. Sobald die Entscheidung durch die intelligente Steuerung getroffen wurde, erfolgt eine Echtzeitoptimierung des Bearbeitungsprozesses. Mithilfe eines intelligenten Bearbeitungssystem lassen sich Werkstücke in hoher Qualität fertigen. Auch die Bearbeitungseffizienz lässt sich steigern. Um den Bearbeitungszustand bewerten zu können verarbeitet das in Echtzeit arbeitende Online-Überwachungsmodul Zustandssignale und extrahiert dessen Merkmale. Zudem werden spezifische Arbeitsbedingungen der Maschine, dem Werkzeug und dem Werkstück verarbeitet. Führt man eine zerspanende Bearbeitung durch so lassen sich mithilfe der intelligenten Steuerung, Prozessparameter wie die Schnittgeschwindigkeit, Schnitttiefe, Vorschubgeschwindigkeit, Werkzeugposition- und Haltung sowie die Position der Vorrichtung eigenständig an die Prozessveränderungen anpassen. Dies wird durch die Daten- und Cloud Computing Technologie realisiert¹⁶.

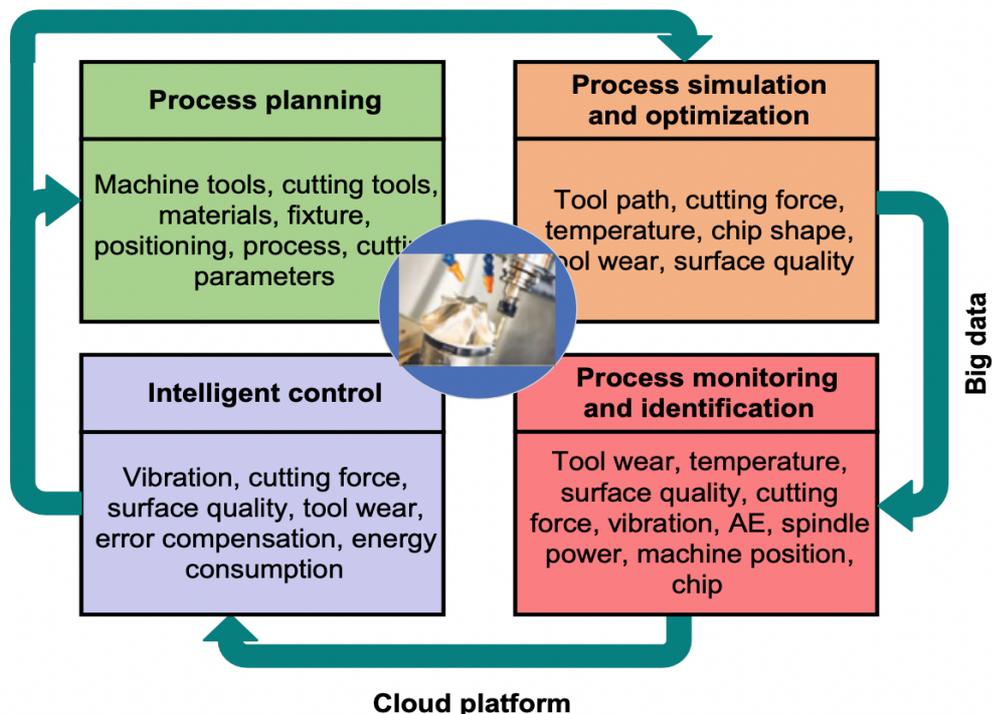


Abbildung 1 - Detaillierte Darstellung eines Smart Machining System

¹⁶ Übersetzt durch A. Ahmeti (Vgl. Zhu,2022, S.7f.)

In Abbildung 1 wird eine detaillierte Zusammenfassung eines Smart Machining System aufgezeigt. Die Abbildung ist wie ein Kreislauf zu verstehen, in dem die einzelnen Komponenten Prozessplanung, Prozesssimulation, Prozessüberwachung und intelligente Steuerung als voneinander abhängige Faktoren agieren, die sich gegenseitig beeinflussen. Ausgehend von der Vielfalt an Daten, die bereits während der Prozessplanung gesammelt werden, erfolgt während der Prozessüberwachung ein Abgleich dieser Daten. Überwacht werden Komponenten wie der Werkzeugverschleiß, die Temperatur, die Qualität der zu bearbeitenden Oberfläche oder auch die Schnittkräfte. Die gesamten Daten werden wie vorher schon erwähnt in eine Cloud hochgeladen und mithilfe der „intelligenten Steuerung“ in Echtzeit an den Prozess angepasst. Eine detaillierte Ausführung der einzelnen Komponenten erfolgt im nachfolgenden Kapitel 2.1.2.

2.1.2 Intelligent Process Planning – Intelligente Prozess Planung

Laut Zhu liegt die Problematik in der Prozessplanung darin, dass durch unterschiedlich erfahrene Ingenieure, auch unterschiedliche Qualitäten der zu bearbeiteten Teile entstehen. Diese Problematik wird mithilfe des „intelligent Process Planning“ gelöst. Die Einführung der modernen Datenverarbeitungstechnologien wie etwa das Nutzen von Datenbanken, Wissensdatenbanken, Big Data und Cloudplattformen zeichnet das „intelligent Process Planning“ aus (Entnommen aus Lihui Wang, 2015, S.10-15, Lihui Wang, 2013, S.263-273). Das „intelligent Process Planning“ greift bei der Auswahl geeigneter Prozessparameter auf die Daten in der Cloud zurück und wählt diese entsprechend. Laut Kumpeng sind die gewählten Parameter von höherer Qualität, als jene die von Ingenieuren gewählt werden. Durch das „intelligent Process Planning“ lassen sich zudem weiterführende Prozesse effizienter planen. Folglich bedeutet dies, dass bereits zur frühen Planungsphase in der Prozesskette, Aussagen über die Auswahl der Werkzeugmaschine, Vorrichtung und das ausgewählte Werkzeug getroffen werden¹⁷.

2.1.3 Process Simulation and Optimization – Prozesssimulation und Optimierung

Zerspanungsprozesse werden mithilfe geometrischer, physikalischer und numerischer Prozesssimulation vor dem Start der Zerspanung bereits vorhergesagt und so optimiert, sodass eine fehlerfreie Zerspanung stattfindet. Physikalische Größen wie die Schnittparameter werden vorhergesagt und während der Bearbeitung in Echtzeit automatisch optimiert. Anhand

¹⁷ Übersetzt durch A. Ahmeti (Vgl. Zhu, 2022, S.9)

der Simulation ist es möglich Vorhersagen über Schnittfestigkeit, Schnitttemperatur, Werkzeugverschleiß und Spanform zu treffen. Auch eine übermäßig hohe Belastung kann erkannt werden. (Entnommen aus Tunc LT et al., 2016, S.381ff.) Eine Fehlerquelle während eines Zerspanungsprozesses könnte der Werkzeugweg darstellen, denn dieser ändert sich ständig während der CNC-Bearbeitung. Um dies zu vermeiden wird eine geometrische Prozesssimulation durchgeführt. Zudem ermittelt die geometrische Prozesssimulation ein mögliches Überschwingen des Werkzeugweges, um eine mögliche Kollision zwischen Werkzeug und Werkstück zu verhindern. Mittels Simulation lässt sich die Bearbeitungszeit verkürzen, die Lebensdauer der Werkzeug erhöhen und die Oberflächenqualität zu verbessern. Zudem werden die Simulationsergebnisse als Referenzwerte hinterlegt.

2.1.4 The Machining Process Monitoring

Bearbeitungsprozesse, insbesondere die der Metallzerspanung sind sehr komplex. Das Machining Process Monitoring überwacht in Echtzeit den Bearbeitungsprozess bezüglich dynamischen Veränderungen. Das Machining Process Monitoring erkennt eigenständig störende Prozesseinflüsse wie z.B. Vibration oder auch eine zu hohe Temperatur. Laut Kunpeng stellt das Machining Process Monitoring ausgehend von der intelligenten Vorhersage, die Grundlage für das Smart Machining dar. Kunpeng differenziert das „Machining Process Monitoring“ deutlich von der kommerziellen Zustandsüberwachung, wie sie von z.B. Renishaw eingesetzt wird. Die Art der Sensoren, die in der kommerziellen Software verwendet werden, basieren lediglich auf der Zustandsüberwachung von Schneidwerkzeugen im Zerspanungsprozess und auf den Daten einer vorherigen experimentellen Datenbank. Es erfolgt keine Echtzeitprozessüberwachung¹⁸.

2.1.5 The intelligent Control – Die intelligente Überwachung

Das Prozessoptimierungsmodul ist in der Lage, die vom Online-Überwachungsmodul extrahierten Informationen aufzunehmen. Das Modul optimiert dann entsprechend der Optimierungsanforderungen. Optimierungsanforderungen sind z.B. die Oberflächenqualität des Werkstückes, die Standzeit oder die Schnittkraft. Das „intelligent Control“ System erstellt nun eigenständig optimierte Parameter, um die Optimierungsanforderungen zu erfüllen. Die Optimierung wird anschließend über das in echtzeitarbeitende Steuerungsmodul ausgeführt¹⁹.

¹⁸ Übersetzt durch A. Ahmeti (Vgl. Zhu, 2022, S.11f.)

¹⁹ Übersetzt durch A. Ahmeti (Vgl. Zhu, 2022, S.12)

2.1.6 The Database and Big Data Analytics – Datenbank und Big Data Analyse

Bei der Datenverarbeitung- und Analyse wird das gesamte Bearbeitungssystem betrachtet. Hierzu zählen Werkzeugmaschine, Werkstück, Werkzeug und Spannvorrichtung sowie Daten über den Prozess und der Nachbearbeitung. Die intelligente Verarbeitung von Daten erfolgt zunächst über die Datenerfassung. Anschließend werden die Daten klassifiziert und verwaltet sowie abgespeichert. Relevante Daten werden extrahiert und optimiert. Der Austausch der Daten erfolgt über die Cloud-Computing-Technologie. Die Entwicklung von Datenbanken, einem Datennetzwerk sowie der Big-Data und Cloud-Computing Technologie unterstützen das „Smart Machining System“, insbesondere bei der Zerspanung. Die Daten- und Wissensdatenbanken verbessern die Übertragung von Daten im Zerspanungsprozess. Mithilfe einer solchen Datenbank können Daten schnell abgefragt und analysiert werden, was die Entscheidungsfindung deutlich vereinfacht.

In der Wissensdatenbank sind Informationen über den Bearbeitungsprozess enthalten. Durch die Verwendung von einer solchen Wissensdatenbank und die Verarbeitung von Big Data, kann die Effektivität und Effizienz im Prozess gesteigert werden. Mithilfe der Vernetzung und der Cloud-Plattformen für die Datenkommunikation ist es möglich, dass verschiedene Systeme und Geräte, die im Zerspanungsprozess verwendet werden, miteinander verbunden werden. Dies ermöglicht eine nahtlose Übertragung von Daten und Informationen. Daten, die von einem CNC-Bearbeitungszentrum gesammelt werden, werden automatisch an eine Cloud-Plattform gesendet, die dann von anderen Systemen und Geräten abgerufen werden²⁰.

2.1.7 Smart Machine Tool

„Smart Machining“ Werkzeuge unterstützen nicht nur komplexe Operationen von Werkzeugmaschinen, sondern ermöglichen einen intelligenten Bearbeitungsprozess, um eine hohe Präzision und hohe Effizienz beim Zerspanen herzustellen (Entnommen aus Gao RX et al., 2020, S.668-692, Mohring H-C et al., 2020, S.740-763). Das Smart Machine Tool, zu Deutsch intelligente Werkzeugmaschine hat die Fähigkeit intelligent wahrzunehmen, intelligent zu entscheiden und Aktionen intelligent auszuführen. Kunpeng beschreibt hier erneut die Eigenständigkeit eines „Smart Machine Tool“. Smarte Werkzeugmaschinen sind in

²⁰ Übersetzt durch den Ahmeti (Vgl. Zhu, 2022, S.13)

der Lage Interaktionen zwischen Mensch und Computer zu führen, Vibrationen während des Bearbeitungsprozess zu kontrollieren und insgesamt Prozesse selbst zu Überwachen. Desweiteren ist die intelligente Werkzeugmaschine mit einer adaptiven Technologie zur Lastanpassung, Positionsanpassung, Spindelleistungsanpassung und Bewegungsanpassung ausgestattet. Geometrische und Temperatur Fehler werden durch die Fehlermessung gezielt kompensiert. Eine weitere Funktion der intelligenten Werkzeugmaschine ist es Werkzeuge und Spindeln automatisch anzupassen und zu optimieren sowie die Wartung der Ausrüstung. Der intelligenten Werkzeugmaschine ist es möglich, ihren Zustand zu überwachen, um so Probleme frühzeitig zu erkennen, um die optimale Leistung zu erbringen und Ausfallzeiten zu minimieren. Als Gehirn des „Smart Machine Tool“ gilt das numerische numerisches Steuerungssystem. Mit der Entwicklung von Step-NC hat sich eine flexible und anpassungsfähige Technologie entwickelt, die es ermöglicht, das numerische Steuerungssystem modular aufzubauen, um dies standardisierter und serieller zu gestalten²¹.

2.2 „Smart Machines“ aus europäischer Sicht

Im Folgendem wird anhand eines wissenschaftlichen Berichtes von Jürgen Kohlhoff ein weiteres Verständnis zu dem Begriff „Smart Machines“ dargestellt. Nach Auffassung von Kohlhoff versteht man heutzutage unter dem Begriff „Smart Machines“ technische Systeme, die über eine Computer Unterstützung verfügen. Ein solches technisches System verfügt über eine Selbstlernfähigkeit und ist in der Lage Arbeitsergebnisse eigenständig zu erzeugen. Folglich bedeutet dies, dass Arbeitsergebnisse nicht vorher in das System antizipiert werden.

Laut Kohlhoff sind „smart Machines“ durch die Fortschritte im Bereich der künstlichen Intelligenz entstanden. Auch Kohlhoff ist der Ansicht, dass der Begriff „Smart Machines“ ein großes Spektrum an Bereichen, einzelner Technologien und Anwendungsgebieten abdeckt. Das Spektrum reicht von dem privaten Gebrauch einer Apple Watch bis zur modernen Robotik in der Industrie. Cognitive Computing, Deep Learning oder Language Processing sind ebenfalls Technologieentwicklungen, die im Zusammenhang mit „Smart Machines“ auftreten.

Insbesondere der Aspekt der Vernetzung über das IoT spielt bei der Nutzung von „Smart Machines“ eine große Rolle. Es ist unabdingbar aufgrund der viel von zu bearbeitenden Daten, die Architektur von Computern nach gehirnähnlichen Verarbeitungsprinzipien oder Quantenphänomenen aufzubauen. Als Beispiel für die erste Innovation im Bereich der Smart Machines nennt Kohlhoff, die weltweit bekannte Software Siri von Apple. Siri arbeitet nach

²¹ Übersetzt durch den A. Ahmeti (Vgl. Zhu, 2022, S.)

dem Prinzip der intuitiven Sprachsteuerung und agiert als ein persönlicher intelligenter Assistent²².

Desweiteren gibt es bereits kollaborative Roboter, die in der Produktionstechnik eingesetzt werden. Interessante Innovationen sind zum Beispiel der Baxter Roboter von Rethnik Robotics und die Entwicklung von Pepper. Eine detaillierte Beschreibung des Aufbau und der Funktionsweise des Baxter Roboters ist unter <https://www.rethinkrobotics.com/de/> zu finden. Nähere Informationen zum Roboter Pepper sind unter <https://www.probo-robotics.at/de/pepper-daten-fakten/> nachzulesen. Zudem halten intelligente Produktionsmaschinen, die sich über das Internet miteinander vernetzen Einzug in der Industrie 4.0. Kohlhoff sieht in die Nutzbarmachung von Maschinen, die in der Lage sind, komplizierte Zusammenhänge herzustellen und eigenständig zu entscheiden als Grundbaustein für die Anwendung in weiteren anspruchsvollen Berufsfeldern. Hierbei spielt die Menge an der zu verarbeitenden Daten eine enorme Rolle. Es muss sich die Frage gestellt werden, ob das „Smart Machines“ den Menschen vollständig ersetzen kann oder lediglich als Unterstützung bereitgestellt wird. Um eine einheitliche Beschreibung zu „Smart Machines“ einzuführen bedarf es nach Kohlhoff eine gesellschaftliche Ethik- und Folgediskussion²³.

Eine weitere Variante von „Smart Machines“ stellen autonome Kraftfahrzeuge, die mit Fahrassistenzsystemen ausgestattet sind, dar, weitere Informationen sind unter <https://www.computerwoche.de/a/alles-zur-zukunft-der-mobilitaet,3549675> zu finden.

2.3 Smarte Maschinen aus der Sicht von Ulrich Erbl

Erbil beschreibt in seinem Buch „Smarte Maschinen“ den Beginn einer neuen Ära des „Cognitive Computing“. Das Ziel bei der Entwicklung von „Smarten Maschinen“ liegt daran, diese nicht mehr ihrer Anwendung zu programmieren, sondern vielmehr darin kognitive Fähigkeiten zum selbstständigen Lernen zu entwickeln. Dies bedeutet „Smarte Maschinen“ lösen eigenständig Probleme. Das „Smarte Maschinen“ bereits eng mit dem Menschen zusammenarbeiten beweist Erbil anhand der japanischen Firma Glory. Smarte Maschinen werden hier als Roboter mit menschlichen Verhaltensweisen definiert. Die Nextage-Roboter besitzen zwar keine Beine, dennoch sind sie bei der morgendlichen Gymnastik dabei²⁴.

²² Kohlhoff, 2017, <https://www.int.fraunhofer.de/content/dam/int/de/documents/EST/EST-0217-Smart-Machines.pdf>, Zugriff 06.01.23

²³ Kohlhoff, 2017, <https://www.int.fraunhofer.de/content/dam/int/de/documents/EST/EST-0217-Smart-Machines.pdf>, Zugriff 18.02.23

²⁴ Erbil, 2016, S.27ff.

Laut dem Hiroshi Ishiguro wird die Welt künftig in Gesellschaft mit Robotern leben. Hiroshi entwickelt den Geminoiden, dabei handelt es sich um ferngesteuerte Androiden, die eine zum Verwechseln ähnliche Kopie eines realen Menschen darstellen. Diese Androiden agieren mit Mimik, Gestik und Sprache mit dem Menschen²⁵.

Der Physiker Michio Kaku führt für „Smarten Maschinen“ die Theorie ein, dass in Zukunft auch in Kleidungsstücken Computer- und Kommunikationschips eingebaut werden. Die Chips in der Kleidung würden die Gesundheit des Menschen überwachen und könnten dann sogar einen Unfall erkennen und selbstständig einen Notruf tätigen. Gleichzeitig würde der Chip die komplette Krankengeschichte des Patienten an die behandelnden Ärzte senden²⁶.

2.4 Werkzeugmaschinenhersteller und Smart Machining

Im Folgendem wird das „Smart Machining“ anhand von drei Werkzeugmaschinenherstellern näher erläutert. Es wird eine Betrachtung hinsichtlich der Technologie und Produktionsweise dargestellt.

2.4.1 Werkzeugmaschinenhersteller Mazak

Mazak ist ein japanischer Hersteller von Werkzeugmaschinen und Bearbeitungszentren für die Metallbearbeitung. Das Unternehmen wurde im Jahr 1919 gegründet und hat seinen Hauptsitz in Japan. Mazak ist bekannt für seine innovativen Werkzeugmaschinen und hat eine weltweite Präsenz mit Produktionsstätten und Niederlassungen²⁷.

Die „Mazak Smart Machine Tool“ ist eine intelligente Werkzeugmaschine, die sich selbst überwachen kann und eine Selbstlernfähigkeit besitzt. Sie trägt den Modelnamen „INTEGREX e-500H“ und eignet sich zur Bearbeitung von großen Werkstücken. Die Maschine ist mit kraftvollen Dreh- und Frässpindeln ausgestattet. Der Hersteller Mazak wirbt auf seiner Website deutlich mit einer Vielzahl von „intelligenten“ Maschinenfunktionen²⁸.

Weitere Maschinendaten und Abmessungen sind im Anhang hinterlegt.

²⁵ Erbl, 2016, S.30

²⁶ Erbl, 2016, S.32

²⁷ Mazak, <https://www.mazakeu.de/de/ueber-mazak-europa/weltweites-engagement/>, Zugriff 06.01.23

²⁸ Mazak, <https://www.mazakeu.de/de/machines/integrex-e-500h/>, Zugriff 06.01.23



Abbildung 2 - Mazak Smart Machine Tool INTEGREX e-500H

Die Werkzeugmaschine analysiert eine Vielzahl von Informationen, wie zum Beispiel den Fortschritt während der Bearbeitung. Gleichzeitig wird auch die Umgebung analysiert. Ausgehend von diesen Informationen handelt die Maschine eigenständig und ermöglicht so die bestmögliche Bearbeitung. Ausgestattet mit den folgenden „smarten“ Funktionen besitzt die Maschine eine aktive Vibrationskontrolle, eine intelligente Wärmeschranken Technologie und eine intelligente Sicherheitsbarriere, um Kollision zwischen verschiedenen Maschinen zu verhindern²⁹.

2.4.2 Werkzeugmaschinenhersteller ALMI Smart Machining

Die Firma ALMI Smart Machining wurde im Jahr 1946 gegründet. Zunächst beschäftigte sich ALMI mit der Herstellung von Maschinen für die Betonindustrie und Laternenpfosten. Das Hauptgeschäft hat sich weiterentwickelt, so stellt ALMI seit den 70er Jahren Steintrenner her, wodurch sich ALMI ein weltweites Händlernetzwerk aufgebaut hat³⁰.

Die Firma ALMI strebt als Grundsatz, eine effiziente und qualitativ hochwertige Produktion an, indem sie ihre Produktionsprozesse kontinuierlich automatisieren und nach der Zertifizierung ISO 9001:2015 bereitzustellen. Unterstützt werden die Produktionsprozesse durch die Anwendung eines Kanban System³¹.

²⁹ Übersetzt durch den A. Ahmeti (Vgl. Zhu, 2022, S.14)

³⁰ ALMI Smart Machining, <https://www.almi.nl/de/geschichte/>, Zugriff 18.01.23

³¹ ALMI Smart Machining, <https://www.almi.nl/de/almi-4/allgemein/>, Zugriff 18.01.23

ALMI wirbt auf der firmeneigenen Website mit dem Werbe Slogan „ALMI UND SEINE ZUKUNFT IN INDUSTRIE 4.0 – SMART MACHINING FÜR SMART INDUSTRIES“. Die Digitalisierung der internen Geschäftsprozesse steht im Mittelpunkt. Mithilfe von Digitalisierung soll die operative Effizienz gesteigert werden. Im Unternehmen wird die Betriebsführung auf „Smart Machining ausgerichtet. ALMI verweist zu dem Begriff „Smart Machining “ und „Smart Industry“ auf die Fachpresse zurück und ist mit dem Begriff „Industrie 4.0“ gleichzusetzen.

Die ALMI-Philosophie assoziiert den Begriff „Smart Machining als integriertes Lean Management in den Bereichen Engineering, Produktion und Logistik. Das Unternehmen setzt eine Smart Industry, dem Smart Machining gleich. Im Mittelpunkt einer „Smart Machining“ Philosophie steht die Qualitäts- und Prozesskontrolle.

ALMI strebt eine effiziente und qualitativ hochwertige Produktion an. Die Umsetzung kann mit Robotern, durchdachter Logistik und Verwaltung passieren. Zusätzlich werden Prozesse durch die Anwendung einer intelligenten Software wie ERP oder Kanban unterstützt. Die Anwendung einer solchen Software bietet den Vorteil einer direkten Vernetzung mit Lieferanten.

Ein weiterer Grundsatz des „Smart Machining“ ist es schnell und flexibel zu produzieren. ALMI setzt seit mehr als zwanzig Jahren auf Bearbeitungsmaschinen ohne menschliche Besetzung, die durchgehend arbeiten. Ebenso wird auf den Einsatz von Schweißrobotern hingewiesen. Schweißroboter erzielen eine konstante Qualität und zeichnen sich durch die minimalen Rüstzeiten aus³².

2.4.3 Werkzeugmaschinenhersteller FANUC

„Perfekte Performance dank Smart Machining“ lautet der Werbespruch von dem Werkzeugmaschinenhersteller FANUC auf der Emo Messe in Hannover. Das Unternehmen verspricht mithilfe von künstlicher Intelligenz gekoppelt mit „Smart Machining“ hohe Erfolge zu erzielen. Die von FANUC entwickelte Maschinenfunktion „Smart Feed Axis Acceleration / Deceleration“ stellt im laufenden Betrieb der Maschine das vorliegende Trägheitsmoment des Werkstückes fest und stimmt die optimale Beschleunigung des Servomotors ab.

Das „Smart Machining ermöglicht einen automatisierten Betrieb. Besonders bei hohen Zerspanungsvolumen eignet sich ein „Smart Machining“, da am Ende der Bearbeitung das Werkstück deutlich leichter ist und höhere Beschleunigungen möglich sind.

³² ALMI Smart Machining, <https://www.almi.nl/de/almi-4/smart-machining/>, Zugriff 18.01.23

FANUC verweist beim Drehen auf die Softwarefunktion „Servo Learning Oscillation“. Mithilfe dieser Software wird das Werkzeug oszilliert, sodass keine langen Späne entstehen. Bezüglich der Mitarbeiterfreundlichkeit leistet die Software zusätzlich einen Beitrag, denn die intensive Reinigung der Vorrichtung durch lange Späne entfällt.

Weitere Vorteile eines „Smart Machining“ sind die erhöhte Genauigkeit, kürzere Zykluszeiten sowie verbesserte Oberflächengüten.

Ein „Smart Machining“ zeichnet sich durch eine genaue Prozessüberwachung und der Reaktionsfähigkeit der intelligenten Steuerung aus. Die FANUC „Smart Options“ sind in der Lage während der Überwachung von Motorlasten automatisch Vorschub, Beschleunigung und Verzögerung der Achsen anzupassen³³.

Das Unternehmen bietet mit der neuen 3xi und 0i-F Steuerung eine Möglichkeit zur Nachrüstung von älteren Maschinen.

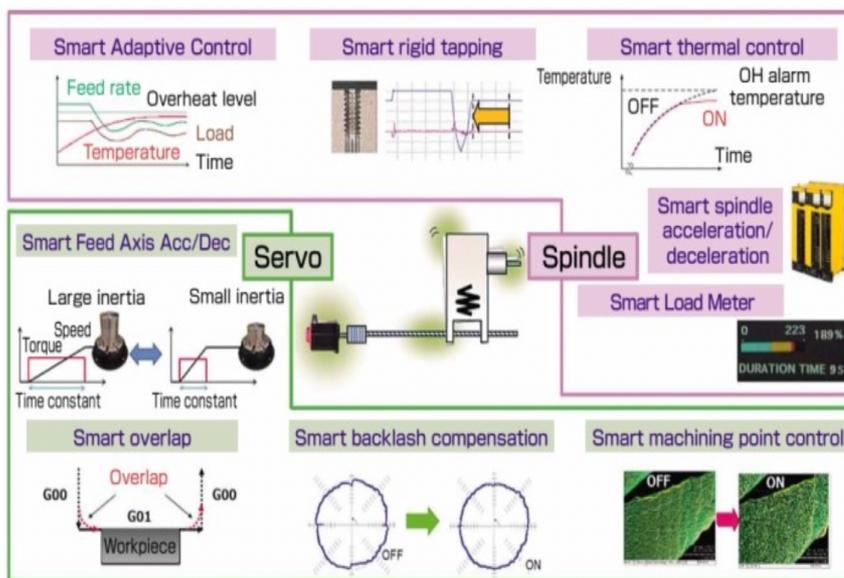


Abbildung 3: Intelligentes Steuerungssystem

In Abbildung 3 ist das intelligente Steuerungssystem und dessen Funktionsweise sowie der Aufbau abgebildet.

Das intelligente Steuerungssystem besitzt eine „Smart backlash compensation“, zu Deutsch eine intelligente Steuerung des Umkehrspiels. Diese Funktion reduziert das mechanischen

³³ NC Fertigung, 2019, <https://www.nc-fertigung.de/perfekte-performance-dank-smart-machining>, Zugriff 01.02.23

Spiel im System. Der Servomotor wird durch die Steuerung bei einer Umkehrung der Richtung schnell beschleunigt. Sobald die Belastung auf den Motor wirkt, wird auf die erforderliche Vorschubgeschwindigkeit abgebremst. Desweiteren ist eine „Smart Spindle-Load Control“, zu Deutsch Intelligente Spindellaststeuerung vorhanden. Ziel der Spindellaststeuerung ist es Achsvorschübe automatisch anzupassen. Um eine gute Oberflächengüte zu erzielen, sollte die Spindellast konstant bleiben. Eine weitere Komponente ist das „Smart Servo Control with AI Contour Control II+“, eine intelligente Servosteuerung. Die Servosteuerung passt die Geschwindigkeit der Achsen an, um so eine gleichmäßige Kontur zu erzeugen. Auch der Verfahrweg wird von der Steuerung auf ein Minimum reduziert. Die Maschinenfunktion „Smart Feed-Axis Acc/Dec“ schätzt während der Bearbeitung die Trägheit des Werkstückes ab. Das „Smart Rigid Tapping“ führt Gewindebohrungen durch und ist dafür zuständig den Servomotor und die Spindel automatisch zu optimieren. Hierfür erfolgt eine automatische Optimierung der Beschleunigungs- und Verzögerungskonstanten. Die Funktion „Smart Overlap“ erkennt im Verfahrweg automatisch eine Richtungsänderung und ermöglicht ein schnelleres und sanfteres Abbiegen. Das „Smart Thermal Control“ verhindert durch Temperaturrückmeldung des Spindelmotor ein Überhitzen des Systems³⁴.



Abbildung 4: CNC Nachrüstung

³⁴ CNC Engineering Inc., 2020, <https://www.cnc1.com/tech-resources/fanuc-smart-options-to-improve-older-cnc-machine-tools>, Zugriff 04.02.23



Abbildung 5: FANUC Oi Steuerung

2.5 Weitere Definition zum „Smart Machining“

Mit Hinblick auf den technologischen Fortschritt ist „ChatGPT“ nun auch in Deutschland angekommen, zugänglich ist der Chatbot schon seit November 2022. ChatGPT ist ein Prototyp des US-Unternehmens OpenAI. Das Sprachmodell GPT-3 bildet die Grundlage für den Chatbot. ChatGPT ist so programmiert, dass in verschiedenen Sprachen kommuniziert werden kann. ChatGPT zählt in die Kategorie künstliche Intelligenz und basiert auf den Methoden und Technologien des maschinellen Lernens, der Analyse von großen Datenmengen, die Identifikation von Mustern und Zusammenhängen, die Anwendung von Datenbanken und statische Methoden. Vernetzt ist das CHATGPT durch neuronale Netze. Anhand dieser Methoden und Technologien trifft der Chatbot vorherzusagen und kann sogar Empfehlungen treffen. Thematisch ist der Chatbot nicht auf ausgewählte Themen beschränkt. Gibt man eine Frage in das Chatfenster ein, so erhält man in Sekunden eine nahezu perfekte Antwort. Laut OpenAI sind die Antworten des Chatbot nur sehr schwer von menschlichen Antworten zu unterscheiden³⁵.

³⁵ Luber, 2023, <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-chatgpt-a-7648e796b00a67f283d767e7835836f8/>, Zugriff 21.01.23

Da es keine standardisierte Definition zum Begriff „Smart Machining“ gibt wäre es interessant auszuprobieren, wie „Smart Machining“ von ChatGPT definiert wird und auf welcher Grundlage von Daten die Definition basiert. Interessant ist auch der Operator „Erkläre“, was man unter Smart Machining versteht.

Hierfür wird die Frage: „Wie ist Smart Machining definiert?“ in das Chatfenster eingegeben.

Die Antwort des Chatbot lautet:

„Smart Machining bezieht sich auf die Verwendung von fortschrittlichen Technologien wie künstlicher Intelligenz, maschinellem Lernen, Cloud Computing und IoT (Internet der Dinge) in der Fertigung, um die Effizienz, Genauigkeit, Geschwindigkeit und Qualität der Bearbeitung zu verbessern. Ziel ist es, den Produktionsprozess zu optimieren, indem die Fertigungsinformationen gesammelt und analysiert werden, um bessere Entscheidungen und Anpassungen in Echtzeit zu treffen“.

Zunächst wird keine Quelle zu der Antwort angegeben.

Deshalb wird gefragt: „Woher hast du diese Informationen? Nenne mir die Quellen“.

Der Chatbot antwortet:

„Die Informationen stammen aus verschiedenen Quellen, darunter wissenschaftliche Artikel, technische Dokumentationen und Fachbücher. Als künstliche Intelligenz habe ich keinen direkten Zugang zu Quellen, aber ich wurde durch das Training mit großen Mengen an Texten auf diese Informationen konditioniert. Wenn Sie spezifische Informationen benötigen, kann ich jedoch versuchen, Ihnen eine Quelle zu nennen, aus der ich diese Informationen entnommen habe, sofern dies möglich ist“.

Die Antwort ist zu ungenau deshalb wird noch einmal spezifischer gefragt:

„Nenn mir spezifische Quellen“.

Der Chatbot antwortet:

„Als KI-Modell erhalte ich mein Wissen aus verschiedenen Quellen, einschließlich wissenschaftlicher Publikationen, Büchern und Online-Ressourcen. Einige spezifische Quellen, auf die ich in Bezug auf Smart Machining oder andere Themen möglicherweise zugreife, sind:

- "Smart Machining - Towards Industry 4.0" von SpringerLink
- "Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems" von Taylor & Francis Online
- "Industry 4.0: The Industrial Internet of Things" von SpringerLink
- "Artificial Intelligence and Manufacturing" von ScienceDirect
- "Smart Manufacturing: Technologies and Applications" von ScienceDirect

Bitte beachten Sie, dass meine Antworten auf einer Vielzahl von Quellen und Informationen basieren können“.

Nachfolgender wird nach einer Textpassage zur Stützung der vorherigen Antworten gefragt:

„Nenn mir spezifische Quellen und Textpassagen zur Fragestellung“

Der Chatbot antwortet:

Ja, ich kann Ihnen spezifische Quellen und Textpassagen nennen, die meine früheren Antworten unterstützen:

Quelle 1: Artikel "Smart Machining: How it Works" auf der Website von Manufacturing Tomorrow <https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2018/02/smart-machining-how-it-works/10814>

Textpassage: "Smart Machining refers to the use of advanced technologies such as artificial intelligence, machine learning, and the Internet of Things to improve the efficiency and productivity of machining processes. By leveraging these technologies, smart machining systems can optimize cutting parameters, improve tool life, reduce cycle times, and minimize scrap and rework."

Quelle 2: Artikel "Smart Machining and the Future of Manufacturing" auf der Website von GE Digital <https://www.ge.com/digital/blog/smart-machining-and-future-manufacturing>

Textpassage: "Smart Machining is a method of using data-driven insights to optimize manufacturing processes, reduce waste, and minimize errors. It involves collecting and analyzing data in real-time to improve machining processes, reduce cycle times, and increase product quality"

Die zu Beginn gestellte Frage „Wie ist Smart Machining definiert“ wurde für eine spätere Betrachtung zu unspezifisch beantwortet. Daher wird erneut mit dem Operator „Erkläre“ eine sinnhaft ähnliche Fragestellung formuliert.

Die Frage lautet: „Erkläre was man unter Smart Machining versteht“

Der Chatbot antwortet:

„Smart Machining bezieht sich auf die Anwendung von fortschrittlichen Technologien wie Industrie 4.0, Big Data, Cloud-Computing und künstlicher Intelligenz (KI) in der CNC-Fertigung. Es geht darum, die Fertigung zu optimieren und die Effizienz zu steigern, indem man alle verfügbaren Daten von Maschinen, Werkzeugen, Materialien und Prozessen sammelt, analysiert und daraus Einsichten gewinnt, um bessere Entscheidungen zu treffen und Fehler zu minimieren. Smart Machining ermöglicht es auch, Fertigungsprozesse automatisch zu optimieren und zu steuern, um eine höhere Genauigkeit, Effizienz und Qualität zu erreichen“

Smart Machining umfasst eine Vielzahl von Technologien, die in der Fertigung eingesetzt werden können, um den Bearbeitungsprozess zu optimieren. Dazu gehören unter anderem:

Sensoren: Durch den Einsatz von Sensoren kann der Zustand von Werkzeugen, Maschinen und Werkstücken überwacht werden, um den Bearbeitungsprozess zu optimieren.

Künstliche Intelligenz: Durch den Einsatz von KI können Daten aus verschiedenen Quellen gesammelt und analysiert werden, um den Bearbeitungsprozess zu optimieren und die Qualität der gefertigten Teile zu verbessern.

Cloud Computing: Cloud Computing ermöglicht den Zugriff auf eine Vielzahl von Ressourcen und Daten, um den Bearbeitungsprozess zu optimieren und die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Partnern zu erleichtern.

Additive Fertigung: Durch den Einsatz von additiven Fertigungstechnologien können komplexe Bauteile hergestellt werden, die mit herkömmlichen Bearbeitungsmethoden schwer oder gar nicht zu fertigen wären.

Automatisierung: Durch den Einsatz von Robotern und anderen automatisierten Systemen können die Produktionsprozesse optimiert und die Produktionskosten gesenkt werden.

Cyber-Physische Systeme: Cyber-Physische Systeme ermöglichen die Vernetzung von Maschinen, Sensoren und Daten, um den Bearbeitungsprozess zu optimieren und die Qualität der gefertigten Teile zu verbessern.

2.6 Smart Factory

Ausgehend von der globalen Wettbewerb Politik unter Fertigungsunternehmen ist es für Unternehmen unabdingbar die Produktion zu optimieren und Produktions- sowie Prozessabläufe zu optimieren. Ziel dieser Optimierung ist das Erschaffen einer kostengünstigen Produktion, die sich durch vor allem durch eine pünktliche und fehlerfreie Lieferung auszeichnet. Grund für das Erschaffen einer kostengünstigen Produktion ist der Preisdruck, dem Unternehmen gegenüberstehen. Ein noch viel relevanteres Ziel der modernen Produktion ist es die Produktion fehlerfrei zu gestalten. Dies ist realisierbar, indem Qualitätsmängel bereits vor der Entstehung erkannt und somit vermieden werden. Erhöhte Umlaufbestände durch lange Liegezeiten sollen vermieden werden. Die Energieversorgung in Unternehmen ist es weiterer wichtiger Produktionsfaktor, es gibt hier eine optimale Planung anzustreben, um mögliche Energieverschwendungen zu reduzieren. Demnach ist es auch wichtig eine Verschwendung von Material zu minimieren. Verschwendung von Material entsteht durch hohe Ausschussraten oder einen überdimensionierten Personaleinsatz. Eine weitere Forderung an die Produktion stellt die zunehmende Individualisierung von Produktion. Unternehmen stehen aufgrund der geforderten Variantenvielfalt vor der Herausforderung im Extremfall die Losgröße 1 zu produzieren³⁶.

2.6.1 Anforderungen an die Smart Factory

Eine weitere wichtige Anforderung, die der neue Trend „Smart Factory“ erfüllen muss, ist es den Klimawandel und dessen negativen Auswirkungen zu reduzieren. Es ist daher unabdingbar in Unternehmen eine Klimastrategie einzuführen. In der Klimastrategie soll zum Beispiel die Abkehr von fossilen Brennstoffen oder auch das Reduzieren von Energie- und Rohstoff verankert werden.

Unternehmen, die sich mit der Produktion von beispielhaft Lebens- oder Arzneimittel beschäftigen stehen vor der Herausforderung den Produktionsprozess nachvollziehbar und

³⁶ Kletti, Rieger, 2022, S.11

rückverfolgbar zu machen. Es entstehen enorme Datenmengen. Die Herausforderung der Smart Factory ist es diese fehlerfrei zu verarbeiten.

Auch die Automobilindustrie steht vor der Herausforderung, niedrige Lagerbestände zu realisieren und nach „Just in Time“ oder auch „Just in Sequence“ zu produzieren.

Anhand der oben genannten Anforderungen wird deutlich, dass in Zukunft ein tiefgreifender Wandel in Fertigungsunternehmen vollzogen werden muss. Dies hat zur Folge, dass eine vorherrschend getaktete Produktion durch ein vollumfänglich flexibles Produktionssystem ersetzt wird. In einem flexiblen Produktionssystem müssen Fertigungsanlagen selbstständig auf Veränderungen reagieren.

Die Realisierung eines flexiblen Produktionssystem ist mit IT-Lösungen wie einem ERP-System nicht möglich. Grund hierfür ist die steigende Digitalisierung. Abhilfe schaffen „Manufacturing Execution Systeme“, kurz (MES). MES gilt als zentrale Datendrehscheibe um die großen Mengen an Informationen, die digital vorliegen in sinnvoll nutzbare Ergebnisse umzuwandeln. MES unterstützt zusätzlich die Fertigungssteuerung.

Um den neuen Begriff „Smart Factory“ weiter zu beleuchten ist es wichtig die neuen Herausforderungen der Digitalisierung heranzuziehen.



Abbildung 6: Prinzipdarstellung eines Regelkreises in der Produktion

In Abbildung 6 ist der Regelkreis in einer Produktion abgebildet, dieser funktioniert nur dann, wenn ein Messglied, die für den Prozess relevanten Ist-Daten aus dem Shopfloor erfasst und anschließend speichert. Als Voraussetzung für eine „Smart Factory“ gilt es alle Prozesse mittels einer Steuerung zu automatisieren. Hierfür müssen Daten von Maschinen, Werkzeugen, Material, NC-Programme und Fertigungshilfsmittel flächendeckend erfasst

werden. Nachfolgend in Abbildung 7 sind die zu benötigten Daten zusammenfassend dargestellt. Kletti und Rieger sprechen hier von dem digitalen Abbild der Fertigung, welches auch als digitaler Zwilling assoziiert wird.

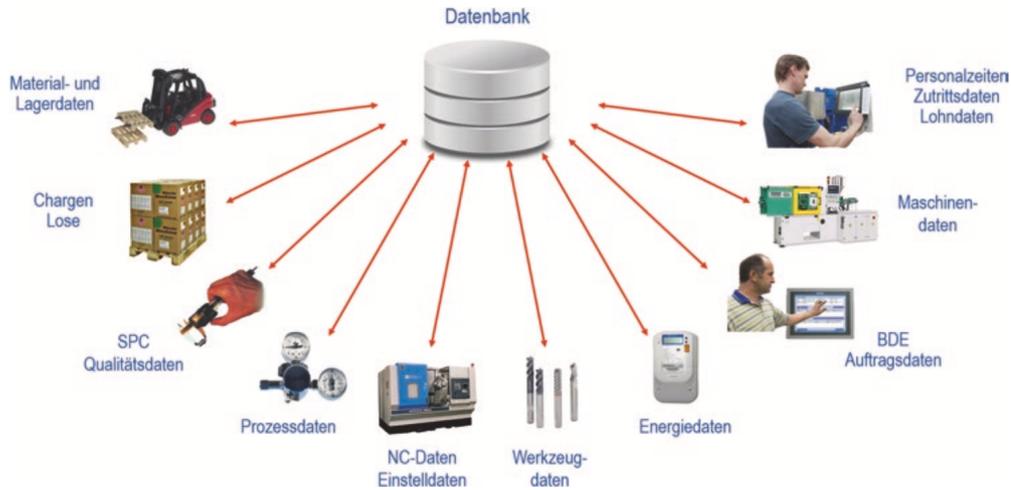


Abbildung 7: Flächendeckende Datenerfassung in der Produktion

Ausgehend von Abbildung 7 ist zu erkennen, dass große Menge an Daten, auch Big Data genannt verarbeitet werden müssen. Dies stellt eine Herausforderung an die IT-Systeme. Die reine Informationsverarbeitung der Daten stellt aber noch keinen Ansatz einer „Smart Factory“ dar. Die Datenverarbeitung in einer „Smart Factory“ wird durch künstlicher Intelligenz unterstützt, um so für den Menschen verwertbare Informationen zu generieren.

In der modernen Produktion sind Fertigungsanlagen, Maschinen und Peripherieeinrichtungen dazu fähig, automatisiert Daten zum Produktionsprozess und der verwendeten Ressourcen zu erfassen. Zur Aufnahme von Qualitäts- und Produktdaten sind Fertigungsanlagen und Maschinen sowie Peripherieeinrichtungen zusätzlich mit intelligenten Sensoren und Subsystemen, wie Messinstrumente oder Kameras ausgestattet. Die digitale Abbildung der Fertigung soll über die Datendrehscheibe unterschiedliche Systeme miteinander vernetzen.

2.6.2 Digitalisierung in der Smart Factory

Insbesondere das Vorschreiten der Digitalisierung in der Produktion treibt die Entwicklung der „Smart Factory“ voran. Es ist daher notwendig den Begriff der Digitalisierung zu beleuchten. Um ein besseres Verständnis zur Digitalisierung innerhalb der „Smart Factory“ zu generieren wird nachfolgend das 4-Stufenmodell ausgehend Abbildung 8 von zur Digitalisierung erläutert.

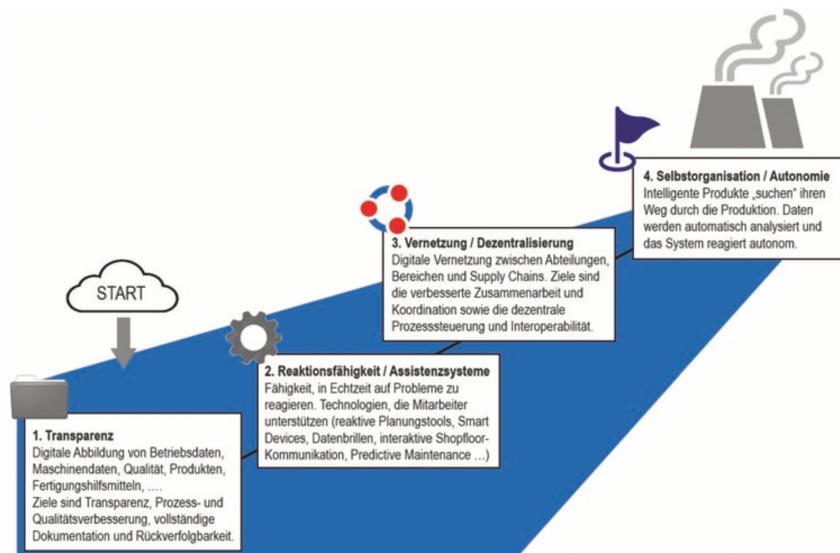


Abbildung 8: 4-Stufenmodell zur Digitalisierung

Die erste Stufe ist die der Transparenz. Prozesse müssen transparent dargestellt werden und bildet somit die Basis für die nachfolgenden Schritte. Die Sicherstellung von allen relevanten Informationen und Daten müssen in einer hohen Qualität digital vorliegen. Aufgrund der Big Data ist es zwingend notwendig eine automatisierte Datenerfassung anzustreben. Hierbei werden Informationen aus der Steuerung von Maschinen ausgelesen. Werte, die benötigt werden, sind über zusätzlich verbaute Sensoren zu ermitteln.

Um eine hohe Transparenz über Prozesse zu generieren, werden zum Beispiel die Auftragsdaten, die Maschinendaten, die Qualitätsdaten sowie die Prozessdaten ermittelt. Zusätzlich besteht auch die Notwendigkeit der Prozessdokumentation, die Rückverfolgbarkeit und die Herstellungszeugnisse. Diese Daten müssen laut Kletti und Rieger gemeinsam in der Supply Chain vorhanden sein. Realisiert wird dies über die Erfassung der Fertigungshilfsmittel, die eingesetzt wurden und der Chargeninformation. Insbesondere bei individuell gefertigten Produkten ist eine vollständige Wertstromanalyse von Vorteil³⁷.

³⁷ Kletti, Rieger, 2022, S.16

Die Stufe zwei bezieht sich auf die Reaktionsfähigkeit und Assistenzsystemen in Prozessen. In der zweiten Stufe werden Abweichungen in einem Prozess sofort erkannt. Es wird in Echtzeit reagiert und gegengesteuert. Verantwortlich für die Echtzeit Optimierung ist das Zusammenspiel zwischen Prozessen, die flexibel und regelbar sind, schnellen Regelkreisen sowie Assistenzsystemen. Daraus folgt, je kürzer die Reaktionszeit ist, desto geringer sind Abweichungen. Eine kurze Reaktionszeit ist durch die Echtzeit-Optimierung gegeben. Reaktive Tools zur Planung helfen bei der Feinplanung. Zusätzlich werden Wartungstools aus dem Bereich der „predictive Maintenance“ für die Wartungen an Maschinen unterstützt. Der Einsatz von Andon- oder Shopfloor Boards, welche direkt an ein System gekoppelt sind, ermitteln in Echtzeit Abweichungen und Probleme, sodass Mitarbeiter sofort reagieren können.

In der dritten Stufe geht es um Vernetzung und Dezentralisierung. In der digitalisierten „Smart Factory“ müssen alle Bereiche engmaschig miteinander vernetzt sein. Eine enge Vernetzung wird durch eine gemeinsame Datenbank realisiert. Man spricht hier von Interoperabilität. Ferner ist ersichtlich, dass eine Vernetzung aller Bereiche in der „Smart Factory“ die Voraussetzung für dezentrale Strukturen bildet.

In Stufe vier wird die Selbstorganisation und Autonomie in Hinblick auf die Digitalisierung beleuchtet. „Intelligente Produkte“ suchen autonom den „besten“ Weg durch die Produktion. Um dies zu realisieren ist es notwendig, dass allzeit der aktuelle Bearbeitungszustand, die Folgebearbeitung und der Zustand aller Bearbeitungsstationen vorliegen. Mithilfe des digitalen Zwilling liegen die Informationen in Echtzeit vor. Das Vorliegen dieser Informationen im digitalen Zwilling bildet die Basis für die vom System ausgeführte Analyse und Verarbeitung. In Summe bedeutet dies, dass das System autonom entscheidet und Produkte vollautomatisch durch die Wertschöpfungskette geführt werden³⁸.

2.6.3 Definition Smart Factory

Ein Bestandteil der „Smart Factory“ ist die Lean Philosophie. Die Lean Philosophie ist charakterisiert durch schlanke und effiziente Wertströme. Die „Smart Factory“ zeichnet sich zudem durch die kontinuierliche Prozessverbesserung, kurz KVP aus.

Wichtige Zielgrößen zur Aufrechterhaltung von stabilen Prozessen in technischen Anlagen, kurzen Durchlaufzeiten und minimalen Beständen sind:

³⁸ Kletti, Rieger, 2022, S.17

- Die Gesamtanlageneffektivität, kurz OEE
- Der Prozesswirkungsgrad, kurz PWG

Ferner werden Prozesse durch die Lean Philosophie vereinfacht und verschlankt. In der „Smart Factory“ werden die Lean Philosophie und MES miteinander vereint. Ein weiteres Charakteristika der „Smart Factory“ stellt die zielgerichtete Digitalisierung der Prozesse im Wertstrom und in den Unterstützungsfunktionen sowie die Vernetzung aller Bereiche, inklusive die gesamte Supply Chain.

Kletti und Rieger sind der Auffassung, dass in einer „Smart Factory“ nicht nur das Material, sondern auch die Informationen fließen müssen. In einer „Smart Factory“ ist die Digitalisierung und Optimierung von Prozessen angesiedelt. Zusätzlich müssen auch das produktionsnahe Umfeld, wie etwa Wertströme optimiert werden. Mithilfe der Lean-Methoden werden Prozessabläufe zunächst aufgenommen und anschließend analysiert in Hinblick auf Schwachstellen und nicht ausgeschöpften Potenzialen. Es gilt die Vermeidung unnötiger Komplexität in Prozessabläufen. Kletti und Rieger sprechen bei „Smart Factory“ von einer perfekten Produktion und haben folgende vier Bausteine entwickelt:

1. Wertstrommanagement 4.0
2. Schlanke Wertströme
3. Schlanke Unterstützungsfunktionen
4. Nachhaltige Prozessverbesserung

Kletti und Rieger betonen, dass die Anschaffung moderner IT-Tools nicht ausreichend ist um eine „Smart Factory“ zu beschreiben. Fener wird auf die Berücksichtigung einer vollständig einheitlichen Umsetzungsstrategie verwiesen, in der ein Zusammenspiel von Mensch, Technik und Organisation ersichtlich wird³⁹.

2.6.4 MES in der Smart Factory

Aufgrund der zunehmenden autonomen Steuerung in der Produktion ist IT-Unterstützung für die Produktion zwingend notwendig. Grund für die Notwendigkeit von IT-Unterstützung in Unternehmen sind die großen Mengen an Daten, die miteinander ausgetauscht werden. MES eignet sich aufgrund der Prozessnähe und der Funktion als allgemeingültige Datendrehzscheibe zu fungieren, ideal um die Aufgaben in der „Smart Factory“ zu bewältigen.

³⁹ Kletti, Rieger, 2022, S.18ff.

Die Funktion der MES ist in der VDI Richtlinie 5600 näher definiert. Um MES in der „Smart Factory“ zu nutzen werden im Folgenden weitere Anforderungen an ein MES dargestellt. In einer „Smart Factory“ hat das MES die Aufgabe, die dezentrale Organisation der Produktionseinheiten zu unterstützen. Eine weitere Anforderung an ein MES in der „Smart Factory“ ist die Erfassung aller anfallenden Produktionsdaten, wie Auftragsdaten, Maschinendaten, Qualitätsdaten, Prozessdaten und Material- sowie Chargendaten. Die ermittelten Daten müssen für übergeordnete Systeme wie ERP, HR oder LVS aufbereitet und verdichtet werden. Die Herausforderung in der „Smart Factory“ liegt darin, Fertigungsprozesse zu automatisieren nach dem Prinzip der Echtzeit-Optimierung, welche vorherrschend Anwendung im Bereich der Maschinen- und Prozesssteuerung findet⁴⁰. Beispielhaft sind die Informationsabläufe eines MES in Abbildung 9 visualisiert.

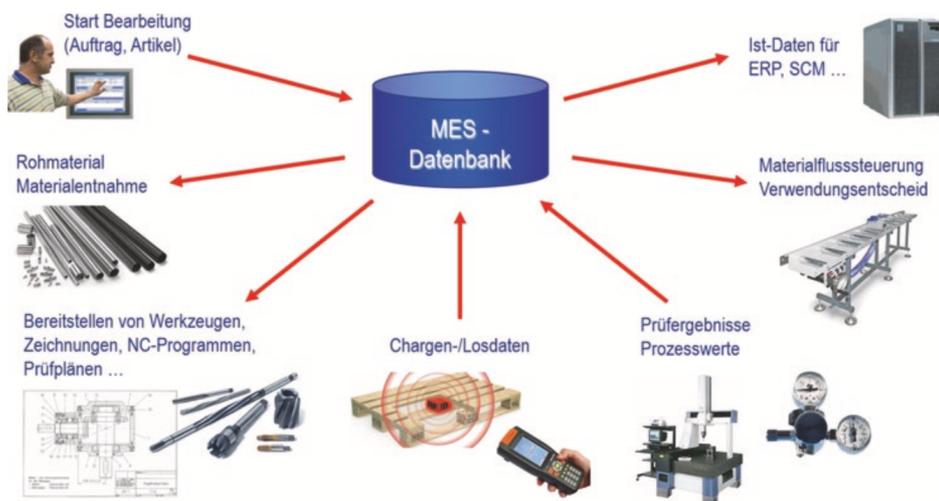


Abbildung 9: Informationsabläufe eines MES

Die „Smart Factory“ zeichnet sich durch ihre Flexibilität aus, so werden fest getaktete Fertigungsabläufe künftig durch einen flexiblen Fertigungsablauf ersetzt. Unterstützend fungiert hier das MES. Desweiteren spielt auch die Interoperabilität eine bedeutende Rolle in der „Smart Factory“. Es soll eine Verkettung der Fertigungsprozesse über mehrere „Smart Factories“ realisiert werden. Man spricht hier auch von Supply Chain. An dieser Stelle muss ein Datenaustausch zwischen mehreren „Smart Factories“ erfolgen. Der Datenaustausch erfolgt auf direkten Weg der MES⁴¹. Eine Visualisierung dessen ist in Abbildung 10 zu finden.

⁴⁰ Kletti, Rieger, 2022, S.129ff.

⁴¹ Kletti, Rieger, 2022, S.131f.

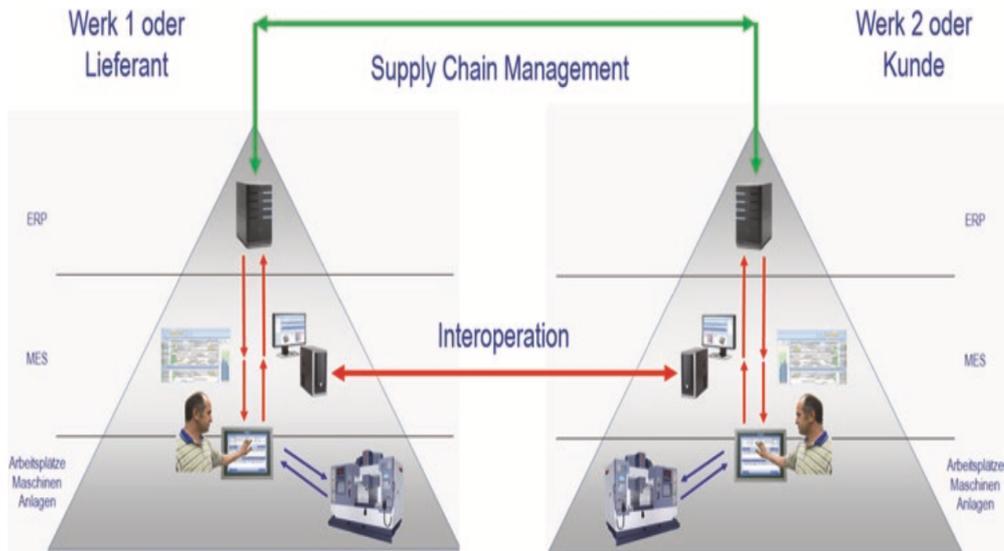


Abbildung 10: Interoperabilität von MES zwischen mehreren Smart Factories

Eine weitere Funktion des MES besteht darin, die Vielzahl an komplexen IT-Insellösungen zu reduzieren, um so mehr Transparenz in der Produktion zu gewährleisten. Mithilfe eines MES wird ein wesentlicher Schritt in der Mobilität in der „Smart Factory“ gelegt. Über WLAN-Netze kommunizieren MES miteinander. Aufgrund der Vielzahl von Datenmengen ist es notwendig, das MES mit Standardkommunikationsmechanismen zur individuellen Konfigurationsmöglichkeiten auszustatten.

Kletti und Rieger betonen, dass die aktive Einbeziehung des Menschen trotz Automatisierung erforderlich ist. Dennoch kann das MES, den Menschen in seiner Entscheidung unterstützen. Das MES erstellt auf Grundlage objektiv nachvollziehbaren Daten eine geeignete Entscheidungsgrundlage.

Zusammenfassend ist das MES aufgrund ihrer der Möglichkeit der Echtzeitfähigkeit ein ideales Tool zur Realisierung von schnellen Regelkreisen. Zu den wichtigsten Aufgaben eines MES zählen⁴²:

1. Die Überwachung der Produktion in Echtzeit
2. Eine kurzfristige Reaktion auf Ergebnisse
3. Die Berechnung und Visualisierung von Kennzahlen
4. Die Unterstützung des KVP

⁴² Kletti, Rieger, 2022, S.111ff.

5. Die Datenbereitstellung für ERP-Systeme

2.7 Smart Factory aus der Sicht von Herstellern

Ausgehend von dem Wissen, dass es ebenfalls keine einheitliche Definition zum Begriff „Smart Factory“ gibt ist es wichtig diesen aus unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten.

2.7.1 Smart Factory aus der Sicht von Siemens

Siemens beschreibt die wesentlichen Elemente einer „Smart Factory“ wie folgt: In einer „Smart Factory“ sind alle Maschinen und Bauteile, die zu einem Produkt beitragen miteinander vernetzt. Die Vernetzung erstreckt sich von Einkauf über den Vertrieb bis hin zur Logistik. Auch Zulieferer werden durch externe Vernetzung angesprochen.

Ein weiteres Element der „Smart Factory“ bildet die Selbststeuerung der Maschinen und Produktionsabläufen, Stichwort Automatisierung. Der Mensch ist in der Produktion lediglich zur Überwachung dessen vorhanden. Der Einsatz einer KI-Software, die zur Selbststeuerung- und Optimierung im Fertigungsprozess beiträgt, ist ein weiteres Element der „Smart Factory“.

Als Voraussetzung für die Selbststeuerung und Vernetzung innerhalb der „Smart Factory“ wird die Verbundenheit über das Internet angegeben. In der Umsetzung bedeutet dies, dass zum Beispiel einem Industrieroboter, eine KI-Software impliziert wird. Ausgehend muss von allen am Produktionsprozess beteiligten Gegenstände ein digitales Abbild vorhanden sein. Ein digitales Abbild wird in diesem Zusammenhang mit dem Begriff des digitalen Zwillinges assoziiert. In einem digitalen Zwilling sind relevante Daten für die Fertigung sowie Auslieferung vorhanden. Mithilfe der digitalen Zwillinge ist eine ganze Fabrik virtuell steuerbar. Zur Verdeutlichung wird ein Industrieroboter herangezogen, der mit einem Chip auf dem Transportbehälter ausgestattet ist, herangezogen. Der Chip ermöglicht es dem Industrieroboter zu erkennen, um welches Bauteil es sich handelt und bearbeitet dementsprechend⁴³.

Nachfolgend werden einige Beispiele für die Anwendung von KI unterstützter Anwendung in der „Smart Factory“ vorgestellt.

Wie bereits in Kapitel 2.6.4 erwähnt beschreibt auch Siemens das MES als Bestandteil einer „Smart Factory“. Siemens beschreibt das MES als lernende Algorithmen, die nach dem Prinzip der künstlichen Intelligenz arbeiten. Die KI ist für das Verarbeiten und Interpretieren von Daten während des laufenden Produktionsprozesses zuständig, um so die Fertigung zu lenken. Das

⁴³ Siemens Stiftung, 2019, S.1

MES lässt sich als ein Produktionsleitsystem, welche die Produktion in Echtzeit steuert, kontrolliert definieren. Prozessabläufe werden ebenfalls optimal aufeinander abgestimmt. Betriebsdaten, Maschinendaten und Personaldaten werden von dem MES erfasst. Anschließend erstellt das MES eigenständig Fertigungsablaufpläne für Produkte.

Ein weiterer Bestandteil der „Smart Factory“ ist das „Human Machine Interface“, kurz HMI. Der Produktionsprozess wird vom Mensch lediglich überwacht. Das HMI ermöglicht eine Kommunikation zwischen Mensch und Maschine, auch über größere räumliche Distanzen. Anhand der HMI wird der Umgang mit einer Produktionsmaschine nachgestellt. Laut Siemens sei die HMI mit einer intuitiven bedienbaren Benutzeroberfläche ausgestattet, die sich teilweise an die Nutzer anpasst. Um Eingaben in die HMI Software einzugeben wird sich manueller Eingabemethoden bedient. Zusätzlich können Daten über eine intelligente Spracherkennung und Sprachsteuerung eingegeben werden.

Das „Predictive Maintenance“ gilt ebenfalls als fester Bestandteil in einer „Smart Factory“. Als Basis für das „Predictive Maintenance“ stehen auch hier KI-Systeme. Mithilfe des „Predictive Maintenance“ ist es möglich Aussagen über das Wartungsintervall an Fertigungsmaschinen zu treffen. Sensoren nehmen zum Beispiel die Leistung, Umdrehungen und Temperatur einer Fertigungsmaschine auf und werten diese aus. Die KI untersucht die vorliegenden Daten auf häufig auftretende Fehler und erstellt ein Fehlermuster, sodass Maschinenausfälle minimiert werden⁴⁴.

2.7.2 Smart Factory aus der Sicht von FORCAM Smart Factory experts

Laut FORCAM heben sich „Smart Factories“, zu Deutsch intelligente Fabriken deutlich von den herkömmlichen automatisierten Produktionsprozessen ab. In den „Smart Factories“ erfolgt die Datenerfassung durch hochgradig verbundene und vernetzte Systeme. Änderungen im Supply Chain Management und in den Produktionsprozessen werden zunehmend flexibler und anpassungsfähiger gestaltet. Die „Smart Factory“ setzt sich von herkömmlichen produzierenden Fabriken ab, indem sich die künstlich eingesetzte Intelligenz ständig selbst optimiert. Mithilfe der künstlichen Intelligenz und dem maschinellen Lernen können in wenigen Sekunden Entscheidungen und Auswertung in der „Smart Factory“ getroffen werden. Ein weiteres Charakteristika der „Smart Factory“ ist die Möglichkeit, Produktionsabläufe lokal an einem physischen Standort oder über global verteilt über ein Netzwerk von beteiligten

⁴⁴ Siemens Stiftung, 2019, S.2

Systemen zu verbinden. Maschinen und Anlagen sind über ein Internet der Dinge Protokoll miteinander verbunden. Im Mittelpunkt der „Smart Factory“ steht ein zentrales System, welches Sensorik, Steuerung, Messung und Kommunikation vereint. Dieses zentrale System wird durch Automatisierung, Cloud Computing und künstlicher Intelligenz ergänzt. Anhand dieser Komponenten Kombination entsteht ein System, welches alle Maschinendaten erfasst und große Echtzeit Datenanalysen ohne Menschen ausführt. Laut FORCAM bildet das IIoT die Basis von einer „Smart Factory“. Nachfolgend wird eine „Smart Factory“ aus der Sicht von FORCAM visualisiert dargestellt⁴⁵.



Abbildung 11: Aufbau Smart Factory

2.8 Vor- und Nachteile Smart Machining

Das „Smart Machining“ bietet den Vorteil einen automatisierten Betrieb zu gewährleisten. Die intelligente in echtzeitarbeitende Steuerung ermöglicht es während einer Bearbeitung, Fehler hinsichtlich der Geometrie, Oberflächengüte und eine Anpassung der Prozessparameter zu übernehmen. Die Ausschussrate wird somit auch reduziert. Zudem unterstützt die im „Smart Machining“ verwendete KI bei Wartungsmaßnahmen. Durch die Integration von Sensoren und dem maschinellen Lernen wird die Produktivität gesteigert. Ein weiterer Vorteil des „Smart Machining“ ist die verbesserte Qualität von Werkstücken⁴⁶.

Dennoch kann es durch die Implementierung von „Smart Machining“ zunächst zu erhöhten Kosten kommen, denn es muss in neue Technologien eventuell investiert werden. Weitere Nachteile sind der Arbeitsplatzverlust durch eine automatisierte und sich selbststeuernde

⁴⁵ FORCAM, 2021, <https://forcam.com/smart-factory-definition-vorteile/>, Zugriff 20.02.23

⁴⁶ NC Fertigung, <https://www.nc-fertigung.de/perfekte-performance-dank-smart-machining>, Zugriff 25.02.23

Fertigung. Durch die Komplexität, die mit dem System eines „Smart Machining“ einhergeht könnte es zu technischen Ausfällen kommen.

2.9 Vor- und Nachteile Smart Factory

Ausgehend von den Einsatz der Digitalisierung innerhalb einer „Smart Factory“ lässt sich die gesamte Wertschöpfungskette miteinander vernetzen, es entsteht Transparenz. Mithilfe von Transparenz in der „Smart Factory“ können zum Beispiel Durchlaufzeiten minimiert und die Produktion flexibel gestaltet werden. Auftretende Störungen in der Wertschöpfungskette werden schneller erkannt. Dies führt zu einer gesteigerten Produktivität und einer Senkung der Kosten. Ausgehend von der Flexibilität einer „Smart Factory“ lassen sich individuelle Kundenwünsche und Änderung leichter planen und umsetzen. Die Automatisierung in der „Smart Factory“ hat zudem den Vorteil, Mitarbeiter zu entlasten. Auch das Erkennen von Fehlern, die meist vom Menschen unentdeckt bleiben gilt als Vorteil, denn Folgekosten und Ausfallraten werden reduziert.

Nachteilig an einer „Smart Factory“ ist die mit hohen Kosten verbundenen Investition zur Realisierung, denn die gesamte Produktionsstätte muss mit neuester Technik ausgestattet werden. Ein weiterer Nachteil sind die Konflikte zwischen Mensch und Maschine hinsichtlich der Entscheidungsbefugnis, Stichwort rechtliche Grundlagen. Zudem in einer herkömmlichen Fertigungsunternehmen über Veränderungen im Rahmen des Change Management gemeinsam getroffen werden. Zudem kann es durchsteigende Automatisierung dazu kommen, dass Arbeitsstellen abgebaut werden und künftig weniger Mitarbeiter benötigt werden. Die Digitalisierung kann ebenfalls als nachteilig angenommen werden, da unter Umständen personenbezogene Daten an Dritte gelangen könnten⁴⁷.

3 Auswertung

Im Folgendem wird anhand der umfassenden Recherche in Kapitel 2 „Neue Trends in der Fertigung“ ein aspektorientierter Vergleich durchgeführt. Ziel ist es die Begrifflichkeiten „Smart Machining“ und „Smart Factory“ miteinander zu vergleichen und eindeutig voneinander zu unterscheiden oder miteinander gleichzusetzen. Der Vergleich nimmt Bezug auf unterschiedlichen Perspektiven der Begrifflichkeiten.

⁴⁷ NEONEX, <https://neonex.de/industrie-4-0-hub/smart-factory-basics/smart-factory-vor-nachteile>, Zugriff 20.02.23

3.1 Vergleich Smart Machining und Smart Factory

Das „Smart Machining“ und die „Smart Factory“ sind beides Begriffe, die man im Zusammenhang mit der Implementierung von intelligenten Technologien in der Industrie beziehungsweise der Fertigung findet. Der folgende Vergleich bezieht sich zunächst auf die Annahmen von Professor Zhu⁴⁸ bezogen auf das „Smart Machining“ und auf die Annahmen von Kletti und Rieger⁴⁹. Anhand der Darstellung des „Smart Machining“ aus der Sichtweise von Zhu lässt sich erkennen, dass sich der Trend „Smart Machining“ vorherrschend auf die intelligente Bearbeitung eines CNC gesteuerten Fertigungsprozess bezieht. Die Zerspanungstechnik bildet nach Zhu das zentrale Element eines „Smart Machining“. Anhand der Betrachtung der „Smart Factory“ ist erkennbar, dass die „Smart Factory“ weitaus mehr, als nur einen spanenden Prozess beschreibt. Kletti und Rieger vermitteln das Bild einer vollständig digitalisierten und vernetzten Produktionsstätte. Da sich der Trend „Smart Machining“ vorwiegend auf eine zerspanende Bearbeitung bezieht, kann als Ausführungszeitspanne eine kürze, als die in der „Smart Factory“ angenommen werden. Die Ausführungsmerkmale beider Trends zeigen eine Parallelität, denn in beiden Trends steht die Automatisierung im Mittelpunkt. In der „Smart Factory“ sprechen Kletti und Rieger davon, dass sich ein Produkt den Weg durch die Fabrik selbst sucht, dies lässt ähnlich wie bei „Smart Machining“ auf ein selbstlernendes System schließen. Kletti und Rieger, als auch Zhu nennen als Beispiel für ein selbstlernendes System, die automatisch vorhersagbaren Verschleißprognosen. Die Basis von selbstlernenden Systemen bildet in beiden Trends das maschinelle Lernen. Eine weitere Gemeinsamkeit beider Trends ist das Erfassen und Analysieren von großen Datenmengen. Die großen Mengen an Daten, Big Data unterstützen bei Entscheidungen und tragen zur Erhöhung der Effizienz bei. Ein weiteres gemeinsames Ziel die Erhöhung der Flexibilität, wobei sich Zhu lediglich auf die erhöhte Effizienz während einer Bearbeitung bezieht. Kletti und Rieger hingegen streben eine erhöhte Effizienz in der gesamten Wertschöpfungskette an. Vernetzung spielt in der „Smart Factory“, als auch bei „Smart Machining“ eine entscheidende Rolle, so führt Zhu die Vernetzung von Maschinen untereinander auf. Kletti und Rieger sprechen in diesem Zusammenhang von weiter viel weiterführenden Vernetzung, die sich über mehrere „Smart Factories“ vollzieht. Kletti und Rieger führen dabei die Interoperabilität von MES auf. Eine weitere Parallele ist die Anwendung von moderner Sensorik sowie die Implantierung von künstlicher Intelligenz. Die „Smart Factory“ und auch das „Smart Machining“ basieren auf Digitalisierung und agieren nach dem Prinzip IOT. Zur Umsetzung beider Trends ist muss eine Netzwerkverbindung vorhanden

⁴⁸ Siehe Kapitel 2.1

⁴⁹ Siehe Kapitel 2.6

sein, denn sowohl das „Smart Machining“, als auch die „Smart Factory“ nutzen zur Datenanalyse interne und externe Datenbanken und bedienen sich dem Cloud-Computing. Desweiteren setzen beide Trends auf die Umsetzung einer fehlerfreien Produktion, beziehungsweise Fertigung. Beide Trends unterscheiden sich allerdings in der Herangehensweise. Das „Smart Machining“ wird laut Zhu mit einer adaptiven Steuerung ausgestattet, die es ermöglicht in Echtzeit zu reagieren. Die adaptive Steuerung und das in echtzeitarbeitende Überwachungsmodul sind in der Lage während der Bearbeitung, Probleme zu erfassen und zu beheben. Es werden somit die relevanten Prozessparameter in Echtzeit angepasst, was zu einer fehlerfreien Fertigung beiträgt. In der „Smart Factory“ hingegen wird eine fehlerfreie Produktion realisiert, indem Prozesse mithilfe von digitalen Zwillingen nachgebildet werden und mögliche Probleme bereits vor ihrer Entstehung behoben werden. In der herangezogenen Literatur von Zhu wird der digitale Zwilling nicht herangezogen.

Die bereits erwähnten Charakteristika decken sich weitestgehend mit dem von Erbl. Erbl beschreibt in seinem Buch „Smarte Maschinen“ auch das Cognitive Computing. Ähnlich wie Zhu, Kletti und Rieger ist auch Erbl der Auffassung, dass „Smarte Maschinen“ sich durch das Merkmal der Selbstlernfähigkeit auszeichnen. Erbl führt diesen Gedanken allerdings noch viel weiter aus. Laut Erbl entwickeln sich „Smarte Maschinen“ zunehmend weiter, sodass man sie kaum noch von Menschen unterscheiden kann. Insbesondere durch die menschlichen Verhaltensweisen, die „Smarte Maschinen“ nach Erbl besitzen, wie Mimik und Gestik wird dem Begriff „Smarte Maschinen“ ein komplett anderes Bild, als wie von Zhu, Kletti und Rieger vermittelt. Auch der Aspekt, dass sich laut Zhu das „Smart Machining“ nur auf zerspanende Bearbeitungen beschränkt deckt sich nicht vollständig mit der Ansicht von Erbl, so beschreibt Erbl auch das autonome Fahren als eine „Smarte Maschine“. Dieser Gedankengang von Erbl deckt sich allerdings mit dem von Kohlhoff. So beschreibt auch Kohlhoff im Kern, „Smarte Maschinen“ sind computerunterstützt und besitzen die Fähigkeit zum Selbstlernen. Kohlhoff führt in seinem Artikel „Smart Machines“ genau wie Erbl weitere Anwendung auf. So spricht Kohlhoff auch bei der Anwendung von Siri von einer „Smarten Maschine“.

Anhand des Vergleiches lässt sich sagen, dass die „Smart Factory“ und das „Smart Machining“ eng miteinander vernetzt sind und einige Parallelitäten aufweisen. Beide Trends verfolgen eine ähnliche Zielsetzung. Dennoch lassen sich die beiden Trends nicht als „gleich“ beschreiben, denn sie unterscheiden sich letztendlich in ihrer Ausführungsweise. Es sind zwar Gemeinsamkeiten in Hinblick auf die Betrachtungsweise gegeben. Die Ausführungsweise und die Tatsache, dass die „Smart Factory“ eine vollständige Produktionsstätte betrachtet unterscheidet beide Trends. Aus persönlicher Sicht lässt sich das „Smart Machining“ in die

„Smart Factory“ adaptieren. Zudem lässt sich das „Smart Machining“ als Element der „Smart Factory“ beschreiben.

3.2 Checkliste

Ausgehend von der umfassenden Betrachtung des Begriffes Smart Machining wird in Folgenden eine Checkliste für die weitere Betrachtung von ausgewählten Werkzeugmaschinen vorgestellt. Anhand dieser Checkliste ist es möglich, eine ausgewählte Maschine oder einen Prozess eindeutig als Smart Machining zu klassifizieren. Zudem eignet sich die Checkliste für weitere Forschungsarbeit. Die Checkliste lässt sich eventuell in die Labor Arbeit an der Hochschule für angewandte Wissenschaften einbinden.

Maschinenbezeichnung / Prozessbezeichnung				
Merkmale	Beschreibung	Ja	Nein	Anmerkung / Notizen
Automatisierungsfähigkeiten	Automatisierung von Fertigungsprozessen, Maschinen und Roboter in Echtzeit			
CNC-Steuerung	Vorhanden sein einer CNC-Steuerung, Präzisionsarbeit, Fertigen von komplexen Muster			
Integrierte Prozessüberwachung	Echtzeitüberwachung durch Steuerung			
Robotik-System	Vorhanden sein eines Robotik-System			
Datenzugang	Zugänglichkeit in Echtzeit auf Daten über den Fertigungsprozess, Sensordaten, Maschinenparameter			
Datenanalysefähigkeiten	Echtzeitanalyse von Daten durch KI und maschinelles Lernen			
Interoperabilität	Datenaustausch zwischen Maschinen und Systemen			
Predictive Maintenance	Vorhersagen des Wartungsintervall			
Digitaler Zwilling	Erstellen einer virtuellen Simulation eines Fertigungsprozesses oder Maschine			
Supply Chain Integration	Vorhandene Integration in die Lieferkette, zur Vermeidung von Engpässen			

Remote-Produktion	Ortsunabhängige Steuerung des Prozesses oder der Maschine			
Big Data Analytics	Möglichkeit zur Analyse von großen Datenmengen			
Flexibilität	Schnelle eigenständige Anpassungsfähigkeit an Veränderungen			
Sicherheit	Vorhandensein von Sicherheitsfunktionen			
Robustheit	Widerstandsfähigkeit gegenüber erschwerten Bedingungen, wie Vibrationen, Belastungen			
Kostenoptimierung	Senkung von Kosten durch fehlerfreies fertigen			
Prozessoptimierung	Fähigkeit Prozesse und Prozessparameter eigenständig anzupassen			
Qualitätssicherung	Überwachung durch Sensor und Kamera			
Mensch-Maschine-Interaktion	Erleichterter und schnelle Zugänglichkeit von Informationen aus der Maschine			

Tabelle 1: Checkliste zur Identifikation von Smart Machining

3.2.1 Anleitung

Die in Kapitel 3.2 dargestellte Checkliste zur Identifikation eines „Smart Machining“ wurde anhand der in Kapitel 2 „Neue Trends in der Fertigung“ aufgeführten Definitionen und Beschreibungen selbst erstellt. Aufgrund der fehlenden Standardisierung des Begriffes dient die Checkliste als Hilfestellung zur Identifikation von Prozessen- und oder Maschinen. Die Checkliste ist simpel in der Anwendung. Zutreffende Merkmale werden entweder durch ein Kreuz in der Spalte „Ja“ oder einem Kreuz in der Spalte „Nein“ gekennzeichnet. Die Checkliste bietet auch Platz für Anmerkungen oder Notizen. In der Checkliste befinden sich 19 Merkmale, die nach persönlicher Relevanz ausgewählt wurden. Ausgehend von dem Stand der Technik, realen Umsetzung und einer persönlichen Einschätzung müssen mindestens 12 Merkmale zutreffen um eine Maschine oder einen Prozess als „Smart Machining“ zu bezeichnen. Aus persönlicher Empfehlung muss allerdings das Merkmal „Prozessoptimierung“ vorhanden sein.

3.2.2 Beispiel Anwendung

Im Folgenden wird untersucht, ob die Werkzeugmaschine Spinner U5-620 Merkmale eines „Smart Machining“ besitzt. Für die Betrachtung wird das im Anhang 1 verwendete Daten genutzt. Es werden systematisch die vorhandenen Merkmale abgearbeitet.

Maschinenbezeichnung / Prozessbezeichnung	Spinner U5-620			
Merkmale	Beschreibung	Ja	Nein	Anmerkung / Notizen
Automatisierungsfähigkeiten	Automatisierung von Fertigungsprozessen, Maschinen und Roboter in Echtzeit	X		Vollautomatische 5-Seitenbearbeitung
CNC-Steuerung	Vorhanden sein einer CNC-Steuerung, Präzisionsarbeit, Fertigen von komplexen Mustern	X		Universal CNC-Bearbeitungszentrum
Integrierte Prozessüberwachung	Echtzeitüberwachung durch Steuerung		X	
Robotik-System	Vorhanden sein eines Robotik-System		X	
Datenzugang	Zugänglichkeit in Echtzeit auf Daten über den Fertigungsprozess, Sensordaten, Maschinenparameter	X		Drehzahl und Vorschub wird in Echtzeit angezeigt
Datenanalysefähigkeiten	Echtzeitanalyse von Daten durch KI und maschinelles Lernen		X	
Interoperabilität	Datenaustausch zwischen Maschinen und Systemen		X	
Predictive Maintenance	Vorhersagen des Wartungsintervall		X	
Digitaler Zwilling	Erstellen einer virtuellen Simulation eines Fertigungsprozesses oder Maschine		X	
Supply Chain Integration	Vorhandene Integration in die Lieferkette, zur Vermeidung von Engpässen		X	
Remote-Produktion	Ortsunabhängige Steuerung des Prozesses oder der Maschine		X	
Big Data Analytics	Möglichkeit zur Analyse von großen Datenmengen		X	
Flexibilität	Schnelle eigenständige Anpassungsfähigkeit an Veränderungen		X	

Sicherheit	Vorhandensein von Sicherheitsfunktionen	X		Not-Aus vorhanden
Robustheit	Widerstandsfähigkeit gegenüber erschwerten Bedingungen, wie Vibrationen, Belastungen	X		Robuste Bauweise
Kostenoptimierung	Senkung von Kosten durch fehlerfreies fertigen			Lässt nicht pauschalieren
Prozessoptimierung	Fähigkeit Prozesse und Prozessparameter eigenständig anzupassen		X	
Qualitätssicherung	Überwachung durch Sensor und Kamera		X	
Mensch-Maschine-Interaktion	Erleichterter und schnelle Zugänglichkeit von Informationen aus der Maschine		X	

Tabelle 2: Beispiel - Checkliste zur Identifikation von Smart Machining

Anhand der in Tabelle 2 aufgeführten Zuordnung der Werkzeugmaschine Spinner U5-620 lässt sich diese nicht als ein „Smart Machining“ beschreiben, da mindestens 12 Merkmale, inklusive das Merkmale „Prozessoptimierung“ vorhanden sein müssen. Die Einordnung der Merkmale erfolgt lediglich auf dem im Anhang 1 eingefügten Datenblatt.

Die Spinner U5-620 weist im Zusammenhang mit „Smart Machining“ die 5 Merkmale „Automatisierbarkeit“, „CNC-Steuerung“, „Robustheit“, „Datenzugang“ und „Sicherheit“ auf, dies wird anhand des Datenblattes und aus eigener Erfahrung ersichtlich. Es ist möglich durch eine experimentelle Untersuchung der Spinner U5-620 weitere Merkmale als ein „Smart Machining“ zu identifizieren. Beispielhaft kann durch eine Kostenvergleichsrechnung das Merkmal „Kostenoptimierung“ eindeutiger zugeordnet werden. Merkmale, die mit „Nein“ gekennzeichnet wurden, können für eine gezielte Optimierung der Maschine genutzt werden. Der Werkzeugmaschinenhersteller FANUC bietet Lösungen zur Nachrüstung, durch eine Adaption von einer intelligenten Steuerung an, die sich von der herkömmlichen Maschinensteuerung unterscheidet⁵⁰. Durch die Implementierung einer intelligenten Steuerung in die Spinner U5-620 kann eine Zuordnung nach „Smart Machining“ auf die Maschine zutreffend sein.

⁵⁰ Siehe Kapitel 2.4.3

4 Fazit

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war es, durch Recherche Charakteristika der neuen Trends „Smart Machining“ und „Smart Factory“ herauszuarbeiten und folglich zu einer eindeutigen Beschreibung dieser zu gelangen. Eindeutig definierte Beschreibungen helfen bei der Umsetzung, noch besser eignen sich hierfür, wie man es üblicherweise aus der Fertigung oder auch dem Projektmanagement kennt, Normen.

Wo man damals noch von der Dampfmaschine als einer der größten Innovationen auf dem Markt sprach, sind es heute die Industrie 4.0, die Smart Factory oder auch das Smart Machining. Nicht zu vergessen, die künstliche Intelligenz. Die Entwicklung der Industrie ist rasant und erstaunlich. Mit großer Sicherheit ist die industrielle Entwicklung noch lange nicht am Ende, viel mehr am Anfang einer neuen Ära. Eine Ära, die auf Digitalisierung und intelligente Vernetzung nicht verzichten kann. Ohne Digitalisierung wären mit großer Wahrscheinlichkeit keine Smart Factories und Smart Machining Systeme entstanden. Die Digitalisierung stellt somit eine Voraussetzung für das, was man heutzutage „Smart X“ nennt. Das „X“ steht an dieser Stelle für einen variablen Begriff, denn gibt man den Begriff „Smart“ zum Beispiel in eine Suchmaschine ein, vorausgesetzt es handelt sich um eine industrielle Suchmaschine, wird man eine Vielzahl an Kombinationen zu dem Wort „Smart“ erhalten. Mögliche Ergebnisse sind „Smart“ – (Factory, Manufacturing, Machining, Machine Control) und viele weitere Begriffe. Bemerkenswert sind hierbei auch die enorme Anzahl an Suchvorschlägen mit ähnlichen Inhalt. Smarte Maschinen und das Cognitive Computing sind ebenfalls feste Bestandteile dieser neuen Ära. Mit großer Sicherheit ist auch die Industrie 4.0 ein wesentliches Kernelement. Ebenfalls lässt sich an dieser Stelle auch der Fortschritt, in Hinblick auf die Automatisierung erwähnen, denn die Automatisierung nimmt durch die fortschrittliche Entwicklung von CNC komplett neue Züge an. Insbesondere ab hier stellt sich die Frage, mit was oder welchem Begriff lässt sich zum Beispiel die fortschrittliche Entwicklung von CNC und die Automatisierungstechnik innerhalb einer Produktionsstätte beschreiben.

Ausgehend von der Vielfalt an neuen Begriffen und Technologien wird aus persönlicher Sicht eine Beschreibung für das Smart Machining dargestellt. Hierbei ist anzumerken, dass eine Beschreibung von „Smart Machining“ stark von ihrer Betrachtungsweise abhängt. Ein Fachbuch, wie das von Zhu behandelt andere Aspekte als das im Stil eines Roman geschriebenen Buch von Erbl.

Smart Machining beschreibt einen zerspanenden Fertigungsprozess, dies könnte man anhand des Wortes Machining ableiten. Ein wichtiges Kernelement stellt die intelligente

Prozessüberwachung und die intelligente Steuerungstechnologie da. Das Schlüsselwort „Echtzeit“ darf in der Definition nicht fehlen. Da es sich bei Smart Machining allerdings um einen sehr neuen Trend handelt wird aus persönlicher Sicht das „Smart Machining“ aktuell zwar als alleiniger Prozess definiert, der allerdings zur Umsetzung eine Umgebung der Industrie 4.0 benötigt. Zusammenfassend lassen sich 14 Charakteristika eines „Smart Machining“ entwickeln. Die aus persönlichem Empfinden gewählten 14 Charakteristika sind in Kapitel 3.2 „Checkliste“ dargestellt und mit einer Kurzbeschreibung erwähnt.

Die vorliegende Arbeit hat sich zudem mit dem neuen Trend „Smart Factory“ befasst und erörtert inwiefern, dass zuvor erwähnte Smart Machining als eigener Ansatz fungiert. Ferner hat der Vergleich in Kapitel 3.1 aufgezeigt, dass das Smart Machining aktuell noch ein Kernelement der „Smart Factory“ darstellt.

Betrachtet man die neuen Trends in der Fertigung kritisch fällt auf, dass aktuell noch wenig Literatur zu den Trends vorhanden ist. Ebenfalls die Anzahl der Hersteller, die mit zum Beispiel dem „Smart Machining“ werben gering. Dies lässt darauf schließen, dass die neuen Trends zur jetzigen Zeit noch nicht vollumfänglich in der Industrie umgesetzt werden. Da es sich bei den beiden Begriffen „Smart Machining“ und „Smart Factory“ um nicht geschützte Begriffe handelt ist Vorsicht geboten, denn theoretisch jedes Unternehmen kann die beiden Begriffe im Werbeslogan verwenden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Folgendem wird die vorliegende Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick für künftige Forschung bereitgestellt. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es Kernelemente zu dem neuen Trend Smart Machining herauszuarbeiten und anhand dessen zu erörtern, ob es sich bei Smart Machining um einen eigenen, von der Smart Factory abgegrenzten Ansatz handelt und ob das Smart Machining als allgemeingültiger Ansatz in der Fertigung beschrieben werden kann.

Smart Machining lässt sich zusammenfassend als Kernelement einer Smart Factory beschreiben. Ausgehend von der Recherche kann sich das Smart Machining aktuell noch nicht als allgemeingültiger Ansatz in der Fertigungstechnik behaupten. Ferner bedeutet dies für den Ausblick, dass weitere Forschungen zum „Smart Machining“ angestrebt werden sollten. Anhand des stetigen industriellen Fortschrittes hinsichtlich Technologie ist ein Trend erkennbar, der darauf schließen lässt, dass das Smart Machining und die Smart Factory sich in näherer Zukunft durchsetzen und weitestgehend erforscht werden. Für den weiteren

Ausblick in Anbetracht dessen, dass für den Begriff „Smart Machining“ noch keine standardisierte Beschreibung bzw. Definition vorhanden ist, wird als Lösungsansatz die Erstellung einer Klassifizierung in der Norm 8580 empfohlen. In dieser Norm könnte das Smart Machining zukünftig Einzug erhalten. Anhand der in Kapitel 2.5 aufgeführten Definition von Smart Machining durch den intelligenten Chatbot „ChatGPT“, die sich weitestgehend mit den Ergebnissen der Recherche vergleichen lässt könnte eine Adaptation dessen in ein Smart Machining erfolgen, um so einen weiteren Fortschritt in der Umsetzung des Smart Machining zu schaffen.

6 Literaturverzeichnis

ALMI Smart Machining, Allgemein, <https://www.almi.nl/de/almi-4/allgemein/>, Zugriff 27.02.23

ALMI Smart Machining, Geschichte, <https://www.almi.nl/de/geschichte/>, Zugriff 27.02.23

ALMI Smart Machining, Unbemannte Produktion, <https://www.almi.nl/de/almi-4/smart-machining/>, Zugriff 27.02.23

Anna K., 2022, PlakosAkademie, <https://plakos-akademie.de/vergleich-schreiben/>, Zugriff 27.02.23

ASS, Arbeitssicherheit Sofort, Industrie 4.0 Definition: Der Wandel von Innovations- und Transformationsprozessen, <https://www.arbeitssicherheit-sofort.de/magazin/industrie-4-0-definition/>, Zugriff 27.02.23

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Digitale Transformation in der Industrie, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/industrie-40.html>, Zugriff 19.01.23

CNC ENGINEERING, 2020, FANUC Smart Options to improve Older CNC Machine Tools, <https://www.nc-fertigung.de/perfekte-performance-dank-smart-machining>, Zugriff 27.02.23

DiConneX, Die industrielle Revolution – von Industrie 1.0 bis Industrie 4.0, <https://diconnex.com/blog/2020/06/23/die-industrielle-revolution/>, Zugriff 19.01.23

ErbI, 2016, Smarte Maschinen, Regensburg: Carl Hanser Verlag

FORCAM, 2020, Smart Factory: Definition, Beispiele & Vorteile der intelligenten Fabrik, <https://forcam.com/smart-factory-definition-vorteile/>, Zugriff 27.02.23

Fraunhofer, Maschinelles Lernen, Eine Analyse zu Kompetenzen, Forschung und Anwendung, Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., https://www.bigdata-ai.fraunhofer.de/content/dam/bigdata/de/documents/Publikationen/Fraunhofer_Studie_ML_2_01809.pdf, Zugriff 27.02.23

Fritz, Schulze (Hg.), 2018, Fertigungstechnik, 12. Auflage, Berlin: Springer Vieweg

Gentsch, Peter, 2018, *Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden

Hoffmann, 2018, MaschinenMarkt, Digitalisierung: Industrie 4.0 verständlich erklärt, <https://www.arbeitssicherheit-sofort.de/magazin/industrie-4-0-definition/>, Zugriff 27.02.23

Kletti, Rieger, 2022, Die Perfekte Produktion, Wiesbaden: Springer Vieweg

Kohlhoff, 2017, Fraunhofer INT, Europäische Sicherheit & Technik, Smart Machines, <https://www.int.fraunhofer.de/content/dam/int/de/documents/EST/EST-0217-Smart-Machines.pdf>, Zugriff 27.02.23

Kohlhoff, J., Smart Machines, Fraunhofer INT, 2017, <https://www.int.fraunhofer.de/content/dam/int/de/documents/EST/EST-0217-Smart-Machines.pdf>, Zugriff 26.02.23

Löffler, Grosche, 2023, MaschinenMarkt, Wie die deutsche Industrie durch Smart Production zur Pole-Position zurückkehrt, <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/wie-die-deutsche-industrie-durch-smart-production-zur-pole-position-zurueckkehrt-a-8c6502ace6d02552c91fb928e365f159/>, Zugriff 19.01.23

Luber, 2023, BigDataInsider, Definition: Was ist ChatGPT?, <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-chatgpt-a-7648e796b00a67f283d767e7835836f8/>, Zugriff 27.02.23

Mazak, 2022, Die Mazak-Philosophie, Hohe Qualität – Fortschritt – Internationalität, <https://www.mazakeu.de/de/ueber-mazak-europa/weltweites-engagement/>, Zugriff 27.02.23

Mazak, 2022, Produkt: INTEGREGX e500H, <https://www.mazakeu.de/de/machines/integrex-e-500h/>, Zugriff 27.02.23

NC Fertigung, 2019, Automatisierungstechnik, Perfekte Performance dank Smart Machining, <https://www.nc-fertigung.de/perfekte-performance-dank-smart-machining>, Zugriff 27.02.23

NEONEX, Vor- und Nachteile einer Smart Factory, <https://neonex.de/industrie-4-0-hub/smart-factory-basics/smart-factory-vor-nachteile>, Zugriff 27.02.23

Oppermann, Axel (Hg.), 2018, *In der Schule der Maschinen*. IT- und Technologieunternehmen stellen sich vor (1), Kassel: Heise Medien

Reinshagen, 2019, MaschinenMarkt, CNC Maschinen kurz erklärt, <https://www.maschinenmarkt.ch/cnc-maschinen-kurz-erklaert-a-825310/>, Zugriff 19.02.23

Siemens Stiftung 2019, Künstliche Intelligenz – Praxisbeispiel: Industrie 4.0 und Smart Factory, <https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/kuenstliche-intelligenz-praxisbeispiel-industrie-4-0-und-smart-factory-112300>, Inhalt lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international, Zugriff 27.02.23

Zhu, 2022, Smart Machining Systems, Modelling, Monitoring and Informatics, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG,

Abbildung 1: Zhu, 2022, Smart Machining Systems, Modelling, Monitoring and Informatics, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG

Abbildung 2: Mazak, 2022, INTEGREX e500H, <https://www.mazakeu.de/de/machines/integrex-e-500h/>, Zugriff 27.02.23

Abbildung 3: CNC Engineering, <https://www.cnc1.com/tech-resources/fanuc-smart-options-to-improve-older-cnc-machine-tools>, Zugriff 27.02.23

Abbildung 4, 5: ManufacturingNews, 2017, <https://www.mfgnewsweb.com/archives/4/49107/Retrofit-Remanufacture-Repair-jun17/Choosing-the-Right-FANUC-Control-for-a-Retrofit.aspx>, Zugriff 27.02.23

Abbildung 6-10: Kletti, Rieger, 2022, Die Perfekte Produktion, Wiesbaden: Springer Vieweg

Abbildung 11: FORCAM, 2020, Smart Factory: Definition, Beispiele & Vorteile der intelligenten Fabrik, <https://forcam.com/smart-factory-definition-vorteile/>, Zugriff 27.02.23

Anhang 1: Maschinenausstattung Spinner U5-620



Maschinenausstattung

Fachrichtung Physik / Bereich Technik

CNC-Fräszentrum Spinner U5-620

Beschreibung	Technische Daten		
<ul style="list-style-type: none"> • Universal-CNC-Bearbeitungszentrum • 5-Achsen Simultanbearbeitung • Siemens 840D-SL mit ShopMill • Dateneingabe per CAM-System möglich • Werkzeugwechsler, 32fach • vollautomatische 5 Seitenbearbeitung, auch simultan • Herstellung hochkomplexer Werkstücke mit 3D-Flächen und höchsten Genauigkeitsanforderungen • höchste Präzision und Oberflächengüte erzielbar 	Arbeitsbereich X/Y/Z	620x520x500	mm
	Spannfläche X/Y	720x520	mm
	Drehzahl, max.	12.000	U/min
	Vorschub, max.	48	m/min
	max. Werkstückgewicht	400	kg
	Leistung	7,5	kW
	Baujahr	2010	
	Ansprechpartner		
	Herr Daniel Andris (Meister)		
	daniel.andris@tu-dresden.de +49 (0)351 463-33433		



Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften
 Fachrichtung Physik
 Bereich Technik
 Dipl.-Ing. Martin Siegel

Stand: 2014

Anhang 2 Produktwerbung Smart Machining

INTEGREX e-500H

PRODUKT: INTEGREX



Bearbeitung großer Werkstücke nach dem DONE-IN-ONE-Prinzip

- Großer Schwingdurchmesser und Y-Achsen-Verfahrweg für große Werkstücke.
- Kraftvolle Dreh- und Frässpindeln, sowie höchste Verwindungssteifigkeit für unübertroffene Produktivität.
- Große Auswahl an Sonderausstattungen für größere Vielseitigkeit

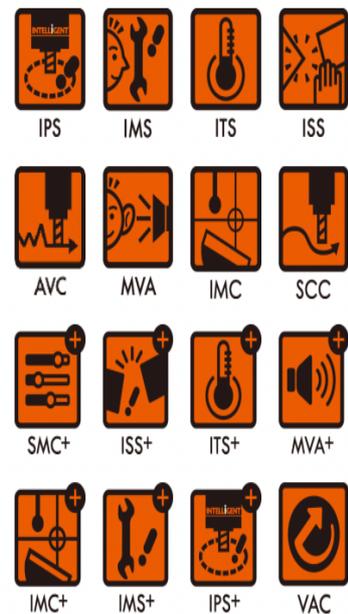
Share



Steuerungstyp: SmoothAi

ANGEBOT ANFORDERN

Intelligente Maschinenfunktionen



Weitere Maschinen dieser Serie +

Technische Daten der Maschine



1500 mm Drehlänge		Werte
Arbeitsraum	Max. Drehdurchmesser	820 mm
Hauptspindel	Max. Drehzahl	3,300 min ⁻¹
	Nennleistung (30 min. Betrieb)	30.0 kW
Frässpindel	Werkzeugschaft	MAS BT 50
	Max. Frässpindeldrehzahl	10,000 min ⁻¹
Verfahrweg	Verfahrweg X-Achse	870 mm
	Verfahrweg Y-Achse	500 mm
	Verfahrweg Z-Achse	1,598 mm
Automatischer Werkzeugwechsler	Anzahl der Werkzeuge	40





3000 mm Drehlänge		Werte
Arbeitsraum	Max. Drehdurchmesser	820 mm
Hauptspindel	Max. Drehzahl	3,300 min ⁻¹
	Nennleistung (30 min. Betrieb)	30.0 kW
Frässpindel	Werkzeugschaft	MAS BT 50
	Max. Frässpindeldrehzahl	10,000 min ⁻¹
Verfahrweg	Verfahrweg X-Achse	870 mm
	Verfahrweg Y-Achse	500 mm
	Verfahrweg Z-Achse	3,122 mm
Automatischer Werkzeugwechsler	Anzahl der Werkzeuge	40





4000 mm Drehlänge		Werte
Arbeitsraum	Max. Drehdurchmesser	820 mm
	Max. Drehlänge	4,052 mm
Hauptspindel	Max. Drehzahl	3,300 min ⁻¹
	Nennleistung (30 min. Betrieb)	30.0 kW
Frässpindel	Werkzeugschaft	MAS BT 50
	Max. Frässpindeldrehzahl	10,000 min ⁻¹
Verfahrweg	Verfahrweg X-Achse	870 mm
	Verfahrweg Y-Achse	500 mm
	Verfahrweg Z-Achse	4,138 mm
	Verfahrweg W-Achse	3,528 mm
	Schwenkbereich B-Achse	240 °
Automatischer Werkzeugwechsler	Anzahl der Werkzeuge	40



Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 18 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Ahmeti

Vorname: Anika

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Smart Machining – Definition und Abgrenzung eines neuen Trends in der Fertigungstechnik

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Ort

Datum

Unterschrift im Original