



## Bachelorarbeit

Dennis Torka

# Assistenzsysteme zur Digitalisierung der Produktion 4.0

**Dennis Torka**

**Assistenzsysteme zur Digitalisierung der  
Produktion 4.0**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

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

Erstprüfer: Prof. Dr. Christian Müller  
Zweitprüfer: Prof. Dr. Alexander Koch

Abgabedatum: 19.07.2021

# Zusammenfassung

**Dennis Torka**

## **Thema der Bachelorthesis**

Assistenzsysteme zur Digitalisierung der Produktion 4.0

## **Stichworte**

Produktion/Industrie 4.0, Digitalisierung, (digitale) Assistenzsysteme, Internet of Things (IoT), Industrial Internet of Things (IIoT), Datenerfassungssysteme, Datenverarbeitungssysteme, Sensorik, Zustandsüberwachung, Condition Monitoring, Predictive Maintenance, (Werkzeug-) Maschinenüberwachung, Echtzeitdatenerfassung, zentrale Vernetzung, Netzwerk, (Cloudbasierte Datenbank).

## **Kurzzusammenfassung**

In dieser Bachelorthesis wird der Status Quo zum Angebot von Systemen zur Datenerfassung/-verarbeitung/Sensorsystemen von Zustandsdaten in Werkzeugmaschinen durch eine Marktrecherche festgehalten und im Rahmen einer Benchmark-Analyse durch geeignete Leistungsmerkmale einer Bewertung zur Erreichung der Ziele einer Produktion/Industrie 4.0 unterzogen. Die Marktrecherche orientiert sich dabei an Assistenzsystemen nach der Art der Werkzeugmaschine als auch nach den fünf größten Werkzeugmaschinenherstellern in Deutschland. Um die Forschungsfrage zur Zielerreichung einer Produktion/Industrie 4.0 zu beantworten, wurden unterschiedliche Leistungsmerkmale herausgearbeitet, analysiert und gegenübergestellt. Mit Hilfe der Leistungsmerkmale konnte eine numerische und grafische Auswertung erfolgen. Die Marktrecherche und die damit einhergehende Benchmark-Analyse zeigten, dass die Ziele einer Produktion/Industrie 4.0 zwar erreicht, ihr vollständiges Potenzial allerdings noch nicht ausgeschöpft ist.

**Dennis Torka**

## **Title of the paper**

Assistance systems for digitization of industry 4.0

## **Keywords**

Industry 4.0, Digitization, Assistance systems, Internet of Things (IoT), Industrial Internet of Things (IIoT), Systems of data collection, Systems of data processing, sensor systems, Condition Monitoring, Predictive Maintenance, Tooling Machines, Real-time data, centralized network, Cloud.

## **Abstract**

This bachelor thesis contains the status quo of systems for data collection, data processing and sensor systems for tooling machines as well as a benchmark analysis in order to decide whether the goals of an industry 4.0 could be achieved. The market research is based on type of tooling machine and the five largest providers in Germany. In order to investigate the research question, different performance characteristics were identified, analyzed and compared. On the basis of performance characteristics a numerical and graphic evaluation could be achieved. The market research and benchmark analysis demonstrated that the goals of an industry 4.0 could be achieved, yet the full potential is still not reached.



# Aufgabenstellung

für

**Bachelorarbeit**

von Herrn Dennis Torka

Matrikel-Nummer: XXXXXXXXXX

**Thema: Assistenzsysteme zur Digitalisierung der Produktion4.0**

Produzierende Unternehmen streben zur Aufrechterhaltung und Sicherstellung ihrer Wettbewerbsfähigkeit ständig die bestmögliche Erreichung der Zielgrößen Qualität, Produktivität, Liefererfüllung und der Kosten an. Der anhaltende Trend zur Digitalisierung von Geschäftsprozessen und Abläufen trägt auch in der Produktion dazu bei, ungenutzte Potenziale zur Erreichung dieser Ziele vor dem Hintergrund einer notwendigen kundenindividuellen Herstellung von Produkten auszuschöpfen. Neben den Voraussetzungen einer Computerisierung und Vernetzung, die zur Erhebung, Visualisierung und Transparenz der Informationen in der Produktion führen, bietet technische Assistenz als weitere Ausbaustufe die Möglichkeit einer datengetriebenen Verarbeitung von Informationen, die darüber hinaus auch in die Zukunft gerichtete Prognosen über Zustände von Produkten und Fertigungsmitteln/-hilfsmitteln erlauben. Aktuell werden solche Systeme noch nicht oder nur in sehr eingeschränkter Verbreitung in der industriellen Produktion genutzt. Aufbauend auf Vorarbeiten im Rahmen des Moduls „Digitale Produktion“ soll in dieser Bachelorarbeit das Angebot marktgängiger Datenerfassungs-/Sensor- und Assistenzsysteme untersucht und im Hinblick auf die zugrundeliegenden Leistungsmerkmale bewertet werden. Beispielhaft seien hier die Überwachung/Prognose von Spindel-/Lagerzuständen, Verschleiß, sowie Schwingungen/Arbeitsgenauigkeiten an Maschinenkomponenten und/oder Werkzeugen an spanenden/umformenden Werkzeugmaschinen genannt.

## **Schwerpunkte:**

- Marktrecherche zu Systemen der Datenerfassung/Sensorik/Datenverarbeitung von Zustandsdaten in Werkzeugmaschinen
- Benchmark der Leistungsmerkmale der angebotenen Systeme im Hinblick auf die Erreichung von Zielen einer digitalisierten Produktion/Industrie4.0

---

Datum

---

Erstprüfer/in

Inhaltsverzeichnis	
Aufgabenstellung .....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	VII
1. Einleitung.....	1
2. Motivation der Arbeit.....	3
3. Theoretische Grundlagen.....	5
3.1. Werkzeugmaschinen.....	5
3.2. Digitale Assistenzsysteme .....	6
3.2.1. Kategorisierung von digitalen Assistenzsystemen .....	8
3.2.2 DigiPro Projekt – Einteilung digitaler Assistenzsysteme für Werkzeugmaschinen.....	9
3.3. Sensorik für die Industrie 4.0 .....	11
3.4. Condition Monitoring, Predictive Maintenance & IIoT.....	12
3.5. Ziele der Industrie 4.0 .....	13
3.6. Der Begriff des Benchmarkings .....	15
4. Marktrecherche zu Systemen der Datenerfassung und -verarbeitung in Werkzeugmaschinen..	17
4.1. Digitale Assistenzsysteme nach Art der Werkzeugmaschine.....	17
4.1.1. Pressen .....	17
4.1.2. Biegemaschinen .....	19
4.1.3. Fräs- und Drehmaschinen .....	20
4.1.4. Lasermaschinen.....	21
4.2. Digitale Assistenzsysteme nach Werkzeugmaschinenhersteller .....	22
4.2.1. TRUMPF.....	22
4.2.2. DMG Mori.....	24
4.2.3. SCHULER.....	26
4.2.4. EMAG-Gruppe .....	30
4.2.5. HELLER.....	35
5. Benchmark-Untersuchung zur Erreichung der Ziele einer digitalisierten Industrie 4.0.....	36
5.1. Leistungsmerkmale für die Benchmark-Analyse.....	36
5.2. Auswertung der Benchmark-Analyse.....	40
6. Fazit .....	44
Literaturverzeichnis.....	46
Anhang .....	55
A .....	55
B.....	58
C.....	82

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BDE	Betriebsdatenerfassung
bzw.	beziehungsweise
CPS	Cyber-Physische-Systeme
dAS	digitale Assistenzsysteme
Fraunhofer-IWU	Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen- und Umformtechnik
ggf.	gegebenenfalls
HMI	Human Machine Interface
IIoT	Industrial Internet of Things
IoT	Internet of Things
Jhdt.	Jahrhundert
k. A.	keine Angabe
KMU	Klein- und mittelständische Unternehmen
MDE	Maschinendatenerfassung
MES	Manufacturing Execution System
Nr.	Nummer
o. Ä.	oder Ähnliche/r/s
o. D.	ohne Datum
o. g.	oben genannt
o. V.	ohne Verfasser
PLC	Programmable Logic Controller
S.	Seite
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
Tab.	Tabelle/n
u. A.	und Andere/r/s
z. B.	zum Beispiel

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Gliederung der Werkzeugmaschinen nach DIN 69651 .....	5
Abb. 2: Übersicht der Funktionsgruppen von MES. ....	7
Abb. 3: Zusammensetzung des OEE-Indes. ....	8
Abb. 4: Klassifikation der Unterstützungsformen digitaler AS (Erweiterte Darstellung basierend auf Apt et al., 2018). ....	9
Abb. 5: Einordnungsmöglichkeiten digitaler Assistenzsysteme für Werkzeugmaschinen .....	10
Abb. 6: Werkzeugmaschinenproduktion 2016 in Deutschland nach Maschinenart.....	10
Abb. 7: Führende Werkzeugmaschinenhersteller in Deutschland gemessen am Umsatz in 2019. ....	11
Abb. 8: Umfang der Marktrecherche bezogen auf Art der Werkzeugmaschine und Hersteller. ....	11
Abb. 9: Stufenkonzept eines Benchmarkings.....	16
Abb. 10: Funktionsprinzip der Software XEIDANA .....	18
Abb. 11: Übersicht der TruTops Fab Module von Trumpf. ....	23
Abb. 12: Übersicht der Anwendungen mit von CELOS. ....	25
Abb. 13: Auswertung des Leistungsmerkmals "Multi-Sensor geeignet". ....	39
Abb. 14: Auswertung des Leistungsmerkmals "Ortgebunden/Mobil verfügbar". ....	40
Abb. 15: Auswertung des Leistungsmerkmals "Modularer Aufbau d. Software". ....	41
Abb. 16: Auswertung des Leistungsmerkmals "Nutzbarkeit in mehreren Maschinen" .....	42
Abb. 17: Auswertung des Leistungsmerkmals "Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung". ....	42
Abb. 18: Auswertung des Leistungsmerkmals "Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)". ....	43
Abb. 19: Gliederung der Fertigungsverfahren gemäß der Norm DIN 8580. ....	55
Abb. 20: Werkzeug mit Messsystem ACB Wireless zur Biegewinkelerfassung.....	56
Abb. 21: ACB Wireless Funktionsschema, Werkstück in Ausgangslage .....	56
Abb. 22: ACB Wireless Funktionsschema, Werkstück in Endposition – relative Bewegung detektiert den Biegewinkel. ....	56
Abb. 23: ACB Laser System, Werkstück in Ausgangsposition .....	57
Abb. 24: ACB Laser System, Werkstück in Endposition.....	57
Abb. 25: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 3: Multi-Sensor geeignet.....	82
Abb. 26: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr.4: Maschinenintegriert/Extern. ....	82
Abb. 27: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr.5: On-/Offline-Betrieb.....	82
Abb. 28: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 6: Modularer Aufbau d. Software. ....	83
Abb. 29: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 7: Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung. ....	83
Abb. 30: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 8: Ortgebunden/Mobil verfügbar. ....	83
Abb. 31: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 9: Kabelgebunden/Wireless.....	84
Abb. 32: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 10: Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung).....	84
Abb. 33: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 11: Zeitpunkterfassung/-bereitstellung. ....	84
Abb. 34: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 12: Zeitraumerfassung/-bereitstellung..	85
Abb. 35: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 14: Datenzugang zu jedem Zeitpunkt. ....	85
Abb. 36: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 15: WZM vom dAS abhängig.....	85
Abb. 37: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 17: Einheitliches Protokolldateiformat..	86
Abb. 38: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 18: Nutzbarkeit in mehreren Maschinen. ....	86
Abb. 39: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 19: Fremdfabrikat geeignet. ....	86

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme für Pressen.....	39
Tab. 2: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme für Pressen.....	58
Tab. 3: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme für Biegemaschinen.....	59
Tab. 4: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme für Fräs- und Drehmaschinen.....	60
Tab. 5: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme für Lasermaschinen. ....	61
Tab. 6: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers TRUMPF. ....	62
Tab. 7: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers DMG Mori.....	64
Tab. 8: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers SCHULER (1/2). ....	66
Tab. 9: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers SCHULER (2/2). ....	68
Tab. 10: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers EMAG-Gruppe (1/3). ....	70
Tab. 11: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers EMAG-Gruppe (2/3). ....	71
Tab. 12: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers EMAG-Gruppe (3/3). ....	73
Tab. 13: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers HELLER. ....	75
Tab. 14: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (1/6). ....	76
Tab. 15: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (2/6). ....	77
Tab. 16: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (3/6). ....	78
Tab. 17: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (4/6). ....	79
Tab. 18: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (5/6). ....	80
Tab. 19: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (6/6). ....	81
Tab. 20: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 3: Multi-Sensor geeignet.....	82
Tab. 21: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr.4: Maschinenintegriert/Extern.....	82
Tab. 22: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 5: On-/Offline-Betrieb.....	82
Tab. 23: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 6: Modularer Aufbau d. Software. ....	83
Tab. 24: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 7: Echtzeitdatenerfassung/- bereitstellung. ....	83
Tab. 25: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 8: Ortgebunden/Mobil verfügbar. ....	83
Tab. 26: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 9: Kabelgebunden/Wireless. ....	84
Tab. 27: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 10: Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung).....	84
Tab. 28: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 11: Zeitpunkterfassung/-bereitstellung. .....	84
Tab. 29: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 12: Zeitraumerfassung/-bereitstellung. .....	85
Tab. 30: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 14: Datenzugang zu jedem Zeitpunkt. ....	85
Tab. 31: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 15: WZM vom dAS abhängig. ....	85
Tab. 32: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 17: Einheitliches Protokolldateiformat. .....	86
Tab. 33: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 18: Nutzbarkeit in mehreren Maschinen.....	86
Tab. 34: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 19: Fremdfabrikat geeignet.....	86



## 1. Einleitung

Sich digital wandelnde Wirtschafts- und Produktionsprozesse, Digitalisierung, Industrie 4.0 – das alles sind Themen, die in der heutigen Zeit immer wieder auf sämtlichen Kanälen medienwirksam aufgeworfen werden. Der Trend ist klar zu erkennen, die permanente Verfügbarkeit von Maschinen und Produktionsanlagen spielt eine zunehmend entscheidendere Rolle im gesamten Produktionsprozess. Zum einen werden Forderungen nach ständig präziseren Fertigungsteilen gestellt, zum anderen sollen diese Fertigungsstücke in immer kürzerer Zeit produziert und geliefert werden können. Hierfür sind konstant funktionierende Werkzeugmaschinen unerlässlich, um Maschinenstillstände und folgende Produktionsausfälle zu vermeiden. Mit der vermehrten Individualisierung von Produkten steigt die Anzahl der zu erfassenden Zustände sowie der Aufwand zur Datenverwaltung und Auswertung drastisch an. „Die Produktion von komplexen und variantenreichen Produkten setzt aktuelles und hochdetailliertes Wissen über die Zustände von Produkten und Produktionsanlagen (...) voraus [41, S. 1]“. Da der Zustand eines Werkzeugs und der Werkzeugmaschine maßgeblich für die Bearbeitungsqualität und Produktivität ist, stellt eine detaillierte Datenerfassung und Analyse von Werkzeug- und Maschinenzuständen einen enormen Mehrwert dar. „Dazu sind effiziente Informationssysteme notwendig, welche Produktions- und Werkzeug- bzw. Maschinenzustandsdaten nach ihrer Erfassung in Echtzeit zur Verfügung stellen und diese möglichst breit über den gesamten Produktentstehungsprozess zugänglich machen [41, S. 1]“. Jederzeit auf Informationen über die Standzeiten zugreifen zu können, kann entscheidend für eine optimale Planung von Fertigungsvorhaben sein. Daher gewinnt die automatisierte und digitalisierte Fehlererkennung für die Instandhaltung im Maschinen- und Anlagenbau zunehmend an Bedeutung, da die Zuverlässigkeit des Produktionssystems wettbewerbsentscheidend sein kann. Hierfür bieten sich digitale Assistenzsysteme an [1, S. 279 ff.]. Die vorliegende Arbeit fokussiert digitale Assistenzsysteme (dAS), welche zur Datenerfassung, -verarbeitung und -bereitstellung von Informationen in Werkzeugmaschinen beitragen und das Ziel verfolgen, Produktionsprozesse ökonomischer zu gestalten.

DAS sind Assoziationen, die mit der Produktion/Industrie 4.0 und den digitalisierten Datenerfassungs- und -verarbeitungssystemen in Verbindung gebracht werden. Doch wie verhält es sich mit der Digitalisierung, wenn der Blick explizit auf dAS in der Fertigung, konkreter auf Werkzeugmaschinen geworfen wird? Was bietet der Stand der Technik auf dem heutigen Beschaffungsmarkt? Inwiefern werden diese dAS im Hinblick auf die Erreichung von Zielen einer digitalisierten Produktion/Industrie 4.0 gerecht? Mit diesen und weiteren Fragen setzt sich die Bachelorthesis im Sinne einer Marktrecherche zum Status Quo von Systemen zur Datenerfassung/Sensorik/Datenverarbeitung von Zustandsdaten in Werkzeugmaschinen auseinander. Dabei wird unterschieden zwischen der Art der Werkzeugmaschinen und den führenden Marktherstellern. Abschließend erfolgt eine Benchmark-

Analyse zu den Leistungsmerkmalen der verschiedenen Systeme zur Überprüfung einer Erreichung von Zielen der Produktion/Industrie 4.0.

Die vorliegende Arbeit ist in sechs Kapitel unterteilt. Einleitend wird auf die ausschlaggebende Motivation zur Wahl des Themas hinführend zur Aufgabenstellung eingegangen. Ausgehend von der Aufgabenstellung werden weiterführend theoretische Grundlagen, Begriffe und Definitionen zur Einordnung des Themas erläutert, die zum Verständnis von dAS und deren Komponenten erforderlich sind. Diese folgen einem systematischen Vorgehen zur wissenschaftlichen Betrachtung und geben das allgemeine derzeitige Verständnis an. Anschließend werden mögliche Unterteilungen von dAS aufgezeigt, die gleichzeitig als Grenzen der Marktrecherche fungieren. Dabei wird gezeigt, dass je nach Betrachtungsweise unterschiedliche Kategorisierungen möglich sind. Daran anknüpfend erfolgt die Vorstellung der Sensorik, des Condition Monitorings und Predictive Maintenance sowie des Industrial Internet of Things (IIoT), da diese entscheidende Faktoren von dAS sind. Zudem werden die Ziele einer Produktion/Industrie 4.0 erörtert und die Grundlagen des Benchmarks aufgezeigt. Im Hauptteil wird der Status Quo von Systemen zur Zustandsdatenerfassung am Beschaffungsmarkt beleuchtet und nach Art der Werkzeugmaschine sowie nach Herstellern dargelegt. Es folgt die Benchmark-Analyse, indem geeignete Leistungsmerkmale zur Erreichung der Ziele einer Produktion/Industrie 4.0 festgelegt und im Rahmen der Benchmark-Analyse bewertet werden. Abschließend werden im Fazit die gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und beurteilt, ob die Systeme der Datenerfassung und -verarbeitung bereits eine Produktion/Industrie 4.0<sup>1</sup> gewährleisten.

---

<sup>1</sup> Fortlaufend wird lediglich der Begriff Industrie 4.0 anstelle von Produktion/Industrie 4.0 ausgeschrieben.

## 2. Motivation der Arbeit

Mit Voranschreiten der Digitalisierung in der Industrie 4.0 wird sich das Aufgaben- und Anforderungsfeld im produzierenden Gewerbe stark verändern. Die Umsetzung der Industrie 4.0 macht ein durchgängiges Fertigungs- und Qualitätsmanagement in den verschiedenen Produktionsunternehmen erforderlich [68, S. 137]. Dabei ist nicht nur eine mechanische und energietechnische Optimierung der Werkzeugmaschinen zur bestmöglichen Erreichung der Zielgrößen Qualität, Produktivität, Liefererfüllung und der Kosten wichtig. Um Ausfallzeiten zu vermeiden und Stillstände, die aufgrund von Wartungsintervallen oder ausfallenden Werkzeugen entstehen, vorherzusehen, wird eine digitalisierte, automatische und in den laufenden Betrieb der produzierenden Werkzeugmaschinen integrierte technische Assistenz zur Datenerfassung und -auswertung ein entscheidendes Kriterium in Bezug auf die Aufrechterhaltung und Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit von produzierenden Unternehmen sein. Über vernetzte Maschinen sollen Daten erfasst, analysiert und visuell ausgegeben werden. Zur Erreichung ungenutzter Potenziale hinsichtlich einer weiteren Optimierung von Werkzeugmaschinen für die Industrie 4.0 bieten sich dAS in bzw. für Werkzeugmaschinen an, die Produktionsprozesse durch die datengetriebene Verarbeitung von Informationen, insbesondere im Hinblick auf in die Zukunft gerichtete Prognosen über die Zustände von Produkten und Fertigungs(hilfs)mitteln, ermöglichen. Ein weiterer Vorteil von dAS liegt in der Flexibilität, da mit dAS schnell auf Veränderungen reagiert werden kann. Solche Veränderungen können z.B. Qualitätsprobleme, Maschinenstörungen oder Werkzeugbruch sein, bei denen es unter Umständen auch Stunden dauern kann, bis ein Stillstand erkannt und der betroffene Auftrag auf eine andere Maschine umgeplant wurde [39, S. 8]. Ausgangspunkt ist mitunter „(...) die große Menge an Sensor-, Betriebs- und Produktionsdaten, die jede Werkzeugmaschine während ihres Betriebs erzeugt. Diese Quelle bietet viele Möglichkeiten, um die Produktion besser zu überwachen oder zu steuern [16]“.

Aktuell werden dAS noch nicht oder nur in sehr eingeschränkter Verbreitung in der industriellen Produktion genutzt [43], [47]. Zwar zeigt eine im Jahr 2013 von dem Marktforschungsinstitut Forsa durchgeführte Studie zur Auswertung von Maschinendaten in deutschen Industrieunternehmen, dass mit 75 % eine klare Mehrheit der befragten Unternehmen Maschinen- und Sensordaten analysiert und auswertet, um Fehlerquellen zu identifizieren und Reaktionszeiten zu verkürzen sowie Fehler in den Produkten und Produktionsprozessen zu vermeiden. Dennoch beschränkt sich die Informationsgewinnung häufig nur auf vordergründige Daten, um beispielsweise Reports zusammenzufassen, sodass viele Betriebe nur einen Bruchteil der zur Verfügung stehenden Informationen aus den anfallenden Daten abschöpfen. Als Gründe der Nicht- oder Mindernutzung der Daten wurden neben der Annahme eines fehlenden Mehrwerts, Kosten und die Frage nach einer technischen Umsetzung angegeben. In einem Punkt waren sich die befragten Unternehmen zum größten Teil jedoch einig: „(...),

dass mehr Überblick hinsichtlich der Möglichkeiten und Voraussetzungen von IT-gestützten Analysemethoden in der Industrie erforderlich ist [37].“ Auch aus einer neueren Studie des Fraunhofer-Instituts von 2019 geht hervor, dass lediglich 36 Prozent der befragten Unternehmen dAS einsetzen [38, S. 10].

In dieser Bachelorthesis werden daher solche Systeme im Rahmen einer Marktrecherche herausgearbeitet und näher beleuchtet. Wie eingangs beschrieben, liegen die Schwerpunkte insbesondere auf dem aktuellen Stand marktgängiger Datenerfassungs-, Sensor- und Assistenzsysteme für die Zustandsdatenerfassung in Werkzeugmaschinen sowie einer Benchmark-Analyse im Hinblick auf die zugrundeliegenden Leistungsmerkmale zur Erreichung von Zielen einer digitalisierten Industrie 4.0.

### 3. Theoretische Grundlagen

Zunächst ist es notwendig den theoretischen Rahmen abzustecken, indem sich den für die Bachelorthesis wesentlichen Begriffen genähert wird.

#### 3.1. Werkzeugmaschinen

Werkzeugmaschinen werden in den unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt und existieren entsprechend in einer großen Bandbreite. Über die Jahre hinweg sind daher viele Begriffe entstanden, welche eine Systematisierung und eindeutige Festlegung als sinnvoll erschienen ließen. Dabei orientieren sich die Gliederung und Bezeichnungen der Werkzeugmaschinen an der in der DIN-Norm 8580 festgelegten begrifflichen Systematik der Fertigungsverfahren zur Metallbearbeitung, welche der Abb. 19 im Anhang entnommen werden kann. Die tatsächliche Gliederung, Einteilung und Bezeichnung der Werkzeugmaschinen ist durch die zurückgezogene DIN 69651 festgelegt worden. Gemäß der zurückgezogenen DIN 69651 werden Werkzeugmaschinen als „(...) mechanisierte und mehr oder weniger automatisierte Fertigungseinrichtungen, die durch relative Bewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück eine vorgegebene Form oder Veränderung am Werkstück erzeugen [3, S. 12]“ definiert. Dabei werden sie als Elemente von Fertigungsanlagen verstanden, dessen Einteilung wiederum an die Gliederung der Fertigungsverfahren für die Metallbearbeitung nach DIN 8580 angelehnt ist und in Abb. 1 schematisch gezeigt wird. Wie zu erkennen, beschränkt sich der Begriff der Werkzeugmaschine auf die Fertigungsverfahren des Umformens, Trennens und Fügens [3, S. 12].

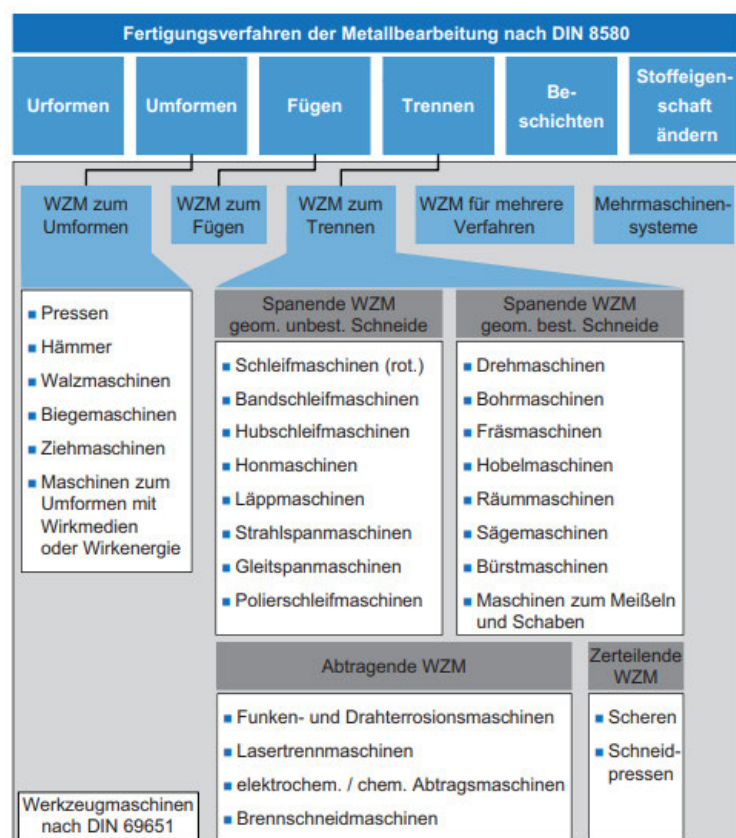


Abb. 1: Gliederung der Werkzeugmaschinen nach DIN 69651 (Quelle: [3, S. 13]).

### 3.2. Digitale Assistenzsysteme

Für die nähere Untersuchung hinsichtlich der Marktverfügbarkeit von dAS für Werkzeugmaschinen, ist es zudem notwendig, das Verständnis von dAS zu thematisieren. Eine allgemeingültige Definition für diese existiert nicht, sodass auch insbesondere klein- und mittelständische Unternehmen (KMU) erhebliche Schwierigkeiten haben, wenn es um die richtige Auswahl von Technologien, speziell neuer dAS geht. Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation als Partner des Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Stuttgart Institut hat daher in Kooperation mit der memex GmbH eine Kurzstudie durchgeführt, welche sowohl die aktuelle Situation in den Unternehmen als auch die heutigen technologischen Möglichkeiten beleuchtet. Die Studie unterteilt dAS in sensorische, kognitive und kognitiv-sensorische Assistenzsysteme oder anhand ihrer vielfältigen Unterstützungsaufgaben wie zur Informationsbereitstellung, Ausführungsunterstützung oder auch Qualitätskontrolle [43]. In einer von unter anderem dem Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Studie werden dAS als interaktive Informations- und Kommunikationstechnologien beschrieben, die Beschäftigte bei ihren Arbeiten unterstützen. Die dAS bestehen dabei aus Hard- und Software, wobei die Software-Applikationen (z. B. Apps) die Assistenzfunktionalität auf der entsprechenden Hardware bereitstellen [44, S. 10]. Im Vordergrund dienen dAS den Menschen zur Unterstützung in der Produktion durch punktuelle Informationen. Das können einfache Hinweise sein, zum Beispiel in der Benutzeroberfläche von Software, aber auch ausführliche Handlungsanleitungen. Des Weiteren können dAS aber auch Warn- und Sicherheitsinformationen liefern oder Werkzeugmaschinen mittels Datenerfassung und -verarbeitung durch Frühwarnsysteme vor größeren Schäden bewahren und so eine erhebliche Kostenersparnis im Unternehmen sein.

Wird sich noch intensiver mit dAS auseinandergesetzt, stößt man unausweichlich auf den Begriff „Manufacturing Execution System“ (MES). Obwohl der Begriff schon seit vielen Jahren auf dem Markt existiert, kann nicht von einem gemeinsamen Verständnis ausgegangen werden [39, S. V - Vorwort]. Häufig wird MES als verlängerte Maschinensteuerung oder als Erweiterung eines ERP-Systems gesehen. Auch wird MES als Sammlung von fertigungsnahen IT-Tools wie Betriebs- bzw. Maschinendatenerfassung (BDE bzw. MDE) bezeichnet oder auch im Zusammenhang von Computer Aided Quality Assurance Lösungen und fertigungsnahen Zeiterfassungssystemen erwähnt. Dabei ist MES vielmehr als Zusammenspiel der verschiedenen Funktionsgruppen Fertigung, Personal und Qualität zu verstehen [39, S. 20]. Der Funktionsgruppe Fertigung wiederum wird die MDE untergeordnet, wie in Abb. 2 ersichtlich.

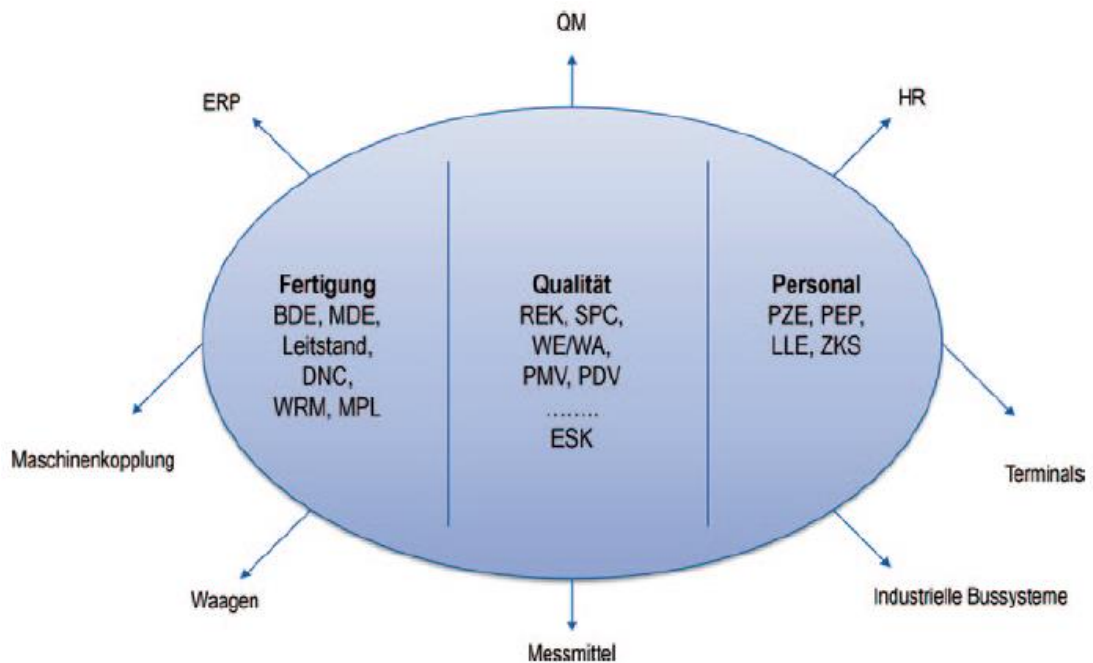


Abb. 2: Übersicht der Funktionsgruppen von MES (Quelle: [39, S.4]).

DAS abermals sind Teil der BDE bzw. MDE. Die MDE übernimmt die Aufgabe, Maschinen und andere betriebliche Ressourcen zu verwalten. Dies geschieht über eine umfassende Systematik, wodurch Zustandsdaten manuell und automatisch erfasst und Ressourcen oder -gruppen zugeordnet werden. Die Erfassung der Daten erfolgt von Terminals, industriellen Bussystemen oder einer Vielzahl anderer Sensoren, wie Waagen, Zählern oder vergleichbarer Systeme. Durch das MDE-Modul ist das MES stark mit der Automatisierungsebene vernetzt. Durch diese Möglichkeiten ist ein MES ideal geeignet, um Störungen oder Fehler rasch zu erkennen und im besten Fall rechtzeitig geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten. Zu den wichtigsten Daten, die ein MES erfassen kann, gehören im Hinblick auf dAS insbesondere Daten zum Maschinenstatus als auch zum Werkzeugstatus. Die MDE zeigt den aktuellen Status aller Maschinen und Anlagen und visualisiert diesen mit grafischen Ausgabegeräten, wie einem Monitor. Entsprechend ist schnell erkennbar, wie effektiv eine Maschine arbeitet, ob sie produziert oder stillsteht sowie warum und welche Art von Störung aufgetreten ist. Hierdurch lassen sich auftretende Probleme umgehend erkennen und durch geeignete Maßnahmen entgegenwirken. Der Werkzeugstatus zeigt den aktuellen Zustand von Werkzeugen an und teilt mit, ob ein Werkzeug gewartet, abgerüstet, defekt oder repariert ist. Damit lässt sich die Werkzeugeinsatzplanung optimal gestalten, was Zeit und damit Kosten spart [39, S. 24 ff.]. Zudem können die erfassten und ausgewerteten Daten dem Unternehmensmanagement für Effektivitätsaussagen oder auch zur Schwachstellenanalyse innerhalb der Fertigung zur Verfügung gestellt werden [39, S. 20-21]. Je nachdem, um welche Daten es sich hierbei handelt, können beispielsweise Lager- und/oder Spindelzustände, Schmierölstände, die Temperatur, Vibrationsmessungen, Werkzeuge oder andere

Komponenten der Werkzeugmaschinen beobachtet, beurteilt und im Schadenfall oder bei erhöhter Abnutzung gezielt ausgetauscht werden.

Folgt man dem eben erläuterten Verständnis, so lassen sich Assistenzsysteme für Werkzeugmaschinen als Bauteile, Methoden oder Verfahren zur Zustandsüberwachung von ausfallgefährdeten Komponenten in Werkzeugmaschinen sowie zur allgemeinen Maschinen- und Produktionsdatenerfassung zusammenfassen. Ziel dieser Assistenzsysteme ist die Optimierung der Prozesssicherheit und die Schaffung von Möglichkeiten zur Zustandsüberwachung der Maschinenkomponenten zur Vermeidung typischer Schäden an bzw. in der Werkzeugmaschine [2] sowie die Steigerung der Produktivität, Qualität und der Maschinenverfügbarkeit durch die Erfassung von gezielten Kenndaten, mit dessen Hilfe sich Trendanalysen und wirtschaftliche Prognosen vorhersehen lassen. Zudem können aufgenommene und ausgewertete Maschinendaten mit Hilfe des OEE-Index (Overall Equipment Effectiveness) zur Beurteilung der Maschinenproduktivität herangezogen werden. Der OEE-Index berücksichtigt neben Maschinenstillständen, zu denen Rüstzeiten, Ausfälle und Störungen zählen, auch Leistungsverluste durch Taktzeitverluste oder kurze Stopps sowie Qualitätsverluste durch Ausschuss und Nacharbeit und setzt sich als Produkt aus Verfügbarkeitsgrad, Leistungsgrad und Qualitätsgrad zusammen, wie Abb. 3 entnommen werden kann. Gemäß Kletti wird der OEE-Index nur bei ¼ aller Unternehmen eingesetzt. Die Hauptursache liegt in der fehlenden Datenerfassung der Produktion [39, S. 4], die durch dAS behoben werden kann.

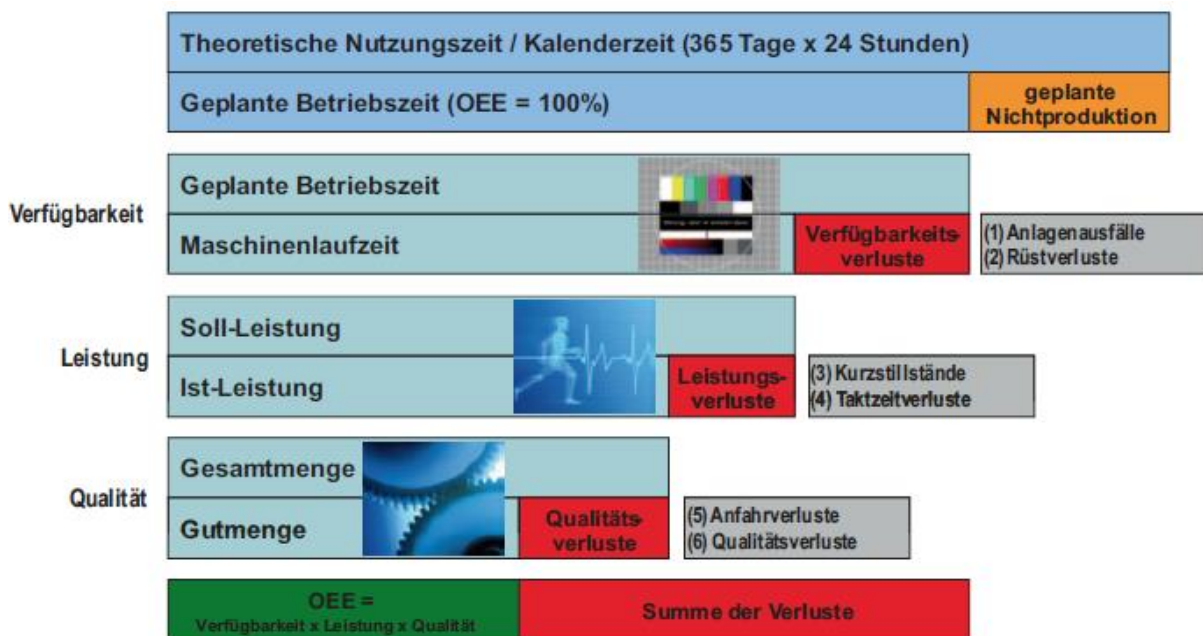


Abb. 3: Zusammensetzung des OEE-Indexes (Quelle: [39, S. 5]).

### 3.2.1. Kategorisierung von digitalen Assistenzsystemen

Assistenzsysteme existieren in verschiedenen Bereichen der Industrie und in unzähligen Varianten. Zur besseren Orientierung und um einen Status Quo auf dem Beschaffungsmarkt feststellen zu können,



bietet es sich zunächst an, dAS zu untergliedern, um die Marktrecherche zielgerichtet durchführen zu können. Andernfalls besteht die Gefahr, sich im mannigfaltigen Angebot an dAS zu verlieren. Dieses und das folgende Unterkapitel widmen sich daher einer möglichen Gliederung von dAS.

Objektiv betrachtet, lassen sich dAS in verschiedene Kategorien einteilen. Dabei macht es bereits einen Unterschied, um welches Anwendungsgebiet es geht: Liegt der Fokus auf mobilen oder auf ortgebundenen Assistenzsystemen? Müssen die Assistenzsysteme ständig von einem Bediener betätigt werden oder läuft alles automatisch ab? Für eine Unterteilung von dAS in der betrieblichen Praxis könnte sich beispielsweise eine Unterteilung nach Grad, Art, Ort und Zielsetzung anbieten, wie dem Leitfaden von ArdiAS zu entnehmen ist [44, S. 10]. Gemäß der Abb. 4 kann die Unterteilung in einem nächsten Schritt weiter untergliedert werden. Zu erwähnen ist, dass es sich hierbei um einen möglichen Ansatz der Kategorisierung von dAS in der Praxis handelt, der allerdings sämtliche dAS meinen kann (z. B. Augmented- oder Virtual Reality) und nicht explizit dAS in Bezug auf Werkzeugmaschinen einschränkt.



Abb. 4: Klassifikation der Unterstützungsformen digitaler AS (Erweiterte Darstellung basierend auf Apt et al., 2018) (Quelle: [44, S. 10]).

### 3.2.2 DigiPro Projekt – Einteilung digitaler Assistenzsysteme für Werkzeugmaschinen

Analog zur Klassifikation von dAS in der betrieblichen Praxis (Abb.4) können auch dAS explizit für Werkzeugmaschinen je nach Betrachtung in verschiedene Kategorien eingeteilt werden. Aufbauend auf dem Masterprojekt „Digitale Produktion – Assistenzsysteme für die Wartung und Instandhaltung von Werkzeugmaschinen“<sup>2</sup> ist die nachfolgende Abb. 5 entwickelt worden, welche Assistenzsysteme für Werkzeugmaschinen nach Art der Umsetzung, Art der Werkzeugmaschine, Herstellern und dem

<sup>2</sup> Vgl. Cok, Kilicaslan, Nawparwar, Stark, Gerhardt, Masterprojektarbeit im Rahmen der Vorlesung „Digitale Produktion“ von Herrn Prof. Dr. Müller im Wintersemester 2020/21 an der HAW Hamburg.

Ziel der Assistenz unterteilt. In der vorliegenden Arbeit wird ausschließlich auf die Unterteilungen „Art der Werkzeugmaschine“ und „nach Herstellern“ eingegangen, sodass sich die Marktrecherche lediglich auf diese beiden Kategorien bezieht.

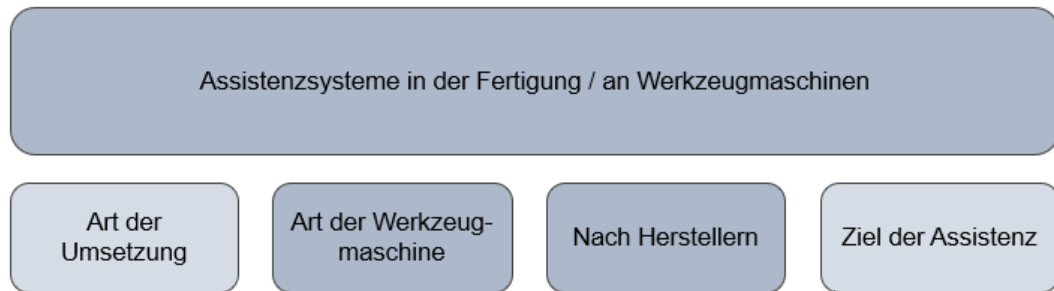


Abb. 5: Einordnungsmöglichkeiten digitaler Assistenzsysteme für Werkzeugmaschinen

In Anlehnung an die in Kapitel 3.1 aufgeführten Erläuterungen zur allgemeinen Klassifizierung von Werkzeugmaschinen und unter Berücksichtigung der in Deutschland 2016 überwiegend produzierten Werkzeugmaschinen nach Maschinenart (Abb. 6) liegt der Fokus der Marktrecherche hinsichtlich der Kategorie nach Art der Werkzeugmaschine auf den Unterteilungen „Pressen, Biegen, Fräsen, Drehen und Lasern“.



Abb. 6: Werkzeugmaschinenproduktion 2016 in Deutschland nach Maschinenart (Quelle: [3, S.6]).

Um eine quantitative Grenze ziehen zu können, beschränkt sich die Marktrecherche bezüglich der Hersteller auf die fünf führenden Werkzeugmaschinenhersteller in Deutschland im Jahr 2019 gemessen am Umsatz, welche in Abb. 7 aufgezeigt werden.

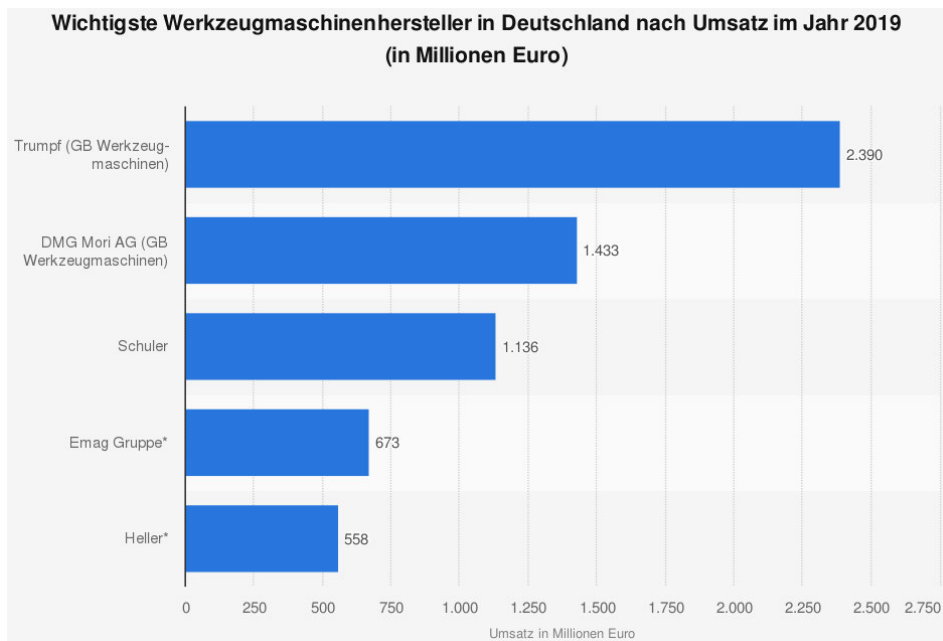


Abb. 7: Führende Werkzeugmaschinenhersteller in Deutschland gemessen am Umsatz in 2019 (Quelle: [Statista]).

Insgesamt kann die Einordnung der dAS aus Abb. 5 daher um weitere Untergliederungen ergänzt werden, welche in der Abb. 8 dargestellt sind. Die Marktrecherche und die Benchmark-Analyse beziehen sich auf die in Abb. 8 dunkelblau markierten Kategorien.

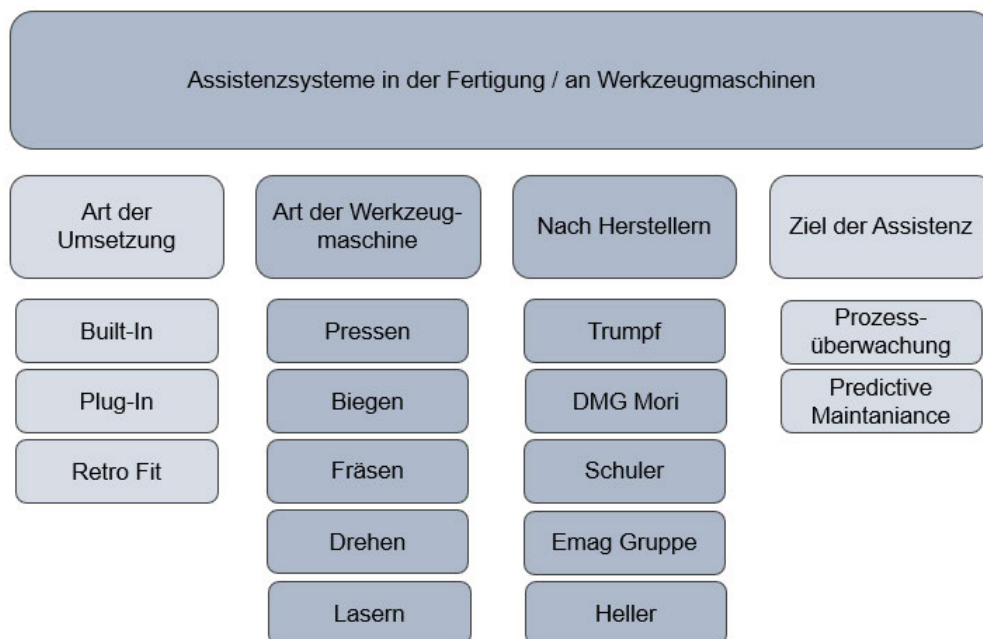


Abb. 8: Umfang der Marktrecherche bezogen auf Art der Werkzeugmaschine und Hersteller.

### 3.3. Sensorik für die Industrie 4.0

Um aktuelle Zustandsdaten der Werkzeugmaschine, des zu produzierenden Werkstücks oder allgemein des laufenden Herstellungsprozesses bereit zu stellen, wird versucht, Qualitätsmerkmale aus Prozessgrößen, wie akustische Emissionen, Prozesskräfte, Temperaturen, Beschleunigungen oder

Schwingungen zu erfassen und auszuwerten. Auch wenn diese Verfahren bereits entwickelt und kontinuierlich verbessert werden, bergen sie noch großes Potential für die Inprocess-Qualitätsprüfung, MDE und Werkzeugüberwachung [41, S. 23]. Grundlage dieser Datenerfassung und -auswertung sind Sensoren.

Sensoren gelten als eines der wichtigsten Glieder bei der Umsetzung von Industrie 4.0, da sie Anknüpfungspunkte zwischen der digitalen und realen Welt sind [46, S. 2]. Sensoren können in der Technik als Sinne einer Steuerungs- oder Regelungseinheit verstanden werden, da sie nachgeordneten Baugruppen erfassend oder messend Informationen über Veränderungen in technischen Systemen zur Verfügung stellen. Dabei werden in der Regel nicht elektrische Messgrößen, wie die Beschleunigung, Schwingungen in Form von Vibrationen am Motor, Kraft, Druck oder Oberflächentemperaturen, in elektrische Signale umgewandelt [32, S. 29-30]. Mit Hilfe des Sensors sollen die Auskünfte über den aktuellen Zustand eines Objektes erzielt und mit Analyseverfahren Informationen zum Wartungszustand generiert werden. Sensoren können eine Vielzahl von unterschiedlichen Messgrößen erfassen, wodurch das Nutzungspotenzial von Sensoren immens angetrieben wird. Dies zeigen Beispiele aus anderen Branchen, wie der Consumer-Elektronik (Smartphone o. Ä.) oder der Automobilbranche. Durch die enormen Stückzahlen an verbauten Sensoren sind auch die Fertigungskosten gering. Im Gegensatz dazu müssen die Sensorbauelemente für den Einsatz im Maschinen- und Anlagenbau „(...) jedoch in ein Sensorsystem mit entsprechenden elektrischen, mechanischen und softwaretechnischen Komponenten integriert werden, das den spezifischen Anforderungen [30, S. 4]“ der jeweiligen industriellen Anwendung gerecht wird.

Durch die voranschreitende Digitalisierung, bei welcher der bedienende und überwachende Mensch im Fertigungsprozess – im Rahmen der Maschinenbedienung und Werkzeugüberwachung – unterstützt werden soll, müssen die Kenngrößen des zu automatisierenden Prozesses durch Sensoren messtechnisch festgehalten und ausgewertet werden [32, S. 31]. Die Zustandsüberwachung als auch die Forderung nach immer präziseren Werkzeugmaschinen kann nur durch höchst präzise Sensoren gelingen, die sich zudem möglichst simpel integrieren lassen sollten [45].

### 3.4. Condition Monitoring, Predictive Maintenance & IIoT

Im Umfeld von Industrie 4.0 tauchen zudem häufig die Begriffe „Condition Monitoring“, „Predictive Maintenance“ und „IIoT“ auf. Sie können als Kernkomponenten von Industrie 4.0 verstanden werden, da sie durch Einsatz von Sensoren an Informationen über den Zustand von Maschinen und Anlagen gelangen und über sie entsprechende Maßnahmen bei auftretenden Problemen und Unstimmigkeiten eingeleitet werden können [27].

Condition Monitoring Systeme bezeichnen die in Echtzeit stattfindende Zustandskontrolle von Maschinen und Anlagen, wohingegen Predictive Maintenance für die vorausschauende Wartung, also

für die konkrete Vorhersage von erforderlichen Wartungseinsätzen verwendet wird [27]. Hierzu „(...) werden Daten aus Steuerung, Antrieben, von zusätzlichen Sensoren sowie prozesstypische Statussignale zur Ableitung einer Diagnoseaussage benötigt. Dabei kann es sich um langsam veränderliche, kontinuierliche Messdaten (z. B. Temperaturen) als auch um getriggerte, nur zu bestimmten Zeitpunkten auftretende, schnell veränderliche Messdaten (z. B. Schwingungen, Kräfte) handeln. Darüber hinaus sind Schnittstellen zur Maschinensteuerung erforderlich. Die Systeme müssen in der Lage sein, diese unterschiedlichen Datenquellen einheitlich zu erfassen [28, S. 2].“ Zur Begrenzung des anfallenden Datenvolumens sollten die aufgenommenen Daten vorweg gefiltert werden, sodass in der Datenbank im Wesentlichen nur noch die zur Maschinendiagnose notwendigen Kennwerte abgelegt werden. Diese können anschließend mit einer Auswertungs- und Visualisierungssoftware übersichtlich dargestellt und für Alarmierungsschwellen festgelegt werden [28, S. 2]. Ziel beider Systeme ist das frühzeitige Erkennen bzw. Vorbeugen von Fehlern, sodass beispielsweise bei Überschreitung von Grenzwerten Alarmierungen rechtzeitig versendet, Instandhaltungsmaßnahmen durch entsprechendes Personal ergriffen werden oder Bauteile planbar ausgewechselt werden können, ohne den laufenden Betrieb zu stören, woraus letztendlich eine Kostenreduktion resultieren kann [27].

IIoT ist eine Erweiterung bzw. Untergruppe des Internet of Things (IoT) dahingehend, dass das IIoT speziell das Internet der Dinge im industriellen Umfeld meint, da im Gegensatz zum IoT nicht die Verbraucher und Anwender, sondern industrielle Prozesse, Abläufe und Maschinen im Mittelpunkt stehen. Das IIoT meint die intelligente Vernetzung von industriellen Systemen, Werkzeugmaschinen und Anlagen, um einen reibungslosen und datengetriebenen Produktions- und Prozessablauf zu gewährleisten. Unter intelligenter Vernetzung wird die optimierte Kommunikation zwischen den Maschinen und Computern, welche zur Speicherung, Analyse und Auswertung der erfassten Maschinendaten genutzt werden, verstanden. Der Grundgedanke und das Ziel hinter dem IIoT ist die Effizienzsteigerung durch den Einsatz von smarten Maschinen, da durch sie sowohl schneller, exakter und kostengünstiger als auch sicherer produziert werden kann [4].

### 3.5. Ziele der Industrie 4.0

Für die gezielte Benchmark-Analyse muss klar definiert sein, inwieweit eine digitalisierte Industrie 4.0 greift und wann deren Ziele erreicht sind. Des Weiteren ist es entscheidend den Begriff des Benchmarkings zu erläutern und exakt abzugrenzen.

Unter dem Schlagwort Industrie 4.0 ist die vierte industrielle Revolution zu verstehen. Fraglich ist, was genau mit der vierten industriellen Revolution gemeint ist, welche Merkmale dazu zählen und wodurch sich ihre Ziele auszeichnen. Wird chronologisch begonnen, so lassen sich die industriellen Revolutionen einordnen in die erste Revolution, die geprägt ist durch die Mechanisierung, indem die Muskel- durch

Wasserkraft und Dampf ersetzt wurde. Mit der anschließenden zweiten industriellen Revolution wird die Automatisierung durch Einsatz elektrischer Energie und Arbeitsteilung bezeichnet. Schließlich wurde durch den Einsatz von programmierbaren Maschinensteuerungen zur Automatisierung und Standardisierung weiterer Bereiche der Fertigung, aber auch vieler administrativer Prozesse mit Hilfe von IT, die dritte industrielle Revolution eingeläutet. Den Kern der noch andauernden vierten industriellen Revolution oder auch Industrie 4.0 bildet nach den bisherigen Stufen Mechanisierung, Automatisierung und Digitalisierung nunmehr die Vernetzung von industrieller Infrastruktur im Bereich der industriellen Produktion mittels sogenannter Cyber-Physischer-Systeme (CPS) ab. Aufgrund der rasanten Verbreitung des Begriffs Industrie 4.0, mit jedoch sehr unterschiedlichen Auffassungen, haben sich in Deutschland unter der Leitung des Bundeswirtschafts- und Bundesforschungsministeriums mehrere Industrieverbände zusammengefunden und folgendes Begriffsverständnis herausgegeben:

*„Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen. Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen [46, S. 8].“*

Dieses Begriffsverständnis lässt sich in zwei Teile einordnen. Der erste Teil thematisiert die Funktion von Industrie 4.0, wohingegen der zweite Teil auf die technischen Aspekte hinsichtlich der Struktur und dem Prozess von Industrie 4.0 eingeht und erörtert: *„Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit, durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten.“* Mit der Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure ist die Vernetzung zu den oben erwähnten CPS gemeint, obgleich diese nicht explizit genannt werden. *„CPS zeichnen sich dadurch aus, dass sie Daten mittels Sensoren erfassen, unter Zuhilfenahme von eingebetteter Software aufbereiten und mittels Aktoren auf reale Vorgänge einwirken, über eine Dateninfrastruktur, wie dem Internet, kommunizieren und über Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen, um so eine Optimierung bezüglich vorzugebender Kriterien auf der Ebene der Leistungserstellung zu ermöglichen [46, S. 8]“.*

Da die Bachelorthesis die Untersuchung von dAS für Werkzeugmaschinen zum Ziel hat, ist der zweite, technische Teil der Definition, der als Synonym für eine Industrie 4.0, verstanden werden kann, wichtig. Für die Benchmark-Analyse der Leistungsmerkmale der angebotenen Systeme im Hinblick auf die Erreichung von Zielen einer digitalisierten Industrie 4.0 wird daher folgende Arbeitsdefinition formuliert:

Industrie 4.0 beschreibt die digitale Vernetzung, die durch Digitalisierung, Automatisierung sowie Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure charakterisiert ist. Sie verbindet unterschiedliche Komponenten innerhalb der Fertigung und Produktion untereinander, sodass Abläufe optimiert, Prozesse verkürzt und Informationen in Echtzeit wiedergegeben werden. Sie wirkt damit auf Prozesse oder Produkte von Industriebetrieben ein.

Ziele der Industrie 4.0 sind die Schaffung hoch flexibler, dynamischer Wertschöpfungssysteme bei gleichzeitiger Steigerung der Effizienz durch Kostensenkungen und Zeitersparnis. Schließlich sollen, durch die Sammlung, Analyse und Auswertung der Daten in Echtzeit, Rückschlüsse auf den Wertschöpfungsprozess sowie den Status von Maschinen und Werkzeugen möglich gemacht und kontinuierliche Verbesserungsprozesse angezielt werden. Zur Erreichung dieser Ziele wird das IIoT in Verbindung mit intelligenten Produktionssystemen, die mit unterschiedlicher Sensorik ausgestattet sind, sowie (zentralen) Datenbanken, die alle relevanten Daten an einem Ort speichern, genutzt.

### 3.6. Der Begriff des Benchmarkings

Beim Benchmarking handelt es sich um ein Managementinstrument bzw. eine Managementmethode, bei der ein einmalig oder kontinuierlich durchgeführter Vergleich von eigenen Produkten, Dienstleistungen, Prozessen oder Methoden mit einem oder mehreren anderen Unternehmen vorgenommen wird. Es geht darum, die eigene Leistungslücke zum Best-in-Class Unternehmen (auch Best-of-Breed genannt) zu identifizieren. Best-in-Class-Unternehmen meint Unternehmen, die eine deutlich überlegene Leistung erbringen und deshalb als Vorbild dienen. Als Grundidee beim Benchmarking gilt es festzustellen, welche Unterschiede aus welchem Grund bestehen und welche Möglichkeiten zur Verbesserung existieren [69]. Die Bewertung und Optimierung erfolgt durch die Analyse konkreter Kennzahlen oder Leistungsmerkmale. Wird ein Verbesserungspotenzial identifiziert, gilt es die Lücke nach oben zum Best-in-Class-Unternehmen systematisch zu schließen. Das Benchmarking stellt in der Regel keinen einmaligen Vorgang des Wettbewerbs- oder der Stärken-Schwächen-Analyse, sondern eine kontinuierliche Vergleichsanalyse der eigenen Leistungsmerkmale dar. Als langfristiges Ziel wird daher die dauerhafte Wettbewerbsfähigkeit in einer sich ständig weiterentwickelnden und schnelllebigen Welt avisiert [40, S. 132 ff.].

Je nach Abhängigkeit bzw. Zielsetzung kann das Benchmarking als Produkt-, Dienstleistungs- oder auch als Prozess-Benchmarking durchgeführt werden. Auch kann nach dem internen oder externen

Benchmarking unterschieden werden. Wird ein entsprechender Vergleich mit anderen Bereichen des eigenen Unternehmens (Konzernteilen, Abteilungen, Profit-Centern) vorgenommen, wird von einem internen Benchmarking gesprochen. Erfolgt ein Vergleich über die Grenzen des eigenen Unternehmens hinaus, wird das externe Benchmarking eingesetzt. Externe Benchmarks können zwischen Unternehmen auch auf Gegenseitigkeit durchgeführt werden, indem sie sich untereinander Informationen für die Benchmark-Analyse zur Verfügung stellen. Meist finden externe Benchmarks jedoch in der Form statt, dass das als Benchmark definierte Unternehmen nicht über dessen entsprechende Funktion informiert ist und das Benchmarking im Hintergrund abläuft. Dies kann durch neutrale Dritte, etwa Mitarbeiter von Beratungsgesellschaften geschehen, ohne dass der dahinterstehende Benchmark-Prozess deutlich wird [40, S. 132 ff.].

Zudem kann das Benchmarking branchenbezogen oder -übergreifend stattfinden. Branchenübergreifende Benchmarks eignen sich vor allem für die Analyse von Dienstleistungen/Services und/oder Prozessen, weniger für Produkte, da sich diese in der Regel schwieriger vergleichen lassen [40, S. 132 ff.]. Das Vorgehen beim Benchmarking kann schematisch als Stufenkonzept dargestellt werden, wie in Abb. 9 ersichtlich.

Stufe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Festlegung des Benchmark-Fokus (inkl. Ermittlung der jeweiligen Schlüsselkomponenten):               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Produkte</li> <li>▪ Dienstleistungen</li> <li>▪ Prozesse</li> </ul> </li> </ul>
Stufe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Definition des Wettbewerbsbereiches (entweder aus Kunden- oder Unternehmenssicht)</li> <li>▪ Bestimmung der Unternehmensbereiche oder der Unternehmen, mit denen ein Vergleich erfolgen soll (d. h. welcher Unternehmensbereich oder welches Unternehmen wird als „Best-in-Class“ angesehen?)</li> <li>▪ Auswahl des sogenannten Benchmarks aus dem eigenen Unternehmen, der eigenen Branche und/oder dem eigenen Land, oder aus anderen Branchen und/oder Ländern</li> </ul>
Stufe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gewinnung der notwendigen Daten durch Sekundär- und/oder Primärforschung</li> <li>▪ Unter Umständen Einschaltung von Beratungsunternehmen zur Durchführung der Informationsgewinnung, der Analyse sowie zur Ableitung von Empfehlungen</li> </ul>
Stufe 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ermittlung der vorhandenen Leistungsunterschiede (Leistungslücken, mögliche „Überleistungen“)</li> <li>▪ Erfassung der Ursachen für Leistungslücken und Überleistungen</li> <li>▪ Bewertung der ermittelten Leistungsunterschiede bzgl. ihrer Implikationen für               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kostensituation des eigenen Unternehmens</li> <li>▪ Zusätzliche Nutzenkomponenten für die eigenen Kunden</li> </ul> </li> </ul>
Stufe 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analyse, in welcher Form das gewonnene Wissen genutzt werden kann, um die eigene Leistungspalette oder die zugrunde liegenden Prozesse weiterzuentwickeln</li> <li>▪ Erarbeitung eines Masterplans zur Umsetzung</li> </ul>

Abb. 9: Stufenkonzept eines Benchmarkings (Quelle: [40, S. 134]).



## 4. Marktrecherche zu Systemen der Datenerfassung und -verarbeitung in Werkzeugmaschinen

Dieses Kapitel widmet sich der Marktrecherche, welche zunächst marktgängige Systeme nach der Art der Werkzeugmaschine und anschließend nach dem Hersteller der Werkzeugmaschine differenziert.

### 4.1. Digitale Assistenzsysteme nach Art der Werkzeugmaschine

DAS in bzw. für Werkzeugmaschinen liegen meist als Sensorkomponenten oder einem IIoT-Connector vor, der mit der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik verbunden ist. Sie können je nach Werkzeugmaschine in einem bestimmten Werkzeug verbaut oder mit diesem gekoppelt sein. Im Folgenden wird auf die in Abb. 8 gezeigten Werkzeugmaschinen in Zusammenhang mit Assistenzsystemen näher eingegangen, um diese im Rahmen der Benchmark-Analyse in einer Matrix gegenüberstellen zu können.

#### 4.1.1. Pressen

Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen in einem Presswerk prüfen die Qualität eines gepressten Bauteils häufig per Sichtkontrolle. Das bedeutet, dass die Fehleranalyse von produzierten Pressteilen erst nach dem eigentlichen Umformprozess durchgeführt wird. Im Zeitalter der Industrie 4.0 jedoch wird eine reine Sichtprüfung den Qualitätsmerkmalen häufig nicht gerecht. Vorteilhafter wäre es durch Beobachtung von Prozesssignalen die individuellen Abläufe transparent zu machen und daraus eine differenzierte Sicht der technischen Abläufe herzuleiten [31].

#### **Xeidana**

Über die vom Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen- und Umformtechnik (Fraunhofer-IWU) entwickelte erweiterbare Software „Xeidana“ (eXtensible Environment for Industrial Data ANALysis) bietet sich die Möglichkeit, die Qualitätskontrolle präziser und effizienter zu gestalten, da die Software eine Vielzahl von Prüf- und Messaufgaben in einem System zusammenführt und automatisiert auswertet. Als Grundlage hierfür dienen verschiedene Sensoren mit hohen Auflösungen, die sowohl Längen, Durchmesser als auch Volumina der gepressten Bauteile überprüfen und kontrollieren, ob Oberflächenfehler oder sogar innere Defekte vorliegen. Durch die Sensorfusion ist es möglich unterschiedliche Sensortypen, beispielsweise Wirbelstromsonden, Oberflächenscanner, (IR-) Kameras oder Köperschallmikrofone miteinander zu kombinieren. Durch die gleichzeitige Verwendung von Sensorsystemen, die auf unterschiedlichen physikalischen Prinzipien basieren, liegt der Vorteil in der Erhöhung des Spektrums erkennbarer Defekte sowie der Steigerung der Bewertungszuverlässigkeit, dadurch, dass innere und äußere Defekte an Werkstücken in der Fertigung zuverlässig erkannt werden. Die Anwendung kann als dAS in die Pressmaschine implementiert werden, dient aber nicht der Werkzeugmaschine im Sinne einer Überwachung der Maschinenkomponenten, sondern vielmehr der

Qualitätskontrolle, indem sie mittels Sensorik Infrarotaufnahmen und optische Live-Videos zusammen mit Informationen von Ultraschallsystemen bündelt und analysiert. Die Ergebnisse können über einen Monitor, beispielsweise auf einem Tablet oder auch per Datenbrille, ausgegeben werden. Xeidana bietet ein erweiterbares Framework, sodass der Software eigenständig weitere leistungsfähige Plugins hinzugefügt werden können. Diese können entweder verarbeitende Algorithmen in Form von Modulen enthalten oder neue Datenanbindungen bereitstellen, durch dessen Hilfe Zugriff auf weitere Hardware möglich ist. Die Software kann sowohl im Online- als auch Offline-Betrieb genutzt werden, sodass die Datensätze live während des Arbeitsprozesses oder nachträglich ausgewertet werden können. Durch die Möglichkeit zur parallelen Datenverarbeitung ist die Software optimiert für Mehrkernprozessoren. Durch die Interoperabilität können die mit Xeidana implementierten Funktionalitäten auf andere Software-Systeme übertragen werden. Mit Xeidana steht somit ein umfassendes Lösungspaket zur Verfügung, das alle Aufgaben von der Datensammlung bis hin zur automatisierten Qualitätskontrolle abdeckt und somit zur Steigerung der Effizienz beiträgt [36].

Nach erfolgter Rücksprache mit dem Abteilungsleiter für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik vom Fraunhofer-IWU handelt es sich bei der Software um ein Entwicklungsframework zur Datenanalyse, bei dem der Fokus bei der Entwicklung der Software von Beginn an auf Modularität gelegt wurde. Durch die modulare Aufbauweise und der Möglichkeit eigener Applikationsentwicklung und hybrider Programmierung kann die Software sogar für weitere Werkzeugmaschinen eingesetzt werden, z. B. bei Schleifmaschinen, Tiefziehpressen, Fräsen, u. A.. Dabei gilt das in der folgenden Abb. 10 dargestellte Funktions-/Arbeitsprinzip, welche freundlicherweise vom Fraunhofer-IWU zur Verfügung gestellt wurde [35].

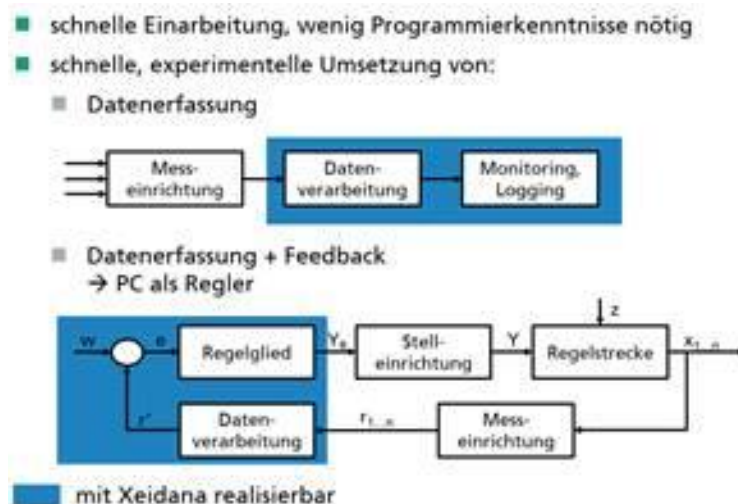


Abb. 10: Funktionsprinzip der Software XEIDANA (Quelle: [35]).

## **Smart Stamp**

Zudem hat das Fraunhofer-IWU gemeinsam mit der ifm electronic GmbH ein Condition Monitoring System explizit für die Zustandserfassung von Umformpressen als verwendungsfertige Applikation „Smart Stamp“ entwickelt, welches alle wichtigen Kenngrößen wie Presskräfte, Kippmomente und die Stoßelkippung aufnimmt und visualisiert, wodurch Umformwerkzeuge identifiziert werden, die Pressen unzulässig belasten und damit Schäden an Pressenantrieb und -gestell verursachen können. Werden Veränderungen bei den Presseinstellungen oder ein Verschleiß am Umformwerkzeug als Trend erkannt, können mit Hilfe einer Auswertungs- und Visualisierungssoftware Kennwerte übersichtlich dargestellt, Grenzwertüberschreitungen protokolliert und Alarmierungsschwellen festgelegt werden. Neben der Überprüfung der Presskräfte können mit zusätzlichen Sensoren auch Kenngrößen wie der Zustand der Wälz- und Gleitlager, Hydraulikkomponenten wie Ölzustand und Servoventile sowie der Energieverbrauch (Elektroenergie und Druckluft) überwacht werden. Sofern das Smart Stamp System ausfällt, kann die Maschine ohne Einschränkungen weiter produzieren, was ein Vorteil im Hinblick auf die Benchmark-Analyse darstellen kann [28].

### 4.1.2. Biegemaschinen

„Nach der DIN 8586 ist eine Biegemaschine definiert als eine umformende Werkzeugmaschine, bei der mittels geradlinig oder drehend bewegter Werkzeuge unetwige oder stetige Biegungen an Werkstücken um gerade Biegeachsen vorgenommen werden [3, S. 94]“.

## **Biegezele**

Ein entscheidendes Kriterium für die Oberflächenqualität eines mit einer Biegemaschine hergestellten Werkstücks ist die Präzision und Winkelgenauigkeit. Hierbei hat sich zur flexiblen, automatischen Fertigung von Bauteilen der Aufbau einer Biegezele etabliert, die aus einer Gesenkbiegemaschine mit einem Industrieroboter besteht. Der Roboter justiert das Werkstück während der nacheinander ablaufenden Biegeprozesse und bringt das Werkstück in die erforderlichen Positionen. Die Programmierung erfolgt über eine spezielle Software, welche die Bewegungen von Biegemaschine und Roboter synchronisiert und eine kollisionsfreie Verfahrbahn des Roboters automatisch berechnet. Entscheidend ist die Werkstückerkennung und lagegerechte Positionierung des Werkstücks, welche mit Hilfe von Sensoren, die im Zangen- oder Sauggreifer des Roboters eingebaut sind, erfasst und als dAS eingeordnet werden können. Mit Hilfe des dAS entfallen die sonst üblicherweise verwendeten Positionierstationen. Ein Hersteller solch einer Biegezele ist das Unternehmen TRUMPF [3, S. 95].

## **ACB Wireless System**

Weitere dAS bietet das Unternehmen TRUMPF für dessen Biegemaschinen an. Zum einen das ACB Wireless System (Automatically Controlled Bending), ein taktiles Online-Winkelmesssystem zur kabellosen Erfassung des Blechbiegewinkels, welches während des Biegevorgangs die

Bearbeitungsgenauigkeit sichert. Hierzu misst und korrigiert das ACB Wireless System Winkel kabellos mithilfe von zwei Tastscheiben unterschiedlichen Durchmessers, die im Oberwerkzeug beweglich integriert sind. Im Laufe des Biegeprozesses berühren die Tastscheiben die Innenschenkel des Biegeteils, wodurch jede Scheibe zwei Berührungspunkte mit dem Werkstück hat, wie den Abb. 20, 21 und 22 im Anhang schematisch entnommen werden kann. Durch die Erfassung des Verfahrensweges (relativer Abstand der Scheibenmittelpunkte) wird der Winkel mittels Sensoren elektronisch gemessen [61]. „So können während einer Identifikationsphase zu Beginn der Produktion die Rückfederung des Bleches und die entsprechende Höhenkorrektur des Oberwerkzeuges automatisch bestimmt und in der Produktionsphase ohne Zeitverzögerung berücksichtigt werden. Treten während der Produktion erneut Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Biegewinkeln auf, wird automatisch eine weitere Anpassung im Programm vorgenommen [3, S. 96].“ Die visuelle Ausgabe des Winkels erfolgt kabellos über einen Monitor.

#### **ACB Laser**

Zudem bietet TRUMPF das optische System ACB Laser an, bei dem ein Laser eine Linie auf das Werkstück projiziert, welchen die Kamera erkennt und der Biegewinkel automatisch kontrolliert wird. Durch entsprechende Messeinheiten auf der Vorder- und Hinterseite wird ein exakter Biegewinkel gewährleistet [61]. Die Abb. 23 und 24 im Anhang veranschaulichen das Prinzip.

#### 4.1.3. Fräs- und Drehmaschinen

Die Spindel ist sowohl bei der Fräs- als auch bei der Drehmaschine eine der zentralen kritischen Komponenten für die Genauigkeit der Bearbeitung. Beispielsweise kommt es durch hohe Drehzahlen und Reibungen zwischen dem Werkstück und Werkzeug aufgrund der Erwärmung der Spindel zu Längenänderungen eben dieser. Auch bei sehr schnell drehenden Spindeln kann es durch Auftreten von hohen Zentrifugalkräften zu Längenänderungen kommen. Diese Längenänderungen haben erheblichen Einfluss auf die Maßgenauigkeit des zu fertigenden Werkstücks. Mit einer Flüssigkeitskühlung der Spindel kann der Effekt der Längenausdehnung zwar begrenzt aber niemals komplett verhindert werden [67].

Insgesamt stellt sich die Situation<sup>3</sup> zur Informationsmenge von Spindeln in Werkzeugmaschinen noch als sehr knapp dar, da entweder keine oder nur wenige Informationen über den aktuellen Betriebszustand und von bisherigen Betriebskennzahlen der Spindel vorliegen. Fragen wie „Wie viele Spannzyklen wurden bisher durchgeführt?“ oder „Wie steht es um den Betriebszustand der Spindel?“ genauso wie Aussagen zu Drehzahl- und Drehmomentbereichen während der Spindelgebrauchsdauer können nicht eindeutig beantwortet werden. Aus diesem Grund ist es äußerst schwierig, genaue

---

<sup>3</sup> Stand 2017.

Kenngrößen für Verschleißraten zu ermitteln und gezielte Aussagen treffen zu können, anhand derer unvorhergesehene Maschinenstillstände vermieden werden könnten [67].

#### **Spindel-Sensor-Modul SMI 24**

Zur Verbesserung genau dieser Defizite hat die WEISS Spindeltechnologie GmbH, eine Tochter der Siemens AG, das Spindel-Sensor-Modul SMI 24 in Kombination mit Siemens SINAMIC und SINUMERIK entwickelt und auf den Markt gebracht. Ziel dieses Moduls ist es Informationen und Daten während der Spindellaufzeit zu sammeln, zu analysieren und zu visualisieren, um mit Hilfe der Datenauswertung Spindelzustände zu erkennen, die zum Ausfall der Spindel und damit zwangsläufig zum Stillstand führen würden. Durch das Festhalten der Spindelzustände erhöht sich die Spindelgebrauchsdauer durch besser planbare, vorbeugende Maßnahmen zur Spindelinstandhaltung und somit letztlich die Produktivität der Maschine. Optional können mit der SINUMERIK Option „Integrierter Spindel Monitor“ weitere Informationen zum Spindelzustand und Daten über den Einsatz der Spindel am Human Machine Interface (HMI) bezogen werden. Hierüber lassen sich weitere Informationen wie die Anzeige und Visualisierung des aktuellen Spannzustandes aber auch Details zu der Spindelbezeichnung sowie der Seriennummer ablesen, wodurch ein schneller Zugang zu Spindelinformationen gewährleistet wird. Zudem ermöglicht das SMI 24 einen schnellstmöglichen Werkzeugwechsel, da es unabhängig vom Zyklus der speicherprogrammierbaren Steuerung arbeitet.

Als vorteilhaft stellt sich die einfache Verdrahtung, durch nur ein Drive-CliQ Kabel für die Signale von Drehgeber, Motortemperatur, Spannzustandsabfrage und Kolbenabfrage dar, wodurch weitere Anschlusskomponenten wie Kabel und Auswerteeinheiten im Schaltrank zur Einspeisung von analogen in digitale Spindel Signale wegfallen [67].

#### 4.1.4. Lasermaschinen

Bei Laserbearbeitungsmaschinen entsteht durch abgetragenes Material Staub im Lasergerät. Diese Staubablagerungen müssen von der Bearbeitungsfläche und den Laserlinsen entfernt werden, um negative Resultate wie Verfärbungen, eingebrannte Ablagerungen oder Verzerrungen zu vermeiden [60]. Zum Schutz der Linse vor Staub oder Schmauch wird neben Absauganlagen unter anderem eine Düse genutzt. Diese Düse kann durch Staubablagerungen verstopfen [59].

#### **Xarion Laser Acoustics-Sensor**

Durch den neu entwickelten Sensor der Firma Xarion Laser Acoustics GmbH lassen sich solche Probleme vermeiden. Bei dem Sensor handelt es sich um ein optisches Mikrofon, welches Schallwellen mit Licht misst. Im Gegensatz zu konventionellen Mikrofonen, bei denen eine bewegliche Membran verwendet wird, ersetzt ein Laser diese Membran. „Trifft eine Schallwelle auf das Laserlicht seines optischen Mikrofons, ändert sich durch den Druck minimal die Lichtgeschwindigkeit und der Laserstrahl breitet sich langsamer aus. Die Schallwelle wird also indirekt über die Lichtintensität

gemessen. Da der Sensor ohne bewegliche Teile auskommt, ist er unempfindlich gegen äußere Einflüsse (...) [29, S 13]“ und kann Töne vom tiefen Infraschall bis zum Ultraschall im Megahertzbereich messen. Durch die Ultraschallfrequenzmessung und -auswertung lässt sich ganz genau erkennen, ob eine Düse verstopft ist oder ob der Laserstrahl beispielsweise zu tief in das zu bearbeitende Material eindringt [29, S. 13]. Dieses System lässt sich auf viele weitere laserbasierte Fertigungsprozesse erweitern, da bei diesen Fertigungsverfahren neben Streulicht und Wärmestrahlung auch Ultraschall-Akustik entsteht. Diese luftgekoppelte Ultraschall-Emission kann genutzt werden, um die Qualität von industriellen Laser-Materialbearbeitungsprozessen in Echtzeit zu überprüfen und überwachen. Als Anwendungsbeispiele seien hier das Laserschweißen, Laserstrukturieren, Laserschneiden oder auch additive Fertigungsverfahren, wie das Pulverbettsschmelzen oder Laserauftragschweißen genannt [70].

## 4.2. Digitale Assistenzsysteme nach Werkzeugmaschinenhersteller

Wie in Abb. 8 veranschaulicht, werden im Folgenden die fünf führenden Werkzeugmaschinenhersteller mit dem Ziel untersucht, das aktuelle Angebot hinsichtlich ihrer bestehenden Assistenzsysteme für die Zustandsdatenerfassung und -verarbeitung von Werkzeugmaschinen auf Nutzen und Funktionalität zu analysieren und übersichtlich darzustellen. Einleitend wird das jeweilige Unternehmen kurz vorgestellt und erwähnt, welche Art der Werkzeugmaschine hergestellt und vertrieben wird, um eine bessere Vergleichbarkeit der Leistungsmerkmale im Rahmen der Benchmark-Analyse zu gewährleisten.

### 4.2.1. TRUMPF

Als Hochtechnologieunternehmen führt TRUMPF eine breite Palette an Werkzeugmaschinen, Lasertechnik und Leistungselektronik an. Ein Hauptsegment des Herstellers sind Stanz- und Biegemaschinen. Als Lösungen für die Industrie 4.0 bietet TRUMPF unter dem Stichwort Smart Factory verschiedene Software-Module an, die in Kombination mit den Werkzeugmaschinen der Erreichung einer Industrie 4.0 dienen sollen [63]. Nachfolgend werden die relevantesten dAS aufgeführt.

#### **TruTops**

TRUMPF bietet mit TruTops Fab eine Software für alle Fertigungsprozesse – von der Angebotserstellung, Arbeitsvorbereitung, über die Fertigung und Steuerung bis zur Verwaltung der Kundendaten und den Versand an den Kunden – an. TruTops Fab bezeichnet dabei das gesamte Portfolio des Softwareangebots, welches in separate Kategorien und Module aufgeteilt werden kann, wie der Abb. 11 entnommen werden kann.

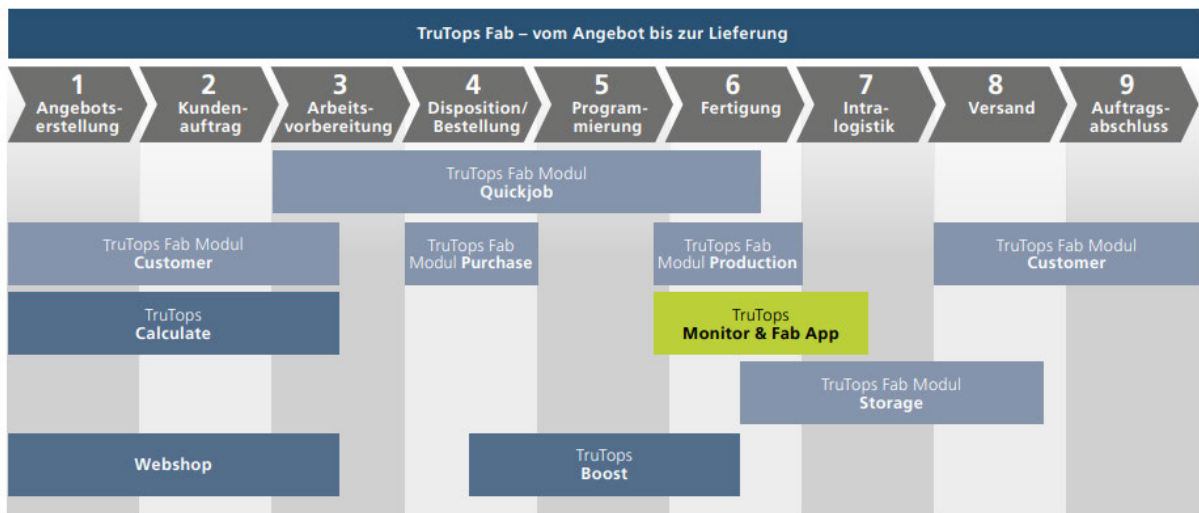


Abb. 11: Übersicht der TruTops Fab Module von Trumpf (Quelle: [64, S. 2]).

Mit dem Modul Productions können beispielsweise Arbeitspläne erstellt und komplette Baugruppen zusammengefasst werden. Die Module QuickJob, Productions, Boost und Storage greifen zwar in die Fertigung ein, dienen aber weniger der technisch-maschinellen Unterstützung, sondern eher der Verwaltung und Verfolgung von Kundenaufträgen. Betreffend der Fertigung und damit speziell für Werkzeugmaschinen ist das TruTops Modul „Monitor & Fab App“ hervorzuheben.

### Tru-Tops Monitor & Fab App

Das Software-Modul TruTops Monitor dient der Maschinenüberwachung, indem es Fehler und Störungen über Maschinendaten erfasst, analysiert, meldet und visuell auf einem Monitor darstellt. In Kombination mit der Fab App wird die Fehlermeldung nicht nur stationär am Ort des Bildschirms angezeigt, sondern per SMS oder E-Mail an Endgeräte wie Smartphones, Tablets oder Laptops weitergeleitet. Dies hat den Vorteil, dass der Maschinenbediener nicht ständig vor Ort sein muss, sondern ortsunabhängig weitere Arbeiten ausführen kann. Tritt ein Fehler oder eine Störung auf, analysiert die Software die Ursache und gibt die ausgewerteten Maschinendaten als Fehlerstatistiken grafisch aus. Über die Funktion Remote-Control bietet sich zudem die Möglichkeit, auch fernab der Maschine direkt auf die Maschinensteuerung zuzugreifen und Fehler aus der Ferne beheben zu können. Die App ist kompatibel mit allen gängigen iOS-Geräten, wie iPad und iPhone. Zusammenfassend bietet das dAS eine automatische Analyse der Maschinendaten wie Stillstände, Fehlermeldungen, Störursachen, Pausen und Wartungszeiten, sodass bei Bedarf schnell reagiert und Stillstandzeiten minimiert werden können [64], [66].

### Condition Based- und Smart View Services

Unter Condition Based Services bietet TRUMPF ein System zur Erhöhung der technischen Verfügbarkeit und Produktivität von Lasersystemen an. Das System setzt sich aus den Komponenten Condition Monitoring, Condition Check und Smart View zusammen. Das Condition Monitoring dient

einer zyklischen proaktiven Analyse der Lasergeräte, wohingegen beim Condition Check die Analyse einmalig zu einem vereinbarten Zeitpunkt erfolgt. Beide Systeme werten wichtige Sensordaten aus, um Auffälligkeiten auszumachen und erkennen Risiken und Verbesserungspotentiale. Droht z. B. ein Laser wegen eines zu schnell sinkenden Kühlwasserstands oder eines verschmutzten Filters auszufallen, alarmieren die Systeme proaktiv. Auch ineffiziente Zustände, wie die ungeeignete Ansteuerung der Lasergeräte, werden durch die Systeme erkannt. Durch die beiden Systeme lassen sich alle relevanten Daten über einen Analysereport ausgeben.

Durch Smart View werden die Condition Based Services ergänzt. Bei Smart View werden zeitsynchrone Laserzustände durch übersichtliche Dashboards visualisiert. Gleichzeitig geben die Dashboards Auskunft über konsolidierte Informationen zu Laserdaten, Auslastungen der Laser, anstehenden Instandhaltungsmaßnahmen, entstandenen Fehlermeldungen sowie Historien vorgenommener Änderungen an Laser- oder Scannerprogrammen und ermöglichen somit eine maximale Datentransparenz sowie eine vollständige Transparenz über den Zustand des Laserpools zu jederzeit [62], [65].

#### 4.2.2. DMG Mori

Die DMG Mori AG ist ein weltweit führender Hersteller von spanenden Werkzeugmaschinen zum Drehen und Fräsen [6]. Im Bereich der Digitalisierung hat die DMG Mori AG das Hochleistungs-Betriebssystem „CELOS“ entwickelt, das gleichzeitig die Hard- und Software darstellt und in 2020 mit dem „Intelligent Manufacturing Award 2020“ [10] ausgezeichnet wurde. CELOS bietet verschiedene Anwendungen für jeden Prozess in der Produktion [7]. Hierzu gehörend bietet DMG Mori „(...)Software-Produkte und Lösungen für die Planung, Vorbereitung und Produktion sowie für das Monitoring, die Instandhaltung und den Service an [9]“. Die jeweiligen Anwendungen können der Abb. 12 zur Verschaffung einer Übersicht entnommen werden. DMG Mori setzt hierbei auf offene Schnittstellen und standardisierte Kommunikationsprotokolle, um eine durchgängige Integration und Interoperabilität von Maschinen und Prozessen zukunftsorientiert zu gewährleisten. Daher werden alle Maschinen von DMG Mori als Standard mit einer IIoT-Schnittstelle ausgestattet, die alle gängigen Protokolle wie MQTT, MTconnect sowie den neuen Branchenstandard umati auf Basis von OPC UA unterstützt. Ein weiterer entscheidender Vorteil dieser offenen Integrationsstrategie ist, dass mittels CELOS APPs APPLICATION CONNECTOR die Nutzung kundeneigener Systeme und Anwendungen direkt auf der CELOS Maschine genutzt werden können. Im Folgenden wird auf die relevanten Anwendungen im Sinne von dAS für eine Industrie 4.0 aus dem Bereich Monitoring eingegangen, welche in der Abb. 12 rot umrandet zu sehen sind. Bei den Apps im Bereich Planning, Preparation, Production und Service handelt es sich zum großen Teil zwar auch um dAS für die Industrie 4.0, allerdings verstärkt um die Produktionsplanung (Planning), Vorbereitung und Übermittlung von Aufträgen zu den Maschinen (Preparation), ein intelligentes Energie-Management und individuelle Konfiguration aller Apps



(Production) sowie eine Serviceoptimierung (Service). Die Apps im Bereich Monitoring hingegen geben den aktuellen Status der vernetzten Maschinen in Echtzeit wieder. Zudem bieten sie die Möglichkeit zur Analyse und Visualisierung der Sensordaten [58].

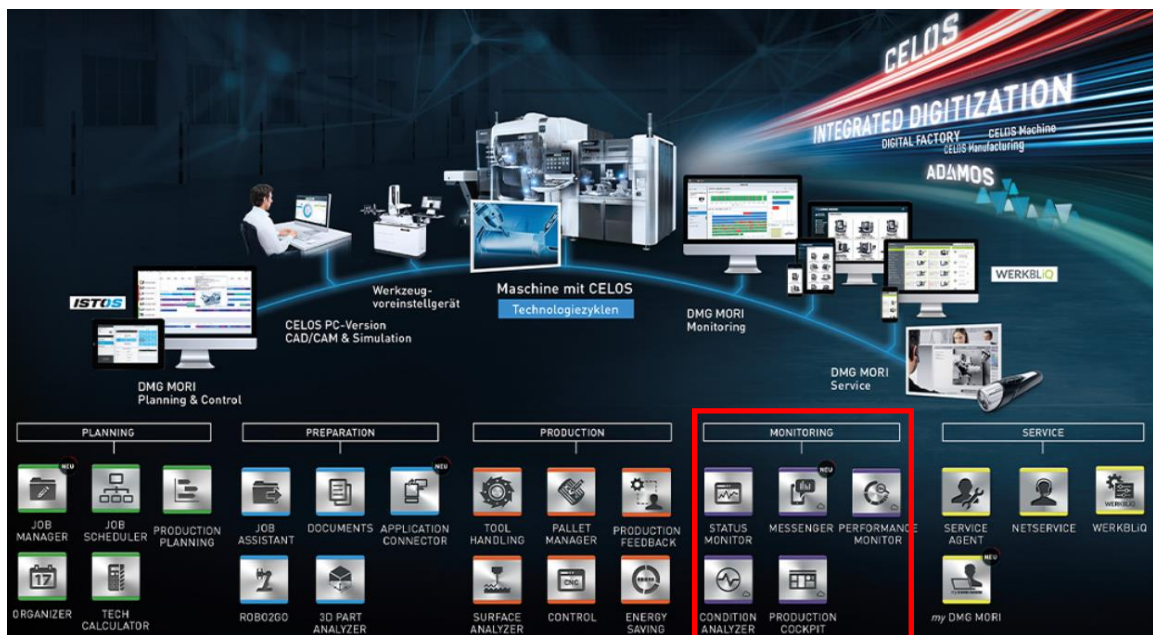


Abb. 12: Übersicht der Anwendungen mit von CELOS ([Quelle: [6]).

Unter dem Status Monitoring verbergen sich die Apps Status Monitor und Messenger, welche als Standard Apps fungieren sowie die optionalen Apps Performance Monitor und Condition Analyzer, die alle im Zusammenspiel Stillstände frühzeitig erkennen, ihre Gründe analysieren und diese vermeiden sollen [7].

### Status Monitor

Die App Status Monitor erfasst und kontrolliert den Maschinen- und Auftragsstatus durch Analyse und Auswertung von Maschinensensordaten und gibt Informationen zum aktuellen Fertigungsstatus. Dabei werden nicht nur Daten zur Auftragsinformation, wie Stückzahl, Losgröße und Restlaufzeit visuell auf dem Bildschirm ausgegeben. Vielmehr wird auch der Maschinenstatus hinsichtlich der Spindellast und -vibrationen sowie zu den Achslasten und -positionen angezeigt. Auch Aufspannungsinformationen über die aktuelle Einzelteilerfertigung können eingesehen werden [7].

### Messenger

Die App Messenger zeigt den Zustand aller vernetzten Maschinen auf einen Blick, sodass Stillstände durch ausgefallene Maschinen sofort erkannt und Engpässe in Prozessketten identifiziert werden können. Weiterhin lassen sich automatisch generierte One-Page-Reports sowie eine Alarmhistorie ausgeben [7].

### **Performance Monitor**

Die optionale App Performance Monitor dient der einfachen Ermittlung der Maschinenproduktivität und der Analyse von Stillständen durch Überwachung der Maschinenverfügbarkeit, der Optimierung der effektiven Produktionszeit sowie der direkten Rückmeldung von Stillständen an CELOS [7].

### **Condition Analyzer**

Mit der optionalen App Condition Analyzer lässt sich die sensorbasierte Analyse des Maschinenzustandes durchführen. Diese dient zum einen der Verbesserung der Werkstückqualität, zum anderen kann die Datenanalyse für die vorbeugende Wartung genutzt werden, wodurch Stillstände vermieden und letztendlich Kosten gespart werden können [7]. Über die zusätzlichen Pakete Sensor Package I4.0 und Maintenance Package I4.0 kann die App um weitere Funktionen ergänzt werden. Das Sensor Package I4.0 dient dem vorbeugenden Schutz durch Überwachung, Analyse und Optimierung der Maschinenprozesse indem Unwuchten erkannt, Lagerdiagnosen erstellt und eine Schwingungsüberwachung gewährleistet werden soll. Weiterhin wird die Spindelverlagerung ermittelt und kompensiert sowie der Volumenstrom zur Sicherstellung der erforderlichen Kühlleistung überwacht. Das Maintenance Package I4.0 beinhaltet Komponenten zur automatischen Erkennung der Werkzeugspannkraft mit definierten Messzyklen, zur automatischen Schmierung der Werkzeuge sowie zur Erkennung von Leckagen und Überwachung der Pneumatik [8].

### **Production Cockpit**

Production Cockpit ist eine Anwendung zur freien Gestaltung und individuellen Darstellung der Daten. Durch das Dashboard können analysierte und ausgegebene Informationen variabel auf dem Bildschirm positioniert werden. Es handelt sich daher nicht um ein Assistenzsystem zur Datenerfassung, sondern um ein Aufbereitungs- und Visualisierungstool [5].

Besonders hervorzuheben ist, dass das CELOS Software-Paket für alle mittels DMG Mori Connectivity vernetzten Maschinen und Geräte genutzt werden kann. Dies gilt sowohl für Eigen- als auch für ausgewählte Fremdfabrikate, was ein entscheidender Vorteil sein kann, insofern nicht alle bestehenden Maschinen ausgetauscht aber mit dAS aus-/nachgerüstet werden sollen. Außerdem ermöglicht DMG Mori Connectivity die Anbindung an alle wesentlichen IoT-Plattformen, beispielsweise ADAMOS, MindSphere, oder FANUC Field. [7].

#### 4.2.3. SCHULER

Als Pressen- und Werkzeughersteller für die metallverarbeitende Industrie bietet SCHULER Automationslösungen sowie Lösungen im Bereich von Industrie 4.0 für die Umformtechnik an. So sollen Stillstände vorhersehbar gemacht und schon im Vorfeld abgewendet werden. Zusammengefasst wird das Konzept zur digitalen Zukunft seit 2016 unter dem Stichwort „Smart Press Shop“ [49].

Anfängliche Schritte zur smarten und vernetzten Produktion wurden kontinuierlich weiterentwickelt, sodass aus der Idee des Smart Press Shops in 2018 eine Kooperation mit der Ing. h. c. F. Porsche AG geschlossen wurde. Aus der Kooperation ist die Gründung der Smart Press Shop GmbH & Co. KG hervorgegangen, die als Gemeinschaftsunternehmen durch den Zusammenschluss der SCHULER AG und der Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG mit dem Ziel entstanden ist, ein effizientes, innovatives und flexibles Presswerk der Zukunft zu schaffen, die Produktivität zu steigern und gleichzeitig die Qualität der gefertigten Teile zu erhöhen [42]. Eine Produktlösung, die aus der Zusammenarbeit entstanden ist, stellt das Machine Monitoring System dar, welches über sechs Funktionsbereiche verfügt, mit denen sich Betriebszustände erfassen, analysieren, speichern und auswerten lassen. Hierzu zählen das Condition Monitoring, Track & Trace, OEE-Monitoring, Process Monitoring, Power Monitoring und Smart Diagnostics. „Die Grundlage bilden Daten, die mit Hilfe von ausgefeilter Sensorik und Aktorik gesammelt werden [49]“. Zudem bietet SCHULER weitere Software-Pakete im Rahmen einer Digital Suite an [51]. Im nachfolgenden Teil werden die Systeme im Einzelnen näher betrachtet.

### **Condition Monitoring**

Mit Condition Monitoring werden Maschinenkomponenten auf Veränderungen, Verschleiß oder Schäden mit dem Zweck zur Optimierung der Anlage überwacht. Dies geschieht durch regelmäßige Testläufe der Anlage, bei denen Schwingungsdaten, Drehmomentverläufe oder der Energieverbrauch geprüft werden [48]. Wichtig hierbei ist, dass es sich nicht um eine Echtzeitdatenanalyse im tatsächlichen Fertigungsprozess handelt, sondern um einen Testlauf. Seit 2016 werden Servopresslinien von SCHULER standardmäßig mit Sensoren in Stößel und Tisch zur Messung der Beschleunigung pro Hub sowie Sensoren zur Vibrationsmessung in den Motorlagern, die Hinweise auf einen möglichen Verschleiß an besonders kritischen Stellen, wie Zahnrädern und Achsen geben, ausgestattet. Zudem sind der Bedarf an Strom, Wasser und Druckluft von der Platinenzuführung über Einzelpresse und Tischkissen bis hin zur Platinenabstapelung separat ausweisbar [57].

### **Track & Trace**

Track & Trace ist kein Assistenzsystem zur Unterstützung einer Werkzeugmaschine. Vielmehr handelt es sich hierbei um eine Software für den lückenlosen Nachweis von Bauteilen. Über Track & Trace können Prozessparameter online dokumentiert und dem Werkstück zugeordnet werden. Hierdurch lassen sich alle maßgeblichen Daten, wie Ausgangsmaterial, Ursprung mit den Produktionsbedingungen (z. B. Presskraft oder Teiletemperatur) sowie die Rückverfolgung des Werkstücks einsehen [48], [58].

### **OEE-Monitoring**

Auch bei OEE-Monitoring handelt es sich um kein Assistenzsystem explizit für eine Werkzeugmaschine. Allerdings fließen die gemessenen und ermittelten Daten der Werkzeugmaschine mit allen Stillständen

mitsamt ihrer Ursachen, sowie Fehlermeldungen, die Soll-/Ist-Produktion sowie Angaben zur Qualität der gefertigten Teile in die BDE ein. Durch die BDE erhalten Anlagenbetreiber eine Übersicht des Produktionsstatus, welche als Grundlage zur Berechnung der Gesamtanlagen-Effektivität (OEE-Index) herangezogen wird [48], [58].

### **Process Monitoring**

Über Process Monitoring werden die gleichen Rohdaten wie beim Condition Monitoring aufgenommen, mit dem Unterschied, dass die Erhebung der Daten während des tatsächlichen Fertigungsprozesses und nicht im reinen Testlauf stattfindet. Über Video- und Wärmebildkameras kann in Echtzeit ein Überblick während der Fertigung gewonnen werden. Gleichzeitig werden zahlreiche Informationen über Sensoren, die in Presse, Werkzeug, Ofen und Kühlaggregaten verbaut sind, gesammelt. Die Ziele des Process Monitoring sind die Erhöhung der Prozesssicherheit, die Sicherstellung der Maschinenverfügbarkeit sowie die Verbesserung der Produktions- und Teilequalität. Die Software läuft nicht nur vor Ort an der Maschine, sondern kann auf jedem Windows-PC genutzt werden [58].

### **Power Monitoring**

Mit dem Modul Power Monitoring werden relevante Daten zur Netz- und Energiequalität der Anlagen gespeichert und analysiert, wodurch sich der Verbrauch der Anlagen in Abhängigkeit von bestimmten Betriebszuständen verfolgen oder beispielsweise Spannungsschwankungen bzw. -einbrüche erkennen lassen. Während einzelne Pressen in einer Linie für jeden Hub elektrische Energie benötigen, erzeugen sie wiederum bei zyklischen Bremsvorgängen elektrische Energie. Über das Power Monitoring Modul in Kombination mit dem SCHULER Smart DC Grid lässt sich die durch den Bremsvorgang erzeugte Energie an die Pressen weiterleiten, die Strom für die Beschleunigung oder Umformung benötigen [58].

### **Smart Diagnostics**

Über Smart Diagnostics werden Daten, die während der Produktion anfallen laufend automatisch gespeichert und im Falle einer Störung der Anlage rückblickend analysiert. Dadurch lassen sich Fehler gezielt ausfindig machen und es lässt sich bestimmen, ob es sich bei der Ursache um einen Softwarefehler oder ein defektes Bauteil handelt [58].

### **Smart Assist**

Smart Assist ist kein direkt in die Werkzeugmaschine integriertes Assistenzsystem sondern eine zusätzliche Software. Allerdings lassen sich mit dem Smart Assist Werkzeuge für (neue) Anlagen schnell und effizient einrichten und Fertigungsprozesse somit optimieren. Durch den Software-Assistenten erfolgt der Einrichtungsprozess schrittweise mit Grafiken und Videos über das HMI oder Smart Devices. Über direkte Eingaben oder Teach-In-Funktionen werden bei jedem Schritt Daten erfasst. Aus den

gesammelten Daten werden die Bewegungskurven von Stößel und Transfer vollautomatisch optimiert, sodass die Maschinen, laut Hersteller, vom ersten Hub an mit einer optimalen Ausbringung laufen. Durch die vollautomatische Optimierung der Bewegungskurven einschließlich der Beschleunigung und dem Einstellwinkel erhöht sich die Ausbringungsleistung. Mit der integrierten Funktion OptimizerPRO können die Bewegungskurven von Stößel und Transfer frei programmiert werden, wodurch die Ausbringungsleistung weiter optimiert werden kann [56].

### **Cooling-Analytics**

Mit der Cooling-Analytics Applikation können alle relevanten Temperaturdaten und -verläufe des Kühlkreislaufes der Presse samt der Peripherie analysiert und visualisiert werden, vorausgesetzt die zu untersuchende Maschine ist mit dem Internet verbunden. Über die entsprechende Hardware kann die Maschine mit dem DataLoft, dem zentralen Rechenzentrum zur Verwaltung, Verarbeitung und Visualisierung der Maschinen- und Prozessdaten, kommunizieren. Zur Datensicherheit werden die Daten über eine One-Way-Verbindung an das DataLoft übertragen. Über die Cooling-Analytics-Applikation sind aktuelle sowie historische Zustandsdaten des gesamten Anlagen-Kühlsystems, zu denen die Motortemperaturen, Schmieröltemperaturen und Zustandsbits des Kühlsystems gehören, jederzeit verfügbar und können mit jeglichem Smart Device abgerufen werden. Durch den Vergleich von werkzeugspezifischen Zustandsdaten lassen sich Anomalitäten ausfindig machen, die z. B. auf sich anbahnende Lagerschäden der Motorlager hinweisen können. Auch ein frühzeitiges Erkennen von sich andeutender Anlagenüberlastung ist mit der Cooling-Analytics Applikation gewährleistet. Hierdurch kann durch Reduzierung der Hubzahl oder Änderung der Stößelkurve ein Anlagenstillstand vermieden werden. Auffälligkeiten durch Temperaturunterschiede dienen der Fehlervermeidung im Kühlsystem, die ebenfalls zu Anlagenstillständen führen könnten [50].

### **Press Force Monitor**

Mit dem Press Force Monitor wird die kontinuierliche Überwachung und Optimierung der Presskräfte der Pressmaschine gewährleistet. Damit gibt der Press Force Monitor Aufschluss über die Belastungen von Werkzeugen als auch der Maschine durch aktuelle und historische Prozessdaten zu Hubzahlen, Spitzenpresskraft oder dem Presskraftverhältnis beim Ein- und Auslauf. Die Daten stehen auf jedem Smart Device zur Verfügung und lassen einen Vergleich von werkzeugspezifischen Prozessdaten über Zeiträume, wie einer Produktionsschicht, zu. Auch das Erkennen von falsch positionierten Werkzeugen in Durchlaufrichtung, falsch eingestellte Presskräfte oder eine Erkennung werkzeugspezifischer Abweichungen in der Presskraftverteilung sind mittels Press Force Monitor möglich, sodass sich anbahnende Schäden im Werkzeug frühzeitig aufdecken lassen. Über die historischen werkzeugspezifischen Daten, wie die Anzahl der Hübe mit dem aktuellen Werkzeug, lassen sich Planungen zur Werkzeugüberholung optimal gestalten [54].

### **Lubrication Analytics**

Lubrication Analytics stellt Informationen zum Schmiersystem bereit und ermöglicht die Kontrolle des Schmierkreislaufs einschließlich der Schmierzyklen, des Systemdrucks, der Öltemperatur sowie des Ölstands. Zudem liefert es Informationen zu den Zustandsbits des Schmiersystems. Mittels Lubrication Free lassen sich beispielsweise Leckagen im Schmierkreislauf frühzeitig entdecken und Anlagenstillstände, die aufgrund fehlenden Schmieröls eintreten, vermeiden. Auch defekte Schmierverteiler können rechtzeitig ermittelt und ausgetauscht werden. Die Nutzung der historischen Daten lässt eine bedarfsgerechte Beschaffung von Schmieröl und Planung von Ölwechsel bzw. Ölfilterwechsel zu [53].

### **Drive Analytics**

Drive Analytics dient der Überwachung aller wichtigen Parameter des Hauptantriebssystems. Hierzu zählen die Überwachung von Effektivstrom, Temperaturen, und elektrischer Leistungsaufnahme. Bei Unregelmäßigkeiten der Parameter oder Motorenfehlern werden diese von Drive Analytics angezeigt und analysiert. Durch aktuelle und historische Zustandsdaten kann jederzeit auf Motorströme, -temperaturen, -momente und Umrichter-Zustandsbits zugegriffen werden. Durch das Auftreten und Erkennen von Anomalitäten lassen sich Umrichter- sowie Motorschäden vorbeugen. Mit Hilfe der Datenhistorie können Zeitintervalle für den Umrichtertausch oder Motorüberholungen optimal analysiert und geplant werden [52].

### **Production Monitor**

Der Production Monitor zeigt den Betriebsstatus, das laufende Werkzeug und die aktuelle Hubzahl an und dient damit vordergründig der Informationsgewinnung über den Produktionsstatus [55].

#### 4.2.4. EMAG-Gruppe

Die EMAG Gruppe ist ein Hersteller von Werkzeugmaschinen für die Zerspanung. Durch den kontinuierlichen Zukauf von Firmen ist das Produktportfolio der EMAG-Gruppe über die Jahre laufend gestiegen. Neben Dreh-, Schleif-, Rohr- und Muffenbearbeitungs- und Verzahnungsmaschinen bietet die EMAG-Gruppe überdies Bearbeitungszentren und Lasermaschinen sowie Maschinen zum Induktionshärten an [17].

Die EMAGGruppe bietet als dAS das modulare Software-System „EDNA“ an, welches die Basis für die miteinander verbundenen Software- und Maschinenkomponenten darstellt. Da die EMAG-Gruppe die Auffassung vertritt, dass mit der Digitalisierung von Werkzeugmaschinen im Grunde der Begriff IIoT gemeint ist, welcher je nach Ansatz und auch je nach Anforderung höchst unterschiedlich aufgefasst werden kann, sind die Systeme in verschiedene Module gesplittet. Die einzelnen Module werden in die Bereiche Collect, Connect, Think, Visualize und Predict unterteilt, welche wiederum diverse Apps enthalten [11]. Des Weiteren bietet die EMAG-Gruppe unter dem Schlagwort Industrie 4.0 weitere Systeme an, die für alle EMAG-Maschinen ab dem Baujahr 2015 und Endgeräten mit Windows 7 oder

höher genutzt werden können. Im Bereich der Überwachung sind dies die Softwares MultiMachineMonitor, MachineStatus, eQC Flux, eCQ RFID und eCQ Quench Viscosity Monitoring. Im Bereich der Analyse, Auswertung und Steuerung stehen die Softwares EC Data, SolidProcess, LifetoolAnalytics, sowie ToolStatus+ zur Verfügung. Für den Bereich Wartung und Instandhaltung bietet sich die Software FingerPrint an [16], [18]. Auf die relevanten Apps und Software-Tools wird im Folgenden eingegangen.

### **Collect - EDNA IoT-Core**

Das Modul EDNA IoT-Core beschreibt die Hardware des Gesamtsystems. Der EDNA IoT-Core ist ein Industrie-PC, welcher an die Steuerung der Maschine angeschlossen wird und mit Hilfe der Software EDNA Cortex Fertigungsdaten empfängt und aufzeichnet [14].

### **Connect – EDNA Cortex**

Die Software EDNA Cortex ist für das Sammeln, Verarbeiten und Bereitstellen der erfassten Maschinendaten verantwortlich. Die Software kommuniziert mit der Maschinensteuerung und verarbeitet gleichzeitig die Produktionsdaten. Damit bildet EDNA Cortex die Datenerfassungssoftware für die EMAG Maschinen. Aus den gesammelten Daten lassen sich wertvolle Erkenntnisse für die Produktionsoptimierung der Produktionsanlagen ermitteln, indem der gesammelte Datenbestand aggregiert und analysiert wird. Hervorzuheben ist, dass das Datenformat einheitlich für alle Maschinen ist. Optional können Upgrades das System weiter aufwerten. Diese Upgrades können KI-Algorithmen (Künstliche Intelligenz), eine Zustandsüberwachung zur Überwachung des aktuellen Produktionsstatus oder die vorausschauende Instandhaltung, welche den Verschleiß wichtiger Komponenten im Blick hat und die Möglichkeit bietet frühzeitig zu reagieren, sein [12].

### **Think**

Das Modul Think ist kein separates Assistenzsystem, sondern eine Ansammlung und Umsetzung von Ideen und ein sich daraus ergebendes, ständig wachsendes Portfolio an EDNA Data Apps für Werkzeugmaschinen. Allerdings können diese Apps wieder ein dAS darstellen, z. B. die App Cycle Time Monitor, welche die aktuelle Taktzeit angibt oder die App Smart Tool Change, die Hinweise zum nächsten Werkzeugwechsel gibt [11].

### **Visualize**

Mit Visualize lassen sich die mittels EDNA Cortex gesammelten und analysierten Daten übersichtlich über die EDNA Lifeline Dashboards visualisieren. Der Zugriff kann mit jedem netzwerkfähigen Endgerät wie Smartphone, Tablet oder PC, erfolgen. Auch hierbei handelt es sich nicht um ein in Werkzeugmaschinen integriertes dAS, sondern um eine Komponente, bei der via dAS gesammelte Daten ausgewertet werden können. Nennenswert ist, dass die Datenausgabe nicht nur für EMAG Maschinen, sondern auch für Fremdfabrikate gilt [15].

### **Predict – EDNA Healthcheck**

Mit dem Modul EDNA Healthcheck besteht die Möglichkeit, durch (zusätzlich) an einer Maschine angebrachte Sensoren, weiterführende Vorhersagen zu treffen. Mittels eines Beschleunigungssensors, der die Vibration in der Maschine misst, lässt sich über die EDNA Healthcheck Software bestimmen, zu welchem Zeitpunkt es aufgrund von Schwingungsvariationen zu einem Ausfall einer Achse in der Maschine kommen könnte. Dadurch lassen sich Maschinenstillstände planen und Kosten durch eine frühzeitige Ersatzteildisposition minimieren. Zudem werden mittels EDNA Healthcheck optionale LIFELINE Data Apps hinzugezogen, die unter anderem eine Werkzeugwechsellvorhersage, also die verbleibende Werkzeugstandzeit in Minuten für eine bessere Planbarkeit der Wechselintervalle, ermöglichen [13].

### **MultiMachineMonitor**

Bei MultiMachineMonitor handelt es sich um eine Web-App, die eine Übersicht aller Produktionsmaschinen über ein Endgerät bietet. Dabei wird der NC-Bildschirm oder die HMI-Oberfläche auf das ausgewählte Endgerät gespiegelt. Dadurch, dass es sich um eine Web-App handelt, besteht der Vorteil darin, dass die App hardwareunabhängig genutzt werden kann, sofern ein Internetbrowser vorliegt. Der Nutzer kann so aus der Ferne auf der HMI-Oberfläche navigieren und alle Unterpunkte der Steuerung aufrufen und ausführen. Um eine Fehlbedienung aus der Ferne zu vermeiden, können funktionsauslösende Befehle zur Steuerung der Maschine jedoch nicht ausgelöst werden. Sofern ein Eingriff in den Ablauf der Maschine notwendig ist, werden definierte Personen über vorliegende Probleme und Störfälle in Kenntnis gesetzt. Die Software lässt sich durch Vernetzung auf beliebig vielen Endgeräten und EMAG Maschinen nutzen. Neben einer transparenten Fertigung bietet die Software den Vorteil zur Übersicht aller Produktionsmaschinen auf einem Endgerät. Hierdurch kann eine schnelle Übersicht über die Maschinenauslastung anhand einheitlicher Kenndaten sowie eine Übersicht über alle Service- und Wartungsarbeiten gewonnen werden [24].

### **MachineStatus**

Die Software MachineStatus gibt eine Übersicht über die Betriebs- und Energieeffizienzdaten von einzelnen oder allen EMAG-Maschinen an und ermöglicht damit Rückschlüsse auf die Produktivität und Effizienz der Maschine. Durch detaillierte Angaben zu Stückzahlen, Taktzeiten sowie Strom- und Luftverbrauch lassen sich Informationen über den Betriebszustand, Betriebsdaten und den Energieverbrauch gewinnen. Des Weiteren bietet die Software die Möglichkeit zur Erstellung von Gut- und Ausschussteile-Statistiken für die Qualitätsanalyse sowie einer Werkzeugverschleißanalyse auch über mehrere Aufträge [23].



### **eQC Flux, eQC RFID und eQC Quench**

Die Softwares eQC (eldec Quality Control) Flux, eQC RFID und eQC Quench sind aufeinander aufbauende bzw. sich ergänzende Module zur vollumfänglichen Überwachung von Härteprozessen bei Induktionshärtemaschinen [20].

eQC Flux übernimmt die Messung der Induktorfuß-Spannung sowie des magnetischen Flusses und ermöglicht durch die Messungen Fehlererkennungen wie Werkstückgeometrien oder falsche Werkstoffe.

eQC RFID wird für die Induktorprüfung und Zustandsüberwachung eingesetzt. Die Software überprüft vor dem Produktionsstart, ob der richtige Induktor für das jeweils gewählte Bearbeitungsprogramm eingesetzt wurde und welchen Zustand das Werkzeug hat. Hierfür werden Leistungsdaten, beispielsweise die verbleibende Standzeit und anstehende Wartungsintervalle von einem RFID-Chip, eingelesen. Nach Abschluss des Härteprozesses wird der RFID-Chip mit den entsprechenden Betriebsinformationen mittels einer Schreib-Lese-Einheit im Anschlussystem der Maschine beschrieben. Sofern Werkzeugmängel oder Fehler erkannt wurden, startet der nächste Prozess nicht erneut.

eQC Quench dient der Viskositätsüberwachung des Abschreckmittels, dessen Zustand ein wichtiger Faktor für die Qualität und Stabilität des Härteprozesses ist. Da die im Abschreckmittel enthaltenen Polymerketten unter Licht- und Wärmeeinfluss nach und nach zerbrechen, verändert sich das Abschreckmittel kontinuierlich während des Härteprozesses. Das Abschreckmittel muss daher regelmäßig auf seine Qualität überprüft werden, was häufig noch durch die Messung des Lichtbrechungsindex geschieht. Dieser Vorgang gibt jedoch keinen Aufschluss über den Zustand der Polymerketten, weshalb die Messung in der Regel recht ungenau ist. Mit Hilfe eines Ultraschallsensors prüft die Software eQC Quench die Viskosität des Abschreckmittels präzise und überwacht diese laufend.

### **EC Data**

EC Data ist eine Software zur Werkstückrückverfolgbarkeit (Traceability) von Produktions- und Qualitätsdaten in Maschinen und Fertigungssystemen. Hierzu werden die Daten zentral gesammelt und mit Hilfe von Exportschnittstellen für Q-DAS, Excel und weitere Systeme zur Verfügung gestellt. Bei den Daten handelt es sich zum einen um Informationen zu den Bearbeitungsergebnissen, zum anderen werden auch Betriebs- und Prozessdaten der Maschinen gespeichert. Die Software EC Data ist in der Lage, die Steuerung für Namensgebung und Datenmanagement für jedes Werkstück auch über mehrere Fertigungssysteme hinweg zu übernehmen. Hintergrund ist die Qualitätssicherung und die Gewährleistung der Dokumentation über einen langen Zeitraum. Als Systemvoraussetzung muss neben einer EMAG Werkzeugmaschine eine Ethernet-Infrastruktur gegeben sein [19].

### **SolidProcess**

Mit der Software SolidProcess kann der Prozess beim Wälzfräsen durch Post-Process-Messung der Verzahnung mittels Messwertrückführung und ggf. automatischer Korrektur optimiert werden. Durch die Software werden Messdaten des Zweikugelmaßes oder der Zahnweite von bearbeiteten Werkstücken kontinuierlich erfasst. Dabei ist es unerheblich, ob die Wälzfräsmaschine mit einer Messeinrichtung ausgestattet ist oder die Messung mit externen Messsystemen erfolgt. Die aufgenommenen Daten werden im Post-Process mit dem Sollmaß und den Toleranzgrenzen, die in der Maschinensteuerung hinterlegt sind, verglichen. Weicht das Sollmaß unter Berücksichtigung der Toleranzen von den erforderlichen Werten ab, korrigiert die Software die Zustellung des Werkstücks automatisch [25].

### **LifetoolAnalytics**

LifetoolAnalytics ist ein Modul zur Überwachung von Lifetool-Werkzeugen mittels NFC-System (Near Field Communication), bei dem das Werkzeug mittels NFC-Chip ausgestattet wird. Mit Hilfe des NFC-Chip können die während der Bearbeitung anfallenden Betriebsdaten aufgezeichnet und gespeichert werden. Erfasst werden neben den Betriebsstunden auch die Drehzahlbereiche und die Temperatur. Nachdem die Daten erfasst wurden, können diese über NFC-Sensoren, wie Werkzeugvoreinstellgeräten und Werkzeugmanagementsystemen, aber auch NFC-fähige Smartphones und Tablets abgerufen und analysiert werden. Voraussetzung zur Nutzung ist neben einem NFC-fähigen Endgerät ein Android Betriebssystem mit Android 4.0 oder höher, je ein LifetoolAnalytics-Sensor pro Werkzeug sowie eine Internetverbindung zur Verknüpfung mit der Datenbank [22].

### **ToolStatus+**

Für die detaillierte Datenerfassung und Analyse von Werkzeugzuständen bietet die EMAG-Gruppe die Software ToolStatus+ an. Über die Software wird die Werkzeugkontrolle mittels integrierter Lasermessbrücke durchgeführt. Nachdem ein Werkzeug im Einsatz war, wird es mittels einer maschinenintegrierten Lasermessbrücke automatisiert vermessen, bevor es aus dem Arbeitsraum in das Werkzeugmagazin übergeben wird. Dieser Vorgang dient der Erfassung und Kontrolle der Schneidkante des eingesetzten Werkzeugs. Verschleißbedingte Abweichungen der Werkzeug-Schneidengeometrie werden mit den vormals eingemessenen Werten verglichen und nach Übergabe in das Werkzeugmagazin gespeichert [26].

### **Fingerprint**

Bei Fingerprint handelt es sich um eine Diagnose-Software, die mittels 3D-Beschleunigungs- und Vibrationssensoren die Bewegungen der Achsen analysiert und grafisch darstellt. Da die Software jedoch als Dienstleistung im Rahmen einer Serviceplus-Leistung von der EMAG-Gruppe angeboten

wird, bei der die Auswertung der Daten durch einen EMAG Mitarbeiter erfolgt, wird nicht näher auf das Tool eingegangen [21].

#### 4.2.5. HELLER

Als einer der führenden Hersteller von Werkzeugmaschinen auf dem Gebiet der Zerspanung und damit insbesondere von Fräs- und Dreh-Bearbeitungszentren bietet HELLER unter dem Stichwort HELLER4Industry ein Konzept mit drei Modulen – HELLER4Operation, HELLER4Services und HELLER4Performances – für die Steigerung der Maschinenproduktivität und Prozessoptimierung an [33].

##### **HELLER4Operation**

Das Modul HELLER4Operation steht für den Einsatz von Touch-Bedienungen im Bereich des Werkzeug-/Werkstück-Rüstplatzes und somit ausschließlich für eine haptische Assistenz des Bedieners, nicht aber für ein Assistenzsystem für die Zustandsdatenerfassung einer Werkzeugmaschine, weshalb nicht weiter auf das Modul eingegangen wird [33].

##### **HELLER4Services und HELLER4Performance**

Interessanter und bedeutender für die Marktrecherche stellen sich die beiden Module HELLER4Services und HELLER4Performance dar. Ersteres konzentriert sich auf die Transparenz von Fertigungs-, Instandhaltungs- und Wartungsprozessen entlang des gesamten Lebenszyklus der Maschine, indem es die Basis für Auswertungen und Statistiken bildet und dadurch für eine Reduzierung von Maschinenausfallzeiten sorgen kann. Zudem visualisiert das Modul Informationen zum Maschinenstatus, wie Zustandsanzeigen von Achsen, Spindeln oder weiteren Baugruppen und ermittelt den Verschleißzustand, sodass im Weiteren präventive Maßnahmen zur Vermeidung ungeplanter Stillstände eingeleitet werden können. HELLER4Performance beinhaltet die Maschinenanalyse für eine Prozess- und Leistungsoptimierung, eine zeitsynchrone Auskopplung von Echtzeitdaten in das Internet sowie die Auswertung und Darstellung über eine externe Cloud-Plattform [33].

Als großer Vorteil bei Heller4Services kann sich das Modul Heller Services Interfaces zeigen, bei dem es sich um eine Web-Browser-Lösung zur Übersicht aller Produktions- und Instandhaltungsdaten handelt. Dadurch, dass Heller Services Interface eine Web-Browser-Anwendung ist, kann diese hardwareunabhängig genutzt werden. Mit Hilfe der Instandhaltungsübersicht lassen sich aktuelle Zustände von Achsen, Spindeln oder weiteren Baugruppen anzeigen, durch die vorbeugende und zustandsorientierte Maßnahmen frühzeitig ergriffen werden können. Des Weiteren lassen sich Reportings durch Auswertungen und Statistiken von wichtigen Kennzahlen zur Ermittlung des OEE-Indexes mit der Anwendung realisieren [34].

## 5. Benchmark-Untersuchung zur Erreichung der Ziele einer digitalisierten Industrie 4.0

In der vorliegenden Arbeit sollen marktgängige Systeme zur Datenerfassung/-verarbeitung/Sensorik von Zustandsdaten für Werkzeugmaschinen untersucht werden, sodass sich vordergründig auf Produkte – sowohl in virtueller als auch physischer Form – nicht aber auf Servicedienstleistungen konzentriert wurde. Der Vergleich erfolgt dabei zwischen verschiedenen Unternehmen der gleichen Branche, auch wenn dabei teils unterschiedliche Maschinen oder Produkte/Softwares seitens der Hersteller produziert werden. Daher wird die Benchmark-Analyse als externes, branchengleiches Produkt-Benchmark durchgeführt. Auch wird keine „klassische“ Benchmark-Analyse durchgeführt, bei der es darum geht, das Best-in-Practice Unternehmen herauszukristallisieren. Zwar werden die Assistenzsysteme nach Werkzeugmaschinen und Herstellern mit Hilfe von Tabellen gegenübergestellt, allerdings geht es dabei nicht um einen direkten Vergleich, sondern vielmehr um die Bewertung hinsichtlich der Fragestellung, ob die jeweiligen Systeme mit ihren Leistungsmerkmalen die Ziele einer digitalisierten Industrie 4.0 erreichen und gerecht werden.

### 5.1. Leistungsmerkmale für die Benchmark-Analyse

Fraglich ist, welche Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme am geeignetsten für die Bewertung der Zielerreichung einer Industrie 4.0 sind. Für eine erste Näherung wären die folgenden Leistungsmerkmale, die eine Erreichung der Ziele für eine Industrie 4.0 – die Schaffung hoch flexibler, digital vernetzter, dynamischer Wertschöpfungssysteme bei gleichzeitiger Steigerung der Effizienz durch Kostensenkungen und Zeitersparnis sowie die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit – ausmachen, denkbar:

1. Funktionalität:  
Welcher Zweck bzw. welches Ziel wird durch das Assistenzsystem erreicht?
2. Sensortyp:  
Welche Art des Sensors wird genutzt?
3. Multi-Sensor geeignet:  
Ist das Assistenzsystem kompatibel mit unterschiedlichen Sensoren bzw. ist es für die Nutzung unterschiedlicher Sensoren ausgelegt?
4. Maschinenintegriert/Extern:  
Ist das Assistenzsystem in die Maschine integriert oder ist es außerhalb der Maschine angebracht/zu verwenden?
5. On-/Offline-Betrieb möglich:  
Kann das Assistenzsystem ausschließlich im On-/Offline-Betrieb genutzt werden?

6. Gezielte modulare Aufbauweise des Assistenzsystems:  
Ist das Assistenzsystem separat zu erhalten oder handelt es sich um ein von anderen Komponenten abhängiges oder gekoppeltes System?
7. Echtzeitoptimiert:  
Findet die Datenerfassung/-bereitstellung zeitsynchron, d. h. in Echtzeit statt?
8. Ortgebunden oder auch mobil einsetzbar:  
Kann das Assistenzsystem nur direkt vor Ort an der Maschine genutzt werden oder ist ein Zugriff auch auf mobilen Endgeräten verfügbar?
9. Kabelgebunden/Wireless:  
Ist das Assistenzsystem kabelgebunden oder ist eine kabellose Nutzung möglich?
10. Cloudbasiert bzw. vernetzt mit zentraler Datenbank:  
Können die erfassten Daten in einer zentralen Cloud gespeichert, ausgewertet und abgerufen werden?
11. Zeitpunkterfassung/-bereitstellung:  
Ist eine Zeitpunkterfassung und -bereitstellung der Daten möglich?
12. Zeitraumerfassung/-bereitstellung:  
Ist eine Zeitraumerfassung und -bereitstellung der Daten möglich?
13. Form der Datenausgabe:  
In welcher Form werden die Daten ausgegeben (visuell, akustisch, etc)?
14. Datenzugang zu jedem Zeitpunkt?  
Ist ein Datenzugang der erfassten und analysierten Daten theoretisch zu jedem Zeitpunkt über das Internet möglich?
15. Werkzeugmaschinenabhängigkeit vom Assistenzsystem:  
Kann die Werkzeugmaschine bei Störungen/Fehlern/Zerstörung des Assistenzsystems weiter produzieren oder kommt die Maschine zum Stillstand?
16. Betriebssystem:  
Kann das Assistenzsystem/die Software mit jedem beliebigen Betriebssystem genutzt werden?
17. Einheitliche Protokolldateiformate:  
Sind die (Protokoll-)Dateien systemübergreifend nutzbar oder nur unter dem jeweiligen System?
18. Nutzbarkeit in mehreren Werkzeugmaschinen:  
Kann das Assistenzsystem nur für eine(n) bestimmte(n) Maschine(ntyp) genutzt werden oder können unterschiedlichen Maschinen(typen) bedient/versorgt werden?
19. Fremdfabrikat geeignet:  
Ist das Assistenzsystem/die Software für Maschinen/Systeme von Drittanbietern nutzbar?

Da sich eine Bewertung der recherchierten Assistenzsysteme mangels Informationszugänglichkeit bzw. geringer Informationsgehalte teils als sehr schwierig darstellte, wurden zur besseren Beurteilung der Leistungsmerkmale die Hersteller und Institute hinsichtlich der in der Marktrecherche ermittelten Assistenzsysteme kontaktiert. Sofern eine Rückmeldung seitens der Hersteller/Institute erfolgte, wurde dies in der nachfolgenden Bewertung gekennzeichnet und entsprechende Informationen eingearbeitet und berücksichtigt. Andererseits erfolgte die Bewertung anhand der zugänglichen Informationen der Hersteller/Institute.

Ausgehend von den o. g. Leistungsmerkmalen wurde je eine Matrix zu den Assistenzsystemen nach Art der Werkzeugmaschinen sowie nach Herstellern erstellt, aus denen sich die im Anhang ersichtlichen Tab. 1 bis 12 ergeben. Nachfolgend wird exemplarisch die Tab. 1 für die Umformpressen dargestellt.

<b>Pressen</b>		
Software-System/ Produkt	Xeidana* <sup>1</sup>	Smart Stamp
Leistungsmerkmal		
Funktionalität	Qualitätssicherung	Werkzeug-/ Maschinenstatus- Überwachung (Condition Monitoring)
Sensortyp	Diverse (beliebige laut Hersteller/Entwickler)	Diverse (Ölstand, Kraftaufnehmer, Temperaturen, etc.)
Multi-Sensor geeignet	Ja	Ja
Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert & extern	Maschinenintegriert
On-/Offline-Betrieb	On- & Offline	k. A.
Modularer Aufbau d. Software	Ja	Ja
Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja
Ortgebunden/Mobil verfügbar	Ortgebunden & Mobil	k. A.
Kabelgebunden/Wireless	k. A.	k. A.
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja
Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja
Form der Datenausgabe	Visuell über Bildschirm/Monitor, HMI	Visuell über Bildschirm/Monitor, HMI
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	Ja	Ja
Werkzeugmaschine vom dAS abhängig* <sup>2</sup>	k. A.	Nein, Werkzeugmaschine und CM-System arbeiten unabhängig voneinander
Betriebssystem	k. A.	k. A.
Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.

Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja, integrierbar in mehreren unterschiedlichen Pressmaschinen* <sup>3</sup>
Fremdfabrikat geeignet	Ja	Ja
Vorteil(e)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kombination von unterschiedlichen Sensortypen sowie Erweiterbarkeit durch Hinzufügen eigenständiger Plug-Ins</li> <li>• Implementierung in verschiedenen Werkzeugmaschinen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualisierung wichtiger Kenngrößen (Presskräfte, Kippmomente, Stößelkipfung)</li> <li>• Produktionsfortführung bei Ausfall des dAS</li> </ul>

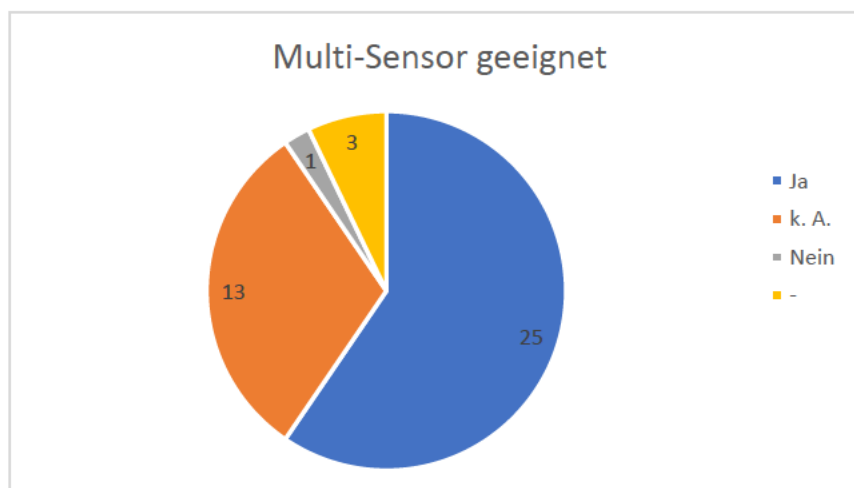
\*<sup>1</sup> Rücksprache mit Hersteller/Institutsmitarbeitern/Entwickler erfolgt und im Rahmen der Auswertung berücksichtigt.

\*<sup>2</sup> Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

\*<sup>3</sup> Vgl. Fraunhofer IWU: Smarte Fabrik - Digitalisierung und Automatisierung.

*Tabelle 1: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme für Pressen.*

Da die Ziele der Industrie 4.0 mit Adjektiven wie „hoch flexibel“ oder „dynamisch“ beschrieben werden und daher unterschiedlich aufgefasst werden können, besteht die Gefahr einer subjektiven Bewertung. Um dieses Problem zu umgehen und eine möglichst objektive Bewertung der recherchierten Assistenzsysteme vornehmen zu können, wurden in einem nächsten Schritt die Leistungsmerkmale, welche mit kurzen und knappen Aussagen z. B. „Ja“ oder „Nein“ beantwortet werden konnten, zahlentechnisch aufgearbeitet und grafisch dargestellt. Hierfür wurden alle recherchierten Assistenzsysteme in einer weiteren konsolidierten Tab. Nr. 14 bis 19\*<sup>4</sup>) festgehalten, auf welche sich in der Auswertung bezogen wurde. Aus der Konsolidierung der Daten war eine numerische und grafische Auswertung möglich, aus denen sich die im Anhang C befindlichen Abbildungen 25 bis 39 ergaben. Exemplarisch wird das Kreisdiagramm zum Leistungsmerkmal „Multi-Sensor geeignet“ (Abb. 13) aufgeführt.



*Abb. 13: Auswertung des Leistungsmerkmals "Multi-Sensor geeignet".*

<sup>4</sup> Die Tabellen Nr. 14 bis 19 stellen eine konsolidierte Tabelle dar. Aufgrund des Datenumfangs und der Vorgaben zur Formatierung ist die konsolidierte Tabelle in die Tabellen 14 bis 19 aufgeteilt worden und kann im Anhang B eingesehen werden.

## 5.2. Auswertung der Benchmark-Analyse

Insgesamt wurden 42 Assistenzsysteme recherchiert, wovon sieben im Rahmen der Recherche nach Werkzeugmaschinen und 35 nach Herstellern untergeordnet wurden. Drei der 35 Assistenzsysteme sind entweder als haptische Assistenz oder eher als Dienstleistung einzuordnen, sodass diese nicht mit den jeweiligen Leistungsmerkmalen bewertet werden konnten. Da eine klare Abgrenzung zu den restlichen Assistenzsystemen jedoch nicht klar möglich war, wurden diese mit in die Tabellen aufgenommen und mit einem Minuszeichen versehen.

Wie in den Tabellen ersichtlich, gibt es auf dem Beschaffungsmarkt je nach Art der Werkzeugmaschine unterschiedlich viele Angebote zu Systemen der Datenerfassung/-verarbeitung/Sensorik. Sind es bei den Umformpressen immerhin noch zwei, bei den Biegemaschinen sogar drei Systeme, die zu der Kategorie Assistenzsysteme bzw. Systemen zur Datenerfassung und -verarbeitung von Zustandsdaten in Werkzeugmaschinen zählen, wurde im Rahmen der Marktrecherche nur jeweils ein System für die Fräs-, Dreh- und Lasermaschinen gefunden, sofern man die nach Umsatz fünf größten Hersteller außer Betracht lässt. Dies ist ein deutliches Zeichen dafür, dass Assistenzsysteme zur Datenerfassung/-verarbeitung zwar schon am Markt existieren und ständig weiterentwickelt werden, der Markt aber noch deutlich an ausbaufähigem Potenzial aufweist.

Ein weiterer deutlicher Trend ist die Entwicklung von dAS der großen Hersteller. Zwar gibt es auch hier mengenmäßig unterschiedlich viele Angebote zu Assistenzsystemen für Werkzeugmaschinen. Auffällig ist jedoch, dass jeder große Hersteller bereits ein bestimmtes Level an Systemen der Datenerfassung/-verarbeitung/-auswertung und hochmodernen Sensoren im Einsatz hat. Dabei liegt der Fokus eindeutig auf dem IIoT und der Vernetzung der Maschinen und des gesamten Produktionsprozesses. Zum einen wird viel Wert auf Mobilität und Ferndiagnosen durch beispielsweise der Nutzung von etwaiger Software auf netzwerkfähigen Endgeräten gelegt, wie in Abb. 14 gezeigt.

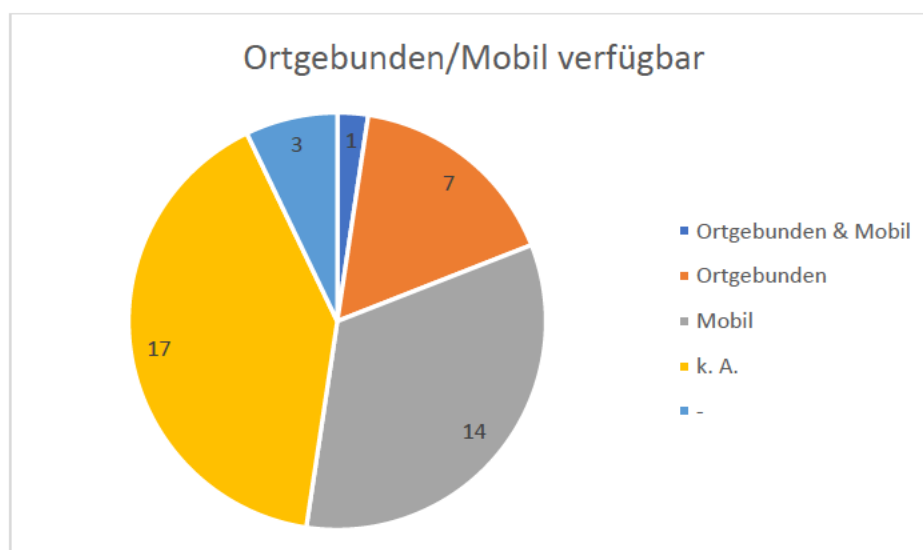


Abb. 14: Auswertung des Leistungsmerkmals "Ortgebunden/Mobil verfügbar".



Zum anderen wird seitens der Hersteller eine modulare Aufbauweise der dAS angestrebt, wie in Abb. 15 erkennbar. Insgesamt sind ca. 65 % der Assistenzsysteme modular aufgebaut. Dies hat den Vorteil, dass nicht ein ganzes Software-Paket erworben werden muss, sondern nur die Module/Apps, die tatsächlich für den jeweiligen Betrieb von Nutzen sind.

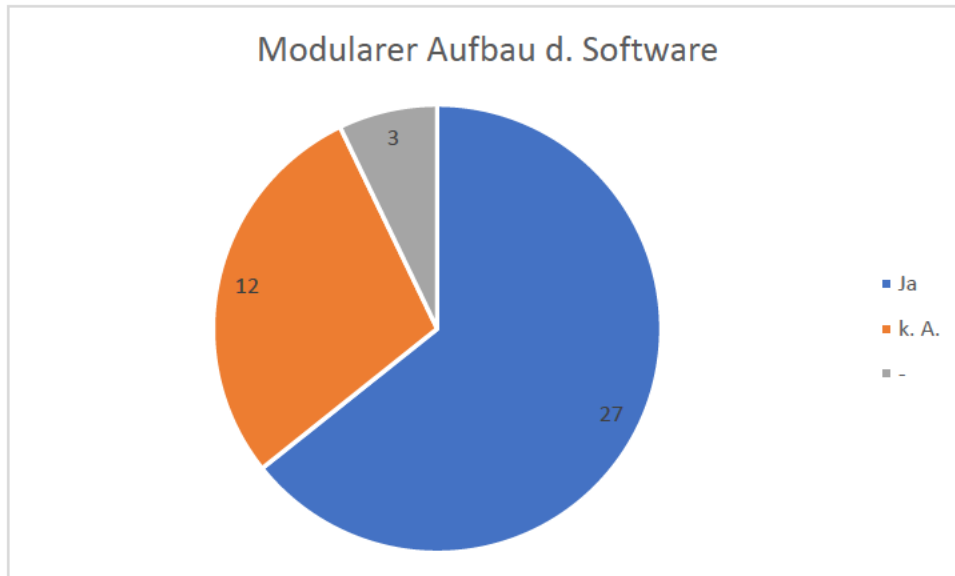


Abb. 15: Auswertung des Leistungsmerkmals "Modularer Aufbau d. Software".

Ebenfalls ähnlich orientiert sind die Arten bzw. Zielverfolgung der Assistenzsysteme. Es wurde erkannt, dass ein erheblicher Mehrwert in der Überwachung von Werkzeugmaschinen und Werkzeugen sowie allen wichtigen Parametern zur Maschinenzustandsüberwachung, z. B. Verschleiß, Lagerschäden, Ölstands- u. Temperaturüberwachung, Vibrationsmessungen u. A., von großem Vorteil, insbesondere im Hinblick auf Zeit- und Ressourcenersparnissen sein kann. Dies zeigt das Leistungsmerkmal „Funktionalität“, wie in den Tab. 14 bis 19 enthalten. Zwar gestaltet sich die Erstellung eines Kreisdiagramms in diesem Punkt als schwierig, da die Funktionalität zu viele unterschiedliche Angaben aufweist. Allerdings dienen die meisten Assistenzsysteme der Maschinen- oder Werkzeugüberwachung bzw. der allgemeinen Maschinen-/Werkzeug-/Produktionsübersicht. Ebenso sind viele Assistenzsysteme (ca. 85 %) für die Nutzbarkeit in mehreren unterschiedlichen Maschinentypen ausgelegt, wie in Abb. 16 dargestellt.

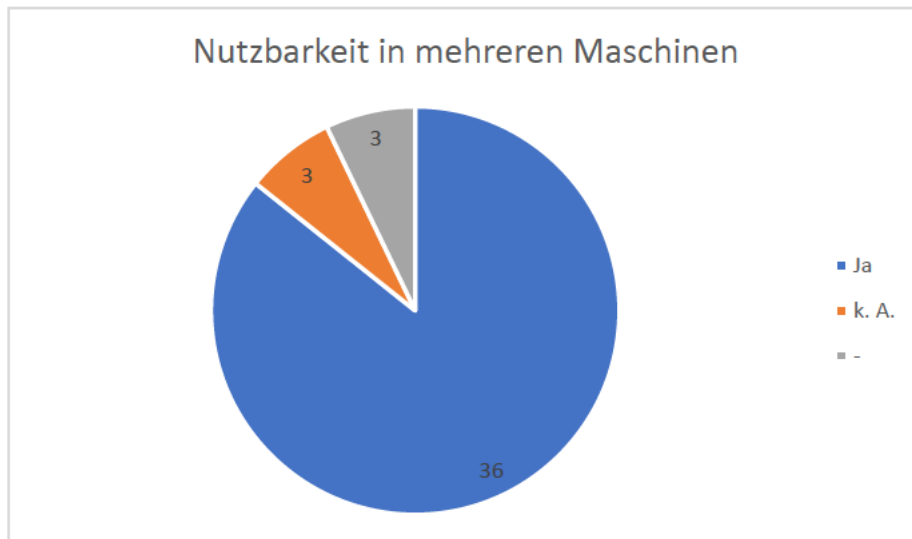


Abb. 16: Auswertung des Leistungsmerkmals "Nutzbarkeit in mehreren Maschinen".

Als dominant für die Bewertung einer Zielerreichung der Industrie 4.0 zeichnen sich zudem die Leistungsmerkmale „Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung“ sowie „Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)“ aus, da diese sehr entscheidende Kriterien einer Industrie 4.0 darstellen. Hierbei zeigte sich, dass ca. 83 % der Assistenzsystemen für die Echtzeitdatenerfassung und -bereitstellung (Abb. 17) ausgelegt und ca. 76 % mit einer cloudbasierten Datenbank zentral vernetzt sind (Abb. 18) und damit eindeutig für die Zielerreichung einer Industrie 4.0 stehen.

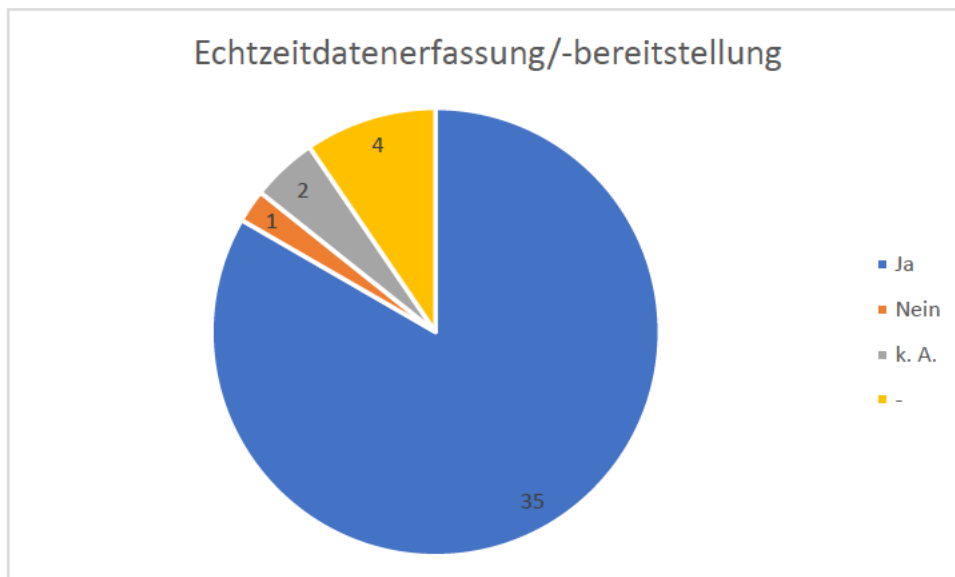


Abb. 17: Auswertung des Leistungsmerkmals "Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung".

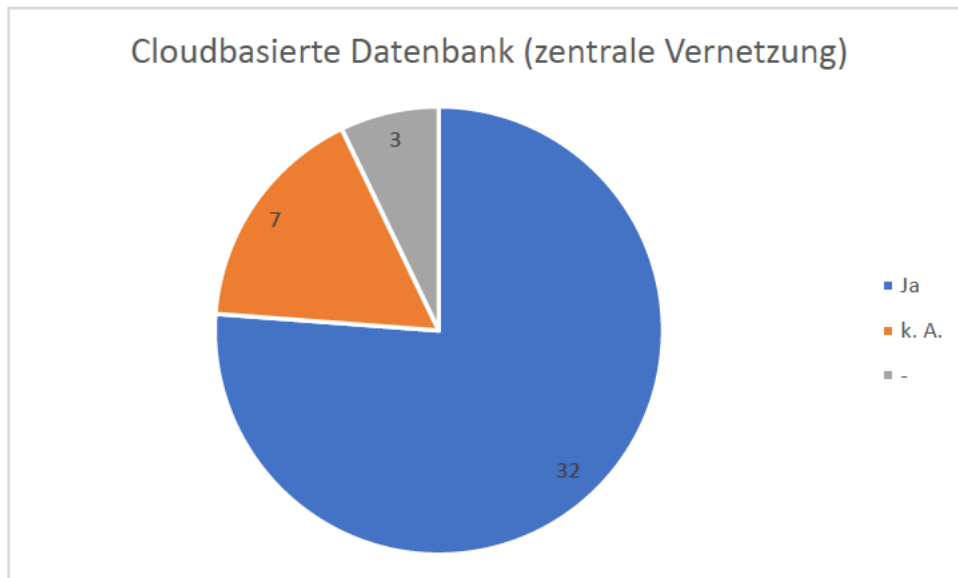


Abb. 18: Auswertung des Leistungsmerkmals "Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)".

Unterschiede bei den großen Herstellern existieren vor allem in der Möglichkeit der Anwendung von dAS für Fremdfabrikate von Drittanbietern sowie in den voneinander abhängigen Software-Modulen. Auch bei den nutzbaren Betriebssystemen (z. B. iOS oder Windows) oder den gängigen Protokolldateiformaten gibt es differente Herangehensweisen. Während das Fraunhofer-IWU die Assistenzsysteme bereits während der Entwicklungsphase modular und für möglichst viele Werkzeugmaschinen auslegt, geschieht dies bei den großen Herstellern sehr unterschiedlich (siehe Abb. 28 und 39 im Anhang C). Beispielsweise setzt die DMG Mori AG auf offene Schnittstellen und bietet ihre Assistenzsysteme auch für Drittanbieter an. Bei TRUMPF und der EMAG-Gruppe sind die Assistenzsysteme teilweise auch für Drittfabrikate geeignet. Zu den Assistenzsystemen von SCHULER und HELLER hingegen konnte im Rahmen der Recherche mangels Informationszugänglichkeit meist nur die Aussage „keine Angabe (k. A.)“ getroffen werden, was eher vermuten lässt, dass die Assistenzsysteme nicht für Fremdfabrikate genutzt werden können. Andernfalls würde das Unternehmen wahrscheinlich mit der Geeignetheit für Fremdfabrikate werben. Es muss jedoch konstatiert werden, dass dies nur eine eigene Vermutung widerspiegelt.

## 6. Fazit

Der Einsatz von dAS und Systemen zur Datenerfassung- und -verarbeitung ist zur Erreichung einer Industrie 4.0 unumgänglich. Die Marktrecherche und Benchmark-Analyse haben gezeigt, dass die Industrie und ihre Vertreter die Wichtigkeit solcher dAS erfasst haben und eine ständige Entwicklung solcher Systeme vorantreiben. Grund hierfür sind einerseits der Konkurrenzkampf und damit die Chancenerhaltung zur Wettbewerbsfähigkeit, andererseits auch die kontinuierlich ansteigenden Forderungen von Kunden, immer präziser und in stets kürzeren Zeiten durch Effizienzsteigerung produzieren zu können. Nichtsdestotrotz stellt sich der aktuelle Marktstand zu den Assistenzsystemen noch als unübersichtlich dar. Außerdem finden diese noch immer nicht in der Häufigkeit Anwendung, in der man den Einsatz im 21. Jhdt. im Zeitalter der Digitalisierung erwarten dürfte. Ursächlich ist jedoch weniger das knappe Angebot an dAS sondern der fehleingeschätzte Mehrwert, den diese bilden. Weitere mögliche Gründe könnten die Angst vor Fehlinvestitionen, die Herstellerabhängigkeit oder die Höhe der Investition in neue Maschinen sein. Gleichwohl viele Assistenzsysteme in alte, bestehende Maschinen und Anlagen nachgerüstet werden und auch mit Maschinen von Drittanbietern genutzt werden können. Fakt ist jedoch auch, dass viele Daten in Werkzeugmaschinen nach wie vor nicht während des laufenden Bearbeitungsprozesses von Werkstücken erfasst, analysiert und ausgewertet werden können. Dies liegt weniger an nicht vorhandenen Sensoren sondern an den teilweise sehr schwierig zugänglichen Stellen zur Anbringung von Sensoren in den Werkzeugmaschinen sowie an den während der Bearbeitung auftretenden schwierigen Gegebenheiten, wie der Kühl-/Schmiermittelzufuhr, großen Krafteinwirkungen oder Abtragsprodukten wie Späne. Allerdings behilft man sich in der produzierenden Industrie mit vielen dAS, welche Produktivitäts- und Maschinendaten sehr gut auswerten können. Aus diesen Daten lassen sich wiederum Rückschlüsse auf Maschinen- und Werkzeugzustände schließen.<sup>5</sup>

Wo das eine System seine Stärken hat, kann das andere wiederum seine Schwächen haben. Ein alles umfassendes System, welches alle notwendigen Parameter für die hundertprozentige Datenerfassung und -auswertung sowie die nötige Sensorik zur Überwachung berücksichtigt, gibt es nicht. Ein „Best-in-Class-Unternehmen“ würde sich daher unter diesen Gesichtspunkten objektiv betrachtet als schwierig bis unmöglich herausstellen. Da die Benchmark-Analyse jedoch, wie erwähnt, nicht die Findung eines „Best-in-Class-Unternehmens“ sondern einer Bewertung hinsichtlich einer Erreichung von Zielen für die Industrie 4.0 zum Ziel hatte, ist eine Nennung eines besten Unternehmens nicht notwendig. Die Benchmark-Analyse zeigt jedoch, dass zumindest der Großteil an Leistungsmerkmalen einer Industrie 4.0., nämlich das Einbringen des IIoT und damit das Vernetzen der Werkzeugmaschinen untereinander zur Optimierung von Produktionsprozessen durch hoch flexible, dynamische

---

<sup>5</sup> Telefoninterview mit einem Mitarbeiter des Herstellers TRUMPF.

Wertschöpfungssysteme mittels Sensorik und Datenerfassungs- und -verarbeitungssystemen zur Echtzeitdatenerfassung erreicht werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Nutzen und das noch nicht voll ausgeschöpfte Potenzial von dAS in der vorliegenden Arbeit aufgezeigt werden konnte. Zwar sind dAS noch nicht die Regel in der produzierenden Industrie. Dies mag daran liegen, dass vor allem kleine und mittelständische Unternehmen häufig (noch) keine Fertigungslinien, sondern im Allgemeinen zwei bis drei Werkzeugmaschinen in der Produktion nutzen. Allerdings geht der Trend durch die ständige Fortentwicklung von Assistenzsystemen kurz- oder mittelfristig in Richtung Industrie 4.0, sofern man am Markt bestehen bleiben will. Auch nimmt die Entwicklung und das Angebot an Systemen zur Datenerfassung und -verarbeitung zur Bestimmung von Maschinen- und Werkzeugzuständen sowie zur Produktivitäts- und Effizienzanalyse rasant zu. Zur zügigeren Etablierung von dAS sollten daher weitere Anreize, ggf. auch von Seiten der Politik im Rahmen von Förderungen, o. Ä. gesetzt werden. Eine fortlaufende Entwicklung von Systemen zur Datenerfassung- und -verarbeitung sowie von hochsensiblen und modernen Sensoren ist in vollem Gange. In den kommenden Jahren wird es entscheidend aus den verfügbaren Daten automatisiert die notwendigen Informationen aufzubereiten, transparent bereitzustellen und für die optimale Wertschöpfung zu nutzen. Eine weitere Entwicklung in (naher) Zukunft bleibt daher gespannt abzuwarten.

## Literaturverzeichnis

- [1] Berger, C.; Höllthaler, G.; Merhar, L.: Digitale Assistenzsysteme für die Produktion: Von der Zielfindung bis zur Einbindung gemeinsam mit den Mitarbeitern. In: Arbeit 4.0 im Mittelstand. Chancen und Herausforderungen des digitalen Wandels für KMU, hrsg. von Bosse, C. K.; Zink, K. J., Springer Gabler, Berlin, 2019.
- [2] Brecher, C. et. al: Condition Monitoring. Werkzeugmaschinen-Komponenten mit Sensorik und Signalanalyse überwachen. Bericht über Forschungen am Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen der RWTH Aachen. 12.08.2008. Verfügbar unter:  
  
Werkzeugmaschinen-Komponenten mit Sensorik und Signalanalyse überwachen  
Seite 1 von 2:  
  
<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/werkzeugmaschinen-komponenten-mit-sensorik-und-signalanalyse-ueberwachen-a-140041/>  
  
Werkzeugmaschinen-Komponenten mit Sensorik und Signalanalyse überwachen  
Seite 2 von 2:  
  
<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/werkzeugmaschinen-komponenten-mit-sensorik-und-signalanalyse-ueberwachen-a-140041/?p=2>  
  
[Letzter Zugriff am: 20.04.2021]
- [3] Brecher, C.; Weck, M.: Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 1 – Maschinenarten und Anwendungsbereiche. Springer, Berlin, 9. Auflage, 2019.
- [4] COPADATA, o. A., Verfügbar unter:  
  
<https://www.copadata.com/de/produkt/platform-editorial-content/was-sind-iiot/>  
  
[Letzter Zugriff am: 02.06.2021]
- [5] DMG Mori AG, Flyer: Production Cockpit- Die gesamte Fertigung auf einen Blick. 2021. Verfügbar unter:  
  
<https://de.dmgmori.com/resource/blob/366228/3fcf25b7f7ef0049b5f9980d4c10684b/201907-fly-production-cockpit-de-web-pdf-data.pdf>  
  
[Letzter Zugriff am: 29.06.2021].
- [6] DMG Mori AG, Fachpresse, o. V.: Durchgängige und prozessübergreifende Digitalisierung. Verfügbar unter:  
  
<https://de.dmgmori.com/news-und-media/fachpresse-news/news/durchgaengige-und-prozessuebergreifende-digitalisierung>  
  
[Letzter Zugriff am: 20.05.2021].
- [7] DMG Mori AG, o. V.: Produkte – Digitalisierung – Celos. 2021. Verfügbar unter:  
  
<https://de.dmgmori.com/produkte/digitalisierung/celos/apps>  
  
[Letzter Zugriff am: 20.05.2021].
- [8] DMG Mori AG, o. V.: Produkte – Digitalisierung – Integrated Digitization – Monitoring – Sensoren und Komponenten. 2021. Verfügbar unter:  
  
<https://de.dmgmori.com/produkte/digitalisierung/integrated-digitization/monitoring>

- [Letzter Zugriff am: 29.06.2021].
- [9] DMG Mori AG, o. V.: Produkte – Digitalisierung – Integrated digitization. 2021. Verfügbar unter:  
<https://de.dmgmori.com/produkte/digitalisierung/integrated-digitization>
- [Letzter Zugriff am: 20.05.2021].
- [10] DMG Mori AG. Fachpresse: DMG MORI erhält Digitalisierungs-Award für CELOS NEXT. 15.02.2021. Verfügbar unter:  
<https://de.dmgmori.com/news-und-media/fachpresse-news/news/dmg-mori-erhaelt-digitalisierungs-award-fuer-celos-next>
- [Letzter Zugriff am: 04.05.2021].
- [11] EMAG Gruppe, o. V.: Digitalisierung @ EMAG. 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.emag.com/de/digitalisierung.html>
- [Letzter Zugriff am: 16.05.2021].
- [12] EMAG Gruppe, o. V.: EDNA Cortex Software. Sammeln, Verarbeiten und Analysieren von Maschinendaten. 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.emag.com/de/digitalisierung/edna-cortex.html>
- [Letzter Zugriff am: 16.05.2021].
- [13] EMAG Gruppe, o. V.: EDNA Health-Check + Neuron 3dg. 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.emag.com/de/digitalisierung/edna-health-check-neuron-3dg.html>
- [Letzter Zugriff am: 16.05.2021].
- [14] EMAG Gruppe, o. V.: EDNA IoT Core. 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.emag.com/de/digitalisierung/edna-iot-core.html>
- [Letzter Zugriff am: 16.05.2021].
- [15] EMAG Gruppe, o. V.: EDNA Lifeline Dashboards. 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.emag.com/de/digitalisierung/edna-lifeline-dashboards.html>
- [Letzter Zugriff am: 16.05.2021].
- [16] EMAG Gruppe, o. V.: EMAG News # 26. Industrie 4.0 – Auf dem Weg zur intelligenten Fabrik. Messeausstellung auf der EMO Hannover. 18. – 23.09.2017. Verfügbar unter:  
[https://cdn.emag.com/fileadmin/user\\_upload/content/press/customer\\_magazine/pdf/EMAG\\_News\\_26/EMAGNEWS26\\_72dpi\\_de\\_2.pdf](https://cdn.emag.com/fileadmin/user_upload/content/press/customer_magazine/pdf/EMAG_News_26/EMAGNEWS26_72dpi_de_2.pdf)
- [Letzter Zugriff am: 15.06.2021].
- [17] EMAG Gruppe, o. V.: EMAG Werkzeugmaschinen – Tradition und Moderne. 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.emag.com/de/maschinen.html>
- [Letzter Zugriff am: 16.05.2021].

- [18] EMAG Gruppe, o. V.: Optimierung der Produktion durch Industrie 4.0 Lösungen. 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.emag.com/de/industrie-40.html>  
[Letzter Zugriff am: 15.06.2021].
- [19] EMAG Salach GmbH, Flyer, o. V.: EC Data. 09/2016. Verfügbar unter:  
[https://cdn.emag.com/fileadmin/user\\_upload/content/industry4.0/ECDATA/EC\\_DATA\\_DE.pdf](https://cdn.emag.com/fileadmin/user_upload/content/industry4.0/ECDATA/EC_DATA_DE.pdf)  
[Letzter Zugriff am: 15.06.2021].
- [20] EMAG Salach GmbH, Flyer, o. V.: eldec Quality Control - eQC. 09/2016. Verfügbar unter:  
[https://cdn.emag.com/fileadmin/user\\_upload/content/industry4.0/eQC/eQC\\_DE.pdf](https://cdn.emag.com/fileadmin/user_upload/content/industry4.0/eQC/eQC_DE.pdf)  
[Letzter Zugriff am: 15.06.2021].
- [21] EMAG Salach GmbH, Flyer, o. V.: Fingerprint. 09/2016. Verfügbar unter:  
[https://cdn.emag.com/fileadmin/user\\_upload/content/industry4.0/Fingerprint/Fingerprint\\_DE.pdf](https://cdn.emag.com/fileadmin/user_upload/content/industry4.0/Fingerprint/Fingerprint_DE.pdf)  
[Letzter Zugriff am: 15.06.2021].
- [22] EMAG Salach GmbH, Flyer, o. V.: LifetoolAnalytics. 09/2016. Verfügbar unter:  
[https://cdn.emag.com/fileadmin/user\\_upload/content/industry4.0/LifetoolAnalytics/Lifetoolanalytics\\_DE.pdf](https://cdn.emag.com/fileadmin/user_upload/content/industry4.0/LifetoolAnalytics/Lifetoolanalytics_DE.pdf)  
[Letzter Zugriff am: 15.06.2021].
- [23] EMAG Salach GmbH, Flyer, o. V.: MachineStatus. 09/2016. Verfügbar unter:  
[https://cdn.emag.com/fileadmin/user\\_upload/content/industry4.0/MachineStatus/Machinestatus\\_DE.pdf](https://cdn.emag.com/fileadmin/user_upload/content/industry4.0/MachineStatus/Machinestatus_DE.pdf)  
[Letzter Zugriff am: 15.06.2021].
- [24] EMAG Salach GmbH, Flyer, o. V.: MultiMachineMonitor. 09/2016. Verfügbar unter:  
[https://cdn.emag.com/fileadmin/user\\_upload/content/industry4.0/MultiMachineMonitor/MM\\_DE.pdf](https://cdn.emag.com/fileadmin/user_upload/content/industry4.0/MultiMachineMonitor/MM_DE.pdf)  
[Letzter Zugriff am: 15.06.2021].
- [25] EMAG Salach GmbH, Flyer, o. V.: SolidProcess. 09/2016. Verfügbar unter:  
[https://cdn.emag.com/fileadmin/user\\_upload/content/industry4.0/SolidProcess/Solidprocess\\_DE.pdf](https://cdn.emag.com/fileadmin/user_upload/content/industry4.0/SolidProcess/Solidprocess_DE.pdf)  
[Letzter Zugriff am: 15.06.2021].
- [26] EMAG Salach GmbH, Flyer, o. V.: ToolStatus und ToolStatus+. 09/2016. Verfügbar unter:  
[https://cdn.emag.com/fileadmin/user\\_upload/content/industry4.0/ToolStatus/Toolstatus\\_DE.pdf](https://cdn.emag.com/fileadmin/user_upload/content/industry4.0/ToolStatus/Toolstatus_DE.pdf)  
[Letzter Zugriff am: 16.05.2021].
- [27] First Sensor, Sensing-innovations, o. V., o. D.. Verfügbar unter:  
<https://www.first-sensor.com/de/sensing-innovations/zusammen-rundlaufen.html>



- [Letzter Zugriff am: 03.05.2021].
- [28] Fischer, J.; Müller, J.: Smart Stamp – Zustandsermittlung für Umformmaschinen. Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.iwu.fraunhofer.de/de/forschung/leistungsangebot/produktion-jetzt/smart-stamp-zustandsermittlung-fuer-umformmaschinen.html>,  
[Letzter Zugriff am: 06.05.2021].  
Fischer, J.: Produktblatt Smart Stamp – Condition Monitoring an. Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, 2021. Verfügbar unter:  
[https://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/de/documents/Infoblatt/Infoblatt-Smart-Stamp-Condition-Monitoring-an-Produktionsmaschinen\\_2s\\_de.pdf](https://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/de/documents/Infoblatt/Infoblatt-Smart-Stamp-Condition-Monitoring-an-Produktionsmaschinen_2s_de.pdf)  
[Letzter Zugriff am: 06.05.2021].
- [29] Fischer, B.: Laser Community #24, Das Laser-Magazin von Trumpf. Mai 2017. Verfügbar unter:  
[https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF\\_Master/Corporate/Press/Magazines/Laser-Community-Ausgabe-242017.pdf?q=maschinen%C3%BCberwachung](https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Corporate/Press/Magazines/Laser-Community-Ausgabe-242017.pdf?q=maschinen%C3%BCberwachung)  
[Letzter Zugriff am: 18.05.2021].
- [30] Fleischer, J.: Leitfaden Sensorik für Industrie 4.0 – Wege zu kostengünstigen Sensorsystemen. VDMA, 2018. Verfügbar unter:  
[https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/23965916/Leitfaden\\_Sensorik\\_I40\\_1520527273290.pdf/09b7ac94-bbe2-4fdd-a258-00c90c9d1e4d](https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/23965916/Leitfaden_Sensorik_I40_1520527273290.pdf/09b7ac94-bbe2-4fdd-a258-00c90c9d1e4d)  
[Letzter Zugriff am: 21.04.2021].
- [31] Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU (Hrsg.): Smarte Fabrik. Digitalisierung und Automatisierung. Gestaltung von Produktionssystemen, 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/de/documents/Broschueren/IWU-KB-Smar-te-Fabrik.pdf>  
[Letzter Zugriff am: 06.05.2021].
- [32] Heinrich, B.; Linke, P.; Glöckler, M.: Grundlagen Automatisierung – Sensorik, Regelung, Steuerung. Springer Verlag, 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage, 2017.  
[Letzter Zugriff am: 06.05.2021].
- [33] HELLER, o. V.: HELLER4Industry. 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.heller.biz/de/maschinen-und-loesungen/heller4industry/>  
[Letzter Zugriff am: 16.05.2021].
- [34] HELLER, Pressemitteilung, Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH: HELLER Services Interface 28.09.2017. Verfügbar unter:  
<https://de.industryarena.com/heller/news/heller-services-interface-transparenz-in-produktion-und-instandhaltung--8950.html#news>  
[Letzter Zugriff am: 17.06.2021].
- [35] Hoffmann, M.: E-Mail Anfrage: Xeidana – Informationsanfrage im Rahmen einer Bachelorthesis. Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU), Anfrage vom 26.05.2021. Antwort vom 01.06.2021. Verfügbar im Anhang.

- [36] Hoffmann, M.: Xeidana® – Software für die automatisierte Qualitätssicherung in Echtzeit. Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.iwu.fraunhofer.de/de/forschung/leistungsangebot/produktion-jetzt/xeidana-software-fuer-die-automatisierte-qualitaets-sicherung-in-echtzeit.html>  
 [Letzter Zugriff am: 06.05.2021].
- Hoffmann, M.: Qualitätssicherung mit Xeidana - Infoblatt-Qualitätskontrolle-mit-Xeidana. Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/presswerk-i40/de/documents/Infoblatt-Qualit%C3%A4tskontrolle-mit-Xeidana.pdf>  
 [Letzter Zugriff am: 06.05.2021].
- [37] IT-Production-Online. o. A.: Business Analytics für die Industrie. Maschinendaten als Wettbewerbsvorteil. 14.11.2013. Verfügbar unter:  
 Maschinendaten als Wettbewerbsvorteil - Seite 1 von 2:  
<https://www.it-production.com/allgemein/business-analytics-fuer-die-industriemaschinendaten-als-wettbewerbsvorteil/>  
 Maschinendaten als Wettbewerbsvorteil - Seite 2 von 2:  
<https://www.it-production.com/allgemein/business-analytics-fuer-die-industriemaschinendaten-als-wettbewerbsvorteil/2/>  
 [Letzter Zugriff am 19.05.2021].
- [38] Klapper, J. et. al.: Potenziale digitaler Assistenzsysteme. Aktueller und zukünftiger Einsatz digitaler Assistenzsysteme in produzierenden Unternehmen. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), 2019. Verfügbar unter:  
[http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn\\_nbn\\_de\\_0011-n-5550798.pdf](http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5550798.pdf)  
 [Letzter Zugriff am: 28.04.2021].
- [39] Kletti, J. et. al.: MES – Manufacturing Execution Systems – Moderne Informationstechnologie unterstützt die Wertschöpfung. Springer Verlag, 2. Auflage, 2015.
- [40] Kreuzer, R. T.: Toolbox für Marketing und Management – Kreativkonzepte – Analysewerkzeuge – Prognoseinstrumente. Springer Verlag. 2018.
- [41] Krüger, M.: Modellbasierte Online-Bewertung von Fräsprozessen. Von der Fakultät für Maschinenbau der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur. Genehmigte Dissertation. 2014. Verfügbar unter:  
<https://core.ac.uk/download/pdf/304104203.pdf>  
 [Letzter Zugriff am: 19.05.2021].
- [42] LinkedIn, Smart-Press-Shop GmbH & Co. KG, o.V., o. D., Verfügbar unter:  
<https://de.linkedin.com/company/smart-press-shop-gmbh-co-kg>  
 [Letzter Zugriff am: 14.06.2021].
- [43] Mack, J.: Arbeitswelt 4.0: Studie Digitale Assistenzsysteme in produzierenden Unternehmen – Wissensdefizite verhindern den Durchbruch. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), 05.12.2019. Verfügbar unter:  
<https://blog.iao.fraunhofer.de/arbeit.swelt-4-0-studie-digitale-assistenzsysteme-in-produzierenden-unternehmen-wissensdefizite-verhindern-den-durchbruch/>

- [Letzter Zugriff am: 28.04.2021].
- [44] Mewes, E. et. al.: Digitale Assistenzsysteme – Zur mobilen Verwendung im technischen Service. Ein Leitfaden für die Gestaltung und Nutzung. April 2020. Verfügbar unter:  
[https://www.metop.de/site/fileadmin/user\\_upload/leitfaden\\_digitale\\_assistenzsysteme\\_zur\\_mobilen\\_verwendung\\_im\\_technischen\\_service.pdf](https://www.metop.de/site/fileadmin/user_upload/leitfaden_digitale_assistenzsysteme_zur_mobilen_verwendung_im_technischen_service.pdf)  
[Letzter Zugriff am: 04.05.2021].
- [45] Niederhofer, C.: Sensorik – Präzise Sensorik für Werkzeugmaschinen, 28.01.2019., Verfügbar unter:  
<https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/praezise-sensorik-fuer-werkzeugmaschinen-a-793068/>  
[Letzter Zugriff am: 25.04.2021].
- [46] Obermaier, R.: Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe – Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen. Springer, Wiesbaden, 2. Auflage, 2017.
- [47] Raisch, L.: Digitale Assistenzsysteme in der Produktion. Presseinformation einer Kurzstudie des Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), 19.09.2019. Verfügbar unter:  
<https://www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/aktuelles/digitale-assistenzsysteme-in-der-produktion.html>  
[Letzter Zugriff am: 04.05.2021].
- [48] Scherrenbacher, S.: Smart Press Shop. Plattform Industrie 4.0, Eine Kooperation des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie sowie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. 2021. Verfügbar unter:  
<https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/482-schuler-smart-press-shop/beitrag-schuler.html>  
[Letzter Zugriff am: 14.06.2021].
- [49] Scherrenbacher, S.: Industrie 4.0 – Das Presswerk wird intelligent. Göppingen. o. D.. Verfügbar unter:  
<https://de.industryarena.com/emagazine/04-2019/das-presswerk-wird-intelligent.html>  
[Letzter Zugriff am: 14.06.2021].
- [50] SCHULER Digital Suite, o. V.. Cooling Analytics – Mehr Produktivität und höhere Verfügbarkeit dank intelligenter Datennutzung. 2021. Verfügbar unter:  
<https://digitalsuite.schulergroup.com/de/digitalsuite/coolinganalytics/index.html>  
[Letzter Zugriff am: 28.04.2021].
- [51] SCHULER Digital Suite, o. V.. Digitalisierung im Presswerk. 2021. Verfügbar unter:  
<https://digitalsuite.schulergroup.com/de/>  
[Letzter Zugriff am: 14.06.2021].
- [52] SCHULER Digital Suite, o. V.. Drive Analytics – Mehr Produktivität und höhere Verfügbarkeit dank intelligenter Datennutzung. 2021. Verfügbar unter:

- <https://digitalsuite.schulergroup.com/de/digitalsuite/driveanalytics/index.html>  
[Letzter Zugriff am: 03.05.2021].
- [53] SCHULER Digital Suite, o. V.. Lubrication Analytics – Mehr Produktivität und höhere Verfügbarkeit dank intelligenter Datennutzung. 2021. Verfügbar unter:  
<https://digitalsuite.schulergroup.com/de/digitalsuite/lubricationanalytics/index.html>  
[Letzter Zugriff am: 03.05.2021].
- [54] SCHULER Digital Suite, o. V.. Press Force Monitor – Mehr Produktivität und höhere Verfügbarkeit dank intelligenter Datennutzung. 2021. Verfügbar unter:  
<https://digitalsuite.schulergroup.com/de/digitalsuite/pressforcemonitor/index.html>  
[Letzter Zugriff am: 03.05.2021].
- [55] SCHULER Digital Suite, o. V.. Production Monitor – Mehr Produktivität und höhere Verfügbarkeit dank intelligenter Datennutzung. 2021. Verfügbar unter:  
<https://digitalsuite.schulergroup.com/de/digitalsuite/productionmonitor/index.html>  
[Letzter Zugriff am: 03.05.2021].
- [56] SCHULER Digital Suite, o. V.. Smart Assist – Werkzeuge einrichten so einfach wie nie. 2021. Verfügbar unter:  
<https://digitalsuite.schulergroup.com/de/digitalsuite/smartassist/index.html>  
[Letzter Zugriff am: 28.04.2021].
- [57] SCHULER Pressen GmbH, Flyer, o.V.: Smart Press Shop, Machine Monitoring System. o. D.. Verfügbar unter:  
[https://www.schulergroup.com/major/download\\_center/broschueren\\_uebersichten/download\\_uebersichten/uebersicht\\_broschuere\\_smartpressshop\\_d.pdf](https://www.schulergroup.com/major/download_center/broschueren_uebersichten/download_uebersichten/uebersicht_broschuere_smartpressshop_d.pdf)  
[Letzter Zugriff am: 14.06.2021].
- [58] SCHULER Smart Press Shop, o.V.: Die Antwort auf Industrie 4.0. 2021. Verfügbar unter:  
<https://servopresses.schulergroup.com/de/Alles-aus-einer-Hand/Smart-Press-Shop/index.html>  
[Letzter Zugriff am 01.06.2021].
- [59] Trotec Laser, o.V.: Richtige Düse für die Laseranwendung. Verfügbar unter:  
<https://www.troteclaser.com/de/know-how/tipps-fuer-laseranwender/auswahl-duese/>  
[Letzter Zugriff am: 18.05.2021].
- [60] Trotec Laser, o.V.: Staub als Hauptursache für unsaubere Gravuren. Verfügbar unter:  
<https://www.troteclaser.com/de/know-how/tipps-fuer-laseranwender/reinigung-staubbeseitigung-laser/>  
[Letzter Zugriff am: 18.05.2021].
- [61] TRUMPF, o. V.: TruBend. Weiter denken. Besser biegen. Verfügbar unter:  
[https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF\\_Master/Products/Machines\\_and\\_Systems/02\\_Brochures/TRUMPF-bending-machines-brochure-DE.pdf](https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Machines_and_Systems/02_Brochures/TRUMPF-bending-machines-brochure-DE.pdf)

- [Letzter Zugriff am: 05.05.2021].
- [62] TRUMPF, Flyer: Trumpf Condition and Data Based Services. 2021. Verfügbar unter:  
[https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF\\_Master/Products/Services/01\\_brochures/TRUMPF-Condition-and-Data-Based-Services-Flyer-DE.PDF](https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-Condition-and-Data-Based-Services-Flyer-DE.PDF)
- [Letzter Zugriff am: 20.05.2021].
- [63] TRUMPF, o. V.: Produkte/Software. Verfügbar unter:  
[https://www.trumpf.com/de\\_DE/produkte/software/](https://www.trumpf.com/de_DE/produkte/software/)
- [Letzter Zugriff am 20.05.2021].
- TRUMPF, Flyer: Trumpf Software – Digital vernetzen. Transparenz gewinnen. 2021. Verfügbar unter:  
[https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF\\_Master/Products/Software/Brochures/TRUMPF-Software-DE.pdf](https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Software/Brochures/TRUMPF-Software-DE.pdf)
- [Letzter Zugriff am: 20.05.2021].
- [64] TRUMPF, Flyer: Trumpf TruTops – FabMonitor. Maschinen überwachen. Stillstände vermeiden. 2021. Verfügbar unter:  
[https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF\\_Master/Products/Software/Brochures/TRUMPF-flyer-TruTops-Fab-Monitor-DE.pdf](https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Software/Brochures/TRUMPF-flyer-TruTops-Fab-Monitor-DE.pdf)
- [Letzter Zugriff am: 20.05.2021].
- [65] TRUMPF, o. V.: Produkte/Services. 2021. Verfügbar unter:  
[https://www.trumpf.com/de\\_DE/produkte/services/services-fuer-laser/monitoring-analyse/condition-based-services/](https://www.trumpf.com/de_DE/produkte/services/services-fuer-laser/monitoring-analyse/condition-based-services/)
- [Letzter Zugriff am: 20.05.2021].
- [66] TRUMPF, o. V.: Produkte/Software. Verfügbar unter:  
[https://www.trumpf.com/de\\_DE/produkte/software/softwareprodukte/trutops-monitor/](https://www.trumpf.com/de_DE/produkte/software/softwareprodukte/trutops-monitor/)
- [Letzter Zugriff am: 20.05.2021].
- [67] WEISS Spindeltechnologie GmbH – A Siemens Company: Smarte Spindel. Verfügbar unter:  
<https://www.weissgmbh.com/de/produkte/smart-spindel/>
- [Letzter Zugriff am 25.05.2021].
- [68] Willmann, R. in Obermaier, R.: Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe – Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen. Springer, Wiesbaden, 2. Auflage, 2017.
- [69] Wübbenhorst, K. in Gabler Wirtschaftslexikon: Benchmarking. O. D.. Verfügbar unter:  
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/benchmarking-29988>
- [Letzter Zugriff am: 19.05.2021].

[70]

Xarion Laser Acoustics GmbH, o. V.. Verfügbar unter:

<https://xarion.com/de/applikationen/prozess%C3%BCberwachung>

[Letzter Zugriff am: 18.05.2021].

# Anhang

## A

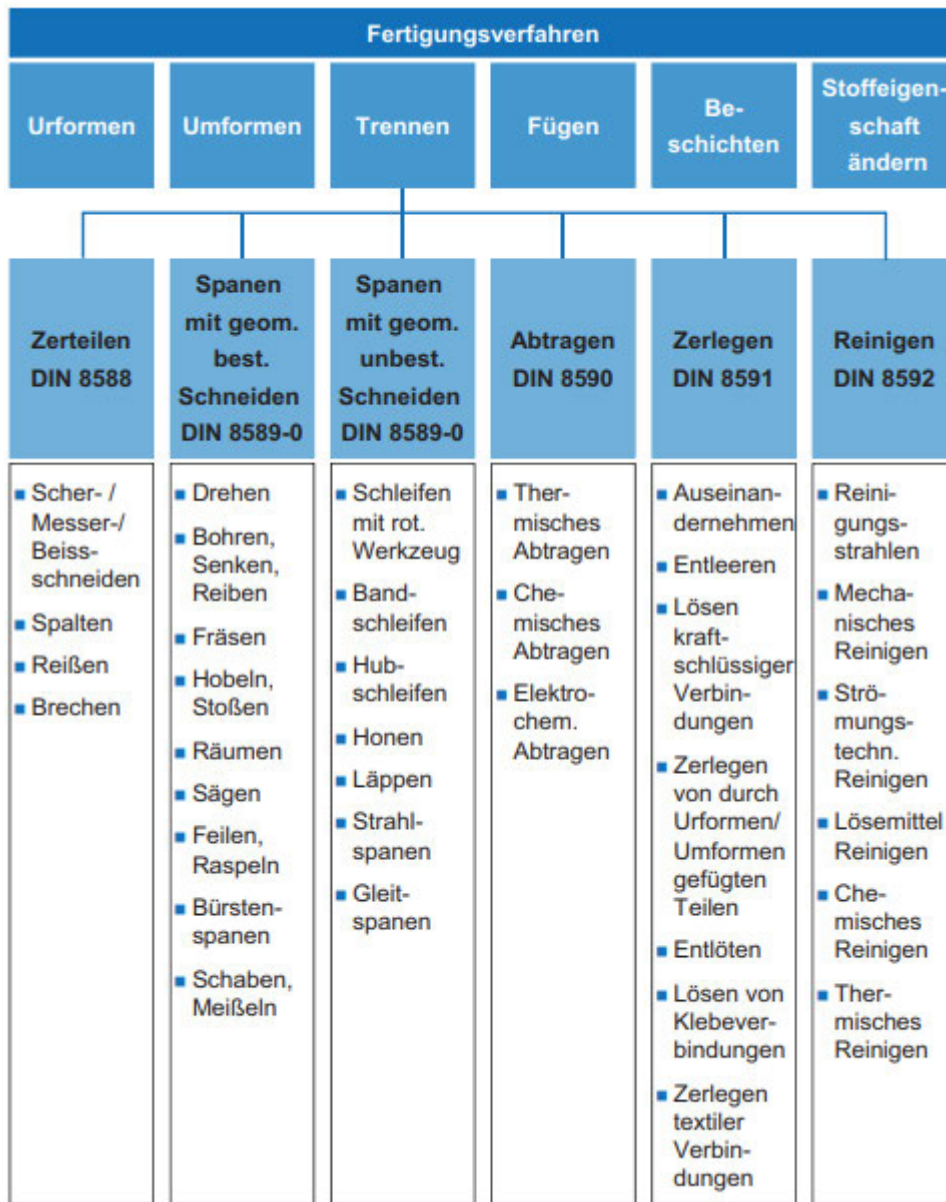


Abb. 19: Gliederung der Fertigungsverfahren gemäß der Norm DIN 8580.

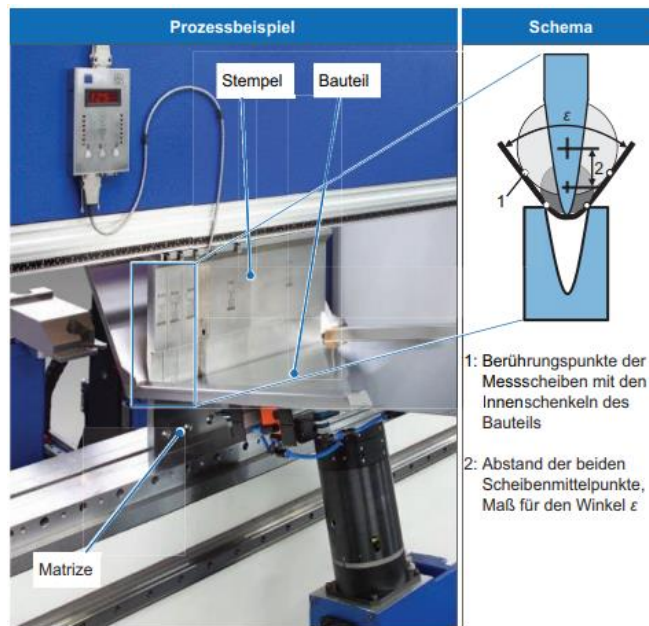


Abb. 20: Werkzeug mit Messsystem ACB Wireless zur Biegewinkelerfassung

(Quelle: [3, S. 96]).

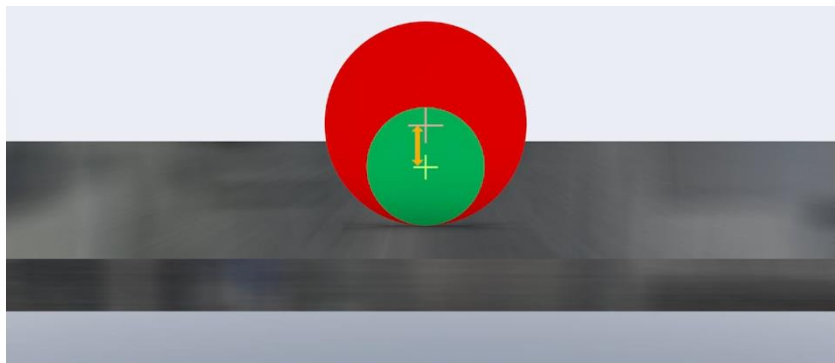


Abb. 21: ACB Wireless Funktionsschema, Werkstück in Ausgangslage

[Quelle: Trumpf-Gruppe].

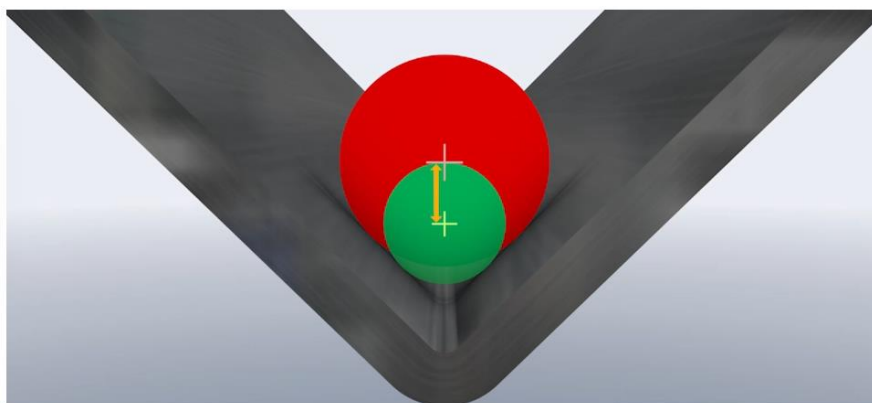


Abb. 22: ACB Wireless Funktionsschema, Werkstück in Endposition – relative Bewegung detektiert den Biegewinkel [Quelle: Trumpf-Gruppe].



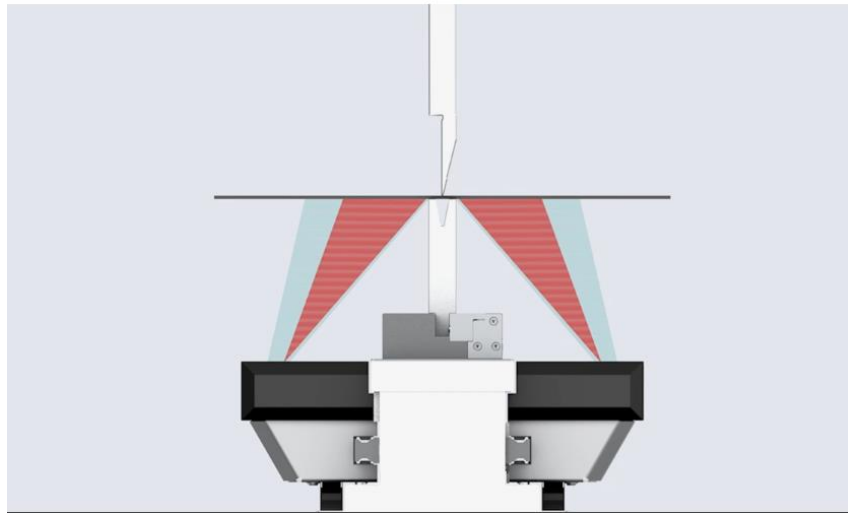


Abb. 23: ACB Laser System, Werkstück in Ausgangsposition

[Quelle: Trumpf-Gruppe].

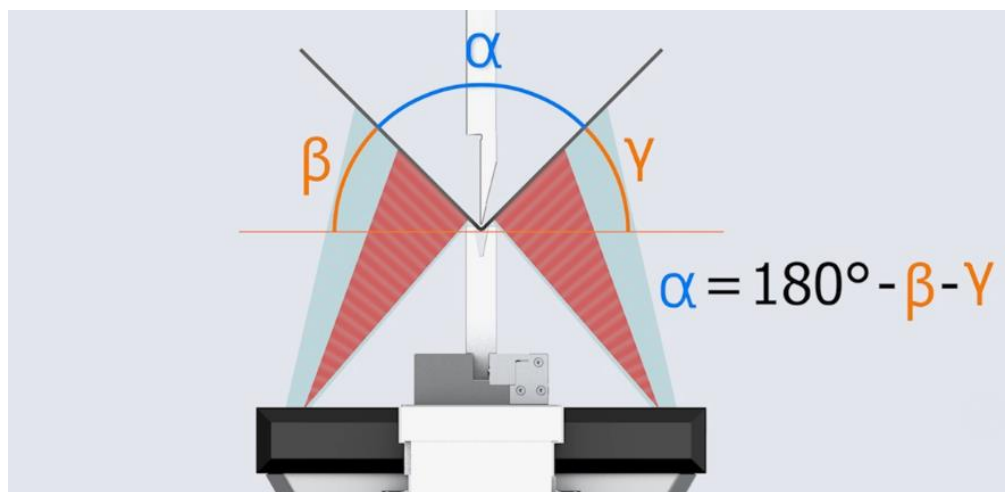


Abb. 24: ACB Laser System, Werkstück in Endposition

[Quelle: Trumpf-Gruppe; [https://www.trumpf.com/de\\_DE/loesungen/vorteile-trumpf-maschinen/vorteile-biegemaschinen/](https://www.trumpf.com/de_DE/loesungen/vorteile-trumpf-maschinen/vorteile-biegemaschinen/)].

Die roten Markierungen zeigen die Laserprojektion auf das Werkstück. Die blauen Markierungen sind die Kameranachführungen, mit deren Hilfe der exakte Biegewinkel gewährleistet wird.

B

Pressen

Software-System/ Produkt	Xeidana* <sup>1</sup>	Smart Stamp
Leistungsmerkmal		
Funktionalität	Qualitätssicherung	Werkzeug-/ Maschinenstatus- Überwachung (Condition Monitoring)
Sensortyp	Diverse (beliebige laut Hersteller/Entwickler)	Diverse (Ölstand, Kraftaufnehmer, Temperaturen, etc.)
Multi-Sensor geeignet	Ja	Ja
Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert & extern	Maschinenintegriert
On-/Offline-Betrieb	On- & Offline	k. A.
Modularer Aufbau d. Software	Ja	Ja
Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja
Ortgebunden/Mobil verfügbar	Ortgebunden & Mobil	k. A.
Kabelgebunden/Wireless	k. A.	k. A.
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja
Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja
Form der Datenausgabe	Visuell über Bildschirm/Monitor, HMI	Visuell über Bildschirm/Monitor, HMI
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	Ja	Ja
Werkzeugmaschine vom dAS abhängig* <sup>2</sup>	k. A.	Nein, Werkzeugmaschine und CM-System arbeiten unabhängig voneinander
Betriebssystem	k. A.	k. A.
Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja, integrierbar in mehreren unterschiedlichen Pressmaschinen* <sup>3</sup>
Fremdfabrikat geeignet	Ja	Ja
Vorteil(e)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kombination von unterschiedlichen Sensortypen sowie Erweiterbarkeit durch Hinzufügen eigenständiger Plug-Ins</li> <li>• Implementierung in verschiedenen Werkzeugmaschinen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualisierung wichtiger Kenngrößen (Presskräfte, Kippmomente, Stoßelkippung)</li> <li>• Produktionsfortführung bei Ausfall des dAS</li> </ul>

\*<sup>1</sup> Rücksprache mit Hersteller/Institutsmitarbeitern/Entwickler erfolgt und im Rahmen der Auswertung berücksichtigt.

\*<sup>2</sup> Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

\*<sup>3</sup> Vgl. Fraunhofer IWU: Smarte Fabrik - Digitalisierung und Automatisierung.

Tabelle 2: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme für Pressen.

### Biegemaschinen

Software-System/ Produkt	Biegezone	ACB Wireless System	ACB Laser
Leistungsmerkmal			
Funktionalität	Qualitätssicherung	Qualitätssicherung	Qualitätssicherung
Sensortyp	Sensorik für Werkstück und Positioniererkennung	Taktiler Winkelmeßsystem	Optisches Lasersystem
Multi-Sensor geeignet	k. A.	Nein	k. A.
Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert (im Robotergriffarm)	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert
On-/Offline-Betrieb	k. A.	Online	k. A.
Modularer Aufbau d. Software	k. A.	k. A.	k. A.
Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja
Ortgebunden/Mobil verfügbar	Ortgebunden	Ortgebunden	Ortgebunden
Kabelgebunden/Wireless	k. A.	Wireless	k. A.
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	k. A.	k. A.	k. A.
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja
Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja
Form der Datenausgabe	k. A.	Visuell über Bildschirm	k. A.
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	k. A.	k. A.	k. A.
Werkzeugmaschine vom dAS abhängig* <sup>1</sup>	k. A.	Nein, Werkzeugmaschine und CM-System arbeiten unabhängig voneinander	Nein, Werkzeugmaschine und CM-System arbeiten unabhängig voneinander
Betriebssystem	k. A.	k. A.	k. A.
Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.	k. A.
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	k. A.	Ja, da werkzeugunabhängiges System
Fremdfabrikat geeignet	-	k. A.	k. A.
Vorteil(e)	Entfallen der sonst üblichen Positionierstationen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Geschwindigkeit (schnelle Mehrpunkt-Messeung)</li> <li>• präzise Winkel</li> <li>• verschiedene Biegemethoden möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Geschwindigkeit</li> <li>• präzise Winkel</li> <li>• verschiedene Biegemethoden möglich</li> <li>• komplett abdruckfrei</li> </ul>

\*<sup>1</sup> Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

Tabelle 3: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme für Biegemaschinen.

### Fräs- und Drehmaschinen

Software-System/ Produkt	Spindelsensor-Modul SMI 24
Leistungsmerkmal	
Funktionalität	Zustandserkennung von Spindeln
Sensortyp	Sensorik zur Drehzahl-/Spannungs-/ Vibrationsmessung, Drehgeber, Motortemperatur, Spannzustandsabfrage, Kolbenabfrage
Multi-Sensor geeignet	Ja
Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert
On-/Offline-Betrieb	k. A.
Modularer Aufbau d. Software	Ja
Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Ja
Ortgebunden/Mobil verfügbar	Ortgebunden
Kabelgebunden/Wireless	k. A.
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	k. A.
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja
Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja
Form der Datenausgabe	Über Masken am HMI
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	Ja
Werkzeugmaschine vom dAS abhängig* <sup>1</sup>	k. A.
Betriebssystem	k. A.
Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja
Fremdfabrikat geeignet	Ja
Vorteil(e)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorbeugen von Spindelausfällen</li> <li>• Erhöhung der Spindellebensdauer/-gebrauchsdauer</li> <li>• planbare Spindelinstandhaltung</li> <li>• Erhöhung der Produktivität der Maschine</li> </ul>

\*<sup>1</sup> Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

Tabelle 4: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme für Fräs- und Drehmaschinen.

### Lasermaschinen

Software-System/ Produkt	Xarion Laser Acoustics-Sensor
Leistungsmerkmal	
Funktionalität	Maschinen-/Werkzeugzustandsüberwachung
Sensortyp	Optisches Mikrofon (Lichtmessung durch Schall)
Multi-Sensor geeignet	k. A.
Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert
On-/Offline-Betrieb	k. A.
Modularer Aufbau d. Software	Ja
Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Ja
Ortgebunden/Mobil verfügbar/verwendbar	Ortgebunden
Kabelgebunden/Wireless	k. A.
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	k. A.
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja
Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja
Form der Datenausgabe	k. A.
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	k. A.
Werkzeugmaschine vom dAS abhängig <sup>*1</sup>	k. A.
Betriebssystem	k. A.
Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja, auf weitere laserbasierte Fertigungsprozesse erweiterbar
Fremdfabrikat geeignet	Ja
Vorteil(e)	Sensor kommt ohne bewegliche Teile aus, sodass er hierdurch unempfindlich gegen äußere Einflüsse ist

\*1 Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

Tabelle 5: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme für Lasermaschinen.

**TRUMPF**

Software-System/ Produkt	TruTops Monitor & Fab App* <sup>1</sup>	Condition Based- und Smart View Services* <sup>1</sup>
Leistungsmerkmal		
Geeignet für WZM	Maschinen zur Blechfertigung	Lasersysteme
Funktionalität	Maschinenüberwachung	Maschinenüberwachung (über Condition Monitoring zyklische Kontrolle, über Condition Check festgelegte Zeitpunkte)
Sensortyp	k. A.	k. A.
Multi-Sensor geeignet	Ja	Ja
Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert & extern	Maschinenintegriert & extern
On-/Offline-Betrieb	On- & Offline	On- & Offline
Modularer Aufbau d. Software	Ja, optional erweiterbar (z. B. Remote-Control)	Ja, optional erweiterbar (Smart View)
Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja
Ortgebunden/Mobil verfügbar	Mobil	Mobil
Kabelgebunden/Wireless	Wireless	Wireless
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja (Condition Check)
Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja (Condition Monitoring)
Form der Datenausgabe	Visuell über Monitor (verschiedene Endgeräte wie Smartphones, Tablets etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analysereport in Form von Text, Zahlen, Tabellen</li> <li>• Visuelle Ausgabe zu Laserzuständen als Dashboards via Smart View</li> </ul>
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	Ja	Ja
Werkzeugmaschine vom dAS abhängig* <sup>2</sup>	Ja	k. A.
Betriebssystem	Windows (Remote Control nur auf iOS Endgeräten)	k. A.
Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	k. A.
Fremdfabrikat geeignet	Ja	Ja
Vorteil(e)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlermeldung rund um die Uhr per E-Mail oder SMS</li> <li>• Erstellung und Auswertung von Fehlerstatistiken mittels grafischer Übersichten</li> <li>• Über optionale App Remote Control Maschinen auch fernab bedienbar (inkl. Fehlerbehebung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzierung von Maschinenstillstandszeiten</li> <li>• Rückverfolgbarkeit</li> <li>• Fernwartungsmöglichkeiten</li> <li>• Prozesssynchrone Ablage und Visualisierung von ausgewählten Daten</li> </ul>

\*<sup>1</sup> Rücksprache mit Hersteller/Entwickler erfolgt und im Rahmen der Auswertung berücksichtigt.

\*<sup>2</sup> Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

Tabelle 6: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers TRUMPF.

DMG Mori		DMG Mori Stauts Monitoring				
Software-System/ Produkt	Status Monitor	Messenger	Performance Monitor	Condition Analyzer	Production Cockpit	
Leistungsmerkmal						
Geeignet für WZM	Dreh- und Fräsmaschine	Dreh- und Fräsmaschine	Dreh- und Fräsmaschine	Dreh- und Fräsmaschine	Dreh- und Fräsmaschine	
Funktionalität	Maschinen- und Auftrags-/ Fertigungsstatus	Zustandsanzeige aller vernetzten Maschinen auf einen Blick	Ermittlung der Maschinen- produktivität/ -verfügbarkeit	Maschinenzustands- überwachung	Aufbereitungs- und Visualisierungstool	
Sensortyp	Diverse zur Spindellast/ -vibrationsmessung	k. A.	k. A.	k. A.	-	
Multi-Sensor geeignet	Ja	k. A.	k. A.	k. A.	-	
Maschinenintegriert/ Extern	Maschinenintegriert	k. A.	k. A.	Maschinenintegriert	-	
On-/Offline-Betrieb	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-	
Modularer Aufbau d. Software	Ja	Ja	Ja	Ja	-	
Echtzeitdatenerfassung/ -bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	-	
Ortgebunden/Mobil verfügbar	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-	
Kabelgebunden/Wireless	k. A.	Wireless	k. A.	k. A.	-	
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja	Ja	Ja	-	
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	-	
Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	-	
Form der Datenausgabe	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	-	
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	Ja	Ja	Ja	Ja	-	

Werkzeugmaschine vom dAS abhängig* <sup>1</sup>	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-
Betriebssystem	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-
Einheitliche Protokolldateiformate	Ja, alle gängigen Formate (MQTT, MTConnect, umati)	Ja, alle gängigen Formate (MQTT, MTConnect, umati)	Ja, alle gängigen Formate (MQTT, MTConnect, umati)	Ja, alle gängigen Formate (MQTT, MTConnect, umati)	-
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja	Ja	Ja	-
Fremdfabrikat geeignet	Ja (ausgewählte Fremdfabrikate von Drittanbietern mittels DMG MORI Connectivity)	Ja (ausgewählte Fremdfabrikate von Drittanbietern mittels DMG MORI Connectivity)	Ja (ausgewählte Fremdfabrikate von Drittanbietern mittels DMG MORI Connectivity)	Ja (ausgewählte Fremdfabrikate von Drittanbietern mittels DMG MORI Connectivity)	-
Vorteil(e)	Einsicht zum aktuellen Fertigung-/Maschinenstatus sowie Informationen zur Einzelteilerfertigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zustandsübersicht aller vernetzten Maschinen</li> <li>• Stillstands- und Engpasserkennung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ermittlung der Maschinenproduktivität</li> <li>• Analyse von Stillständen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planbare Wartungsintervalle/-zeiträume</li> <li>• Durch Maschinenzustandsüberwachung Verbesserung der Werkstückqualität</li> </ul>	Freie Gestaltung und Positionierung von Informationen/Daten

\*<sup>1</sup> Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

Tabelle 7: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers DMG Mori.



SCHULER		SCHULER Smart Press Shop				
Software-System/ Produkt	Condition Monitoring	Track & Trace	OEE-Monitoring	Process Monitoring	Power Monitoring	Smart Diagnostics
Leistungsmerkmal						
Geeignet für WZM	Servopressen	Servopressen	Servopressen	Servopressen	Servopressen	Servopressen
Funktionalität	Überwachung der Maschinenkomponenten auf Veränderungen/ Verschleiß	Dokumentation/ Nachweis von Bauteilen	Betriebsdatenerfassungssystem	Überwachung der Maschinenkomponenten auf Veränderungen/ Verschleiß	Datenüberwachung zur Netz- und Energiequalität der Anlagen	Überwachung der Maschinenkomponenten auf Veränderungen/ Verschleiß
Sensortyp	Diverse zur Schwingungsmessung, Erfassung von Drehmomentverläufen, Prüfung des Energieverbrauchs	k. A.	k. A.	Diverse zur Schwingungsmessung, Erfassung von Drehmomentverläufen, Prüfung des Energieverbrauchs	Diverse zur Spannungsüberwachung	k. A.
Multi-Sensor geeignet	Ja	k. A.	k. A.	Ja	Ja	Ja
Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert	Extern	k. A.	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert
On-/Offline-Betrieb	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Modularer Aufbau d. Software	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Ortgebunden/Mobil verfügbar	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Mobil	k. A.
Kabelgebunden/Wireless	k. A.	Wireless	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Form der Datenausgabe	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Kennwerte visuell über Text, Tabellen, Grafiken, etc.	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	k. A.	Ja	Ja	k. A.	k. A.	k. A.
Werkzeugmaschine vom dAS abhängig* <sup>1</sup>	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Betriebssystem	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows
Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Fremdfabrikat geeignet	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Vorteil(e)	Durch testweise Erfassung der Sensordaten Hinweise auf Verschleiß möglich	Lückenlose Nachverfolgung zu allen wichtigen Prozessparametern eines Werkstücks (Ausgangsmaterial, Ursprung, Produktionsbedingungen, wie Presskraft oder Teiletemperatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übersicht des Produktionsstatus</li> <li>• Grundlage zur Berechnung des OEE-Indexes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung der Prozesssicherheit</li> <li>• Sicherstellung der Maschinenverfügbarkeit</li> <li>• Verbesserung der Produktions- und Teilequalität</li> </ul>	Durch testweise Erfassung der Sensordaten Hinweise auf Verschleiß möglich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Historische Analyse bei Auftreten von Fehlern</li> <li>• Erkennung von Software- oder Bauteilfehlern</li> </ul>

\*<sup>1</sup> Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

Tabelle 8: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers SCHULER (1/2).

**SCHULER**

Software-System/ Produkt	Smart Assist	Cooling-Analytics	Press Force Monitor	Lubrication Analytics	Drive Analytics	Production Monitor
Leistungsmerkmal						
Geeignet für WZM	Servopressen	Servopressen	Servopressen	Servopressen	Servopressen	Servopressen
Funktionalität	Werkzeugeinrichtung (Softwareassistent)	Überwachung von relevanten Temperaturdaten/-verläufen und Kühlkreisläufen der Presse	Überwachung und Optimierung von Presskräften in der Pressmaschine	Kontrolle und Überwachung des Schmierkreislaufs	Überwachung aller wichtigen Parameter des Hauptantriebssystems (Effektivstrom, Leistungsaufnahme)	Betriebsstatus- überwachung
Sensortyp	k. A.	Diverse zur Temperaturüberwachung	Diverse zur Kraftmessung	Diverse zur Druckaufnahme, Schmierstand- überwachung	Diverse zur Spannungsüberwachung	k. A.
Multi-Sensor geeignet	k. A.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Maschinenintegriert/Extern	k. A.	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert
On-/Offline-Betrieb	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Modularer Aufbau d. Software	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Echtzeitdatenerfassung/ -bereitstellung	-	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Ortgebunden/Mobil verfügbar	k. A.	Mobil (auf jedem Smart Device abrufbar)	Mobil (auf jedem Smart Device abrufbar)	Mobil (auf jedem Smart Device abrufbar)	Mobil	k. A.
Kabelgebunden/Wireless	Wireless	Wireless	Wireless	Wireless	Wireless	k. A.
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	k. A.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	k. A.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Zeitraumerfassung/-bereitstellung	k. A.	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Form der Datenausgabe	Grafiken und Videos über HMI oder Smart Devices	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor

Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	k. A.	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.
Werkzeugmaschine vom dAS abhängig* <sup>1</sup>	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Betriebssystem	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows
Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Fremdfabrikat geeignet	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Vorteil(e)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schneller und effizienter Werkzeugwechsel</li> <li>• Optimierung der Bewegungskurven und Ausbringungsleistung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung der Temperaturverläufe</li> <li>• Erkennen von Anomalitäten, dadurch frühzeitiges Erkennen von Lagerschäden, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfassung und Auswertung von aktuellen und historischen Prozessdaten zu Hubzahlen, Presskräften, etc.</li> <li>• Erkennen von falsch positionierten Werkzeugen in Durchlaufrichtung</li> <li>• Erkennen von sich anbahnenden Schäden an Werkzeugen</li> <li>• Optimale Planung von Werkzeugüberholungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung des Schmierkreislaufs einschließlich Schmierzyklen, Systemdruck, Ölstand</li> <li>• Ausfindig machen von Leckagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorbeugen von Umrichter- und Motorschäden durch Überwachung von Motorströmen, -temperaturen, -momenten</li> <li>• Optimale Planung für Zeitintervalle für Umrichtertausch und Motorüberholungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informationsgewinnung zum Produktionsstatus</li> </ul>

\*<sup>1</sup> Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

Tabelle 9: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers SCHULER (2/2).

EMAG-Gruppe		EDNA				
Software-System/ Produkt	EDNA IoT-Core (Collect)	EDNA Cortex (Connect)	Think	Visualize	EDNA Healthcheck (Predict)	
Leistungsmerkmal						
Geeignet für WZM	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	
Funktionalität	Industrie-Pc zum Empfangen der Fertigungsdaten	Software zum Sammeln, Verarbeiten und Bereitstellen von erfassten Maschinendaten	Portfolio an Apps, z. B. Cycle Time Monitor oder Tool Change	Ausgabe der über EDNA Cortex gesammelten Daten (Dashboard)	Ausgabe der über EDNA Cortex gesammelten Daten (Dashboard)	
Sensortyp	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	
Multi-Sensor geeignet	k. A.	Ja	k. A.	Ja	Ja	
Maschinenintegriert/Extern	Extern	k. A.	k. A.	Extern	Extern	
On-/Offline-Betrieb	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	
Modularer Aufbau d. Software	k. A.	Ja, optional erweiterbar	k. A.	Ja	Ja	
Echtzeitdatenerfassung/ -bereitstellung	k. A.	Ja	k. A.	Ja	Ja	
Ortgebunden/Mobil verfügbar	Ortgebunden	Mobil	k. A.	Mobil (jedes netzwerkfähige Endgerät)	Mobil (jedes netzwerkfähige Endgerät)	
Kabelgebunden/Wireless	k. A.	k. A.	k. A.	Wireless	Wireless	
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja	k. A.	Ja	Ja	
Zeitpunkterfassung/ -bereitstellung	k. A.	Ja	k. A.	Ja	Ja	
Zeitraumerfassung/ -bereitstellung	k. A.	Ja	k. A.	Ja	Ja	
Form der Datenausgabe	k. A.	k. A.	k. A.	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	k. A.	Ja	k. A.	Ja	Ja	
Werkzeugmaschine vom dAS abhängig*1	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	
Betriebssystem	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	

Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	Ja, einheitlich für alle Maschinen	k. A.	k. A.	k. A.
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Fremdfabrikat geeignet	k. A.	k. A.	k. A.	Ja	Ja
Vorteil(e)	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung des aktuellen Produktionsstatus</li> <li>• vorausschauende Instandhaltung</li> <li>• Einheitliches Datenformat</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausgabe auf allen Endgeräten (Smartphone, Tablet, PC)</li> <li>• Datenerfassungsausgabe auch für Fremdfabrikate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausgabe auf allen Endgeräten (Smartphone, Tablet, PC)</li> <li>• Datenerfassungsausgabe auch für Fremdfabrikate</li> </ul>

\*1 Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

Tabella 10: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers EMAG-Gruppe (1/3).

**EMAG-Gruppe**

Software-System/ Produkt	MultiMachineMonitor	MachineStatus	eQC Flux, eQC RFID, eQC Quench	EC Data	SolidProcess
Leistungsmerkmal					
Geeignet für WZM	Alle EMAG Werkzeugmaschinen	Alle EMAG Werkzeugmaschinen	Induktionshärtemaschinen	Alle EMAG Werkzeugmaschinen	Wälzfräsmaschinen
Funktionalität	Übersicht aller Produktionsmaschinen über Endgeräte	Übersicht der Betriebs- und Energieeffizienzdaten	Vollumfängliche Überwachung von Härteprozessen bei Induktionshärtemaschinen	Werkstückrückverfolgbarkeit (Traceability)	Post-Process-Messung der Verzahnung beim Wälzfräsen mittels Messwertrückführung
Sensortyp	k. A.	k. A.	Sensor zur Messung der Induktorfußspannung und des magnetischen Flusses	k. A.	k. A.
Multi-Sensor geeignet	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.
Maschinenintegriert/Extern	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Maschinenintegriert & Extern
On-/Offline-Betrieb	Online	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Modularer Aufbau d. Software	k. A.	k. A.	Ja	k. A.	k. A.

Echtzeitdatenerfassung/ -bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Indirekt in Echtzeit, da Messung im Post-Process
Ortgebunden/Mobil verfügbar	Mobil	Mobil	k. A.	Mobil	k. A.
Kabelgebunden/Wireless	Wireless	k. A.	Wireless	Wireless	k. A.
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Datenausgabe	Visuell auf Bildschirm, HMI	Visuell auf Bildschirm/Monitor	Visuell auf Bildschirm/Monitor	Visuell auf Bildschirm/Monitor	k. A.
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	Ja	Ja	k. A.	Ja	Ja
Werkzeugmaschine vom dAS abhängig* <sup>1</sup>	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Betriebssystem	Web-App, daher für die Nutzung Software unabhängig, sofern Webbrowser vorliegt	Windows 7 oder höher	Windows 7 oder höher	Windows 7 oder höher	Windows 7 oder höher
Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.	k. A.	Diverse (Ausgabe in verschiedenen Formaten wie Q-DAS, Excel, etc.)	k. A.
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.
Fremdfabrikat geeignet	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja
Vorteil(e)	Hard-/Software unabhängige Nutzung aufgrund von Web-App sowie Übersicht aller Produktionsmaschinen aus der Ferne	Übersicht von einzelnen oder allen EMAG Maschinen über Betriebszustand, Betriebsdaten und Energieverbrauch sowie Möglichkeit zur Erstellung von Statistiken/ Qualitätsanalysen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollumfängliche Überwachung des gesamten Härteprozesses</li> <li>• Überwachung der Standzeit und anstehende Wartungsintervalle</li> <li>• Viskositätsüberwachung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualitätssicherung und Dokumentation über mehrere Jahre hinweg</li> <li>• Möglichkeit zur Steuerung/Datenmanagement über mehrere Fertigungssysteme hinaus</li> </ul>	Messwertrückführung mit automatischer Korrektur

\*<sup>1</sup> Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

Tabelle 11: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers EMAG-Gruppe (2/3).

**EMAG-Gruppe**

Software-System/ Produkt	LifetoolAnalytics	ToolStatus+	Fingerprint
Leistungsmerkmal			
Geeignet für WZM	Alle EMAG Werkzeugmaschinen	k. A.	Alle EMAG Werkzeugmaschinen
Funktionalität	Überwachung von mit NFC- Chips ausgestatteten Lifetool-Werkzeugen	Datenerfassung/-analyse von Werkzeugzuständen	Diagnose-Software (Dienstleistung)
Sensortyp	k. A.	Lasermessbrücke	-
Multi-Sensor geeignet	Ja	k. A.	-
Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	-
On-/Offline-Betrieb	k. A.	k. A.	-
Modularer Aufbau d. Software	k. A.	k. A.	-
Echtzeitdatenerfassung/ -bereitstellung	Ja	Ja	-
Ortgebunden/Mobil verfügbar	Mobil	Ortgebunden	-
Kabelgebunden/Wireless	Wireless	k. A.	-
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja	-
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	-
Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	-
Form der Datenausgabe	Visuell über Bildschirm/ Monitor	k. A.	-
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	Ja	k. A.	-



Werkzeugmaschine vom dAS abhängig*1	k. A.	k. A.	-
Betriebssystem	Windows 7 oder höher sowie Android 4.0 oder höheres NFC-fähiges Endgerät	k. A.	-
Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.	-
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja	-
Fremdfabrikat geeignet	k. A.	k. A.	-
Vorteil(e)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfassung von diversen Betriebsdaten wie Betriebsstunden, Drehzahlbereich oder Temperatur.</li> <li>• Abruf und Auswertung der Daten mittels NFC-fähigen Endgeräten</li> </ul>	Werkzeugkontrolle mit Erfassung und Kontrolle der Schneidengeometrie	-

\*1 Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

*Tabelle 12: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers EMAG-Gruppe (3/3).*

<b>HELLER</b>		Heller4Industry		
Software-System/ Produkt		Heller4Operation	Heller4Services	Heller4Performances
Leistungsmerkmal				
Geeignet für WZM		Dreh- und Fräsmaschine	Dreh- und Fräsmaschine	Dreh- und Fräsmaschine
Funktionalität		Haptische Assistenz für den Maschinenbediener	Erfassung von Fertigungs-, Instandhaltungs-, Wartungsprozessen der Maschine (Maschinenstatus)	Maschinenanalyse zur Prozess- und Leistungsoptimierung
Sensortyp		-	Diverse	Diverse
Multi-Sensor geeignet		-	Ja	Ja
Maschinenintegriert/Extern		-	k. A.	k. A.
On-/Offline-Betrieb		-	k. A.	k. A.
Modularer Aufbau d. Software		-	k. A.	Ja
Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung		-	Ja	Ja
Ortgebunden/Mobil verfügbar		-	k. A.	k. A.
Kabelgebunden / Wireless		-	k. A.	k. A.
Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)		-	Ja	Ja
Zeitpunkterfassung/-bereitstellung		-	Ja	Ja
Zeitraumerfassung/-bereitstellung		-	Ja	Ja
Form der Datenausgabe		-	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor
Datenzugang zu jedem Zeitpunkt		-	k. A.	Ja
Werkzeugmaschine vom dAS abhängig* <sup>1</sup>		-	k. A.	k. A.
Betriebssystem		-	k. A.	k. A.

Einheitliche Protokolldateiformate	-	k. A.	k. A.
Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	-	Ja	Ja
Fremdfabrikat geeignet	-	k. A.	k. A.
Vorteil(e)	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualisierung von Informationen zum Maschinenstatus wie Zustandsanzeigen von Achsen, Spindeln und weiteren Baugruppen</li> <li>• Ermittlung des Verschleißzustandes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übersicht zu Prozess- und Leistungsparametern</li> <li>• Zeitsynchrone Auskopplung von Echtzeitdaten in das Internet</li> </ul>

\*1 Gemeint ist: Kann die Werkzeugmaschine bei Ausfall / Fehler des dAS weiter produzieren oder erliegt sie einem Stillstand.

*Tabelle 13: Leistungsmerkmale der Assistenzsysteme des Herstellers HELLER.*

Nr.	System	Xeidana	Smart Stamp	Biegezeile	ACB Wireless System	ACB Laser	Spindelsensor-Modul SMI 24	Xarion Laser Acoustics-Sensor
1	Funktionalität	Qualitätssicherung	Werkzeug-/ Maschinenstatus-Überwachung (Condition Monitoring)	Qualitätssicherung	Qualitätssicherung	Qualitätssicherung	Zustandserkennung von Spindeln	Maschinen-/Werkzeugzustandsüberwachung
2	Sensortyp	Diverse (beliebige laut Hersteller/Entwickler)	Diverse (Ölstand, Kraftaufnehmer, Temperaturen, etc.)	Sensorik für Werkstück und Positioniererkennung	Taktiler Winkelmesssystem	Optisches Lasersystem	Sensorik zur Drehzahl-/Spannungs-/Vibrationsmessung, Drehgeber, Motortemperatur, Spannzustandsabfrage, Kolbenabfrage	Optisches Mikrofon (Lichtmessung durch Schall)
3	Multi-Sensor geeignet	Ja	Ja	k. A.	Nein	k. A.	Ja	k. A.
4	Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert & extern	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert
5	On-/Offline-Betrieb	On- & Offline	k. A.	k. A.	Online	k. A.	k. A.	k. A.
6	Modularer Aufbau d. Software	Ja	Ja	k. A.	k. A.	k. A.	Ja	Ja
7	Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
8	Ortgebunden/Mobil verfügbar	Ortgebunden & Mobil	k. A.	Ortgebunden	Ortgebunden	Ortgebunden	Ortgebunden	Ortgebunden
9	Kabelgebunden/Wireless	k. A.	k. A.	k. A.	Wireless	k. A.	k. A.	k. A.
10	Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
11	Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
12	Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
13	Form der Datenausgabe	Visuell über Bildschirm/Monitor, HMI	Visuell über Bildschirm/Monitor, HMI	k. A.	Visuell über Bildschirm	k. A.	Über Masken am HMI	k. A.
14	Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	Ja	Ja	k. A.	k. A.	k. A.	Ja	k. A.
15	Werkzeugmaschine vom dAS abhängig <sup>2</sup>	k. A.	Nein, Werkzeugmaschine und CM-System arbeiten unabhängig voneinander	k. A.	Nein, Werkzeugmaschine und CM-System arbeiten unabhängig voneinander	Nein, Werkzeugmaschine und CM-System arbeiten unabhängig voneinander	k. A.	k. A.
16	Betriebssystem	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
17	Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
18	Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja, integrierbar in mehreren unterschiedlichen Pressmaschinen <sup>3</sup>	Ja	k. A.	Ja, da werkzeugunabhängiges System	Ja	Ja, auf weitere laserbasierte Fertigungsprozesse erweiterbar
19	Fremdfabrikat geeignet	Ja	Ja	-	k. A.	k. A.	Ja	Ja

Tabelle 14: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (1/6).

Nr.	System	TruTops Monitor & Fab App	Condition Based- und Smart View Services	Status Monitor	Messenger	Performance Monitor	Condition Analyzer	Production Cockpit
1	Funktionalität	Maschinenüberwachung	Maschinenüberwachung (über Condition Monitoring zyklische Kontrolle, über Condition Check festgelegte Zeitpunkte)	Maschinen- und Auftrags/ Fertigungsstatus	Zustandsanzeige aller vernetzten Maschinen auf einen Blick	Ermittlung der Maschinenproduktivität / -verfügbarkeit	Maschinenzustandsüberwachung	Aufbereitungs- und Visualisierungstool
2	Sensortyp	k. A.	k. A.	Diverse zur Spindellast/ -vibrationsmessung	k. A.	k. A.	k. A.	-
3	Multi-Sensor geeignet	Ja	Ja	Ja	k. A.	k. A.	k. A.	-
4	Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert & extern	Maschinenintegriert & extern	Maschinenintegriert	k. A.	k. A.	Maschinenintegriert	-
5	On-/Offline-Betrieb	On- & Offline	On- & Offline	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-
6	Modularer Aufbau d. Software	Ja, optional erweiterbar (z. B. Remote-Control)	Ja, optional erweiterbar (Smart View)	Ja	Ja	Ja	Ja	-
7	Echtzeitdatenerfassung/ -bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	-
8	Ortgebunden/Mobil verfügbar	Mobil	Mobil	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-
9	Kabelgebunden/Wireless	Wireless	Wireless	k. A.	Wireless	k. A.	k. A.	-
10	Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	-
11	Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja (Condition Check)	Ja	Ja	Ja	Ja	-
12	Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja (Condition Monitoring)	Ja	Ja	Ja	Ja	-
13	Form der Datenausgabe	Visuell über Monitor (verschiedene Endgeräte wie Smartphones, Tablets etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analysereport in Form von Text, Zahlen, Tabellen</li> <li>• Visuelle Ausgabe zu Laserzuständen als Dashboards via Smart View</li> </ul>	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	-
14	Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	-
15	Werkzeugmaschine vom dAS abhängig <sup>2</sup>	Ja	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-
16	Betriebssystem	Windows (Remote Control nur auf iOS Endgeräten)	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-
17	Einheitliche Protokollformate	k. A.	k. A.	Ja, alle gängigen Formate (MQTT, MTConnect, umati)	Ja, alle gängigen Formate (MQTT, MTConnect, umati)	Ja, alle gängigen Formate (MQTT, MTConnect, umati)	Ja, alle gängigen Formate (MQTT, MTConnect, umati)	-
18	Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	k. A.	Ja	Ja	Ja	Ja	-
19	Fremdfabrikat geeignet	Ja	Ja	Ja (ausgewählte Fremdfabrikate von Drittanbietern mittels DMG MORI Connectivity)	Ja (ausgewählte Fremdfabrikate von Drittanbietern mittels DMG MORI Connectivity)	Ja (ausgewählte Fremdfabrikate von Drittanbietern mittels DMG MORI Connectivity)	Ja (ausgewählte Fremdfabrikate von Drittanbietern mittels DMG MORI Connectivity)	-

Tabelle 15: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (2/6).

Nr.	System	Condition Monitoring	Track & Trace	OEE-Monitoring	Process Monitoring	Power Monitoring	Smart Diagnostics	Smart Assist	Cooling-Analytics
1	Funktionalität	Überwachung der Maschinenkomponenten auf Veränderungen/ Verschleiß	Dokumentation/ Nachweis von Bauteilen	Betriebsdatenerfassungssystem	Überwachung der Maschinenkomponenten auf Veränderungen/ Verschleiß	Datenüberwachung zur Netz- und Energiequalität der Anlagen	Überwachung der Maschinenkomponenten auf Veränderungen/ Verschleiß	Werkzeugeinrichtung (Softwareassistent)	Überwachung von relevanten Temperaturdaten/-verläufen und Kühlkreisläufen der Presse
2	Sensortyp	Diverse zur Schwingungsmessung, Erfassung von Drehmomentverläufen, Prüfung des Energieverbrauchs	k. A.	k. A.	Diverse zur Schwingungsmessung, Erfassung von Drehmomentverläufen, Prüfung des Energieverbrauchs	Diverse zur Spannungsüberwachung	k. A.	k. A.	Diverse zur Temperaturüberwachung
3	Multi-Sensor geeignet	Ja	k. A.	k. A.	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja
4	Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert	Extern	k. A.	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	k. A.	Maschinenintegriert
5	On-/Offline-Betrieb	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
6	Modularer Aufbau d. Software	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
7	Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	-	Ja
8	Ortgebunden/Mobil verfügbar	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Mobil	k. A.	k. A.	Mobil (auf jedem Smart Device abrufbar)
9	Kabelgebunden/Wireless	k. A.	Wireless	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Wireless	Wireless
10	Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja
11	Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja
12	Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja
13	Form der Datenausgabe	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Kennwerte visuell über Text, Tabellen, Grafiken, etc.	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Grafiken und Videos über HMI oder Smart Devices	Visuell über Monitor
14	Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	k. A.	Ja	Ja	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja
15	Werkzeugmaschine vom dAS abhängig <sup>2</sup>	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
16	Betriebssystem	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows
17	Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
18	Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
19	Fremdfabrikat geeignet	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.

Tabelle 16: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (3/6).

Nr.	System	Press Force Monitor	Lubrication Analytics	Drive Analytics	Production Monitor	EDNA IoT-Core (Collect)	EDNA Cortex (Connect)	Think	Visualize	EDNA Healthcheck (Predict)
1	Funktionalität	Überwachung und Optimierung von Presskräften in der Pressmaschine	Kontrolle und Überwachung des Schmierkreislaufs	Überwachung aller wichtigen Parameter des Hauptantriebssystems (Effektivstrom, Leistungsaufnahme)	Betriebsstatusüberwachung	Industrie-Pc zum Empfangen der Fertigungsdaten	Software zum Sammeln, Verarbeiten und Bereitstellen von erfassten Maschinendaten	Portfolio an Apps, z. B. Cycle Time Monitor oder Tool Change	Ausgabe der über EDNA Cortex gesammelten Daten (Dashboard)	Ausgabe der über EDNA Cortex gesammelten Daten (Dashboard)
2	Sensortyp	Diverse zur Kraftmessung	Diverse zur Druckaufnahme, Schmierstand-überwachung	Diverse zur Spannungsüberwachung	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
3	Multi-Sensor geeignet	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja	k. A.	Ja	Ja
4	Maschinenintegriert/Extern	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	Extern	k. A.	k. A.	Extern	Extern
5	On-/Offline-Betrieb	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
6	Modularer Aufbau d. Software	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja, optional erweiterbar	k. A.	Ja	Ja
7	Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja	k. A.	Ja	Ja
8	Ortgebunden/Mobil verfügbar	Mobil (auf jedem Smart Device abrufbar)	Mobil (auf jedem Smart Device abrufbar)	Mobil	k. A.	Ortgebunden	Mobil	k. A.	Mobil (jedes netzwerkfähige Endgerät)	Mobil (jedes netzwerkfähige Endgerät)
9	Kabelgebunden/Wireless	Wireless	Wireless	Wireless	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Wireless	Wireless
10	Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja	Ja
11	Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja	k. A.	Ja	Ja
12	Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja	k. A.	Ja	Ja
13	Form der Datenausgabe	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor	k. A.	k. A.	k. A.	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor
14	Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	Ja	Ja	Ja	k. A.	k. A.	Ja	k. A.	Ja	Ja
15	Werkzeugmaschine vom dAS abhängig <sup>2</sup>	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
16	Betriebssystem	Windows	Windows	Windows	Windows	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
17	Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja, einheitlich für alle Maschinen	k. A.	k. A.	k. A.
18	Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
19	Fremdfabrikat geeignet	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja	Ja

Tabelle 17: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (4/6).

Nr.	System	MultiMachineMonitor	MachineStatus	eQC Flux, eQC RFID, eQC Quench	EC Data	SolidProcess	LifetoolAnalytics	ToolStatus+	Fingerprint	Heller4Operation
1	Funktionalität	Übersicht aller Produktionsmaschinen über Endgeräte	Übersicht der Betriebs- und Energieeffizienzdaten	Vollumfängliche Überwachung von Härteprozessen bei Induktionshärtemaschinen	Werkstückrückverfolgbarkeit (Traceability)	Post-Process-Messung der Verzahnung beim Wälzfräsen mittels Messwertrückführung	Überwachung von mit NFC-Chips ausgestatteten LifetoolWerkzeugen	Datenerfassung/-analyse von Werkzeugzuständen	Diagnose-Software (Dienstleistung)	Haptische Assistenz für den Maschinenbediener
2	Sensortyp	k. A.	k. A.	Sensor zur Messung der Induktorfußspannung und des magnetischen Flusses	k. A.	k. A.	k. A.	Lasermessbrücke	-	-
3	Multi-Sensor geeignet	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja	k. A.	-	-
4	Maschinenintegriert/Extern	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Maschinenintegriert & extern	Maschinenintegriert	Maschinenintegriert	-	-
5	On-/Offline-Betrieb	Online	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-	-
6	Modularer Aufbau d. Software	k. A.	k. A.	Ja	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-	-
7	Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja (Indirekt in Echtzeit, da Messung im PostProcess)	Ja	Ja	-	-
8	Ortgebunden/Mobil verfügbar	Mobil	Mobil	k. A.	Mobil	k. A.	Mobil	Ortgebunden	-	-
9	Kabelgebunden/Wireless	Wireless	k. A.	Wireless	Wireless	k. A.	Wireless	k. A.	-	-
10	Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	-	-
11	Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	-	-
12	Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	-	-
13	Form der Datenausgabe	Visuell auf Bildschirm, HMI	Visuell auf Bildschirm/Monitor	Visuell auf Bildschirm/Monitor	Visuell auf Bildschirm/Monitor	k. A.	Visuell über Bildschirm/Monitor	k. A.	-	-
14	Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	Ja	Ja	k. A.	Ja	Ja	Ja	k. A.	-	-
15	Werkzeugmaschine vom dAS abhängig <sup>2</sup>	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-	-
16	Betriebssystem	Web-App, daher für die Nutzung Software unabhängig, sofern Webbrowser vorliegt	Windows 7 oder höher	Windows 7 oder höher	Windows 7 oder höher	Windows 7 oder höher	Windows 7 oder höher sowie Android 4.0 oder höheres NFC-fähiges Endgerät	k. A.	-	-
17	Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.	k. A.	diverse (Ausgabe in verschiedenen Formaten wie Q-DAS, Excel, etc.)	k. A.	k. A.	k. A.	-	-
18	Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja	Ja	Ja	k. A.	Ja	Ja	-	-
19	Fremdfabrikat geeignet	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja	k. A.	k. A.	-	-

Tabelle 18: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (5/6).



Nr.	System	Heller4Services	Heller4Performances
1	Funktionalität	Erfassung von Fertigungs-, Instandhaltungs-, Wartungsprozessen der Maschine (Maschinenstatus)	Maschinenanalyse zur Prozess- und Leistungsoptimierung
2	Sensortyp	Diverse	Diverse
3	Multi-Sensor geeignet	Ja	Ja
4	Maschinenintegriert/Extern	k. A.	k. A.
5	On-/Offline-Betrieb	k. A.	k. A.
6	Modularer Aufbau d. Software	k. A.	Ja
7	Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja
8	Ortgebunden/Mobil verfügbar	k. A.	k. A.
9	Kabelgebunden/Wireless	k. A.	k. A.
10	Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung)	Ja	Ja
11	Zeitpunkterfassung/-bereitstellung	Ja	Ja
12	Zeitraumerfassung/-bereitstellung	Ja	Ja
13	Form der Datenausgabe	Visuell über Monitor	Visuell über Monitor
14	Datenzugang zu jedem Zeitpunkt	k. A.	Ja
15	Werkzeugmaschine vom dAS abhängig <sup>2</sup>	k. A.	k. A.
16	Betriebssystem	k. A.	k. A.
17	Einheitliche Protokolldateiformate	k. A.	k. A.
18	Nutzbarkeit in mehreren Maschinen	Ja	Ja
19	Fremdfabrikat geeignet	k. A.	k. A.

Tabelle 19: Assistenzsysteme, konsolidierte Darstellung (6/6).

C

Nr. 3	Gesamt	42	100%
Angaben	Ja	25	59,52%
	k. A.	13	30,95%
	Nein	1	2,38%
	-	3	7,14%

Tab. 20: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 3: Multi-Sensor geeignet.

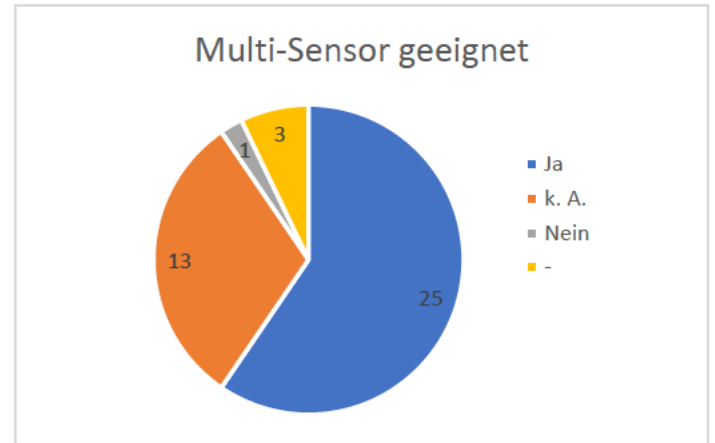


Abb. 25: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 3: Multi-Sensor geeignet.

Nr. 4	Gesamt	42	100%
Angaben	Maschinenintegriert & extern	4	9,52%
	Maschinenintegriert	19	45,24%
	Extern	4	9,52%
	k. A.	12	28,57%
	-	3	7,14%

Tab. 21: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr.4: Maschinenintegriert/Extern.

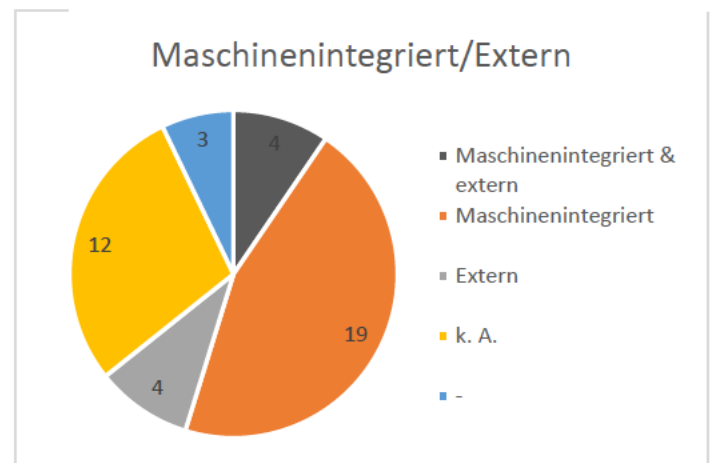


Abb. 26: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr.4: Maschinenintegriert/Extern.

Nr. 5	Gesamt	42	100%
Angaben	On- & Offline	3	7,14%
	Online	2	4,76%
	k. A.	34	80,95%
	-	3	7,14%

Tab. 22: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 5: On-/Offline-Betrieb.

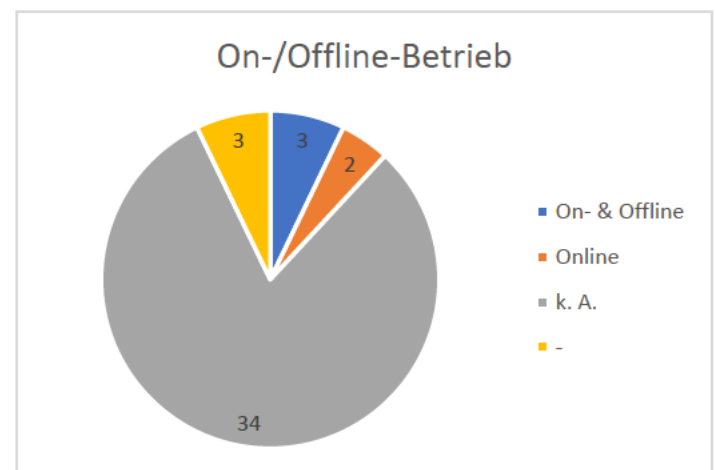


Abb. 27: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr.5: On-/Offline-Betrieb.

Nr. 6	Gesamt	42	100%
Angaben	Ja	27	64,29%
	k. A.	12	28,57%
	-	3	7,14%

Tab. 23: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 6: Modularer Aufbau d. Software.

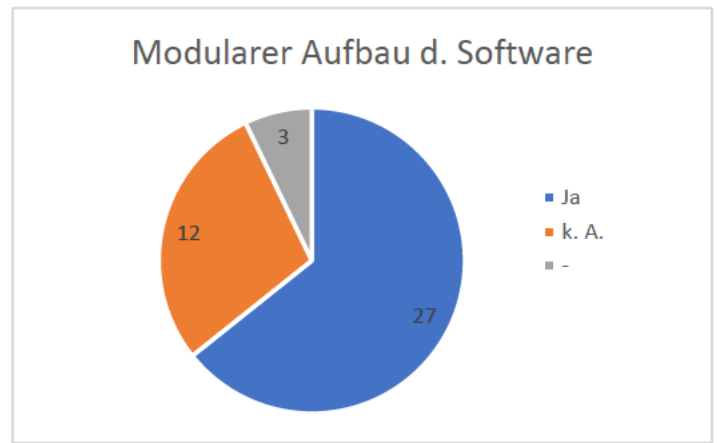


Abb. 28: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 6: Modularer Aufbau d. Software.

Nr. 7	Gesamt	42	100%
Angaben	Ja	35	83,33%
	Nein	1	2,38%
	k. A.	2	4,76%
	-	4	9,52%

Tab. 24: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 7: Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung.

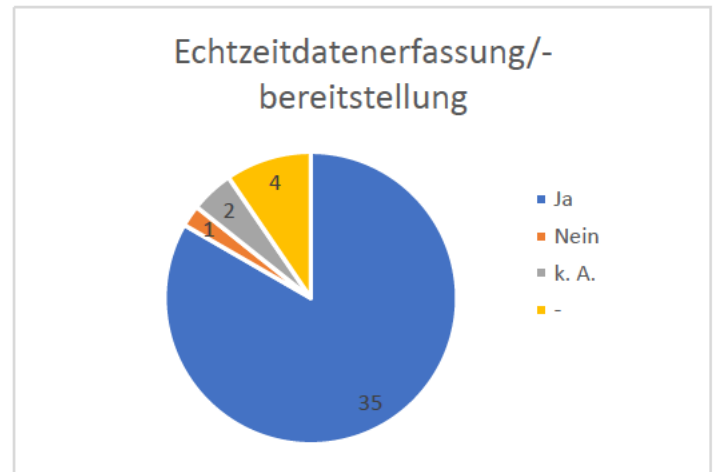


Abb. 29: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 7: Echtzeitdatenerfassung/-bereitstellung.

Nr. 8	Gesamt	42	100%
Angaben	Ortgebunden & Mobil	1	2,38%
	Ortgebunden	7	16,67%
	Mobil	14	33,33%
	k. A.	17	40,48%
	-	3	7,14%

Tab. 25: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 8: Ortgebunden/Mobil verfügbar.

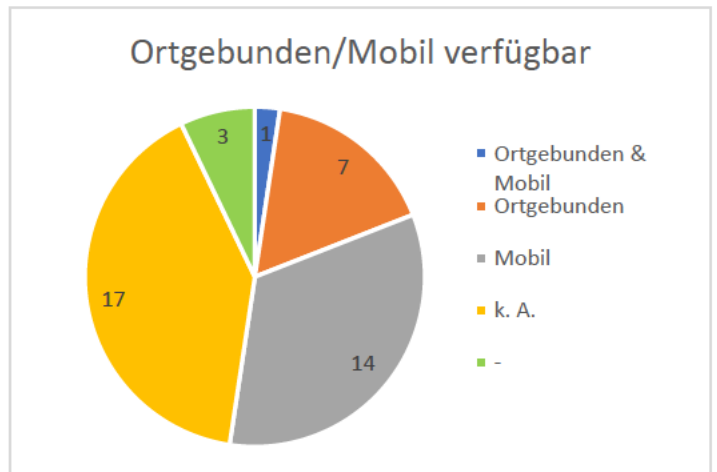


Abb. 30: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 8: Ortgebunden/Mobil verfügbar.

Nr. 9	Gesamt	42	100%
Angaben	Wireless	16	38,10%
	k. A.	23	54,76%
	-	3	7,14%

Tab. 26: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 9: Kabelgebunden/Wireless.

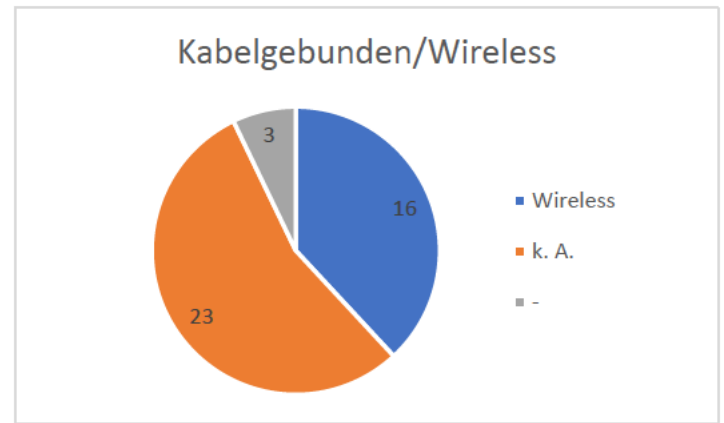


Abb. 31: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 9: Kabelgebunden/Wireless.

Nr. 10	Gesamt	42	100%
Angaben	Ja	32	76,19%
	k. A.	7	16,67%
	-	3	7,14%

Tab. 27: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 10: Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung).

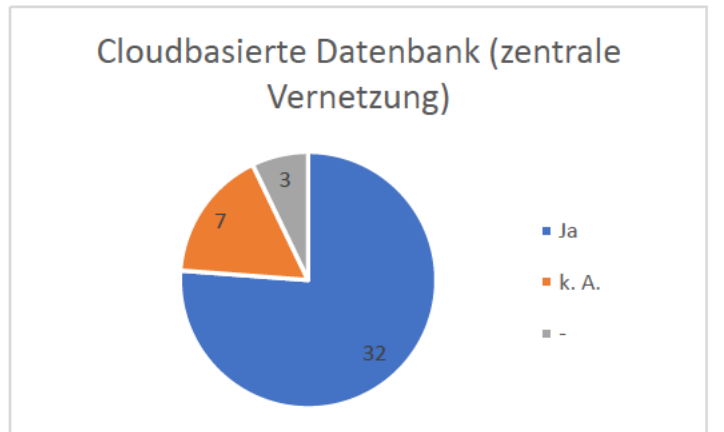


Abb. 32: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 10: Cloudbasierte Datenbank (zentrale Vernetzung).

Nr. 11	Gesamt	42	100%
Angaben	Ja	36	85,71%
	k. A.	3	7,14%
	-	3	7,14%

Tab. 28: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 11: Zeitpunkterfassung/-bereitstellung.

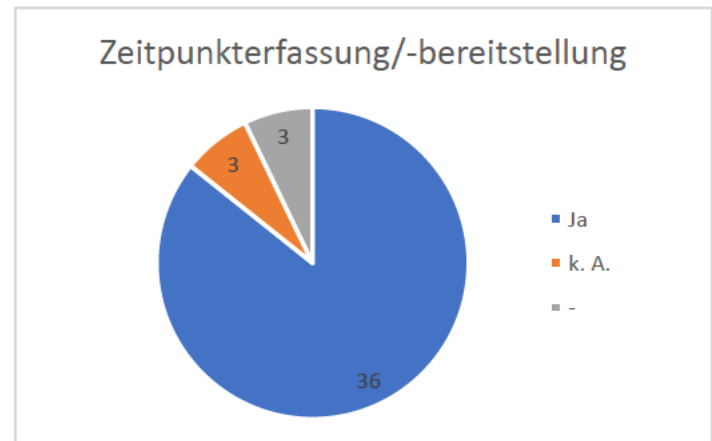


Abb. 33: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 11: Zeitpunkterfassung/-bereitstellung.

Nr. 12	Gesamt	42	100%
Angaben	Ja	36	85,71%
	k. A.	3	7,14%
	-	3	7,14%

Tab. 29: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 12: Zeitraumerfassung/-bereitstellung.

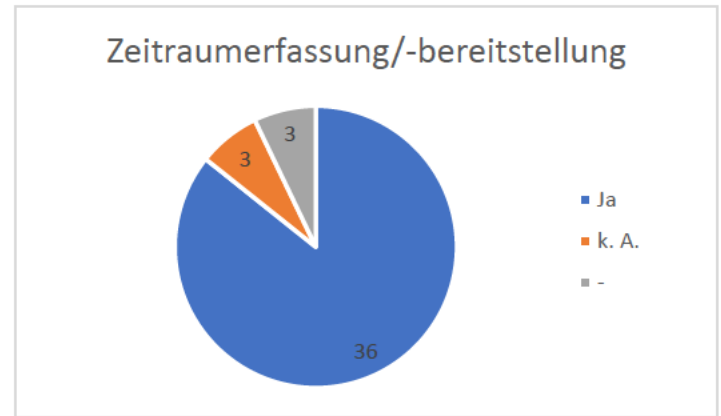


Abb. 34: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 12: Zeitraumerfassung/-bereitstellung.

Nr. 14	Gesamt	42	100%
Angaben	Ja	24	57,14%
	k. A.	15	35,71%
	-	3	7,14%

Tab. 30: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 14: Datenzugang zu jedem Zeitpunkt.

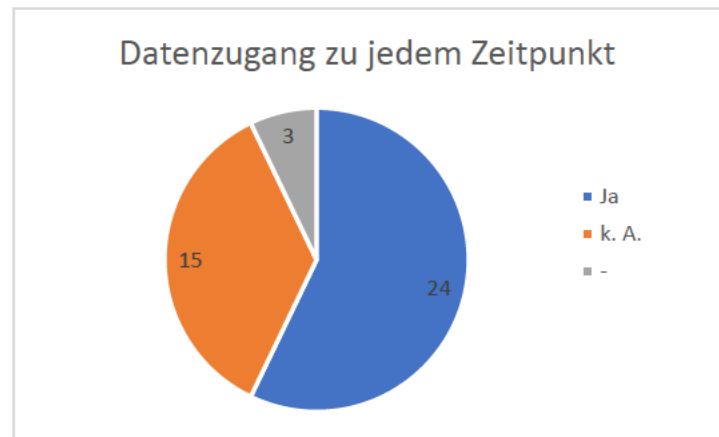


Abb. 35: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 14: Datenzugang zu jedem Zeitpunkt.

Nr. 15	Gesamt	42	100%
Angaben	Ja	1	2,38%
	Nein	3	7,14%
	k. A.	35	83,33%
	-	3	7,14%

Tab. 31: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 15: WZM vom dAS abhängig.

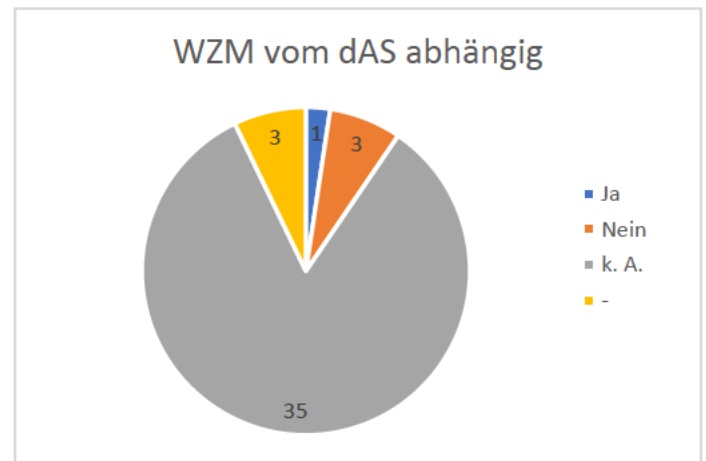


Abb. 36: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 15: WZM vom dAS abhängig.

Nr. 17	Gesamt	42	100%
Angaben	Ja	5	11,90%
	Diverse (alle gängigen Formate)	1	2,38%
	k. A.	33	78,57%
	-	3	7,14%

Tab. 32: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 17: Einheitliches Protokolldateiformat.

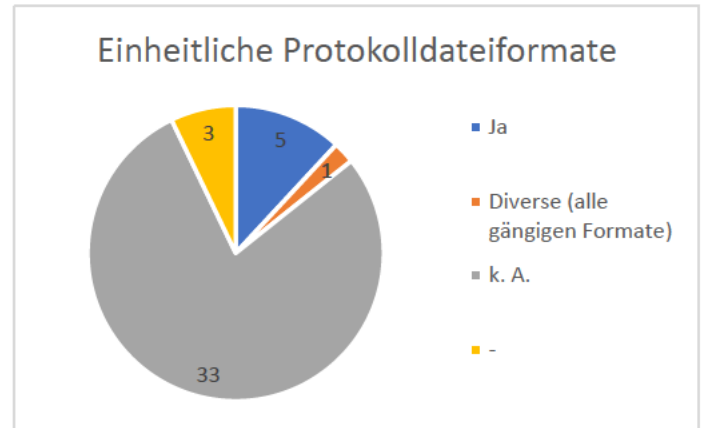


Abb. 37: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 17: Einheitliches Protokolldateiformat.

Nr. 18	Gesamt	42	100%
Angaben	Ja	36	85,71%
	k. A.	3	7,14%
	-	3	7,14%

Tab. 33: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 18: Nutzbarkeit in mehreren Maschinen.

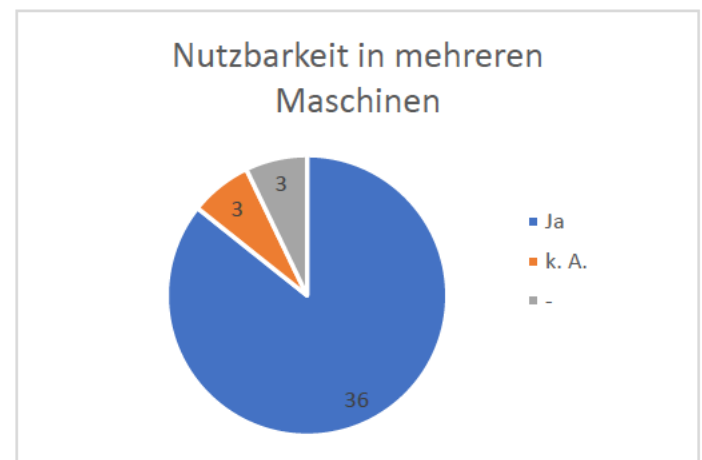


Abb. 38: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 18: Nutzbarkeit in mehreren Maschinen.

Nr. 19	Gesamt	42	100%
Angaben	Ja	13	30,95%
	k. A.	25	59,52%
	-	4	9,52%

Tab. 34: Numerische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 19: Fremdfabrikat geeignet.

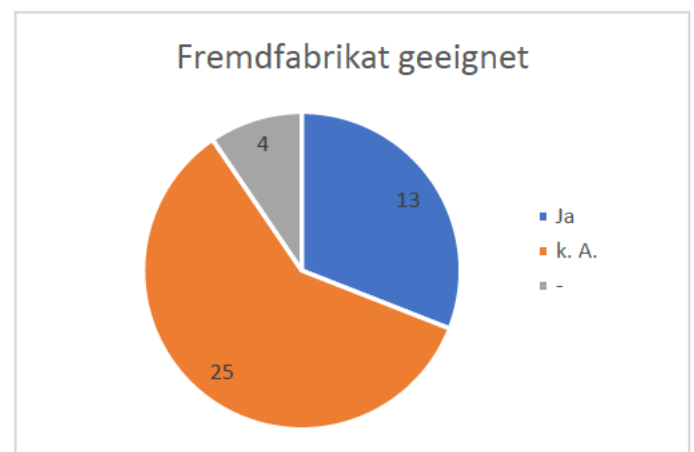


Abb. 39: Grafische Auswertung des Leistungsmerkmals Nr. 19: Fremdfabrikat geeignet.



## 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: § 16 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: Torka \_\_\_\_\_

Vorname: Dennis \_\_\_\_\_

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:  
Assistenzsysteme zur Digitalisierung der Produktion 4.0

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